

UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO CEMENTO CON
ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y ESCLEROMETRÍA**

Postulante:

Univ. Alexa Puerta Da Silva

Tutor colectivo:

Ing. Fabricio Ocampo Vedia

Asesor:

Ing. Alfredo Escobar Arana

Cobija – Pando - Bolivia

2024

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios por haberme acompañado en este camino. Su guía constante y su fortaleza en los momentos difíciles me han dado la sabiduría para superar cada reto. Le agradezco por llenar mi vida de aprendizajes, experiencias significativas y por brindarme siempre la paz y la alegría necesarias para seguir adelante.

A mi querida familia, por ser el pilar fundamental en mi vida. Les agradezco por su amor incondicional, por su apoyo constante y por estar a mi lado en cada momento de este recorrido. Sus palabras de aliento, sacrificios y confianza en mí me han dado la fuerza necesaria para alcanzar este logro.

A la Universidad Amazónica de Pando, por haberme brindado una formación académica de calidad y por haberme permitido desarrollar mis habilidades y competencias durante mi educación.

A la Facultad de Ingeniería y Tecnología, en especial la Carrera de Ingeniería Civil, por su compromiso y colaboración al proporcionar y facilitar el uso de las instalaciones necesarias para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación.

A mi asesor, Ing. Alfredo Escobar Arana, y a mi tutor, Ing. Fabricio Ocampo Vedia, por su invaluable orientación, dedicación y valiosas contribuciones a lo largo de este trabajo. Su liderazgo y meticulosa atención fueron esenciales para el desarrollo de cada fase, permitiendo que cualquier desafío o duda que surgiera durante la investigación fuera superado con eficacia, gracias a su profundo conocimiento y experiencia.

DEDICATORIA

A mis padres Abelardo Puerta Velásquez y Margarita Da Silva Rodríguez; por ser el ejemplo de perseverancia, amor y esfuerzo. Dedico este logro con mucho cariño a ustedes, quienes me han formado con valores firmes y me han acompañado en cada paso de mi vida.

A mis hermanos Alixia Puerta Da Silva y Adervado Puerta Da Silva, por compartir conmigo no solo los momentos felices, sino también los retos y dificultades. Este logro también es para ustedes, que han estado presentes en los momentos más importantes de mi vida.

A mi hija Madilexa Castillo Puerta, porque eres la luz que ilumina mi vida y mi mayor inspiración. Todo lo que hago, lo hago pensando en ti, en tu felicidad y en tu futuro. Tu amor incondicional, tu risa contagiosa y tu ternura infinita me han dado la fuerza para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Este logro es un reflejo del profundo amor que siento por ti y de mi deseo de ofrecerte siempre lo mejor. Eres mi razón de ser, mi motor, y dedico este triunfo a ti, con todo mi corazón.

RESUMEN

La presente tesis de grado “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO CEMENTO CON ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y ESCLEROMETRÍA” tiene como objetivo principal la evaluación de la resistencia de las dosificaciones de cemento en un suelo A4 con el ensayo de esclerometría respecto a la compresión simple. Además, se busca establecer la confiabilidad de los resultados de la esclerometría para su aplicación en el control de calidad de capas base y subbase en proyectos viales. Para el desarrollo de este estudio, se aplicaron metodologías que permitieron realizar un análisis estadístico correlacional entre ambos ensayos, con el fin de desarrollar modelos de regresión para estimar la resistencia a la compresión del suelo cemento. Como resultado, se obtuvieron ecuaciones exponenciales ($y = 0.591 e^{0.086x}$) y ($y = 1.178e^{0.054x}$), correspondiente a dosificaciones 5% y 7% de cemento, respectivamente, identificándose como las más adecuadas y confiables para estimar la resistencia del suelo cemento mediante esclerometría. Al comparar los valores promedio de la resistencia a la compresión con las estimaciones derivadas de los modelos ajustados, se identificó una discrepancia notable respecto al modelo propuesto por el fabricante del equipo (esclerómetro Silver Schmidt). Esta diferencia refuerza que los modelos desarrollados en este estudio representan una alternativa viable y confiable para aplicar el ensayo de esclerometría en el control de calidad de bases y subbases de suelo cemento.

ABSTRACT

The main objective of this thesis “EVALUATION OF THE STRENGTH OF CEMENT SOIL WITH SIMPLE COMPRESSION AND SCLEROMETRY TESTS” is to evaluate the strength of cement dosages in an A4 soil with the sclerometry test with respect to simple compression. In addition, it seeks to establish the reliability of the sclerometry results for its application in the quality control of base and subbase layers in road projects. For the development of this study, methodologies were applied to perform a correlational statistical analysis between both tests, in order to develop regression models to estimate the compressive strength of soil cement. As a result, exponential equations ($y = 0.591 e^{0.086x}$) and ($y = 1.178e^{0.054x}$), corresponding to 5% and 7% cement dosages, respectively, were obtained, being identified as the most adequate and reliable to estimate the strength of soil cement by sclerometry. When comparing the average values of compressive strength with the estimates derived from the adjusted models, a notable discrepancy was identified with respect to the model proposed by the equipment manufacturer (Silver Schmidt sclerometer). This difference reinforces that the models developed in this study represent a viable and reliable alternative to apply the sclerometry test in the quality control of soil cement bases and subbases.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
1 GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1 Descripción del Problema.....	4
1.3.2 Formulación del Problema.....	5
1.4 HIPÓTESIS.....	5
1.5 OBJETIVOS.....	5
1.5.1 Objetivo General.....	5
1.5.2 Objetivo Específico	6
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.7 METODOLOGÍA	7
1.8 ALCANCES.....	8
CAPITULO II.....	10
2 MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 INGENIERÍA GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS	10
2.1.1 Estudio geotécnico.....	10
2.1.2 Muestreo del suelo.....	11
2.1.3 Tipo de muestras.....	11
2.1.4 Preparación de muestras de suelo.....	11
2.1.5 Ensayos de caracterización del suelo.....	13

2.1.5.1	Contenido de Humedad	13
2.1.5.2	Análisis granulométrico de suelo por tamizado.....	13
2.1.5.3	Límites de Atterberg	13
2.1.5.4	Clasificación del suelo.....	14
2.2	ESTABILIZACIÓN DEL SUELO	16
2.2.1	Tipos de estabilización del suelo.....	17
2.2.1.1	Estabilización mecánica.....	17
2.2.1.2	Estabilizaciones físicas	17
2.2.1.3	Estabilización química.....	18
2.2.1.4	Estabilización físico-química.....	18
2.3	SUELO CEMENTO.....	18
2.3.1	Clasificación del suelo cemento	19
2.3.1.1	Suelo cemento compactado	19
2.3.1.2	Suelo modificado con cemento.....	20
2.3.1.3	Suelo estabilizado con cemento.....	20
2.3.1.4	Suelo-cemento plástico.....	20
2.3.1.5	Base granular tratada con cemento	21
2.3.1.6	Pavimentos uni-capa de alto desempeño	21
2.3.1.7	Pavimentos reciclados con cemento	22
2.3.2	Materiales para la elaboración del suelo cemento	22
2.3.2.1	Suelo	22
2.3.2.2	Cemento portland.....	24
2.3.2.3	Aditivos y adiciones.....	26

2.3.2.4	Agua.....	26
2.3.3	Propiedades del suelo cemento.....	27
2.3.3.1	Densidad	27
2.3.3.2	Resistencia a la compresión.....	27
2.3.3.3	Resistencia a flexión	28
2.3.3.4	Retracción	28
2.3.3.5	Módulo de elasticidad.....	29
2.3.3.6	Resistencia al desgaste.....	30
2.3.3.7	Permeabilidad	30
2.4	DISEÑO DE LA MEZCLAS DEL SUELO-CEMENTO.....	31
2.3.4	Método de la Portland Cement Association (PCA).....	31
2.3.4.1	Norma general de dosificación	31
2.3.4.2	Norma simplificada de dosificación	32
2.3.5	Criterios de dosificación para la mezcla del suelo cemento.....	33
2.5	CONFIABILIDAD Y VALIDEZ	38
2.3.6	Confiabilidad	38
2.3.7	Validez.....	40
2.6	CORRELACIÓN Y REGRESIÓN	42
2.3.8	Correlación	42
2.3.9	Regresión	43
	CAPITULO III	46
3	DESARROLLO METODOLÓGICO	46
3.1	DISEÑO METODOLÓGICO	46

3.1.1	Diseño, enfoque y tipo de investigación.....	46
3.1.1.1	Diseño de investigación.....	46
3.1.1.2	Enfoque de investigación.....	47
3.1.1.3	Tipo de investigación.....	47
3.1.2	Identificación y operacionalización de variables de investigación	48
3.1.2.1	Identificación de variables de investigación	48
3.1.2.2	Operacionalización de variables de investigación	49
3.1.3	Población y muestra de estudio	54
3.1.3.1	Población	54
3.1.3.2	Muestra	54
3.1.4	Materiales de la muestra de estudio.....	54
3.1.5	Procedimientos e instrumentos de investigación.....	55
3.2	DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO	57
3.2.1	Recopilación de información.....	58
3.2.2	Ubicación geotécnica.....	60
3.2.3	Operación de sondeo geotécnico	61
3.2.4	Extracción del suelo en estudio	62
3.2.5	Preparación del suelo como material de estudio	64
3.2.6	Ensayos de caracterización geotécnica.....	65
3.3	DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	66
3.4	EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA EN SUELO CEMENTO.....	68
	CAPITULO IV	70
4	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	70

4.1	ENSAYOS DE LABORATORIO	70
4.1.1	Contenido de humedad	71
4.1.1.1	Generalidades.....	71
4.1.1.2	Materiales y equipos	71
4.1.1.3	Muestra de ensayo	71
4.1.1.4	Procedimiento	72
4.1.1.5	Cálculos.	73
4.1.1.6	Interpretación de datos.....	74
4.1.2	Granulometría por Tamizado.....	76
4.1.2.1	Generalidades.....	76
4.1.2.2	Materiales y equipos	76
4.1.2.3	Muestra de ensayo	77
4.1.2.4	Procedimiento	77
4.1.2.5	Cálculos.	79
4.1.2.6	Interpretación de datos.....	81
4.1.3	Límites de consistencia.....	83
4.1.3.1	Generalidades.....	83
4.1.3.2	Materiales y equipos	84
4.1.3.3	Muestra de ensayo	84
4.1.3.4	Procedimiento del ensayo	85
4.1.3.5	Cálculos.	88
4.1.3.6	Interpretación de datos.....	89
4.1.4	Clasificación de Suelos.....	91

4.1.4.1	Generalidades.....	91
4.1.4.2	Interpretación de datos.....	92
4.1.5	Relaciones de humedad - peso unitario de la mezcla de suelo cemento	95
4.1.5.1	Generalidades.....	95
4.1.5.2	Materiales y equipo.....	95
4.1.5.3	Muestra de ensayo	96
4.1.5.4	Procedimiento	97
4.1.5.5	Cálculos	99
4.1.5.6	Interpretación de datos.....	100
4.1.6	Elaboración de probetas cilíndricas de suelo cemento	102
4.1.6.1	Generalidades.....	102
4.1.6.2	Materiales y equipo.....	103
4.1.6.3	Muestra de ensayo	103
4.1.6.4	Procedimiento	104
4.1.6.5	Cálculos	108
4.1.6.6	Interpretación de datos.....	108
4.1.7	Durabilidad por humedecimiento y secado de suelo cemento	112
4.1.7.1	Generalidades.....	112
4.1.7.2	Materiales y equipo.....	113
4.1.7.3	Muestra de ensayo	113
4.1.7.4	Procedimiento de ensayo	114
4.1.7.5	Cálculos	116
4.1.7.6	Interpretación de datos.....	117

4.1.8	Resistencia a la compresión simple para suelo cemento	122
4.1.8.1	Generalidades.....	122
4.1.8.2	Materiales y equipo.....	122
4.1.8.3	Muestra de ensayo	122
4.1.8.4	Procedimiento del ensayo	123
4.1.8.5	Cálculos	124
4.1.8.6	Interpretación de datos.....	124
4.1.9	Índice de rebote del suelo cemento mediante el ensayo de esclerometría.....	128
4.1.9.1	Generalidades.....	128
4.1.9.2	Materiales y equipo.....	128
4.1.9.3	Muestra de ensayo	128
4.1.9.4	Procedimiento de ensayo	129
4.1.9.5	Cálculos	130
4.1.9.6	Interpretación de datos.....	131
4.2	PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA EVALUACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL SUELO CEMENTO	133
4.2.1	Preparación e ingreso de datos	133
4.2.2	Prueba de normalidad de los datos	135
4.2.3	Prueba correlación y regresión.....	136
4.2.4	Interpretación de datos.....	137
4.3	ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO CEMENTO MEDIANTE EL ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	149

4.4	RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN	155
	CAPITULO V	159
5	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN	159
5.1	CONCLUSIÓN	159
5.2	RECOMENDACIONES	160
	BIBLIOGRAFÍA	162
	ANEXOS	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Estado de transformación de los Límite de Atterberg	13
Tabla 2. 2 Sistema de clasificación AASHTO, grupos y materiales de suelos.	15
Tabla 2. 3 Sistema de clasificación SUCS, símbolos y descripción del suelo.	16
Tabla 2. 4 Grupos de suelos como material de suelo-cemento.	23
Tabla 2. 5 Clasificación y composición de los cementos.	25
Tabla 2. 6 Tipos de cemento elaborado por las productoras de cemento en Bolivia.	26
Tabla 2. 7 Requisitos típicos de cemento para varios tipos de suelo.....	34
Tabla 2. 8 Criterios PCA para cemento de suelo según lo indicado por las pruebas de durabilidad de mojado y secado y congelación y descongelación.	35
Tabla 2. 9 Valores Típicos de Resistencia a compresión simple a 7 y 28 días	37
 Tabla 3. 1 Operacionalización de variables.....	 50
Tabla 3. 2 Fase 1. Actividades - Estudio geotécnico.....	55
Tabla 3. 3 Fase 2. Actividades - Diseño la mezcla del suelo cemento.	56
Tabla 3. 4 Fase 3. Actividades – Evaluación de la resistencia del suelo cemento con los ensayos de esclerometría y compresión simple.....	57
Tabla 3. 5 Registro del sondeo geotécnico.	62
 Tabla 4. 1 Masa mínima requerida para muestra húmedas según el tamaño máximo de partículas.....	 72
Tabla 4. 2 Resultados del ensayo de contenido de humedad del suelo	74
Tabla 4. 3 Masa mínima requerida según el tamaño máximo de partícula	77

Tabla 4. 4 Resultados del ensayo análisis granulométrico.	81
Tabla 4. 5 Tamaño de muestra requerida según su límite de consistencia.....	85
Tabla 4. 6 Resultados del ensayo límites de Atterberg o consistencia.	89
Tabla 4. 7 Resultados de la clasificación de suelo.	92
Tabla 4. 8 Ensayo ASTM D558, tamaño aproximado de la muestra seca según su granulometría.....	96
Tabla 4. 9 Ensayo ASTM D558, número de capas y golpes para compactado.....	97
Tabla 4. 10 Resultados óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca para mezclas de suelo cemento, según el método de Proctor modificado.	100
Tabla 4. 11 Resultados de la elaboración de probetas de suelo cemento con dosificaciones aplicadas en el suelo tipo A4 (IG-1).....	109
Tabla 4. 12 Ensayo ASTM D559 - Tamaño de muestra de suelo según su granulometría.	114
Tabla 4. 13 Resultados del ensayo de humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas.....	117
Tabla 4. 14 Resultados del ensayo de compresión simple, realizadas en probetas cilíndricas de suelo cemento.	124
Tabla 4. 15 Resultados del ensayo de esclerometría (número o índice de rebote), realizadas en probetas cilíndricas de suelo cemento.	131
Tabla 4. 16 Resultados prueba de normalidad mediante el sistema de software estadístico (SPSS).....	138
Tabla 4. 17 Resultados de correlación y regresión del ajuste de curva para modelos lineales y no lineales mediante el sistema de software estadístico (SPSS).	139

Tabla 4. 18 Resultado de la estimación de la resistencia a compresión del suelo cemento mediante modelos de curva de ajuste determinados en el programa SPSS y el modelo proporcionado por el fabricante (esclerómetro Silver Schmidt).	150
Tabla 4. 19 Diferencia entre el promedio de la resistencia a compresión y su estimación mediante modelos de curva de ajuste en suelo cemento, suelo tipo A4 (IG-1) con dosificación del 5% de cemento.	152
Tabla 4. 20 Variación de diferencia entre el promedio de la resistencia a compresión y su estimación mediante modelos de curva de ajuste en suelo cemento, suelo tipo A4 (IG-1) con dosificación del 7% de cemento.	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4. 1 Campus Universidad Amazónica de Pando-Barrio Las Palmas	70
Figura 4. 2 Contenido de humedad del suelo según su profundidad.....	75
Figura 4. 3 Distribución granulométrica del suelo y requerimientos para materiales estabilizados con cemento.....	82
Figura 4. 4 Límites de Atterberg del suelo en estudio.....	91
Figura 4. 5 Carta de plasticidad del sistema SUCS, para la clasificación de suelos.....	93
Figura 4. 6 Carta de plasticidad del sistema SUCS, para la clasificación de suelos.....	94
Figura 4. 7 Relación del peso unitario máximo seco y el óptimo contenido de humedad del suelo cemento.....	102
Figura 4. 8 Promedio del peso unitario máximo seco de las probetas cilíndricas de suelo cemento realizadas.....	110
Figura 4. 9 Grado de compactación de probetas cilíndricas de suelo cemento.....	112
Figura 4. 10 Variación de la máxima de absorción de agua del suelo cemento.	118
Figura 4. 11 Variación de volumen de probetas cilíndricas de suelo cemento en estado húmedo y seco.....	120
Figura 4. 12 Desgaste del suelo cemento por cepillado.	121
Figura 4. 13 Resistencia a compresión del suelo cemento, (correspondiente al proceso de diseño de mezcla).....	126
Figura 4. 14 Resistencia a compresión del suelo cemento, (correspondiente al proceso de la evaluación con ensayos de esclerometría y compresión simple.)	127
Figura 4. 15 Índice o número de rebote.....	132
Figura 4. 16 Proceso del ingreso de datos (software SPSS).....	134

Figura 4. 17 Proceso de la prueba de normalidad (software SPSS).	136
Figura 4. 18 Proceso de la correlación y regresión del ajuste de curva para modelos lineales y no lineales.	137
Figura 4. 19 Histograma de distribución del índice de rebote y la resistencia a compresión, para probetas cilíndricas de suelo cemento	142
Figura 4. 20 Gráfico de dispersión entre el índice de rebote y la resistencia a compresión, de la mezcla compactada del suelo tipo A4 (IG-1) con una dosificación del 5% de cemento (suelo cemento). 146	146
Figura 4. 21 Gráfico de dispersión entre el índice de rebote y la resistencia a compresión, de la mezcla compactada del suelo tipo A4 con una dosificación del 7% de cemento (suelo cemento).	148
Figura 4. 22 Comparación de la resistencia a compresión y su estimación mediante modelos de curva de ajuste en suelo cemento, suelo tipo A4 (IG-1) con dosificación del 5% de cemento.	151
Figura 4. 23 Comparación de la resistencia a compresión y su estimación mediante modelos de curva de ajuste en suelo cemento, suelo tipo A4 (IG-1) con dosificación del 7 % de cemento.....	153

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 3. 1 Operación sondeo geotécnico.....	61
Imagen 3. 2 Extracción de toma de muestra de suelo.	63
Imagen 3. 3 Secado y disgregación del suelo aglomerado.	64
Imagen 3. 4 Proceso de preparación de muestras de suelo por cuarteo.....	65
Imagen 4. 1 Ensayo contenido de humedad.	73
Imagen 4. 2 Procedimientos del ensayo de granulometría.	79
Imagen 4. 3 Procedimiento del ensayo límites de consistencia.....	87
Imagen 4. 4 Procedimiento del ensayo para el óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca, para mezclas de suelo cemento, según el método de Proctor modificado. .	99
Imagen 4. 5 Procedimiento de la elaboración de probetas de ensayo con mezcla de suelo cemento.....	106
Imagen 4. 6 Procedimiento del ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado. .	115
Imagen 4. 7 Procedimiento del ensayo de compresión simple.....	123
Imagen 4. 8 Procedimiento ensayo de esclerometría.	129
Imagen A. 1 Instrumento de medición: Prensa Hidráulica.....	168
Imagen A. 2 Instrumento de medición: Esclerómetro Silver Schmidt (Modelo N).	168
Imagen A. 3 Muestras ensayadas: Ensayo a compresión simple del suelo cemento (dosificaciones de 5% y 7% de cemento con suelo tipo A4 IG-1).	169
Imagen A. 4 Muestras ensayadas: Ensayos de esclerometría o índice de rebote del suelo cemento (dosificaciones de 5% y 7% de cemento para un suelo tipo A4 IG-1).	170

Imagen A. 5 Muestras ensayadas: Ensayos de durabilidad por humedecimiento y secado de suelo cemento (dosificaciones de 5% y 7% de cemento para un suelo tipo A4 IG-1).171

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Instrumentos de medición y muestras ensayadas.

ANEXO B: Planillas de ensayos de laboratorio.

ANEXO C: Pruebas estadísticas mediante el sistema de software statistical package for social sciences (spss).

ANEXO D: Estimaciones de la resistencia del suelo cemento.

CAPÍTULO I

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción de estructuras viales, la resistencia del suelo cemento es un requerimiento fundamental para garantizar la calidad y seguridad de las bases o subbases utilizadas en diferentes proyectos. En Bolivia, los parámetros de calidad del suelo cemento son establecidos por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), que se basa en la metodología de diseño y control desarrolladas por la Portland Cement Association (PCA).

El método más utilizado para el control de la resistencia del suelo cemento es el ensayo de resistencia a la compresión (ASTM D1633). Sin embargo, para materiales como el concreto también existen otros métodos alternativos no destructivos, como el ensayo de esclerometría o índice de rebote mediante el uso del equipo “Martillo SCHMIDT” que se estandariza por la norma (ASTM C805). En la cual, mediante el uso de curvas correlacionales, se puede estimar de una forma rápida la resistencia a la compresión del concreto, lo que facilita la obtención de resultados en campo y agiliza el desarrollo de los proyectos de construcción.

En el caso del diseño de mezcla del suelo cemento, se trata de un proceso esencial que busca mejorar las propiedades mecánicas de un suelo específico, mediante una dosificación adecuada de la cantidad de cemento y una relación óptima entre la densidad y la humedad de la mezcla. Esto asegura la creación de un material sólido y estable que promueve una distribución eficiente de cargas y la resistencia de las infraestructuras viales.

En este sentido, se busca implementar el ensayo esclerométrico como una alternativa eficiente y rápida para estimar la resistencia a la compresión en materiales como el suelo cemento. Por lo tanto, el objetivo de la presente propuesta de investigación es evaluar la resistencia de las dosificaciones de cemento en un suelo A4 con el ensayo de esclerometría respecto a la compresión simple y establecer la confiabilidad de sus resultados para su aplicación en el control y calidad de bases o subbases en proyectos viales.

Este documento también presenta el marco teórico, que intervienen fundamentos teóricos, científicos y normativos para sustentar la predicción y desarrollo de esta tesis.

Asimismo, expone las problemáticas identificadas, la formulación del problema, objetivos principales y específicos que se pretenden alcanzar.

El marco metodológico, especifica el tipo y diseño de investigación. Además, de describir de las actividades, materiales, normativas, equipos y herramientas necesarios para abordar cada aspecto específico del estudio.

Finalmente, se explican los términos técnicos y los conceptos clave que facilitan la obtención de los resultados esperados durante el desarrollo de esta investigación. Esto incluye el análisis y comparaciones para confirmar o refutar la hipótesis propuesta.

1.2 ANTECEDENTES

La evaluación de la resistencia del suelo cemento mediante ensayos de compresión simple y esclerometría ha sido objeto de una revisión bibliográfica exhaustiva, la cual evidencia la escasez de información disponible sobre este tema de investigación. Sin embargo, existen estudios relevantes en el campo de la evaluación de la resistencia del concreto a través del equipo manual esclerómetro, demostrado su capacidad para estimar con precisión la resistencia a compresión del material, al respecto se encontraron algunas

investigaciones destacadas sobre la evaluación de la resistencia del concreto mediante este método:

A nivel internacional, Gavilanes (2023) llevó a cabo una investigación titulada "Correlación de la resistencia del concreto entre ensayos destructivos (resistencia a la compresión) y no destructivos (martillo de Schmidt)". Este estudio, realizado en la ciudad de Azogues, Ecuador, tuvo como objetivo principal desarrollar un modelo que correlacione los resultados obtenidos a través del ensayo de esclerometría con los del ensayo de resistencia a la compresión. La investigación se efectuó bajo condiciones controladas en un laboratorio, lo que permitió garantizar la precisión y la fiabilidad de los datos obtenidos, reforzando la validez de las correlaciones propuestas. Este antecedente es relevante para estudios que buscan establecer relaciones precisas entre métodos de ensayo destructivos y no destructivos en el ámbito de la resistencia del concreto. Para ello, se analizaron 96 especímenes de concreto subdividido en 3 diseños de resistencias distintas (210, 240 y 300 kg/cm²) con edades de (5, 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días de edad. En la cual, se presentaron gráficas con las correlaciones entre número de rebote y resistencia a la compresión. Después de evaluar el margen de error de los modelos utilizados, se identificó solo una ecuación con un menor porcentaje de variación, lo que indicaba una mayor precisión en la estimación de la resistencia a compresión. Donde, se estableció que el esclerómetro no es efectivo en las primeras etapas del proceso, ya que no proporciona valores de rebote que se relacionen adecuadamente con la resistencia del material.

A nivel nacional Calle (2016), desarrolla una investigación en la ciudad de la Paz-Bolivia titulado "evaluación correcta del hormigón mediante ensayos esclerométricos". Cuyo objetivo principal es la evaluación de la aplicación del ensayo No destructivo de

esclerometría para la previsión de la resistencia a compresión del hormigón. Para ello, se realizó la comprobación de la mencionada técnica no destructiva en tres series de hormigón con f_{ck} de 21 MPa, 25 MPa y 30 MPa evaluados en laboratorio y se establecieron correlaciones por medio de análisis estadístico para obtener la función que mejor represente la correlación entre índice esclerométrico y resistencia a compresión. Las correlaciones fueron efectuadas para ambos casos (esclerometría y compresión simple), para los ensayos realizados en laboratorio y para los ensayos realizados en las cuatro obras mencionadas. Lamentablemente, la publicación presenta limitaciones significativas, debido a la ausencia de los resultados obtenidos durante la investigación. Esta carencia impide una evaluación completa de la validez y aplicabilidad de los métodos esclerométricos en la determinación de la resistencia del hormigón, restringiendo de sobre manera su aporte a nuestro estudio.

A nivel regional, no se evidencia investigaciones previas que aborden de manera específica esta temática.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Descripción del Problema

En el Municipio de Cobija, el suelo cemento es un material que se utiliza frecuentemente en la construcción de vías. Esto se debe a beneficios, como la mejora en la calidad y la capacidad de soporte de los suelos de grano fino que generalmente predominan en la región, como ser el suelo tipo A4, lo que influye positivamente en la durabilidad de las estructuras viales. Además, que el suelo cemento resulta ser una opción más económica en comparación con otros materiales de construcción, lo que lo convierte en una alternativa atractiva para los proyectos viales.

Sin embargo, para garantizar la calidad y seguridad de estas estructuras es necesario contar con métodos de evaluación efectivos y confiables que permitan controlar las propiedades requeridas, como la resistencia a la compresión de las bases o subbases de suelo cemento. Donde, surge la necesidad de investigar y documentar de manera adecuada nuevas técnicas alternativas, como el ensayo de esclerometría, que es considerado un método indirecto no destructivo para estimar la resistencia a la compresión de materiales in situ.

1.3.2 Formulación del Problema

¿En qué medida el ensayo de esclerometría permite evaluar de manera confiable la resistencia de dosificaciones de suelo cemento diseñadas para un suelo A4, en comparación con los resultados obtenidos mediante el ensayo de compresión simple, para su aplicación en el control de calidad de bases y subbases en proyectos viales?

1.4 HIPÓTESIS

La evaluación de la resistencia de dosificaciones de suelo cemento diseñadas para un suelo tipo A4, permitirá establecer la confiabilidad del ensayo de esclerometría respecto al ensayo de compresión simple para su aplicación en el control de calidad de capa base y capa subbases en proyectos viales.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General.

Evaluar la resistencia de las dosificaciones de cemento en un suelo A4 con el ensayo de esclerometría respecto a la compresión simple y establecer la confiabilidad de sus resultados para su aplicación en el control de calidad de capa base y capa subbases en proyectos viales.

1.5.2 Objetivo Específico

- Realizar estudios geotécnicos, para identificar un punto de acopio del material (suelo A4).
- Diseñar la mezcla del suelo cemento para la elaboración de probetas cilíndricas de ensayo.
- Evaluar la resistencia del suelo cemento a partir de los resultados obtenidos de los ensayos de esclerometría y compresión simple.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La investigación se fundamenta en la necesidad de optimizar y garantizar la calidad de las estructuras construidas con suelo cemento, un material ampliamente utilizado en obras civiles, especialmente en regiones donde los recursos económicos y materiales son limitados. Este estudio se realiza con el propósito de profundizar en el entendimiento de las propiedades mecánicas del suelo cemento, evaluando su comportamiento ante cargas mediante métodos destructivos (compresión simple) y no destructivos (esclerometría). Lo que permitirá establecer parámetros más confiables para su uso en la construcción, garantizando estructuras más duraderas y seguras.

La importancia de este proyecto de investigación radica en su capacidad para contribuir al desarrollo de metodologías alternativas no destructivas, como el ensayo de esclerometría, que permitirá estimar de manera eficiente y precisa la resistencia a compresión del suelo cemento. Aunque este método ha sido ampliamente probado en el concreto, su aplicación en suelos tipo A4 estabilizados con cemento aún no ha sido suficientemente documentada. Por ello, esta tesis no solo busca evaluar la viabilidad de la

esclerometría en este tipo de material, sino también contribuir al avance del conocimiento científico en el ámbito de la ingeniería geotécnica y de materiales.

Además, la evaluación que se establecerá entre los resultados de esclerometría y compresión simple será fundamental para desarrollar una metodología más práctica en el control de calidad de proyectos viales. La posibilidad de emplear una técnica no destructiva con alta confiabilidad permitirá optimizar los procesos de evaluación en obras viales, reduciendo costos económicos y acelerando los tiempos de ejecución sin comprometer la precisión de los resultados.

Por lo tanto, esta tesis de grado generará nuevas soluciones tecnológicas para el control de calidad en la construcción vial, ofreciendo métodos modernos, accesibles y de rápida implementación. Asimismo, el conocimiento generado podrá replicarse en otros contextos regionales, contribuyendo al avance del sector de la construcción en su conjunto.

1.7 METODOLOGÍA

a investigación adopta un diseño experimental con un enfoque cuantitativo, lo que permite evaluar objetivamente la resistencia del suelo cemento mediante ensayos de esclerometría y compresión simple. Este enfoque fue seleccionado por su capacidad para generar datos numéricos y precisos, necesarios para establecer una correlación confiable entre ambos métodos de evaluación de resistencia. Esta correlación permitirá validar el uso de la esclerometría como método complementario en el control de calidad en obras viales.

Para alcanzar los objetivos específicos, se desarrollarán las siguientes fases:

1. Estudios geotécnicos: Se identificarán y caracterizarán los suelos tipo A4 mediante ensayos de campo, lo que permitirá seleccionar el sitio de acopio adecuado. Esta fase

es fundamental para garantizar que las muestras utilizadas sean representativas y cumplan con los requisitos para su uso en bases y subbases viales.

2. Diseño de mezcla y elaboración de probetas: Se elaborará una dosificación de suelo cemento en laboratorio, siguiendo normas técnicas, para elaborar probetas cilíndricas que serán sometidas a los ensayos. Este paso es clave para asegurar la uniformidad en los materiales probados y la comparabilidad de los resultados.
3. Ensayos de resistencia: Se ejecutarán ensayos de compresión simple y esclerometría en las probetas elaboradas. El ensayo de compresión simple proporcionará la resistencia máxima del material, mientras que el martillo esclerométrico permitirá obtener datos no destructivos para la correlación con los resultados de compresión.

Las herramientas seleccionadas, como el martillo esclerométrico y la máquina de compresión hidráulica, son adoptadas por su precisión y aceptación en la industria de la construcción. Estas herramientas permitirán obtener resultados confiables que, al compararse, proporcionarán productos parciales como la correlación entre ambos métodos de ensayo, contribuyendo al control de calidad en proyectos viales.

1.8 ALCANCES

El alcance se extiende a la evaluación de la resistencia del suelo cemento a través de ensayos de esclerometría y compresión simple, así como a la correlación de los resultados obtenidos. Se abarcará los siguientes puntos:

- El estudio se centrará exclusivamente en suelos clasificados como A4, de acuerdo con el sistema de clasificación AASHTO, que sean representativos del área de estudio y comunes en la construcción de proyectos viales.

- Se analizarán diferentes dosificaciones de cemento para estabilizar el suelo A4, con el fin de determinar cómo afecta la cantidad de cemento a la resistencia del material.
- Se llevarán a cabo ensayos de compresión simple y esclerometría en las muestras de suelo cemento, siguiendo procedimientos normalizados, para comparar los resultados obtenidos de ambos métodos.
- El estudio evaluará la correlación entre los resultados de ambos ensayos (compresión simple y esclerometría), estableciendo su confiabilidad y consistencia en su aplicación para el control de calidad de capas base y subbase.

La investigación se limitará a la ejecución de ensayos en ambientes controlados, dentro del Laboratorio de Suelos y Hormigones de la Carrera de Ingeniería Civil, excluyendo la aplicación práctica en proyectos viales. También se excluirá un análisis detallado de los costos relacionados con la implementación de los ensayos de esclerometría en materiales de suelo cemento.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 INGENIERÍA GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS

En la ingeniería civil, todos los elementos estructurales son apoyados sobre el suelo. Además de su uso común como material de construcción, el estudio de las propiedades y el comportamiento del suelo es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras civiles. En la ingeniería geotécnica (Das B. M., 2013) afirma que:

Es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra. (p.1)

Por otro lado, para determinar las características mecánicas del suelo, es fundamental analizar sus propiedades físicas, como la textura, color, distribución granulométrica, consistencia, compresibilidad, entre otras. Estas propiedades son esenciales para entender el comportamiento del suelo y su capacidad de soportar cargas, lo que impacta directamente en la estabilidad de las estructuras.

2.1.1 Estudio geotécnico

Es el estudio del suelo, comprendido por un conjunto de actividades que permite desarrollar información de las propiedades y características geotécnica de un terreno, para la elaboración de proyectos de construcción (Arroyo, 2019).

Las actividades para el estudio de los suelos, se dividen en las siguientes fases:

Trabajo de gabinete inicial: Se realiza la búsqueda de fuentes bibliografía que aporten conocimientos sobre el área de estudio (Arroyo, 2019).

Trabajo de campo y laboratorio: Aplica la exploración visual del terreno y la ejecución de ensayos de campo y laboratorio (Arroyo, 2019).

Trabajo de gabinete final: Clasifica y analiza los resultados de la información obtenida en el desarrollo de las actividades realizadas (Arroyo, 2019).

2.1.2 Muestreo del suelo

El muestreo del suelo es un proceso que implica la toma de muestras representativas del subsuelo con técnicas, procedimientos e interpretaciones diferentes, las cuales están influenciadas por condiciones geológicas y geográficas. Donde, la importancia de una realización adecuada de pruebas de muestreo, permite la identificación de riesgos geotécnicos y asegurar la seguridad de una construcción civil (ABC, 2011).

2.1.3 Tipo de muestras

Muestras Inalteradas: Se obtienen mediante métodos y procedimientos como cortes manuales por excavaciones a cielo abierto o la extracción con tubos de pared delgada, a fin de maximizar la conservación de la estructura natural del suelo, el contenido de humedad y la porosidad, se utilizan técnicas como el impermeabilizando con tela de manta y parafina (Trejo & López, 2006).

Muestras alteradas: Son métodos que utiliza herramientas específicas, para el perforado del suelo y provocando la modificación de la estructura natural del suelo, en su recolección la conservación del contenido de humedad se mantiene en frascos o bolsas parafinadas (Trejo & López, 2006).

2.1.4 Preparación de muestras de suelo

Preparación en seco de muestras de suelo: Este método se describe en los estándares ASTM D421, ASTM D2217 y AASHTO T87 e implica el proceso de preparar

las muestras de suelo secas tal como se reciben del campo para el análisis granulométrico y la determinación de las constantes físicas del suelo. Este método se utiliza cuando se necesita obtener estas características de muestras secadas al aire o cuando se sabe que el proceso de secado no afectará los resultados (ABC, 2011).

Preparación de muestras húmedas de suelo: Este método se describe en el estándar ASTM D2217 y se refiere a la preparación de las muestras tal como se reciben del campo, es decir, con su humedad natural, para llevar a cabo el análisis granulométrico y la determinación de las constantes físicas del suelo (ABC, 2011).

Existen dos métodos para preparar muestras húmedas de suelo: el método "A" y el método "B". El método "A" se utiliza para realizar el secado de las muestras a una temperatura que no excede los 60°C (140°F) después de hacer la separación de la muestra mediante el tamiz de 2.0 mm (No.10), o de 425 mm (No.40) o de ambos. El método "B" establece que la muestra debe mantenerse a una humedad igual o mayor que su contenido natural de agua (ABC, 2011).

Es importante tener en cuenta que el procedimiento que se deba emplear para la preparación de muestras húmedas de suelo deberá estar indicado en la especificación del material que se va a ensayar, y en caso de no estar definido, se deben aplicar los requisitos del método "B" (ABC, 2011).

Preparación de muestras de suelos por cuarteo: Este método se describe en el estándar AASHTO T248, es un proceso utilizado para dividir las muestras de suelo obtenidas en el campo en porciones representativas y con el tamaño adecuado para llevar a cabo los diferentes ensayos necesarios (ABC, 2011).

Existen procedimientos manuales y mecánicos, la elección del método dependerá del tamaño de la muestra de campo y del tamaño de muestra requerida para los ensayos (ABC, 2011).

2.1.5 Ensayos de caracterización del suelo

2.1.5.1 Contenido de Humedad

Es la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado por el método estándar ASTM D2216. Se define como una relación expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros del suelo y la masa de las partículas sólidas del mismo (ABC, 2011).

2.1.5.2 Análisis granulométrico de suelo por tamizado

Consiste en la determinación del porcentaje acumulado que pasa a través de mallas estandarizadas de diferentes aberturas, proporcionando el tamaño máximo de cada una de ellas. (Das B. M., 2011).

2.1.5.3 Límites de Atterberg

Das B. M. (2011) explica que los límites de Atterberg es la naturaleza del comportamiento cohesivo de la arcilla, el cual está estrechamente relacionada con su contenido de humedad, clasificándose en diferentes estados de transformación (sólido, semisólido, plástico y líquido).

Tabla 2.1

Estado de transformación de los Límite de Atterberg.

Límite de Atterberg	Estados de transformación
Límite de Contracción	Sólido a Semisólido
Límite Plástico	Semisólido a Plástico
Límite Líquido	Plástico a Líquido

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica de Das B. M (2013).

El límite líquido y plástico se establecen en el estándar ASTM D4318, la diferencia de estos estados de transformación se define como el índice de plasticidad y el límite de contracción se designa en el estándar ASTM D427 (Das B. M., 2011).

2.1.5.4 Clasificación del suelo

La clasificación del suelo es un sistema utilizado para categorizar los suelos en grupos y subgrupos en función a propiedades ingenieriles como la distribución granulométrica, el límite líquido y el límite plástico. (Das B. M., 2011)

En la ingeniería civil los principales métodos estandarizados para la clasificación de los suelos son: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), este sistema es utilizado generalmente en menciones viales; (Unified Soil Classification System (SUCS), usado preferentemente por los ingenieros geotécnicos para el diseño de cimentaciones (Das B. M., 2013).

Sistema de clasificación AASHTO. Este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Ha sido objeto de varias revisiones, con la actual versión propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en 1945 (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145) (Das B. M., 2013, p.78).

La clasificación AASHTO utilizado actualmente, especifica los grupos de agregados de suelo según lo descrito en la *Tabla 2.2*. Das B. M. (2011) explica que “los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso, y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son

materiales de grano fino. La turba, el fango y otros suelos altamente orgánicos se clasifican en el grupo A-8 y se identifican mediante una inspección visual”. (p.18)

Tabla 2. 2

Sistema de clasificación AASHTO, grupos y materiales de suelos.

Clasificación general	Clasificación				Tipo usual de materia	Calificación
	Grupos	Subgrupos				
Materiales Granulares (pasa menos del 35% pasa la malla #200)	A-1	A-1-a	A-1-b		Fragmentos de piedra, grava y arena	Excelente a buena
	A-3				No Plástico, arena fina	
	A-2	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	
Material Limo-Arcilla (más del 35% pasa la malla #200)	A-4				Suelos Limosos	Regular a malo
	A-5					
	A-6					
	A-7	A-7-5 ^a	A-7-6 ^b		Suelos Arcillosos	

Fuente: Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (Das B. M., 2011).

Sistema de clasificación SUCS. El Sistema unificado de clasificación de suelos (Unified Soil Classification System) fue propuesto en 1942 por A. Casagrande. Posteriormente, en 1952 fue revisado en cooperación con el U.S. Bureau of Reclamation. En la actualidad, es designado por norma ASTM D-2487, siendo uno de los estándares más utilizado por ingenieros de la industria (Das B. M., 2013).

En el sistema unificado la identificación de los suelos se realiza de acuerdo a los siguientes símbolos:

Tabla 2. 3

Sistema de clasificación SUCS, símbolos y descripción del suelo.

Símbolo	Descripción
G	Gravas
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limos orgánicos
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien Graduado
P	Mal graduado

Fuente: Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Das B. M (2013).

Para el sistema de clasificación (USCS) el estándar ASTM D-2487 provee herramientas, que incluyen procedimientos con criterios de pruebas de laboratorio como una gráfica de plasticidad y diagramas de flujo para la asignación de símbolos y nombres de grupos de suelos. Donde, los suelos se dividen en dos categorías: suelos de grano grueso (grava y arena) y suelos de grano fino (limo inorgánico, arcilla inorgánica, limos y arcillas orgánicas) (Das B. M., 2013).

2.2 ESTABILIZACIÓN DEL SUELO

La estabilización de suelos busca modificar las propiedades naturales del suelo con el fin de mejorar su capacidad de resistir las acciones mecánicas y los factores climáticos a largo plazo. Las propiedades que suelen ser modificadas incluyen la resistencia, estabilidad volumétrica, compresibilidad, durabilidad y permeabilidad (Sagüés, 2008).

2.2.1 Tipos de estabilización del suelo

2.2.1.1 Estabilización mecánica

La estabilización mecánica se refiere al proceso de manipulación y compactación de los suelos con el objetivo de aumentar su densidad. Mediante la aplicación de energía mecánica, se disminuyen los espacios vacíos llenos de aire en la masa del suelo, lo que resulta en un incremento del peso por unidad de volumen. De esta manera, se logra un aumento en la resistencia y rigidez del suelo, así como una mejora en su estabilidad volumétrica y una reducción en su permeabilidad (Sagüés, 2008).

2.2.1.2 Estabilizaciones físicas

La estabilización física mas practicada para modificar el suelo es la granulométrica, este proceso implica agregar materiales granulares o cohesivos, o ambos, con el objetivo de mejorar las propiedades del suelo. En función del tamaño de las partículas, se obtienen diferentes beneficios. Las partículas más gruesas aportan fricción, dureza, resistencia al impacto y al desgaste. Las partículas de tamaño intermedio contribuyen al acuñamiento de la estructura, mientras que las partículas más finas actúan como un medio ligante o cohesivo al interactuar con la humedad circundante. Al lograr una granulometría más cerrada, es decir, con partículas más cercanas entre sí, se incrementa la capacidad portante del suelo y se reduce su permeabilidad. Esto se debe a que un mayor número de contactos entre partículas permita una mejor distribución de las cargas y dificulte el paso del agua. Por otro lado, las granulometrías peor graduadas se diseñan para obtener mezclas drenantes, por ejemplo (Serigos, 2009).

2.2.1.3 *Estabilización química*

La estabilización química se logra mediante el intercambio iónico entre las partículas del suelo y un agente estabilizante. Esto se puede lograr utilizando sales neutras (cloruro de sodio, el cloruro de calcio, etc), productos que alteran la tensión superficial y la presión de vapor de las soluciones en comparación con el agua sin estos aditivos, con el fin de mantener la humedad durante la compactación. Otros agentes de estabilización química incluyen ácidos inorgánicos, como el ácido fosfórico o el ácido fluorhídrico, ácidos y sales orgánicos, ciertos polímeros, resinas combinadas y algunos subproductos de la fabricación de papel u otros productos industriales (Serigos, 2009).

2.2.1.4 *Estabilización físico-química*

Estabilización físico-química es un proceso que transforma las propiedades del suelo mediante la incorporación de cementos orgánicos e inorgánicos y materiales impermeabilizantes. Los compuestos utilizados en este proceso incluyen son la cal, el cemento Portland, el asfalto y sus subproductos, el agente estabilizante depende del objetivo. Los materiales arcillosos son adecuados para estabilización con cal, ya que producen cationes y floculación de arcillas, reduciendo su tendencia a dilatarse por incrementos en humedad y disminuyendo el Índice de Plasticidad. El cemento Portland hidrata y produce compuestos que reaccionan con los minerales arcillosos, generando un material cementante con rigidez, resistencia mecánica, estabilidad volumétrica y durabilidad (Serigos, 2009).

2.3 SUELO CEMENTO

El suelo-cemento se define como un proceso que busca mejorar las propiedades del suelo mediante su mezcla con cemento Portland y agua, seguido de una dosificación, compactación y curado para obtener un material endurecido. El objetivo principal de agregar

cemento Portland es aumentar la resistencia y reducir la deformabilidad, permeabilidad y sensibilidad al agua del suelo. Estas mejoras estructurales y de durabilidad aumentan con el tiempo y el incremento del porcentaje de cemento en la mezcla. El suelo-cemento se utiliza principalmente en la construcción de carreteras, revestimientos impermeabilizantes, estabilización de taludes, suelos de fundaciones, construcción de ladrillos y otras aplicaciones menos frecuentes (Serigos, 2009).

2.3.1 Clasificación del suelo cemento

De acuerdo a diferente fuente bibliográfica se puede decir que el suelo cemento, en general se basa en el porcentaje de cemento en la mezcla, la granulometría del suelo, el contenido de humedad y la densidad seca máxima. En la cual, cada uno de estos aspectos permiten determinar las características del suelo-cemento y su adecuación para diferentes aplicaciones. Además, ser una guía para el diseño y construcción de mezclas de suelo-cemento para pavimentos y otras estructuras.

2.3.1.1 Suelo cemento compactado

El suelo cemento compactado o simplemente suelo-cemento, es un material que suele tener dosificaciones de 3% a 7% de cemento, con respecto al peso de los materiales secos, y su resistencia a compresión suele ser superior a 4 MPa. Durante la ejecución del suelo cemento es necesario aplicar un óptimo contenido de agua, para que la mezcla permita una compactación adecuada con el rodillo. En general, el suelo cemento se utiliza como capa de soporte (subbase) para otros materiales tratados con cemento o concreto hidráulico. También se emplea como una capa resistente (base inferior) debajo de capas bituminosas, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.1.2 Suelo modificado con cemento

El suelo mejorado o modificado con cemento se define como la mezcla de suelos grano finos con dosificaciones generalmente inferiores del 2% en peso. Esto con el objetivo de mejorar algunas propiedades del suelo, como reducir cambios volumétricos, incrementar ligeramente el CBR (índice de soporte californiano) o disminuir el índice de plasticidad. No obstante, debido a su limitada resistencia mecánica, se recomienda su aplicación en subrasantes de pavimentos con tráfico ligero y medio. Para tráfico pesado y de alto volumen, se sugiere colocar una subrasante con mayor capacidad de soporte sobre el suelo modificado con cemento, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.1.3 Suelo estabilizado con cemento

El suelo estabilizado con cemento es una mezcla compuesta de suelo, cemento y agua, cuenta con un mínimo de una concentración del 2% en peso de conglomerante. El objetivo es obtener un material que sea rígido y resistente mecánicamente. La importancia de la resistencia mecánica es aún mayor si la fracción granular del suelo es elevada, ya que de esta forma se logrará un material impermeable, estable y capaz de resistir las deformaciones debidas al tráfico a largo plazo. Este material se utiliza en subrasantes o explanadas, especialmente en estructuras de pavimentos para tráfico pesados, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.1.4 Suelo-cemento plástico

El suelo cemento plástico es un material de consistencia fluida que se obtiene a partir de la mezcla de cemento, suelo fino, agua y/o adictivos. Este material se incluye dentro de los denominados por el comité 229R del American Concrete Institute (ACI por su sigla en inglés) materiales de resistencia controlada. Una de las aplicaciones es la construcción de

bases de pavimentos, y su mezcla es diseñada para ser plástica en lugar de fluida. Esto facilita el proceso de colocación y enrasado, y se busca minimizar su contracción. Según la recomendación del ACI, la resistencia a la compresión simple en capas de base de suelo-cemento plástico debería estar entre 3 y 8,5 Mpa, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.1.5 Base granular tratada con cemento

La definición de la Portland Cement Association (PCA) se refiere a una mezcla de agregados pétreos, cemento hidráulico, y agua que al ser compactada y curada forma un pavimento duradero. Aunque es necesario una capa de rodadura bituminosa o de concreto hidráulico, se utiliza como una capa de base en estructuras de pavimentos. Las propiedades estructurales de las bases granulares tratadas con cemento varían dependiendo de la granulometría de los agregados utilizados, la cantidad de cemento, las condiciones de compactación y curado, y su antigüedad. En general, los valores comunes de resistencia a la compresión son entre 3 y 6 Mpa, el módulo de rotura (resistencia a flexotracción) oscila entre 0.7 y 1 Mpa, y el módulo de elasticidad varía entre 7,000 y 14,000 Mpa. Adicionalmente, es importante destacar que las bases granulares tratadas con cemento son conocidas con diferentes nombres, como bases tratadas con cemento o bases de agregados estabilizados con cemento, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.1.6 Pavimentos uni-capa de alto desempeño

El pavimento uni-capa es una estructura de capa única hecha del suelo existente en el camino, mezclado con una porción de cemento Pórtland que suele variar entre 11% y 20% en peso. Esta mezcla compactada al porcentaje de diseño es capaz de soportar las cargas y desgaste producido por el tráfico. Los valores de las propiedades estructurales de los pavimentos Unicapa dependen del tipo de suelo utilizado, la proporción de cemento, la

energía de compactación y el curado. En general, los valores usuales de resistencia a la compresión están entre 5 y 13 Mpa, el módulo de ruptura oscila entre 1 y 2.3 Mpa, y el módulo de elasticidad varía entre 10,000 y 20,000 Mpa. Por otro lado, este tipo de pavimento se utiliza en la red vial no pavimentada, como alternativa a colocar balasto dos veces al año. La resistencia y la elasticidad de los pavimentos Unicapa varían según el tipo de suelo, el contenido de cemento utilizado, y el proceso de compactación y curado, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.1.7 Pavimentos reciclados con cemento

El reciclado de pavimentos con cemento es una solución para rehabilitar pavimentos flexibles agrietados o fisurados debido al tráfico pesado o problemas de drenaje. El proceso de este método se realiza por medio de un fresado del material reciclado mezclado con agua, cemento portland y un posterior compactado. Al optar por esta solución de rehabilitación, se logra un aprovechamiento de las capas deterioradas y una recuperación y posiblemente una mejora de la capacidad de soporte y características mecánicas. El resultado es un pavimento mucho más duradero y menos susceptible al agua, lo que contribuye a una mejora del nivel de servicio. Además, el reciclado de pavimentos con cemento no requiere la aportación de agregados, o por lo menos en volúmenes reducidos, lo que beneficia el aspecto económico, y también el ambiental, porque se aprovechan los materiales existentes en la carretera, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.2 Materiales para la elaboración del suelo cemento

2.3.2.1 Suelo

El suelo es uno de los materiales utilizados en la elaboración de suelo-cemento. Serigos (2009) describe que la para estabilizar los suelos con cemento Portland, se puede

realizar casi en cualquier tipo de suelo, salvo en suelos con alto contenido de materia orgánica o con un alto contenido de sales perjudiciales, y en el caso de los suelos muy plásticos con índice de plasticidad mayor a 8, que pueden formar terrones y luego debilitar la estructura del material. En caso de los suelos granulares, la mezcla de pulverización y mezclado es más efectiva, lo que permite utilizar un menor porcentaje de cemento, y se considera que los suelos con 5% a 35% de partículas que pasan por el tamiz #200 producen las mezclas de suelo-cemento más económicas. No obstante, también es posible obtener mezclas económicas con suelos que tengan un alto contenido de finos y baja plasticidad. (Serigos, 2009)

El Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón especifica que el mejoramiento de suelo con cemento puede salir con mayor o menor presupuesto económico, según sus propiedades, (IBCH: Pitta, 2002). En la *Tabla 2.4*, expresa la trabajabilidad, la cantidad de cemento necesaria para la lograr mejorar los diferentes grupos de suelos.

Tabla 2.4

Grupos de suelos como material de suelo-cemento.

Suelos	Descripción	Trabajabilidad con Maquinarias	Cemento
Arenosos y Gravosos	35% limo más arcilla. Mas de 55% que pasa la malla de 4,8 mm	Bueno	Menor cantidad
Arenoso con deficiencia de limo	Ausencia de material cohesivo	Mala-Regular	Mayor cantidad
Limoso y arcilloso		Mala	Elevada Cantidad

Fuente: Construcción de Base de Suelo-Cemento por el Proceso de Mezcla del Sitio, (IBCH: Pitta, 2002).

Por otro lado, para la obtención de una buena resistencia y durabilidad, es necesario determinar una dosificación de cemento apropiada al tipo de suelo existente, para una óptima homogenización del suelo cemento es necesario el uso de máquinas especiales, además del perfilado y compactado durante el proceso de hidratación del cemento y lograr estabilizar las propiedades físico-mecánica como la capacidad portante del suelo.

2.3.2.2 *Cemento portland*

El cemento Portland es un tipo específico de cemento utilizado en la construcción y se produce a partir de la pulverización del clínker. El clínker consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos y también contiene aluminatos de calcio y ferroaluminatos de calcio, así como una o más formas de sulfato de calcio (yeso). Para asegurar una calidad alta y uniforme del cemento Portland, los materiales utilizados en su producción deben contener cantidades apropiadas de los compuestos de calcio, sílice, alúmina e hierro. Durante el proceso de fabricación, se realiza un análisis químico frecuente de todos los materiales utilizados. (PCA: Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara, 2004)

La norma boliviana NB 011 del Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (INORCA), clasifica los siguientes tipos de cemento denominados como:

- Cementos portland, tipo I.
- Cementos portland, tipo IP.
- Cementos portland con filler calizo, tipo IF.
- Cementos puzolánicos, tipo P.

Los diferentes tipos de cemento se clasifican en función de los diferentes componentes que los conforman. La *Tabla 2.5* especifica la denominación y designación de cada tipo de cemento, y se muestra la distribución de la proporción en masa que corresponde a sus componentes principales, como el clinker, puzolana natural y filler calizo. Además, se indica la proporción en masa de los componentes adicionales, los cuales pueden ser puzolana natural o filler calizo, aunque se limita su número a uno o dos, a menos que sean componentes importantes del cemento. También se excluyen de la tabla el regulador de fraguado y los aditivos. Por otra parte, se señala que la caliza a utilizar como filler calizo o como componente adicional debe cumplir con el requisito de un contenido mínimo de 85% de carbonato de calcio, (INORCA, 1995).

Tabla 2.5

Clasificación y composición de los cementos.

Tipos de cemento			Proporción en masa % (1)			
Denominación	Designación	Tipo	Componentes principales			Componentes adicionales (2) (3)
			Clinker	Puzolana natural	Filler calizo (3)	
	Cemento Portland	I	95 a 100			0 a 5
Cemento Portland	Cemento Portland con puzolana	IP	70 a 94	6 a 30		0 a 5
	Cemento portland con filler calizo	IF	80 a 94		6 a 15	0 a 5
	Cemento puzolánico	P	≥ 60	≤ 40		0 a 5

Nota:

- 1) En estos valores se excluyen: el regulador de fraguado y los aditivos.
- 2) Los componentes adicionales pueden ser uno o dos entre puzolana y filler calizo, a menos que sean componentes importantes del cemento.
- 3) La caliza a utilizarse como filler calizo o como componente adicional deberá cumplir el requisito de un contenido mínimo de 85% de carbonato de calcio.

Fuente: Norma Boliviana del Cemento NB-01, de INORCA (1995).

Por otro lado, en Bolivia existen empresas certificadas como Soboce, Itacamba, Coboce y Fanceca. Estas producen diferentes tipos de cemento, bajo las especificaciones técnicas de la norma boliviana NB-011, tal como se describe en la *Tabla 2.6*.

Tabla 2. 6

Tipos de cemento elaborado por las productoras de cemento en Bolivia.

Empresas productoras de cemento	Tipos de cemento		Normas
Soboce	IP 30	IP 40	
Itacamba		IF 30	Norma Boliviana
Coboce	IP 30		NB-011
Fanceca	IP 30	IP 40	

Fuente: Cadena de productiva del cemento, (AEMP: Autoridad de fiscalización y control social de empresas, 2012)

2.3.2.3 *Aditivos y adiciones*

Los aditivos y adiciones en las mezclas de suelo-cemento, generalmente está dirigida hacia el uso de retardadores de fraguado, especialmente en casos donde la mezcla se elabora en planta y es transportada a la obra en condiciones climáticas adversas o a distancias considerables. Entre las adiciones, las puzolanas y cenizas volantes según ASTM C618 se han utilizado en mayor cantidad que los aditivos químicos, ya que incrementan la resistencia a largo plazo de las mezclas y optimizan la cantidad de cemento utilizada, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.2.4 *Agua*

Las especificaciones y literatura técnica en mezclas de suelo-cemento indican que el agua utilizada debe ser potable o relativamente limpia, sin álcalis, ácidos o materia orgánica.

En algunos casos, como en Colombia y España, se requiere que el ph del agua utilizado tenga un rango entre 5,5 y 8,0 y que el contenido de sulfatos no sea superior a 1 g/L, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.3 Propiedades del suelo cemento

2.3.3.1 Densidad

La densidad del suelo-cemento se mide en términos del peso volumétrico seco máximo, que es uno de los parámetros de control de campo. Un suelo granular no plástico con un peso volumétrico seco máximo más alto es una excelente opción para cumplir con parámetros estructurales exigentes. La relación entre la humedad óptima y la densidad máxima puede variar si se cambia la energía de compactación, lo que puede aumentar la resistencia a la compresión del suelo-cemento y mejorar otras propiedades estructurales, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

Históricamente, los diseños de mezcla de suelo-cemento se han realizado en función de la energía de compactación según ASTM D558 o MSHTO T1 344. En los últimos años, algunos países han adoptado la norma AASHTO T180 en sus métodos de diseño de mezclas y especificaciones, ya que esta norma tiene una mayor energía de compactación más acorde con los equipos actuales, optimizando el costo de las mezclas y requiriendo menos cemento para lograr la resistencia deseada a medida que aumenta la energía de compactación, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.3.2 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión simple en mezclas de suelo-cemento es una medida del grado o la capacidad para soportar una carga por unidad de área. Los valores obtenidos dependen de varios factores, como la dosificación y tipo de cemento, la energía de

compactación, el mezclado, la presencia de materia orgánica, sales y otros materiales en el suelo, la calidad y el óptimo porcentaje de agua, el tiempo transcurrido desde la mezcla y compactación, la duración y método de curado, la presencia de aditivos o adiciones y el tamaño y forma del espécimen de ensayo, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.3.3 *Resistencia a flexión*

La resistencia a la flexión del suelo-cemento, esta se ha conocido a través de diversos ensayos, como el de elaboración y la prueba de vigas según el estándar ASTM D1635 o la prueba de tracción indirecta. Por lo general, se pueden identificar dos categorías: aquellos relacionados con los suelos finos y los generados a partir de las mezclas con suelos granulares, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

La resistencia a la flexión es directamente proporcional a la resistencia a la compresión simple y el peso volumétrico seco máximo de la mezcla. La resistencia a la flexión puede variar de 1/3 a 1/5 de la resistencia a la compresión del suelo-cemento, lo que indica su rigidez y capacidad para distribuir cargas en estructuras de pavimentos. Aunque la resistencia a la flexión también aumenta con el tiempo, este crecimiento es más moderado que el de la resistencia a la compresión, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.3.4 *Retracción*

La retracción en las mezclas de suelo-cemento ocurre por la pérdida de agua durante el secado y las reacciones de la hidratación del cemento. En cuanto al agrietamiento que puede resultar de la retracción, influyen muchos factores complejos, como el tipo y cantidad de cemento, el contenido de agua aplicado, las propiedades de los agregados, los procedimientos de curado, las condiciones climáticas, el tiempo de colocación y el rozamiento entre la capa de suelo-cemento y la subyacente, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

Algunos países como Francia, España y Estados Unidos han implementado sistemas para minimizar la reflexión de fisuras en las capas superiores del pavimento a través de la creación de juntas prefisuradas a distancias cortas. Además, también se han mejorado los requisitos de diseño de mezclas y especialmente el tipo de cemento para minimizar el agrietamiento, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.3.5 Módulo de elasticidad

Esto se logra teniendo altos módulos de elasticidad en una o dos capas de la estructura de pavimento.

En el diseño de pavimentos es importante tener una capacidad de soporte adecuada para distribuir cargas del tráfico vehicular con las menores deformaciones posibles. Para ello, se considera que el tratamiento del suelo mezclado con cemento aumenta considerablemente los módulos de elasticidad y la rigidez, lo que permite una distribución de carga efectiva y un buen desempeño de la estructura del pavimento durante su vida útil, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

Los valores del módulo de elasticidad estático, dinámico y el coeficiente de Poisson son variables, principalmente en función del tipo de suelo y contenido de cemento utilizado en la mezcla. Los valores típicos del módulo de elasticidad estático para mezclas de suelo-cemento elaboradas con suelos granulares varían de 4.000 a 7.000Mpa a los 28 días. Aunque no es una práctica común en la mayoría de los países, es importante contar con registros locales de los módulos de elasticidad para cada tipo de suelo y contenido de cemento utilizado en los distintos proyectos de suelo-cemento, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.3.6 *Resistencia al desgaste*

En estructuras de pavimentos, la resistencia al desgaste de suelo-cemento no se evalúa debido a que no es adecuado para resistir las fuerzas abrasivas del tráfico directamente sobre él. Por esta razón, se protege las capas de suelo-cemento colocando una capa de rodadura de concreto hidráulico, concreto asfáltico o tratamientos superficiales asfálticos, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

La resistencia al desgaste mejora al aumentar el contenido de cemento y al utilizar suelos granulares no plásticos. La lluvia provoca mayor desgaste que el tráfico vehicular en suelo cemento. Por otro lado, los pavimentos unicapa de alto desempeño presentan mejor resistencia que el suelo-cemento ordinario. El uso de concretos compactados también puede soportar el paso continuo de vehículos. Además, cabe destacar que un material resistente al desgaste bajo una capa de rodadura de concreto hidráulico ayuda a reducir problemas de bombeo de finos y escalonamiento, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.3.7 *Permeabilidad*

Esta propiedad permite el paso del agua a través del suelo. FICEM: Quintanilla R, (2007) explica que la adición de cemento Portland disminuye la permeabilidad de la mayoría de los suelos. Esta reducción en la permeabilidad depende principalmente del tipo de suelo, contenido de cemento y una adecuada compactación. En las mezclas de suelo-cemento elaboradas con suelos finos, presentan y mantienen una menor permeabilidad en el tiempo. Los valores típicos del coeficiente de permeabilidad varían entre 0.4×10^{-6} y 3×10^{-6} cm/s en mezclas elaboradas con suelos areno-limosos. El porcentaje de cemento suele ser inferior al 5% en peso, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.4 DISEÑO DE LA MEZCLAS DEL SUELO-CEMENTO

El diseño de mezcla de suelo cemento se lo puede definir como un proceso para determinar las proporciones óptimas de suelo, cemento y agua, esto con el objetivo de lograr las características deseadas en la mezcla. Para ello, existen diferentes técnicas, la mayoría de las cuales requieren principalmente alcanzar una resistencia a la compresión y considerar varios aspectos relacionados con la durabilidad de la mezcla. Los procedimientos de diseño de mezcla de suelo cemento se puede resumir en la determinación de la granulometría del material a estabilizar, selección inicial del contenido de cemento, pruebas de humedad-densidad, resistencia a compresión, en caso de ser necesario la durabilidad y la selección del contenido óptimo de cemento, (FICEM: Quintanilla R, 2007).

2.3.4 Método de la Portland Cement Association (PCA)

En Bolivia, para el diseño de mezcla de suelo cemento, la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), recomienda las normativas establecidas por la Asociación de Cemento Portland PCA (Norma General de Dosificación y Norma Simplificada de dosificación), que en general se basa en los procedimientos de ensayo de la ASTM – AASHTO.

2.3.4.1 Norma general de dosificación

La norma general de dosificación de suelo cemento de la PCA es un conjunto de pautas que buscan determinar la cantidad de cemento necesaria para garantizar que la mezcla conserve sus características mejoradas. Esta metodología se realiza de manera experimental, utilizando diferentes cantidades de cemento en los ensayos y analizando los resultados para determinar la cantidad mínima capaz de estabilizar el suelo. La norma incluye operaciones como la identificación y clasificación del suelo, la elección de la cantidad de cemento para

el ensayo de compactación, la ejecución de ensayos de durabilidad y la selección de la cantidad adecuada de cemento en función de los resultados obtenidos, (IBCH: Pitta, 2002).

En la misma línea, el manual de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) (2011) considera que, independientemente del tamaño del proyecto, los laboratorios deben determinar tres requisitos fundamentales: estimar la cantidad de cemento necesaria para obtener un material resistente y duradero, determinar el contenido óptimo de agua que se debe agregar a la mezcla y establecer la densidad óptima a la que se debe compactar la mezcla de suelo-cemento. Para alcanzar este objetivo, la norma PCA (Portland Cement Association) considera estándares específicos como la relación entre la humedad y el peso unitario de las mezclas de suelo-cemento (ASTM D558 - AASHTO T134), proceso de humedecimiento y secado de las mezclas compactadas de suelo-cemento (ASTM D559-AASHTO T135) y en caso de ser necesario el proceso de congelación y descongelación de las mezclas compactadas de suelo-cemento (ASTM D560-AASHTO T136). Además, que con el objetivo de obtener mayor información del comportamiento del suelo cemento, abarca ensayos como la Resistencia a la compresión no confinada (ASTM D 1632 y ASTM D 1633).

2.3.4.2 *Norma simplificada de dosificación*

La norma simplificada de dosificación suelo cemento de la PCA es una guía que proporciona una metodología práctica como la utilización de ábacos en lugar de ensayos exhaustivos para determinar requisitos básicos de dosificación de la mezcla de suelo-cemento. Las directrices de la norma establecen ensayos mínimos necesarios para la dosificación de suelo-cemento, que son la identificación y clasificación del suelo (AASHTO-M145), el ensayo de humedecimiento-secado (ASTM D559-AASHTO T135), y la

determinación de la compresión no confinada (ASTM D 1632 y ASTM D 1633), (ABC, 2011).

La norma simplificada se divide mediante dos procedimientos: el Método A, para suelos que no contienen material retenido en el tamiz N° 4; y el Método B, para suelos que contienen material retenido en el tamiz N° 4. Es importante mencionar que el uso de esta norma se restringe a suelos con ciertas características y no es aplicable a suelos granulares con gravedad específica suelta (ASTM D2726) menor a 2.45, (ABC, 2011). Por lo tanto, se debería considerar los criterios de aplicación adecuados antes de elegir entre la Norma General o Simplificada.

2.3.5 Criterios de dosificación para la mezcla del suelo cemento.

En la mayoría de los proyectos que requieren suelo-cemento, es necesario cumplir tanto con requisitos de resistencia como de durabilidad para lograr una vida útil suficiente. Para ello, es necesario cumplir con ciertos requisitos estructurales mediante pruebas de laboratorio utilizando los materiales específicos que se utilizarán en el proyecto real. La *Tabla 2.7* proporciona información acerca del contenido de cemento que se utiliza habitualmente en aplicaciones de pavimento. Respecto a la evaluación de las proporciones de la mezcla, los procedimientos de prueba específicos se encuentran descritos en el Manual de la PCA (1992a) y en diversas normas de prueba ASTM, como ASTM D558, D559, D560, D1557, D1632, D1633, D2901 y D5982, así como en ACI 230 1R-90 (1997).

Tabla 2.7*Requisitos típicos de cemento para varios tipos de suelo.*

Clasificación de suelo		Rango típico de cemento requerido	Contenido típico de cemento para pruebas de densidad de humedad (ASTM D558)	Contenido típico de cemento para pruebas de durabilidad (ASTM D559 y D560)
AASHTO	ASTM	(%)	(%)	(%)
	GW, GP,			
A-1-a	GM, SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	7-11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7-12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CG	8-13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9-15	12	10-12-14
A-7	MH,CH	10-16	13	13-11-15

Fuente: 230 1R-90 State of the Art report on soil Cement, (ACI: American Concrete Institute, 1997).

Los requisitos de cemento varían según propiedades deseadas y tipo de suelo. En el caso de la prueba de durabilidad (ASTM D559 y D560), determina un contenido de cemento aceptable para su mezcla con un suelo en específico. Los criterios de la PCA se resumen según lo especificado en *Tabla 2.8* (PAC 1992a), que establece la pérdida de peso en porcentaje permitida para la mezcla de suelo-cemento, después de 12 ciclos de mojado, secado y cepillado o congelar, descongelar y cepillar que se consideran adecuados para producir un material duradero, (ACI: American Concrete Institute, 1997).

Tabla 2.8

Criterios PCA para cemento de suelo según lo indicado por las pruebas de durabilidad de mojado y secado y congelación y descongelación.

Clasificación de suelo		Pérdida de peso máxima después 12 ciclos de humectación y secado o congelación y descongelación
AASHTO	ASTM	(%)
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	14
A-1-b	GM, GP, SM, SP	14
A-2	GM, GC, SM, SC	14*
A-3	SP	14
A-4	CL, ML	10
A-5	ML, MH, CG	10
A-6	CL, CH	7
A-7	MH,CH	7

Nota.

*10% es la pérdida de peso máxima permitida para suelos A-2-6 y A-2-7. Criterios adicionales:

-
1. Los cambios de volumen máximos durante la prueba de durabilidad deben ser inferiores al 2% de la inicial. volumen.
 2. El contenido máximo de agua durante la prueba debe ser menor que la cantidad requerida para saturar la muestra en el momento del moldeo.
 3. La resistencia a la compresión debería aumentar con la edad de la muestra.
 4. Contenido de cemento determinado como adecuado para pavimento, utilizando los criterios antes mencionados.

Los criterios de PCA serán adecuados para la protección de taludes de suelo cemento de 5 pies (1,5 m) o más por debajo de la elevación mínima del agua. Para cemento de suelo que es más alto que esa elevación, el contenido de cemento debe incrementarse dos puntos porcentuales.

Fuente: 230 1R-90 State of the Art report on soil Cement (ACI: American Concrete Institute, 1997).

En cuanto a la resistencia por compresión (ASTM D1633) es una prueba comúnmente utilizada para determinar el contenido mínimo de cemento en suelo-cemento. Para obtener resultados precisos y representativos, es esencial determinar la resistencia a compresión mediante saturación previa de las muestras, tal como se especifica en la norma ASTM D1633. Es importante tener en cuenta que la mayor parte de las estructuras de suelo-cemento pueden permanecer saturadas o confinadas durante su vida útil, lo cual reduce la resistencia de la mezcla. En la *Tabla 2.9* se muestran los rangos típicos de resistencias a compresión a 7 y 28 días, correspondientes a especímenes de suelo-cemento previamente saturados para realizar el ensayo. La resistencia obtenida dependerá del tipo de suelo utilizado durante la elaboración de la mezcla (ACI: American Concrete Institute, 1997).

Tabla 2.9*Valores Típicos de Resistencia a compresión simple a 7 y 28 días*

Tipo de Suelo			Resistencia a la compresión especímenes saturados (kg/cm ²)	
			7 días	28 días
	(USCS)	(AASHTO)		
Suelos de arena y grava	GW, GC, GP, GM, SW, SE, SP, SM	A-1, A-2 y A-3	21-42	28-70
Suelos limosos	ML, CL	A-4 y A-5	18 - 35	21-63
Suelos arcillosos	MH, CH	A-6 y A-7	14-28	18-42

Fuente: American Concrete Institute (ACI: American Concrete Institute, 1997).

En general, en las capas de sub-rasante estabilizada, se requieren valores de resistencia a la compresión de 1.5 MPa (15.30 kg/cm²) después de 7 días, mientras que en las capas de base o sub-base, los valores de resistencia a la compresión requeridos están entre 2.0 MPa (20.39 kg/cm²) y 2.5 MPa (25.49 kg/cm²), (ACI: American Concrete Institute, 1997).

Por otra parte, la asociación del cemento portland (PCA) expresa que los requisitos del suelo cemento, normalmente oscila entre 20 a 60 kg/cm² o 2 a 5 MPa (300 a 800 lb/pulg²). Además, que el suelo-cemento incrementa su resistencia con el tiempo y después de varios años de funcionamiento, se han alcanzado valores de hasta 180 kg/cm² o 17 MPa (2500 lb/pulg²), (PCA: Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara, 2004).

2.5 CONFIABILIDAD Y VALIDEZ

La confiabilidad y la validez son características fundamentales para asegurar que el instrumento de recolección de datos utilizado por el investigador mida cualquier fenómeno con precisión y coherencia, (Sánchez, 2017).

En la práctica, determinar si un instrumento de recolección de datos es confiable y válido, es posible conociendo el grado de error. En una medición, el grado de error siempre está presente, pero este valor se trata de reducir lo más mínimo posible para que la medición sea precisa, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

2.3.6 Confiabilidad

La confiabilidad o fiabilidad es el grado que tiene un instrumento de medición al ser aplicado repetitivamente a un sujeto y este produzca resultados iguales. En decir que, si los resultados de la medición varían significativamente, entonces el instrumento no es confiable, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Las metodologías utilizadas para determinar si el instrumento de medición es confiable, se define mediante el cálculo de coeficiente de fiabilidad. Estos procedimientos se describen a continuación:

- **Medida de estabilidad (confiabilidad por test-retest).** En este método el instrumento de medida es considerado fiable, cuando el coeficiente de correlación entre sus resultados es altamente positivo. Para ello, se utiliza un solo instrumento de recolección de datos, aplicado dos o más veces en un mismo conjunto de personas y estas pruebas son realizadas después de un tiempo determinado, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

- **Método de formas alternativas o paralelas.** En este método, en lugar de utilizar el mismo instrumento de medida, utiliza dos o más versiones equivalentes del mismo. Estas versiones suelen ser dos y son similares en cuanto a contenido, instrucciones, duración y otras características. Se administran simultáneamente o en un periodo de tiempo relativamente corto al mismo grupo de personas. Se considera que el instrumento de medida es fiable, cuando el coeficiente de correlación entre los resultados de las diferentes aplicaciones es altamente positivo, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).
- **Método de mitades partidas (split-halves).** Esta técnica divide los ítem o preguntas en dos mitades equivalentes y se comparan las puntuaciones o resultados de ambas mitades. Se considera que el instrumento de medida es fiable, cuando las puntuaciones de ambas mitades tienen una alta correlación. Si una persona que obtiene una puntuación baja en una pregunta de una mitad del instrumento debería obtener una puntuación baja en la pregunta correspondiente de la otra mitad del instrumento. A diferencia de los métodos de test-retest y de formas paralelas, el método de mitades divididas sólo requiere una administración del instrumento de medida, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).
- **Medidas de coherencia o consistencia interna.** Son coeficientes que estiman la fiabilidad de un instrumento de medida. Hay dos medidas de uso común: El alfa de Cronbach desarrollado por J.L. Cronbach y los coeficientes KR-20 y KR-21 de Kuder y Richardson. Estos métodos calculan la fiabilidad basándose en una única administración del instrumento de medida. La ventaja de utilizar estos métodos es

que no es necesario dividir los ítems del instrumento; basta con medir y calcular el coeficiente, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

En cuanto a la interpretación de los distintos coeficientes de fiabilidad, no existe ninguna regla que establezca qué valor indica que un instrumento es fiable. Pero relativamente se puede considerar que un coeficiente o correlación de 0.25 indica una fiabilidad baja, mientras que 0.50 indica una fiabilidad moderada o regular. Un coeficiente superior a 0.75 se considera aceptable, mientras que por encima de 0.90 se considera alto y debe tenerse en cuenta, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

2.3.7 Validez

La validez es la capacidad de un instrumento de medición para evaluar de manera precisa y consistente la variable que se desea evaluar. El investigador debe asegurarse de que las preguntas y los métodos utilizados para la medición correspondan realmente al fenómeno que se desea evaluar. Por ejemplo, si utilizamos un instrumento válido para medir la inteligencia, este debe medir la inteligencia y no la memoria. Aunque puede parecer algo sencillo, asegurar la validez de un instrumento de medición puede ser una tarea compleja, especialmente cuando se trata de variables abstractas o emocionales. En cualquier caso, es fundamental alcanzar la validez para poder obtener resultados confiables y precisos, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

La validez tiene distintos tipos de evidencia que permiten evaluar el rendimiento y confiabilidad de un instrumento de medición. Entre ellos, tenemos:

- **La validez de contenido.** Es el grado en que un instrumento representa adecuadamente el dominio específico de contenido de la variable que se desea medir. Por ejemplo, si una prueba de matemáticas solo evalúa un tipo de operación en lugar

de todas, no tendrá validez de contenido. La validez de contenido se logra mediante la evaluación de cómo un instrumento mide con propiedad las principales dimensiones de la variable en cuestión. Si el dominio de un instrumento es demasiado estrecho en comparación con el dominio de la variable, no se representará adecuadamente, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

- **La validez de criterio.** Este tipo de evidencia, permite comparar los resultados del instrumento con algún criterio externo que pretenda medir lo mismo. Si dos o más instrumentos o criterios miden el mismo concepto o variable, se espera que arrojen resultados similares, lo que indica validez de criterio. El criterio es un estándar por el que se juzga la validez del instrumento y cuanto mayor sea la relación entre los resultados del instrumento y el criterio, mayor será la validez de criterio. La validez de criterio puede ser concurrente, si se correlaciona con el criterio en el mismo momento, o predictiva, si se correlaciona con resultados futuros. La validación del criterio es útil para diversas mediciones en cualquier campo científico, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).
- **La validez de constructo.** Se refiere a qué tan exitosamente el instrumento representa y mide un concepto teórico. También se relaciona con el significado del instrumento, su operación y cómo se relaciona con otras mediciones de otros conceptos. La validez de constructo tiene tres etapas y está vinculada con la teoría que soporta la variable en relación con otras variables. Es importante que exista una teoría comprobada para tener más confianza en la validez de constructo de una medición, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

La combinación y evaluación exhaustiva de todos estos tipos de evidencia son esenciales para garantizar la calidad y fiabilidad de los resultados obtenidos del instrumento. Entre más fuerte sea la evidencia para cada uno de estos tipos, mayor será la validez total del instrumento de medición y mayor precisión tendrá para medir las variables que pretende medir. La validez total es el resultado de la suma de la validez de contenido, la validez de criterio y la validez de constructo, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

2.6 CORRELACIÓN Y REGRESIÓN

La correlación y regresión son técnicas que se utiliza frecuentemente para ajustar curvas a conjuntos de datos experimentales y predecir comportamientos futuros. El proceso de ajuste de curvas implica encontrar la ecuación que mejor describe el comportamiento de los datos, permitiendo que el modelo obtenido sea útil para realizar pronósticos o inferencias, (Weisberg, 2005).

2.3.8 Correlación

La correlación examina cómo ciertos eventos están relacionados, proporcionando información sobre la posible conexión entre dos o más variables, o cómo ciertos datos podrían predecir un resultado específico. Esta relación se mide a través del coeficiente de correlación, un valor numérico que indica la intensidad de la conexión entre las variables. Aunque la correlación permite observar cómo se comporta una variable con base en el comportamiento de otra, no necesariamente implica una relación de causa y efecto. Es decir, la correlación explora vínculos entre variables, pero no asegura que una provoque cambios en la otra. En caso de no existir correlación, las variables fluctúan sin un patrón predecible. Si las variables están correlacionadas, es posible hacer predicciones aproximadas sobre una de ellas (Y) utilizando el valor de la otra (X), (Manuel Borja Suárez, 2016).

Desde una perspectiva estadística, la correlación mide tanto la intensidad como la dirección de la relación entre dos variables, las cuales pueden manifestarse de las siguientes maneras:

Positiva: Ambas variables aumentan juntas.

Negativa: Una variable sube mientras la otra baja.

Nula: No hay una relación clara entre ambas.

El coeficiente de correlación de Pearson (r) mide esta relación, variando entre -1 y 1. Valores cercanos a 1 indican una fuerte correlación positiva, mientras que valores cercanos a -1 muestran una fuerte correlación negativa. Un valor próximo a 0 sugiere que no hay correlación entre las variables, (Weinberg & Abramowitz, 2008).

2.3.9 Regresión

La regresión es un método estadístico que permite predecir o estimar el valor de una variable dependiente (Y) a partir de una o varias variables independientes (X). La idea central de la regresión es encontrar una ecuación matemática que describa la relación entre las variables, (Draper & Smith, 1998).

Existen diferentes tipos de modelos de regresión, dependiendo de la naturaleza de la relación entre las variables:

- **Regresión lineal:** Establece una relación lineal entre las variables, representada por la ecuación $Y = b_0 + b_1X$, donde b_0 es la ordenada al origen y b_1 es la pendiente, (Montgomery, Peck, & Vining, 2012).
- **Regresión logarítmica:** En este modelo, la variable independiente se transforma mediante un logaritmo, y la relación sigue la forma $Y = b^0 + b^1$

$\log(X)$. Se usa cuando la tasa de cambio de Y disminuye a medida que X aumenta, (Draper & Smith, 1998).

- **Regresión cuadrática:** Este modelo introduce un término cuadrático para capturar relaciones no lineales entre las variables, representado por $Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$. Es útil cuando la relación entre las variables tiene una curva en lugar de una línea recta, (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, 2004).
- **Regresión exponencial:** En este caso, la variable dependiente se transforma exponencialmente, lo que genera una relación del tipo $Y = b_0 e^{b_1 X}$. Este modelo es útil cuando los datos crecen o decrecen de forma exponencial, (Freund, Wilson, & Sa, 2006).

La calidad de un modelo de regresión se puede evaluar mediante varios métodos:

- **Coefficiente de determinación (R^2):** Este coeficiente mide la proporción de la variabilidad de la variable dependiente que es explicada por el modelo. Un valor de R^2 cercano a 1 indica que el modelo tiene un buen ajuste a los datos, lo que sugiere que una gran parte de la variabilidad en la variable dependiente puede ser atribuida a las variables independientes incluidas en el modelo, (Weisberg, 2005).
- **Error en los coeficientes:** Este concepto evalúa la precisión de los coeficientes estimados en el modelo de regresión. Un menor error estándar en los coeficientes implica que las estimaciones son más confiables, lo que a su vez sugiere que el modelo tiene una mayor capacidad, (Freund, Wilson, & Sa, 2006).

- **Linealidad:** Este método verifica si la relación entre las variables independientes y la variable dependiente es lineal. La suposición de linealidad es fundamental para la validez del modelo de regresión lineal, y su incumplimiento puede llevar a resultados engañosos, (Montgomery, Peck, & Vining, 2012).
- **Normalidad de residuos:** Este análisis comprueba si los residuos, que son las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo, siguen una distribución normal. La normalidad de los residuos es crucial para validar las inferencias estadísticas y se puede evaluar utilizando pruebas como el test de Shapiro-Wilk, (Weinberg & Abramowitz, 2008).
- **Independencia de residuos:** Este método verifica que los residuos no estén correlacionados entre sí, lo que es esencial para la validez del modelo. La autocorrelación en los residuos puede indicar que el modelo no ha capturado adecuadamente la estructura de los datos. Se utilizan pruebas como el test de Durbin-Watson para evaluar esta independencia (Moore, McCabe, & Craig, 2012)
- **Homocedasticidad:** Este concepto evalúa si la variabilidad de los residuos es constante a lo largo de todos los niveles de la variable independiente. La homocedasticidad implica que la dispersión de los residuos es uniforme, lo que es importante para la validez de las inferencias del modelo. Pruebas como la de Breusch-Pagan se utilizan para evaluar esta condición, (Draper & Smith, 1998).

CAPITULO III

3 DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1 Diseño, enfoque y tipo de investigación

3.1.1.1 Diseño de investigación

En el presente estudio el diseño de investigación es experimental, porque se identifican diferentes elementos de estudio, como la resistencia a compresión mediante el ensayo de esclerometría o índice de rebote y el ensayo de compresión simple, que se aplican en muestras cilíndricas de suelo cemento, cuya dosificación de mezcla se diseñó para un suelo tipo A4. En el proceso cada actividad se realizó de manera planificada y controlada con el objetivo de comparar y cuantificar los resultados obtenidos. Hernández, Fernández, & Baptista, (2014) explica que este tipo diseño experimental es:

Un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. (p.129)

Para el análisis de las variables, se utilizó el método estadístico de correlación, ya que nos permite establecer la relación entre los valores obtenidos en ambos ensayos. Esta metodología nos permitió evaluar la resistencia del suelo cemento y determinar su confiabilidad para su aplicación en proyectos viales. Además, de obtener información relevante acerca de una dosificación adecuada para la mezcla de suelo cemento, según las características de un suelo tipo A4 (AASHTO), y así establecer recomendaciones basadas en los resultados obtenidos.

3.1.1.2 *Enfoque de investigación*

El enfoque de investigación utilizado es cuantitativo por tratarse de un estudio que prevalece la recolección y el análisis de datos numéricos que se obtiene de las muestras representativas. Hernández, Fernández, & Baptista, (2014) explican que el enfoque cuantitativo “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (p.4). En este proyecto, se emplearán diversos métodos y técnicas estadísticas y matemáticas con el objetivo de obtener datos de forma objetiva y realizar una evaluación rigurosa.

3.1.1.3 *Tipo de investigación*

El tipo de investigación que se llevó a cabo en este caso sería una investigación exploratoria, descriptiva y correlacional. Hernández, Fernández, & Baptista, (2014) plantea que los estudios exploratorios tienen como objetivo principal adentrarse en un tema desconocido, poco estudiado o innovador. Estas investigaciones nos permiten desarrollar métodos que luego se utilizan en estudios más profundos. Por otro lado, los estudios descriptivos son útiles para analizar cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno y sus componentes. Estos estudios nos brindan una comprensión detallada de la naturaleza del fenómeno y cómo se presenta en la realidad. Además, los estudios correlacionales buscan determinar la relación o vínculo entre diferentes conceptos, variables o características.

En este caso se maneja la investigación exploratoria porque se estaría explorando un área poco investigada, donde no existe mucha información específica sobre estimación de la resistencia a compresión del suelo cemento mediante el ensayo de esclerometría o índice de

rebote (Q), del cual se tienen muchas dudas ya que solo se encuentra información relevante para materiales como el hormigón o concreto a diferencia del suelo cemento.

Además, la investigación también sería descriptiva, ya que se busca describir y comparar los resultados obtenidos de los ensayos de esclerometría y compresión simple aplicados en el suelo cemento con diseño de mezcla para un suelo A4. Se analizarán y presentarán los datos recopilados, proporcionando una descripción detallada de los resultados obtenidos en ambos tipos de ensayos.

Por último, se utilizó el tipo de investigación correlacional, ya que se buscó establecer una curva correlacional entre los resultados de los ensayos de esclerometría o índice de rebote (Q) y compresión simple ($f'c$) del suelo cemento. Para ello, se analizó la relación entre ambas variables y se evaluó la confiabilidad de los resultados de la esclerometría para estimar la resistencia a la compresión del material de interés. Lo que permite establecer su uso método alternativo en el control de bases y o subbases de suelo cemento para un diseño de mezcla para un suelo tipo A4.

3.1.2 Identificación y operacionalización de variables de investigación

3.1.2.1 Identificación de variables de investigación

El estudio y análisis de las variables contribuyen a la comprensión de los fenómenos y la toma de decisiones. Hernández, Fernández, & Baptista, (2014) mencionan que las variables son propiedades que pueden cambiar y cuya variación puede ser medida u observada. En la investigación científica, las variables son fundamentales cuando están interconectadas con otras en una hipótesis o teoría, a veces siendo referidas como constructos o construcciones hipotéticas. Por ende, la variable del presente estudio se constituyó según la hipótesis planteada, la cual, se identifican de la siguiente manera:

- *Variable Independiente.* Dosificación de la mezcla de suelo cemento, diseñada para el suelo tipo A4.
- *Variable dependiente.* Resistencia a la compresión (f_c) del suelo cemento mediante el ensayo de esclerometría y compresión simple.
- *Variables intervinientes.* Tipo de suelo (suelo A4 según clasificación AASHTO).

Las variables independientes son aquellas que se manipulan o controlan en un estudio o experimento. Las variables dependientes son aquellas que se miden o registran para evaluar los efectos o cambios producidos por las variables independientes. Estas variables son los resultados o respuestas que se obtienen en función de las variables independientes. Por otro lado, las variables intervinientes son aquellas que pueden influir directamente en la variable dependiente pero no pueden medirse o manipularse (Buendía, Colás, & Hernández, 1998).

3.1.2.2 Operacionalización de variables de investigación

La operacionalización de variables es un proceso fundamental para el desarrollo de una investigación ya que garantizar que las mediciones empíricas reflejen de manera precisa y válida los conceptos teóricos que se están estudiando. Manuel Borja Suárez (2016), lo define como la descripción del cómo se medirán las variables planteadas en la hipótesis de investigación, a partir de indicadores que utilizan términos operacionales para asegurar de manera concreta datos medibles y cuantificables, lo cual es crucial para llevar a cabo un estudio de manera efectiva.

En el presente caso, la operacionalización de las variables relevantes para esta investigación se define y describe detalladamente en la *Tabla 3.1*, que se muestra a continuación.

Tabla 3. 1

Operacionalización de variables.

Variable	Tipo de variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento metodológico	Validación	Instrumento y/o equipo de ingeniería	Calibración del equipo de ingeniería	escala	rango de valores esperados
Dosificación de la mezcla de suelo cemento, diseñada para el suelo tipo A4.	Independiente.	La dosificación o diseño de mezcla de suelo cemento se lo puede definir como un proceso para determinar las proporciones óptimas de suelo, cemento y agua, esto con el objetivo de lograr las características deseadas en la mezcla, (FICEM: Quintanilla R, 2007).	Dosificación óptima de la cantidad de cemento para el suelo tipo A4 medido en porcentaje (%) en relación al peso total de la mezcla.	Criterios básicos de diseño de mezcla de suelo cemento (tipo de suelo: A4).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relaciones de humedad /peso unitario de la mezcla de suelo cemento. ▪ Humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas ▪ Resistencia a compresión (f'c) de la mezcla de suelo cemento. 	Observación y medición.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Procesos y técnicas de diseño de la dosificación de la mezcla de suelo cemento de la Asociación de cemento Portland (PCA) y el manual de diseño de conservación vial de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normas técnicas para el diseño de la dosificación de la mezcla de suelo cemento que especifica Asociación de cemento Portland (PCA) y el manual de conservación vial de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de 40000 g. ▪ Horno de secado con temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. ▪ Tanque de agua a temperatura ambiente y una cantidad adecuada para sumergir especímenes compactados. ▪ Un cepillo de cerdas de alambre calibre 20 de 50 por 1,6 mm (2" por 1/16") compuesto por 50 	Verificación y calibración de equipos y herramientas gestionada por el Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Universidad Amazónica de Pando.	Razón	Entre 3% a 9% de cemento.

									grupos de 10 cerdas cada uno y montados para que formen 5 filas longitudinales y 10 filas transversales de cerdas sobre un bloque de madera dura de 191 por 64 mm.		
									<ul style="list-style-type: none"> ▪ Máquina de compresión hidráulica. ▪ Entre otros. 		
Resistencia a la compresión (f'c) del suelo cemento mediante el ensayo de esclerometría.	Dependiente.	La resistencia a la compresión (f'c) del suelo cemento mediante el ensayo de esclerometría es una estimación establecida entre la dureza o resistencia a compresión (f'c) y Índice de rebote (Q) de la mezcla endurecida del concreto, (ASTM, 2002).	Resistencia a compresión (f'c) estimada del suelo cemento, expresado en (kg/cm ² , MPa).	Criterios básicos del ensayo de esclerometría en laboratorio y métodos de probabilidad y estadística.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número o índice de rebote (Q) en probetas cilíndricas de suelo cemento a los 7 días de edad. Aplicado en dosificaciones diseñadas para un suelo tipo A4. ▪ Modelo correlacional entre el número o índice de rebote (Q) y la resistencia a compresión 	Observación y análisis de relación entre el índice de rebote (Q) y la resistencia (f'c) medida.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Procesos y técnicas de la Sociedad Americana y Materiales (ASTM). ▪ Métodos de probabilidad y estadística del Sistema de software Statistical Package for Social Sciences (SPSS). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Norma ASTM C 805 (Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete). ▪ Métodos de probabilidad y estadística para la estimación mediante la correlación y análisis de regresión de las variables. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Martillo Esclerómetro Digital Silver Schmidt, Modell N. ▪ Sistema de software Statistical Package for Social Sciences (SPSS). 	Verificación y calibración de equipos y herramientas gestionada por el Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Universidad Amazónica de Pando.	Razón > 2 Mpa.

					n (f'c) del suelo cemento.						
Resistencia a compresión (f'c) del suelo cemento mediante el ensayo de compresión simple.	Dependiente.	La resistencia a compresión del suelo cemento es un método de prueba estándar que consiste en utilizar una maquina compresora para aplicar una carga axial en especímenes cilíndricos moldeados como especímenes de ensayo hasta producir una falla (ASTM, 2003).	Resistencia a compresión (f'c), expresado en (kg/cm ² , MPa).	Criterios básicos del ensayo de resistencia a la compresión (f'c) del suelo cemento en laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos de compresión simple en probetas cilíndricas de suelo cemento a los 7 días de edad. Aplicado en dosificaciones diseñadas para un suelo tipo A4. 	Observación y medición.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Procesos y técnicas de ensayos de resistencia del suelo cemento según el manual de suelo y materiales de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) que en general está basada en normas ASTM y AASHTO. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Norma ASTM D1633-17 (Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Máquina de compresión hidráulica. 	Verificación y calibración de equipos y herramientas gestionada por el Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Universidad Amazónica de Pando.	Razón > 2 Mpa.
Tipo de suelo (suelo A4 según clasificación AASHTO)	Interviente	Clasificación del suelo utilizado en la investigación, especímicamente el suelo tipo A4 según la clasificación AASHTO	Caracterización el suelo A4 mediante ensayos de clasificación geotécnica.	Criterios básicos geotécnicos para caracterización de y clasificación de suelos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis granulométrico. ▪ Límites de Atterberg. ▪ Clasificación se suelos (AASHTO y SUCS). 	Observación y medición.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Procesos y técnicas de ensayos geotécnicos del manual de suelo y materiales de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) que en general está basada en normas ASTM y AASHTO. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Norma AASHT T248 (análisis granulométrico por tamizado) ▪ Norma ASTM D4318 AASHTO T89 (determinación del límite líquido de los suelos). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de 40000 g. ▪ Horno de secado con temperatura uniforme de 110 ± 5°C. ▪ Capsulas o recipientes de evaporación y secado con su tapa. 	Verificación y calibración de equipos y herramientas gestionada por el Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Universidad Amazónica de Pando.	Suelo tipo A4 con índice de grupos (0 a 5)

-
- ASTM D4318
 - AASHTO T90 (determinación del límite plástico e índice de plasticidad).
 - Normas ASTM D-3282 - AASHTO M145 y ASTM D-2487 (clasificación de Suelos).
 - Superficie de amasado.
 - Juego de tamices estandarizados.
 - Equipo Casagrande, recipientes.
 - Entre otros.
-

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.3 Población y muestra de estudio

3.1.3.1 Población

La población de estudio se centró en probetas cilíndricas de suelo cemento, elaboradas específicamente con un suelo del tipo A4 “AASHTO” con diferentes dosificaciones de cemento.

3.1.3.2 Muestra

En este estudio, se realizaron 30 pruebas para cada dosificación de suelo cemento, mediante los ensayos de esclerometría y compresión simple (ver *Anexos A*). Previamente, se llevó a cabo un diseño de mezcla en el que se determina el porcentaje de cemento, de acuerdo con lo descrito en la *Sección 3.3*.

3.1.4 Materiales de la muestra de estudio

Los materiales seleccionados para este estudio fueron elegidos teniendo en cuenta su disponibilidad y características adecuadas para las mezclas de suelo-cemento.

- **Suelo:** Se utilizó un suelo del tipo A4, conforme al sistema de clasificación AASHTO, el cual se encuentra disponible localmente.
- **Cemento:** Se empleó cemento Portland IP30 de la empresa peruana Yura, reconocido por su alta resistencia y durabilidad. Esta marca es ampliamente comercializada en Cobija, Pando, Bolivia, y además cumple con la normativa americana ASTM 595 y la norma boliviana N-011.
- **Agua:** Se utilizó agua potable proveniente de la red pública, asegurando que estuviera libre de impurezas, sales, aceites y cualquier otro residuo, lo que la hace idónea para su uso en mezclas de suelo-cemento.

3.1.5 Procedimientos e instrumentos de investigación

El proceso de la investigación se estructuró en actividades alineadas con los objetivos planteados distribuidas en tres fases diferentes. Las actividades de cada fase abarcarán la aplicación de métodos fundamentales para la recolección de datos, procesamiento, análisis e interpretación, culminando con la emisión de recomendaciones y conclusiones del informe final.

La fase 1 consistió en realizar un estudio geotécnico para identificar un punto de acopio del material (suelo A4) mediante diversas actividades, como se detallan en la *Tabla 3.2*.

Tabla 3.2

Fase 1. Actividades - Estudio geotécnico.

Fase	Actividades	Norma	Equipos y Herramientas
	Recopilación de información.	-	Fuentes bibliográficas sobre estudios geotécnicos, realizados en la ciudad de Cobija.
	Ubicación geotécnica.	-	Satelital (Google Earth).
1	Operación de sondeo geotécnico.	(ASTM D420- AASHTO T86)	Extractor manual.
	Extracción del suelo en estudio.	(ASTM D420 AASHTO T86).	- Extractor manual, recipientes, balanza y horno.
	Procedimientos para la preparación del suelo.	(ASTM D421 ASTM D2217 AASHTO T87).	- Herramientas de manipuleo como pala.
	Caracterización de suelos:	(ASTM D2216; ASTM D422 – AASHTO T88	Capsulas o recipientes de evaporación con su tapa, superficie de amasado,

-Contenido de humedad. -Análisis Granulométrico por Tamizado. -Límites de Atterberg. -Clasificación de Suelos.	; ASTM D 4318 - AASHTO T89 - T90; ASTM D-3282 - AASHTO M145 y ASTM D-2487)	horno, balanza, tamices estandarizados, equipo Casagrande, recipientes para secado, entre otros.
---	--	--

Fuente: Elaboración Propia

La fase 2 se basó en una serie de actividades relacionadas con el diseño la mezcla del suelo cemento para la elaboración de probetas cilíndricas, como se describe en la *Tabla 3.3*.

Tabla 3.3

Fase 2. Actividades - Diseño la mezcla del suelo cemento.

Fase	Actividades	Norma	Equipos y Herramientas
	Relaciones de humedad - peso unitario de la mezcla de suelo cemento.	[ASTM D558] - [AASHTO T134]	Juego de tamices estandarizados, recipientes, probeta de medida, balanza, horno, desecador.
2	Elaboración de probetas cilíndricas de suelo cemento.	[ASTM D1632] - [ASTM D559]	Tamices estandarizados, probetas de medida graduadas, recipientes, molde cilíndrico metálico 4" y 6" de diámetro, pisón metálico, cámara húmeda, balanza, horno de secado y herramientas de manipuleo.
	Humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas.	(ASTM D559 AASHTO T135)	Tanque de agua, balanza, horno de secado, cepillo de cerdas de alambre y herramientas de manipuleo
	Resistencia a la compresión simple para probetas cilíndricas de suelo cemento.	(ASTM D1633)	Tanque, balanza, máquina de compresión hidráulica y regla o dispositivo de medida.

Fuente: Elaboración Propia

En la fase 3, se llevó a cabo la evaluación de la resistencia del suelo cemento a partir de los resultados obtenidos de los ensayos de esclerometría y compresión simple. Las actividades planificadas se describen en la *Tabla 3.4*.

Tabla 3.4

Fase 3. Actividades – Evaluación de la resistencia del suelo cemento con los ensayos de esclerometría y compresión simple.

Fase	Actividades	Norma	Equipos y Herramientas
3	Ejecución de los ensayos de: - Ensayo del Esclerometría. - Ensayo de compresión simple.	(ASTM C805 o ASTM D5873) y (ASTM D1633).	Tanque, balanza, esclerómetro o martillo de Schmidt, máquina de compresión hidráulica y regla o dispositivo de medida.
	Establecer modelos de ajuste de la curva correlacional entre los resultados obtenidos por ensayos de esclerometría y compresión simple.		Sistema de software Statistical Package for Social Sciences (SPSS)
	Estimación y comparación de la resistencia del suelo cemento mediante el ensayo de esclerometría y compresión simple		
	Elaboración del documento final.		Software de paquetes office (Word y Excel)

Fuente: Elaboración Propia

3.2 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO

La investigación está centrada en la selección del suelo correspondiente al grupo de clasificación tipo A4 (AASHTO), requisito fundamental para desarrollo del objetivo general

de la presente tesis: Evaluación de la resistencia del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

En este sentido, para buscar y seleccionar el suelo en estudio, se realizaron diferentes actividades de carácter geotécnico; la cual se dividió en las siguientes etapas:

- Recopilación de información.
- Ubicación geotécnica.
- Operación de sondeo geotécnico.
- Extracción del suelo de estudio.
- Procedimientos de preparación del suelo.
- Ensayos de caracterización geotécnica.

3.2.1 Recopilación de información

En esta primera etapa se recurrió a la recolección de información bibliográfica sobre estudios de caracterización de suelos en la ciudad de Cobija, a fin de determinar un área específica para el sondeo, muestreo e identificación de un suelo que contenga propiedades del tipo A4 (AASHTO).

Una de las investigaciones que se examinó es la tesis de grado: “Determinación de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción mediante el equipo automático de corte directo en suelos del barrio las palmas”, en su contenido presenta resultados de clasificación de suelos por el método SUCS, ubicados en diferentes puntos en la zona que plantea el estudio mencionado.

Figura 3. 1

Recopilación de información: Ubicación de los sondeos geotécnicos proyectados en el barrio Las Palmas según su clasificación de suelo (método SUCS).



Calicata N°	Muestra N°	Característica de la ubicación	Coordenadas			Clasificación de los suelos	
			Norte	Este	Cota	Nombre de grupo	Sigla
1	M - 01	Área publica/avenida	8779867,62	526195,749	203,497	Arcilla grasa	CH
2	M - 02	Área publica/avenida	8780099,77	526040,065	224,736	Arcilla grasa con arena	CH
3	M - 03	Institución publica	8780130,858	526381,503	228,801	Arcilla magra arenosa	CL
4	M- 04	Predio privado	8780451,937	526638,296	213,757	Arcilla gasa	CH
5	M - 05	Área publica/verde	8780517,243	525863,824	230,316	Arcilla magra arenosa	CL
6	M - 06	Predio privado	8780571,72	526060,451	214,369	Arcilla grasa	CH
7	M - 07	Área publica/calle	8780549,787	526518,158	201,108	Arcilla grasa	CH
8	M - 08	Área publica/verde	8780559,824	526263,631	202,653	Arcilla grasa	CH
9	M - 09	Predio privado	8780310,66	526121,64	231,34	Arcilla magra arenosa	CL
10	M- 10	Institución publica	8780359,926	526462,306	222,23	Arena arcillosa	SC

Fuente: Determinación de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción mediante el equipo automático de corte directo en suelos del barrio las palmas (Morales, 2021).

En la figura se observa, que existes diferentes puntos de sondeo proyectadas en el Barrio las Palmas, las muestras M-03 y M-09 se clasifican como una arcilla magra arenosa (CL), la cual son semejantes al tipo de propiedades del suelo A4 en el sistema de clasificación AASHTO.

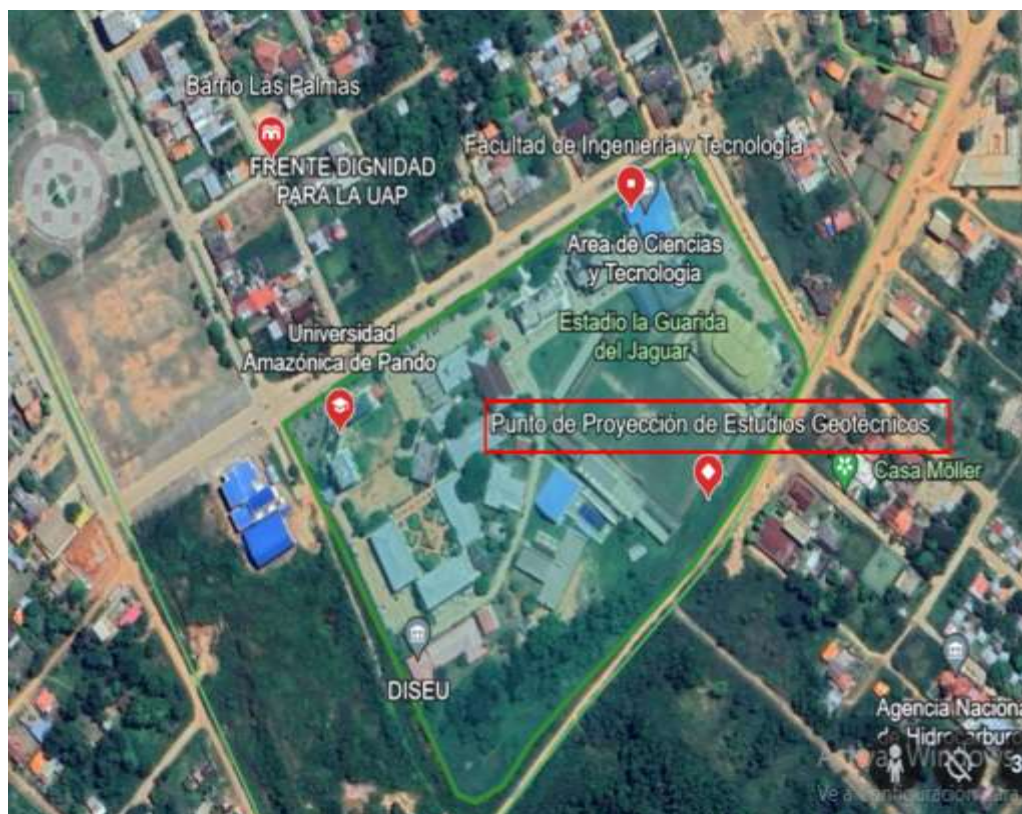
De lo anterior, con respecto a la información descrita sobre los datos de identificación del suelo en el barrio Las Palmas, se consideró la localización de las muestras M-03 y M-09 como un área de potencial interés, para la selección de un punto de estudios y proceder a la exploración geotécnica.

3.2.2 Ubicación geotécnica

En esta investigación se proyectó un punto de estudio geotécnico en el Campus de la Universidad Amazónica de Pando - Barrio Las Palmas - Bolivia, como se observa en la *Figura 3.2*.

Figura 3.2

Ubicación proyectada para el sondeo geotécnico.



Fuente: Modificación de imagen satelital (Google Earth-2022).

3.2.3 Operación de sondeo geotécnico

En la exploración de campo, el objetivo principal de la operación de sondeo geotécnico fue el reconocimiento y la localización de un punto de estudio específico para la extracción de muestras de suelo tipo A4 (AASHTO).

La operación se llevó a cabo mediante la extracción de muestras de suelo representativas de características alteradas. Para ello, se realizaron perforaciones a 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00 metros de profundidad, utilizando herramientas adecuadas como el extractor o barreno manual, como se observa en la *Imagen 3.1*.

Imagen 3. 1

Operación sondeo geotécnico.



Fuente: Elaboración propia.

La *Tabla 3.5* proporciona una información detallada del sondeo realizado, la profundidad a la que se extrajeron las muestras de suelo y la coordenada geográfica del punto de estudio.

Tabla 3.5*Registro del sondeo geotécnico.*

Sondeo [N°]	Coordenadas			Profundidad	
	Norte	Este	Cota	[m]	Cota
1	8780186.00	526464.00	231,51	0,50	231,01
				1,00	230,51
				1,50	230,01
				2,00	229,51

Nota. 1, 2, 3 y 4 son muestras recolectadas durante el sondeo geotécnico. Las coordenadas proporcionadas corresponden al sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator).

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras se manejaron cuidadosamente para preservar la humedad natural del suelo, de acuerdo con las técnicas estandarizadas establecidas por la norma (ASTM D420 - AASHTO T86), tal como se detalla en el Manual de Ensayos de Suelos y Materiales de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC). Así mismo, todas las muestras extraídas durante la exploración de campo fueron sometidas a ensayos geotécnicos a fin de garantizar la calidad y representatividad del material analizado.

3.2.4 Extracción del suelo en estudio

La extracción o toma de muestra se realizó después de identificar un punto de acopio del suelo tipo A4 (AASHTO) mediante técnicas de sondeo geotécnico. Este proceso se ejecutó según las directrices en la norma (ASTM D420 - AASHTO T86), empleando técnicas como la excavación manual de una calicata a cielo abierto. Esto se hizo con la finalidad de asegurar la obtención de la cantidad requerida y necesaria de muestras de suelo para los ensayos previstos en esta investigación. La excavación tuvo dimensiones de 1.20 m de ancho, 1.20 m de largo y una profundidad de 2.00 m, lo que resultó en aproximadamente

2.16 m³ de tierra sin incluir la capa vegetal del área excavada, como se observa inicialmente en la *Imagen 3.2*.

Imagen 3.2

Extracción de toma de muestra de suelo.



Fuente. Elaboración propia

El extraído suelo, se constituyó como un material alterado debido al método empleado, por el manipuleo que se realiza durante la toma de muestra. Donde, se formaron fragmentos disgregados de arcilla adheridas en las partículas del suelo cambiando su estructura original antes de su extracción.

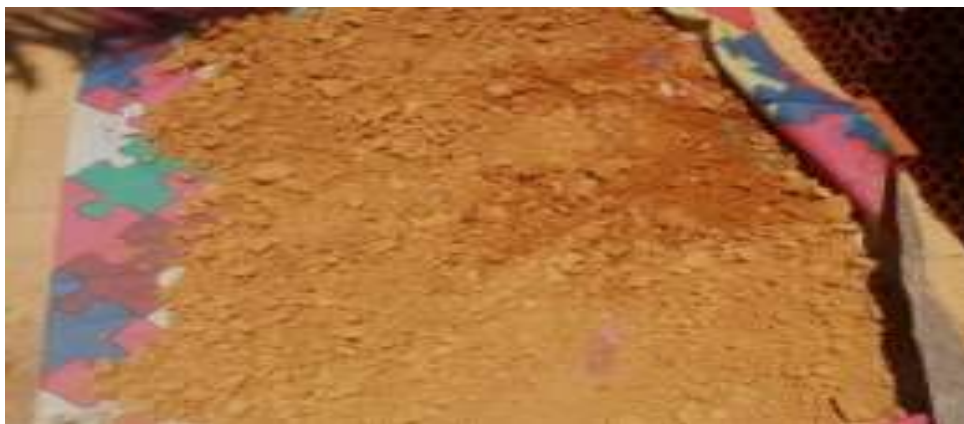
3.2.5 Preparación del suelo como material de estudio

El principal enfoque de estos procedimientos, fue la preparación de las muestras obtenidas en campo mediante el secado, disgregado y cuarteo, logrando un material homogéneo y uniforme para su aplicación en distintos ensayos de laboratorio proyectados en la investigación.

En la práctica, primero se procedió a secar y disgregar los grumos o aglomerados de las muestras tal como indica la norma (ASTM D421 - ASTM D2217 - AASHTO T87), sin afectar el tamaño natural máximo las partículas del suelo esto con el fin de conseguir un mejor control durante el proceso mezclado, como se observa en la *Imagen 3.3*.

Imagen 3.3

Secado y disgregación del suelo aglomerado.



Fuente. Elaboración Propia

Considerando la cantidad de muestra adquirida en campo y de acuerdo a la norma AASHTO T248, se utilizó el método por cuarteo manual de muestras mayores a 50 kg logrando una reducción de la cantidad del agregado a un tamaño óptimo.

Para ello, inicialmente se situó la muestra de suelo en una superficie amplia, compacta y limpia; esto con el propósito de evitar la adición de algún otro material. Luego,

con una pala se mezcló alternativamente formando un apilamiento cónico y repitiendo el mismo procedimiento tres veces más, como se observa en la *Imagen 3. 4 a)*.

Una vez mezclado, se niveló una superficie hasta conseguir una circunferencia plana para posteriormente dividir en cuatro partes iguales, como se observa en la *Imagen 3. 4 b) e Imagen 3. 4 c)*.

Después se separó dos partes opuestas del cuarteo realizado para nuevamente mezclar y finalmente repetir el proceso hasta obtener el tamaño deseado para su ejecución planificada, como se observa en la *Imagen 3. 4 d)*.

Imagen 3. 4

Proceso de preparación de muestras de suelo por cuarteo.



Fuente. Elaboración Propia.

3.2.6 Ensayos de caracterización geotécnica.

En la caracterización geotécnica se determinó las propiedades físicas del suelo mediante ensayos de contenido de humedad, la distribución granulométrica y los límites de

Atterberg (líquido, plástico e índice de plasticidad), con el fin de clasificar el material según los sistemas AASHTO y SUCS.

Para los ensayos se utilizó las muestras obtenidas durante el sondeo geotécnico, detallado en la *sección 3.2.3*. Esto nos permitió identificar y localizar el suelo de tipo A-4, necesario para el desarrollo de la presente investigación. Adicionalmente, se evaluó el suelo recolectado de una calicata (pozo a cielo abierto), descrita en la *sección 3.2.4*, que se utilizó en distintos ensayos de laboratorio.

Los procedimientos y métodos utilizados para la caracterización de las propiedades físicas y clasificación del suelo, se describen detalladamente en el Capítulo IV.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO

El diseño de mezcla de suelo cemento se realizó siguiendo las recomendaciones de los manuales técnicos de la Administradora Boliviana de Carretera (ABC), los cuales adoptan las metodologías específicas de la norma general y simplificada de dosificación de suelo cemento, que propone la Portland Cement Association (PCA).

El objetivo del diseño de mezcla de suelo cemento consistió en lograr una excelente durabilidad y resistencia del material una vez que este se encuentre endurecido y compactado. Para ello, se determinó la cantidad adecuada de cemento con respecto al peso del suelo, así como la relación óptima del contenido de humedad y la máxima densidad seca, tomando en cuenta las especificaciones y recomendaciones de las normas mencionadas con anterioridad y el análisis técnico de las siguientes operaciones:

- Relaciones de humedad-peso unitario de mezclas de suelo cemento [ASTM D558-AASHTO T134].

- Elaboración de probetas cilíndricas de suelo cemento [ASTM D1632] - [ASTM D559].
- Humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas [ASTM D559 AASHTO T135].
- Resistencia a la compresión [ASTM C39 – AASHTO T22].

En la práctica se trabajó con el suelo tipo A4 (AASHTO) requerido en esta investigación, con diferentes dosificaciones de cemento (3%, 5%, 7% y 9%) en porcentajes, incrementadas de forma aleatoriamente, esto tomando en cuenta las recomendaciones de las normas de manera pertinentes.

Para garantizar un adecuado control en la compactación de las diferentes dosificaciones de cemento, fue fundamental seleccionar un método que proporcionara una mayor energía de compactación. Los especímenes de probetas cilíndricas de suelo cemento se realizó con una energía de compactación de $2,67 \text{ J/cm}^3$ ($\approx 27,2 \text{ kgf cm/cm}^3$). Cabe destacar que las metodologías tradicionales para la compactación de suelo cemento especifican el uso del ensayo Proctor estándar (ASTM D698 AASHTO T99), el cual aplica una energía de compactación de $0,59 \text{ J/cm}^3$ ($\approx 6 \text{ kgf cm/cm}^3$), considerablemente menor. No obstante, con el objetivo de superar esta limitación, en este proyecto se empleó el ensayo Proctor modificado (ASTM D422 AASHTO T180), el cual permite aplicar una mayor energía de compactación en las muestras, mejorando así la densificación del material.

Por otro lado, el desarrollo de los ensayos requeridos para el diseño de dosificación de mezcla de suelo cemento, se describen con mayor detalle en el Capítulo IV.

3.4 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA EN SUELO CEMENTO

En el marco de esta investigación, se reconoce que la evaluación de la resistencia del suelo cemento es un factor fundamental para alcanzar el objetivo principal de la presente tesis.

En este sentido, se llevó a cabo de manera experimental los ensayos de esclerometría y compresión simple. Donde, se utilizó un esclerómetro para medir el índice de rebote de la dureza superficial que tienen el suelo cemento y una prensa hidráulica que determinó la resistencia a la compresión, cuando la muestras llega a una falla o rotura.

Para el desarrollo de este proceso, se tomaron en cuenta previamente la clasificación del suelo y el diseño de la mezcla de suelo cemento, conforme a lo descrito anteriormente. Asimismo, se siguió el requisito mínimo del 5 % de cemento, estipulado en el manual de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC). Aunque se consideró la posibilidad de usar una dosificación del 9 % de cemento, que técnicamente cumple con todos los parámetros requeridos, se descartó esta opción debido a su inviabilidad económica para proyectos viales, ya que el incremento en el contenido de cemento no sería costeable en la práctica.

Por lo tanto, la investigación se enfocó en dosificaciones más realistas y aplicables que cumplieran con los requerimientos técnicos, utilizando 5 % y 7 % de cemento de la mezcla con el suelo tipo A4 (IG-1) compactado en probetas cilíndricas. Para ambas mezclas, se realizaron 30 pruebas para cada uno de los ensayos de laboratorio, tanto de índice de rebote (esclerometría) como de resistencia a compresión simple.

Una vez realizado las pruebas correspondientes, se emplearon técnicas estadísticas como la distribución normal de los datos, correlación y regresión de la curva de ajuste de las variables (índice de rebote y resistencia a compresión), mediante el programa Statistical

Package for Social Sciences (SPSS). Esto, con la finalidad de establecer un modelo matemático confiable que ajuste la curva de la relación entre el índice de rebote (Q) y resistencia a compresión ($f'c$) del suelo cemento, para la estimación de la resistencia a compresión del suelo cemento mediante el equipo esclerómetro.

A partir de los modelos generados mediante el programa SPSS, se estimó la resistencia promedio del suelo cemento utilizando el valor del índice de rebote en la variable "x" de las ecuaciones correspondientes. Estas incluyen tanto los modelos generados por el SPSS (lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial) como el modelo de conversión proporcionado por el fabricante del esclerómetro Silver Schmidt. Finalmente, se comparó el valor promedio de la resistencia a compresión con las estimaciones calculadas mediante los diferentes modelos de ajuste y el modelo del fabricante.

El desarrollo de los ensayos de esclerometría y compresión simple se expone en el Capítulo IV, donde además se describen las pruebas estadísticas realizadas en el programa SPSS para establecer los distintos modelos de correlación empleados en la estimación de la resistencia a compresión del suelo cemento.

CAPITULO IV

4 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

El propósito de esta sección es presentar de manera detallada los métodos, equipos, herramienta, procedimientos y la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio de suelos y hormigones de la Facultad de Ingeniería y Tecnología (FIT) de la Universidad Amazónica de Pando, *Figura 4.1*. Cabe destacar que los equipos utilizados se encuentran certificados por IBMETRO, lo que garantiza que se siguieron las normativas y procedimientos adecuados.

Figura 4.1

Campus Universidad Amazónica de Pando-Barrio Las Palmas



Fuente: Modificación de imagen satelital (Google Earth-2022).

4.1.1 Contenido de humedad

4.1.1.1 Generalidades

El método estándar ASTM D2216 es utilizado para determinar el contenido de humedad que presenta una muestra suelo. Para ello, se toma en cuenta la relación que existe entre la masa de agua expresado en porcentaje y la masa total de las partículas sólidas del material.

4.1.1.2 Materiales y equipos

- Recipientes para secado y pesaje de muestras.
- Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de muestra menores a 1000 g.
- Horno de secado con temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Desecador con gel de sílice.
- Herramientas de manipuleo: cuchara, brocha y guantes de asbesto.

4.1.1.3 Muestra de ensayo

Es importante tomar en cuenta que todas las muestras de suelo, cumplan con todos protocolos y procedimientos necesarios para su conservación, esto según el estándar (ASTM D4220). En este ensayo, todas las muestras de suelo se realizaron de manera inmediata después de recolectar el material durante el trabajo de campo.

Al seleccionar una muestra de suelo para el análisis de contenido de humedad, es importante considerar la cantidad del material utilizado. Para ello, la norma establece una cantidad de masa mínima requerida en función el tamaño máximo de partículas del suelo estudiado, con la finalidad de obtener una medición precisa y constante al $\pm 1\%$ (al menos a un décimo porcentaje más cercano) del contenido de humedad presente en la muestra, como se observa en la *Tabla 4.1*.

Tabla 4. 1

Masa mínima requerida para muestra húmedas según el tamaño máximo de partículas

Tamaño máximo nominal del tamiz		Masa mínima requerida
N°	mm	[g]
10	< 2	20
4	4,8	100
3/8"	9,5	500
3/4"	19,0	2500
1 1/2"	37,5	10000
3"	75,0	50000

Fuente: Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas en masa, (ASTM, 2023).

4.1.1.4 Procedimiento

Preparar un contenedor o cápsula con su respectiva tapa, asegurándose de que ambos estén limpios, secos y previamente identificados de manera apropiada para evitar contaminaciones y errores de medición. Luego, utilizando una balanza con 0,1 g de precisión, registrar la masa del recipiente con su respectiva identificación, como se observa en la *Imagen 4.1 a*).

En el contenedor identificado, colocar una porción de la muestra húmeda representativa del suelo a ensayar de acuerdo con los requisitos especificados de la *Tabla 4.1*. Una vez que la muestra de suelo se ha colocado en el contenedor, determinar la masa total de ambos (contenedor y muestra), como se observa en la *Imagen 4.1 b*).

Colocar la muestra preparada en un horno de secado a una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C, por un tiempo mínimo de 12 a 16 horas. Ya transcurrido este intervalo de tiempo, se debe retirar el contenedor con la muestra del horno y colocarla en un desecador para enfriarla y permitir que alcance una temperatura ambiente antes de registrar la masa de la

muestra correspondiente, como se observa en la *Imagen 4.1 c)*, *Imagen 4.1 d)* y la *Imagen 4.1 e)*.

Repetir todo el procedimiento de tres o más muestras del mismo suelo, como se observa en la *Imagen 4.1 f)*. Esto, para obtener el promedio aritmético de los resultados registrados en el ensayo. De esta manera, se puede tener una idea completa y confiable del contenido de humedad del material estudiado.

Imagen 4.1

Ensayo contenido de humedad.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.5 Cálculos.

Los datos correspondientes al procedimiento del ensayo, se describen con el cálculo de la siguiente ecuación:

$$w_{\%} = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \text{Ecu. [4.1]}$$

Donde:

$w_{\%}$ = Contenido de humedad [%]

W_c = Masa del contenedor o cápsula de secado [g].

W_1 = Masa del contenedor más la muestra húmeda [g].

W_2 = Masa del contenedor más la muestra seca [g].

W_w = Masa del agua [g]. $\rightarrow W_w = W_1 - W_c$

W_s = Masa de los sólidos del suelo [g]. $\rightarrow W_s = W_2 - W_c$

4.1.1.6 Interpretación de datos

Los resultados del ensayo de contenido de humedad se presentan en la *Tabla 4.2*, para más información adicional y detallada se recomienda revisar *Anexo B*.

Tabla 4.2

Resultados del ensayo de contenido de humedad del suelo

Muestra	Profundidad de la toma de muestra	Contenido de humedad [w%]			
		P-1	P-2	P-3	Promedio
[N°]	[m]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	0,50	10,36	9,78	10,53	10,22
2	1,00	12,22	12,05	12,03	12,10
3	1,50	12,68	12,78	12,74	12,73
4	2,00	12,54	12,52	12,43	12,50

Nota. El contenido de humedad (w%) de todas las muestras son representativas de un punto de estudio realizado durante el proceso de sondeo geotécnico.

Todas las muestras analizadas pertenecen a un solo punto de estudio, la cual se ensayaron de manera inmediata después de su recolección.

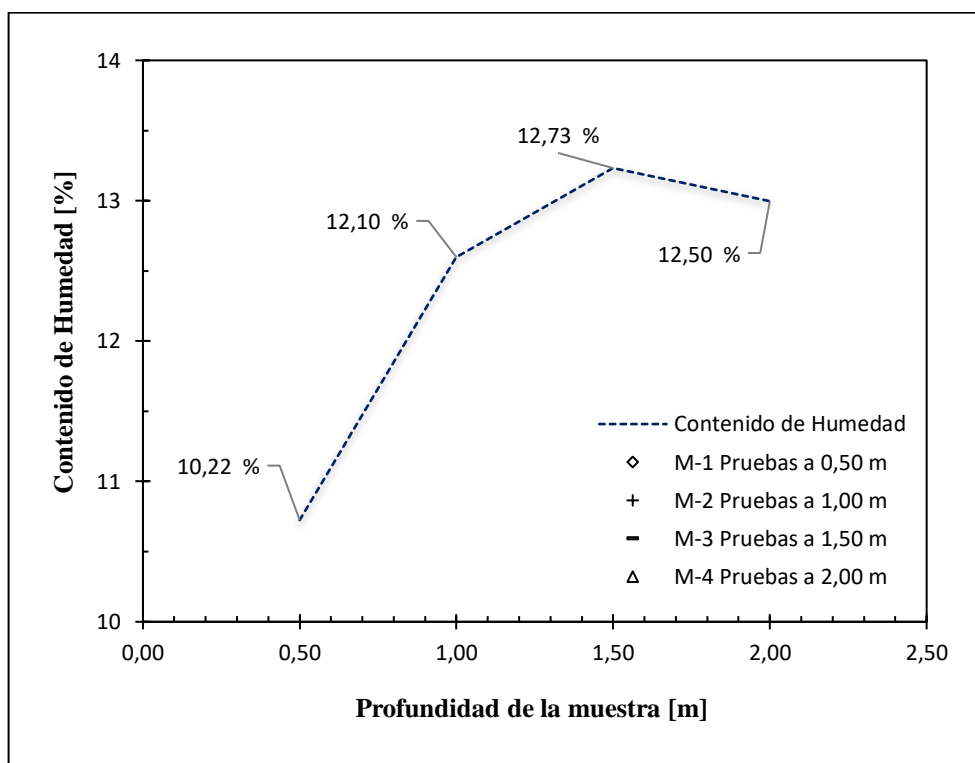
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Comportamiento del contenido de humedad en el suelo.**

En la *Figura 4.2*, se observa el contenido de humedad promedio en porcentaje, según la profundidad de las muestras de suelo adquirida en la exploración del sondeo geotécnico. De las muestras M-1, M-2, M-3 y M-4 extraídas a 0,50, 1,00, 1,50, y 2,00 metros de profundidad, se ensayaron 3 pruebas para cada una de ellas. Observándose así, una dispersión de los datos debido a la no homogeneidad del contenido de agua existente en el suelo.

Figura 4. 2

Contenido de humedad del suelo según su profundidad.



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, también se puede apreciar que el comportamiento del contenido de humedad es mayor a medida que aumenta la profundidad del suelo. De las 4 muestras realizadas, el promedio del contenido de humedad más bajo es de 10,22 % a una profundidad de 0,50 metros, mientras que el promedio del contenido de humedad más alto es de 12,73%

a los 1,50 metros de profundidad. Es importante tomar en cuenta que la variabilidad del grado de humedad del suelo respecto a la profundidad encontrada, puede depender de las propiedades físicas que se caracteriza según el tipo de suelo.

4.1.2 Granulometría por Tamizado

4.1.2.1 Generalidades

La Granulometría o análisis granulométrico es un método de ensayo para la caracterización de los suelos, consiste en separar las partículas de suelo por medio del tamizado en un conjunto de mallas estandarizadas de diferentes aberturas, con el objetivo conocer el peso retenido y establecer el porcentaje acumulado que pasa en cada una de las mallas respecto al peso total de la muestra de suelo, sobre la base de la información obtenida se determina una curva de distribución granulométrica representativa de los tamaños de partículas mayores a 0.075 mm. También nos permite conocer los coeficientes de uniformidad (C_u) y graduación o curvatura (C_c), esto siempre y cuando el caso lo amerite.

4.1.2.2 Materiales y equipos

- Recipientes para secado y pesaje de muestras.
- Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de muestra menores a 1000 gr.
- Horno de secado con temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Tamiz de lavado de abertura estandarizada N° 200.
- Desecador con gel de sílice.
- Juego de tamices con aberturas estandarizadas de (3", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N° 4, N° 10, N°40, N° 100, N° 200), considerando bandeja y tapa de ajuste.
- Tamizador automático.
- Herramientas de manipuleo: cuchara, brocha, cepillo y guantes de asbesto.

4.1.2.3 Muestra de ensayo

Antes de realizar el ensayo es importante tomar en cuenta que todas las muestras, deben ser preparadas mediante el método de cuarteo estandarizado por la Norma (ASTM T248).

Iniciando con una muestra preparada por cuarteo y homogeneizada, se debe seleccionar una porción de la muestra que cumpla con una masa mínima requerida, según el tamaño máximo de las partículas del suelo. Esto se establece de acuerdo con *Tabla 4.3*.

Tabla 4.3

Masa mínima requerida según el tamaño máximo de partícula

Tamaño Nominal de la Partícula Máxima		Masa aproximada mínima
N°	[mm]	[g]
3/8"	9,5	500
1/4"	19,0	1000
1"	25,0	2000
1 1/2"	37,5	3000
2"	50	4000
3"	75	5000

Fuente: Método de prueba estándar para el análisis del tamaño de partículas de suelos, (ASTM, 2003).

4.1.2.4 Procedimiento

Primero, tomar un recipiente e identificar, para evitar confusiones más adelante. También, es esencial asegurarse de que tanto los recipientes como las herramientas empleadas estén limpios y secos antes de ser utilizarlos para prevenir contaminaciones y errores de medición, como se observa en la *Imagen 4.2 a*).

En una balanza de precisión con capacidad de muestras menores a 1000 gramos y una precisión de 0.1 gramos, registrar la masa del recipiente y una porción no menor o poco

más de la masa mínima requerida del suelo. Esto según lo estipulado en la *Tabla 4.3*, como se observa en la *Imagen 4.2 b)* y la *Imagen 4.2 c)*.

Dejar secar la muestra de suelo en un horno con temperatura uniforme de 110 ± 5 °C por aproximadamente 24 horas, Una vez que se haya cumplido este intervalo de tiempo, se debe retirar el contenedor con la muestra y colocar en un desecador para permitir que alcance una temperatura ambiente con el propósito de obtener una masa constante, como se observa en la *Imagen 4.2 d)*.

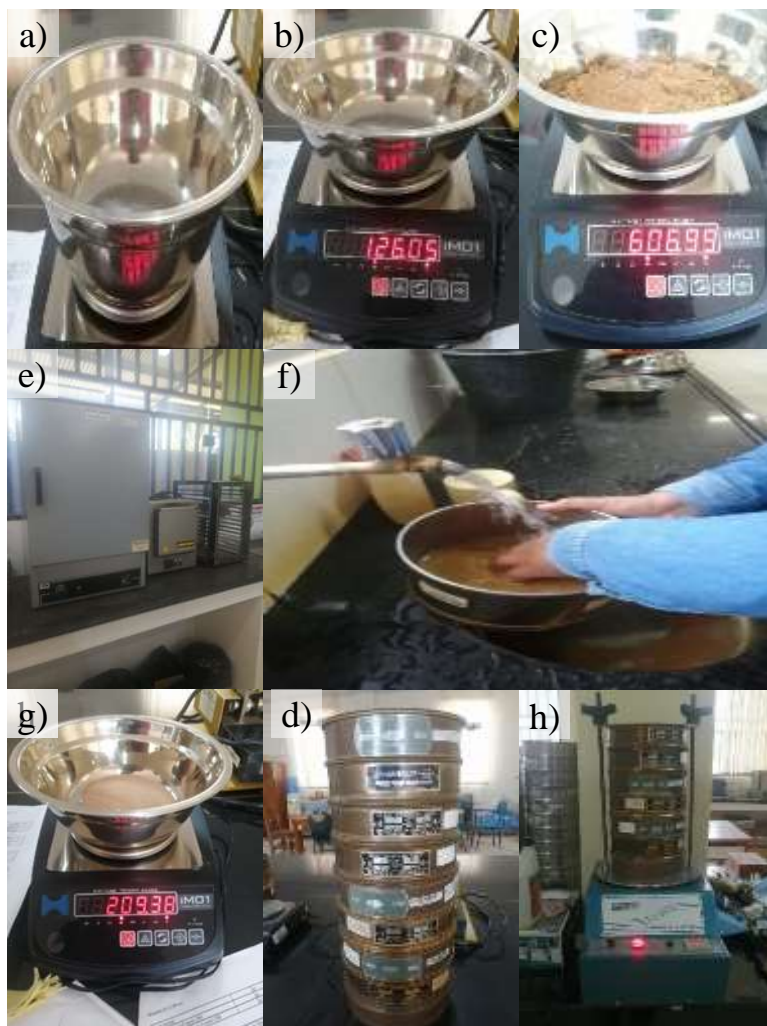
En la balanza de precisión ya especificada, registrar la masa del recipiente y la muestra del suelo seco, para posteriormente separar las partículas menores a 0.075 mm con ayuda del lavado en el tamiz N° 200, lavar hasta que el agua se vuelva totalmente limpia. Trasladar la muestra sobrante del tamiz N° 200 en el recipiente, previendo de no perder partículas del suelo para evitar errores de medición, finalmente repetir nuevamente el proceso de secado, enfriado y registro de la masa, como se observa en la *Imagen 4.2 e)* y la *Imagen 4.2 f)*.

Colocar la muestra de suelo en un juego de tamices con mallas estandarizadas de (3", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N° 4, N° 10, N° 40, N° 100, N° 200), la bandeja de base y la tapa de ajuste. Considerar, que las aberturas del conjunto de mallas deben estar limpias y ordenadas de mayor a menor con anticipación, como se observa en la *Imagen 4.2 g)*.

Seguidamente, agitar manualmente la pila de tamices y registrar el peso las partículas acumuladas en las mallas mayores de 4.75 mm (3", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4"). En el equipo de tamizador automático, situar los tamices sobrantes (N° 4, N° 10, N° 40, N° 100, N° 200) por un lapso de 5 minutos, posteriormente retirar y registrar el peso de la muestra de cada uno de los tamices mencionados, como se observa en la *Imagen 4.2 h)*.

Imagen 4.2

Procedimientos del ensayo de granulometría.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.5 Cálculos.

Antes de realizar los cálculos del ensayo, verificar la presencia de los datos necesarios para garantizar la precisión y la fiabilidad del análisis. Los datos correspondientes al procedimiento del ensayo, se describen con el cálculo de las siguientes ecuaciones:

$$\%_{Ret} = \frac{W_{Ret-acum}}{W_s} \times 100$$

Ecu. [4.2]

$$\%_{Pasa} = 100\% - \%_{Ret}. \quad Ecu. [4.3]$$

$$\%_{Error} = \frac{W_{S[N^{\circ}200]} - \sum W_{Ret}}{W_{S[N^{\circ}200]}} \times 100 \quad Ecu. [4.4]$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad Ecu. [4.5]$$

Donde:

$\%_{Ret}$ = Porcentaje retenido [g].

$W_{Ret-acum}$ = Masa retenida acumulada [g]. $\rightarrow W_{Ret_{superior}} + \dots + W_{Ret_{actual}}$

W_s = Masa de la muestra seca [g].

$\%_{Pasa}$ = Porcentaje que pasa [%].

$\%_{Error}$ = Porcentaje de error [%]. \rightarrow Condición $\%_{Error} < 3\%$

$W_{S[N^{\circ}200]}$ = Masa muestra seca retenida en el N° 200 después del lavado [g].

W_{Ret} = Masa retenida en cada tamiz [g]. $\rightarrow \sum W_{Ret} = W_{n1} + \dots + W_n$

C_u = Coeficiente de uniformidad

C_c = Coeficiente de graduación

D_{10}, D_{30}, D_{60} = Diámetro al porcentaje de 10%, 30% y 60% de las partículas [mm].

Una vez aplicadas las ecuaciones correspondientes, realizar gráfico semilogarítmico para determinar una curva granulométrica que nos permite visualizar y entender con mayor claridad la distribución del tamaño de las partículas del suelo estudiado. Todo esto se puede lograr con ayuda del programa Microsoft Excel.

4.1.2.6 Interpretación de datos

Los resultados del ensayo de análisis granulométrico se presentan en la *Tabla 4.4*, para más información adicional y detallada se recomienda revisar *Anexo B*.

Tabla 4.4

Resultados del ensayo análisis granulométrico.

Muestra	Altura	W_s	$W_{s[N^{\circ}200]}$	Grava	Arena	Finos	Pasa N ^o 200
[N ^o]	[m]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
M-1	0,50	480,94	201,27	0,23	41,62	58,15	58,15
M-2	1,00	704,87	232,11	0,00	32,93	67,07	67,07
M-3	1,50	663,17	271,68	0,00	40,96	59,04	59,04
M-4	2,00	679,55	299,82	0,00	44,06	55,94	55,94
M-5	-	609,23	295,08	0,15	48,29	51,57	51,57

Nota. M-1, M-2, M-3, y M-4 son muestras del suelo tomado a diferentes alturas del punto seleccionado para el sondeo geotécnico, M-5 es la muestra representativa del suelo extraído del pozo o calicata para su aplicación en los ensayos requeridos del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

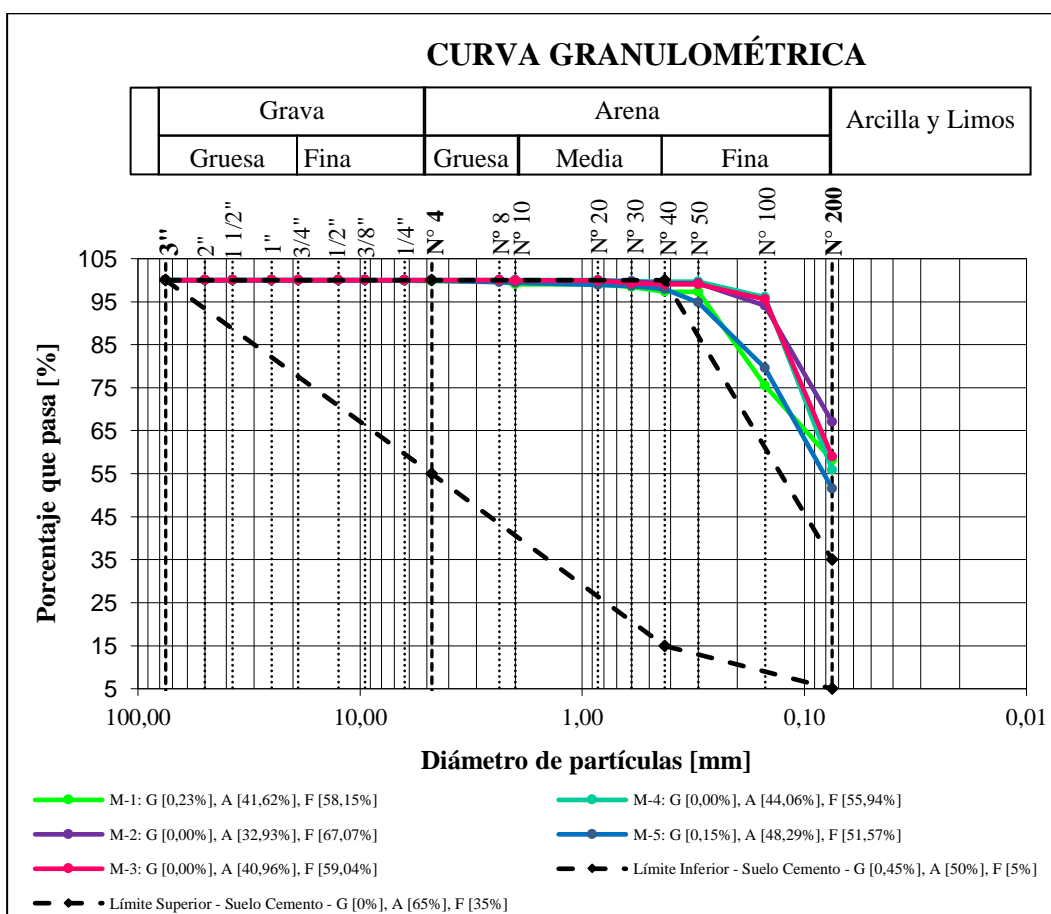
➤ **Distribución granulométrica de las partículas del suelo.**

En la *Figura 4.3*, se observa un gráfico semilogarítmico con 5 curvas granulométricas que representan la distribución de tamaño de las partículas o granos que componen el suelo analizado. A partir del tamiz N^o 3" (75 mm), todas las curvas presentan una tendencia uniforme en forma horizontal superior y en el tamiz N^o40 (0,425 mm) las curvas presentan un decrecimiento gradual de comportamiento convexo en sentido vertical inferior, los que indica un predominio de la existencia de una proporción relativamente alta de partículas como arena, limos y/o arcillas. Los materiales granulares de las muestras M-1 y M-5 tienen un promedio aproximado de 0,19 % de gravas y 44,95 % de arenas, mientras que los

materiales finos tienen un promedio de 54,86 %, seguido de la muestra M-2 con 0,00% de gravas, 32,93 % de arenas y 67,07 % de material fino. Por otro lado, las muestras M-3 y M-4 tienen un promedio de 0,00 % de gravas, 42,51 % de arenas y 57,49 % de suelo fino. No obstante, si el comportamiento de las curvas de la distribución granulométrica es similar en todas las muestras y de acuerdo a los datos mencionados, el porcentaje de gravas, arenas y finos puede variar según el grupo o subgrupo al que pertenezca cada material analizado.

Figura 4. 3

Distribución granulométrica del suelo y requerimientos para materiales estabilizados con cemento.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, también se muestra la representación de los límites de composición granulométrica para materiales estabilizados con cemento, planteados por el manual de especificaciones técnicas generales de construcción de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC). Donde, los materiales granulares de las 5 muestras evaluadas carecen o tienen una cantidad máxima de 23% de gravas. Así mismo, las arenas tienen una cantidad considerable que varía aproximadamente de 32 % a 48 %. Finalmente, los materiales finos que se constituyen por limo y/o arcillas varían alrededor de 51 % a 67 %. Indicando, que el porcentaje de partículas finas del suelo que pasa el tamiz N° 200 no cumple con los requerimientos de la banda granulométrica, que tienden a un mínimo de 5% y 35% como un máximo para las partículas de suelo fino.

4.1.3 Límites de consistencia

4.1.3.1 Generalidades

El presente apartado los límites de consistencia (o límites de Atterberg), determina el límite del contenido de humedad, expresada en porcentaje, que define el comportamiento del suelo cuando se encuentran en distintos estados de consistencia, para ello se plantea los siguientes ensayos de laboratorio:

Límite líquido. Estandarizado por la norma ASTM D 4318 - AASHTO T89. Se efectúa por medio de la maquina Casagrande, con el objetivo de medir el porcentaje de humedad [w%], cuando una mezcla de suelo más agua se encuentra al límite de transformación entre un estado plástico a líquido. Se considera que el límite líquido, se determina a los 25 golpes de la maquina mencionada.

Límite plástico. Estandarizado por la norma ASTM D4318 - AASHTO T90, se determina mediante el enrollado de un pequeño elipsoide de 3 mm de espesor, con el

propósito de medir el porcentaje de humedad [w%], cuando una mezcla de suelo más agua se encuentra al límite de transformación entre un estado semisólido a plástico.

Índice de plasticidad. Se puede definir por medio de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. En este sentido, podemos decir que es un parámetro o rango del contenido de humedad [w%] cuando el suelo se encuentra en un estado plástico.

4.1.3.2 *Materiales y equipos*

- Tamiz con abertura estandarizada N° 40
- Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de muestra menores a 1000 gr.
- Desecador con gel de sílice.
- Contenedor o cápsula para secado y pesaje de muestras.
- Máquina de Casagrande y acanalador ASTM.
- Placa de vidrio.
- Horno de secado con temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Herramientas de manipuleo: Cuchara, espátula, guantes y recipientes.

4.1.3.3 *Muestra de ensayo*

Antes de empezar a realizar el ensayo, es importante tomar en cuenta que todas las muestras, deben ser preparadas mediante el método de cuarteo estandarizado por la Norma (ASTM T248).1

Iniciando con una muestra representativa de suelo seleccionado, determine el tamaño de muestra mínima según la finalidad de los límites Atterberg. Esto se establece de acuerdo con *Tabla 4.5*.

Tabla 4.5*Tamaño de muestra requerida según su límite de consistencia*

Límites de Atterberg	Tamaño de muestra mínima
	[g]
Límite Líquido	150 - 200
Límite Plástico	20

Nota. La muestra se tomará de partículas que pasen el tamiz N°40.

Fuente. Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos, (ASTM, 2003).

4.1.3.4 Procedimiento del ensayo

En primer lugar, separar las partículas del suelo que sean menores a 0.425 mm con ayuda del tamiz N° 40. Luego, en una placa de vidrio, mezclar una porción de la muestra suelo con agua hasta formar una pasta homogénea. Posteriormente, colocar la pasta en una bolsa de polietileno con cierre hermético, con el propósito de evitar la entrada de aire y la pérdida de humedad en la muestra. A continuación, dejar reposar la muestra de 1 a 24 horas, esto depende de la plasticidad o el tipo del suelo que se esté analizando, como se observa en *la Imagen 4.3 a), Imagen 4.3 b) y la Imagen 4.3 c).*

➤ Límite líquido

En el ensayo del límite líquido, una vez pasado el tiempo de reposo, colocar una porción aproximada de 150 a 200 g de la pasta de suelo y sobre la placa de vidrio volver a mezclar hasta que este se encuentre completamente homogeneizado.

Colocar una porción de la pasta en la cuchara o copa de bronce de la máquina Casagrande y con ayuda de una espátula nivelar de manera horizontal a 10 mm en el punto máximo de espesor de la cuchara de bronce. Después, con el acanalador ASTM dividir

simétricamente la muestra realizando una ranura en todo el diámetro vertical, dejando una separación de 2 mm de espesor, para elevar y dejar caer la cuchara de bronce en la base dura de la máquina a una altura de 10 mm, como se observa en la *Imagen 4.3 d)* y la *Imagen 4.3 e)*.

Contar y registrar en número de golpes necesarios para cerrar las paredes de la ranura en el fondo de la cuchara, para facilidad de registro tomar en cuenta intervalos de 15 a 35 golpes, ya que humedad del límite líquido se define cuando la ranura se cierra a los 25 golpes, como se observa en la *Imagen 4.3 f)*.

En una balanza de precisión con capacidad de muestras menores a 1000 gramos y una precisión de 0.1 gramos, pesar y registrar un contenedor previamente limpio, seco e identificado con aproximadamente 10 g de la muestra que se junta en el fondo de la copa. Posteriormente llevar al horno de secado para luego dejar enfriar en un desecador hasta alcanzar una masa constante para finalmente tomar su registro.

Una vez realizado el ensayo correspondiente, se procede a repetir el proceso hasta recabar tres o cuatro datos diferentes de la misma muestra de suelo.

➤ Límite plástico.

En el ensayo del límite plástico, una vez transcurrido el período de reposo mencionado al comienzo de esta sección, colocar una porción aproximada de 60 g de la pasta de suelo y sobre la placa de vidrio volver a mezclar hasta que se encuentre completamente homogeneizado.

Retirar y dejar secar una porción de la pasta homogeneizada hasta que se encuentre en un estado plástico en otras palabras, que la pasta de suelo llegue a un punto en donde se pueda moldear y deformar sin perder su elasticidad.

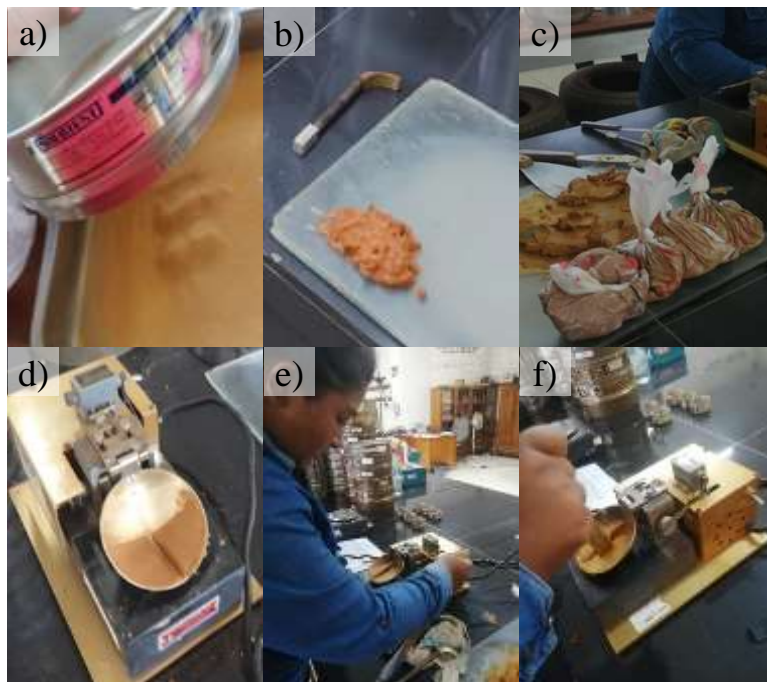
Enrollar pequeños elipsoides hasta 3 mm de espesor e incluso cuando este empiece a disgregarse por el agrietamiento debido a la predicada de humedad, como se observa en la *Imagen 4.3 g*).

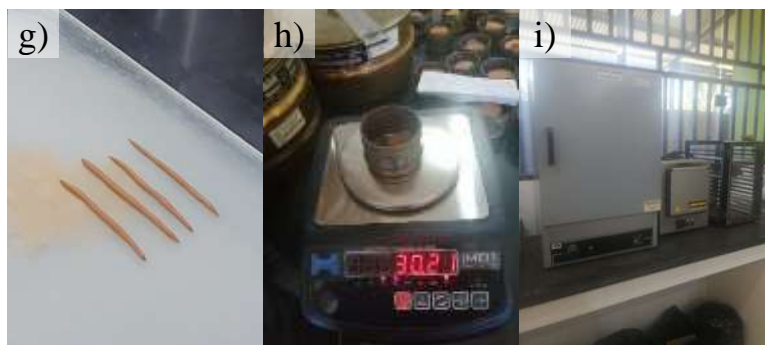
En una balanza de precisión con capacidad de muestras menores a 1000 gramos y una precisión de 0.1 gramos, pesar y registrar un contenedor previamente limpio, seco e identificado más los rollos de la muestra realizada. Posteriormente llevar al horno de secado para luego dejar enfriar en un desecador hasta alcanzar una masa constante para finalmente tomar su registro, como se observa en la *Imagen 4.3 h*) y la *Imagen 4.3 i*).

Una vez realizado el ensayo correspondiente, se procede a repetir el proceso hasta recabar tres o cuatro datos diferentes de la misma muestra de suelo.

Imagen 4.3

Procedimiento del ensayo límites de consistencia.





Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.5 Cálculos.

Los datos correspondientes al procedimiento de ensayo, se describen con el cálculo de las siguientes ecuaciones:

- Determinación del contenido de humedad para límite líquido y plástico.

$$W_{\%} = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \text{Ecu. [4.6]}$$

- Límite líquido por el método de regresión logarítmica simple.

$$y = A + B \ln(x) \quad \text{Ecu. [4.7]}$$

$$B = \frac{n(\sum(y \ln(x)) - (\sum \ln(x))(\sum y))}{n(\sum(\ln(x))^2) - (\sum \ln(x))^2} \quad \text{Ecu. [4.8]}$$

$$A = \bar{y} - B \bar{\ln}(x) \quad \text{Ecu. [4.9]}$$

- Límite plástico.

$$LP = \frac{\sum W_{\%}}{n} \quad \text{Ecu. [4.10]}$$

- Índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP \quad \text{Ecu. [4.11]}$$

Donde:

$W_{\%}$ = Contenido de humedad [%].

W_w = Masa del agua [g].

W_s = Masa de los sólidos del suelo [g].

x = Variable independiente (número de golpes [N°]).

y = Variable dependiente (Porcentaje del Contenido de humedad [$W\%$]).

A, B = Coeficientes de regresión de la relación entre x y y .

LP = Límite plástico [%].

n = Número de variables.

LL = Límite líquido [%].

IP = Índice de plasticidad [%].

El cálculo del límite líquido para 25 golpes, también se puede determinar directamente en un gráfico: donde la ordenada representa el porcentaje del contenido de humedad y en la abscisa el número de golpes, pero en escala logarítmica.

4.1.3.6 Interpretación de datos

Los resultados del ensayo de los límites Atterberg o consistencia se presentan en la *Tabla 4.6*, para más información adicional y detallada se recomienda revisar *Anexo B*.

Tabla 4.6

Resultados del ensayo límites de Atterberg o consistencia.

Muestra	Profundidad de la muestra extraída	Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)
[N°]	[m]	[%]	[%]	[%]
M-1	0.50	24,07	16,76	7,32
M-2	1.00	31,81	22,50	9,31
M-3	1.50	31,67	25,13	6,54
M-4	2.00	29,63	24,17	5,47
M-5	0.30 – 2.00	27,55	20,38	7,17

Nota. Las muestras M-1, M-2, M-3 y M-4 se han extraído del suelo a distintas profundidades en el punto seleccionado para el sondeo geotécnico. Por otro lado, la muestra M-5 es representativa del material extraído del pozo o calicata, y se destina a los ensayos necesarios para el proyecto de investigación.

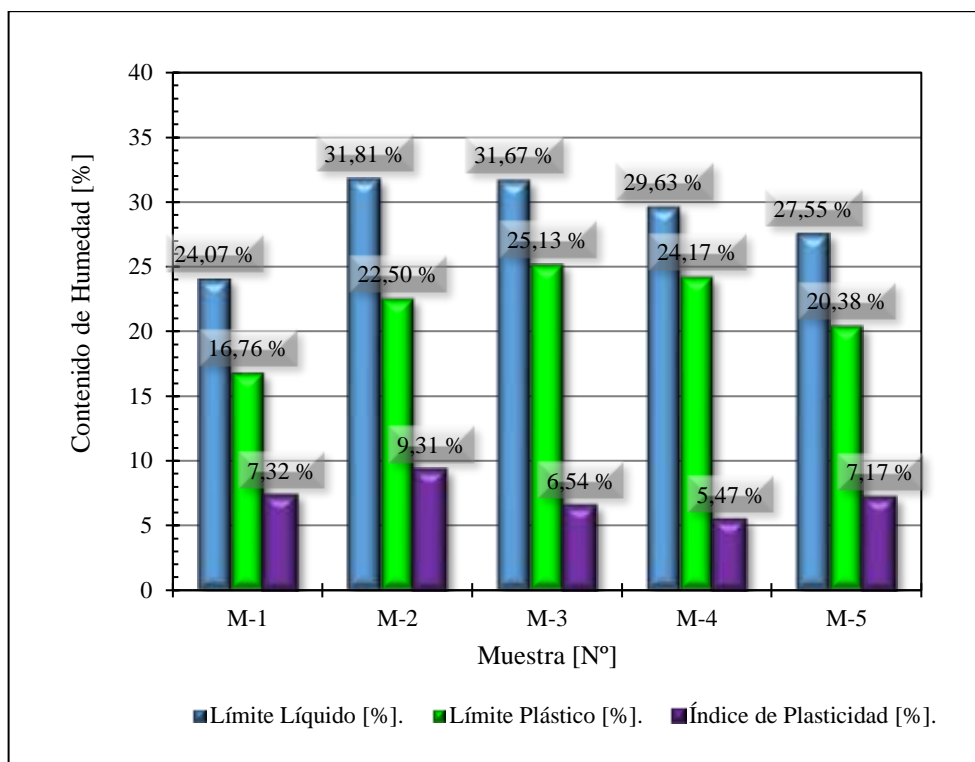
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Límites de Atterberg.**

La *Figura 4.4* presenta los límites de Atterberg, también conocidos como límites de consistencia, de las muestras de suelo obtenidas durante el trabajo de campo. En lo que respecta al límite líquido (LL), se observa que la muestra M-2 tiene el valor más alto, con un 31.81%, seguida por M-3 con un 31.67%. Posteriormente, las muestras M-4 y M-5 registran valores de 29.63% y 27.55%, respectivamente, mientras que M-1 muestra el (LL) más bajo, con un 24.07%. Estos valores indican que las muestras con (LL) más altos, poseen una mayor capacidad de retención de agua. Respecto al límite plástico (LP), la muestra M-3 presenta el valor más alto, alcanzando un 25.13%, seguida de M-4 con 24.17% y M-2 con 22.50%. En contraste, las muestras M-5 y M-1 muestran valores más bajos, registrando un 20.38% y un 16.76%, respectivamente. Estos resultados sugieren que las muestras con (LP) más altos tienen una mayor capacidad de deformarse sin romperse. En cuanto al índice de plasticidad, la muestra M-2 presenta el valor más alto, con un 9.31%, seguida de M-1 con 7.32%, M-5 con 7.17% y M-3 con 6.54%. Por último, la muestra M-4 muestra el valor más bajo, con un 5.47%, lo que indica un comportamiento relativamente menos plástico. Ahora bien, podemos decir que a medida que aumenta el contenido de humedad representado por el límite líquido (LL), las propiedades cohesivas del suelo, reflejadas en el índice de plasticidad (IP), dependen en gran medida de la estructura molecular de las partículas finas que componen el suelo.

Figura 4. 4

Límites de Atterberg del suelo en estudio.



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, en un contexto de estabilización con cemento los resultados obtenidos para el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP) indican que todas las muestras analizadas cumplen con los estándares para suelo cemento, donde el límite líquido debe ser inferior al 35% y el índice de plasticidad menor al 15%. Esto sugiere que, desde el punto de vista de estabilidad y comportamiento mecánico, las muestras de suelo extraídas son aptas para su uso en proyectos de construcción con mezcla de cemento.

4.1.4 Clasificación de Suelos

4.1.4.1 Generalidades

En base a los fundamentos teóricos descritos en el capítulo II, podemos decir que la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) y el

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), son fundamentales en la ingeniería civil ya que brindan métodos estandarizados para la clasificar los suelos en grupos y subgrupos según propiedades de la distribución del tamaño de las partículas del suelo, su límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Información es crucial para la toma de decisiones en el diseño de obras civiles como carreteras, puentes y edificios, garantizado la seguridad y eficiencia de los proyectos de construcción.

4.1.4.2 Interpretación de datos

La Tabla 4.7 muestra los resultados del ensayo de clasificación de suelos. Para obtener información más detallada, se recomienda consultar el Anexo B. La clasificación del suelo se realizó utilizando los sistemas SUCS y AASHTO, basándose en datos obtenidos de los ensayos que identifican características físicas, como el análisis granulométrico y los límites de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad).

Tabla 4.7

Resultados de la clasificación de suelo.

Muestra	Descripción del suelo	Sistemas de clasificación de suelo	
		AASHTO	SUCS
[N°]			
M-1	Altura- 0.50 [m]	A-4 [1]	CL Arcilla Arenosa de baja plasticidad
M-2	Altura- 1.00 [m]	A-4 [4]	CL Arcilla Arenosa de baja plasticidad
M-3	Altura- 1.50 [m]	A-4 [2]	ML Limo Arenoso de baja plasticidad
M-4	Altura- 2.00 [m]	A-4 [1]	ML Limo Arenoso de baja plasticidad
M-5	-	A-4 [1]	CL Arcilla arenosa de baja plasticidad

Nota. M-1, M-2, M-3, y M-4 son muestras del suelo que se tomaron a diferentes alturas del punto seleccionado para el sondeo geotécnico. M-5 es la muestra representativa del suelo extraído de la calicata, para su aplicación en los ensayos requeridos en la investigación.

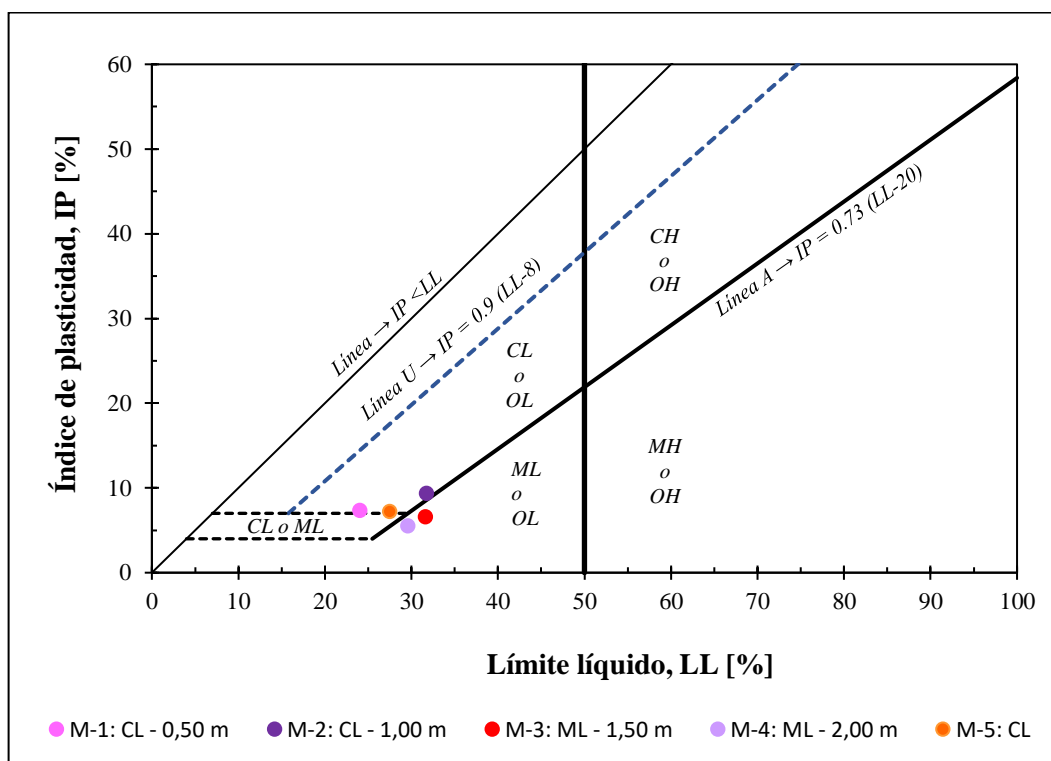
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Sistema de clasificación de suelos SUCS.**

La *Figura 4.5*, presenta la carta de plasticidad del sistema de clasificación SUCS. Las muestras de suelos M-1, M-2, M-3 y M-4 tomadas durante el sondeo geotectónico, se estratifica de la siguiente manera: CL Arcilla Arenosa de baja plasticidad, para las muestras tomadas a 0.50 m y 1.00 m de profundidad; y ML Limo Arenoso de baja plasticidad, para las muestras tomadas a 1.50 m y 2.00 m de profundidad. En el caso de la muestra de suelo M-5 representativo de una calicata ubicada en el mismo punto de sondeo durante el trabajo de campo, se clasifica como CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.

Figura 4.5

Carta de plasticidad del sistema SUCS, para la clasificación de suelos.



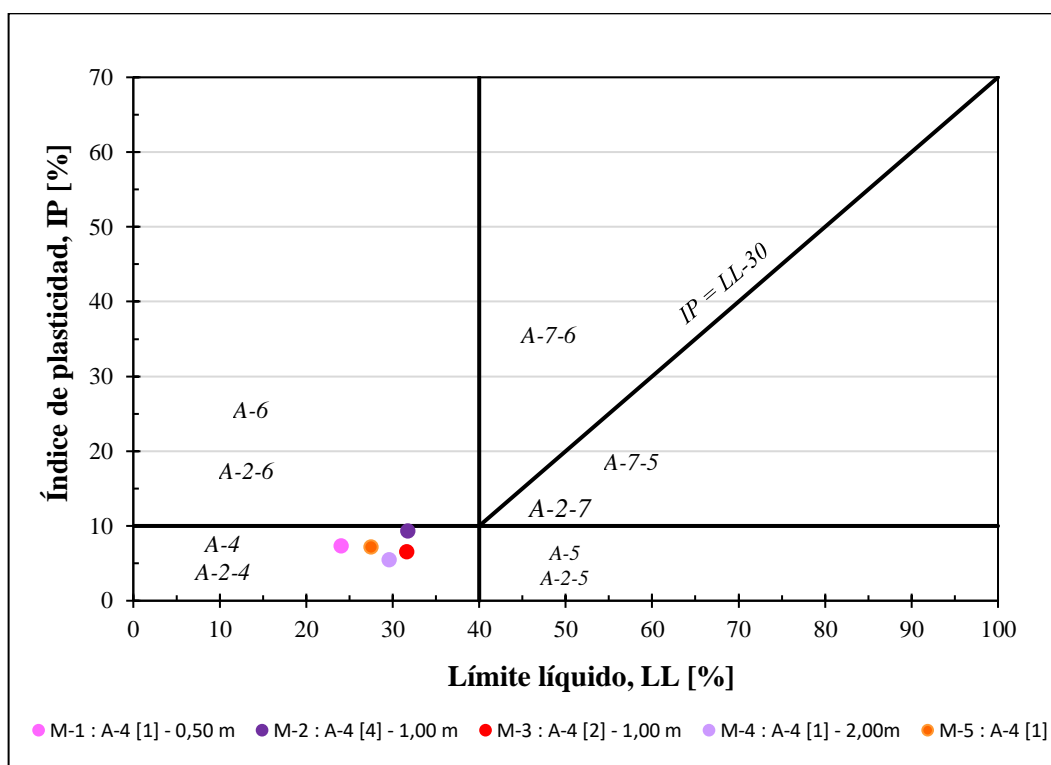
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Sistema de clasificación de suelos AASHTO.**

En la *Figura 4.6*, podemos observar la carta de plasticidad del sistema de clasificación AASHTO. Los suelos mencionados con anterioridad se identifican como: A-4 (1), para las muestras M-1, M-2, M-4 y M-5; A-4 (4), para la muestra M-2; y A-4 (2), para la muestra M-3. En general, todos los tipos de suelos A-4 contienen materiales principalmente limosos y considerando el índice grupo se califica como un suelo regular a malo.

Figura 4. 6

Carta de plasticidad del sistema SUCS, para la clasificación de suelos.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Relaciones de humedad - peso unitario de la mezcla de suelo cemento

4.1.5.1 Generalidades

El estándar ASTM D 558, es un procedimiento que utiliza una curva geométrica de compactación para establecer la relación entre el óptimo contenido de humedad y la densidad máxima seca compactada de la mezcla de suelo cemento. En este proyecto el método, se establece con una energía de compactación de $2,67 \text{ J/cm}^3$ ($\approx 27,2 \text{ kgf cm/cm}^3$), realizada con un pistón de 4,5 kg a una caída libre de 460mm, esto según lo estipulado en la norma ASTM 1557 método o Proctor modificado.

Por otro lado, para el desarrollo del proceso del compactado la norma modificada plantea diferentes métodos, según las características granulométricas del suelo. En este sentido, se adoptó el método A: para molde metálico de 100 mm de diámetro para material de suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (N° 4).

4.1.5.2 Materiales y equipo

- Juego de tamices con aberturas estandarizadas de (3/4", 3/8"y N° 4).
- Recipientes para secado y pesaje de muestras.
- Probeta graduada para medir el agua.
- Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de 40000 g.
- Horno de secado con temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Desecador con gel de sílice.
- Molde cilíndrico metálico 4" de diámetro ($101.6 \text{ mm} \pm 0.4 \text{ mm}$) con un volumen de $943 \text{ cm}^3 \pm 14.0 \text{ cm}^3$ (incluye placa de base, cuerpo y correa o collar ajustable).
- Pisón metálico de $50 \pm 0.2 \text{ mm}$ de diámetro y una masa de $4.500 \pm 10\text{g}$.

- Herramientas de manipuleo: Brocha, espátula, cuchara, cepillo, guantes de asbesto, paila de mezclado y regla de Acero

4.1.5.3 Muestra de ensayo

- Preparación de la muestra de suelo previo al ensayo.

Antes de empezar a realizar el ensayo, es importante tomar en cuenta que todas las muestras, deben ser preparadas mediante el método de cuarteo estandarizado por la Norma (ASTM T248), como se describe en la sección 3.1.4. del presente capítulo.

Por otro lado, para dar inicio con los procedimientos correspondientes al ensayo, asegurarse de secar la muestra de suelo a unos 60 °C en un horno con temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ$. Esto permitirá tener un mayor control sobre el contenido de humedad del material, además de facilitar el tamizado de las partículas del suelo

- Tamaño de muestra de suelo.

Iniciando con una muestra representativa de suelo seleccionado, es importante determinar el tamaño de muestra de suelo requerido. Para ello, se presenta métodos alternativos según la granulometría de las partículas del suelo, como se describe en la *Tabla 4.8*.

Tabla 4.8

Ensayo ASTM D558, tamaño aproximado de la muestra seca según su granulometría.

Método de ensayo	Tamaño nominal del molde		Tamiz que pasa	Masa mínima de muestra	Masa aproximada de fracción por cada determinación
	[N°]	[mm]	[mm]	[g]	[g]
A y B	4"	100	4.75	16000	3000
C	6"	150	19.00	30000	6000

Nota. Para más detalles consultar la norma citada.

Fuente: Métodos de prueba estándar para las características de compactación del suelo en laboratorio mediante esfuerzo modificado, (ASTM, 2012).

- Compactado de la mezcla de suelo cemento.

Para una eficiente aplicación de la energía de compactación planteada en el ensayo, se debe tomar en cuenta la asignación apropiada del número de golpe para cada capa compactada, según lo especificado en la *Tabla 4.9*

Tabla 4.9

Ensayo ASTM D558, número de capas y golpes para compactado.

Método de ensayo	Tamaño nominal del molde		Capas de compactado	Golpes de compactado
	[N°]	[mm]	[N°]	[N°]
A y B	4"	100	5	25
C	6"	150	5	56

Nota. Para más detalles consultar la norma citada.

Fuente: Métodos de prueba estándar para las características de compactación del suelo en laboratorio mediante esfuerzo modificado, (ASTM, 2012).

4.1.5.4 Procedimiento

Primero con el propósito de escoger un método adecuado para el suelo en estudio, seleccionamos una porción del material con ayuda de tamices estandarizados con aberturas cuadradas de (3/4", 3/8" y N° 4), estos deben estar apilados y ordenados de mayor a menor, como se observa en la *Imagen 4.4 a*).

En un recipiente limpio y seco, pesar y registrar en una balanza con capacidad no menor a 40000 g y con una precisión de 0.1 gramo, la cantidad de masa mínima requerida del suelo según el método estipulado en la *Tabla 4.9*. Además, de la masa en porcentaje de la cantidad de agua y adicionalmente la dosificación correspondiente de cemento, como se observa en la *Imagen 4.4 b*), *Imagen 4.4 c*) e *Imagen 4.4 d*).

En un recipiente o paila grande, vaciar y mezclar bien los componentes secos (suelo y cemento). Luego, agregar el agua mezclando constantemente hasta que este forme una pasta que se encuentre húmedo y homogéneo. Finalmente, tapar y dejar reposar la mezcla de 5 a 10 min, esto para permitir que la humedad se absorba de manera uniforme, como se observa en la *Imagen 4.4 e*), *Imagen 4.4 f*), *Imagen 4.4 g*) e *Imagen 4.4 h*).

Para iniciar con el compactado, situar un molde cilíndrico metálico sobre una superficie plana y resistente. Seguidamente, colocar una porción de la muestra homogénea dentro del molde y utilizando un pisón metálico de $50 \pm 0,2$ mm de diámetro y una masa de 4.500 ± 10 g, proceder a compactar de manera uniforme, según lo estipulado en la *Tabla 3.10*. Repetir el mismo proceso hasta formar cinco capas iguales en el molde, como se observa en la *Imagen 4.4 i*).

Una vez culminado el proceso de compactación de la muestra de suelo, quitar la correas o collar ajustable del molde y con ayuda de una regla metálica nivelar cuidadosamente la superficie del mismo. En la balanza de precisión pesar y registra la masa del molde más la muestra compactada (aclarar que es importante tomar nota previa de la masa del molde vacío y sin correa), como se observa en la *Imagen 4.4 j*) e *Imagen 4.4 k*).

Extraer una muestra de la parte superior e inferior del suelo compactado en el molde. Luego, colocar la muestra en un recipiente debidamente seco, limpio e identificado. Finalmente, en una balanza con 0,1 g de precisión, registrar la masa de la muestra antes y después de ponerlas en un horno de secado, como se observa en la *Imagen 4.4 l*).

Para obtener una curva de compactación peso unitario/humedad. Es necesario, repetir el procedimiento por 4 veces más, aumentando 2 puntos porcentuales de diferencia de la cantidad de agua (humedad) respecto al peso de la muestra analizada.

Imagen 4. 4

Procedimiento del ensayo para el óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca, para mezclas de suelo cemento, según el método de Proctor modificado.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.5 Cálculos

Los datos correspondientes al procedimiento del ensayo, se describen con el cálculo de las siguientes ecuaciones:

$$\rho_h = \frac{W}{V} \quad \text{Ecu. [4.13]}$$

$$\rho_d = \frac{\rho_h}{1 + \left(\frac{w\%}{100}\right)} \quad \text{Ecu. [4.14]}$$

Donde:

ρ_h = Peso unitario húmedo [kN/m³].

ρ_d = Peso unitario seco [kN/m³].

W = Masa de suelo cemento húmedo [g].

V = Volumen de la mezcla suelo cemento compactado [cm³].

$w\%$ = Masa del agua [g].

4.1.5.6 Interpretación de datos.

Los resultados del ensayo de relaciones de humedad - peso unitario de la mezcla de suelo cemento (ASTM D558), se presentan en la *Tabla 4.10*, para más información adicional y detallada se recomienda revisar *Anexo B*.

Tabla 4.10

Resultados óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca para mezclas de suelo cemento, según el método de Proctor modificado.

Muestra	Porcentaje de Cemento	Peso unitario seco	Contenido de humedad óptimo	Clasificación de suelo	
[N°]	[%]	[kN/m ³]	[%]	AASTHO	SUCS
1. Suelo cemento	3	20.06	9.95	A - 4	CL Arcilla
2. Suelo cemento	5	20.00	10.04	IG: (1)	arenosa de
3. Suelo cemento	7	20.11	10.26		

4. Suelo cemento	9	20.14	10.35	baja plasticidad
------------------	---	-------	-------	------------------

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Relación del óptimo contenido de humedad y el peso unitario máximo seco**

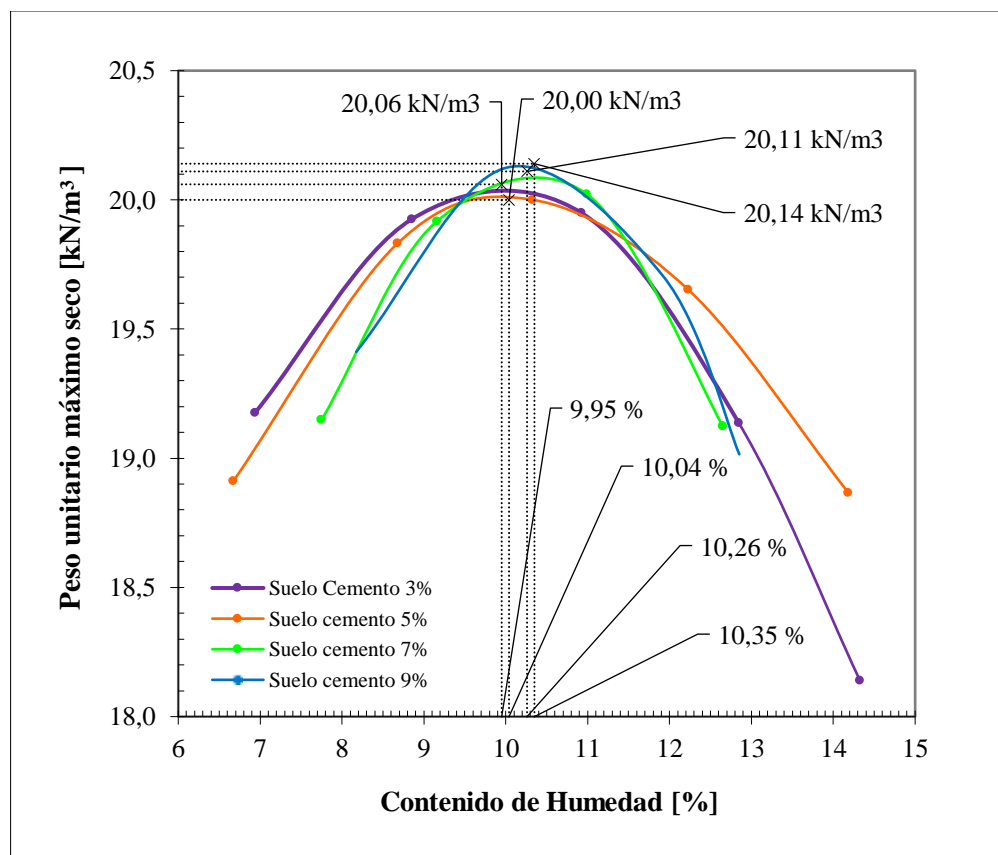
El contenido de humedad óptimo (OCH) y el peso unitario máximo seco (PUMS) de las mezclas de suelo-cemento se realizó con la finalidad determinar las condiciones ideales del suelo cemento para alcanzar la mayor densidad posible al ser compactado. Esto para garantizar una mezcla con alta durabilidad y resistencia, lo que resulta fundamental en la aplicación de probetas de ensayos de la presente investigación. Al conocer el OCH y el PUMS, es posible ajustar el proceso de compactación en laboratorio para asegurar que el suelo-cemento se comporte de manera óptima durante la aplicación de los ensayos requeridos.

La *Figura 4.7* proporciona información de la relación del óptimo contenido de humedad (OCH) y el peso unitario máximo seco (PUMS) compactada del suelo A-4 (1) (AASHTO) con una dosificación de 3%, 5%, 7% y 9% de cemento. Las mezclas de suelo cemento tienen: 9.95 % de OCH y 20.06 kN/m³ de PUMS, para 3 % de cemento; 10.04 % de OCH y 20.00 kN/m³ de PUMS, para 5% de cemento; 10.26 % de OCH y 20.11 kN/m³ de PUMS, para 7% de cemento; y 10.35 % de OCH y 20.14 kN/m³ de PUMS, para 9% de cemento. Los resultados muestran que la densidad máxima seca y el óptimo contenido de humedad de la mezcla compactada, aumenta ligeramente a medida que el porcentaje de cemento sube. En la figura, también podemos observar que la mezcla de suelo cemento con 5% de dosificación, la PUMS disminuye lo que hace suponer que pudo existir alguna falla en cuanto la homogeneidad o compactación de la mezcla durante el ensayo. No obstante, la

diferencia es mínima para todas las muestras de suelo-cemento, la variación porcentual del PUMS no supera el 0.40% mientras que el OCH es del 4.02%.

Figura 4.7

Relación del peso unitario máximo seco y el óptimo contenido de humedad del suelo cemento.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.6 Elaboración de probetas cilíndricas de suelo cemento

4.1.6.1 Generalidades

En la presente investigación la elaboración de probetas cilíndricas de suelo cemento, utiliza procedimientos de moldeo y curado en condiciones precisas de laboratorio, según los requerimientos de los estándares ASTM D1632 y ASTM D559. Los especímenes de suelo

cemento realizados por este método, tiene como finalidad ser empleados en pruebas de ensayos de durabilidad en condiciones de humedecimiento y secado, compresión simple y esclerometría, métodos que se describen en secciones posteriores.

4.1.6.2 *Materiales y equipo*

- Tamiz con aberturas estandarizadas (3/4", 3/8" y N°4).
- Probetas graduadas para medir agua.
- Recipientes para secado y pesaje de muestras.
- Molde cilíndrico metálico 4" de diámetro interno ($101.6 \text{ mm} \pm 0.4 \text{ mm}$) con una altura de ($200 \text{ mm} \pm 0.4 \text{ mm}$), incluye placa de base, cuerpo y correa o collar ajustable.
- Molde cilíndrico metálico 6" de diámetro interno ($150 \text{ mm} \pm 0.7 \text{ mm}$) con una altura de ($300 \text{ mm} \pm 0.4 \text{ mm}$), incluye placa de base, cuerpo y correa o collar ajustable.
- Pisón metálico de $50 \pm 0,2 \text{ mm}$ de diámetro y una masa de $4.500 \pm 10\text{g}$.
- Una cámara húmeda o un lugar cubierto que pueda mantener una temperatura de $21 \pm 1,7^\circ\text{C}$, con una humedad relativa del 100% para almacenamiento de 7 días.
- Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de muestra menores a 40000 g.
- Horno de secado con temperatura uniforme de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$).
- Herramientas de manipuleo: Brocha, dispositivo de medida, espátula, cuchara, cepillo, guantes de asbesto, paila de mezclado y regla de Acero

4.1.6.3 *Muestra de ensayo*

- Muestra de suelo para la mezcla de suelo cemento.

Tomando estas consideraciones la norma ASTM D1632 y ASTM D559, antes de dar inicio con el moldeo de las probetas de suelo cemento, es importante preparar y verificar la

granulometría material según el método alternativo al que corresponda, según norma ASTM D-558.

También, es fundamental garantizar suficiente material de la muestra de suelo, durante el proceso de la elaboración de las probetas de ensayo. Además de evitar la pérdida del mismo. Para ello, es fundamental determinar un cálculo estimado de la cantidad necesaria para cada prueba, teniendo en cuenta el tamaño adoptado de los especímenes.

➤ Moldeo y compactado de la mezcla de suelo cemento.

El moldeo y compactado de las probetas cilíndricas de suelo cemento, se realizó de acuerdo con los parámetros granulométricos y condiciones de la óptimas de humedad con respecto a la densidad máxima seca.

Las dimensiones adoptadas para la elaboración de las probetas cilíndricas de suelo cemento, de realizo de la siguiente manera:

- Probeta A: con un diámetro de 100 mm y una altura de 200 mm.
- Probeta B: con un diámetro de 150 mm y una altura de 300 mm.

Según el tamaño de la muestra, es necesario recalcular con ecuaciones matemáticas el número de capas compactas necesarias para moldeo de los especímenes a un 95% o más de la densidad máxima seca, según las directrices del estándar ASTM D 558 descrita en la sección 3.55 del presente capítulo.

4.1.6.4 Procedimiento

➤ Preparación de la mezcla.

En primer lugar, para un mayor control de la humedad del suelo a ensayar, dejar secar al aire a una temperatura ambiente o caso contrario en un horno que no exceda los 60 °C. Además, también es necesario verificar la granulometría del material con tamices

estandarizados de aberturas cuadradas de (3/4", 3/8" y N° 4), estos deben estar apilados y ordenados de mayor a menor, como se observa en la *Imagen 4.5 a*).

En una balanza con capacidad no menor a 40000 g, registrar la cantidad de masa mínima requerida del suelo seco según los cálculos previos. Además, de la cantidad de cemento según el porcentaje requerido y la cantidad óptima de agua (tomar en cuenta la pérdida de humedad por evaporación en el tiempo), como se observa en la *Imagen 4.5 b*), *Imagen 4.5 c*) e *Imagen 4.5 d*).

En un recipiente o paila grande, vaciar y mezclar bien los componentes secos (suelo y cemento). Luego, agregar el agua mezclando constantemente hasta que este forme una pasta que se encuentre húmedo y homogéneo. Finalmente, tapar y dejar reposar la mezcla de 5 a 10 min, esto para permitir que la humedad se absorba de manera uniforme, como se observa en la *Imagen 4.5 e*), *Imagen 4.5 f*), *Imagen 4.5 g*) e *Imagen 4.5 h*).

➤ Preparación de la probeta.

Antes de iniciar con la compactación de la mezcla, es fundamental preparar con anticipación el molde metálico en el que se realizarán las probetas de suelo cemento. Primero, verificar que el molde se encuentre debidamente ajustado (placa de base, cuerpo y correa o collar de extensión). Después, lubricar la pared interior del molde y la correa de extensión, con una ligera capa de aceite comercial para facilitar el proceso de desmoldeo. Posteriormente, colocar un papel con el diámetro adecuado en la base para filtrar la mezcla y evitar que la probeta se adhiera a la placa del molde. Finalmente, situar el molde sobre una superficie plana y resistente, como se observa en la *Imagen 4.5 i*).

En el molde, colocar una porción de la muestra homogénea y utilizando un pisón metálico de 50 ± 0.2 mm de diámetro y una masa de 4.500 ± 10 g, proceder a compactar de

manera uniforme con una energía de compactación de 2.67 J/cm^3 ($\approx 27.2 \text{ kgf cm/cm}^3$). Repetir el mismo proceso hasta formar el número de capas necesarias para el tamaño adoptado, como se observa en la *Imagen 4.5 j*).

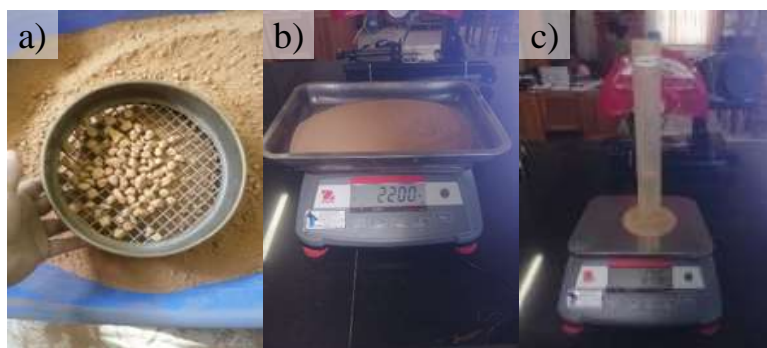
Una vez culminado el proceso de compactación de la mezcla de suelo cemento, quitar la correal o collar ajustable del molde y con ayuda de una regla metálica nivelar cuidadosamente la superficie del mismo, como se observa en la *Imagen 4.5 k*).

Desmoldar y registrar la masa la probeta de suelo cemento compactado con las debidas precauciones para evitar dañar la muestra. Después de este paso, es necesario envolver o embalar la probeta con papel film plástico (hecho de polietileno o polipropileno). De esta manera se asegura que se mantenga la humedad de la mezcla, como se observa en la *Imagen 4.5 l*) e *Imagen 4.5 m*).

Finalizado todo el proceso mencionado, colocar la muestra en una cámara de humedad o ambiente que pueda mantener una temperatura de $21 \pm 1,7^\circ\text{C}$, con una humedad relativa del 100% durante un almacenamiento de 7 días, como se observa en la *Imagen 4.5 n*).

Imagen 4.5

Procedimiento de la elaboración de probetas de ensayo con mezcla de suelo cemento.





Fuente: Elaboración propia.

4.1.6.5 Cálculos

Los datos correspondientes al procedimiento del ensayo, se describen con el cálculo de las siguientes ecuaciones:

$$E_c = \frac{N_h \cdot N_l \cdot w_h \cdot h_h}{V} \rightarrow N_l = \frac{E_c \cdot V}{N_h \cdot w_h \cdot h_h} \quad \text{Ecu. [4.12]}$$

$$G_c = \frac{\rho_d}{\rho_{d_{max}}} \quad \text{Ecu. [4.13]}$$

Donde:

E_c = Energía de compactación por unidad de volumen [kN-m/m³].

N_h = Número de golpes por capa.

N_l = Numero de capas compactadas.

w_h = Peso del martillo [kN].

h_h = Altura de caída del martillo [m].

V = Volumen del molde [m³].

G_c = Grado de compactación [%].

ρ_d = Peso unitario seco de compactación de diseño [kN/m³].

$\rho_{d_{max}}$ = Peso unitario seco máximo de compactación de probeta [kN/m³].

4.1.6.6 Interpretación de datos

Los resultados de la elaboración de probetas cilíndricas de suelo cemento (ASTM D1632 - ASTM D559) se presentan en la *Tabla 4.1*. Para una información más detallada, consulte el *Anexo B*.

Tabla 4. 11

Resultados de la elaboración de probetas de suelo cemento con dosificaciones aplicadas en el suelo tipo A4 (IG-1).

Descripción de la probeta de ensayo	Cemento Yura IP30	Cantidad	Promedio del peso unitario seco	Promedio de grado de compactación
	[%]	[%]	[kN/m ³]	[%]
Probetas cilíndricas de suelo cemento (100 mm x 200 mm)	3	2	21,12	105,28 > 100
	5	2	20,91	104,55 > 100
	7	2	21,00	104,41 > 100
	9	2	20,94	103,99 > 100
Probetas cilíndricas de suelo cemento (150 mm x 300 mm)	3	3	19,96	99,52 < 100
	5	45	20,17	100,76 > 100
	7	45	20,16	100,18 > 100
	9	3	20,01	99,50 < 100

Nota. Probetas cilíndricas de suelo cemento (100 mm x 200 mm) realizadas para ensayos de Humedecimiento y secado.

Probetas cilíndricas de suelo cemento (150 mm x 300 mm) realizadas para ensayos de resistencia a la compresión simple e índice de rebote.

Fuente. Elaboración propia.

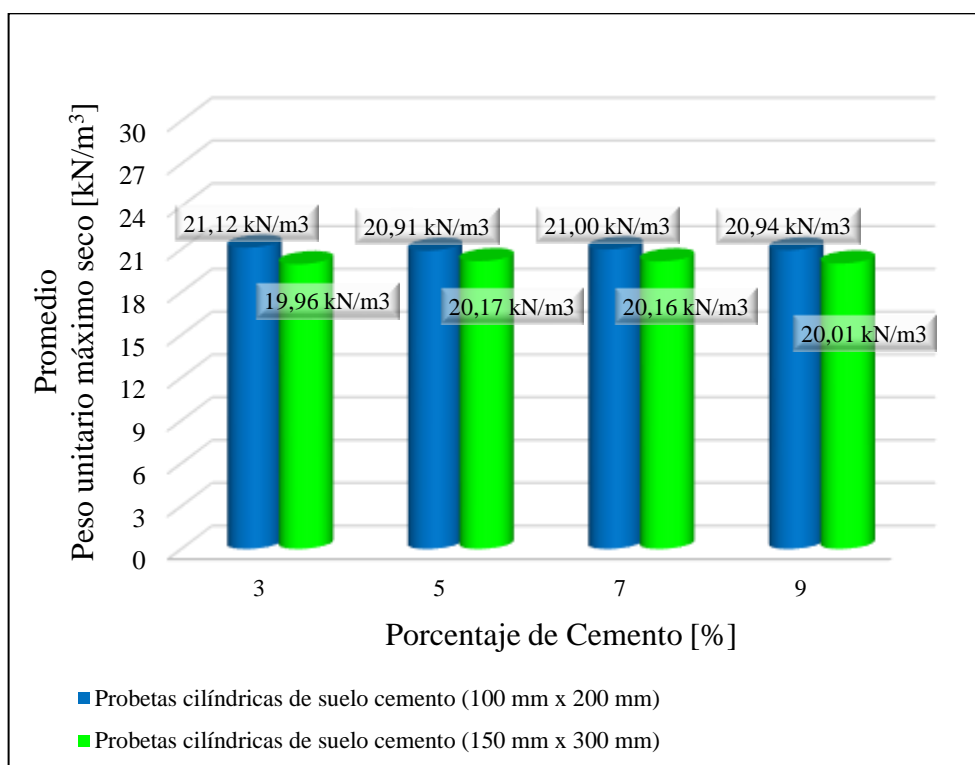
➤ **Peso unitario máximo seco de las probetas cilíndricas de suelo cemento.**

La *Figura 4.8* presenta el promedio del peso unitario máximo seco (PUMS), de probetas cilíndricas de suelo cemento compactado en dos tamaños diferentes (100 mm x 200 mm y 150 mm x 300 mm), ambos con una relación altura/diámetro (h/d) de 2, y con dosificaciones de cemento del 3%, 5%, 7% y 9%. En las probetas de 100 mm x 200 mm, el (PUMS) para una dosificación de 3% de cemento alcanzó los 21.12 kN/m³, seguido de 21.00 kN/m³ para 7% de cemento. Mientras que el (PUMS) de 5% y 9% de cemento disminuye levemente a 20.91 kN/m³ y 20.94 kN/m³, respectivamente. Esto sugiere que, el proceso de compactación generó un suelo cemento más denso al esperado (ver *Tabla 4.10*), lo que podría influir positivamente en la resistencia a compresión y durabilidad de las probetas. Por

otro lado, las probetas con dimensiones de 150 mm x 300 mm, se muestra que el (PUMS), para dosificaciones de 3% de cemento es de 19.96 kN/m³. Mientras que el (PUMS), para 5% y 9% de cemento es de 20.17 kN/m³ y 20.16 kN/m³, seguido de 20.01 kN/m³ para 7% de cemento. Esto indica que estas probetas se comportan de manera más acorde a las condiciones de diseño, lo que también es positivo en términos de confiabilidad en los ensayos aplicados.

Figura 4. 8

Promedio del peso unitario máximo seco de las probetas cilíndricas de suelo cemento realizadas.



Fuente: Elaboración propia.

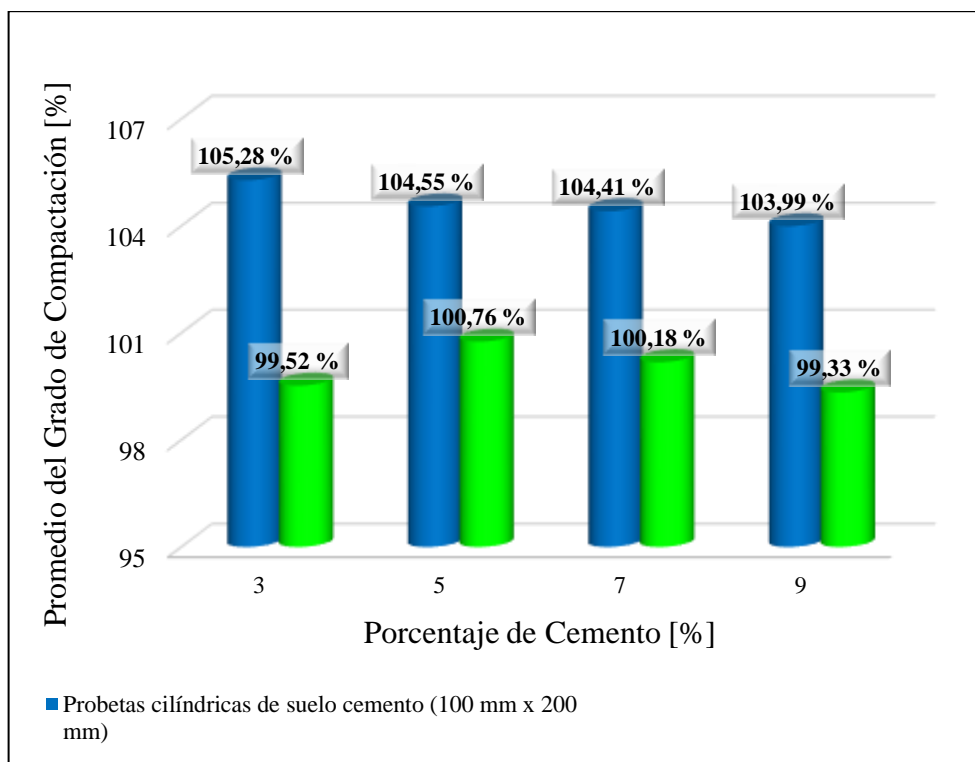
➤ **Grado de compactación de las probetas cilíndricas de suelo cemento.**

La *Figura 4.9* muestra el promedio del grado de compactación de probetas cilíndricas de suelo cemento de dos tamaños diferentes (100 mm x 200 mm y 150 mm x 300 mm), cuyas

dosificaciones de cemento de (3%, 5%, 7% y 9%). En las probetas de 100 mm x 200 mm, se observa que el grado de compactación es notablemente alto, superando el 100% en todas las dosificaciones de cemento. Para una dosificación de 3% de cemento, el grado de compactación es de 105,28%, disminuyendo ligeramente a 104,55% para el 5% de cemento. Con el 7% y 9%, los valores son de 104,41% y 103,99% respectivamente. Estos resultados indican un grado de compactación superior al 100% en todas las dosificaciones, superando las expectativas de diseño, lo cual es un indicador de una excelente compactación con un potencial de resistencia y durabilidad. No obstante, la ligera disminución del grado de compactación al aumenta el contenido de cemento, podría deberse a una saturación o a una menor compactabilidad del material. En contraste, las probetas de 150 mm x 300 mm, presentan grados de compactación más bajos en comparación con las de menor tamaño. En el caso de dosificaciones de 3% de cemento, el grado de compactación es de 99,52%, ligeramente por debajo del óptimo, lo que puede reflejar una menor capacidad para alcanzar la máxima densidad con una menor cantidad de cemento. Para dosificaciones de 5% de cemento, aumenta a 100,76%, y con el 7%, el grado de compactación se mantiene en 100,18%, lo que significa que el grado de compactación se ajusta al 100%. Finalmente, con el 9% de cemento, vuelve a descender a 99,50%, lo que puede sugerir que el tamaño mayor de las probetas influye en la eficiencia del proceso de compactación, resultando una densidad más baja que la esperada en algunos casos. Estos resultados destacan que las probetas más pequeñas tienden a mostrar un grado de compactación más eficiente, mientras que las probetas más grandes presentan un comportamiento más variable.

Figura 4.9

Grado de compactación de probetas cilíndricas de suelo cemento.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.7 Durabilidad por humedecimiento y secado de suelo cemento

4.1.7.1 Generalidades

El ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas es una técnica estandarizada por ASTM D559 AASHTO T135, este método describe procedimientos para determinar el comportamiento del suelo cemento a lo largo del tiempo. Consiste en cuantificar la cantidad de material perdido, la variación en el contenido de humedad y volumen de la muestra de suelo cemento.

En el ensayo, los especímenes de suelo cemento, deben cumplir condiciones de preparación según la granulometría del material. Además, de asegurarse que las probetas se efectúen con una óptima humedad en relación a la densidad máxima seca compactada según

los estándares de la norma ASTM D-558, como se describe en la sección 3.55 del capítulo presente.

4.1.7.2 Materiales y equipo

- Tanque de agua a temperatura ambiente y una cantidad adecuada para sumergir especímenes compactados.
- Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de muestra menores a 40000 g.
- Horno de secado con temperatura uniforme de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Un cepillo de cerdas de alambre calibre 20 de 50 por 1,6 mm (2" por 1/16") compuesto por 50 grupos de 10 cerdas cada uno y montados para que formen 5 filas longitudinales y 10 filas transversales de cerdas sobre un bloque de madera dura de 191 por 64 mm.
- Herramientas de manipuleo: Brocha, regla o dispositivo de medida, espátula, cuchara, cepillo, guantes de asbesto, paila de mezclado y regla de Acero

4.1.7.3 Muestra de ensayo

El presente ensayo, se realizaron dos muestras para cada especímenes o probetas cilíndricas de suelo cemento compactado, con dimensiones de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura y con una relación de esbeltes igual a 2. Los materiales de la mezcla incluyen el suelo estudiado tipo A-4 (1), con dosificaciones de 3%, 5%, 7% y 9 % de cemento IP30. La cantidad de suelo requerido depende de las características granulométrica que se establece la *Tabla 4.12*.

Tabla 4. 12

Ensayo ASTM D559 - Tamaño de muestra de suelo según su granulometría.

Método de ensayo	Diámetro del molde		Tamaño de muestra de suelo [g]
	[N°]	[mm]	
A	4"	101.6	2700 o más.
B	4"	101.6	5000 o más.

Nota.

Método A - material de suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (N° 4).

Método B - material de suelo que pasa por el tamiz de 19 mm (3/4").

Fuente: Métodos de prueba estándar para las relaciones humedad-densidad de mezclas suelo-cemento, (ASTM, 1996).

Por otro lado, todos los equipo, materiales, técnicas y procedimientos utilizados en la elaboración de las probetas de suelo cemento, se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito en la *sección 4.1.6* del presente capítulo.

La ejecución de ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado, se realizaron a los 7 días de edad después del tiempo de curado.

4.1.7.4 Procedimiento de ensayo

Al concluir el proceso de elaboración de las probetas de suelo cemento y un período de 7 días de almacenamiento en una cámara de humedad, sumerja las probetas en agua a temperatura ambiente durante cinco horas. Luego, registre la masa de la probeta No.1 y No. 2 con ayuda de una balanza con 0.1 g de precisión, como se observa en la *Imagen 4.6 a)* e *Imagen 4.6 b)*.

Seguidamente, medir las dimensiones (altura y diámetro) de la probeta No.1 para registrar los cambios en el volumen y el contenido de humedad. Posteriormente, coloque ambos especímenes en un horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C durante 42 horas. Una vez transcurrido este tiempo, dejar enfriar a una temperatura constante y medir

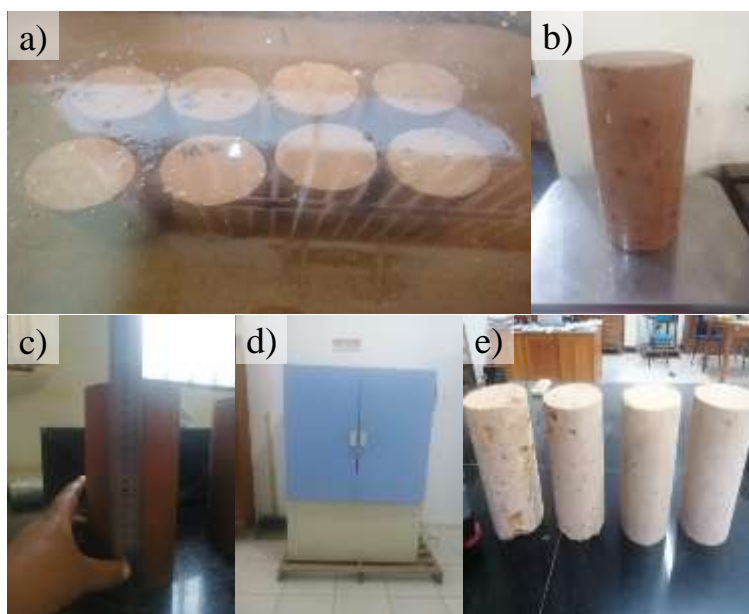
nuevamente el espécimen No. 1, como se observa en la *Imagen 4.6 c)*, *Imagen 4.6 d)* e *Imagen 4.6 e)*.

Para determinar la pérdida de suelo-cemento, registrar la masa del espécimen No.2 antes y después del siguiente procedimiento: Primero, coloque la probeta sobre la plataforma de una balanza y reinicie el dinamómetro de la balanza a cero. Después, con ayuda de un cepillo de alambre frotar o generar fricción sobre la probeta, asegurarse que la fuerza ejercida sea equivalente a aproximadamente 13,3 N (3 lbf) y repita este proceso de 18 a 20 pasadas sobre el eje longitudinal y 4 pasadas sobre cada extremo transversal (base superior e inferior), como de observa en la *Imagen 4.6 f)*.

Sumerja la muestra en agua y continúe durante 12 ciclos más. Después de los doce ciclos de prueba, seque las muestras y péselas para calcular su peso seco al horno, como de observa en la *Imagen 4.6 g)*.

Imagen 4.6

Procedimiento del ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado.





Fuente. Elaboración propia.

Por otro lado, se recomienda que si las mediciones se vuelven imprecisas debido a pérdidas de suelo-cemento del espécimen, puede suspender la prueba del espécimen No. 1 antes de los 12 ciclos. Si llega a ocurrir interrupciones en la prueba debido a días festivos, domingos u otras razones, es mejor mantener la muestra en el horno si es posible.

4.1.7.5 Cálculos

Los datos correspondientes al procedimiento del ensayo en probetas cilíndricas de suelo cemento, se describen con el cálculo de las siguientes ecuaciones:

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * h \quad \text{Ecu. [4.13]}$$

$$W_f = \frac{A}{B + 100} * 100 \quad \text{Ecu. [4.14]}$$

$$P_m = \frac{W_s - W_f}{W_s} * 100 \quad \text{Ecu. [4.15]}$$

Donde:

V = Volumen [cm³].

D = Diámetro [g].

h = Altura [g].

W_f = Masa seca del horno corregido [g].

A = Masa seca a una temperatura de 110 °C (230 °F) [g].

B = Porcentaje de la masa del agua [%].

P_m = Perdida del suelo cemento [g].

w_s = peso seco inicial calculado [g].

4.1.7.6 Interpretación de datos

Los resultados del ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactado (ASTM D559), se presentan en la *Tabla 4.13*. Para más información adicional y detallada se recomienda revisar *Anexo B*.

Tabla 4.13

Resultados del ensayo de humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas.

Cantidad cemento	Probeta N°1		Probeta N°2	
	Perdida de volumen del suelo cemento		Desgaste por cepillado del suelo cemento	
	Húmedo	Seco		
[%]	[%]	[%]	[%]	
3	6,81	8,63	11,75	>10%
5	-2,00	0,00	4,31	<10%
7	-1,99	0,00	3,72	<10%
9	0,00	0,00	3,67	<10%

Nota. El valor de 10 % es el requerimiento mínimo del desgaste por cepillado del suelo cemento, según la asociación de cemento portland PCA.

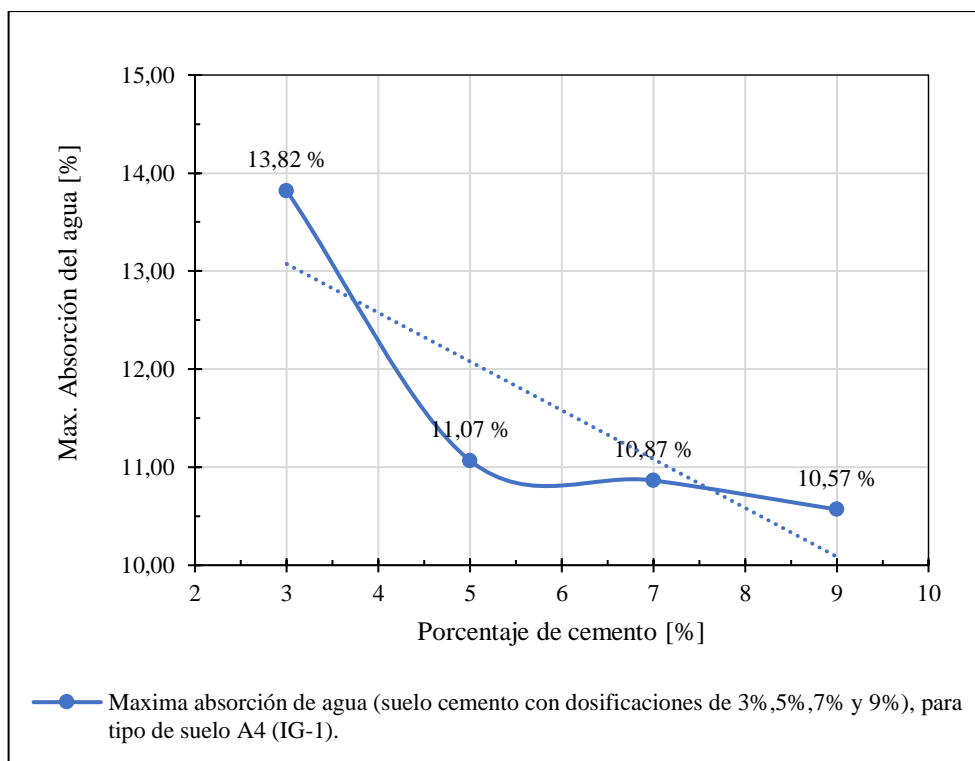
Fuente: Elaboración propia.

- **Variación de la máxima absorción de agua del suelo cemento.**

La *Figura 4.10*, muestra la variación máxima de absorción de agua del suelo cemento, expresada en porcentaje, obtenida a partir del ensayo de durabilidad mediante el ciclo de humedecimiento y secado de probetas cilíndricas con dosificaciones de 3%, 5%, 7% y 9% de cemento, utilizando un suelo de tipo A-4 (1). La probeta con una dosificación del 3% de cemento presenta la mayor absorción, con un 13.82%, lo que indica una mayor infiltración de agua en la mezcla. En contraste, las probetas con 5%, 7% y 9% de cemento muestran menores porcentajes de absorción (11.07%, 10.87% y 10.57%, respectivamente). Esta disminución en la absorción sugiere que el aumento en la proporción de cemento mejora la impermeabilidad de la mezcla, lo cual es esencial para la durabilidad del suelo-cemento en condiciones de humedad.

Figura 4. 10

Variación de la máxima de absorción de agua del suelo cemento.



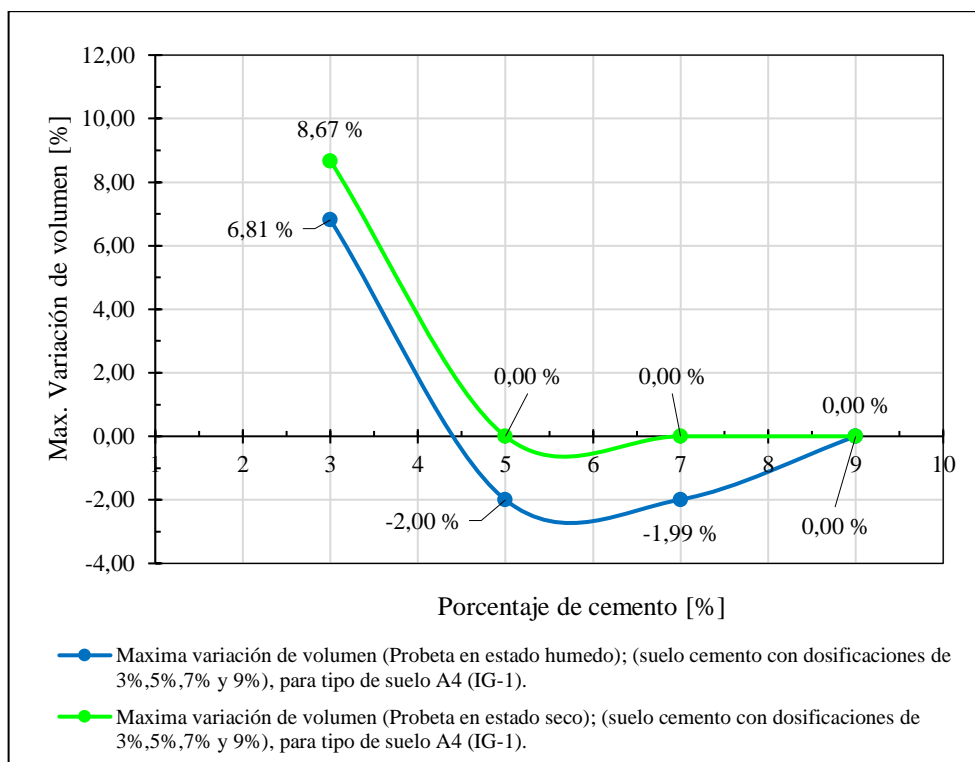
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Variación del volumen en el suelo cemento.**

La *Figura 4.11*, muestra la variación de volumen del suelo cemento, expresada en porcentaje, obtenida a partir del ensayo de durabilidad mediante el ciclo de humedecimiento y secado de probetas cilíndricas con dosificaciones de 3%, 5%, 7% y 9% de cemento, utilizando un suelo de tipo A-4 (1). En el caso de una dosificación del 3% de cemento, se observa una pérdida significativa de volumen, con una disminución del 6.81% en estado húmedo y del 8.63% en estado seco. Esto sugiere que una mezcla con baja dosificación de cemento es más propensa a la desintegración y reducción de volumen, lo que puede comprometer su estabilidad y durabilidad. En contraste, las probetas con dosificaciones del 5% y 7% de cemento muestran un comportamiento diferente. Durante el estado húmedo, se registran aumentos de volumen del -2.00% y -1.99%, respectivamente. Esto implica que estas mezclas experimentan una expansión al absorber agua, lo que es un indicador positivo de la capacidad del material para retener humedad sin sufrir descomposición significativa. En el estado seco, un volumen de 0.00% sugiere que, después del secado, las probetas han mantenido su forma y estabilidad dimensional, lo que es favorable para la durabilidad del material. Finalmente, en el caso de la mezcla con 9% de cemento, la variación de volumen es de 0.00% tanto en estado húmedo como seco, lo que indica una estabilidad dimensional óptima y sugiere que esta dosificación proporciona una resistencia significativa a la expansión y contracción. Por lo tanto, podemos decir que los resultados evidencian que una mayor dosificación de cemento contribuye a la estabilidad dimensional del suelo-cemento, mejorando su comportamiento durante ciclos de humedad y secado, lo que es crucial para aplicaciones en condiciones ambientales variables.

Figura 4. 11

Variación de volumen de probetas cilíndricas de suelo cemento en estado húmedo y seco.



Fuente: Elaboración propia.

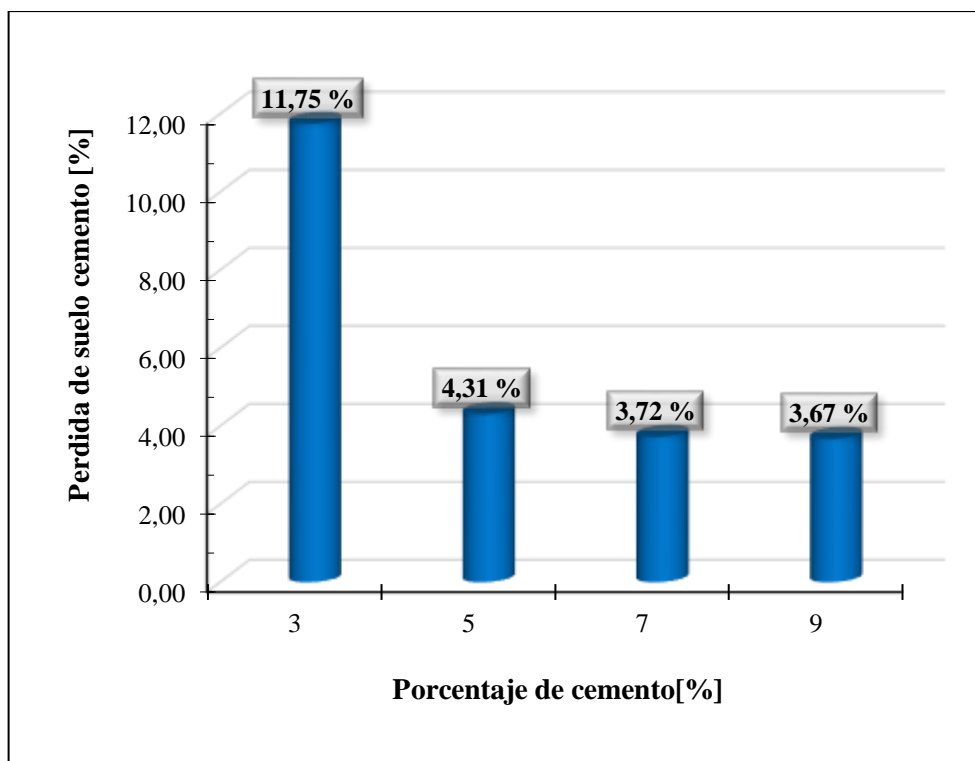
➤ **Desgaste del suelo cemento por cepillado.**

La *Figura 4.12*, muestra el desgaste del suelo cemento por cepillado, expresada en porcentaje, obtenida a partir del ensayo de durabilidad mediante el ciclo de humedecimiento y secado de probetas cilíndricas con dosificaciones de 3%, 5%, 7% y 9% de cemento, utilizando un suelo de tipo A-4 (1). Donde, se puede apreciar que para una dosificación del 3% de cemento, la pérdida de material es considerablemente alta, con un 11.75%. Esto indica que una baja proporción de cemento es menos resistente a la abrasión y, por lo tanto, más susceptible a la desintegración. Como resultado, la falta de resistencia afecta negativamente la durabilidad y la estabilidad estructural de la mezcla, lo que representa una desventaja para su uso en condiciones exigentes, como pavimentos o estructuras sometidas a tráfico pesado.

Por otro lado, en las dosificaciones de 5% y 7%, la pérdida de material se reduce notablemente a 4.31% y 3.72%, respectivamente. Esto indica que, al aumentar el contenido de cemento, la cohesión interna de la mezcla mejora, lo que la hace más resistente al desgaste por abrasión y aumenta su durabilidad. Finalmente, con una dosificación del 9% de cemento, la pérdida de material es mínima, con un 3.67%. Lo que, refleja una mezcla altamente resistente al desgaste, esto sugiere una mayor capacidad para soportar las condiciones de uso prolongado sin sufrir deterioro significativo. Por lo tanto, estos resultados sugieren que una mayor dosificación de cemento no solo mejora la resistencia del suelo-cemento, sino también su capacidad para mantener la integridad frente a la abrasión, lo cual es fundamental para garantizar la durabilidad en aplicaciones estructurales.

Figura 4. 12

Desgaste del suelo cemento por cepillado.



Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, podemos decir que la pérdida por desgaste del suelo cemento en las dosificaciones de 5%,7% y 9% cumple con el mínimo requerido del 10 %, según los estándares de la asociación de cemento portland PCA.

4.1.8 Resistencia a la compresión simple para suelo cemento

4.1.8.1 Generalidades

El presente ensayo es un procedimiento estandarizado por la norma ASTM D1633, implica la aplicación de una prensa hidráulica para la determinación la capacidad de resistencia que tiene una probeta cilíndrica de suelo cemento al ser sometido a una carga de compresión axial, hasta que se produce una falla en la muestra.

4.1.8.2 Materiales y equipo

- Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de muestra menores a 40000 g.
- Máquina de compresión hidráulica.
- Herramientas de manipuleo: Regla o dispositivo de medida.

4.1.8.3 Muestra de ensayo

El presente ensayo, emplea probetas cilíndricas de suelo cemento compactado, con dimensiones de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura y con una relación de esbeltes igual a 2. Los materiales de la mezcla incluyen el suelo estudiado tipo A-4 (1), con dosificaciones de 5% y 7% de cemento IP30.

Por otro lado, todos los equipo, materiales, técnicas y procedimientos utilizados en la elaboración de las probetas de suelo cemento, se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito en la *sección 4.1.6* del presente capítulo.

Las lecturas de la resistencia a la rotura por compresión axial, se realizaron a los 7 días de edad después del tiempo de curado.

4.1.8.4 Procedimiento del ensayo

Una vez que se ha completado el período de curado a los 7 días de edad, retirar el papel de polietileno que envuelve la probeta de ensayo. Luego, proceder a medir y registrar las dimensiones y la masa de la probeta cilíndrica de suelo cemento, como se observa en la *Imagen 4.7 a)* e *Imagen 4.7 b)*.

Posicionar la probeta de ensayo sobre una prensa hidráulica, aplique una carga del límite aproximado de 140 ± 70 kPa/s (20 ± 10 lbs/pulg²/s) y registre los valores de la carga máxima aplicada durante la falla de la probeta de suelo cemento, como se observa en la *Imagen 4.7 c)*, *Imagen 4.7 d)* e *Imagen 4.7 e)*.

Imagen 4.7

Procedimiento del ensayo de compresión simple.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.8.5 Cálculos

Los datos correspondientes al procedimiento del ensayo, se describen con el cálculo de las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad \text{Ecu. [4.16]}$$

Donde:

σ_c = Resistencia Unitaria a la compresión [Mpa]

P = Carga máxima aplicada.

A = Área de la sección transversal.

4.1.8.6 Interpretación de datos

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple de probetas cilíndricas de suelo cemento (ASTM D1633), se presentan en la *Tabla 4.14*, para más información adicional y detallada se recomienda revisar *Anexo B*.

Tabla 4. 14

Resultados del ensayo de compresión simple, realizadas en probetas cilíndricas de suelo cemento.

Descripción de la muestra de ensayo	Porcentaje de cemento	Cantidad de muestra	Resistencia a la rotura por compresión promediada	Observación
	[%]	[Uni.]	[Mpa]	
Pruebas para el diseño de dosificación de la mezcla de suelo cemento.				
Probetas cilíndricas de suelo cemento (150 mm x 300 mm)	3	3	2,41 > 2	Buena
	5	3	2,45 > 2	Buena
	7	3	3,27 > 2	Buena
	9	3	3,84 > 2	Buena

Pruebas para la evaluación de resistencia del suelo cemento con ensayos de esclerometría y compresión simple.

Probetas cilíndricas de suelo cemento (150 mm x 300 mm)	5	30	2,40 > 2	Buena
	7	30	3,20 > 2	Buena

Nota. El valor de 2 Mpa es el requerimiento mínimo de la resistencia a la rotura por compresión del suelo cemento a los 7 días de edad, según la asociación de cemento portland PCA.

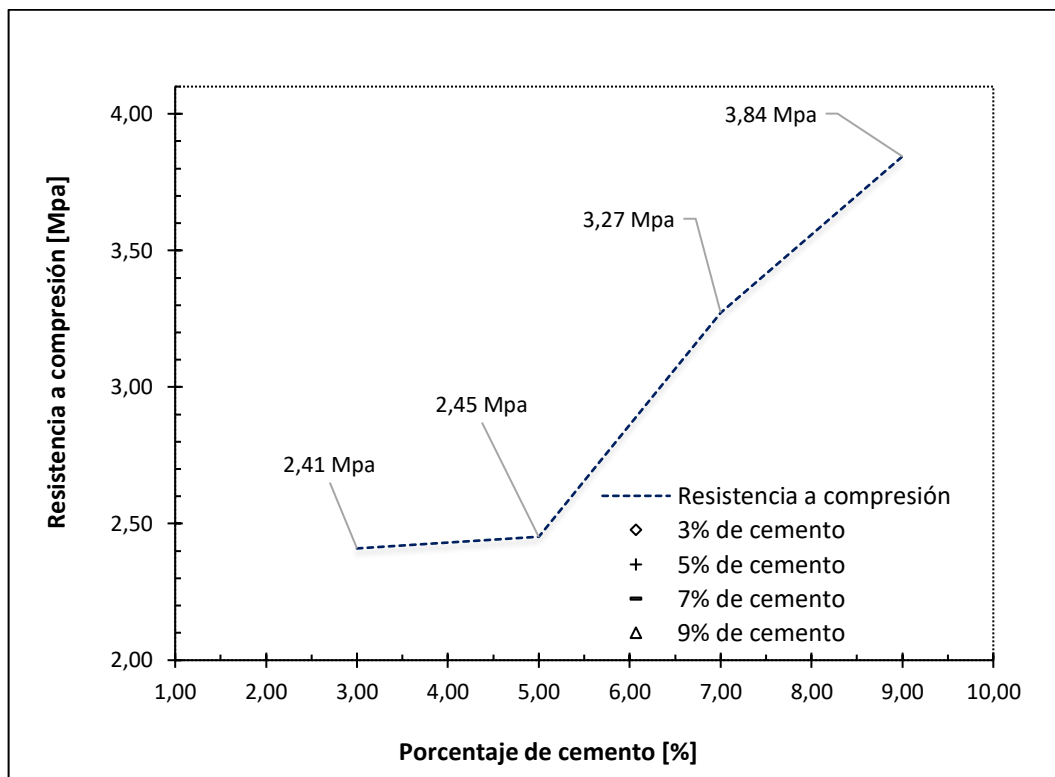
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Resistencia a compresión del suelo cemento para diseño de la mezcla.**

La *Figura 4.13*, presenta una representación gráfica del promedio de la resistencia a la compresión del suelo cemento durante el proceso de diseño de la mezcla, basado en 3 pruebas realizadas en probetas cilíndricas para cada dosificación de cemento (3%, 5%, 7% y 9%), utilizando suelo tipo A4 (IG-1). Los resultados muestran que, para una dosificación del 3% de cemento, la resistencia a la compresión tiene un promedio de 2.41 MPa. Al incrementar la dosificación al 5%, 7% y 9%, la resistencia se incrementa progresivamente a 2.45 MPa, 3.27 MPa y 3.84 MPa, respectivamente. Estos resultados indican que, a mayor contenido de cemento, la resistencia a la compresión del suelo cemento aumenta considerablemente, lo que sugiere una mayor cohesión y capacidad del material para soportar cargas. Además, todos los valores superan el mínimo requerido de 2 MPa, lo que confirma que las dosificaciones analizadas cumplen con los estándares de resistencia a la compresión.

Figura 4. 13

Resistencia a compresión del suelo cemento, (correspondiente al proceso de diseño de mezcla).



Fuente: Elaboración propia.

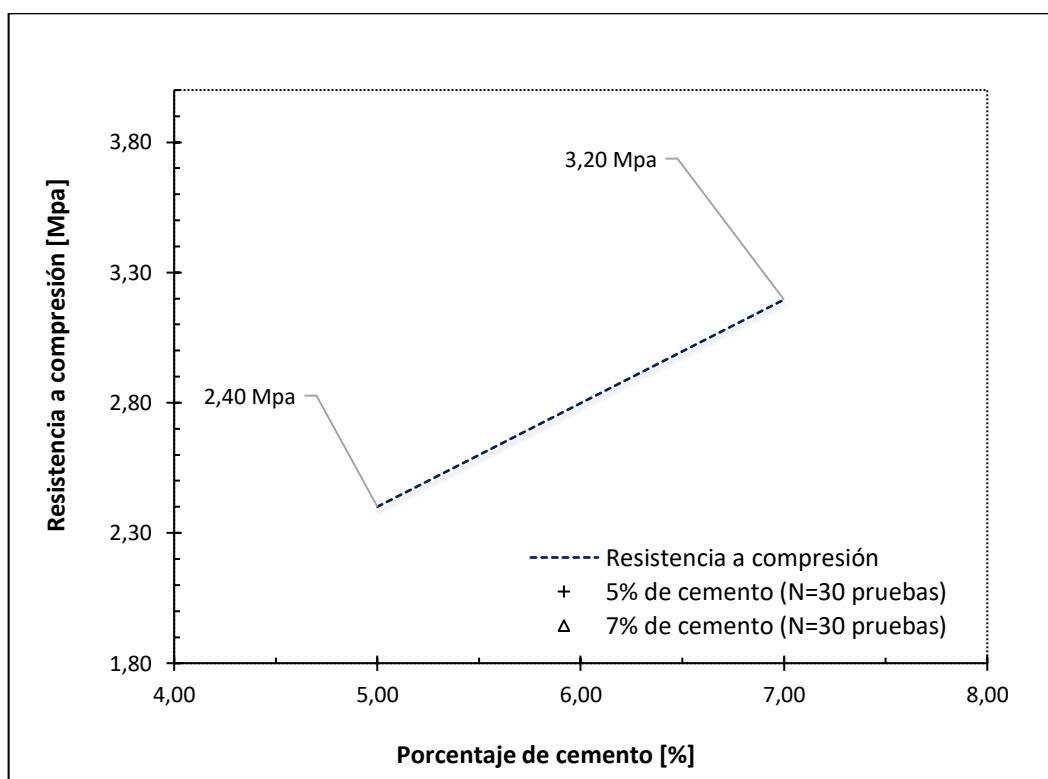
- **Resistencia a compresión del suelo cemento para la evaluación de ensayos de esclerometría y compresión simple.**

Los *Figura 4.14*, presenta una representación gráfica del promedio de la resistencia a la compresión del suelo cemento, obtenida durante la evaluación de los resultados del ensayo de esclerometría en relación con la compresión simple. De 30 pruebas realizadas en probetas cilíndricas para cada dosificación de cemento (5% y 9%), utilizando suelo tipo A4 (IG-1). La figura muestra una clara tendencia de incremento en la resistencia a la compresión conforme aumenta el porcentaje de cemento en la mezcla. Para la dosificación del 5%, la

resistencia promedio es de 2.40 MPa, mientras que para la dosificación del 9%, la resistencia se eleva a 3.20 MPa, lo que representa una diferencia de 33.33%. Este comportamiento refuerza la afirmación de que una mayor proporción de cemento en la mezcla mejora significativamente la resistencia del suelo-cemento. Además, estos valores superan el mínimo requerido de 2 MPa, lo que indica que ambas dosificaciones cumplen con los estándares de resistencia a compresión.

Figura 4. 14

Resistencia a compresión del suelo cemento, (correspondiente al proceso de la evaluación con ensayos de esclerometría y compresión simple.)



Fuente: Elaboración propia.

4.1.9 Índice de rebote del suelo cemento mediante el ensayo de esclerometría

4.1.9.1 Generalidades

La esclerometría se estandariza por la norma ASTM C805, implica el uso del esclerómetro o martillo de Schmidt como una herramienta no destructiva para evaluar uniformidad de la resistencia al rebote para estimar la resistencia a compresión simple sobre la superficie de materiales como el hormigón. En este ensayo, se pretende realizar pruebas en probetas cilíndricas de suelo cemento de manera experimental.

4.1.9.2 Materiales y equipo

- Balanza con 0.1 g de precisión para una capacidad de muestra menores a 40000 g.
- Esclerómetro Digital Silver Schmidt, Modell N.
- Herramientas de manipuleo: Regla o dispositivo de medición y piedra de moler.

4.1.9.3 Muestra de ensayo

El presente ensayo, emplea probetas cilíndricas de suelo cemento compactado, con dimensiones de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura y con una relación de esbeltes igual a 2. Los materiales de la mezcla incluyen el suelo estudiado tipo A-4 (1), con dosificaciones de 5% y 7% de cemento IP30.

Por otro lado, todos los equipo, materiales, técnicas y procedimientos utilizados en la elaboración de las probetas de suelo cemento, se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito en la *sección 4.1.6* del presente capítulo.

Las lecturas de la resistencia al rebote mediante el esclerómetro o martillo de Schmidt, se realizaron a los 7 días de edad después del tiempo de curado.

4.1.9.4 Procedimiento de ensayo

Una vez que se ha completado el período de curado a los 7 días de edad, retirar el papel de polietileno que envuelve la probeta de ensayo. Luego, proceder a medir y registrar las dimensiones y la masa de la probeta cilíndrica de suelo cemento, como se observa en la *Imagen 4.8 a)* e *Imagen 4.8 b)*.

Verificar que la textura del área a ensayar del espécimen, se encuentre completamente liso, caso contrario alisar con la piedra de moler que se incluye en el instrumento. Después, medir y marcar un mínimo de 10 cuadrículas de 25mm (1") de separación sobre la superficie superior e inferior de la probeta de ensayo, como se observa en la *Imagen 4.8 c)*.

Colocar la probeta de ensayo sobre una superficie plana y resistente. Seguidamente, posicionar el esclerómetro en sentido perpendicular de la superficie del área a ensayar del espécimen y empujar el instrumento gradualmente hasta que el vástago o punzón del martillo impacte sobre el área de prueba, cómo se observa en la *Imagen 4.8 c)* e *Imagen 4.8 d)*.

Leer y registrar el índice de rebote que marca la pantalla LCD del instrumento. Finalmente, repita el mismo procedimiento en cada cuadro del área marcado en probetas de ensayo.

Imagen 4.8

Procedimiento ensayo de esclerometría.





Fuente: Elaboración propia.

4.1.9.5 Cálculos

Los datos correspondientes al procedimiento del ensayo, se describen con el cálculo de las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x}_{10} = \frac{\sum n_1 + \dots + n_{10}}{N} \quad \text{Ecu. [4.16]}$$

$$Q = \bar{x}_n \quad \text{Ecu. [4.17]}$$

$$fck = 0 * Q^3 + 0.0108 * Q^2 + 0.2236 * Q + 0 \quad \text{Ecu. [4.18]}$$

Donde:

\bar{x}_{10} = Promedio de diez lecturas registradas.

n = Lecturas registradas.

N = Cantidad total de lecturas registradas.

\bar{x}_n = Promedio de las lecturas que cumplan con $6\pm$ del promedio de \bar{x} .

Q = Índice de rebote (rango valido de 13 - 44).

fck = Ecuación de conversión para la resistencia en [Mpa], del esclerómetro Silver Schmidt (Modelo L con punzón seta).

Tomar un mínimo de 10 lecturas, caso contrario desechar los números anormales máximos y mínimos, hasta obtener el número de lectura mencionada. Después, es importante desechar los valores que se desvían de ± 6 puntos del promedio calculado y determinar un nuevo promedio de las lecturas restantes.

4.1.9.6 Interpretación de datos

Los resultados del ensayo de la resistencia por índice de rebote mediante el ensayo de esclerometría (ASTM 805), se presentan en la *Tabla 4.15*, para más información adicional y detallada se recomienda revisar *Anexo B*.

Tabla 4.15

Resultados del ensayo de esclerometría (número o índice de rebote), realizadas en probetas cilíndricas de suelo cemento.

Descripción de la muestra de ensayo	Cantidad de cemento	Cantidad de probetas	Cantidad de lecturas por probetas	Total, de pruebas realizadas	Promedio índice de rebote "Q"
	[%]	[Uni]	[N°]	[N°]	[Mpa]
Probetas cilíndricas de suelo cemento (150 mm x 300 mm)	5	15	Superior 1	30	16,19
			Inferior 1		
	7	15	Superior 1	30	16,19
			Inferior 1		

Nota. De 15 probetas de suelo cemento con dimensiones de 300 mm de altura y 150 mm de diámetro, se tomaron 2 pruebas en cada una de ellas. Esto, siguiendo las recomendaciones del esclerómetro (martillo Silver Schmidt), donde, las muestras deben tener un espesor mínimo de 100 mm para el modelo N, utilizado en los ensayos.

Fuente: Elaboración propia.

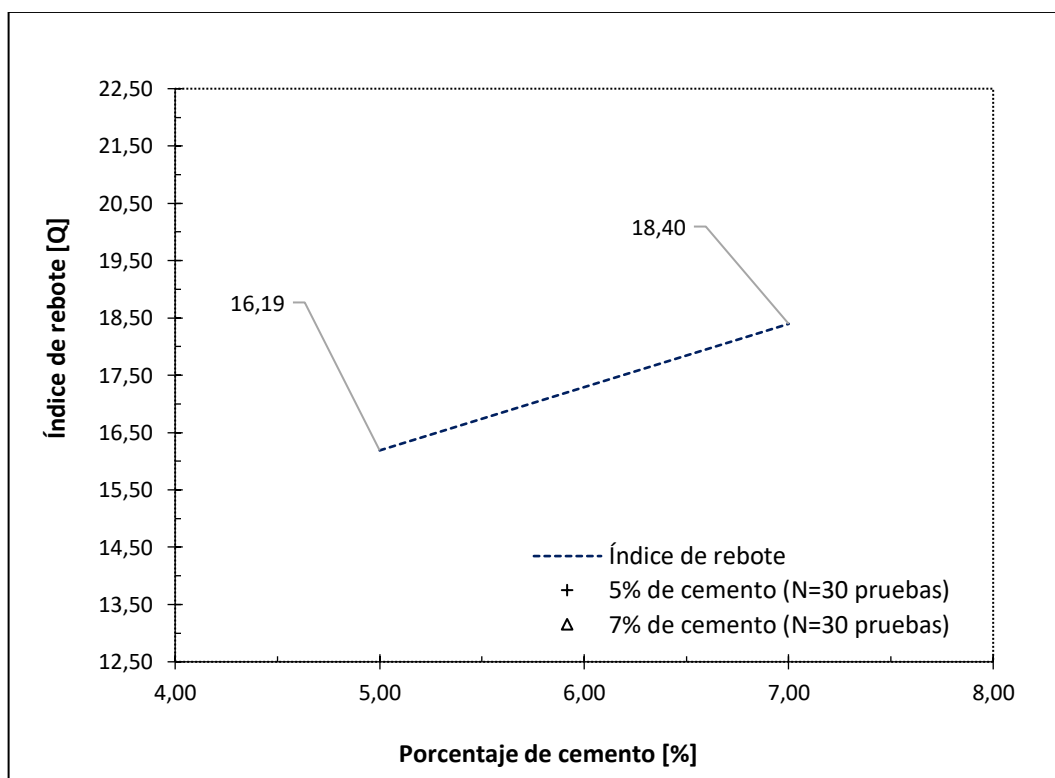
➤ Índice de rebote mediante el ensayo de esclerometría.

La *Figura 4.15*, presenta una representación gráfica del promedio del índice de rebote (Q) del suelo cemento, obtenido mediante el equipo esclerómetro (martillo SilverSchmidt).

De 30 pruebas realizadas en probetas cilíndricas para cada dosificación de cemento (5% y 9%), utilizando suelo tipo A4 (IG-1). En la figura, se puede apreciar que para dosificaciones del 5% de cemento, el índice de rebote (Q) promedio es de 16.19, mientras que para una dosificación del 7%, el promedio aumenta a 18.40. Estos resultados sugieren que a medida que aumenta el contenido de cemento en la mezcla de suelo-cemento, el índice de rebote también incrementa, lo que refleja una mayor dureza superficial del material. Además, este comportamiento respalda la relación entre el ensayo esclerométrico y la resistencia a la compresión, validando la utilidad del ensayo como método no destructivo para estimar.

Figura 4. 15

Índice o número de rebote



Fuente: Elaboración propia.

4.2 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA EVALUACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL SUELO CEMENTO

En esta investigación la aplicación de pruebas estadísticas, permite analizar e interpretar datos experimentales (número o índice de rebote y la resistencia a la compresión) de manera eficiente, con el fin de identificar los factores más influyentes en la resistencia del suelo cemento para generar ecuaciones predictivas que puedan ser utilizadas en la práctica por los profesionales del área de la geotecnia y la construcción. Para ello, se pretende realizar pruebas de normalidad, correlación y regresión de curva de ajuste mediante el sistema de software estadístico: Statistical Package for Social Sciences (SPSS).

4.2.1 Preparación e ingreso de datos

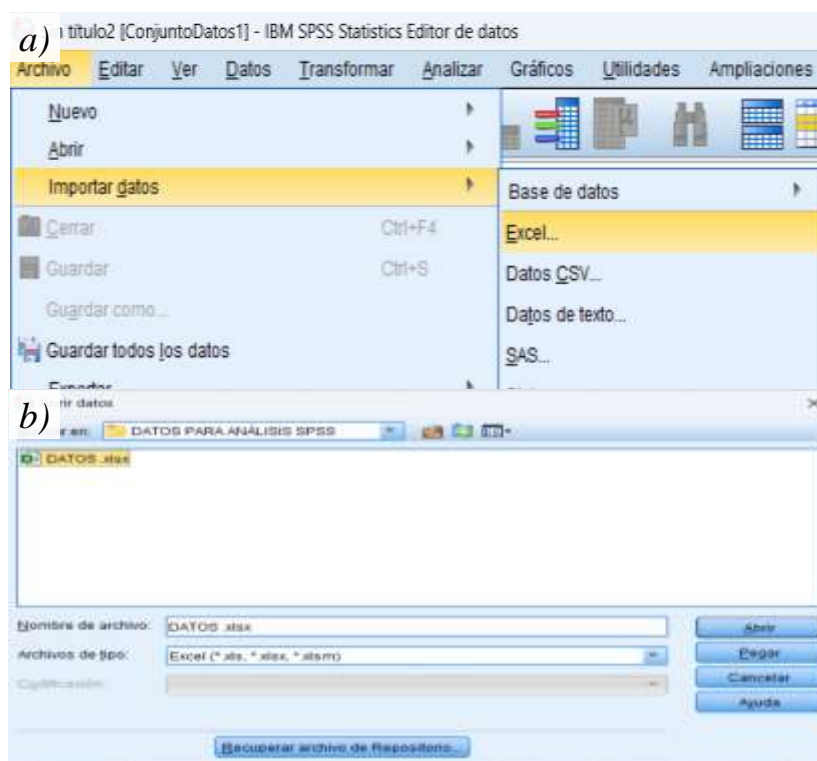
Es importante que previo al proceso de las pruebas estadísticas mediante el sistema de software Statistical Package for Social Sciences (SPSS), verificar que la información del índice de rebote (resultados obtenidos mediante el ensayo de esclerometría) y la resistencia a compresión (resultados obtenidos mediante el ensayo de compresión simple), estén organizadas de menor a mayor. Una vez que se ingrese al sistema de software Statistical Package for Social Sciences (SPSS), seguir los siguientes pasos:

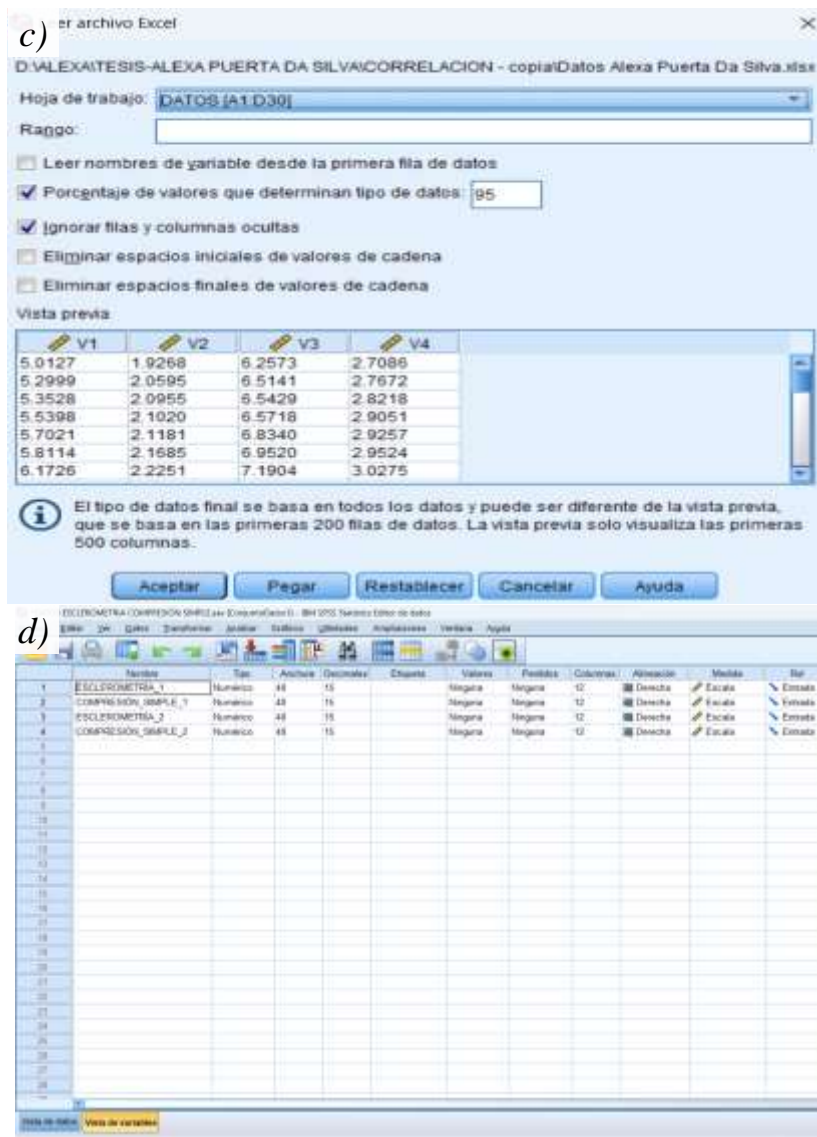
- Paso 1. Abrir el menú “Archivo”, realizar un click en “Importar datos” y a continuación el tipo de documento de donde desea extraer la información, en este caso “Excel” como se observa en la *Figura 4.16 a*).
- Paso 2. En el cuadro “Abrir datos”, realizar un click en “Abrir en” para buscar el documento de interés en los archivos de la PC y a continuación “Abrir”, como se observa en la *Figura 4.16 b*).

- Paso 3. En el cuadro “Extraer archivo Excel”, realizar un click en “Hoja de trabajo” para buscar la información deseada en el documento y a continuación “Aceptar”, como se observa en la *Figura 4.16 c*).
- Paso 3. Realizar un click en la pestaña inferior “Vista de variable” y verificar el nombre, tipo y medida de variables, esto dependerá de las características de los datos, como se observa en la *Figura 4.16 d*).

Figura 4.16

Proceso del ingreso de datos (software SPSS).





Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Prueba de normalidad de los datos

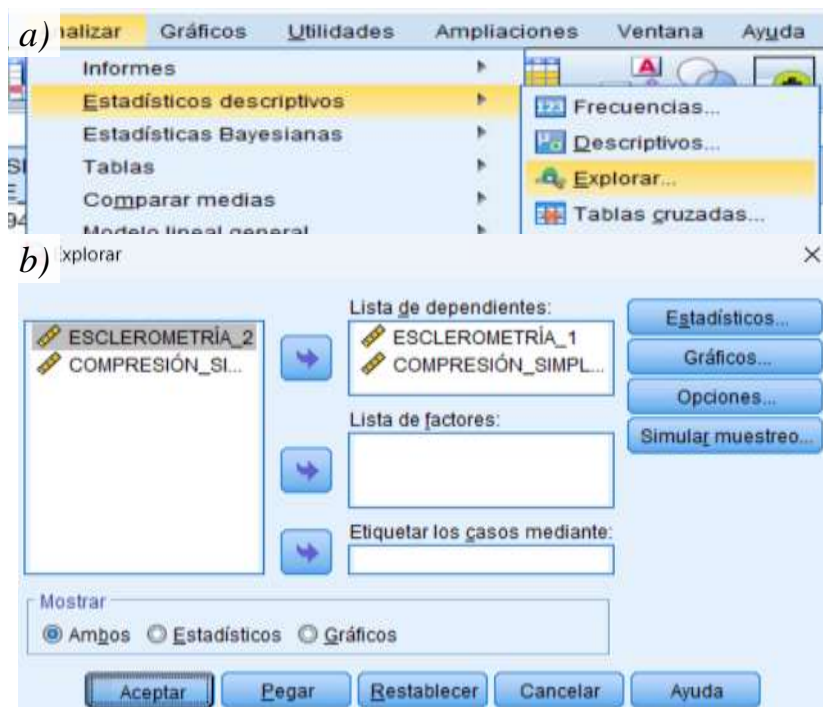
Para dar inicio el análisis de la prueba de bondad de ajuste de una distribución normal mediante el software (SPSS), es necesario seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Abrir el menú “Analizar”, realizar un click en “Estadísticos descriptivos” y a continuación en “Explorar”, como se observa en la *Figura 4.17 a*).
- Paso 2. Introducir las variables (resultados de los ensayos de esclerometría y compresión simple) en “Lista de dependientes” y en “Mostrar” activamos la pestaña

de “Ambos”, es decir, que muestre estadísticos y gráficos, como se observa en la *Figura 4.17 b*).

Figura 4. 17

Proceso de la prueba de normalidad (software SPSS).



Fuente: Software Statistical Package for Social Sciences (SPSS).

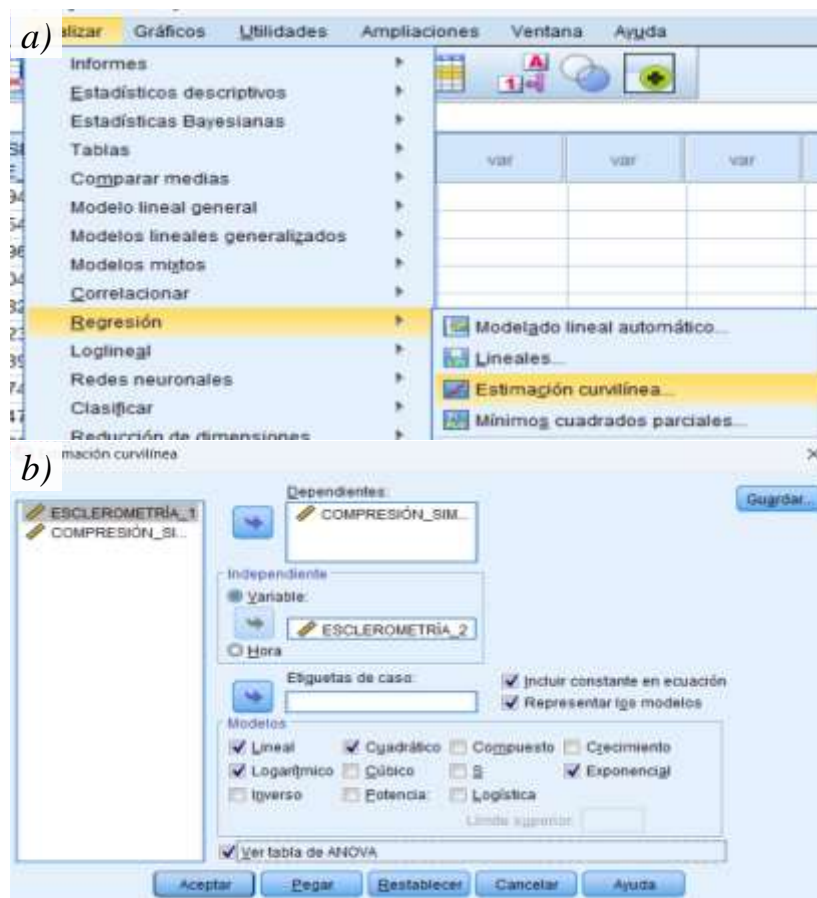
4.2.3 Prueba correlación y regresión

Paso 1. Abrir el menú “Analyze”, realizar un click en “Regression” y a continuación en “Estimación curvilínea”, como se observa en la *Figura 4.18 a*).

- Paso 2. Introducir las variables (resultados de los ensayos de esclerometría y compresión simple) en “Dependent e Independiente” respectivamente, en “Modelos” activamos el tipo de curvas lineales y/o no lineales, “Ver tabla ANOVA” y Aceptar, como se observa en la *Figura 4.18 b*).

Figura 4. 18

Proceso de la correlación y regresión del ajuste de curva para modelos lineales y no lineales.



Fuente: Software Statistical Package for Social Sciences (SPSS).

4.2.4 Interpretación de datos

Los resultados de las pruebas estadísticas realizadas mediante el sistema de software estadístico: Statistical Package for Social Sciences (SPSS), se presentan en la *Tabla 4.16* y *Tabla 4.17*, para más información adicional y detallada se recomienda revisar *Anexo C*.

Tabla 4. 16

Resultados prueba de normalidad mediante el sistema de software estadístico (SPSS).

Pruebas estadísticas		Resistencia del suelo cemento			
		Índice de rebote_1	Índice de rebote_2	Compresión_1	Compresión_2
Media		16,188	18,397	2,401	3,196
Error estándar de la media		0,044	0,041	0,250	0,194
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	15,792	17,886	2,317	3,106
	Límite superior	16,585	18,907	2,485	3,285
Media recortada al 5%		16,246	18,371	2,404	3,194
Mediana		16,500	18,450	2,392	3,219
Varianza		1,126	1,869	0,050	0,057
Desviación estándar		1,061	1,367	0,224	0,239
Mínimo		13,550	15,850	1,927	2,709
Máximo		17,600	21,350	2,786	3,772
Rango		4,050	5,500	0,859	1,064
Rango intercuartil		1,088	1,813	0,329	0,304
Asimetría		-0,969	0,115	-0,168	-0,024
Coefficiente de variación		6,556	7,431	9,350	7,475
Curtosis		0,369	-0,304	-0,751	0,151
Error estándar de la simetría		0,427	0,427	0,427	0,427
Error estándar de la curtosis		0,833	0,833	0,833	0,833
Shapiro Wilk	Estadísticos gl	0,902	0,980	0,977	0,984
	Significancia (Valor P)	30,000	30,000	30,000	30,000
		0,009	0,822	0,732	0,922

Nota.

El índice de rebote_1 y la resistencia a compresión_1 (pertenece a la mezcla compactada de suelo tipo A4, cuenta con una dosificación del 5% de cemento). El índice de rebote_2 y la resistencia a compresión_2 (pertenece a la mezcla compactada de suelo tipo A4, cuenta con una dosificación del 7% de cemento).

Por otro lado, para la prueba de normalidad, se considera que si $p \geq 0.05$ los datos tienen una distribución normal. Si $p < 0.05$ entonces, los datos no tienen una distribución normal.

Fuente: Elaboración.

Tabla 4. 17

Resultados de correlación y regresión del ajuste de curva para modelos lineales y no lineales mediante el sistema de software estadístico (SPSS).

Variables	Ecuación	Coefficiente de correlación	Coefficiente de determinación	Modelo de ajuste de curva		
		[R]	[R ²]	Coefficientes	Desv. Error	
Independiente: ➤ Índice rebote_1	Lineal	0,955	0,913	b1	0,202	0,012
				Const.	-0,870	0,192
	Logarítmico	0,947	0,896	b1	3,131	0,201
				Const.	-6,311	0,561
	Cuadrático	0,979	0,958	b1	-1,009	0,222
				b2	0,039	0,007
Exponencial	0,965	0,931	Const.	8,587	1,737	
Dependiente: ➤ Resistencia a compresión_1	Lineal	0,984	0,969	b1	0,172	0,006
				Const.	0,031	0,107
	Logarítmico	0,986	0,972	b1	3,164	0,102
				Const.	-6,011	0,296
	Cuadrático	0,986	0,972	b1	0,367	0,126
				b2	-0,005	0,003
Exponencial	0,982	0,964	Const.	-1,757	1,157	
Independiente: ➤ Índice rebote_2	Lineal	0,984	0,969	b1	0,054	0,002
				Const.	1,178	0,043

Nota.

El índice de rebote_1 y la resistencia a compresión_1 (pertenece a la mezcla compactada de suelo tipo A4 (IG-1), cuenta con una dosificación del 5% de cemento). El índice de rebote_2 y la resistencia a compresión_2 (pertenece a la mezcla compactada de suelo tipo A4 (IG-1), cuenta con una dosificación del 7% de cemento).

El índice de rebote_1 y la resistencia a compresión_1 (pertenece a la mezcla compactada de suelo tipo A4, cuenta con una dosificación del 5% de cemento). El índice de rebote_2 y la resistencia a compresión_2 (pertenece a la mezcla compactada de suelo tipo A4, cuenta con una dosificación del 7% de cemento).

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Distribución normal de la resistencia a la compresión e índice de rebote del suelo cemento. de las variables.**

La *Figura 4.19*, presenta la distribución de las variables a través de cuatro histogramas que ilustran las frecuencias de los datos obtenidos en los ensayos de esclerometría (índice de rebote) y compresión simple (resistencia a la compresión), aplicados en probetas cilíndricas de suelo cemento, con dosificaciones de 5% y 7% de cemento en un suelo tipo A4 (IG- 1). Esto facilita un análisis visual que tiene cada distribución, complementado con datos estadísticos como el coeficiente de variación, la simetría, la curtosis y la prueba de Shapiro-Wilk.

En la *Figura 4.19 a)*, se muestra el índice de rebote_1 (Q) correspondiente a una dosificación del 5% de cemento. De las 30 pruebas realizadas, se obtuvo un valor promedio de 16.19 y una desviación estándar de 1.061, resultando en un coeficiente de variación del 6.56%. Este valor sugiere una muy buena precisión en la medición y una notable homogeneidad en los datos. La mayor frecuencia se observa en el intervalo de 16.50 a 17.00, con 10 pruebas (33.33%), seguido del intervalo de 16.00 a 16.50, con 7 pruebas (23.33%). Los intervalos de menor frecuencia se ubican en los extremos, destacando el intervalo de 17.50 a 18.00, con 3 pruebas (10.00%), y varios intervalos entre 14.00 y 17.50, cada uno con 2 pruebas (6.67%). Los intervalos de 13.50 a 14.00 y de 15.00 a 15.50 registran 1 prueba cada uno (3.33%).

La *Figura 4.19 b)*, presenta el índice de rebote_2 (Q) para una dosificación del 7% de cemento. De las 30 pruebas, se obtuvo un promedio de 18.40 y una desviación estándar de 1.367, lo que genera un coeficiente de variación del 7.43%, confirmando también una buena precisión y homogeneidad en los datos. La mayor frecuencia se encuentra en el

intervalo de 16.50 a 17.00, con 10 pruebas (33.33 %), seguido del intervalo de 16.00 a 16.50, con 7 pruebas (23.33 %). Los intervalos de menor frecuencia se encuentran en los extremos, destacando el de 17.50 a 18.00, con 3 pruebas (10.00 %) y otros intervalos entre 14.00 y 17.50, con 2 pruebas cada uno (6.67 %). Los intervalos de 13.50 a 14.00 y de 15.00 a 15.50 registran 1 prueba cada uno (3.33%).

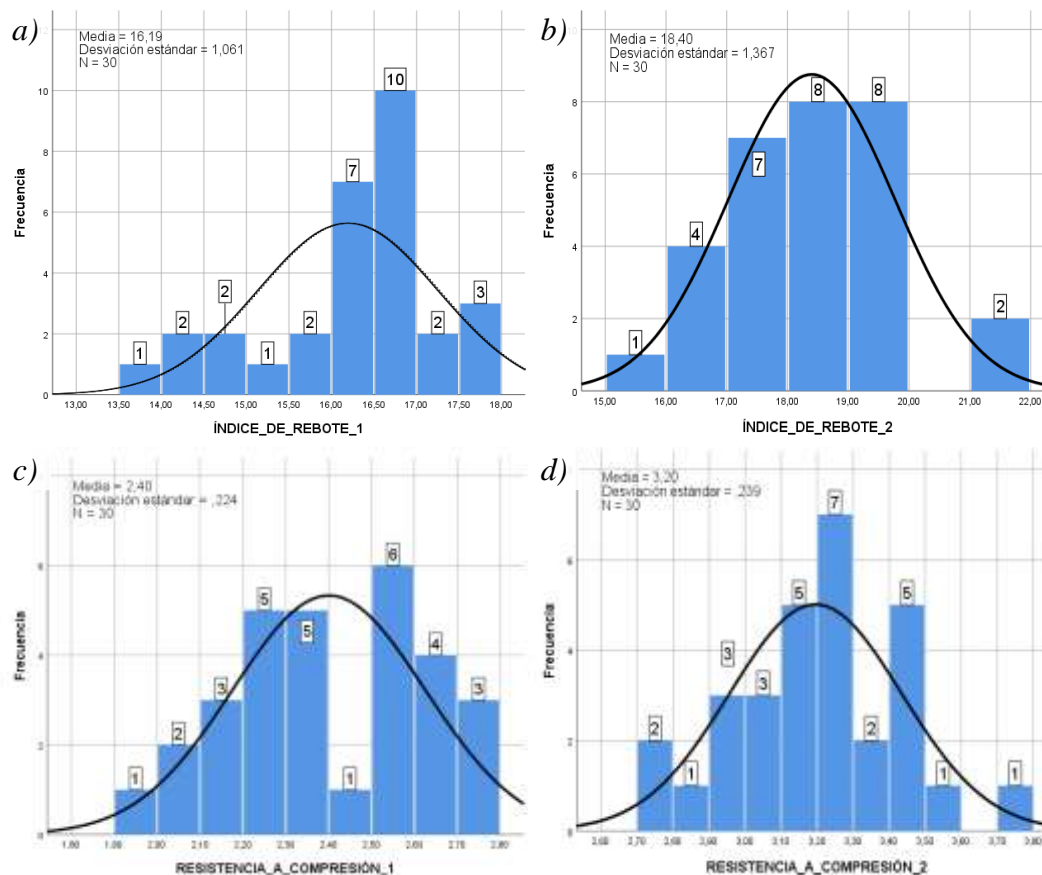
En cuanto a la resistencia a compresión₁ (f_c), correspondiente a una dosificación del 5%, la *Figura 4.19 c)* muestra que, de 30 pruebas, el promedio es de 2.40 MPa y la desviación estándar es de 0.224, resultando en un coeficiente de variación del 9.35%. Esto indica una buena precisión en los datos. La mayor frecuencia se encuentra en el intervalo de 2.50 a 2.60 MPa, con 6 pruebas (20.00%), seguido de los intervalos de 2.20 a 2.30 MPa y de 2.30 a 2.40 MPa, con 5 pruebas cada uno (16.67%). Los extremos del rango presentan menor frecuencia: los intervalos de 2.10 a 2.20 MPa y 2.70 a 2.80 MPa tienen 3 pruebas cada uno (10.00%), el de 2.00 a 2.10 MPa cuenta con 2 pruebas (6.67%), mientras que los intervalos de 1.90 a 2.00 MPa y 2.40 a 2.50 MPa tienen 1 prueba cada uno (3.33%).

Finalmente, la *Figura 4.19 d)* ilustra la resistencia a compresión₂ (f_c) con una dosificación del 7%. De las 30 pruebas, se obtuvo un promedio de 3.20 MPa con una desviación estándar de 0.239, lo que resulta en un coeficiente de variación del 7.48%. Este valor refleja nuevamente una buena precisión y homogeneidad en los datos. La mayor frecuencia se encuentra en el intervalo de 3.20 a 3.30 MPa, con 7 pruebas (23.33%). Los intervalos de 3.10 a 3.20 MPa y de 3.40 a 3.50 MPa presentan 5 pruebas cada uno (16.67%). En los extremos, destacan los intervalos de 2.90 a 3.00 MPa y 3.00 a 3.10 MPa, con 3 pruebas cada uno (10.00%), seguido por el intervalo de 2.70 a 2.80 MPa, con 2 pruebas (6.67%). Los

intervalos de 2.80 a 2.90 MPa, 3.50 a 3.60 MPa y 3.70 a 3.80 MPa cuentan con 1 prueba cada uno (3.33%).

Figura 4. 19

Histograma de distribución del índice de rebote y la resistencia a compresión, para probetas cilíndricas de suelo cemento



Nota. a) Índice de rebote_1, correspondiente a una dosificación del 5%, b) Índice de rebote_2, correspondiente a una dosificación del 7%, c) Resistencia a compresión_1, correspondiente a una dosificación del 5% y d) Resistencia a compresión_2, correspondiente a una dosificación del 7%. En todos los casos mezcla se aplicó en un suelo tipo A4 (IG-1).

Fuente: Elaboración propia.

A hora bien, para definir con exactitud la forma de la curva de distribución de frecuencia que se muestra en la *Figura 4.19*. La *Tabla 4.16* descrita la presente sección, proporciona datos estadísticos importantes para el análisis de cada variable. Donde, se muestra que para el índice de rebote_1, la curva de distribución tiene una asimetría negativa de -0.969 (sesgada hacia la derecha) mientras que la curtosis es de 0.369 (leptocúrtica). En el caso de la resistencia por índice de rebote_2, la curva de distribución tiene una asimetría positiva de 0.115 (sesgada hacia la izquierda), mientras que la curtosis de -0.304 (platicúrtica). Asimismo, se puede apreciar que para la resistencia a compresión_1 la curva de distribución tiene una asimetría negativa de -0.168 (sesgada hacia la derecha), mientras que la curtosis de -0.751 (platicúrtica). Del mismo modo, para la resistencia a compresión_2 la curva de distribución tiene una asimetría negativa de -0.024 (sesgada hacia la derecha), mientras que la curtosis de 0.151 (leptocúrtica). En todos los casos, cada variable indica que se tiene una distribución más puntiaguda y concentrada en comparación con una distribución normal.

La determinación para la distribución de normalidad, también se puede evidenciar mediante la prueba de Shapiro Wilk, a un nivel de confianza al 95% y una significancia de 5%, tal como describe la tabla mencionada. En el caso, de la resistencia por índice de rebote_1, el estadístico tiene un valor de 0.902 y la significación estadística ($p = 0.009$). Como p es menor de 0.05, se afirma que la variable no tiene distribución normal. La resistencia por índice de rebote_2, el estadístico tiene un valor de 0.980 y la significación estadística ($p = 0.822$). Como p es mayor de 0.05, se afirma que la variable sigue una distribución normal. La resistencia a compresión_1, el estadístico tiene un valor de 0.977 y la significación estadística ($p = 0.732$). Como p es mayor de 0.05, se afirma que la variable

sigue una distribución normal. La resistencia a compresión_2, el estadístico ha obtenido un valor de 0,984 y la significación estadística ($p= 0.922$). Como p es mayor de 0.05, entonces, se afirma que la variable sigue una distribución normal.

➤ **Relación o asociación del índice de rebote (Q) y resistencia a compresión ($f'c$) del suelo cemento.**

La *Tabla 4.17* describe la presente sección. Indica la correlación que mide la relación o el grado de asociación (R) entre el índice de rebote (eje x variable independiente) y la resistencia a la compresión (eje y variable dependiente), que son el conjunto de datos de pruebas de laboratorio, obtenidos mediante los ensayos de esclerometría y compresión simple. Primero, para la mezcla compactada del suelo tipo A4 (IG-1) con una dosificación del 5% de cemento. Se observa, que la correlación con mayor grado de grado de asociación es de 95.8% ($R= 0.958$), que corresponde al modelo cuadrático, seguido del modelo exponencial con un grado de asociación de 93,1% ($R= 0.931$), el modelo lineal con un grado de asociación de 91.3 % ($R= 0.913$) y por último el modelo logarítmico tiene un grado de asociación de 89.6 % ($R= 0.896$). Segundo, para la mezcla compactada del suelo tipo A4 (IG-1) con una dosificación del 7% de cemento. Podemos apreciar, que la correlación con mayor grado de asociación es de 97.2% ($R= 0.972$), que corresponde los modelos logarítmico y cuadrático, seguido del modelo lineal con un grado de asociación de 96.9 % ($R= 0.969$) y finalmente el modelo exponencial con un grado de asociación de 96.4% ($R= 0.964$). En todos los escenarios, podemos deducir que la correlación es positiva de magnitud perfecta directa. Es decir, que a medida que los valores de una variable aumentan, también lo hacen los valores de la otra.

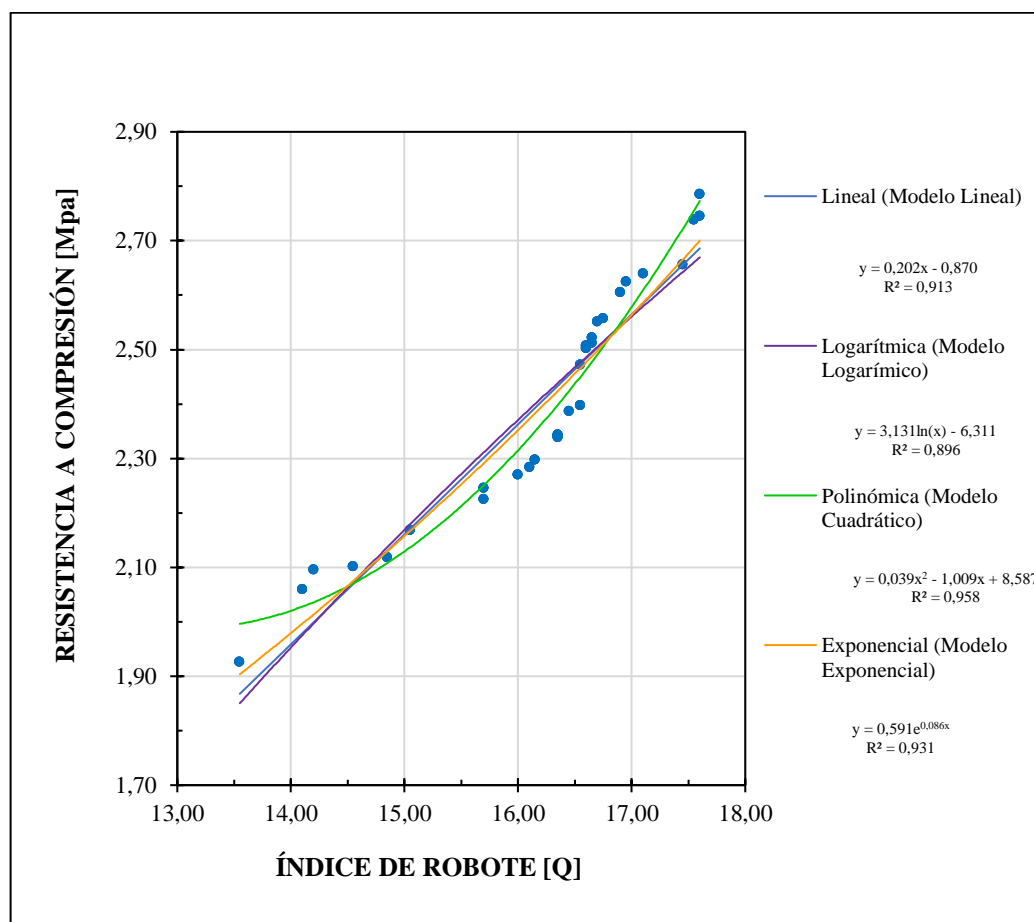
➤ **Modelo matemático de curva de ajuste para la relación entre el índice de rebote (Q) y resistencia a compresión ($f'c$) del suelo cemento.**

En la *Figura 4.20*, se observa un gráfico de dispersión, donde se visualiza cuatro ecuaciones o modelos de curva (lineal, logarítmica, cuadrática y exponencial) que representan la relación entre el índice de rebote (eje x variable independiente) y la resistencia a compresión (eje y variable dependiente), que son el conjunto de datos de pruebas en laboratorio para la mezcla compactada del suelo tipo A4 (IG-1) con una dosificación del 5% de cemento (suelo cemento), obtenidos mediante los ensayos de esclerometría y compresión simple. El modelo lineal expresado como $y = 0.202x + 0.870$, tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.913$, lo que significa que explica un 91.3 % de la variabilidad en la resistencia a compresión, mientras que un 8.7 % es explicada por otros factores. El modelo logarítmico expresado como $y = 3.131\ln(x) - 6.311$, tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.896$, lo que significa que explica un 89.6 % de la variabilidad en la resistencia a compresión, mientras que un 10.4 % es explicada por otros factores. El modelo cuadrático expresado como $y = 0.039x^2 - 1.009x + 8.587$, tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.958$, lo que significa que explica un 95.8 % de la variabilidad en la resistencia a compresión, mientras que un 4.2 % es explicada por otros factores. El modelo exponencial expresado como $y = 0.591 e^{0.086x}$, tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.931$, lo que significa que explica un 93.1 % de la variabilidad en la resistencia a compresión, mientras que un 6.9 % es explicada por otros factores. Por consiguiente, podemos decir que el grado de asociación es favorable para los cuatro modelos (lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial). Sin embargo, el modelo que mejor se ajusta a los datos proporcionados es el modelo cuadrático, el cual explica el 95.8% de la variabilidad. Por lo tanto, si se desea

realizar predicciones futuras, el modelo cuadrático sería el más adecuado. No obstante, los otros modelos también podrían utilizarse para obtener predicciones válidas, aunque con un grado de ajuste menor, especialmente el modelo lineal y exponencial que explican más del 91.3 % y 93.1 % respectivamente.

Figura 4. 20

Gráfico de dispersión entre el índice de rebote y la resistencia a compresión, de la mezcla compactada del suelo tipo A4 (IG-1) con una dosificación del 5% de cemento (suelo cemento).



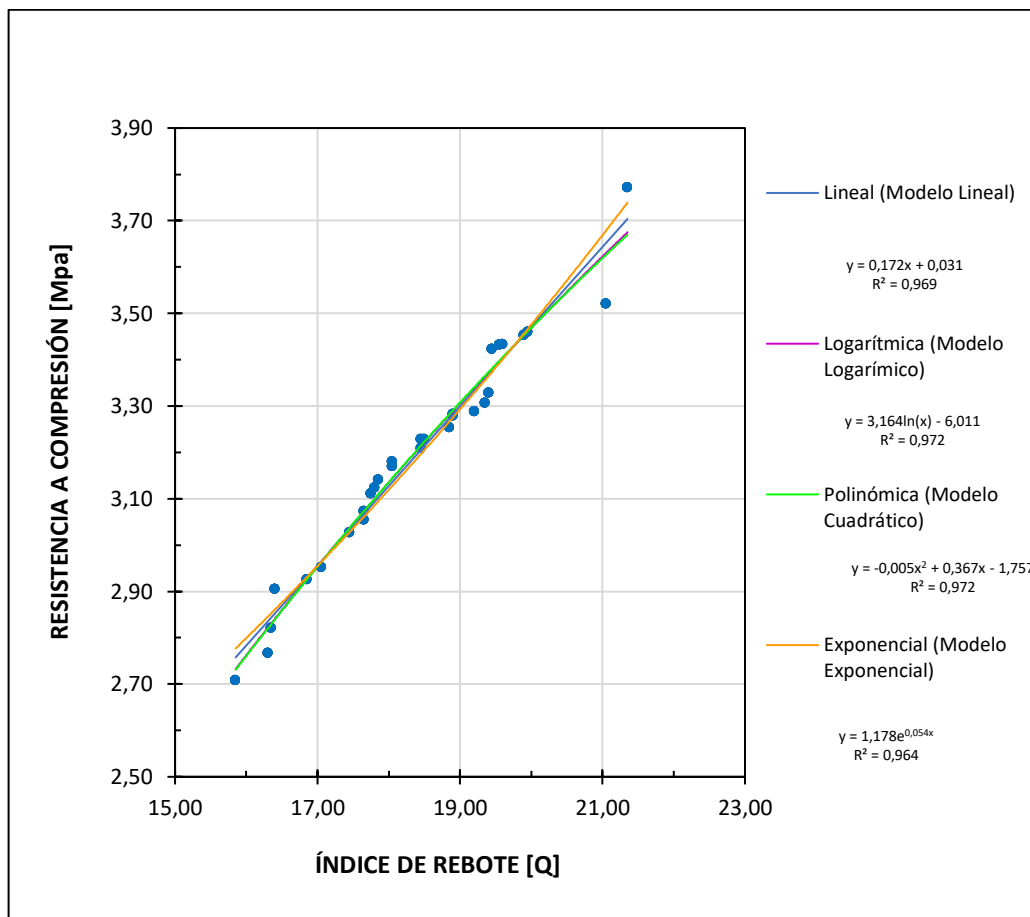
Fuente. Elaboración propia.

En la *Figura 4.21*, se observa un gráfico de dispersión, donde se visualiza cuatro ecuaciones o modelos de curva (lineal, logarítmica, cuadrática y exponencial) que

representan la relación entre el índice de rebote (eje x variable independiente) y la resistencia a compresión (eje y variable dependiente), que son el conjunto de datos de pruebas en laboratorio para la mezcla compactada del suelo tipo A4 (IG-1) con una dosificación del 7% de cemento (suelo cemento), obtenidos mediante los ensayos de esclerometría y compresión simple. El modelo lineal expresado como $y = 0.172x + 0.031$ tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.969$, lo que significa que explica un 96.9 % de la variabilidad en la resistencia a compresión, mientras que un 3.10 % es explicada por otros factores. El modelo logarítmico expresado como $y = 3.164\ln(x) - 6.011$, tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.972$, lo que significa que explica un 97.2 % de la variabilidad en la resistencia a compresión, mientras que un 2.80 % es explicada por otros factores. El modelo cuadrático expresado como $y = -0.005x^2 + 0.367x - 1.757$, tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.972$, lo que significa que explica un 97.2 % de la variabilidad en la resistencia a compresión, mientras que un 2.80 % es explicada por otros factores. El modelo exponencial expresado como $y = 1.178e^{0.054x}$, tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.964$, lo que significa que explica un 96.4% de la variabilidad en la resistencia a compresión, mientras que un 3.6 % es explicada por otros factores. Por consiguiente, podemos decir que el grado de asociación es favorable para los cuatro modelos (lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial). Sin embargo, el modelo que mejor se ajusta a los datos proporcionados es el modelo logarítmico y cuadrático, el cual explica el 97.2 % de la variabilidad. Por lo tanto, si se desea realizar predicciones futuras, ambos modelos serían los más adecuado. No obstante, el modelo lineal y exponencial también podrían utilizarse para obtener predicciones válidas, aunque con un grado de ajuste menor.

Figura 4. 21

Gráfico de dispersión entre el índice de rebote y la resistencia a compresión, de la mezcla compactada del suelo tipo A4 con una dosificación del 7% de cemento (suelo cemento).



Fuente. Elaboración propia.

- **Error de coeficiente de estimación del modelo matemático de curva de ajuste para la relación entre el índice de rebote (Q) y resistencia a compresión (f'c) del suelo cemento.**

En la *Tabla 4.17*, también se puede apreciar el error de los coeficientes de estimación para cada ecuación de los modelos de curva de ajuste (lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial) del índice de rebote y la resistencia a compresión, resultados obtenidos mediante los ensayos de esclerometría y compresión simple. Para las muestras con

dosificaciones de 5% de cemento, el modelo exponencial presenta los errores más bajos con 0.004 para b_1 y 0.042 para la constante, seguido por el modelo lineal con errores de 0.012 para b_1 y 0.192 para la constante. El modelo logarítmico presenta errores de 0.201 para b_1 y 0.561 para la constante, mientras que el modelo cuadrático muestra los errores más altos con 0.222 para b_1 , 0.007 para b_2 , y 1.737 para la constante. Para el 7% de cemento, el modelo exponencial continúa siendo el más preciso con errores de 0.002 para b_1 y 0.043 para la constante, seguido por el modelo lineal con errores de 0.006 para b_1 y 0.107 para la constante. El modelo logarítmico exhibe errores de 0.102 para b_1 y 0.296 para la constante, mientras que el modelo cuadrático muestra errores de 0.126 para b_1 , 0,003 para b_2 , y 1.157 para la constante. Estos resultados indican que el modelo exponencial proporciona los coeficientes con menor error para ambas dosificaciones, lo que sugiere una estimación más precisa. Aunque el modelo cuadrático muestra coeficientes de determinación (R^2) más altos, sus errores de coeficientes más elevados, especialmente en las constantes, sugieren una menor confiabilidad en las estimaciones específicas. Por lo tanto, el modelo exponencial podría ser preferido debido a su alta precisión en los coeficientes, a pesar de que el cuadrático puede ofrecer un ajuste ligeramente mejor en términos de R^2 .

4.3 ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO CEMENTO MEDIANTE EL ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

La resistencia a compresión estimada del suelo cemento, se realizó con la ecuación de modelo de curva de ajuste que proporciona el fabricante del equipo utilizado (esclerómetro Silver Schmidt) y los modelos estadísticos generados con el programa SPSS,

como se describe en la *Tabla 4.18*, para más información adicional y detallada, se recomienda revisar *Anexo D*.

Tabla 4. 18

Resultado de la estimación de la resistencia a compresión del suelo cemento mediante modelos de curva de ajuste determinados en el programa SPSS y el modelo proporcionado por el fabricante (esclerómetro Silver Schmidt).

Ecuaciones de modelos de curva de ajuste		Promedio de la resistencia a compresión estimada [Mpa]
Probetas cilíndricas de suelo cemento (suelo tipo A4 (IG-1), con una dosificación del 5% de cemento).		
Esclerómetro	$y = 0.0108x^2 + 0.2236x$	6.46
Lineal	$y = 0.202x + 0.870$	4.14
Logarítmico	$y = 3.131\ln(x) - 6.311$	2.40
Cuadrático	$y = 0.039x^2 - 1.009x + 8.587$	2.52
Exponencial	$y = 0.591e^{0.086x}$	2.39
Probetas cilíndricas de suelo cemento (suelo tipo A4 (IG-1), con una dosificación del 7% de cemento).		
Esclerómetro S.	$y = 0.0108x^2 + 0.2236x$	7.79
Lineal	$y = 0.172x + 0.031$	3.20
Logarítmico	$y = 3.131\ln(x) - 6.311$	3.19
Cuadrático	$y = -0.005x^2 + 0.367x - 1.757$	3.29
Exponencial	$y = 1.178e^{0.054x}$	3.19
<i>Nota.</i> El valor de la resistencia a compresión estimada, es el promedio de 30 mediciones realizadas. La variable “x” en las ecuaciones de cada modelo de ajuste corresponde al índice de rebote (Q) del esclerómetro Silver Schmidt, utilizado en los ensayos.		

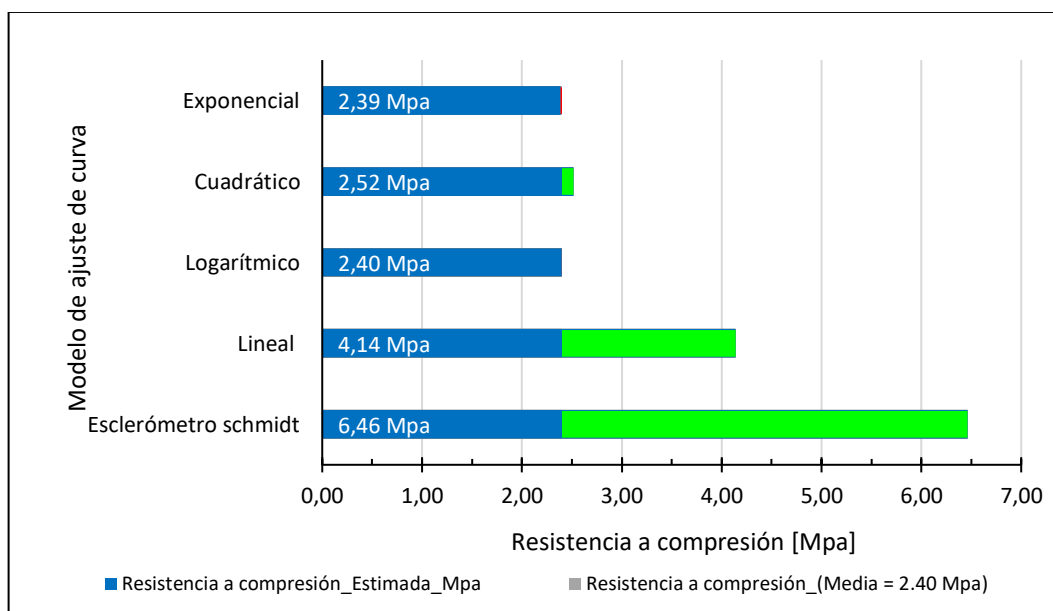
Fuente: Elaboración propia.

La *Figura 4.22*, muestra una representación gráfica de la comparación entre la resistencia a compresión (f_c) del suelo cemento, con un valor promedio de 2.40 MPa, y su estimación utilizando diferentes modelos de ajuste (lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial), además del modelo proporcionado por el fabricante del esclerómetro Silver

Schmidt. Este análisis corresponde a la mezcla de suelo A-4 IG-1 con una dosificación del 5% de cemento. La resistencia estimada con el modelo de fabrica que proporciona el manual del instrumento, esclerómetro Silver Schmidt es de 6,46 MPa, mostrando una sobreestimación considerable. Por otro lado, los modelos determinados con el programa SPSS presentan una estimación más cercana a la realidad: el modelo lineal estima una resistencia de 4.14 MPa, el logarítmico de 2.40 MPa, el cuadrático de 2.52 MPa y el exponencial de 2.39 MPa.

Figura 4. 22

Comparación de la resistencia a compresión y su estimación mediante modelos de curva de ajuste en suelo cemento, suelo tipo A4 (IG-1) con dosificación del 5% de cemento.



Nota. Las ecuaciones de modelos de ajuste de curva, se describen en la *Tabla 4.18*.

El promedio de resistencia a compresión, se describe en la *Tabla 4.14*.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora si consideramos la *Tabla 4.19*, el modelo de conversión del equipo (esclerómetro Silver Schmidt) muestra un error porcentual extremadamente alto del 169.151

%, con una diferencia de 4.061 Mpa, indicando una gran discrepancia y baja precisión en la estimación de la resistencia a compresión. El modelo lineal presenta un error del 72.445% con 1.739 Mpa de diferencia, mejorando en comparación del primer caso, aún que presenta una precisión insuficiente. El modelo cuadrático muestra un error del 4.793 % con 0.115 MPa de diferencia, mejorando considerablemente, aunque no es tan preciso como los modelos logarítmico y exponencial, que presentan errores significativamente menores de -0.041% con -0.001 MPa y -0.561% con -0.013 MPa de diferencia respectivamente, sugiriendo una alta precisión y confiabilidad en sus estimaciones.

Tabla 4. 19

Diferencia entre el promedio de la resistencia a compresión y su estimación mediante modelos de curva de ajuste en suelo cemento, suelo tipo A4 (IG-1) con dosificación del 5% de cemento.

Modelos de curva de ajuste	Promedio de la resistencia a compresión	Promedio de la resistencia a compresión estimada	Diferencia	
	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[%]
Esclerómetro Schmidt	2.40	6.46	4.061	169.151
Lineal		4.14	1.739	72.445
Logarítmico		2.40	-0.001	-0.041
Cuadrático		2.52	0.115	4.793
Exponencial		2.39	-0.013	-0.561

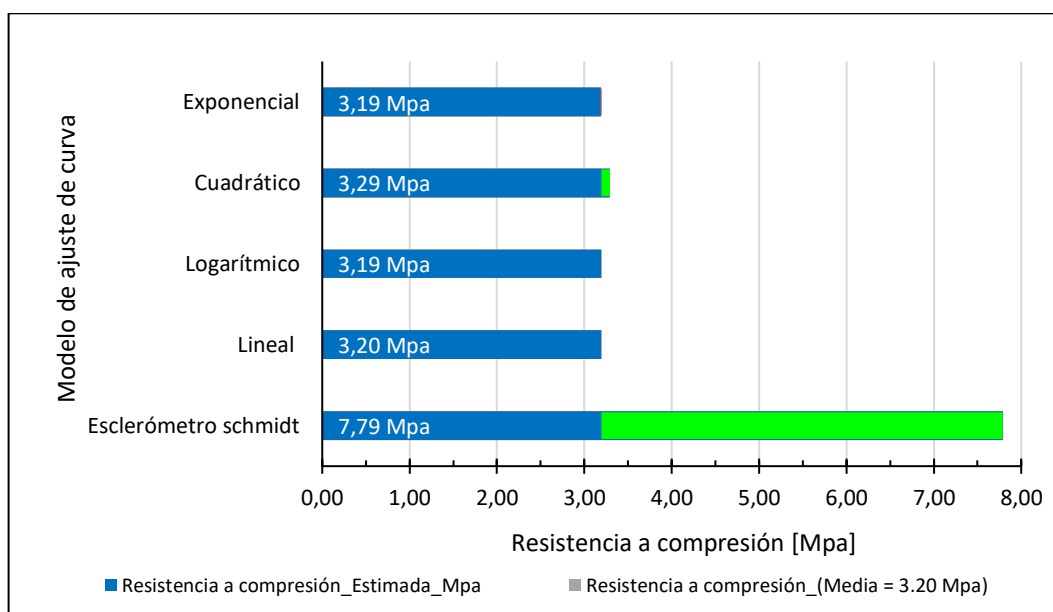
Nota. El valor promedio de resistencia a compresión es el resultado de 30 pruebas obtenidas del ensayo de compresión simple, descrita en la *Tabla 4.14*. El valor de la resistencia a compresión estimada, es el promedio de 30 mediciones realizadas, a partir de las ecuaciones del modelo de curva que proporciona el fabricante del equipo utilizado (esclerómetro Silver Schmidt) y los modelos encontrados mediante el programa SPSS, tal como se muestra en la *Tabla 4.18*.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la *Figura 4.23*, muestra la comparación entre la resistencia a compresión (f'_c) del suelo cemento, con un valor promedio de 3.20 MPa, y su estimación utilizando diferentes modelos de ajuste (lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial), además del modelo proporcionado por el fabricante del esclerómetro Silver Schmidt. Este análisis corresponde a la mezcla de suelo A-4 IG-1 con una dosificación del 7% de cemento. La resistencia estimada con el modelo de curva de ajuste proporcionado por el fabricante esclerómetro Schmidt es de 7.79 MPa, mostrando una sobreestimación significativa. Mientras que los modelos determinados con el programa SPSS (lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial) estiman resistencias de 3.20 MPa, 3.19 MPa, 3.29 MPa y 3.19 MPa, respectivamente, lo que indica una mayor precisión y confiabilidad en comparación del caso anterior.

Figura 4. 23

Comparación de la resistencia a compresión y su estimación mediante modelos de curva de ajuste en suelo cemento, suelo tipo A4 (IG-1) con dosificación del 7 % de cemento.



Nota. Las ecuaciones de modelos de ajuste de curva, se describen en la *Tabla 4.18*.

El promedio de resistencia a compresión, se describe en la *Tabla 4.14*.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo la *Tabla 4.20* podemos apreciar que el modelo de conversión del equipo (esclerómetro Silver Schmidt) muestra un error porcentual extremadamente alto del 143.71%, con una diferencia de 4.592 Mpa, indicando una gran discrepancia y baja precisión en la estimación de la resistencia a compresión. En comparación, el modelo cuadrático presenta un error del 3.057% con una diferencia de 0.98 MPa, demostrando una mejora significativa, aunque no tan precisa como otros modelos. El modelo exponencial, con un error del -0.191% con una diferencia de -0.006 MPa, mantiene un nivel de precisión considerablemente alto, seguido por el modelo logarítmico con un error del -0.032% con una diferencia de -0.001 MPa, sugiriendo una alta precisión y confiabilidad. Finalmente, el modelo lineal destaca por su extrema precisión, con un error del -0.013% con una diferencia de 0.00 MPa, siendo el más confiable entre todos los modelos evaluados. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar el modelo adecuado para la estimación de la resistencia a compresión, favoreciendo aquellos que demuestran mayor precisión y confiabilidad, y resaltan la insuficiencia del modelo proporcionado por el fabricante del esclerómetro para estos fines específicos.

En comparación, los modelos determinados con el programa SPSS muestran una menor variación. El modelo lineal tiene un error del -0.013% y una diferencia de 0.00 MPa, lo que lo hace altamente preciso. El modelo logarítmico tiene un error del -0.032% con una diferencia de -0.001 MPa, mientras que el modelo cuadrático, tiene un error del 3.057%, presenta una diferencia de 0.98 MPa. Finalmente, el modelo exponencial tiene un error del

-0,191% con una diferencia de -0.006 MPa. Aunque el modelo cuadrático tiene un error más elevado, los modelos lineal y exponencial destacan por su alta precisión, lo que sugiere que son más confiables para estimar la resistencia a compresión en comparación con la ecuación de fábrica del esclerómetro Schmidt.

Tabla 4. 20

Variación de diferencia entre el promedio de la resistencia a compresión y su estimación mediante modelos de curva de ajuste en suelo cemento, suelo tipo A4 (IG-1) con dosificación del 7% de cemento.

Modelos de curva de ajuste	Resistencia a compresión	Resistencia a compresión estimada	Diferencia	
	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[%]
Esclerómetro Schmidt		7.79	4.592	143.710
Lineal		3.20	0.000	-0.013
Logarítmico	3.20	3.19	-0.001	-0.032
Cuadrático		3.29	0.098	3.057
Exponencial		3.19	-0.006	-0.191

Nota. El valor promedio de resistencia a compresión es el resultado de 30 pruebas obtenidas del ensayo de compresión simple, descrita en la *Tabla 4.14*. El valor de la resistencia a compresión estimada, es el promedio de 30 mediciones realizadas, a partir de las ecuaciones del modelo de curva que proporciona el fabricante del equipo utilizado (esclerómetro Silver Schmidt) y los modelos encontrados mediante el programa SPSS, tal como se muestra en la *Tabla 4.18*.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se evaluó la resistencia de suelo cemento con ensayos de esclerometría y compresión simple, utilizando muestras de suelo cemento con diferentes dosificaciones, diseñadas específicamente para un suelo de tipo A4. Donde, los resultados proporcionan una comprensión más profunda sobre la aplicación del ensayo de esclerometría

como medio alternativo para la evaluación de la resistencia a compresión en materiales de suelo-cemento.

A partir de los ensayos de laboratorio, se destacan los siguientes resultados:

En el estudio geotécnico del suelo utilizado para el desarrollo de los ensayos requeridos en la investigación tiene una granulometría de 0.15% de gravas, 48.29% de arenas y 51.57% de finos. También, presenta un límite líquido (LL) de 27.55 % y el índice de plasticidad (IP) de 7.17 %. Por lo tanto, el sistema AASHTO lo identifica como un material limoso de clasificación A-4 [IG-1] y el sistema SUCS lo clasifica como CL (Arcilla arenosa de baja plasticidad).

En el diseño de mezcla de suelo cemento, se adoptó las dosificaciones de 5% y 7% de cemento para la aplicación de los ensayos de esclerometría y compresión simple, esto considerando los criterios establecidos en los manuales técnicos de la Administradora Boliviana de Carretera (ABC). La mezcla con 5% de cemento mostró un óptimo contenido de humedad (OCH) del 10.04% y un peso unitario máximo seco (PUMS) de 20.00 kN/m³, mientras que la mezcla con 7% de cemento registró un OCH de 10.26% y un PUMS de 20.11 kN/m³. La pérdida por desgaste fue de 4.31% y 3.72% para las dosificaciones de 5% y 7% de cemento. Además, la resistencia a compresión simple promedio fue de 2.45 MPa y 3.27 MPa para las dosificaciones de 5% y 7% de cemento, respectivamente. Por consiguiente, los resultados indican que ambas proporciones de mezcla son adecuadas para aplicaciones geotécnicas como bases y sub-bases en proyectos viales, ya que cumplen con los estándares requeridos de máximo del 10% de pérdida de material por desgaste y un mínimo de 2 MPa a los 7 días de edad para la resistencia a compresión.

En la evaluación de la resistencia del suelo cemento mediante ensayos de esclerometría y compresión simple, se destacan varios hallazgos significativos:

- De 30 pruebas realizadas con el ensayo de compresión simple la resistencia promedio fue de 2.40 MPa y 3.20 MPa para las dosificaciones de 5% y 7% de cemento respectivamente.
- De 30 pruebas realizadas con el ensayo de esclerometría el promedio del índice de rebote (Q), alcanzo un valor de 16.19 y 18.40 para las dosificaciones de 5% y 7% de cemento respectivamente.
- Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión y del índice de rebote muestran una buena homogeneidad de datos, con coeficientes de variación aceptables que indican una alta precisión. Las variables siguen una distribución normal, siendo mínima la dispersión de los datos del índice de rebote en la mezcla con un 5% de cemento
- Las correlaciones R entre el índice de rebote y la resistencia a compresión son altas, con grados de asociación superiores al 90%, lo que permite deducir una relación positiva directa entre ambas variables.
- De acuerdo al coeficiente de determinación R^2 de los modelos de regresión de ajuste de curva (lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial), se determina que la mayor proporción de la variabilidad de la resistencia a compresión ($f'c$) a través del índice de rebote (Q), es el modelo cuadrático para una dosificación de 5%. Cuadrático y logarítmico para una dosificación de 7% de cemento.

- Considerando el error del coeficiente de los modelos (lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial), se determina que las ecuaciones exponenciales ($y = 0.591 e^{0.086x}$) y ($y = 1.178e^{0.054x}$) que pertenecen a dosificaciones 5% y 7% respectivamente, son las más adecuada y confiable para estimar la resistencia del suelo cemento mediante el ensayo de esclerometría.
- La comparación entre el promedio de la resistencia a compresión y las estimaciones obtenidas mediante modelos generados en SPSS, revela una discrepancia significativa respecto al modelo proporcionado por el fabricante del esclerómetro Silver Schmidt. Donde, los modelos lineal, logarítmico, cuadrático y exponencial desarrollados destacan por su precisión y confiabilidad, demostrando una mayor capacidad para estimar con exactitud la resistencia del suelo-cemento.

Por lo tanto, los modelos aplicados han demostrado ser estadísticamente confiables y adecuados, ofreciendo una alternativa viable para la aplicación del ensayo de esclerometría en el control de bases y subbases de suelo-cemento in situ, particularmente en las dosificaciones de 5% y 7 % de cemento evaluado.

CAPITULO V

5 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

5.1 CONCLUSIÓN

La evaluación de la resistencia de las dosificaciones de suelo-cemento diseñadas para un suelo tipo A4 ha permitido confirmar la hipótesis planteada: el ensayo de esclerometría puede establecerse como un método confiable en comparación con el ensayo de compresión simple para el control y calidad de bases y sub-bases en proyectos viales.

Donde, los resultados confirman que el suelo utilizado presenta características adecuadas, clasificándose como un suelo del tipo A-4 (IG-1) “AASHTO”. En el diseño de mezcla las dosificaciones adoptadas de 5% y 7% de cemento demostraron ser efectivas, cumpliendo con los estándares requeridos de resistencia y pérdida de material por desgaste.

Asimismo, los ensayos de esclerometría revelaron que el índice de rebote se correlaciona positivamente con la resistencia a compresión, alcanzando coeficientes de correlación superiores al 90%, hallazgo que permite que el índice de rebote pueda ser un indicador efectivo para la estimación de la resistencia del suelo-cemento. No obstante, al considerar el error de los coeficientes en los modelos de regresión aplicados a ecuaciones lineales, logarítmicas, cuadráticas y exponenciales, se ha logrado establecer una relación clara con dosificaciones de 5% y 7%. Donde, el modelo exponencial ofrece mediciones más precisos y confiables para la estimación de la resistencia del suelo-cemento, superando las estimaciones del modelo proporcionado por el fabricante del esclerómetro Schmidt, cuyas ecuaciones se describen de la siguiente manera:

$$\text{Para 5\% de cemento} \leftrightarrow y = 0.591 e^{0.086x} \quad \text{Ecu. 5.1}$$

$$\text{Para 7\% de cemento} \leftrightarrow y = 1.178 e^{0.054x} \quad \text{Ecu. 5.2}$$

Por lo tanto, la investigación ratifica la hipótesis planteada, demostrando que la evaluación de la resistencia de las dosificaciones de suelo-cemento no solo es viable, sino que también establece un método confiable para el control de calidad en proyectos viales. Lo que permite abrir la puerta a la implementación del ensayo de esclerometría como una alternativa efectiva en la evaluación estimada de la resistencia a compresión del suelo cemento como material de construcción, garantizando así la durabilidad y seguridad de las infraestructuras.

5.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones obtenidas en la presente investigación, podemos recomendar lo siguiente:

- Se recomienda la adopción y aplicación del modelo estadístico exponencial, representado por las ecuaciones ($y = 0.591 e^{0.086x}$) y ($y = 1.178 e^{0.054x}$), para las dosificaciones de 5% y 7% de cemento, respectivamente, en la evaluación de la resistencia del suelo-cemento tipo A4 (1).
- Considerando que los datos han sido adquiridos en suelo cementó, se recomienda el uso de las ecuaciones mencionadas tomando en cuenta los rangos máximos y mínimos de los resultados obtenidos del índice de rebote y la resistencia a compresión medida.
- A pesar de los resultados prometedores, se recomienda continuar desarrollando investigaciones en este campo para optimizar la implementación y validación del ensayo de esclerometría en aplicaciones prácticas. Fortalecer esta línea de estudio permitirá afianzar su uso como una

herramienta confiable y precisa en la evaluación de la resistencia del suelo-cemento.

- Realizar investigaciones adicionales que incluyan nuevos ensayos alternativos para la estimación de la resistencia a compresión in situ. Esto permitirá evaluar la precisión y aplicabilidad de diferentes técnicas directamente en el campo, lo que contribuirá a la incorporación de nuevos métodos de evaluación en la calidad de los materiales de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

PCA: Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara.

(2004). *Diseño y control de mezcla de concreto*. EE.UU.

ABC, A. B. (2011). *Ensayo de Suelos y Materiales* (Vol. 4). Bolivia: APIA XXI.

ABC, A. B. (2011). *Manual de especificaciones técnica de construcción*.

ACI: American Concrete Institute. (1997). *230 IR-90 State of the Art report on soil Cement*.

AEMP: Autoridad de fiscalización y control social de empresas. (2012). *Cadena de productiva del cemento*.

Arroyo, I. J. (2019). *Estudio geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales en viviendas unifamiliares en el centro poblado de huamanmarca*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú - Facultad de Ingeniería Civil.

ASTM, A. S. (1996). *D 558-96 Standard Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures*. Annual Book of ASTM Standard.

ASTM, A. S. (2003). *D 1633-00 Standard Methods For Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders*. Annual Book of ASTM Standard.

ASTM, A. S. (2003). *D 422-63 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. Annual book of ASTM standards. .

ASTM, A. S. (2003). *D 4318-98 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. Annual book of ASTM standards.

ASTM, A. S. (2012). *D 1557-12 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³) (2,700 kN-m/m³)*.

ASTM, A. S. (2023). *D 2216-98 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. Annual Book of ASTM Standard.

- Buendía, E. L., Colás, B. P., & Hernández, P. F. (1998). *Métodos de investigación en psicopedagogía*. Madrid: McGraw-Hill.
- Calle, O. F. (2016). *Evaluación correcta del hormigón mediante ensayos esclerométricos*. [Proyecto de grado, Universidad Mayor de San Andrés]. La Paz - Bolivia.
- Das, B. M. (2011). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones* (Sextima ed.). México, D.F: Cengage.Learning,.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México D.F: Cengage Learning.
- Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied regression analysis*. John Wiley & Sons.
- FICEM: Quintanilla R, C. A. (2007). *El Estado del Arte del Suelo Cemento en Estructuras de carretera*. La Federación Interamericana del Cemento (FICEM). Obtenido de <https://www.ibch.com/download/el-estado-del-arte-del-suelocemento-en-estructuras-de-pavimentos/>
- Freund, R. J., Wilson, W. J., & Sa, P. (2006). *Regression analysis: Statistical modeling of a response variable*. Elsevier.
- Gavilanes, P. A. (2023). *Correlación de la resistencia del concreto entre ensayos destructivos (resistencia a la compresión) y no destructivos (martillo de Schmidt)*. [Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniera civil, Universidad Católica De Cuenca]. Azogues – Ecuador.
- Hernández, R. S., Fernández, C. C., & Baptista, P. L. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/>

api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

IBCH: Pitta, I. M. (2002). *Construcción de Base de Suelo-Cemento por el Proceso de Mezcla del Sitio*. La Paz: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón.

INORCA. (1995). *Norma Boliviana NB 011 - Definiciones, clasificación y especificaciones*. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.

Institute, A. C. (1997). "State of the Art report on soil Cement", ACI Committee 230.1R-90.

Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2004). *Applied linear regression models*. McGraw-Hill/Irwin.

Manuel Borja Suárez. (2016). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo: Umbral Editores.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons.

Moore, D. S., McCabe, G. P., & Craig, B. A. (2012). *Introduction to the practice of statistics*. W. H. Freeman. New York: W.H. Freeman and Company.

Morales, J. N. (2021). *Determinación de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción mediante el equipo automático de corte directo en suelos del barrio las palmas*. Universidad Amazonica de Pando.

PCA: Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara. (2004). *Diseño y control de Mezclas de Concreto*. EE.UU., México: Portland Cement Association.

Sagiüés, P. (2008). *Rigidez a baja deformación en el Pampeano compactado [Tesis de grado, Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires]*. Obtenido de

<https://es.scribd.com/document/359433858/Patricia-Sagues-tesis-de-grado-compactacion-de-suelos-pdf>

Sánchez, G. S. (2017). *Validez y confiabilidad del cuestionario de calidad de vida SF-36 en mujeres con LUPUS, Puebla. Tesis de Grado [Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].* Puebla.

Serigos, P. A. (2009). *Rigidez a baja deformación de mezclas de suelo de la formación pampeano y cemento portland [Tesis de grado, Facultad de Ingeniería de Buenos Aires].* Obtenido de <https://dokumen.tips/documents/tesisi-suelo-cemento.html>

Trejo, G. S., & López, R. M. (2006). *Propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la norma ASTM 2003.* San Salvador: Universidad de el Salvador - Facultad de Ingeniería y Arquitectura - Escuela de Ingeniería Civil.

Weinberg, S. L., & Abramowitz, S. K. (2008). *Statistics Using SPSS.* Cambridge University Press.

Weisberg, S. (2005). *Applied linear regression.* John Wiley & Sons.

ANEXOS

**ANEXO A: INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y
MUESTRAS ENSAYADAS**

Imagen A. 1

Instrumento de medición: Prensa Hidráulica.



Fuente: Elaboración Propia.

Imagen A. 2

Instrumento de medición: Esclerómetro Silver Schmidt (Modelo N).



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A. 3

Muestras ensayadas: Ensayo a compresión simple del suelo cemento (dosificaciones de 5% y 7% de cemento con suelo tipo A4 IG-1).



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A. 4

Muestras ensayadas: Ensayos de esclerometría o índice de rebote del suelo cemento

(dosificaciones de 5% y 7% de cemento para un suelo tipo A4 IG-1).



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A. 5

Muestras ensayadas: Ensayos de durabilidad por humedecimiento y secado de suelo cemento (dosificaciones de 5% y 7% de cemento para un suelo tipo A4 IG-1).



Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO B: PLANILLAS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO**



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Laboratorio de Suelos y Hormigones

Contenido de humedad [ASTM D2216]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría

Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP"

Fecha: 12/10/2021

Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Punto1 **Profundidad:** 0.50 m - 2.00 m

3. DATOS TÉCNICOS

Muestra 1 / Profundidad - 0.50 m

Contenido de humedad				
Descripción	Símbolo	Datos		
Recipiente	[N°]	1	2	3
Peso de recipiente	[gr]	21,45	21,32	21,68
Peso de recipiente + suelo húmedo	[gr]	61,09	59,58	62,29
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	57,37	56,17	58,42
Peso suelo húmedo	[gr]	39,64	38,26	40,61
Peso suelo seco	[gr]	35,92	34,85	36,74
Peso agua	[gr]	3,72	3,41	3,87
Contenido de humedad	[%]	10,36	9,78	10,53
Promedio	[%]		10,22	

Muestra 2 / Profundidad - 1.00 m

Contenido de humedad				
Descripción	Símbolo	Datos		
Recipiente	[N°]	1	2	3
Peso de recipiente	[gr]	21,49	21,14	21,52
Peso de recipiente + suelo húmedo	[gr]	55,38	56,67	47,60
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	51,69	52,85	44,80
Peso suelo húmedo	[gr]	33,89	35,53	26,08
Peso suelo seco	[gr]	30,20	31,71	23,28
Peso agua	[gr]	3,69	3,82	2,80
Contenido de humedad	[%]	12,22	12,05	12,03
Promedio	[%]		12,10	

Muestra 3 / Profundidad - 1.50 m

Contenido de humedad

Descripción	Símbolo	Datos		
Recipiente	[N°]	1	2	3
Peso de recipiente	[gr]	21,41	21,13	21,38
Peso de recipiente + suelo húmedo	[gr]	54,92	63,05	57,48
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	51,15	58,30	53,40
Peso suelo húmedo	[gr]	33,51	41,92	36,10
Peso suelo seco	[gr]	29,74	37,17	32,02
Peso agua	[gr]	3,77	4,75	4,08
Contenido de humedad	[%]	12,68	12,78	12,74
Promedio	[%]		12,73	

Muestra 4 / Profundidad - 2.00 m

Contenido de humedad

Descripción	Símbolo	Datos		
Recipiente	[N°]	1	2	3
Peso de recipiente	[gr]	21,38	21,16	21,40
Peso de recipiente + suelo húmedo	[gr]	58,98	60,07	51,52
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	54,79	55,74	48,19
Peso suelo húmedo	[gr]	37,60	38,91	30,12
Peso suelo seco	[gr]	33,41	34,58	26,79
Peso agua	[gr]	4,19	4,33	3,33
Contenido de humedad	[%]	12,54	12,52	12,43
Promedio	[%]		12,50	



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO [ASTM D422 - AASHTO T88]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 15/10/2021
Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

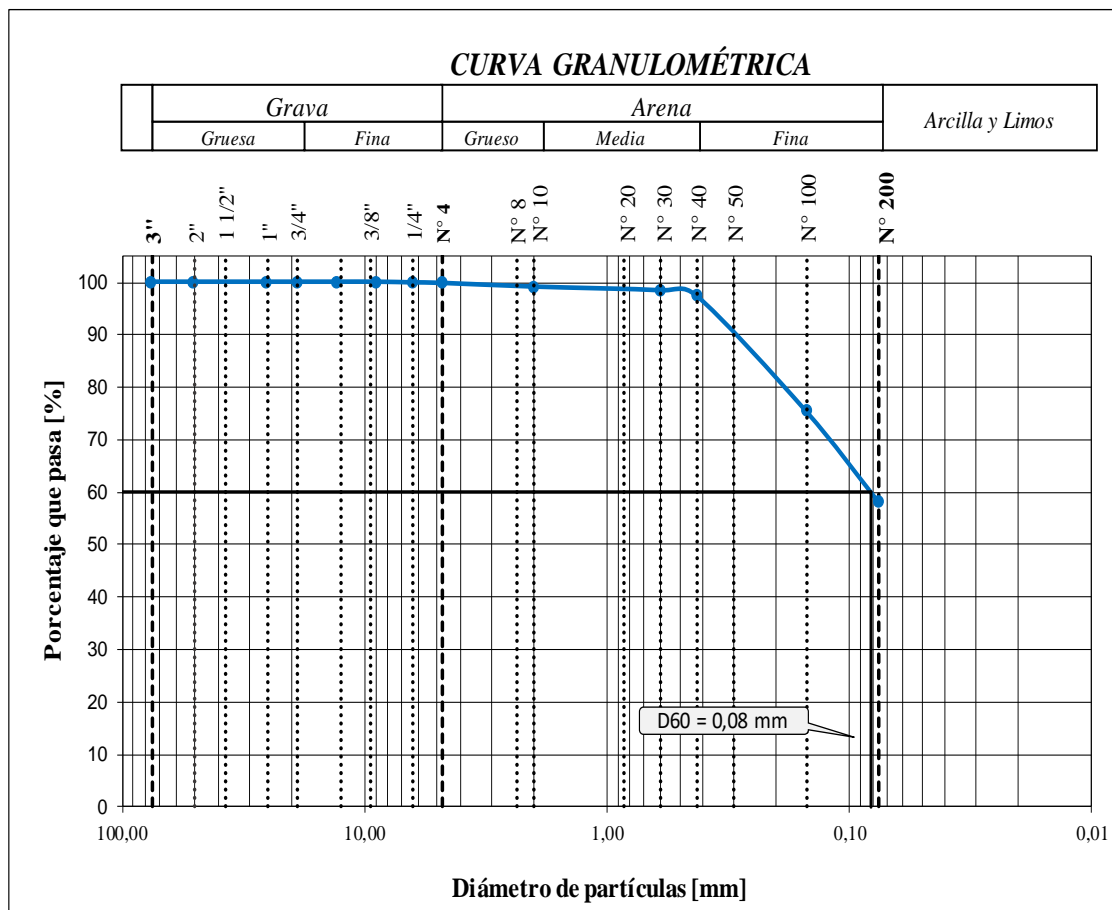
2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Punto1 - Muestra 1 **Profundidad:** 0.50 m
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla Arenosa de baja plasticidad.

3. DATOS TÉCNICOS

Masa del recipiente, g: 126,05
Masa de muestra seca + Recipiente, g: 606,99
Masa de muestra seca W_s : 480,94
Masa de muestra seca reten. en el No 200 después del lavado, g: 201,27

Tamaño Nominal del tamiz		Peso Retenido	Peso Retenido Acumulado	[%] Retenido Acumulado	[%] Que Pasa
Nº	mm	"gr"	"gr"		
3"	76,200	0	0,00	0,00	100,00
2"	50,800	0	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	13,000	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,000	0	0,00	0,00	100,00
1/4"	6,300	0,59	0,59	0,12	99,88
4	4,750	0,51	1,10	0,23	99,77
10	2,000	3,34	4,44	0,92	99,08
30	0,600	3,36	7,80	1,62	98,38
40	0,425	4,91	12,71	2,64	97,36
100	0,150	105,21	117,92	24,52	75,48
200	0,075	83,33	201,25	41,85	58,15
Bandeja	0,000	0,00	480,92	100,00	0,00



4. DATOS DE RESULTADOS

Distribución granulométrica	[%] Gravas	0,23
	[%] Arenas	41,62
	[%] Finos	58,15

Diámetros correspondiente al porcentaje de finos que pasa el 10, 30, y 60%	D ₆₀ [mm]:	0,08
	D ₃₀ [mm]:	Suelo muy fino
	D ₁₀ [mm]:	Suelo muy fino

Coefficiente de uniformidad y de curva	Cc:	No corresponde
	Cu:	No corresponde

% Error de W_{Rs-#200}	0,01 %	< 3%
---------------------------------------	--------	------



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO [ASTM D422 - AASHTO T88]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 15/10/2021
Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

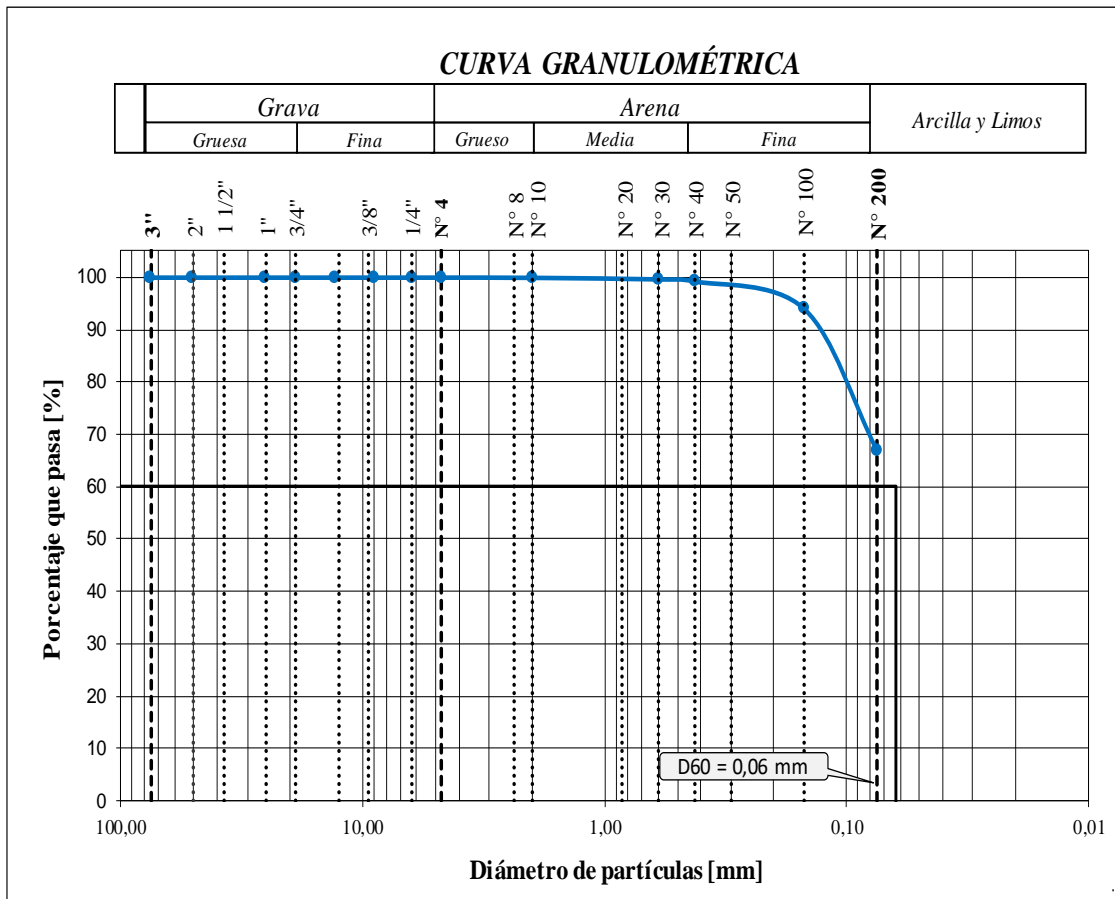
2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Punto1 - Muestra 2 **Profundidad:** 1.00 m
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (4)
SUCS CL Arcilla Arenosa de baja plasticidad

3. DATOS TÉCNICOS

Masa del recipiente, g: 61,52
Masa de muestra seca + Recipiente, g: 766,39
Masa de muestra seca W_s : 704,87
Masa de muestra seca reten. en el No 200 después del lavado, g: 232,11

Tamaño Nominal del tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido Acumulado	[%] Retenido Acumulado	[%] Que Pasa
Nº	mm	"gr"	"gr"	
3"	76,200	0	0,00	100,00
2"	50,800	0	0,00	100,00
1"	25,400	0	0,00	100,00
3/4"	19,000	0	0,00	100,00
1/2"	13,000	0	0,00	100,00
3/8"	9,000	0	0,00	100,00
1/4"	6,300	0,00	0,00	100,00
4	4,750	0,00	0,00	100,00
10	2,000	0,23	0,23	99,97
30	0,600	2,14	2,37	99,66
40	0,425	2,76	5,13	99,27
100	0,150	36,81	41,94	94,05
200	0,075	190,15	232,09	67,07
Bandeja	0,000	0,00	704,85	0,00



4. DATOS DE RESULTADOS

Distribución Granulométrica

[%] Gravas	0,00
[%] Arenas	32,93
[%] Finos	67,07

Diametros Correspondiente al Porcentaje de Finos que pasa el 10, 30, y 60%

D ₆₀ [mm]:	0,06
D ₃₀ [mm]:	Suelo muy fino
D ₁₀ [mm]:	Suelo muy fino

Coefficiente de Uniformidad y de Curva

Cc:	No corresponde
Cu:	No corresponde

% Error de W_{Rs-#200} después del lavado y W_{Rs} total de cada tamiz

0,01 %	< 3%
--------	------



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO [ASTM D422 - AASHTO T88]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 15/10/2021
Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

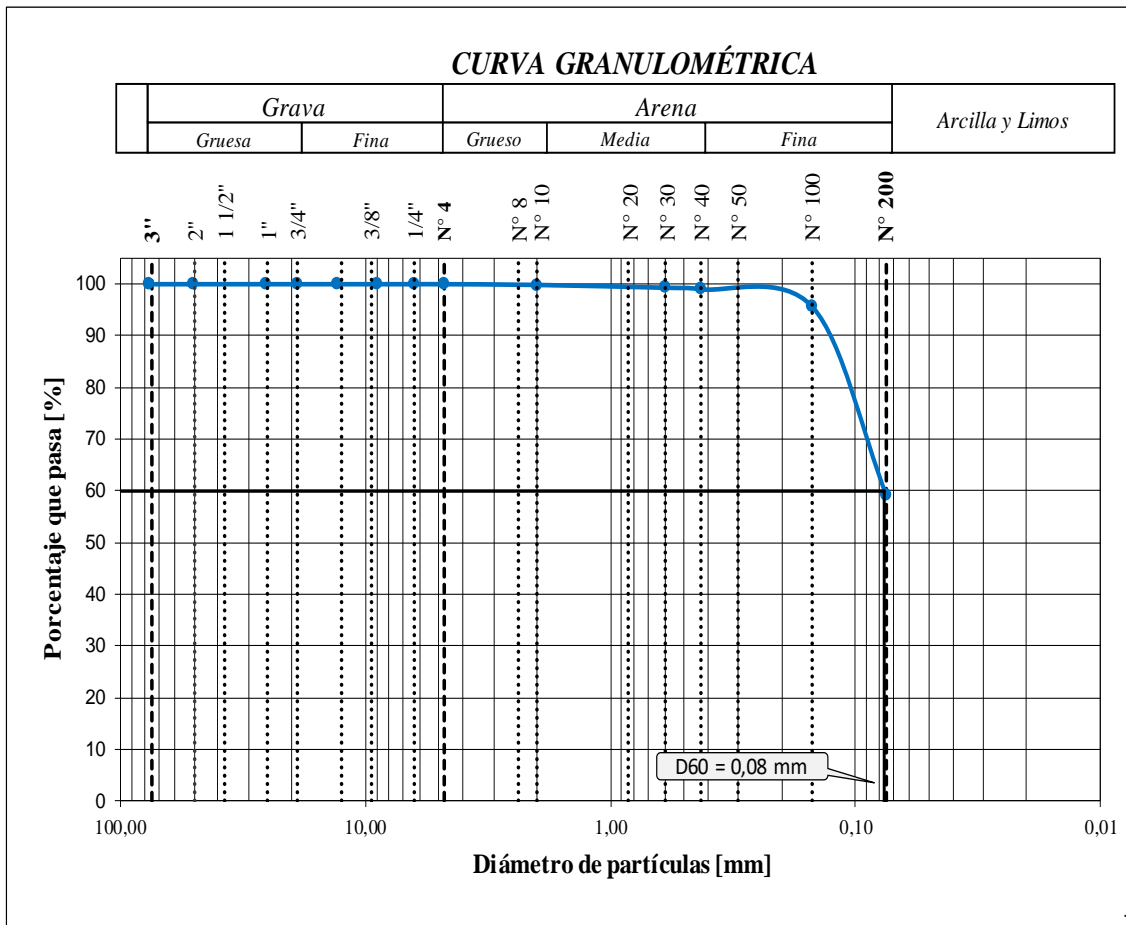
2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Punto1 - Muestra 3 **Profundidad:** 1.50 m
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (2)
SUCS ML Limo Arenoso de baja plasticidad

3. DATOS TÉCNICOS

Masa del recipiente, g: 61,41
Masa de muestra seca + Recipiente, g: 724,58
Masa de muestra seca W_s : 663,17
Masa de muestra seca reten. en el No 200 después del lavado, g: 271,68

Tamaño Nominal del tamiz		Peso Retenido	Peso Retenido Acumulado	[%] Retenido Acumulado	[%] Que Pasa
N°	mm	"gr"	"gr"		
3"	76,200	0	0,00	0,00	100,00
2"	50,800	0	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	13,000	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,000	0	0,00	0,00	100,00
1/4"	6,300	0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,750	0,00	0,00	0,00	100,00
10	2,000	0,93	0,93	0,14	99,86
30	0,600	3,62	4,55	0,69	99,31
40	0,425	2,05	6,60	1,00	99,00
100	0,150	22,75	29,35	4,43	95,57
200	0,075	242,27	271,62	40,96	59,04
Bandeja	0,000	0,00	663,11	100,00	0,00



Distribución granulométrica

[%] Gravas	0,00
[%] Arenas	40,96
[%] Finos	59,04

Diámetros correspondiente al porcentaje de finos que pasa el 10, 30, y 60%

D_{60} [mm]:	0,08
D_{30} [mm]:	Suelo muy fino
D_{10} [mm]:	Suelo muy fino

Coefficiente de uniformidad y de curva

Cc:	No corresponde
Cu:	No corresponde

% Error de $W_{Rs\#200}$ después del lavado y W_{Rs} total de cada tamiz

	0,02 %	< 3%
--	--------	------



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Laboratorio de Suelos y Hormigones

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO [ASTM D422 - AASHTO T88]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".

Fecha: 15/10/2021

Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Punto1 - Muestra 4 **Profundidad:** 2.00 m

Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS ML Limo Arenoso de baja plasticidad.

3. DATOS TÉCNICOS

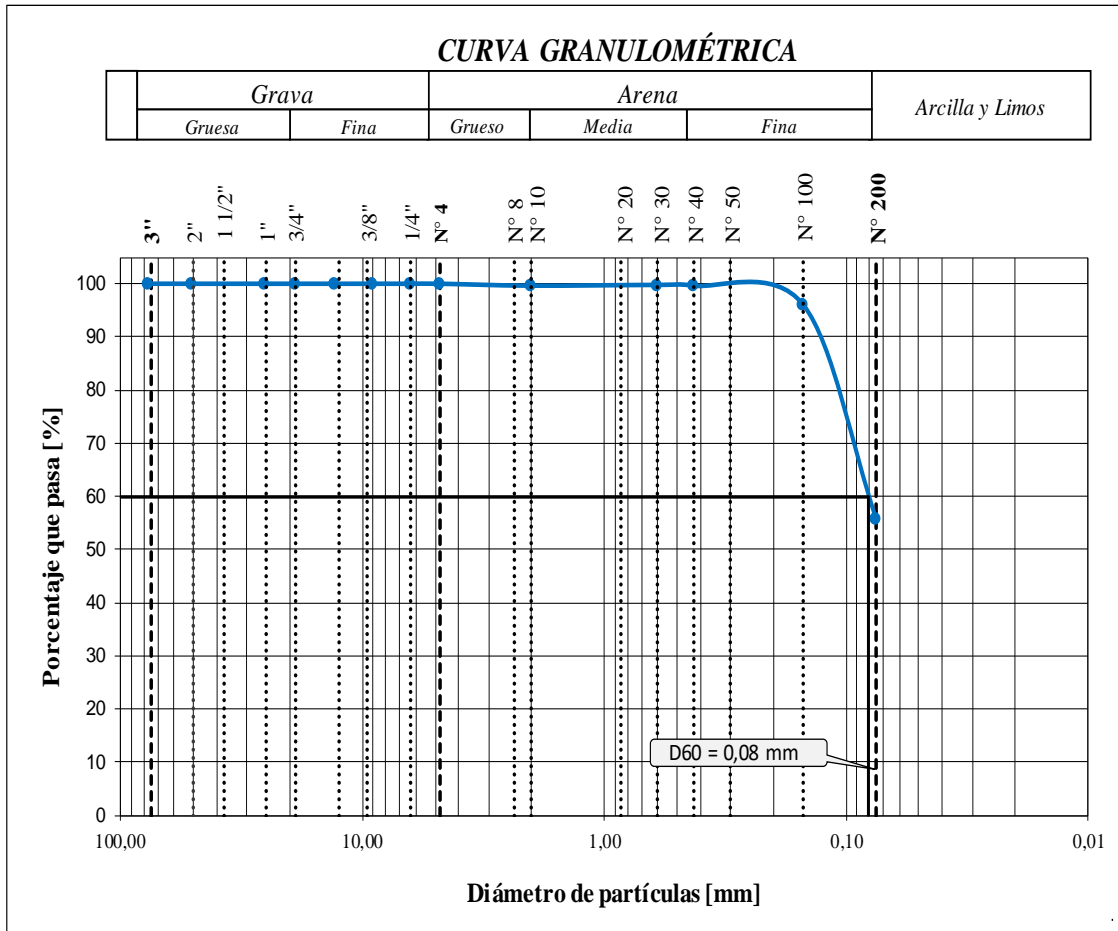
Masa del recipiente, g: 62,90

Masa de muestra seca + Recipiente, g: 742,45

Masa de muestra seca W_s : 679,55

Masa de muestra seca reten. en el No 200 después del lavado, g: 299,82

Tamaño Nominal del tamiz	Peso Retenido "gr"	Peso Retenido Acumulado "gr"	[%] Retenido Acumulado	[%] Que Pasa
N°	mm			
3"	76,200	0	0,00	100,00
2"	50,800	0	0,00	100,00
1"	25,400	0	0,00	100,00
3/4"	19,000	0	0,00	100,00
1/2"	13,000	0	0,00	100,00
3/8"	9,000	0	0,00	100,00
1/4"	6,300	0,00	0,00	100,00
4	4,750	0,00	0,00	100,00
10	2,000	0,06	0,06	99,64
30	0,600	1,44	1,50	99,78
40	0,425	0,95	2,45	99,64
100	0,150	24,31	26,76	96,06
200	0,075	272,36	299,12	55,94
Bandeja	0,000	0,00	678,85	0,00



4. DATOS DE RESULTADOS

Distribución granulométrica	[%] Gravas	0,00
	[%] Arenas	44,06
	[%] Finos	55,94

Diámetros correspondiente al porcentaje de finos que pasa el 10, 30, y 60%	D ₆₀ [mm]:	0,08
	D ₃₀ [mm]:	Suelo muy fino
	D ₁₀ [mm]:	Suelo muy fino

Coefficiente de uniformidad y de curva	Cc:	No corresponde
	Cu:	No corresponde

% Error de W_{Rs-#200} después del lavado y W_{Rs} total de cada tamiz	0,23 %	< 3%
---	--------	------



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO [ASTM D422 - AASHTO T88]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 15/10/2021
Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

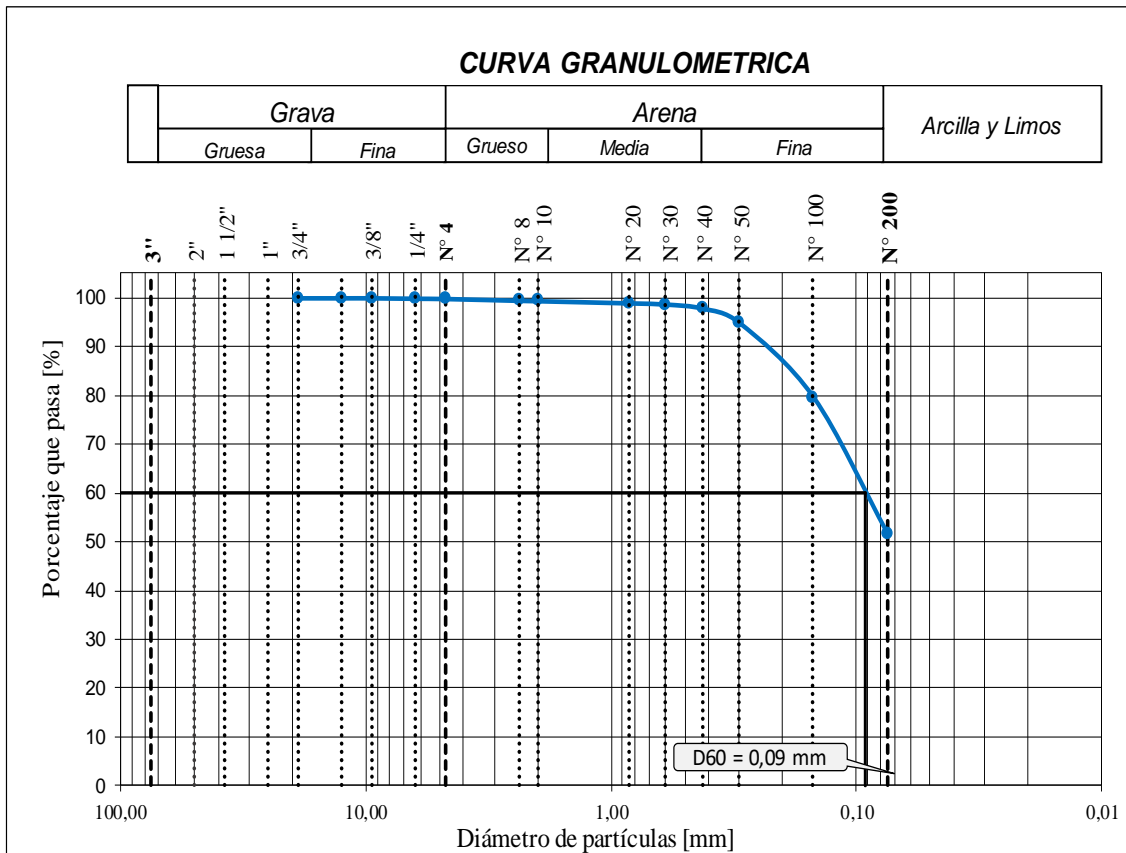
Identificación de Muestra: Calicata - Muestra 5 **Profundidad:** -
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla Arenosa de baja plasticidad.

2. DATOS TÉCNICOS

Masa: Recipiente, g: 129,78
Masa: Muestra seca + Recipiente, g: 739,01
Masa: Muestra seca W_s : 609,23
Masa: Muestra seca reten. en el No 200 después del lavado, g: 295,08

Tamaño Nominal del tamiz N°	Peso mm	Peso Retenido	Peso Retenido Acumulado	[%] Retenido	[%] Que Pasa
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,000	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,500	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500	0,00	0,00	0,00	100,00
1/4"	6,300	0,57	0,57	0,09	99,91
4	4,750	0,33	0,90	0,15	99,85
8	2,360	2,27	3,17	0,52	99,48
10	2,000	0,49	3,66	0,60	99,40
20	0,850	2,68	6,34	1,04	98,96
30	0,600	1,52	7,86	1,29	98,71
40	0,425	5,13	12,99	2,13	97,87
50	0,300	18,31	31,30	5,14	94,86
100	0,150	93,16	124,46	20,43	79,57
200	0,075	170,60	295,06	48,43	51,57
Bandeja	0,000	0,00	609,21	100,00	0,00

4,20
111,47



4. DATOS DE RESULTADOS

	[%] Gravas	0,15
Distribución Granulométrica	[%] Arenas	48,29
	[%] Finos	51,57
Diametros Correspondiente al Porcentaje de Finos que pasa el 10, 30, y 60%	D ₆₀ [mm]:	0,09
	D ₃₀ [mm]:	Suelo muy fino
	D ₁₀ [mm]:	Suelo muy fino
Coefficiente de Uniformidad y de Curva	Cc:	No corresponde
	Cu:	No corresponde
% Error de W_{Rs-#200} después del lavado y W_{Rs} total de cada tamiz	0,01 %	< 3%



UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Laboratorio de Suelos y Hormigones

LÍMITES DE ATTERBERG [ASTM D 4318 - AASHTO T89]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".

Fecha: 20/5/2022

Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Punto1 - Muestra 1

Profundidad: 0.50 m

3. DATOS TÉCNICOS

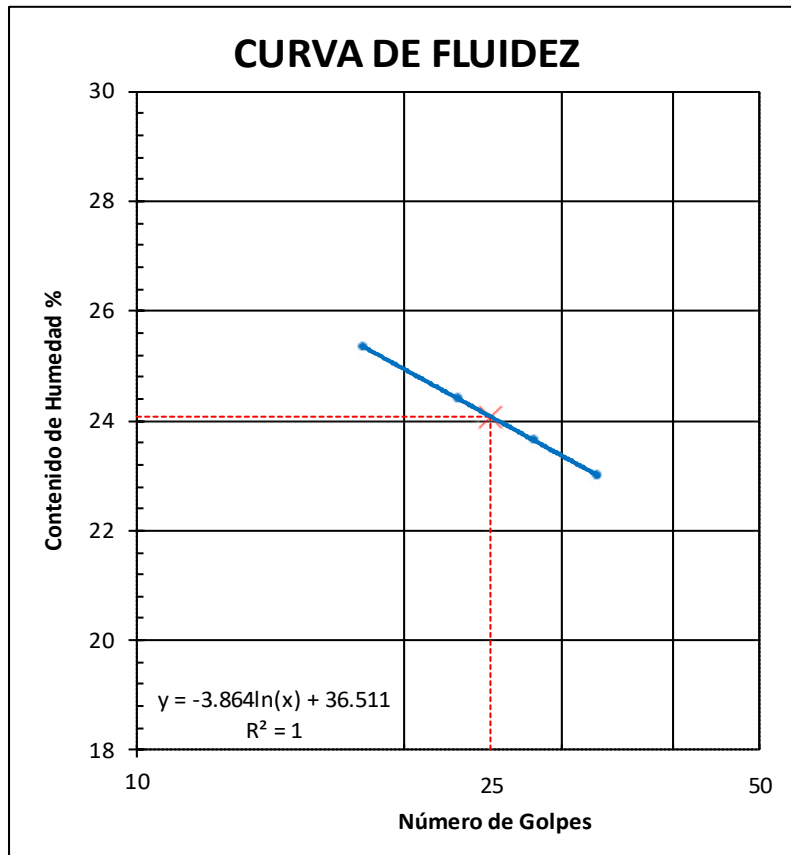
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

Descripción	Símbolo	Datos			
		Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4
Recipiente	[Nº]	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4
Peso de recipiente	[gr]	21,27	21,47	21,38	21,35
Peso de recipiente + suelo humedo	[gr]	28,54	28,10	27,24	30,44
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	27,07	26,80	26,12	28,74
Peso suelo humedo	[gr]	7,27	6,63	5,86	9,09
Peso suelo seco	[gr]	5,80	5,33	4,74	7,39
Peso agua	[gr]	1,47	1,30	1,12	1,70
contenido de humedad %	[%]	25,34	24,39	23,63	23,00
Número de golpes	[Nº]	18,00	23,00	28,00	33,00

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLASTICO

Descripción	Símbolo	Datos		
		Nº 13	Nº 19	Nº 11
Recipiente	[Nº]	Nº 13	Nº 19	Nº 11
Peso de recipiente	[gr]	12,33	19,67	12,21
Peso de recipiente + suelo humedo	[gr]	14,72	21,62	14,24
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	14,40	21,33	13,94
Peso suelo humedo	[gr]	2,39	1,95	2,03
Peso suelo seco	[gr]	2,07	1,66	1,73
Peso agua	[gr]	0,32	0,29	0,30
Contenido de humedad	[%]	15,46	17,47	17,34

4. RESULTADO



Límite líquido	[LL]	24,07 %
Límite Plástico	[LP]	16,76 %
Índice de plasticidad	[IP]	7,32 %



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Laboratorio de Suelos y Hormigones

LÍMITES DE ATTERBERG [ASTM D 4318 - AASHTO T89]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".

Fecha: 20/5/2022

Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Punto1 - Muestra 2 **Profundidad:** 1.00 m

3. DATOS TÉCNICOS

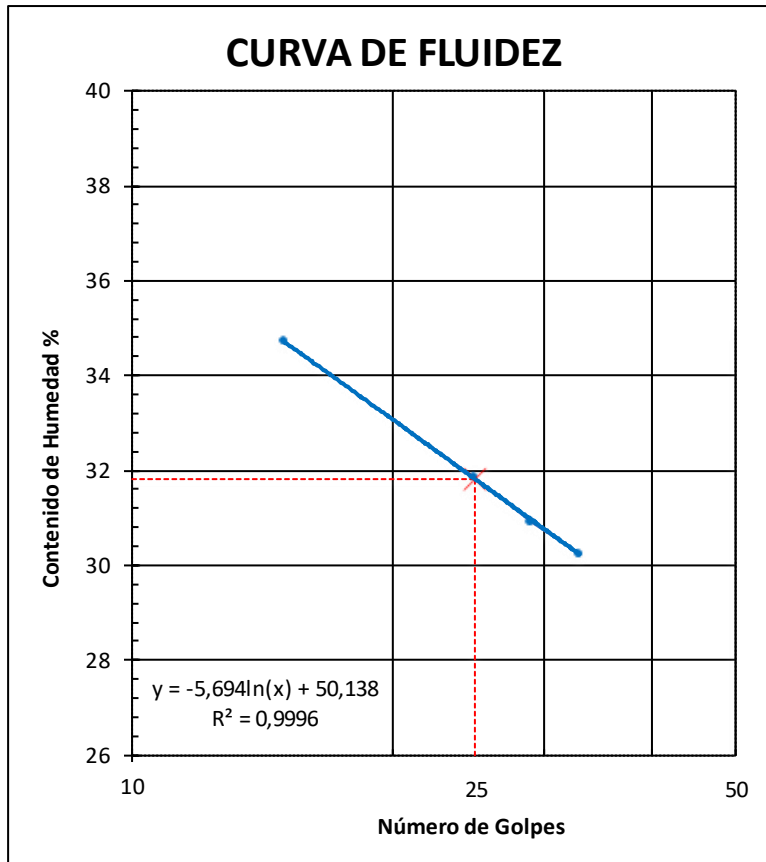
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

Descripción	Símbolo	Datos			
		1	2	3	4
Recipiente	[N°]	1	2	3	4
Peso de resipiente	[gr]	21,47	21,26	21,42	21,38
Peso de resipiente + suelo humedo	[gr]	33,54	28,42	30,65	30,21
Peso de resipiente + suelo seco	[gr]	30,43	26,69	28,47	28,16
Peso suelo humedo	[gr]	12,07	7,16	9,23	8,83
Peso suelo seco	[gr]	8,96	5,43	7,05	6,78
Peso agua	[gr]	3,11	1,73	2,18	2,05
Contenido de humedad %	[%]	34,71	31,86	30,92	30,24
Número de golpes	[N°]	15,00	25,00	29,00	33,00

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLASTICO

Descripción	Símbolo	Datos		
		1	2	3
Recipiente	[N°]	1	2	3
Peso de resipiente	[gr]	12,21	12,33	19,68
Peso de resipiente + suelo humedo	[gr]	14,45	13,85	21,29
Peso de resipiente + suelo seco	[gr]	14,06	13,57	20,98
Peso suelo humedo	[gr]	2,24	1,52	1,61
Peso suelo seco	[gr]	1,85	1,24	1,30
Peso agua	[gr]	0,39	0,28	0,31
Contenido de humedad	[%]	21,08	22,58	23,85

4. RESULTADO



Límite líquido	[LL]	31,81 %
Límite Plástico	[LP]	22,50 %
Índice de plasticidad	[IP]	9,31 %



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Laboratorio de Suelos y Hormigones

LÍMITES DE ATTERBERG [ASTM D 4318 - AASHTO T89]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".

Fecha: 20/5/2022

Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Punto1 - Muestra 3 **Profundidad:** 1.50 m

3. DATOS TÉCNICOS

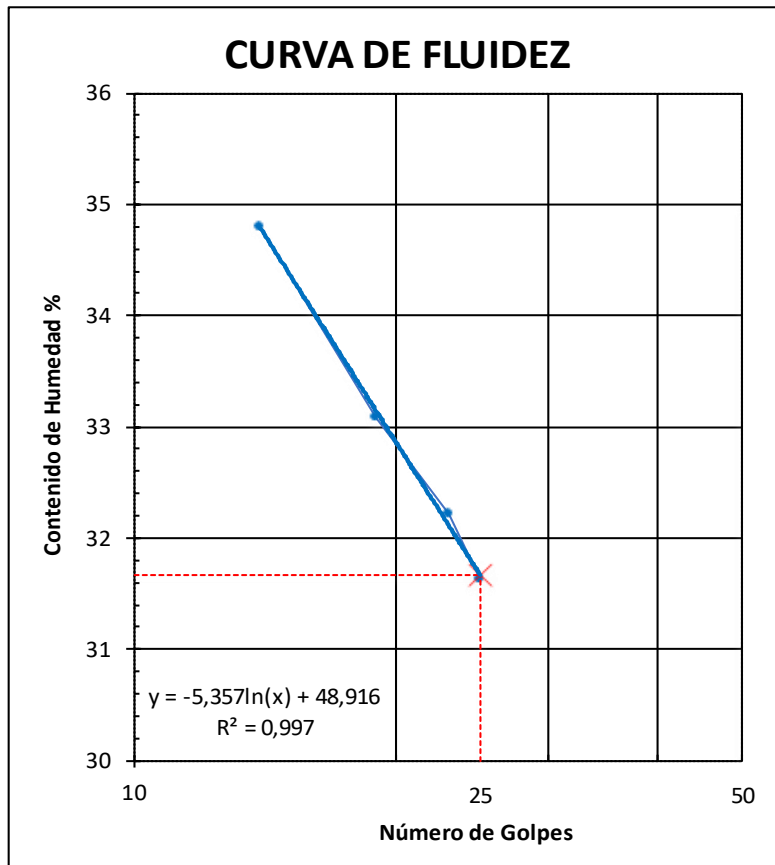
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

Descripción	Símbolo	Datos			
Recipiente	[N°]	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Peso de recipiente	[gr]	21,34	21,35	21,13	21,37
Peso de recipiente + suelo humedo	[gr]	29,94	28,31	27,86	30,86
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	27,72	26,58	26,22	28,58
Peso suelo humedo	[gr]	8,60	6,96	6,73	9,49
Peso suelo seco	[gr]	6,38	5,23	5,09	7,21
Peso agua	[gr]	2,22	1,73	1,64	2,28
Contenido de humedad %	[%]	34,80	33,08	32,22	31,62
Número de golpes	[N°]	14,00	19,00	23,00	25,00

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLASTICO

Descripción	Símbolo	Datos		
Recipiente	[N°]	N° 24	N° 29	N° 31
Peso de recipiente	[gr]	22,44	17,43	18,77
Peso de recipiente + suelo humedo	[gr]	23,87	19,16	20,34
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	23,58	18,81	20,03
Peso suelo humedo	[gr]	1,43	1,73	1,57
Peso suelo seco	[gr]	1,14	1,38	1,26
Peso agua	[gr]	0,29	0,35	0,31
Contenido de humedad	[%]	25,44	25,36	24,60

4. RESULTADO



Límite líquido	[LL]	31,67 %
Límite Plástico	[LP]	25,13 %
Índice de plasticidad	[IP]	6,54 %



UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Laboratorio de Suelos y Hormigones

LÍMITES DE ATTERBERG [ASTM D 4318 - AASHTO T89]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".

Fecha: 20/5/2022

Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra : Punto1 - Muestra 4

Profundidad: 2.00 m

3. DATOS TÉCNICOS

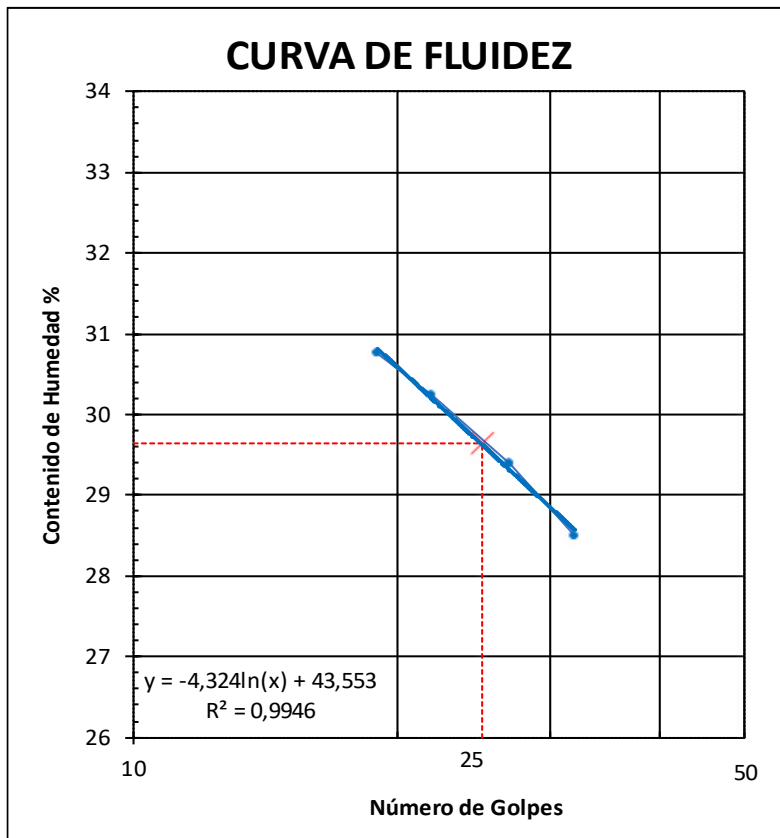
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

Descripción	Símbolo	Datos			
		1	2	3	4
Recipiente	[N°]	1	2	3	4
Peso de recipiente	[gr]	5,83	5,85	5,86	5,81
Peso de recipiente + suelo húmedo	[gr]	16,50	14,68	16,43	16,27
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	13,99	12,63	14,03	13,95
Peso suelo húmedo	[gr]	10,67	8,83	10,57	10,46
Peso suelo seco	[gr]	8,16	6,78	8,17	8,14
Peso agua	[gr]	2,51	2,05	2,40	2,32
Contenido de humedad %	[%]	30,76	30,24	29,38	28,50
Número de golpes	[N°]	19,00	22,00	27,00	32,00

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

Descripción	Símbolo	Datos		
		1	2	3
Recipiente	[N°]	1	2	3
Peso de recipiente	[gr]	5,80	5,87	5,74
Peso de recipiente + suelo húmedo	[gr]	8,41	7,18	7,62
Peso de recipiente + suelo seco	[gr]	7,86	6,95	7,25
Peso suelo húmedo	[gr]	2,61	1,31	1,88
Peso suelo seco	[gr]	2,06	1,08	1,51
Peso agua	[gr]	0,55	0,23	0,37
Contenido de humedad	[%]	26,70	21,30	24,50

4. RESULTADO



Límite líquido	[LL]	29,63 %
Límite Plástico	[LP]	24,17 %
Índice de plasticidad	[IP]	5,47 %



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

PROCTOR MODIFICADO [ASTM D1557]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 25/4/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Calicata 1 - Muestra 1 **Profundidad:** -
Tipo de muestra: Disturbada
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 101,26
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 116,38
Volumen [cm³]: 937,2 **Porcentaje de cemento [%]:** 0,00

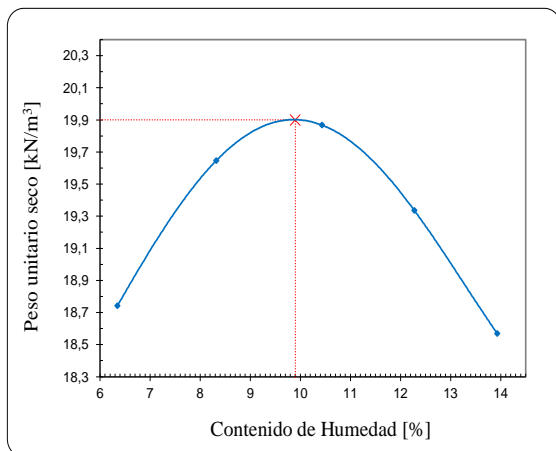
3.1. PESO UNITARIO

Número de medición	[N°]	1	2	3	4	5
Masa molde + suelo	[g]	6155	6284	6347	6325	6272
Masa molde	[g]	4250	4250	4250	4250	4250
Masa húmeda del suelo	[g]	1905	2034	2097	2075	2022
Peso unitario húmedo	[kN/m ³]	19,93	21,28	21,94	21,71	21,16

3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Número de contenedor	[N°]	L - 1	L - 2	L - 3	L - 6	R - 21	R - 22	R - 30	R - A	R - 26	R - 28
Masa del contenedor	[g]	32,49	31,83	32,55	32,38	30,96	29,73	30,32	29,07	29,06	30,31
Masa suelo húmedo + contenedor.	[g]	195,68	192,36	198,13	190,81	195,88	199,63	182,99	186,38	174,50	183,27
Masa suelo seco + contenedor	[g]	186,02	182,70	185,83	178,24	180,68	183,18	166,61	168,86	156,62	164,66
Contenido de humedad	[%]	6,29	6,40	8,02	8,62	10,15	10,72	12,02	12,53	14,02	13,85
HUMEDAD PROMEDIO	[%]	6,35		8,32		10,44		12,28		13,93	
PESO UNITARIO SECO	[kN/m ³]	18,74		19,65		19,87		19,34		18,57	

4. RESULTADO CURVA GRÁFICA DE HUMEDA - PESO UNITARIO



PESO UNITARIO SECO
MÁXIMO [kN/m³] **19,90**

CONTENIDO DE HUMEDAD
ÓPTIMO [%] **9,90**



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

PROCTOR MODIFICADO [ASTM D1557]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 28/4/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Calicata 1 - Muestra 2 **Profundidad:** -
Tipo de muestra: Disturbada
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 101,26
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 116,38
Volumen [cm³]: 937,2 **Porcentaje de cemento [%]:** 3,00 YURA - IP30

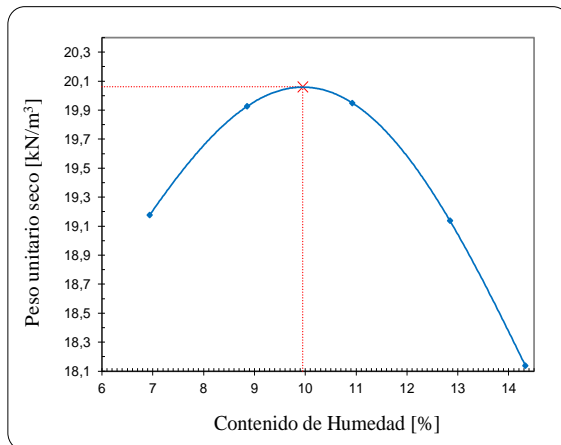
3.1. PESO UNITARIO

Número de medición	[N°]	1	2	3	4	5
Masa molde + suelo	[g]	6208	6321	6363	6312	6230
Masa molde	[g]	4248	4248	4248	4248	4248
Masa húmeda del suelo	[g]	1960	2073	2115	2064	1982
Peso unitario húmedo	[kN/m ³]	20,51	21,69	22,13	21,60	20,74

3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Número de contenedor	[N°]	R-2	B-16	B-13	B-18	B-14	R-5	C-24	R-8	C-4	C-20
Masa del contenedor	[g]	58,58	61,96	61,51	60,02	61,94	62,92	60,92	57,01	62,14	61,41
Masa suelo húmedo + contenedor.	[g]	235,63	228,79	227,38	229,99	268,25	292,28	288,58	336,08	291,55	287,14
Masa suelo seco + contenedor	[g]	223,84	218,25	213,73	216,33	248,05	269,55	262,14	304,96	262,70	258,95
Contenido de humedad	[%]	7,13	6,74	8,97	8,74	10,85	11,00	13,14	12,55	14,38	14,27
HUMEDAD PROMEDIO	[%]	6,94		8,85		10,93		12,85		14,33	
PESO UNITARIO SECO	[kN/m ³]	19,18		19,93		19,95		19,14		18,14	

4. RESULTADO CURVA GRÁFICA DE HUMEDA - PESO UNITARIO



PESO UNITARIO SECO
MÁXIMO [kN/m³] **20,06**

CONTENIDO DE HUMEDAD
ÓPTIMO [%] **9,95**



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

PROCTOR MODIFICADO [ASTM D1557]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 10/5/2022
Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Calicata 1 - Muestra 3 **Profundidad:** -
Tipo de muestra: Disturbada
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 101,26
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 116,38
Volumen [cm³]: 937,2 **Porcentaje de cemento [%]:** 5,00 YURA - IP30

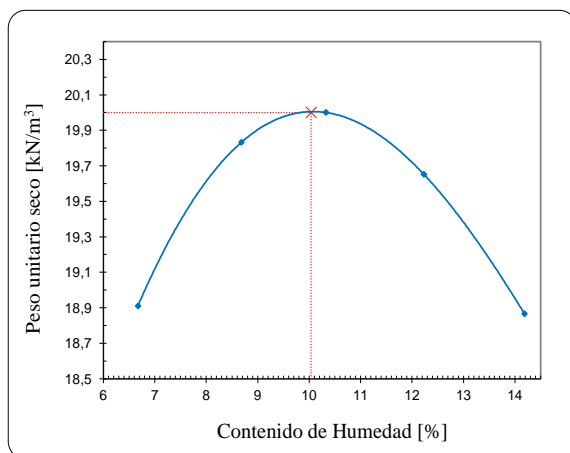
3.1. PESO UNITARIO

Número de medición	[N°]	1	2	3	4	5
Masa molde + suelo	[g]	6178	6310	6359	6358	6309
Masa molde	[g]	4250	4250	4250	4250	4250
Masa húmeda del suelo	[g]	1928	2060	2109	2108	2059
Peso unitario húmedo	[kN/m ³]	20,17	21,55	22,07	22,06	21,54

3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Número de contenedor	[N°]	L-1	L-2	L-3	L-6	R-21	R-22	R-26	R-28	R-30	R-A
Masa del contenedor	[g]	32,49	31,83	32,55	32,38	30,96	29,73	29,06	30,31	30,32	29,07
Masa suelo húmedo + contenedor.	[g]	193,46	171,95	185,17	155,92	181,55	187,78	203,25	185,45	227,34	251,23
Masa suelo seco + contenedor	[g]	183,24	163,32	172,91	146,11	167,52	172,91	184,04	168,75	202,84	223,66
Contenido de humedad	[%]	6,78	6,56	8,73	8,63	10,27	10,39	12,40	12,06	14,20	14,17
HUMEDAD PROMEDIO	[%]	6,67		8,68		10,33		12,23		14,18	
PESO UNITARIO SECO	[kN/m ³]	18,91		19,83		20,00		19,65		18,87	

4. RESULTADO CURVA GRÁFICA DE HUMEDA - PESO UNITARIO



PESO UNITARIO SECO
MÁXIMO [kN/m³] **20,00**

CONTENIDO DE HUMEDAD
ÓPTIMO [%] **10,04**



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

PROCTOR MODIFICADO [ASTM D1557]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 17/5/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Calicata 1 - Muestra 4 **Profundidad:** -
Tipo de muestra: Disturbada
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 101,26
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 116,38
Volumen [cm³]: 937,2 **Porcentaje de cemento [%]:** 7,00 YURA - IP30

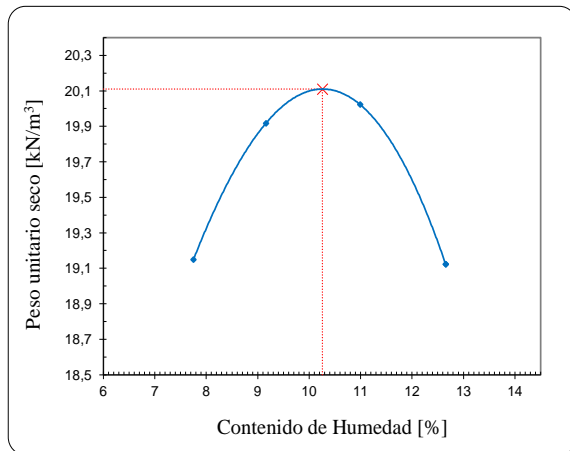
3.1. PESO UNITARIO

Número de medición	[N°]	1	2	3	4	5
Masa molde + suelo	[g]	6222	6328	6374	6309	6309
Masa molde	[g]	4250	4250	4250	4250	4250
Masa húmeda del suelo	[g]	1972	2078	2124	2059	2059
Peso unitario húmedo	[kN/m ³]	20,63	21,74	22,22	21,54	21,54

3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Número de contenedor	[N°]	A - 2	A - 3	A - 4	A - 5	R - 1	R - 2	R - 4	B - 13	R - 4	B - 13
Masa del contenedor	[g]	56,26	54,37	54,65	53,57	61,16	58,59	57,06	61,83	57,06	61,83
Masa suelo húmedo + contenedor.	[g]	258,64	233,74	239,20	218,75	263,66	263,30	266,73	273,17	266,73	273,17
Masa suelo seco + contenedor	[g]	244,09	220,83	223,77	204,84	243,24	243,40	243,18	249,43	243,18	249,43
Contenido de humedad	[%]	7,75	7,76	9,12	9,20	11,21	10,77	12,65	12,65	12,65	12,65
HUMEDAD PROMEDIO	[%]	7,75		9,16		10,99		12,65		12,65	
PESO UNITARIO SECO	[kN/m ³]	19,15		19,92		20,02		19,12		19,12	

4. RESULTADO CURVA GRÁFICA DE HUMEDA - PESO UNITARIO



PESO UNITARIO SECO
MÁXIMO [kN/m³] **20,11**

CONTENIDO DE HUMEDAD
ÓPTIMO [%] **10,26**



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad De Ingeniería Y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

PROCTOR MODIFICADO [ASTM D1557]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 20/5/2022
Operador y procesador : Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de Muestra: Calicata 1 - Muestra 5 **Profundidad:** -
Tipo de muestra: Disturbada
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
 SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 101,26
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 116,38
Volumen [cm³]: 937,2 **Porcentaje de cemento [%]:** 9,00 YURA - IP30

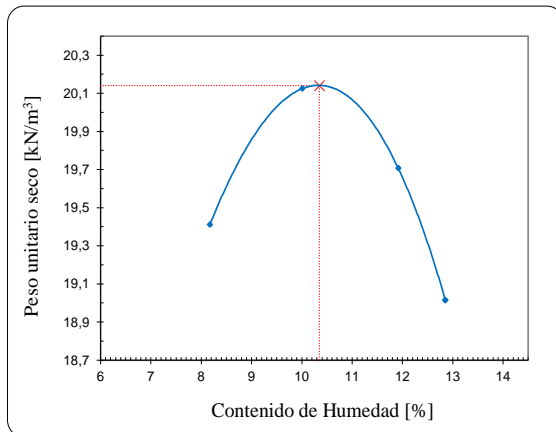
3.1. PESO UNITARIO

Número de medición	[N°]	1	2	3	4	5
Masa molde + suelo	[g]	6255	6364	6356	6299	6299
Masa molde	[g]	4248	4248	4248	4248	4248
Masa húmeda del suelo	[g]	2007	2116	2108	2051	2051
Peso unitario húmedo	[kN/m ³]	21,00	22,14	22,06	21,46	21,46

3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Número de contenedor	[N°]	B-12	R-1	B-13	B-17	C-23	R-3	R-4	A-5	R-4	A-5
Masa del contenedor	[g]	60,69	61,15	61,81	61,16	62,91	58,91	57,06	53,56	57,06	53,56
Masa suelo húmedo + contenedor.	[g]	279,81	274,46	262,74	261,26	253,14	253,03	276,16	260,65	276,16	260,65
Masa suelo seco + contenedor	[g]	263,43	258,17	244,60	242,91	232,42	232,84	252,10	236,23	252,10	236,23
Contenido de humedad	[%]	8,08	8,27	9,92	10,10	12,22	11,61	12,34	13,37	12,34	13,37
HUMEDAD PROMEDIO	[%]	8,17		10,01		11,92		12,85		12,85	
PESO UNITARIO SECO	[kN/m ³]	19,41		20,12		19,71		19,02		19,02	

4. RESULTADO CURVA GRÁFICA DE HUMEDA - PESO UNITARIO



PESO UNITARIO SECO MÁXIMO [kN/m³] **20,14**

CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO [%] **10,35**



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

GRADO DE COMPACTACIÓN DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 5/10/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de suelo: Calicata 1 - Muestra : **Profundidad:** 0.30 m - 2.00 m
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra: Alterada
Tipo de cemento: YURA - IP30

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 100,00
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 200,00
Volumen [cm³]: 1570,8

Probeta de ensayo	Masa húmeda de la mezcla de suelo cemento	Porcentaje de cemento	Peso unitario seco máximo	Contenido de humedad	Peso unitario húmedo	Peso unitario seco	Grado de compactación
[N°]	[g]	[%]	[kN/m3]	[g]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[%]
1	3729			9,84	23,28	21,19	105,65
2	3687	3	20,06	9,37	23,02	21,04	104,91
4	3657			9,39	22,83	20,87	104,35
6	3668	5	20,00	9,30	22,90	20,95	104,75
7	3685			9,41	23,00	21,03	104,55
9	3668	7	20,11	9,20	22,90	20,97	104,27
10	3656			9,10	22,82	20,92	103,87
12	3670	9	20,14	9,26	22,91	20,97	104,12

Nota. El grado de compactación pertenece a las probetas cilíndricas de suelo cemento, realizadas para el ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado durante el proceso de diseño de mezcla.



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

GRADO DE COMPACTACIÓN DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 17/6/2022 - 7/7/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de suelo: Calicata 1 - Muestra : **Profundidad:** 0.30 m - 2.00 m
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra: Alterada
Tipo de cemento: YURA - IP30

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00
Volumen [cm³]: 5301,4

Probeta de ensayo	Masa húmeda de la mezcla de suelo cemento	Porcentaje de cemento	Peso unitario seco máximo	Contenido de humedad final	Peso unitario húmedo	Peso unitario seco	Grado de compactación
[N°]	[g]	[%]	[kN/m3]	[g]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[%]
1	11791			9,20	21,81	19,97	99,56
2	11804	3	20,06	9,18	21,83	20,00	99,69
3	11753			9,12	21,74	19,92	99,32
4	11883			9,35	21,98	20,10	100,50
5	11849	5	20,00	9,27	21,92	20,06	100,29
6	11789			9,33	21,81	19,94	99,72
7	11938			9,70	22,08	20,13	100,09
8	12005	7	20,11	9,92	22,21	20,20	100,46
9	11983			9,54	22,16	20,24	100,62
10	11839			9,49	21,90	20,00	99,31
11	11851	9	20,14	9,16	21,92	20,08	99,71
12	11732			8,86	21,70	19,93	98,98

Nota. El grado de compactación pertenece a la probetas cilíndricas de suelo cemento, realizadas para el ensayo de compresión simple durante el proceso de diseño de mezcla.



GRADO DE COMPACTACIÓN DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 23/6/2022 - 28/7/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de suelo: Calicata 1 - Muestra 5 **Profundidad:** 0.30 m - 2.00 m
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra: Alterada
Tipo de cemento: YURA - IP30
Porcentaje de cemento [%]: 5,00

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00
Volumen [cm³]: 5301,4 **Peso unitario seco máximo [kN/m³]:** 20,00
Contenido de humedad óptimo [%]: 10,04

Probeta de ensayo	Masa húmeda de la mezcla de suelo cemento	Contenido de humedad final	Peso unitario húmedo	Peso unitario seco	Grado de compactación
[N°]	[g]	[g]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[%]
1	11938	9,35	22,08	20,19	100,97
2	11983	9,27	22,16	20,28	101,42
3	12005	9,33	22,21	20,31	101,56
4	11973	9,56	22,15	20,21	101,07
5	11872	9,42	21,96	20,07	100,34
6	11902	9,49	22,01	20,11	100,53
7	11885	9,36	21,98	20,10	100,51
8	11968	9,41	22,14	20,23	101,16
9	11801	9,33	21,83	19,97	99,83
10	11983	9,65	22,16	20,21	101,07
11	11936	9,68	22,08	20,13	100,65
12	11821	9,43	21,87	19,98	99,90
13	11850	9,28	21,92	20,06	100,28
14	11970	9,36	22,14	20,25	101,23
15	11949	9,45	22,10	20,19	100,97
16	11988	9,46	22,17	20,26	101,29
17	12010	9,31	22,21	20,32	101,62
18	11974	9,49	22,15	20,23	101,14
19	11994	9,14	22,19	20,33	101,64
20	12024	9,32	22,24	20,34	101,72
21	11831	9,53	21,88	19,98	99,89
22	12052	9,49	22,29	20,36	101,80
23	11864	9,04	21,94	20,13	100,63
24	11926	9,66	22,06	20,12	100,58
25	11864	9,57	21,94	20,03	100,14
26	11757	9,39	21,75	19,88	99,40
27	11946	9,47	22,10	20,19	100,93
28	11951	9,43	22,11	20,20	101,00
29	12077	9,41	22,34	20,42	102,09
30	11860	9,57	21,94	20,02	100,11

Nota. El grado de compactación pertenece a las probetas cilíndricas de suelo cemento, realizadas para el ensayo compresión simple durante la evaluación de la resistencia del material.



GRADO DE COMPACTACIÓN DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 23/6/2022 - 28/7/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de suelo: Calicata 1 - Muestra 5 **Profundidad:** 0.30 m - 2.00 m
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra: Alterada
Tipo de cemento: YURA - IP30
Porcentaje de cemento [%]: 7,00

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00
Volumen [cm³]: 5301,4 **Peso unitario seco máximo [kN/m³]:** 20,11
Contenido de humedad óptimo [%]: 10,26

Probeta de ensayo	Masa húmeda de la mezcla de suelo cemento	Contenido de humedad final	Peso unitario húmedo	Peso unitario seco	Grado de compactación
[N°]	[g]	[g]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[%]
1	11938	9,70	22,08	20,13	100,10
2	11983	9,92	22,16	20,16	100,27
3	12005	9,54	22,21	20,27	100,81
4	11973	9,60	22,15	20,21	100,48
5	11872	9,98	21,96	19,97	99,29
6	11902	9,22	22,01	20,16	100,23
7	11885	9,27	21,98	20,12	100,04
8	11968	9,97	22,14	20,13	100,10
9	11801	9,46	21,83	19,94	99,17
10	11983	9,35	22,16	20,27	100,79
11	11936	9,22	22,08	20,21	100,52
12	11821	9,19	21,87	20,02	99,58
13	11850	9,70	21,92	19,98	99,36
14	11970	9,82	22,14	20,16	100,25
15	11949	9,62	22,10	20,16	100,26
16	11988	9,23	22,17	20,30	100,94
17	12010	9,33	22,21	20,32	101,03
18	11974	9,67	22,15	20,20	100,43
19	11994	9,37	22,19	20,28	100,87
20	12024	9,51	22,24	20,31	100,99
21	11831	9,52	21,88	19,98	99,36
22	12052	9,32	22,29	20,39	101,40
23	11864	9,28	21,94	20,08	99,85
24	11926	9,40	22,06	20,16	100,27
25	11864	9,34	21,94	20,07	99,80
26	11757	9,22	21,75	19,91	99,01
27	11946	9,52	22,10	20,18	100,32
28	11951	9,45	22,11	20,20	100,44
29	12077	9,48	22,34	20,40	101,46
30	11860	9,17	21,94	20,09	99,92

Nota. El grado de compactación pertenece a las probetas cilíndricas de suelo cemento, realizadas para el ensayo compresión simple durante la evaluación de la resistencia del material.



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Laboratorio de Suelos y Hormigones

GRADO DE COMPACTACIÓN DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 24/6/2022 - 18/7/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de suelo: Calicata 1 - Muestra 5 **Profundidad:** 0.30 m - 2.00 m
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra: Alterada
Tipo de cemento: YURA - IP30
Porcentaje de cemento [%]: 5,00

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00
Volumen [cm³]: 5301,4 **Peso unitario seco máximo [kN/m³]:** 20,00
Contenido de humedad óptimo [%]: 10,26

Probeta de ensayo	Masa húmeda de la mezcla de suelo cemento	Contenido de humedad final	Peso unitario húmedo	Peso unitario seco	Grado de compactación
[N°]	[g]	[g]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[%]
1	11954	9,66	22,11	20,16	100,81
2	12018	9,75	22,23	20,25	101,27
3	12053	9,86	22,29	20,29	101,47
4	11795	9,07	21,82	20,00	100,01
5	11820	9,16	21,86	20,03	100,14
6	11855	9,72	21,93	19,99	99,93
7	11905	9,46	22,02	20,12	100,59
8	11885	9,20	21,98	20,13	100,66
9	11850	9,05	21,92	20,10	100,50
10	11955	9,62	22,11	20,17	100,86
11	11890	9,34	21,99	20,11	100,57
12	11930	9,56	22,07	20,14	100,71
13	11885	9,34	21,98	20,11	100,53
14	11745	9,02	21,72	19,93	99,63
15	11935	9,45	22,08	20,17	100,85

Nota. El grado de compactación pertenece a las probetas cilíndricas de suelo cemento, realizadas para el ensayo esclerometría durante la evaluación de la resistencia del material.



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Laboratorio de Suelos y Hormigones

GRADO DE COMPACTACIÓN DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas "UAP".
Fecha: 01/07/2022 - 28/97/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de suelo: Calicata 1 - Muestra 5 **Profundidad:** 0.30 m - 2.00 m
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra: Alterada
Tipo de cemento: YURA - IP30
Porcentaje de cemento [%]: 7,00

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00
Volumen [cm³]: 5301,4 **Peso unitario seco máximo [kN/m³]:** 20,11
Contenido de humedad óptimo [%]: 10,26

Probeta de ensayo	Masa húmeda de la mezcla de suelo cemento	Contenido de humedad final	Peso unitario húmedo	Peso unitario seco	Grado de compactación
[N°]	[g]	[g]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[%]
1	11898	9,32	22,01	20,13	100,10
2	11906	9,39	22,02	20,13	100,11
3	12015	9,59	22,22	20,28	100,84
4	12030	9,51	22,25	20,32	101,04
5	11950	9,67	22,10	20,15	100,22
6	11965	9,63	22,13	20,19	100,39
7	11900	9,34	22,01	20,13	100,11
8	11985	9,53	22,17	20,24	100,65
9	11915	9,44	22,04	20,14	100,14
10	11710	9,32	21,66	19,81	98,52
11	11835	9,33	21,89	20,02	99,57
12	11875	9,07	21,97	20,14	100,14
13	11865	9,12	21,95	20,11	100,01
14	11795	9,17	21,82	19,98	99,38
15	11815	9,19	21,85	20,01	99,53

Nota. El grado de compactación pertenece a las probetas cilíndricas de suelo cemento, realizadas para el ensayo esclerometría durante la evaluación de la resistencia del material.



DURABILIDAD POR HUMEDECIMIENTO Y SECADO EN SUELO CEMENTO [ASTM D559 - AASHTO T135]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 5/10/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1- Muestra 5 **Diseño de mezcla:** 1
Tipo de muestra: Alterada
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
 SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Probeta de ensayo [N°]: 1
Porcentaje de cemento [%]: 3,00 YURA - IP30

3. DATOS TECNICOS

N° Ciclo	Fecha de Ensayo Inicio Final		Días Ciclo	Peso Húmedo [gr]	Peso Seco [gr]	Absorción de agua [%]	Mediciones de la probeta de ensayo				Volumen		Porcentaje de pérdida de volumen	
							Húmedo		Seco		Húmedo cm ³	Seco cm ³	Húmedo [%]	Seco [%]
							Altura cm	Diámetro cm	Altura cm	Diámetro cm				
0	5/10/2022	12/10/2022	7	3687	-	-	20,23	10,10	-	-	1620,80	-		
1	12/10/2022	14/10/2022	2	3732	3371	10,71	20,23	✓ 10,20	20,23	10,15	1653,05	1636,88	-1,99	
2	17/10/2022	19/10/2022	2	3689	3320	11,11	20,23	✓ 10,15	20,23	10,15	1636,88	1636,88	-0,99	0,00
3	20/10/2022	22/10/2022	2	3624	3184	13,82	20,23	✓ 10,15	20,23	10,15	1636,88	1636,88	-0,99	0,00
4	24/10/2022	26/10/2022	2	3479	3131	11,11	20,23	✓ 10,15	20,23	10,15	1636,88	1636,88	-0,99	0,00
5	27/10/2022	29/10/2022	2	3381	3043	11,11	20,23	✓ 9,75	20,23	9,70	1510,41	1494,96	6,81	8,67
6	31/10/2022	2/11/2022	2	3341	3008	11,07								
7	3/11/2022	5/11/2022	2	3271	2933	11,52								
8	7/11/2022	9/11/2022	2	3154	2845	10,86								
9	10/11/2022	12/11/2022	2	3092	2761	11,99								
10	14/11/2022	16/11/2022	2	3024	2703	11,88								
11	17/11/2022	19/11/2022	2	2970	2639	12,54								
12	21/11/2022	23/11/2022	2	2889	2543	13,61								
13	24/11/2022	26/11/2022	2	2886	2540	13,62								

Suspensión del ensayo por mediciones alteradas

Absorción de agua	Promedio	11,92
	Máximo	13,82

Pérdida de volumen	Promedio	0,37	2,17
	Máximo	6,81	8,67



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

DURABILIDAD POR HUMEDECIMIENTO Y SECADO EN SUELO CEMENTO [ASTM D559 - AASHTO T135]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 5/10/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1 - Muestra 5 **Diseño de mezcla:** 2
Tipo de muestra: Alterada
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 101,26
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 116,38
Volumen [cm³]: 937,2 **Porcentaje de cemento [%]:** 5,00 YURA - IP30

N° Ciclo	Fecha de Ensayo		Días Ciclo	Peso Húmedo [gr]	Peso Seco [gr]	Peso Cepillado [gr]	Perdida		Peso por Ciclo [gr]	Observaciones	
	Inicio	Final					Peso Acumulado [gr]	[%]			
1	12/10/2022	14/10/2022	2	3705	3343	3339	4	0,12	4	Miércoles	Viernes
2	17/10/2022	19/10/2022	2	3696	3331	3324	19	0,57	7	Lunes	Miércoles
3	20/10/2022	22/10/2022	2	3681	3344	3342	1	0,03	2	Jueves	Sábado
4	24/10/2022	26/10/2022	2	3680	3331	3329	14	0,42	2	Lunes	Miércoles
5	27/10/2022	29/10/2022	2	3681	3327	3325	18	0,54	2	Jueves	Sábado
6	31/10/2022	2/11/2022	2	3681	3342	3340	3	0,09	2	Lunes	Miércoles
7	3/11/2022	5/11/2022	2	3644	3278	3273	70	2,09	5	Jueves	Sábado
8	7/11/2022	9/11/2022	2	3637	3321	3315	28	0,84	6	Lunes	Miércoles
9	10/11/2022	12/11/2022	2	3651	3333	3331	12	0,36	2	Jueves	Sábado
10	14/11/2022	16/11/2022	2	3666	3336	3333	10	0,30	3	Lunes	Miércoles
11	17/11/2022	19/11/2022	2	3665	3325	3321	22	0,66	4	Jueves	Sábado
12	21/11/2022	23/11/2022	2	3656	3311	3303	40	1,20	8	Lunes	Miércoles
13	24/11/2022	26/11/2022	2	3649	3300	3295	48	1,44	5	Jueves	Sábado
F = (A * 100) / (B + 100)							3206,80		3199,03	gr	
PERDIDAS (E-F)/Ex100							4,07		4,31	%	
SEGÚN ESPECIFICACIÓN							≤ 7		≤ 10	%	

Ciclo N° 13 Colocar a temp. variable entre 105°C a 110°C hasta la obtención de un peso cte.

B = 3,0 % de humedad. Valor correspondiente a suelos tipo A-4 según la especificación



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

DURABILIDAD POR HUMEDECIMIENTO Y SECADO EN SUELO CEMENTO [ASTM D559 - AASHTO T135]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 5/10/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1 - Muestra 5 **Diseño de mezcla:** 3
Tipo de muestra: Alterada
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 101,26
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 116,38
Volumen [cm³]: 937,2 **Porcentaje de cemento [%]:** 7,00 YURA - IP30

N° Ciclo	Fecha de Ensayo		Días Ciclo	Peso Húmedo [gr]	Peso Seco [gr]	Peso Cepillado [gr]	Perdida		Peso por Ciclo [gr]	Observaciones		
	Inicio	Final					Peso Acumulado [gr]	[%]				
1	12/10/2022	14/10/2022	2	3724	3368	3365	3	0,09	3	Miércoles	Viernes	
2	17/10/2022	19/10/2022	2	3717	3369	3365	3	0,09	4	Lunes	Miércoles	
3	20/10/2022	22/10/2022	2	3698	3369	3366	2	0,06	3	Jueves	Sábado	
4	24/10/2022	26/10/2022	2	3696	3351	3349	19	0,56	2	Lunes	Miércoles	
5	27/10/2022	29/10/2022	2	3693	3336	3334	34	1,01	2	Jueves	Sábado	
6	31/10/2022	2/11/2022	2	3689	3342	3341	27	0,80	1	Lunes	Miércoles	
7	3/11/2022	5/11/2022	2	3686	3333	3331	37	1,10	2	Jueves	Sábado	
8	7/11/2022	9/11/2022	2	3685	3363	3361	7	0,21	2	Lunes	Miércoles	
9	10/11/2022	12/11/2022	2	3691	3358	3357	11	0,33	1	Jueves	Sábado	
10	14/11/2022	16/11/2022	2	3688	3344	3342	26	0,77	2	Lunes	Miércoles	
11	17/11/2022	19/11/2022	2	3682	3343	3341	27	0,80	2	Jueves	Sábado	
12	21/11/2022	23/11/2022	2	3685	3347	3345	23	0,68	2	Lunes	Miércoles	
13	24/11/2022	26/11/2022	2	3675	3342	3340	28	0,83	2	Jueves	Sábado	
							F = (A * 100) / (B + 100)	3247,57	3242,72	gr		
							PERDIDAS (E-F)/Ex100	3,58	3,72	%		
							SEGÚN ESPECIFICACIÓN	≤ 7	≤ 10	%		

Ciclo N° 13 Colocar a temp. variable entre 105°C a 110°C hasta la obtención de un peso cte.

B = 3,0 % de humedad. Valor correspondiente a suelos tipo A-4 según la especificación



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE SUELO CEMENTO [ASTM D1633]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 17/6/2022 - 7/7/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1- Muestra 5 **Profundidad:** 0.30 m - 2.00 m
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra: Alterada
Tipo de cemento: YURA - IP30

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00
Volumen [cm³]: 5301,4

Probeta de ensayo	Fecha		Porcentaje de cemento	Edad	Diámetro del cilindro	Superficie de la base	Altura del cilindro	Peso del cilindro	Carga de rotura	Resistencia a la rotura
	Elaboración	Rotura								
[N°]			[%]	[Días]	[cm]	[cm ²]	[cm]	[Kg]	[Kg]	[Mpa]
1	17/6/2022	24/6/2022	3	7	15,00	176,72	30,00	11,79	4276,62	2,37
2	17/6/2022	24/6/2022	3	7	15,00	176,72	30,00	11,80	4439,77	2,46
3	17/6/2022	24/6/2022	3	7	15,00	176,72	30,00	11,75	4308,13	2,39
4	23/6/2022	30/6/2022	5	7	15,00	176,72	30,00	11,85	4046,68	2,25
5	23/6/2022	30/6/2022	5	7	15,00	176,72	30,00	11,88	4510,13	2,50
6	29/6/2022	6/7/2022	5	7	15,00	176,77	29,99	11,79	4695,51	2,60
7	29/6/2022	6/7/2022	7	7	15,00	176,72	30,00	11,94	5909,77	3,28
8	29/6/2022	6/7/2022	7	7	15,00	176,72	30,00	11,98	6797,73	3,77
9	29/6/2022	6/7/2022	7	7	15,00	176,72	30,00	11,97	4986,54	2,77
10	30/6/2022	7/7/2022	9	7	15,00	176,72	30,00	11,84	6871,86	3,81
11	30/6/2022	7/7/2022	9	7	15,00	176,72	30,00	11,85	7077,64	3,93
12	30/6/2022	7/7/2022	9	7	15,00	176,72	30,00	11,73	6832,91	3,79

Nota. La resistencia a compresión pertenece a las pruebas realizadas durante el proceso de diseño de mezcla.



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE SUELO CEMENTO [ASTM D1633]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 23/6/2022 - 28/7/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1 - Muestra 5 **Profundidad:** 0.30 m - 2.00 m
Descripción del Suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra: Alterada
Tipo de cemento: YURA - IP30
Porcentaje de cemento [%]: 5,00

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00
Volumen [cm³]: 5301,4

Probeta de ensayo	Elaboración	Rotura	Edad	Diámetro del cilindro	Superficie de la base	Altura del cilindro	Peso del cilindro	Carga de rotura	Resistencia a la rotura
[N°]	[Fecha]	[Fecha]	[Días]	[cm ²]	[cm ²]	[cm]	[Kg]	[Kg]	[Mpa]
1	23/6/2022	30/6/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,849	4046,68	2,246
2	23/6/2022	30/6/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,883	4510,13	2,503
3	29/6/2022	6/7/2022	7	15,00	176,77	29,99	11,789	4695,51	2,605
4	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,72	30,01	11,963	3907,69	2,169
5	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,798	3472,08	1,927
6	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,77	30,00	11,955	4599,15	2,551
7	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,77	30,01	11,883	4322,92	2,398
8	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,77	30,00	11,903	4456,39	2,472
9	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,857	3711,20	2,059
10	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,77	30,01	12,014	3789,10	2,102
11	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,869	4545,41	2,522
12	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,72	30,01	11,912	3776,05	2,095
13	13/7/2022	20/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,934	4009,66	2,225
14	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,66	30,00	11,750	4089,40	2,270
15	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,72	30,01	11,761	4219,11	2,341

16	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,876	4608,43	2,557
17	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,876	4222,88	2,343
18	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,843	4141,31	2,298
19	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,808	4215,44	2,339
20	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,925	3816,84	2,118
21	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,893	4526,86	2,512
22	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,878	4756,70	2,640
23	14/7/2022	21/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,903	4115,31	2,284
24	15/7/2022	22/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,867	4934,63	2,738
25	16/7/2022	23/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,978	4947,69	2,746
26	17/7/2022	24/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,856	4300,69	2,387
27	18/7/2022	25/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,957	4786,37	2,656
28	19/7/2022	26/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,858	5019,98	2,786
29	20/7/2022	27/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,953	4730,80	2,625
30	21/7/2022	28/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,969	4517,58	2,507

Nota. La resistencia a compresión simple, pertenece a las pruebas realizadas durante durante la evaluación de la resistencia del suelo cemento.



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE SUELO CEMENTO [ASTM D1633]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Av. Las Palmas - Barrio Las Palmas - Campus "UAP".
Fecha: 29/6/2022 - 2/8/2022
Operador y Procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1 - Muestra 5 **Profundidad:** 0.30 m - 2.00 m
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra: Alterada
Tipo de cemento: YURA - IP30
Porcentaje de cemento [%]: 7,00

3. DATOS TECNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00
Volumen [cm³]: 5301,4

Probeta de ensayo	Elaboración	Rotura	Edad	Diámetro del cilindro	Superficie de la base	Altura del cilindro	Peso del cilindro	Carga de rotura	Resistencia a la rotura
[N°]	[Fecha]		[Días]	[cm ²]	[cm ²]	[cm]	[Kg]	[Kg]	[Mpa]
1	29/6/2022	6/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,938	5909,77	3,280
2	29/6/2022	6/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,983	6797,73	3,772
3	29/6/2022	6/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	12,005	6169,29	3,424
4	21/7/2022	28/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,973	4986,54	2,767
5	21/7/2022	28/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,872	5998,69	3,329
6	21/7/2022	28/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,902	5084,84	2,822
7	21/7/2022	28/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,885	5731,84	3,181
8	21/7/2022	28/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,968	5959,84	3,307
9	21/7/2022	28/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,801	5915,28	3,283
10	21/7/2022	28/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,983	5661,37	3,142
11	21/7/2022	28/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,936	5926,39	3,289
12	22/7/2022	29/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,821	6234,14	3,460
13	22/7/2022	29/7/2022	7	15,00	176,72	30,01	11,850	5320,28	2,952
14	22/7/2022	29/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,970	6345,39	3,521
15	22/7/2022	29/7/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,949	5817,08	3,228

16	25/7/2022	1/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,988	5505,67	3,055
17	25/7/2022	1/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	12,010	4880,90	2,709
18	25/7/2022	1/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,974	5272,05	2,926
19	25/7/2022	1/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,994	5863,38	3,254
20	25/7/2022	1/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	12,024	5711,44	3,170
21	25/7/2022	1/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,831	5629,87	3,124
22	25/7/2022	1/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	12,052	5234,94	2,905
23	25/7/2022	1/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,864	6223,03	3,453
24	25/7/2022	1/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,926	6187,85	3,434
25	26/7/2022	2/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,864	5783,74	3,210
26	26/7/2022	2/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,757	5455,60	3,028
27	26/7/2022	2/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,946	5607,53	3,112
28	26/7/2022	2/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,951	6185,91	3,433
29	26/7/2022	2/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	12,077	5537,17	3,073
30	26/7/2022	2/8/2022	7	15,00	176,72	30,00	11,860	5818,92	3,229

Nota. La resistencia a compresión simple, pertenece a las pruebas realizadas durante durante la evaluación de la resistencia del suelo cemento.



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO CEMENTO
MÉTODO ESCLEROMETRÍA [ASTM C805]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas)

Fecha de compactado: 24/6/2022 **Fecha de Ensayo:** 1/7/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1 - Muestra 5 **Edad de muestra:** 7 Días
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
 SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra de suelo: Alterada
Cemento utilizado: YURA - IP30
Porcentaje de Cemento [%]: 5%

3. DATOS TÉCNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00 **Volumen [cm³]:** 5301,4
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00

Identificación de Muestra	Índice de Rebote										Promedio Inicial	Máxima-Mínima ± 6Q		Promedio Final	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Máxima	Mínima		
M - 1	Superior	15,5	14	15,5	14,5	14	14,5	16	16	14,5	14	14,85	20,85	8,85	14,85
	Inferior	13	14,5	15	14,5	14	14,5	15	14	14	13,5	14,20	20,20	8,20	
M - 2	Superior	14,5	15,5	14,5	14	14,5	15,5	13	14	15,5	14,5	14,55	20,55	8,55	14,55
	Inferior	13	16	16	14	14,5	12,5	12	13,5	14,5	15	14,10	20,10	8,10	
M - 3	Superior	14,5	15,5	15,5	14	16,5	14	16,5	15,5	15	13,5	15,05	21,05	9,05	15,05
	Inferior	13,5	14	14	13,5	14,5	13	13	13,5	13	13,5	13,55	19,55	7,55	
M - 4	Superior	14	16,5	15,5	17	15,5	18,5	14,5	15	14,5	16	15,70	21,70	9,70	15,70
	Inferior	17,5	16,5	16,5	15	17	17	17	17	18	17,5	16,90	22,90	10,90	
M - 5	Superior	14,5	13	17,5	16,5	15,5	15	18	18	15,5	13,5	15,70	21,70	9,70	15,70
	Inferior	17,5	14	17,5	16,5	17	16	16,5	15	15	16	16,10	22,10	10,10	

 No cumplen con el promedio de máximas y mínimas para el índice de rebote.



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO CEMENTO
MÉTODO ESCLEROMETRÍA [ASTM C805]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas)

Fecha de compactado: 27/6/2022 **Fecha de Ensayo :** 4/7/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1 - Muestra 5 **Edad de muestra:** 7 Días
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
 SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra de suelo: Alterada
Cemento utilizado: YURA - IP30
Porcentaje de Cemento [%]: 5%

3. DATOS TÉCNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00 **Volumen [cm³]:** 5301,4
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00

Identificación de Muestra		Índice de Rebote										Promedio Inicial	Máxima-Mínima ± 6Q	Promedio Final	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
M - 6	Superior	15	18	18	18	18,5	15	18	16	16	17	16,95	Máxima	22,95	16,95
													Mínima	10,95	
	Inferior	17	18	15,5	14	16,5	18	16	17,5	17	16,5	16,60	Máxima	22,60	16,60
													Mínima	10,60	
M - 7	Superior	17	17,5	14,5	16	16,5	16	17,5	16,5	17	15	16,35	Máxima	22,35	16,35
													Mínima	10,35	
	Inferior	15,5	17	16	18	18	16,5	17,5	14,5	15,5	17	16,55	Máxima	22,55	16,55
													Mínima	10,55	
M - 8	Superior	15	16	19	19	19	18,5	17,5	19	18	14,5	17,55	Máxima	23,55	17,55
													Mínima	11,55	
	Inferior	18	16,5	17	18,5	20	16,5	13,5	16,5	16	14	16,65	Máxima	22,65	16,65
													Mínima	10,65	
M - 9	Superior	16,5	18,5	19	17,5	15,5	17,5	18	17,5	19	17	17,60	Máxima	23,60	17,60
													Mínima	11,60	
	Inferior	15,5	15,5	15	17,5	15	18,5	15,5	18,5	17	15,5	16,35	Máxima	22,35	16,35
													Mínima	10,35	
M - 10	Superior	17,5	15	17	17,5	17	17,5	17,5	16	14,5	16	16,55	Máxima	22,55	16,55
													Mínima	10,55	
	Inferior	15,5	17	18,5	18	18,5	19	18	19	16,5	14,5	17,45	Máxima	23,45	17,45
													Mínima	11,45	

No cumplen con el promedio de máximas y mínimas para el índice de rebote.



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Laboratorio de Suelos y Hormigones

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO CEMENTO

MÉTODO ESCLEROMETRÍA [ASTM C805]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas)

Fecha de compactado: 18/7/2022

Fecha de Ensayo : 25/7/2022

Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1 - Muestra 5

Edad de muestra: 7 Días

Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)

SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.

Tipo de muestra de suelo: Alterada

Cemento utilizado: YURA - IP30

Porcentaje de Cemento [%]: 5%

3. DATOS TÉCNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00 **Volumen [cm³]:** 5301,4

Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00

Identificación de Muestra		Índice de Rebote										Promedio Inicial	Máxima-Mínima ± 6Q		Promedio Final
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Máxima	Mínima	
M - 11	Superior	14	15,5	18,5	18	17	18	18	17,5	15,5	15	16,70	Máxima	22,70	16,70
													Mínima	10,70	
M - 11	Inferior	15,5	16	17	17,5	16	17,5	18,5	17	17,5	15	16,75	Máxima	22,75	16,75
													Mínima	10,75	
M - 12	Superior	16,5	16	15	17,5	17	16,5	17,5	17	15,5	15	16,35	Máxima	22,35	16,35
													Mínima	10,35	
M - 12	Inferior	15,5	18	14,5	16	17,5	17,5	15	16	15	15	16,00	Máxima	22,00	16,00
													Mínima	10,00	
M - 13	Superior	16,5	18	17,5	16,5	16,5	15,5	16	17	15,5	15,5	16,45	Máxima	22,45	16,45
													Mínima	10,45	
M - 13	Inferior	17,5	17,5	17,5	16,5	18	14,5	16,5	15,5	14,5	13,5	16,15	Máxima	22,15	16,15
													Mínima	10,15	
M - 14	Superior	18	19	15,5	19	18,5	16	19	17	16	18	17,60	Máxima	23,60	17,60
													Mínima	11,60	
M - 14	Inferior	16	16	17,5	18	17	18,5	18	16,5	15,5	13,5	16,65	Máxima	22,65	16,65
													Mínima	10,65	
M - 15	Superior	18,5	19	18	18,5	17,5	16,5	14,5	16,5	17,5	14,5	17,10	Máxima	23,10	17,10
													Mínima	11,10	
M - 15	Inferior	16,5	17	17	17	17,5	18,5	14,5	17,5	17	13,5	16,60	Máxima	22,60	16,60
													Mínima	10,60	

 No cumplen con el promedio de máximas y mínimas para el índice de rebote.



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO CEMENTO
MÉTODO ESCLEROMETRÍA [ASTM C805]

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas)

Fecha de compactado: 1/7/2022 **Fecha de Ensayo:** 8/7/2022
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva

2. DATOS DE LA MUESTRA

Identificación de muestra: Calicata 1 - Muestra 5 **Edad de muestra:** 7 Días
Descripción del suelo: AASTHO A - 4 IG: (1)
 SUCS CL Arcilla arenosa de baja plasticidad.
Tipo de muestra de suelo: Alterada
Cemento utilizado: YURA - IP30
Porcentaje de Cemento [%]: 7%

3. DATOS TÉCNICOS

Método utilizado: A **Diámetro del molde [mm]:** 150,00 **Volumen [cm³]:** 5301,4
Gravedad específica: --- **Altura del molde [mm]:** 300,00

Identificación de Muestra		Índice de Rebote										Promedio Inicial	Máxima-Mínima ± 6Q		Promedio Final
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
M - 1	Superior	17	19	20	17	19,5	18,5	20	18,5	17,5	18	18,50	Máxima	24,50	18,50
		Mínima	12,50												
	Inferior	18	19	20	17	19,5	20,5	19,5	21	19	21	19,45	Máxima	25,45	19,45
		Mínima	13,45												
M - 2	Superior	19	15,5	18,5	15,5	17,5	16,5	19	15,5	18	15,5	17,05	Máxima	23,05	17,05
		Mínima	11,05												
	Inferior	20,5	19,5	18	20	18	19	16	19,5	20,5	13,5	18,45	Máxima	24,45	18,45
		Mínima	12,45												
M - 3	Superior	19	16,5	20	17,5	19	17,5	17,5	18,5	16,5	14,5	17,65	Máxima	23,65	17,65
		Mínima	11,65												
	Inferior	20	20	20	19,5	21	21	19,5	20,5	18	16,5	19,60	Máxima	25,60	19,60
		Mínima	13,60												
M - 4	Superior	19,5	17,5	16	19	16,5	20	18,5	17,5	17,5	16	17,80	Máxima	23,80	17,80
		Mínima	11,80												
	Inferior	19	17,5	21	21	18	21	20,5	20	19,5	16	19,35	Máxima	25,35	19,35
		Mínima	13,35												
M - 5	Superior	19	20,5	19	18,5	21	17,5	19,5	19	17,5	17,5	18,90	Máxima	24,90	18,90
		Mínima	12,90												
	Inferior	19,5	20,5	19,5	19,5	19,5	22	20	20,5	18	20	19,90	Máxima	25,90	19,90
		Mínima	13,90												

No cumplen con el promedio de máximas y mínimas para el índice de rebote.

**ANEXO C: PRUEBAS ESTADÍSTICAS MEDIANTE
EL SISTEMA DE SOFTWARE STATISTICAL
PACKAGE FOR SOCIAL SCIENCES (SPSS).**

PRUEBA DE NORMALIDAD MEDIANTE EL SISTEMA DE SOFTWARE

ESTADÍSTICO: STATISTICAL PACKAGE FOR SOCIAL SCIENCES (SPSS)

- 1) Índice de rebote_1 (mezcla compactada de suelo tipo A4, con una dosificación del 5% de cemento).

Resumen de procesamiento de casos						
	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
ÍNDICE_DE_REBOT E_1	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%

Descriptivos				
		Estadístico	Error estándar	
ÍNDICE_DE_REBO TE_1	Media	16,1883	,19378	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	15,7920	
		Límite superior	16,5847	
	Media recortada al 5%	16,2463		
	Mediana	16,5000		
	Varianza	1,126		
	Desviación estándar	1,06137		
	Mínimo	13,55		
	Máximo	17,60		
	Rango	4,05		
	Rango intercuartil	1,09		
	Asimetría	-,969	,427	
	Curtosis	,369	,833	

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ÍNDICE_DE_REBO TE_1	,194	30	,006	,902	30	,009

a. Corrección de significación de Lilliefors.

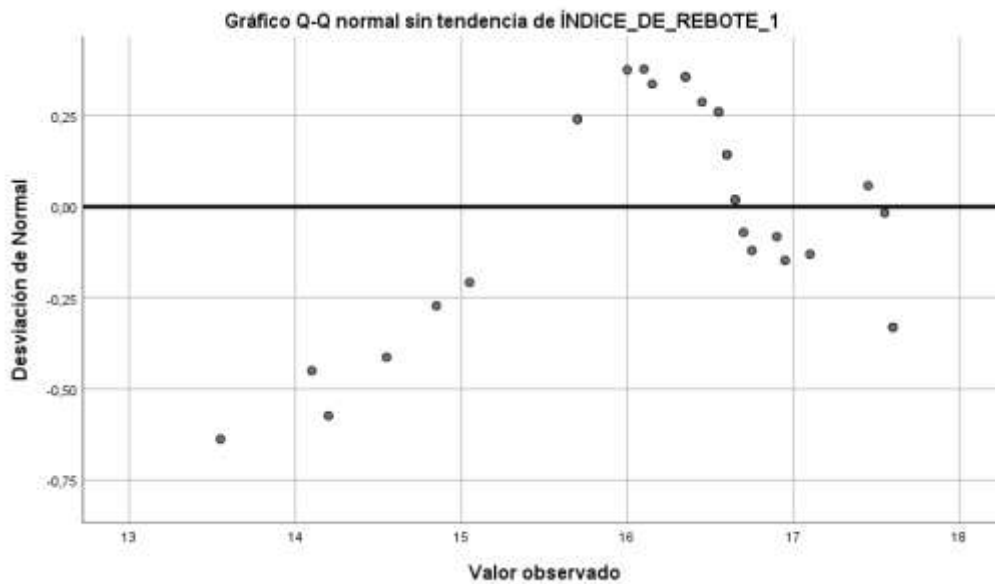
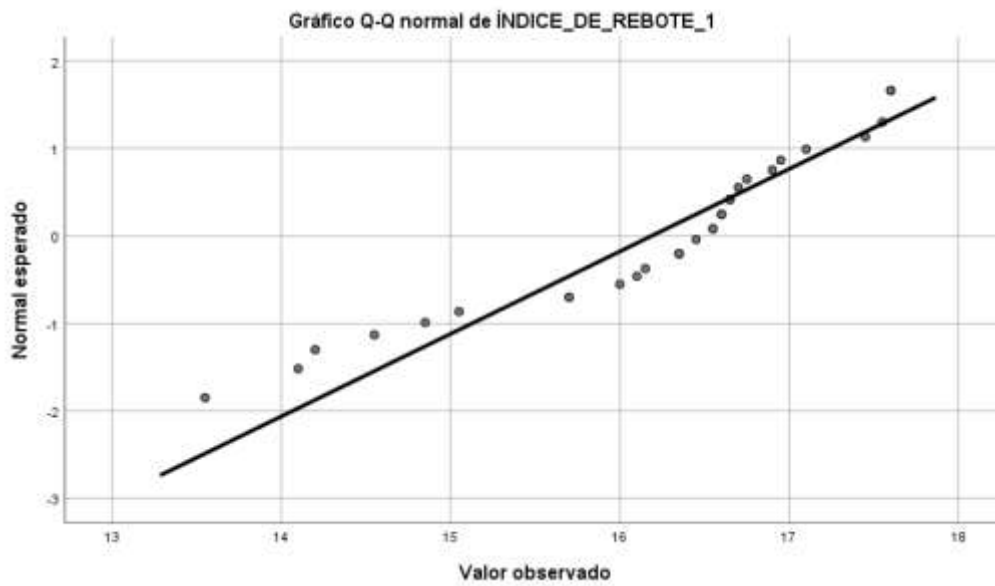
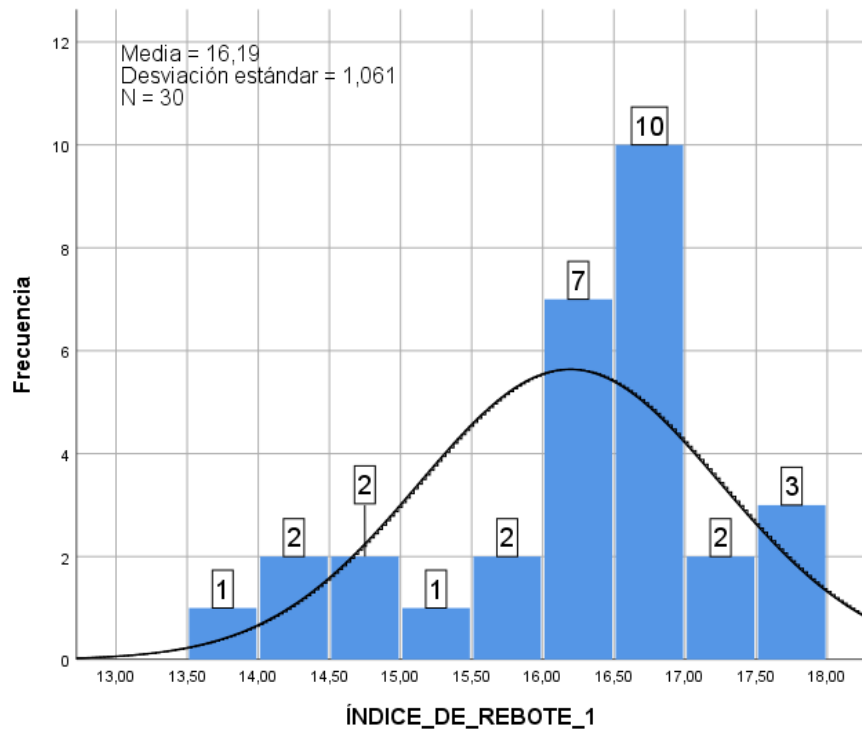


Gráfico Histograma



2) Índice de rebote_2 (mezcla compactada suelo tipo A4, con una dosificación del 7% de cemento).

Resumen de procesamiento de casos						
	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
ÍNDICE_DE_REBO TE_2	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%

Descriptivos				
		Estadístico	Error estándar	
ÍNDICE_DE_REBO TE_2	Media	18,3967	,24960	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	17,8862	
		Límite superior	18,9071	
	Media recortada al 5%	18,3713		
	Mediana	18,4500		
	Varianza	1,869		
	Desviación estándar	1,36710		
	Mínimo	15,85		
	Máximo	21,35		
	Rango	5,50		
	Rango intercuartil	1,81		
	Asimetría	,115	,427	
	Curtosis	-,304	,833	

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístic o	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ÍNDICE_DE_REBO TE_2	,067	30	,200*	,980	30	,822

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

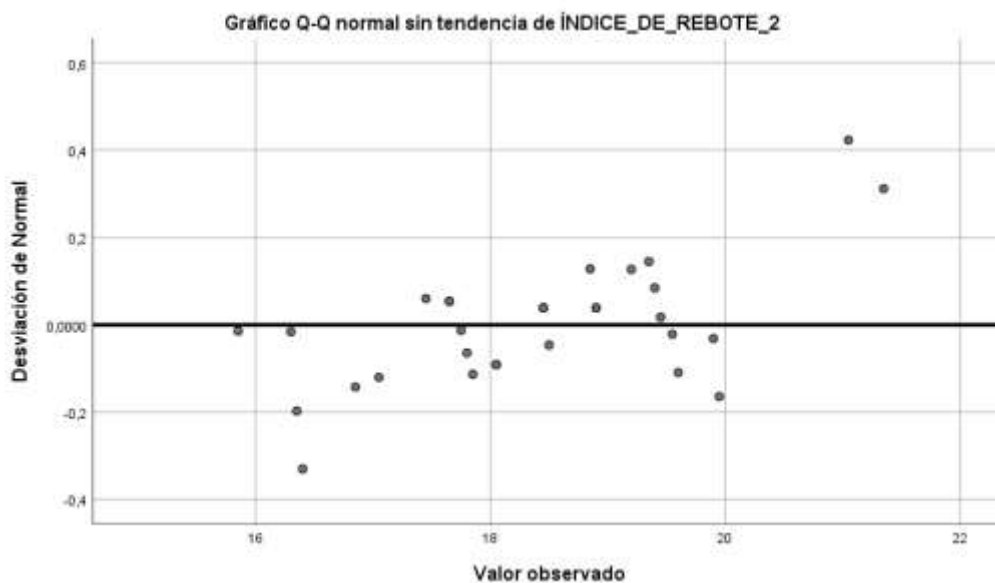
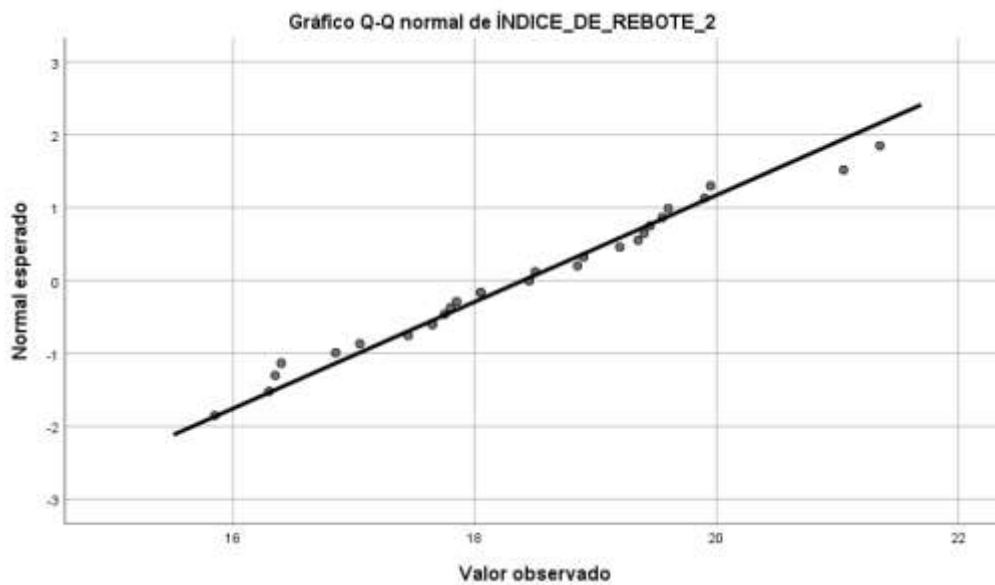
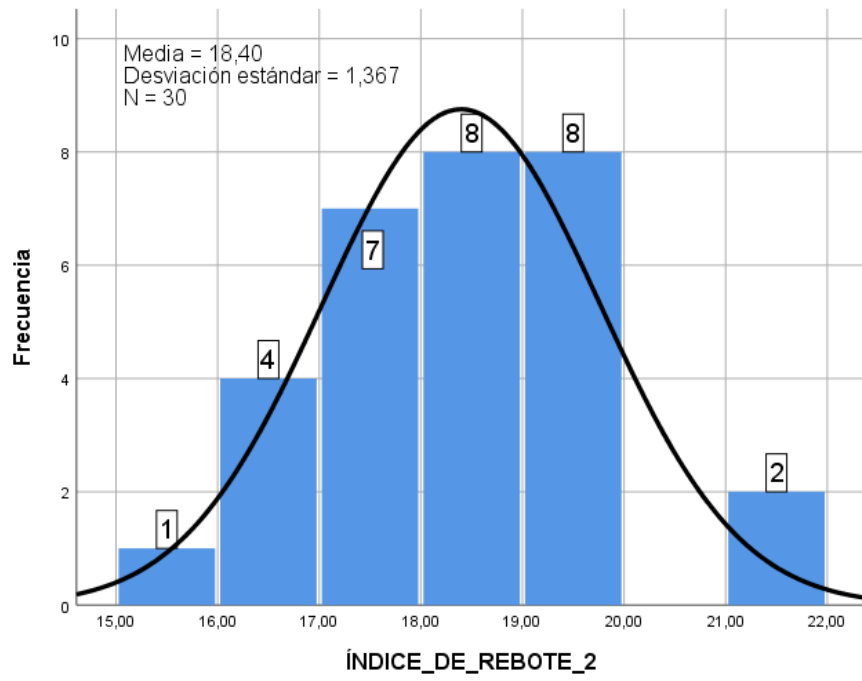


Gráfico Histograma



3) Resistencia a compresión_1 (mezcla compactada suelo tipo A4, con una dosificación del 5% de cemento).

Resumen de procesamiento de casos						
	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
RESISTENCIA_A_COM PRESIÓN_1	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%

Descriptivos				
			Estadístico	Error estándar
RESISTENCIA_A_COM PRESIÓN_1	Media		2,4008	,04098
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,3170	
		Límite superior	2,4846	
	Media recortada al 5%		2,4040	
	Mediana		2,3924	
	Varianza		,050	
	Desviación estándar		,22447	
	Mínimo		1,93	
	Máximo		2,79	
	Rango		,86	
	Rango intercuartil		,33	
	Asimetría		-,168	,427
	Curtosis		-,751	,833

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
RESISTENCIA_A_CO MPRESIÓN_1	,109	30	,200*	,977	30	,732

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

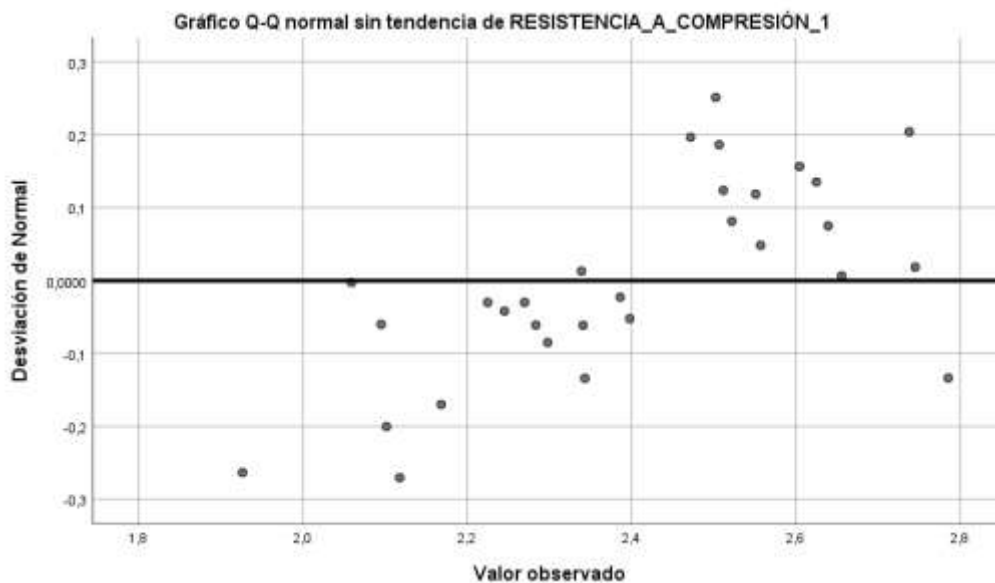
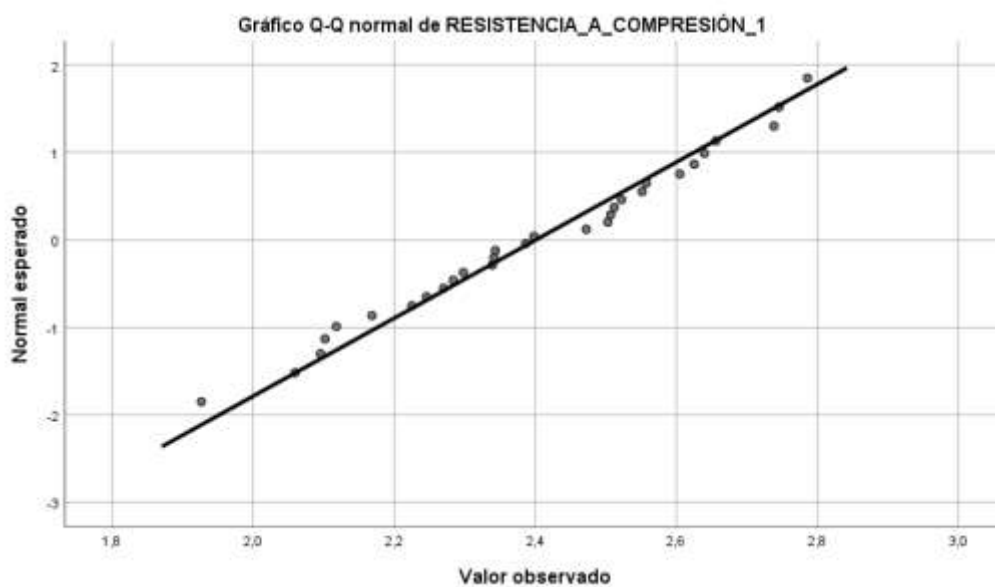
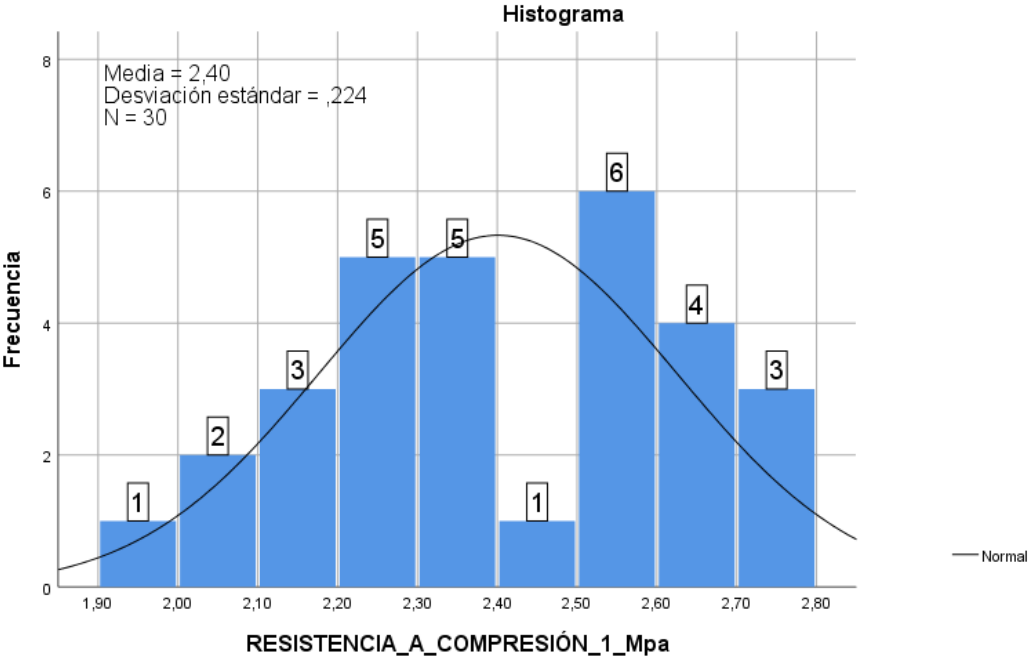


Gráfico Histograma



- 4) Resistencia a compresión_2 (mezcla compactada suelo tipo A4, con una dosificación del 7% de cemento).

Resumen de procesamiento de casos						
	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
RESISTENCIA_A_COM PRESIÓN_2	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%

Descriptivos				
			Estadístico	Error estándar
RESISTENCIA_A_COM PRESIÓN_2	Media		3,1957	,04361
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,1065	
		Límite superior	3,2849	
	Media recortada al 5%		3,1942	
	Mediana		3,2189	
	Varianza		,057	
	Desviación estándar		,23889	
	Mínimo		2,71	
	Máximo		3,77	
	Rango		1,06	
	Rango intercuartil		,30	
	Asimetría		-,024	,427
	Curtosis		,151	,833

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístic			Estadístic		
	o	gl	Sig.	o	gl	Sig.
RESISTENCIA_A_CO MPRESIÓN_2	,068	30	,200*	,984	30	,922

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

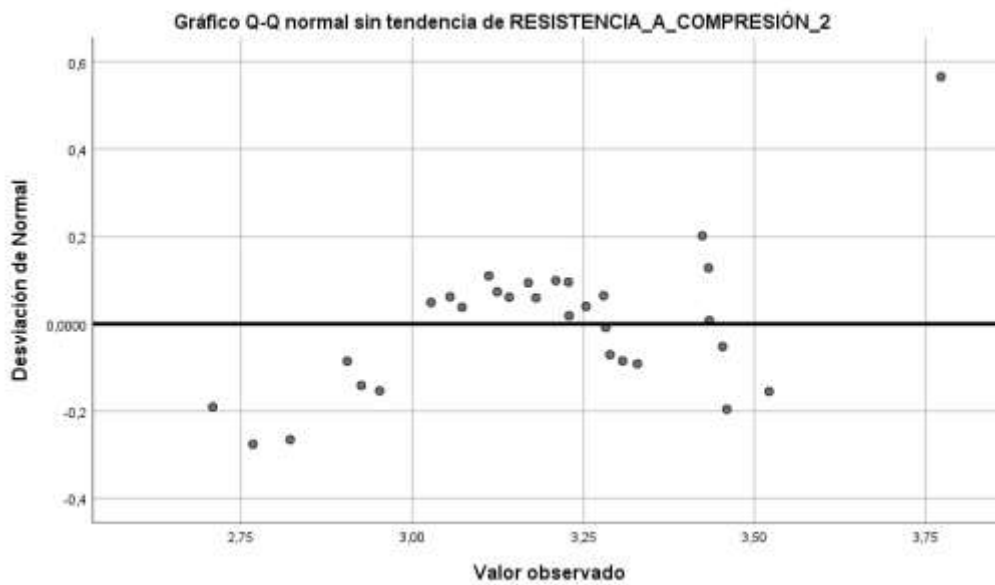
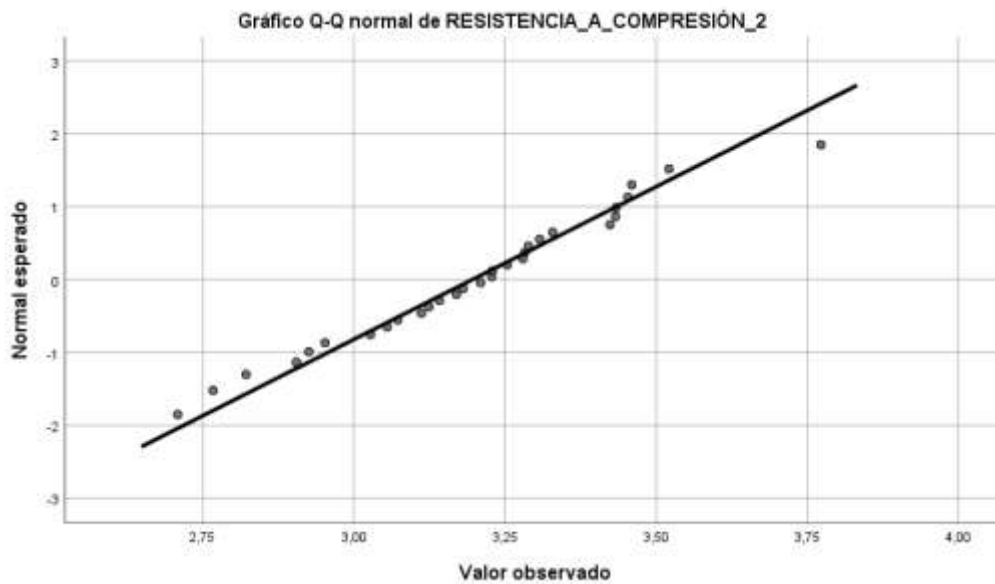
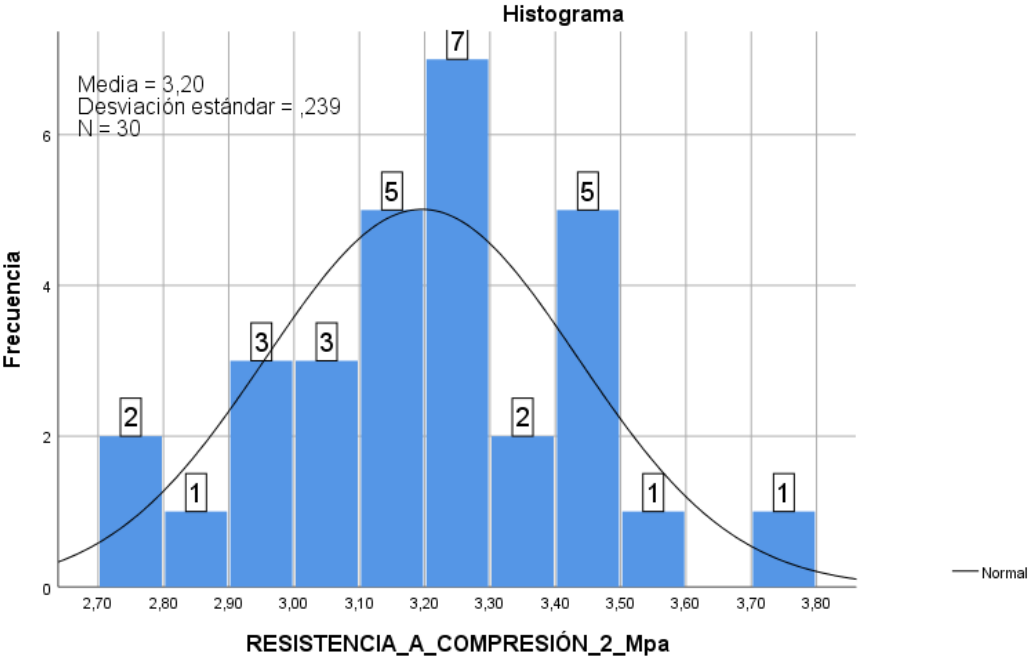


Gráfico Histograma



PRUEBAS ESTADÍSTICAS: MODELO DE AJUSTE DE CURVA MEDIANTE EL SISTEMA DE SOFTWARE ESTADÍSTICO: STATISTICAL PACKAGE FOR SOCIAL SCIENCES (SPSS)

1. Pruebas estadísticas: Modelo de ajuste de curva para mezcla compactada de suelo tipo A4 (1), con una dosificación del 5% de cemento.

Descripción del modelo		
Variable dependiente	1	RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1
Ecuación	1	Lineal
	2	Logarítmico
	3	Cuadrático
	4	Exponencial ^a
Variable independiente		ÍNDICE_DE_REBOTE_1
Constante		Incluido
Variable cuyos valores etiquetan las observaciones en los gráficos		Sin especificar

Resumen de procesamiento de casos

	N
Casos totales	30
Casos excluidos ^a	0
Casos predichos	0
Casos creados recientemente	0

a. Los casos con un valor perdido en cualquier variable se excluyen del análisis.

Resumen de procesamiento de variables

	Variables	
	Dependiente	Independiente
	RESISTENCIA_A_ COMPRESIÓN_1	ÍNDICE_DE_ REBOTE_1
Número de valores positivos	30	30
Número de ceros	0	0
Número de valores negativos	0	0
Número de valores perdidos Perdido por el usuario	0	0
Perdidos Perdido por el sistema	0	0

1.1 Modelo de ajuste de curva (Lineal)

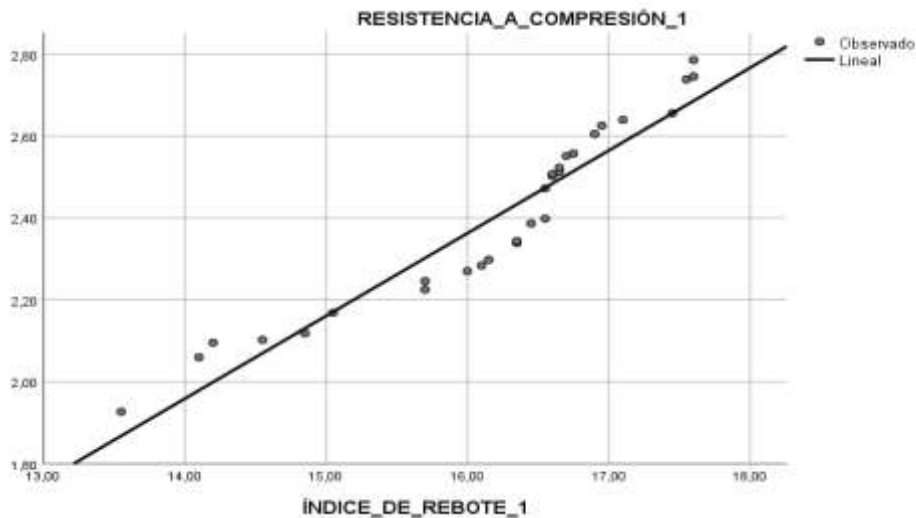
Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,955	,913	,909	,068

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_1.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,333	1	1,333	292,045	,000
Residuo	,128	28	,005		
Total	1,461	29			

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_1.

Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
ÍNDICE_DE_REBOTE_1	,202	,012	,955	17,089	,000
(Constante)	-,870	,192		-4,535	,000



1.1.1 Validación y diagnóstico del (Modelo Lineal)

a) Descriptivos para la estandarización de residuos.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Ajuste para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_3 LINEAR	30	1,86777	2,68599	2,4007898	,21442556
Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_3 LINEAR	30	-,09919	,09981	,0000000	,06639430
N válido (por lista)	30				

b) Normalidad de los residuos estandarizados.

Descriptivos			Error estándar	
	Estadístico			
Puntuación Z: Error Media	,0000000			,18257419
para 95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	-,3734061	
RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_3 LINEAR		Límite superior	,3734061	
Media recortada al 5%	-,0007749			
Mediana	,2785162			

Varianza	1,000	
Desviación estándar	1,0000000	
	0	
Mínimo	-1,49395	
Máximo	1,50331	
Rango	2,99727	
Rango intercuartil	2,03650	
Asimetría	-,285	,427
Curtosis	-1,391	,833

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_C OMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBO TE_1 de CURVEFIT, MOD_3 LINEAR	,144	30	,116	,897	30	,007

a. Corrección de significación de Lilliefors

Puntuación Z: Error para RESISTENCIA A COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE DE REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_3 LINEAR

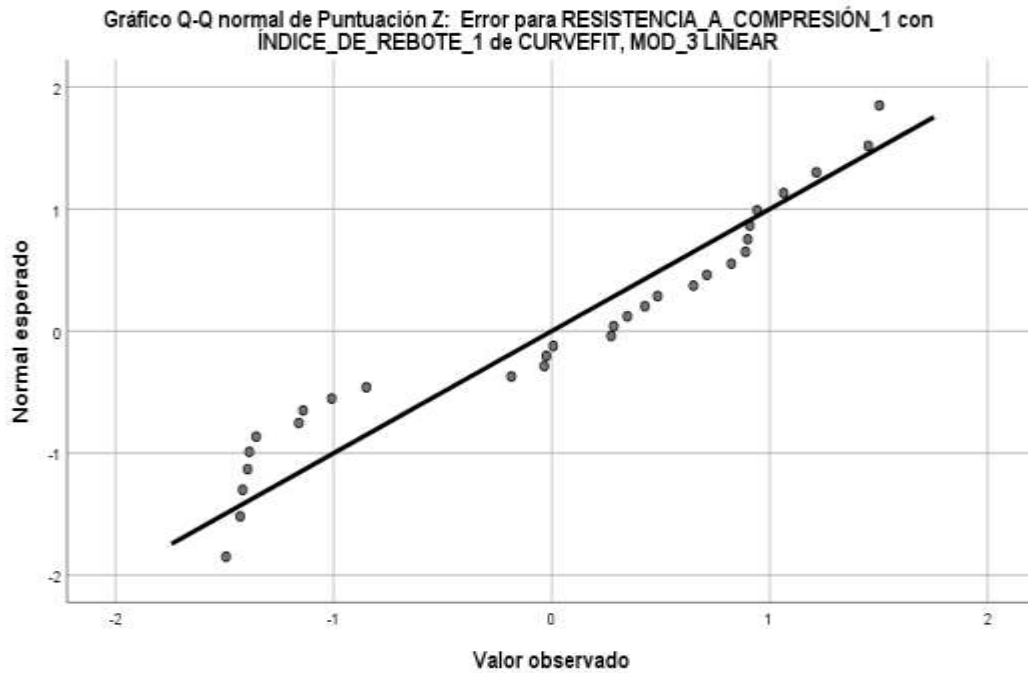
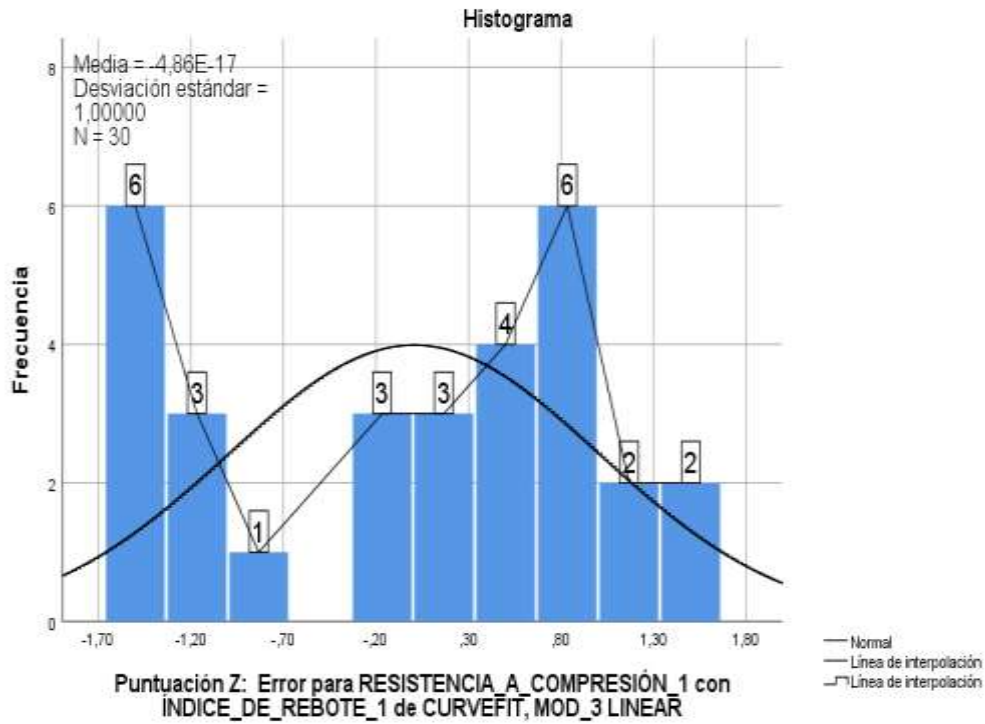
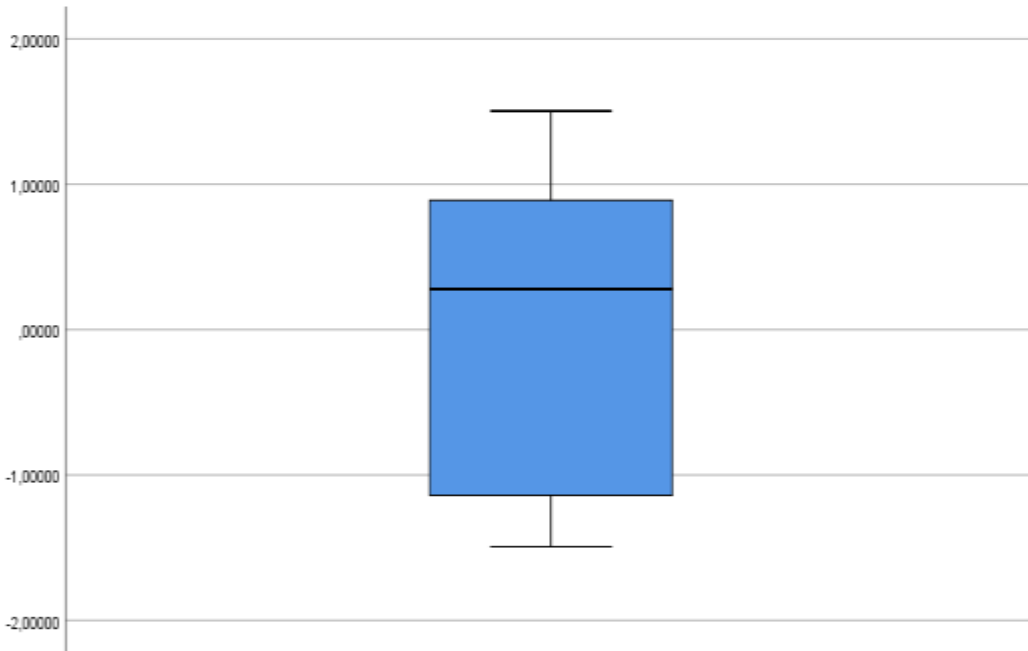
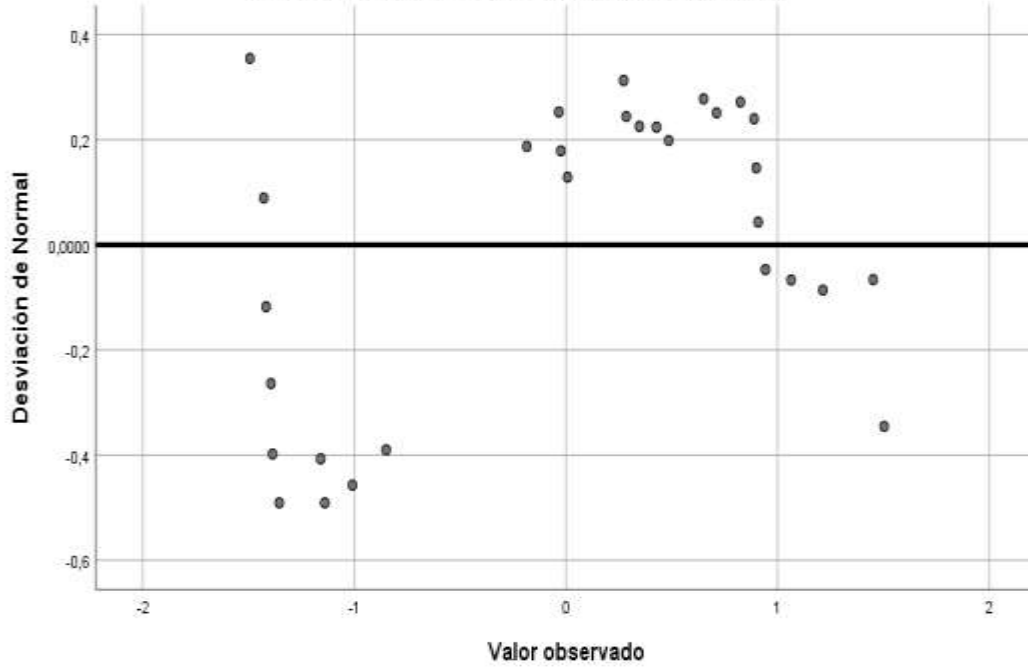


Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_3 LINEAR



Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_3 LINEAR

c) Independencia de los residuos estandarizados.

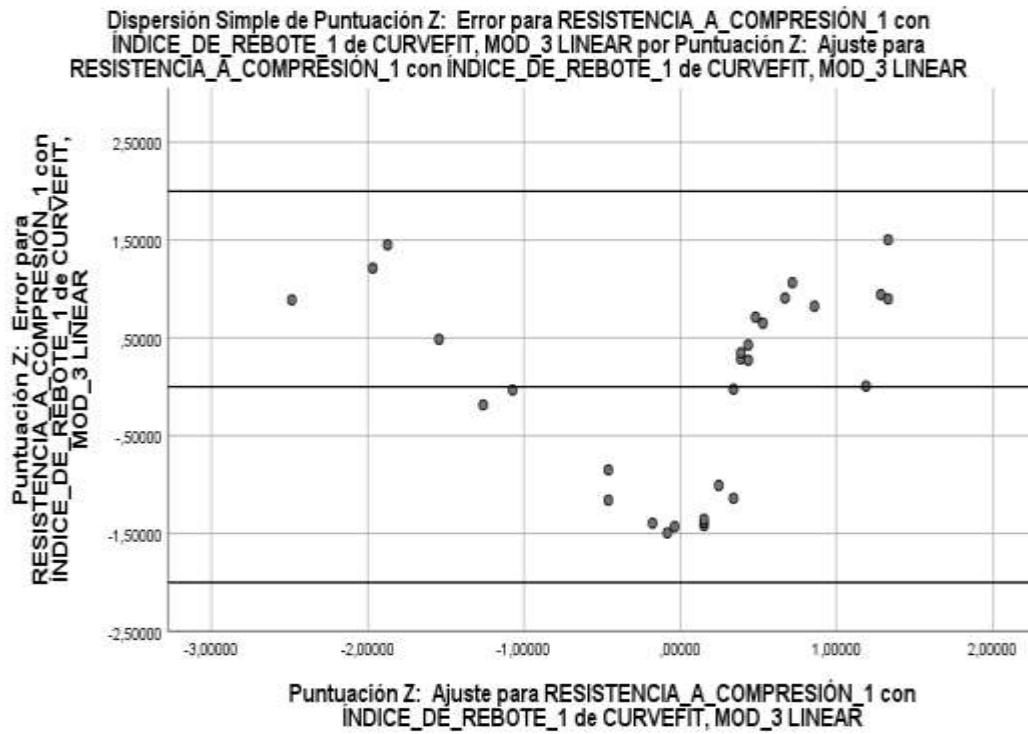
Prueba de rachas	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_3 LINEAR	
Valor de prueba ^a	,27852
Casos < Valor de prueba	15
Casos >= Valor de prueba	15
Casos totales	30
Número de rachas	7
Z	-3,159
Sig. asintótica(bilateral)	,002

a. Mediana

Prueba de rachas 2	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_3 LINEAR	
Valor de prueba ^a	,0000000
Casos < Valor de prueba	13
Casos >= Valor de prueba	17
Casos totales	30
Número de rachas	3
Z	-4,631
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Media

d) Homocedasticidad de los residuos estandarizados.



1.2 Modelo de ajuste de curva (Logarítmica)

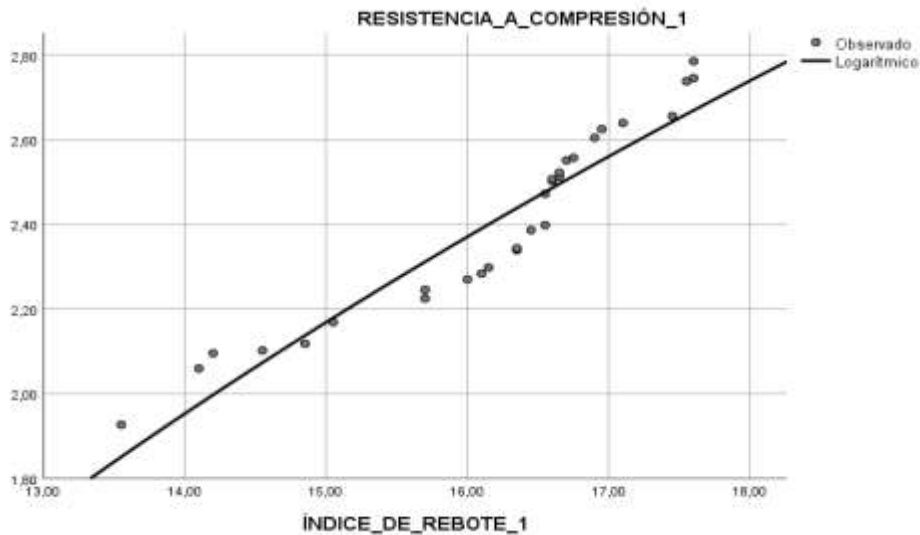
Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,947	,896	,892	,074

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_1.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,309	1	1,309	241,643	,000
Residuo	,152	28	,005		
Total	1,461	29			

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_1.

Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
ln(ÍNDICE_DE_REBOTE_1)	3,131	,201	,947	15,545	,000
(Constante)	-6,311	,561		-11,258	,000



1.2.1 Validación y diagnóstico del (Modelo logarítmico)

a) Descriptivos para la estandarización de residuos.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Ajuste para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_4 LOGARITHMIC	30	1,85055	2,66939	2,4007898	,21249552
Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_4 LOGARITHMIC	30	-,10671	,11641	,0000000	,07233381
N válido (por lista)	30				

b) Normalidad de los residuos estandarizados.

Descriptivos			
			Error estándar
	Estadístico		
Puntuación Z: Error Media	,0000000		,18257419
para 95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	-,3734061
RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_4		Límite superior	,3734061
Media recortada al 5%	-,0039996		
Mediana	,2289796		

LOGARITHMIC	Varianza	1,000	
	Desviación estándar	1,0000000	
		0	
	Mínimo	-1,47528	
	Máximo	1,60928	
	Rango	3,08456	
	Rango intercuartil	2,01785	
	Asimetría	-,221	,427
	Curtosis	-1,391	,833

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_C OMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBO TE_1 de CURVEFIT, MOD_4 LOGARITHMIC	,153	30	,072	,905	30	,011

a. Corrección de significación de Lilliefors

Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE DE REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_ MOD_4 LOGARITHMIC

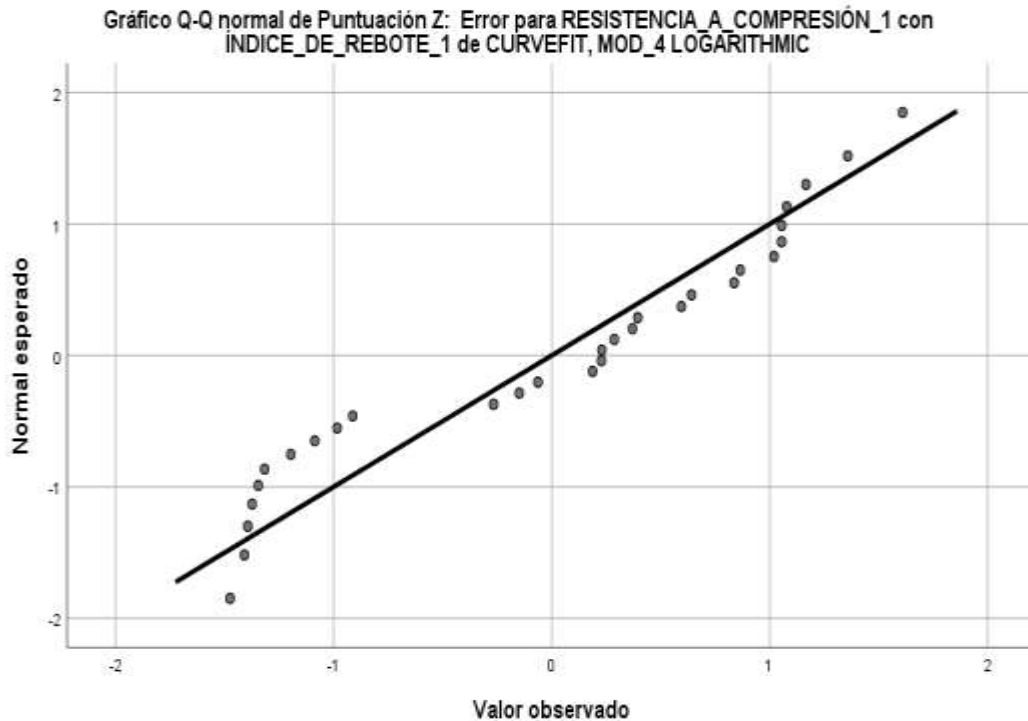
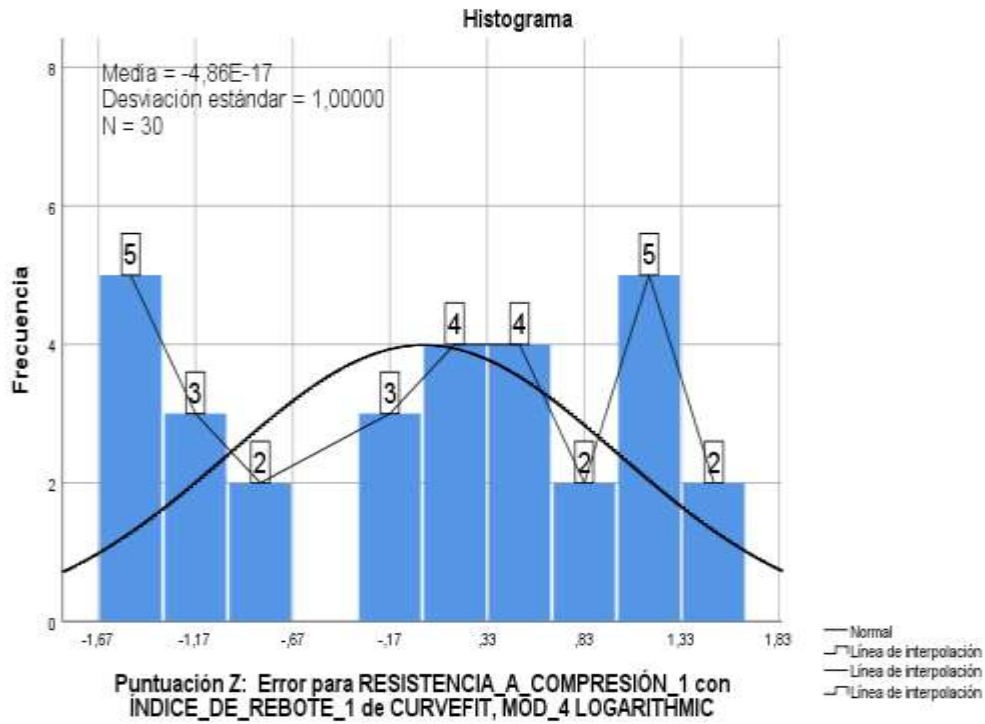
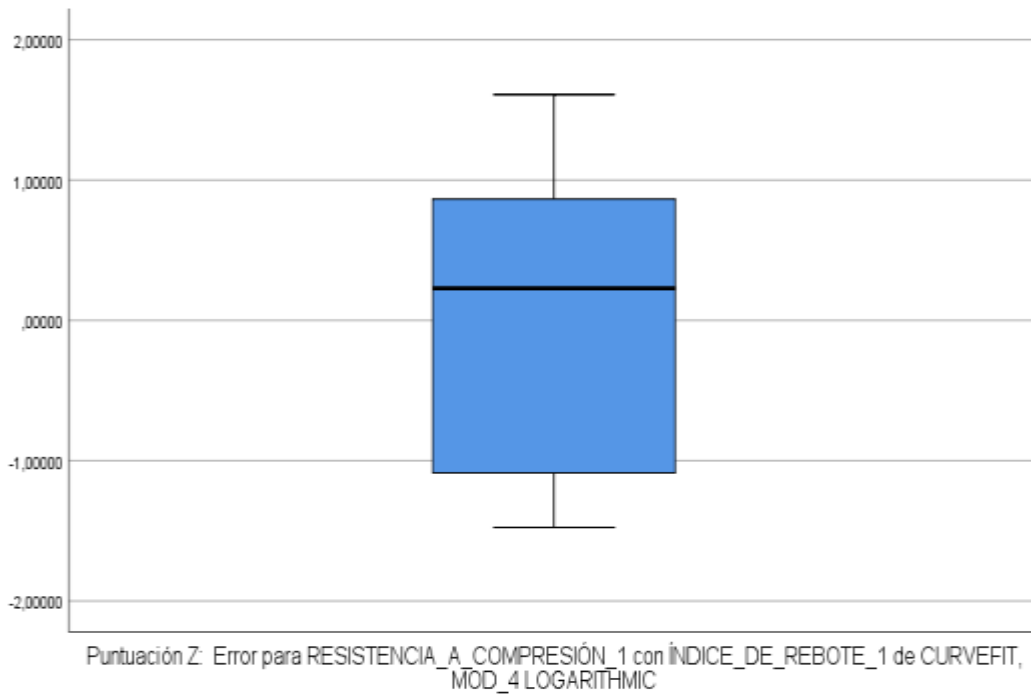
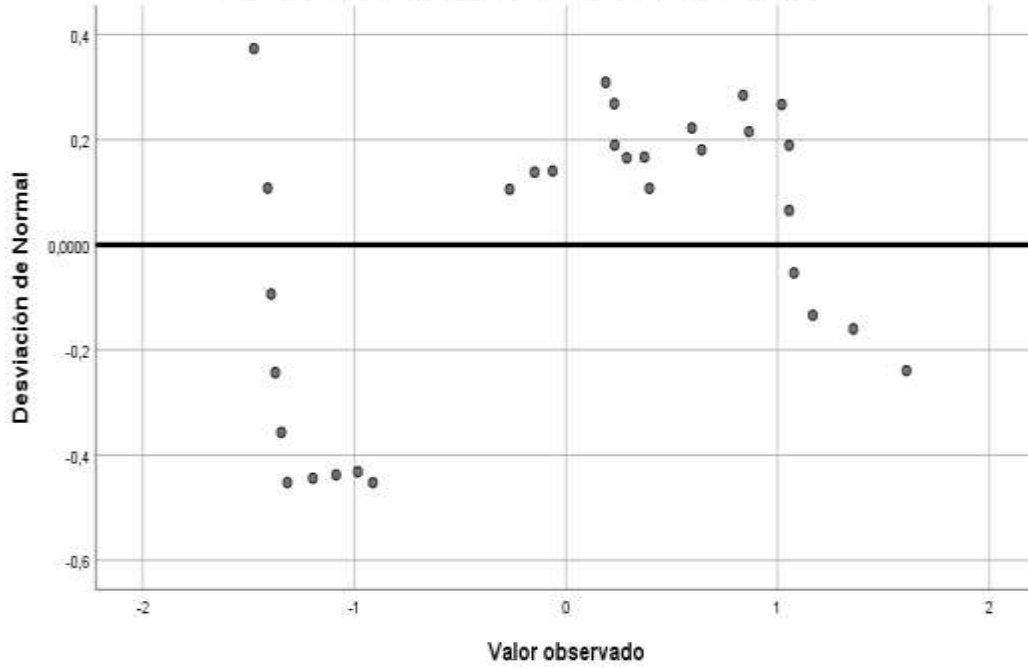


Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_4 LOGARITHMIC



c) Independencia de los residuos estandarizados.

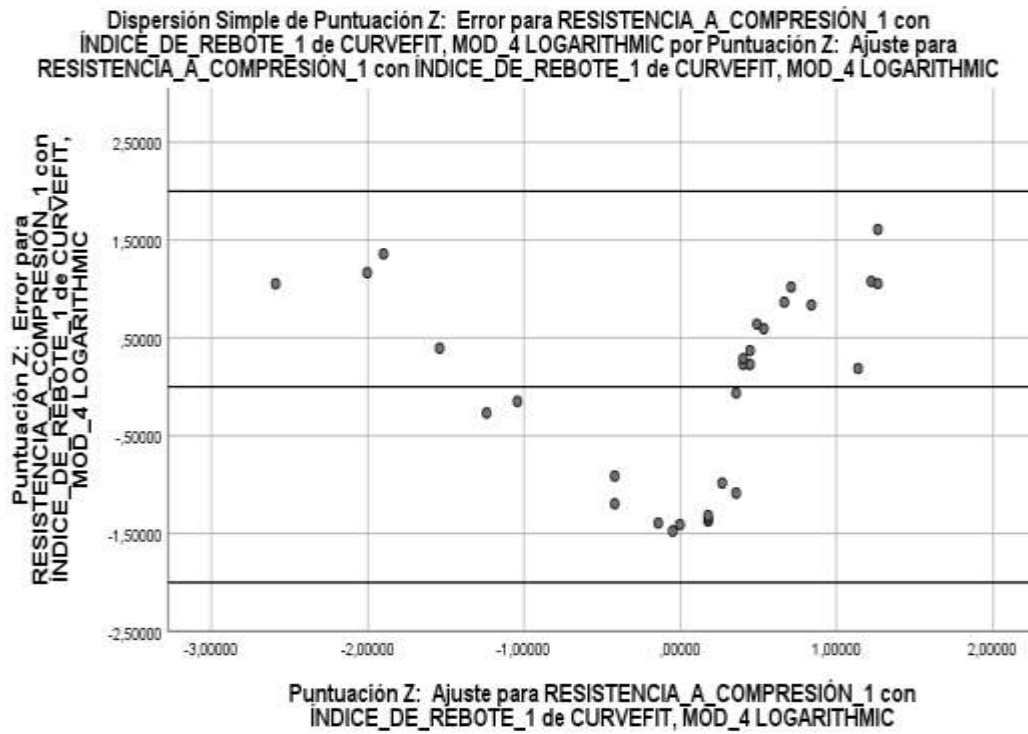
Prueba de rachas	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_4 LOGARITHMIC	
Valor de prueba ^a	,22898
Casos < Valor de prueba	15
Casos >= Valor de prueba	15
Casos totales	30
Número de rachas	7
Z	-3,159
Sig. asintótica(bilateral)	,002

a. Mediana

Prueba de rachas 2	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_4 LOGARITHMIC	
Valor de prueba ^a	,0000000
Casos < Valor de prueba	13
Casos >= Valor de prueba	17
Casos totales	30
Número de rachas	3
Z	-4,631
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Media

d) Homocedasticidad de los residuos estandarizados.



1.3 Modelo de ajuste de curva (Cuadrática)

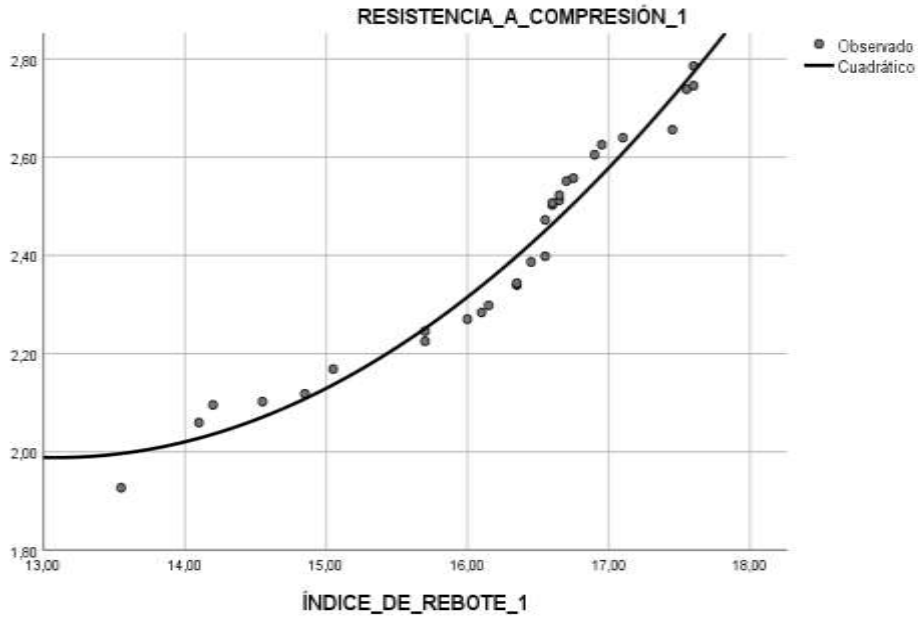
Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,979	,958	,955	,047

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_1.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,400	2	,700	311,334	,000
Residuo	,061	27	,002		
Total	1,461	29			

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_1.

Coefficientes					
	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
ÍNDICE_DE_REBOTE_1	-1,009	,222	-4,769	-4,548	,000
ÍNDICE_DE_REBOTE_1 ** 2	,039	,007	5,728	5,462	,000
(Constante)	8,587	1,737		4,945	,000



1.3.1 Validación y diagnóstico del (Modelo cuadrático)

a) Descriptivos para la estandarización de residuos.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Ajuste para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_5 QUADRATIC	30	1,99646	2,77301	2,4007898	,21975549
Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_5 QUADRATIC	30	-,06966	,06209	,0000000	,04576079
N válido (por lista)	30				

b) Normalidad de los residuos estandarizados.

Descriptivos						
			Error			
			Estadístico	estándar		
Puntuación Z: Error	Media		,0000000	,18257419		
para	95% de intervalo de	Límite	-,3734061			
RESISTENCIA_A_C	confianza para la	inferior				
COMPRESIÓN_1 con	media	Límite	,3734061			
ÍNDICE_DE_REBOT		superior				
E_1 de CURVEFIT,	Media recortada al 5%		,0082964			
MOD_5	Mediana		,2505520			
QUADRATIC	Varianza		1,000			
	Desviación estándar		1,0000000			
			0			
	Mínimo		-1,52230			
	Máximo		1,35680			
	Rango		2,87910			
	Rango intercuartil		2,00684			
	Asimetría		-,155	,427		
	Curtosis		-1,614	,833		

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_C OMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBO TE_1 de CURVEFIT, MOD_5 QUADRATIC	,184	30	,011	,890	30	,005

a. Corrección de significación de Lilliefors

Puntuación Z: Error para RESISTENCIA A COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE DE REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_5 QUADRATIC

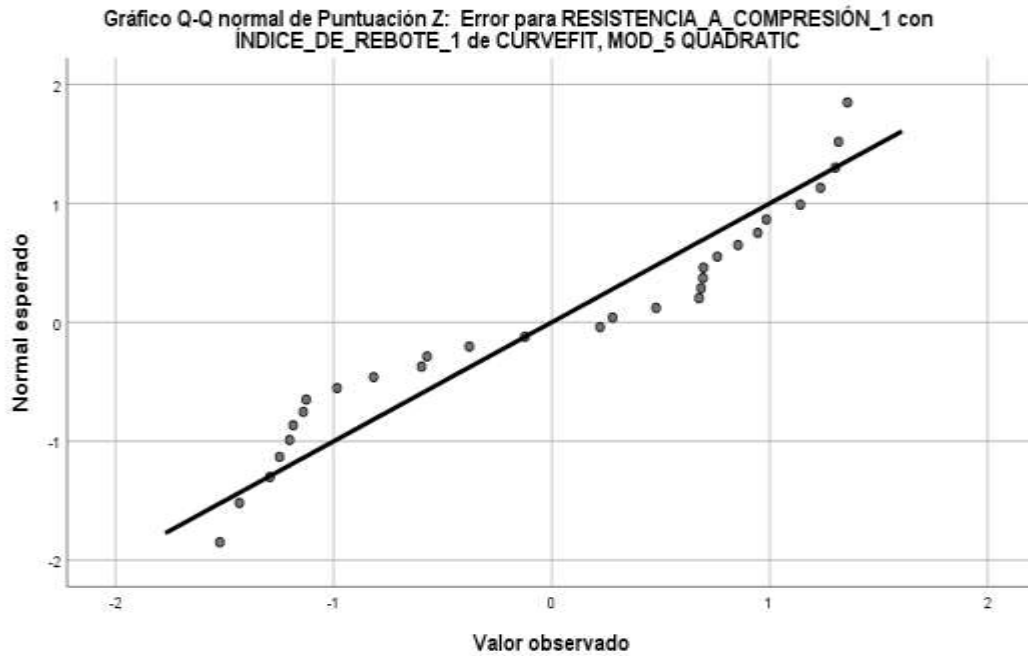
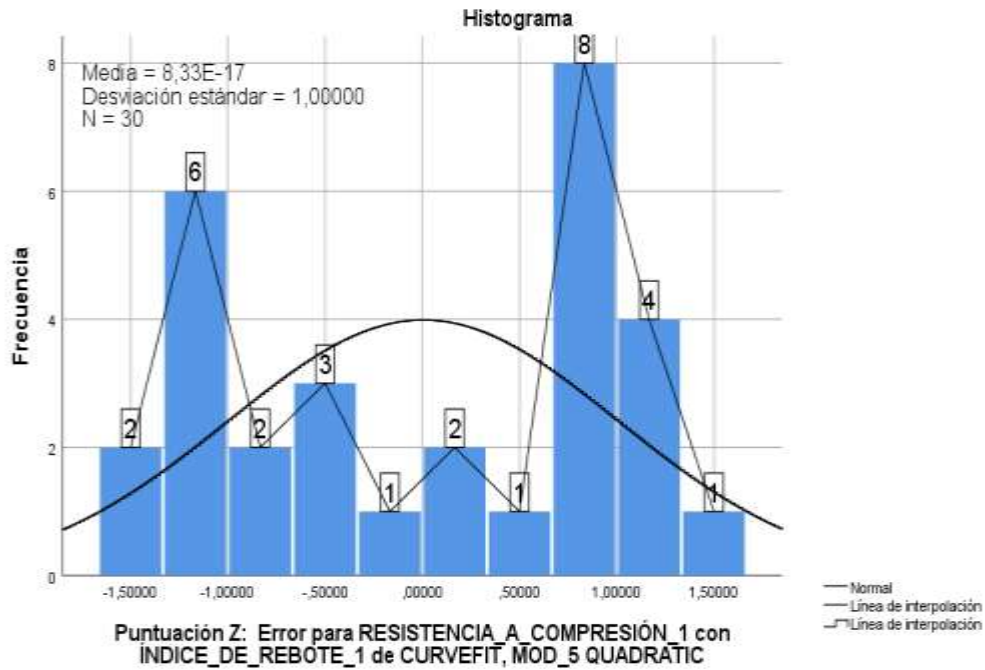
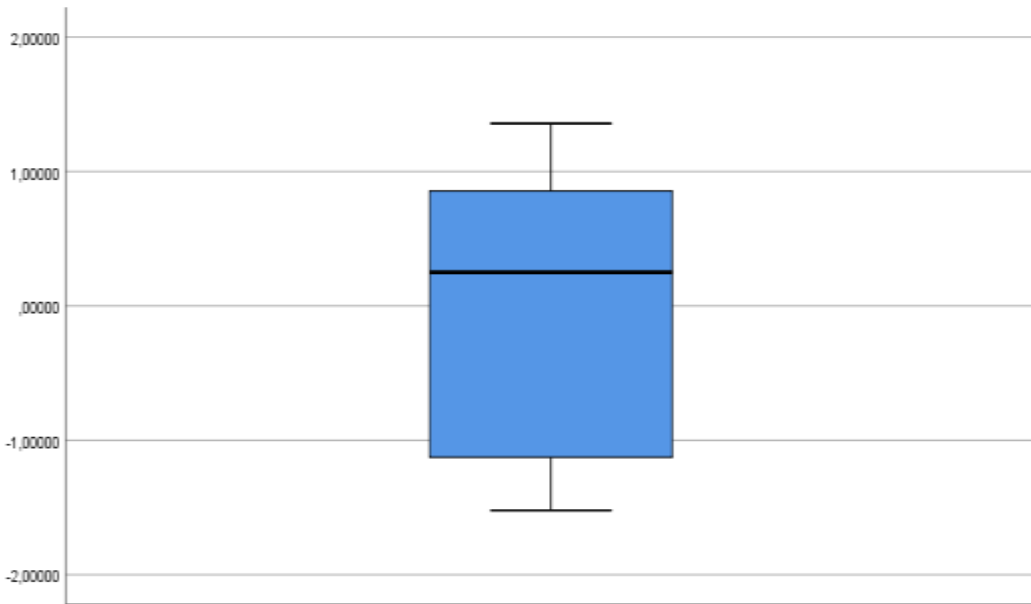
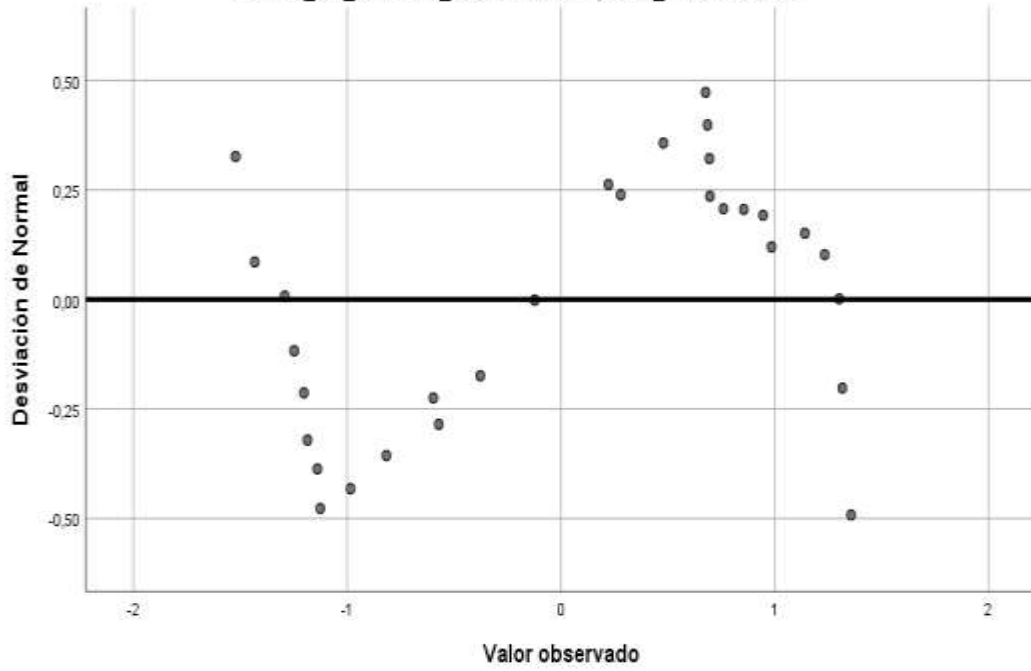


Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_5 QUADRÁTIC



Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_5 QUADRÁTIC

c) Independencia de los residuos estandarizados.

Prueba de rachas

Puntuación Z: Error para
RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con
ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_5
QUADRATIC

Valor de prueba ^a	,25055
Casos < Valor de prueba	15
Casos >= Valor de prueba	15
Casos totales	30
Número de rachas	8
Z	-2,787
Sig. asintótica(bilateral)	,005

a. Mediana

Prueba de rachas 2

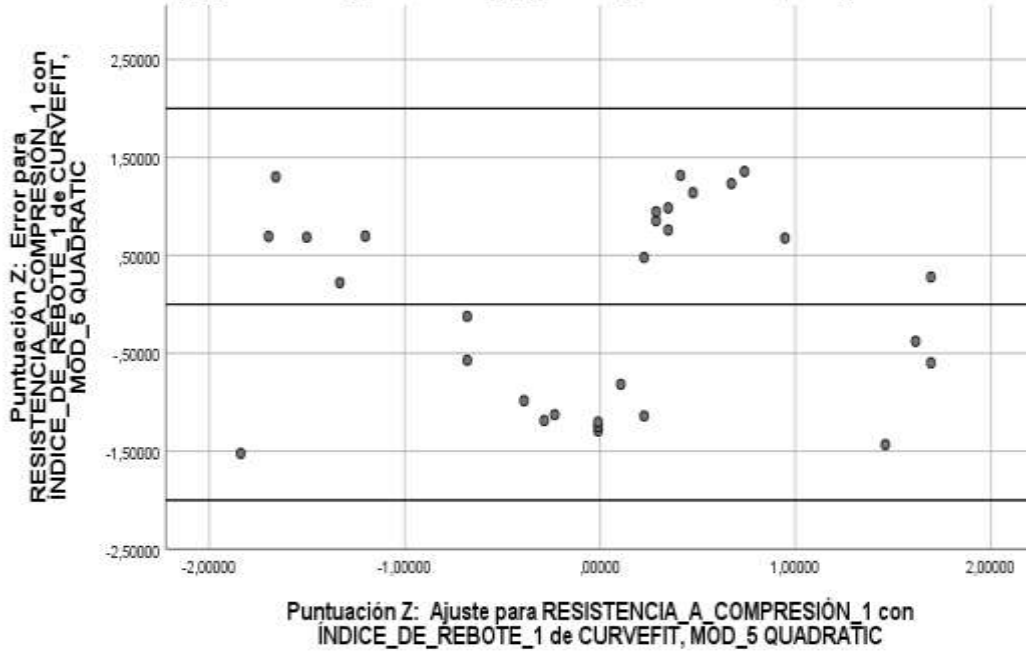
Puntuación Z: Error para
RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con
ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT,
MOD_5 QUADRATIC

Valor de prueba ^a	,0000000
Casos < Valor de prueba	14
Casos >= Valor de prueba	16
Casos totales	30
Número de rachas	6
Z	-3,522
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Media

d) Homocedasticidad de los residuos estandarizados.

Dispersión Simple de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_5 QUADRATIC por Puntuación Z: Ajuste para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_5 QUADRATIC



1.4 Modelo de ajuste de curva (Exponencial)

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,965	,931	,929	,025

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_1.

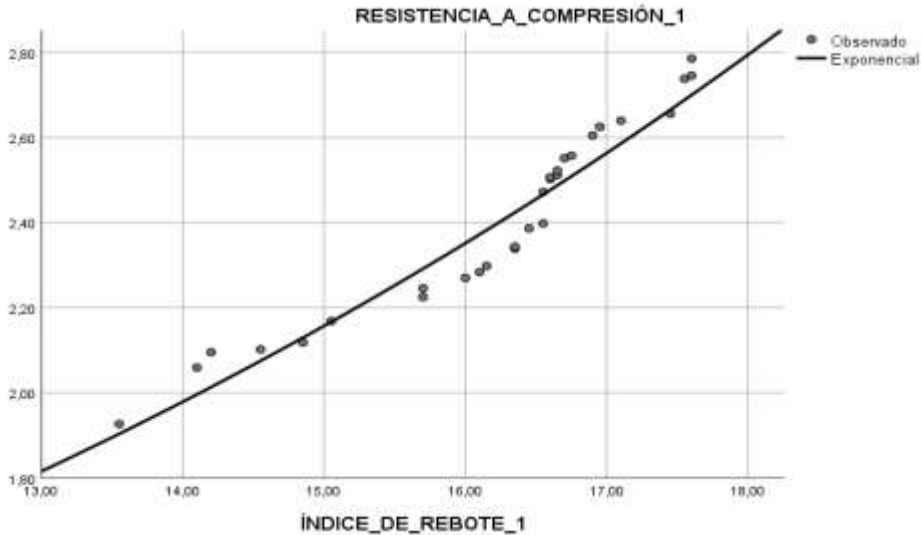
ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,243	1	,243	379,852	,000
Residuo	,018	28	,001		
Total	,261	29			

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_1.

Coefficientes

	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
ÍNDICE_DE_REBOTE_1	,086	,004	,965	19,490	,000
(Constante)	,591	,042		13,923	,000



1.4.1 Validación y diagnóstico del (Modelo exponencial)

a) Descriptivos para la estandarización de residuos.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Ajuste para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_6 EXPONENTIAL	30	1,90373	2,70016	2,3999155	,21104075
Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_6 EXPONENTIAL	30	-,08856	,08564	,0008743	,05916099
N válido (por lista)	30				

b) Normalidad de los residuos estandarizados.

Descriptivos			
			Error estándar
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_6 EXPONENTIAL	Media		,0000000
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,3734061
		Límite superior	,3734061
	Media recortada al 5%		,0043519

MOD_6	Mediana	,3873549	
EXPONENTIAL	Varianza	1,000	
	Desviación estándar	1,0000000	
		0	
	Mínimo	-1,51178	
	Máximo	1,43281	
	Rango	2,94459	
	Rango intercuartil	1,98998	
	Asimetría	-,338	,427
	Curtosis	-1,415	,833

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_C OMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBO TE_1 de CURVEFIT, MOD_6 EXPONENTIAL	,180	30	,015	,889	30	,005

a. Corrección de significación de Lilliefors

Puntuación Z: Error para RESISTENCIA A COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE DE REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_6 EXPONENTIAL

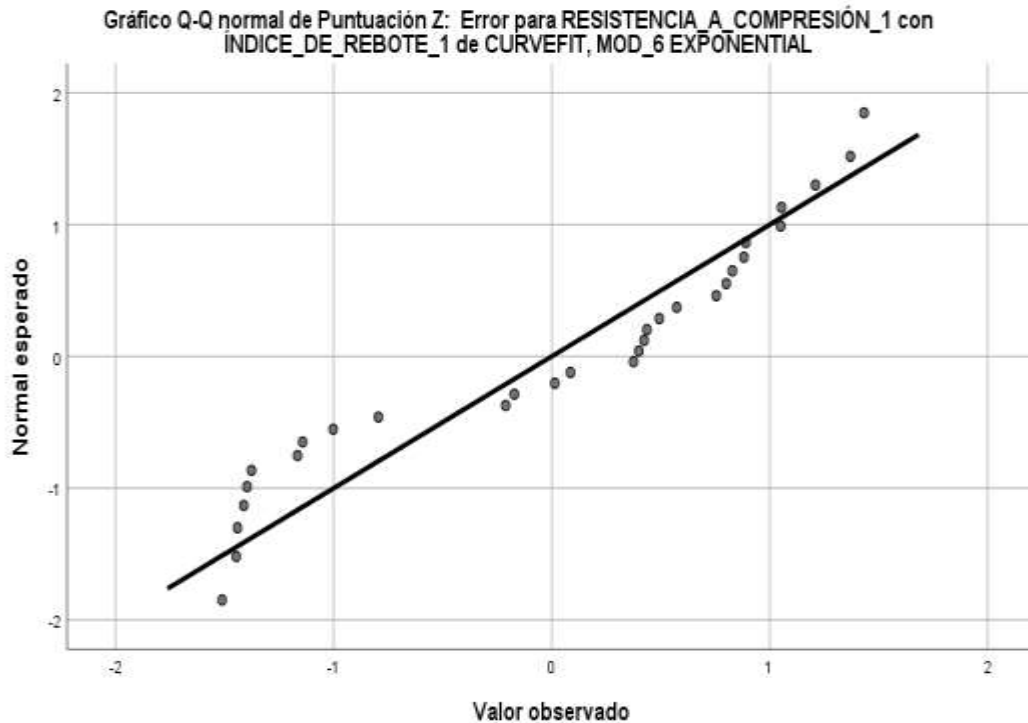
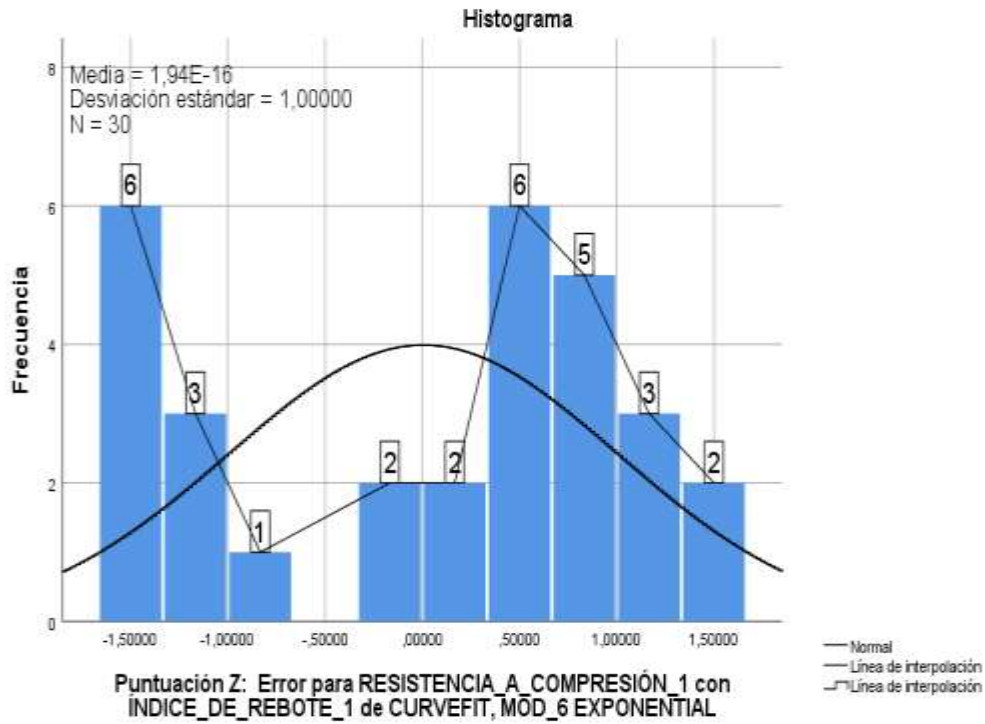
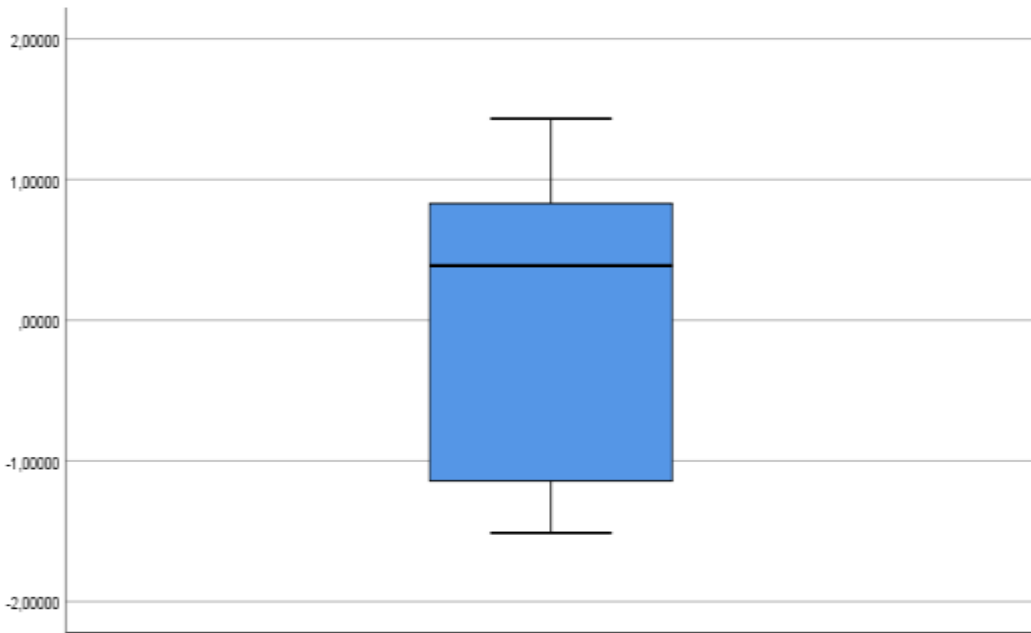
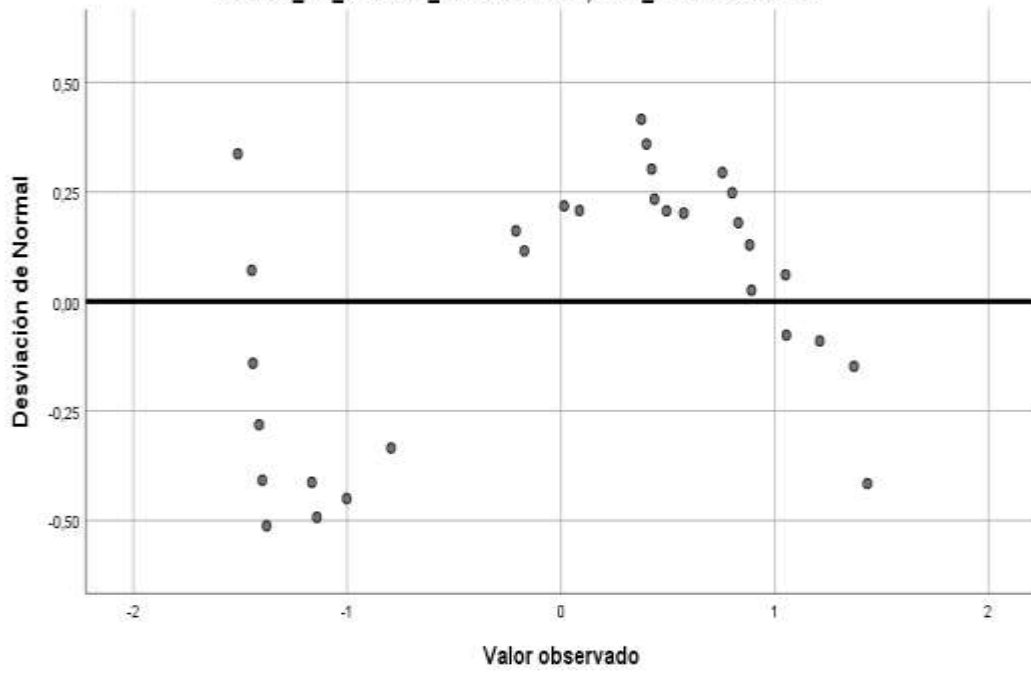


Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_6 EXPONENTIAL



Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_6 EXPONENTIAL

c) Independencia de los residuos estandarizados.

Prueba de rachas	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_6 EXPONENTIAL	
Valor de prueba ^a	,38735
Casos < Valor de prueba	15
Casos >= Valor de prueba	15
Casos totales	30
Número de rachas	6
Z	-3,530
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Mediana

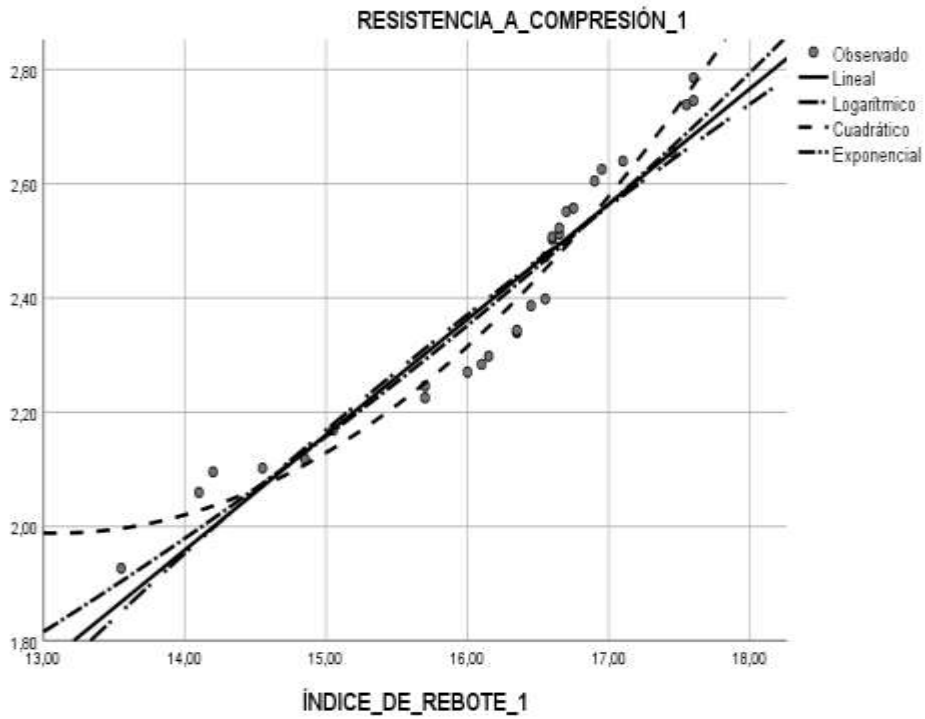
Prueba de rachas 2	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1 con ÍNDICE_DE_REBOTE_1 de CURVEFIT, MOD_6 EXPONENTIAL	
Valor de prueba ^a	,0000000
Casos < Valor de prueba	12
Casos >= Valor de prueba	18
Casos totales	30
Número de rachas	7
Z	-3,063
Sig. asintótica(bilateral)	,002

a. Media

1.5 Resumen

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro								
Variable dependiente: RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_1								
	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
Ecuación	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,913	292,045	1	28	,000	-,870	,202	
Logarítmico	,896	241,643	1	28	,000	-6,311	3,131	
Cuadrático	,958	311,334	2	27	,000	8,587	-1,009	,039
Exponencial	,931	379,852	1	28	,000	,591	,086	

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_1.



**PRUEBAS ESTADÍSTICAS: MODELO DE AJUSTE DE CURVA MEDIANTE EL
SISTEMA DE SOFTWARE ESTADÍSTICO: STATISTICAL PACKAGE FOR
SOCIAL SCIENCES (SPSS)**

- 1) **Pruebas estadísticas: Modelo de ajuste de curva para mezcla compactada de suelo tipo A4 (1), con una dosificación del 7% de cemento.**

Descripción del modelo		
Variable dependiente	1	RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2
Ecuación	1	Lineal
	2	Logarítmico
	3	Cuadrático
	4	Exponencial ^a
Variable independiente		ÍNDICE_DE_REBOTE_2
Constante		Incluido
Variable cuyos valores etiquetan las observaciones en los gráficos		Sin especificar

Resumen de procesamiento de casos

	N
Casos totales	30
Casos excluidos ^a	0
Casos predichos	0
Casos creados recientemente	0

a. Los casos con un valor perdido en cualquier variable se excluyen del análisis.

Resumen de procesamiento de variables

	Variables	
	Dependiente	Independiente
	RESISTENCIA_A_ COMPRESIÓN_2	ÍNDICE_DE_ REBOTE_2
Número de valores positivos	30	30
Número de ceros	0	0
Número de valores negativos	0	0
Número de valores perdidos Perdido por el usuario	0	0
Perdidos Perdido por el sistema	0	0

1.1 Modelo de ajuste de curva (Lineal)

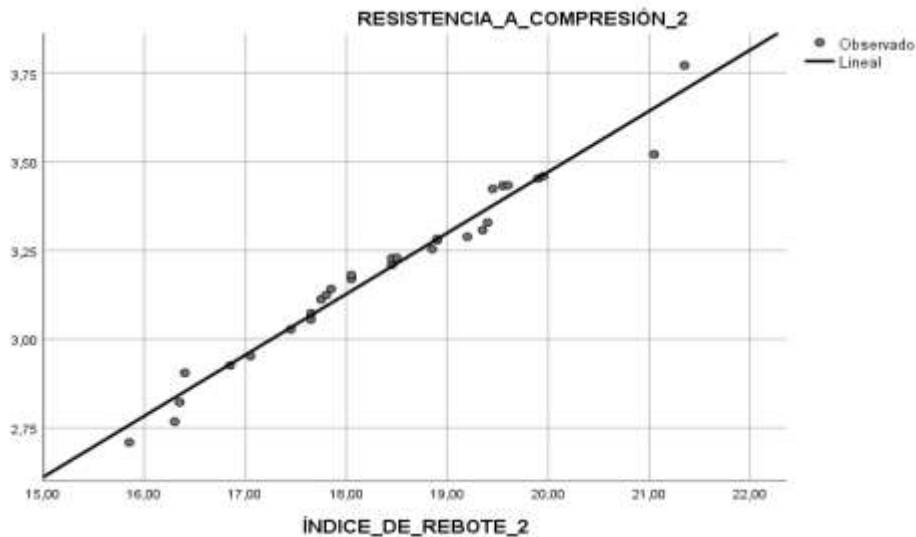
Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,984	,969	,968	,043

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_2.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,604	1	1,604	879,049	,000
Residuo	,051	28	,002		
Total	1,655	29			

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_2.

Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
ÍNDICE_DE_REBOTE_2	,172	,006	,984	29,649	,000
(Constante)	,031	,107		,290	,774



1.1.1 Validación y diagnóstico del (Modelo Lineal)

a) Descriptivos para la estandarización de residuos.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Ajuste para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_1 LINEAR	30	2,75757	3,70370	3,1956579	,23517100
Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_1 LINEAR	30	-,13077	,06865	,0000000	,04197167
N válido (por lista)	30				

b) Normalidad de los residuos estandarizados.

Descriptivos			Error Estadístico	Error estándar
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con media ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_1 LINEAR	Media		,0000000	,18257419
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,3734061	
		Límite superior	,3734061	
	Media recortada al 5%		,0613734	
	Mediana		-,0054444	

Varianza	1,000	
Desviación estándar	1,00000000	
Mínimo	-3,11567	
Máximo	1,63551	
Rango	4,75118	
Rango intercuartil	1,24146	
Asimetría	-1,029	,427
Curtosis	1,876	,833

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_C OMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBO TE_2 de CURVEFIT, MOD_1 LINEAR	,122	30	,200*	,939	30	,085

a. Corrección de significación de Lilliefors

Puntuación Z: Error para RESISTENCIA A COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE DE REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_1 LINEAR

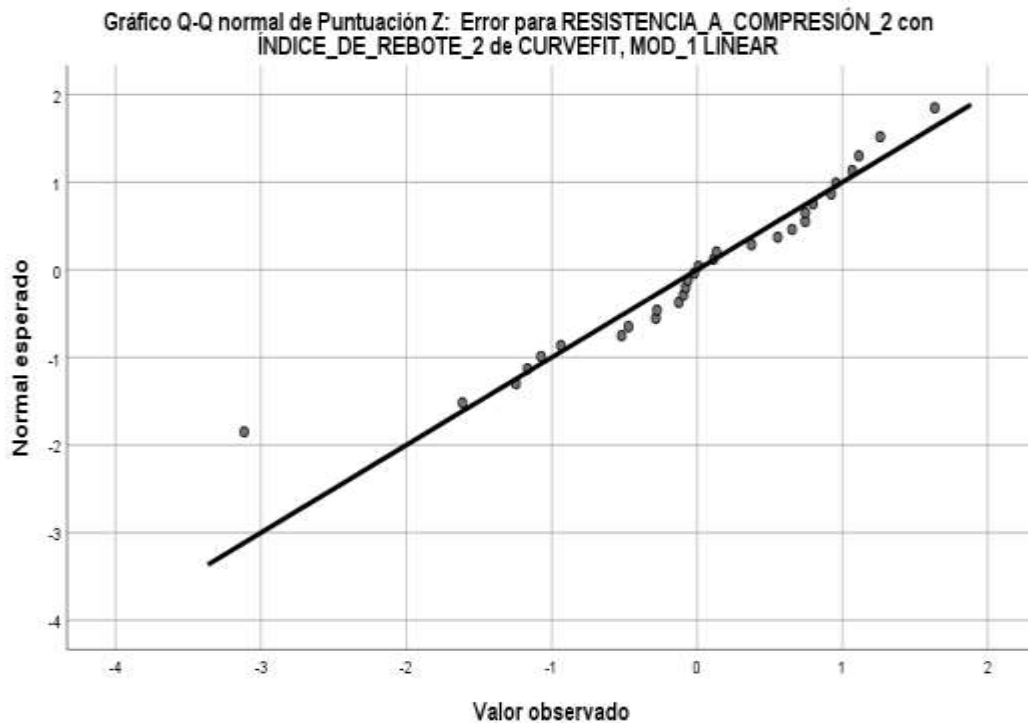
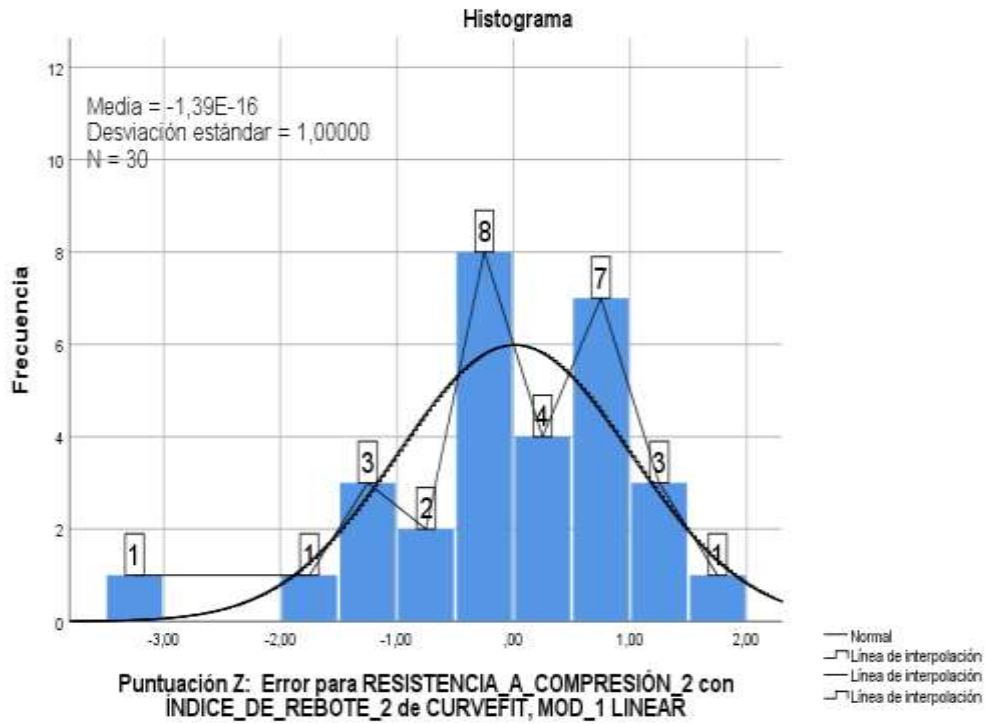
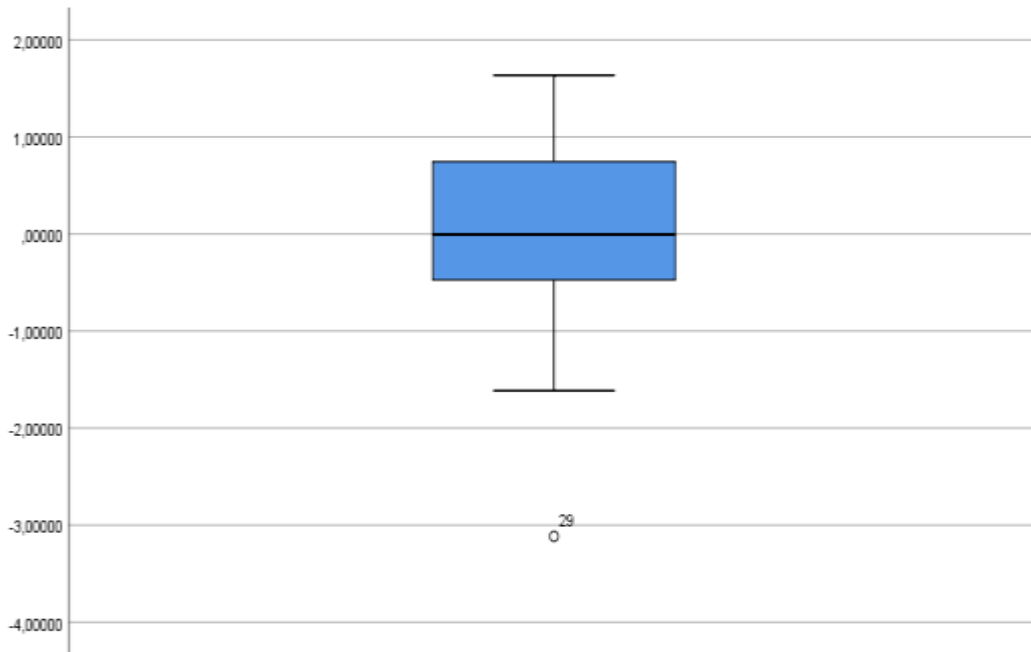
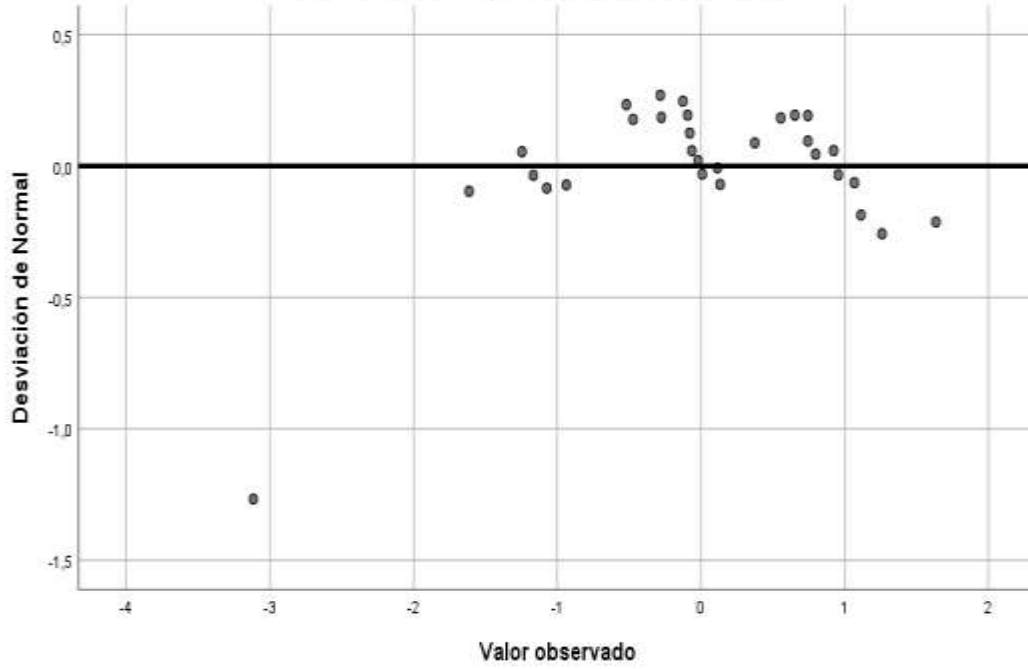


Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_1 LINEAR



Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_1 LINEAR

c) Independencia de los residuos estandarizados.

Prueba de rachas

Puntuación Z: Error para
RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con
ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_1
LINEAR

Valor de prueba ^a	-,00544
Casos < Valor de prueba	15
Casos >= Valor de prueba	15
Casos totales	30
Número de rachas	10
Z	-2,044
Sig. asintótica(bilateral)	,041

a. Mediana

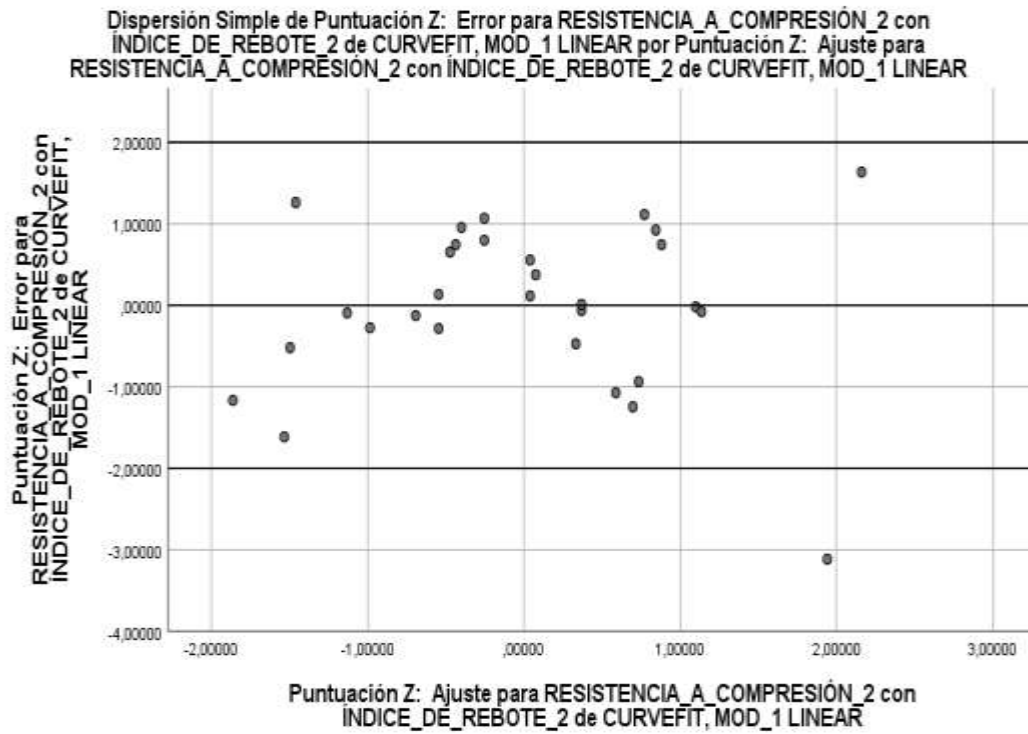
Prueba de rachas 2

Puntuación Z: Error para
RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con
ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT,
MOD_1 LINEAR

Valor de prueba ^a	,0000000
Casos < Valor de prueba	15
Casos >= Valor de prueba	15
Casos totales	30
Número de rachas	10
Z	-2,044
Sig. asintótica(bilateral)	,041

b. Media

d) Homocedasticidad de los residuos estandarizados.



1.2 Modelo de ajuste de curva (Logarítmica)

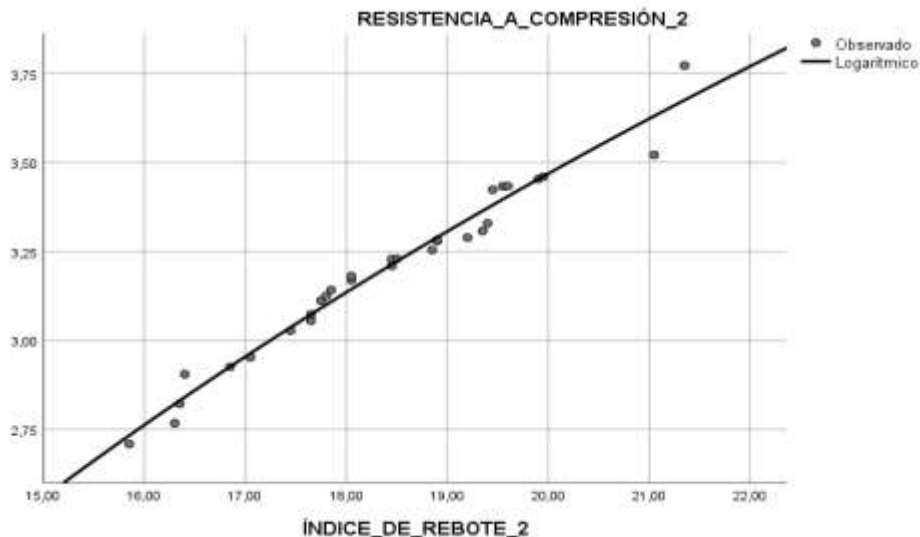
Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,986	,972	,971	,041

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_2.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,608	1	1,608	966,096	,000
Residuo	,047	28	,002		
Total	1,655	29			

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_2.

Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
ln(ÍNDICE_DE_REBOTE_2)	3,164	,102	,986	31,082	,000
(Constante)	-6,011	,296		-20,287	,000



1.2.1 Validación y diagnóstico del (Modelo logarítmico)

a) Descriptivos para la estandarización de residuos.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Ajuste para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_2 LOGARITHMIC	30	2,73263	3,67523	3,1956579	,23549874
Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_2 LOGARITHMIC	30	-,10913	,09711	,0000000	,04009198
N válido (por lista)	30				

b) Normalidad de los residuos estandarizados.

Descriptivos			Error Estadístico	Error estándar
Puntuación Z: Error	Media		,0000000	,18257419
para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_2	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,3734061	
		Límite superior	,3734061	
	Media recortada al 5%		,0074583	
	Mediana		-,0196824	

LOGARITHMIC	Varianza	1,000	
	Desviación estándar	1,00000000	
	Mínimo	-2,72200	
	Máximo	2,42224	
	Rango	5,14423	
	Rango intercuartil	1,14202	
	Asimetría	-,243	,427
	Curtosis	1,391	,833

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_C OMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBO TE_2 de CURVEFIT, MOD_2 LOGARITHMIC	,124	30	,200*	,972	30	,598

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Puntuación Z: Error para RESISTENCIA A COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE DE REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_2 LOGARITHMIC

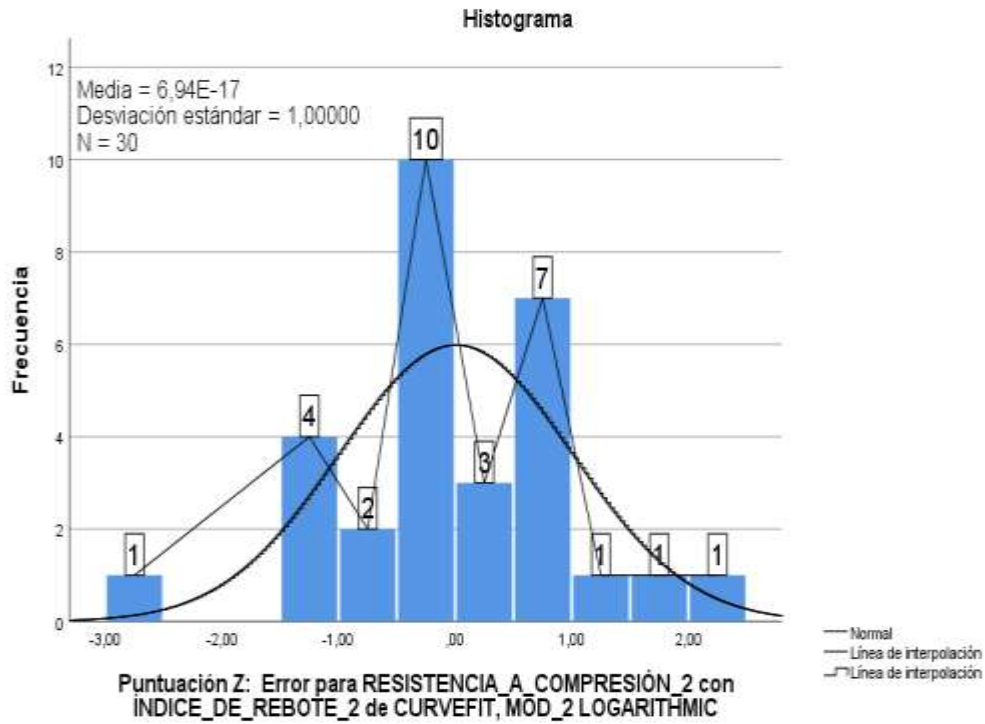


Gráfico Q-Q normal de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_2 LOGARITHMIC

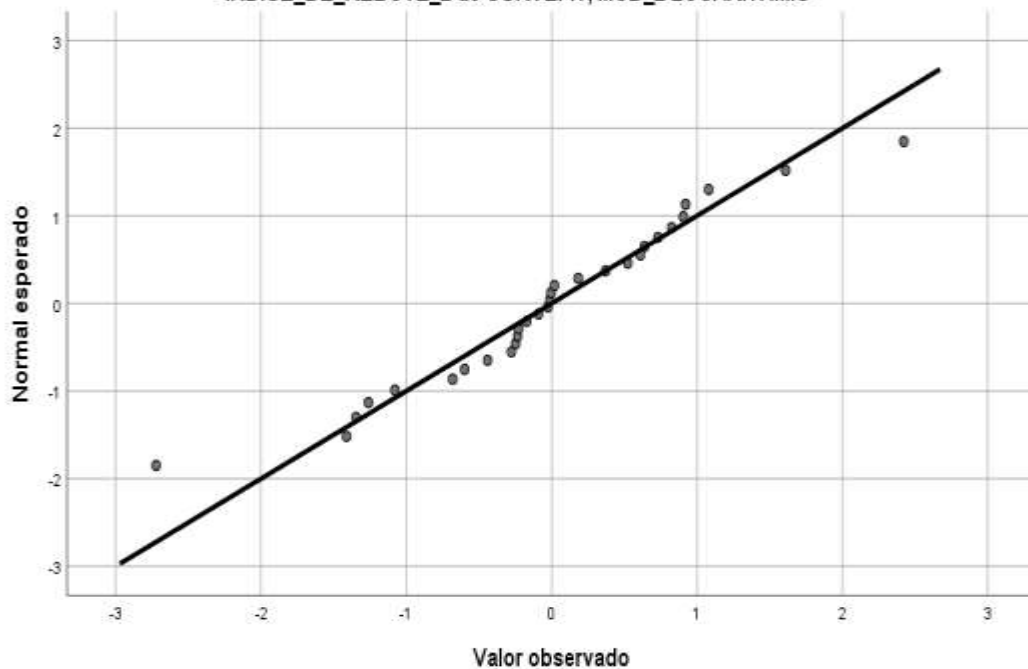
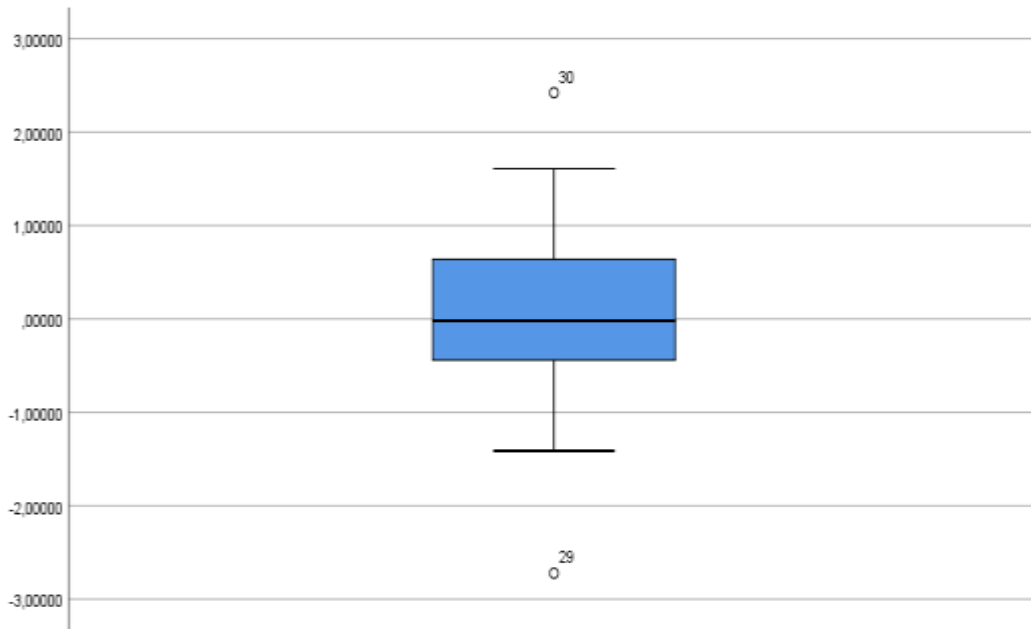
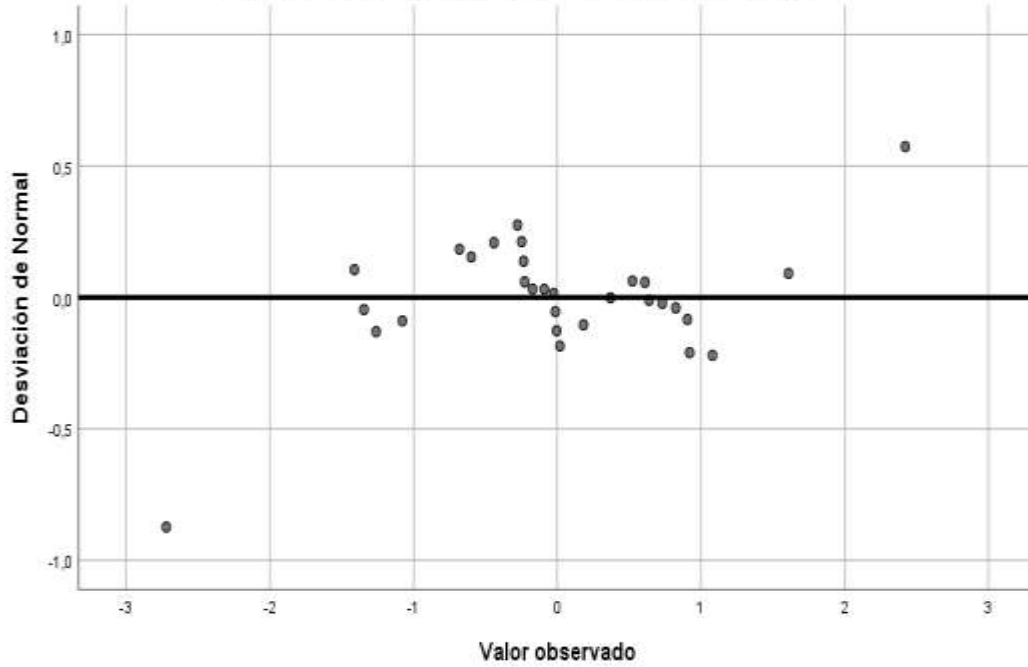


Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_2 LOGARITHMIC



Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_2 LOGARITHMIC

c) Independencia de los residuos estandarizados.

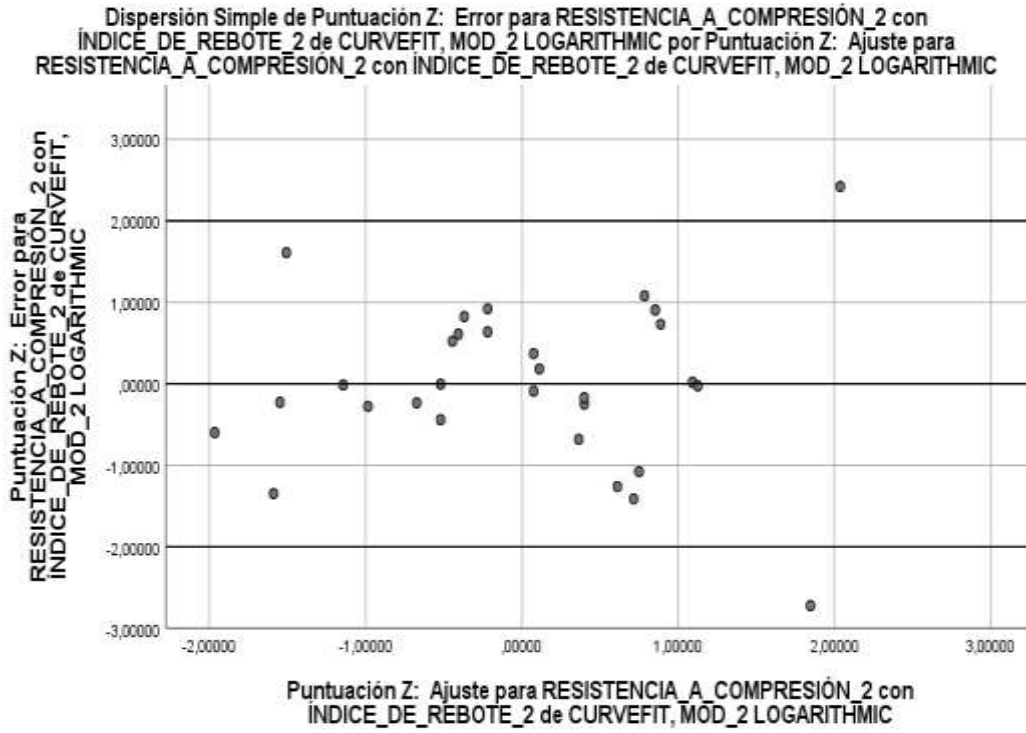
Prueba de rachas	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_2 LOGARITHMIC	
Valor de pruebaa	-,01968
Casos < Valor de prueba	15
Casos >= Valor de prueba	15
Casos totales	30
Número de rachas	10
Z	-2,044
Sig. asintótica(bilateral)	,041

a. Mediana

Prueba de rachas 2	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_2 LOGARITHMIC	
Valor de pruebaa	,0000000
Casos < Valor de prueba	17
Casos >= Valor de prueba	13
Casos totales	30
Número de rachas	10
Z	-1,981
Sig. asintótica(bilateral)	,048

b. Media

d) Homocedasticidad de los residuos estandarizados.



1.3 Modelo de ajuste de curva (Cuadrática)

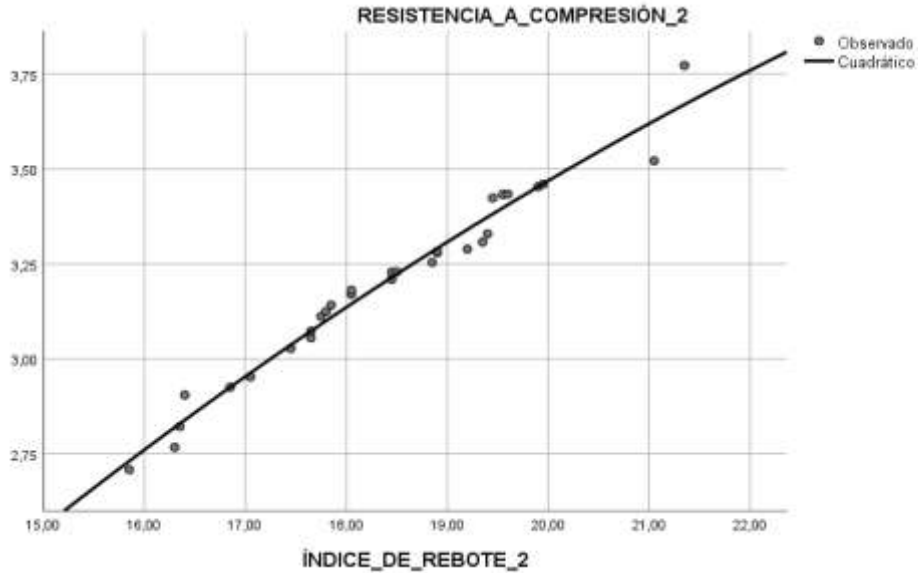
Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,986	,972	,970	,042

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_2.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,608	2	,804	462,842	,000
Residuo	,047	27	,002		
Total	1,655	29			

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_2.

Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
ÍNDICE_DE_REBOTE_2	,367	,126	2,098	2,921	,007
ÍNDICE_DE_REBOTE_2 ** 2	-,005	,003	-1,115	-1,552	,132
(Constante)	-1,757	1,157		-1,519	,140



1.3.1 Validación y diagnóstico del (Modelo cuadrático)

a) Descriptivos para la estandarización de residuos.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Ajuste para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_3 QUADRATIC	30	2,73095	3,66954	3,1956579	,23547757
Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_3 QUADRATIC	30	-,10524	,10280	,0000000	,04021612
N válido (por lista)	30				

b) Normalidad de los residuos estandarizados.

Descriptivos					
			Error		
			Estadístico	estándar	
Puntuación Z: Error	Media		,0000000	,18257419	
para	95% de intervalo de	Límite	-,3734061		
RESISTENCIA_A_C	confianza para la	inferior			
OMPRESIÓN_2 con	media	Límite	,3734061		
ÍNDICE_DE_REBOT		superior			
E_2 de CURVEFIT,	Media recortada al 5%		-,0015137		
MOD_3	Mediana		-,0211408		
QUADRATIC	Varianza		1,000		
	Desviación estándar		1,0000000		
			0		
	Mínimo		-2,61696		
	Máximo		2,55624		
	Rango		5,17321		
	Rango intercuartil		1,11313		
	Asimetría		-,077	,427	
	Curtosis		1,419	,833	

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_C OMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBO TE_2 de CURVEFIT, MOD_3 QUADRATIC	,123	30	,200*	,971	30	,575

*. Esto es un límite inferior de la siguiente significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Puntuación Z: Error para RESISTENCIA A COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE DE REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_3 QUADRATIC

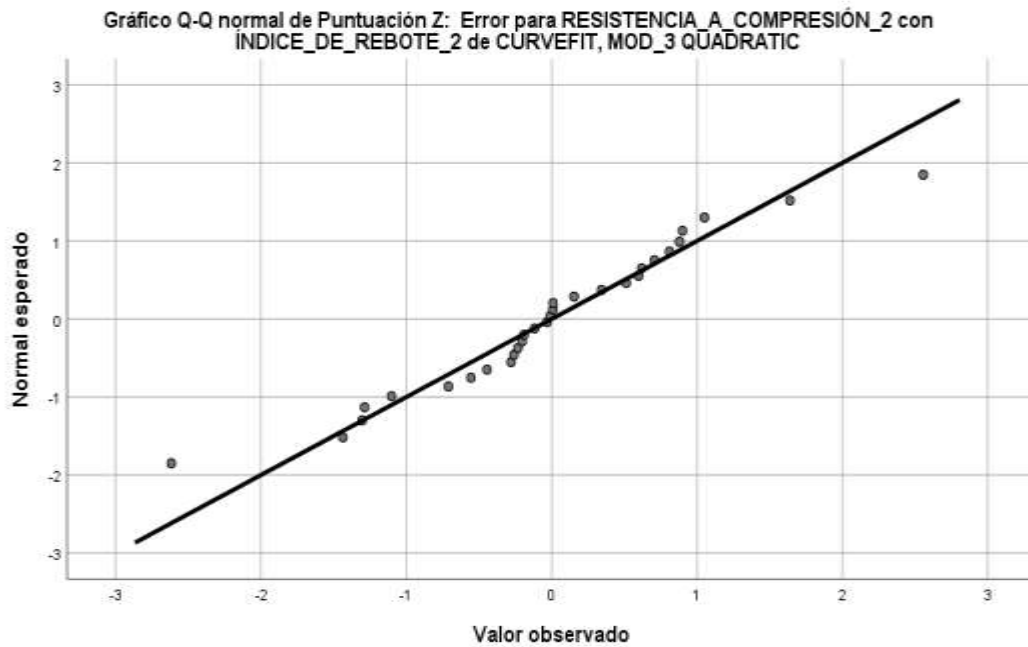
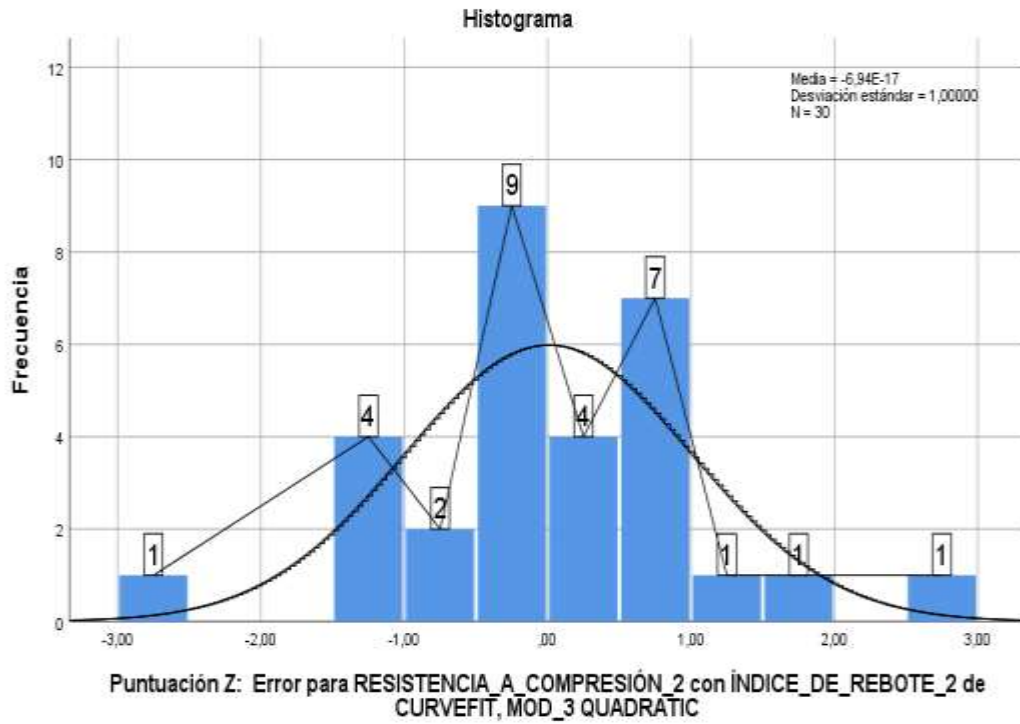
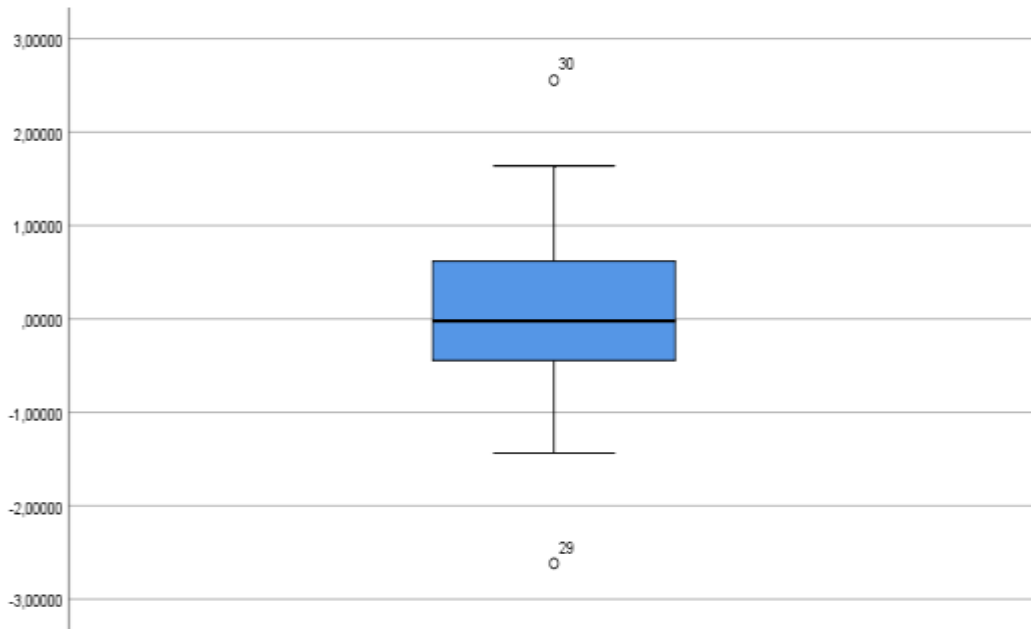
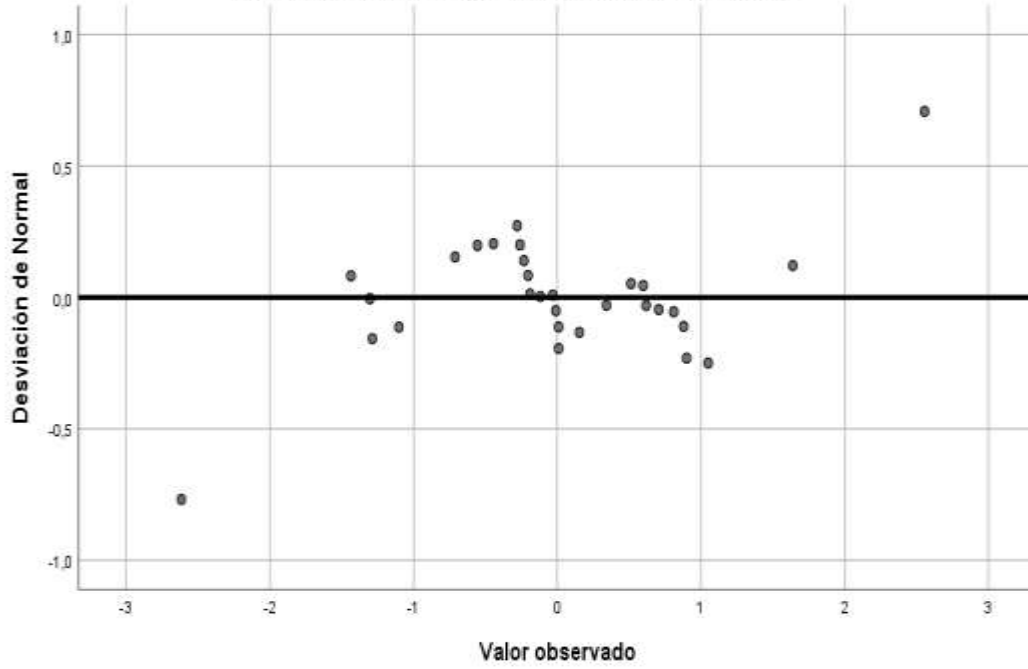


Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con INDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_3 QUADRÁTIC



Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con INDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_3 QUADRÁTIC

c) Independencia de los residuos estandarizados.

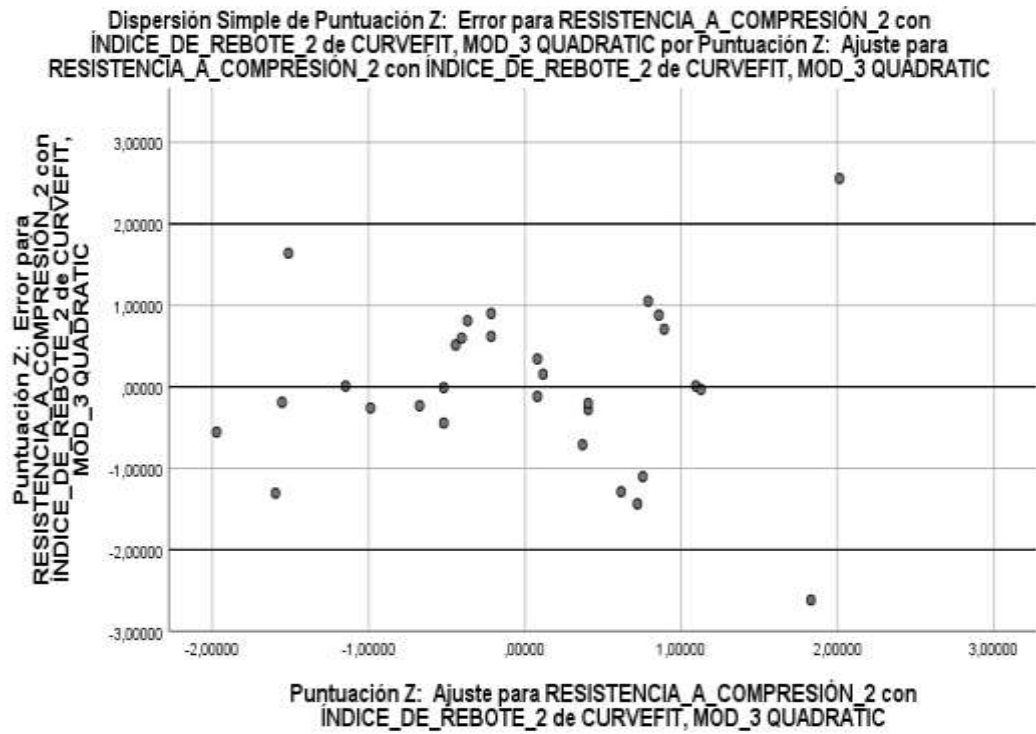
Prueba de rachas	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_3 QUADRATIC	
Valor de pruebaa	-,02114
Casos < Valor de prueba	15
Casos >= Valor de prueba	15
Casos totales	30
Número de rachas	10
Z	-2,044
Sig. asintótica(bilateral)	,041

b. Mediana

Prueba de rachas 2	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_3 QUADRATIC	
Valor de pruebaa	,0000000
Casos < Valor de prueba	16
Casos >= Valor de prueba	14
Casos totales	30
Número de rachas	10
Z	-2,028
Sig. asintótica(bilateral)	,043

b. Media

d) Homocedasticidad de los residuos estandarizados.



1.4 Modelo de ajuste de curva (Exponencial)

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,982	,964	,963	,014

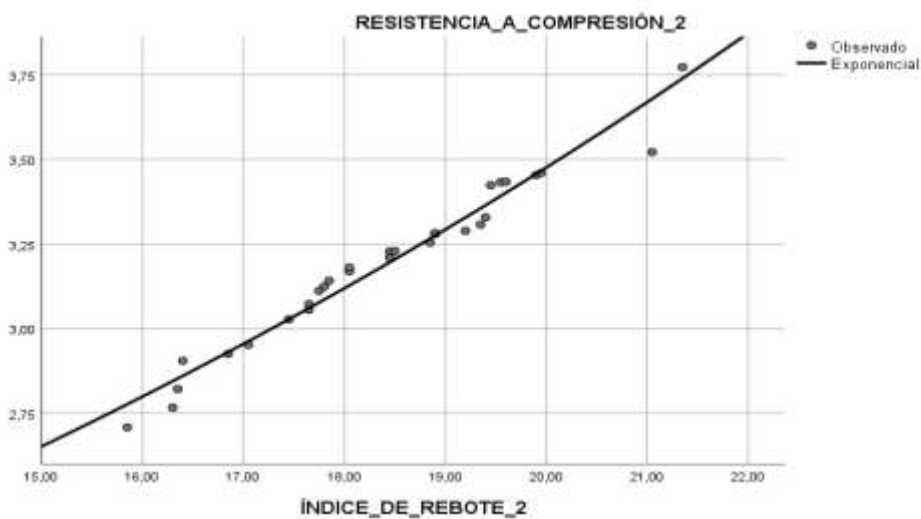
La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_2.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,159	1	,159	757,190	,000
Residuo	,006	28	,000		
Total	,164	29			

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_2.

Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
ÍNDICE_DE_REBOTE_2	,054	,002	,982	27,517	,000
(Constante)	1,178	,043		27,578	,000

La variable dependiente es ln(RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2)



1.4.1 Validación y diagnóstico del (Modelo exponencial)

a) Descriptivos para la estandarización de residuos.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Ajuste para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL	30	2,77683	3,73902	3,1954162	,23739245
Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL	30	-,15751	,05308	,0002417	,04619441
N válido (por lista)	30				

b) Normalidad de los residuos estandarizados.

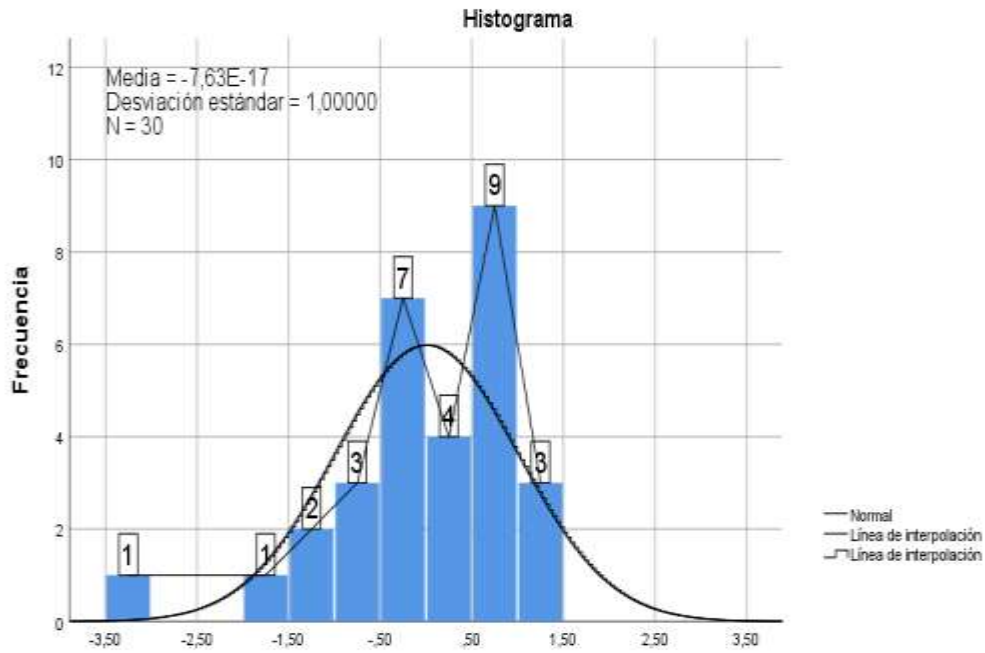
Descriptivos			Error estándar	
	Estadístico			
Puntuación Z: Error Media	,0000000			,18257419
para 95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	-,3734061	
RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4		Límite superior	,3734061	
Media recortada al 5%	,0956327			
Mediana	,1286175			

EXPONENTIAL	Varianza	1,000	
	Desviación estándar	1,0000000	
		0	
	Mínimo	-3,41495	
	Máximo	1,14381	
	Rango	4,55876	
	Rango intercuartil	1,13519	
	Asimetría	-1,563	,427
	Curtosis	3,417	,833

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_C OMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBO TE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL	,160	30	,048	,870	30	,002

a. Corrección de significación de Lilliefors

Puntuación Z: Error para RESISTENCIA A COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE DE REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL



Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL

Gráfico Q-Q normal de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL

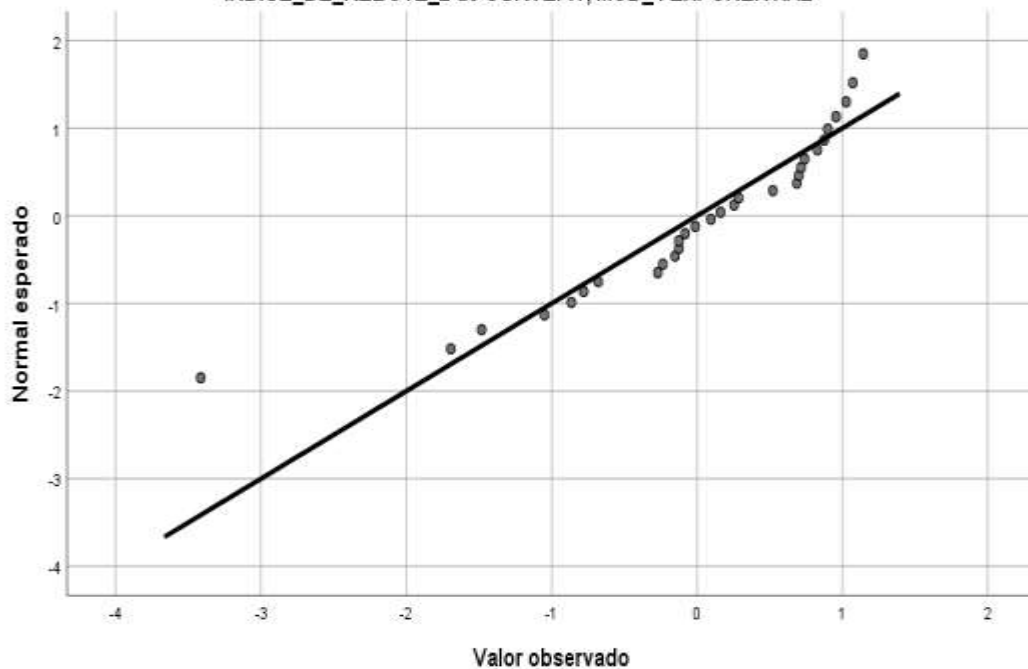
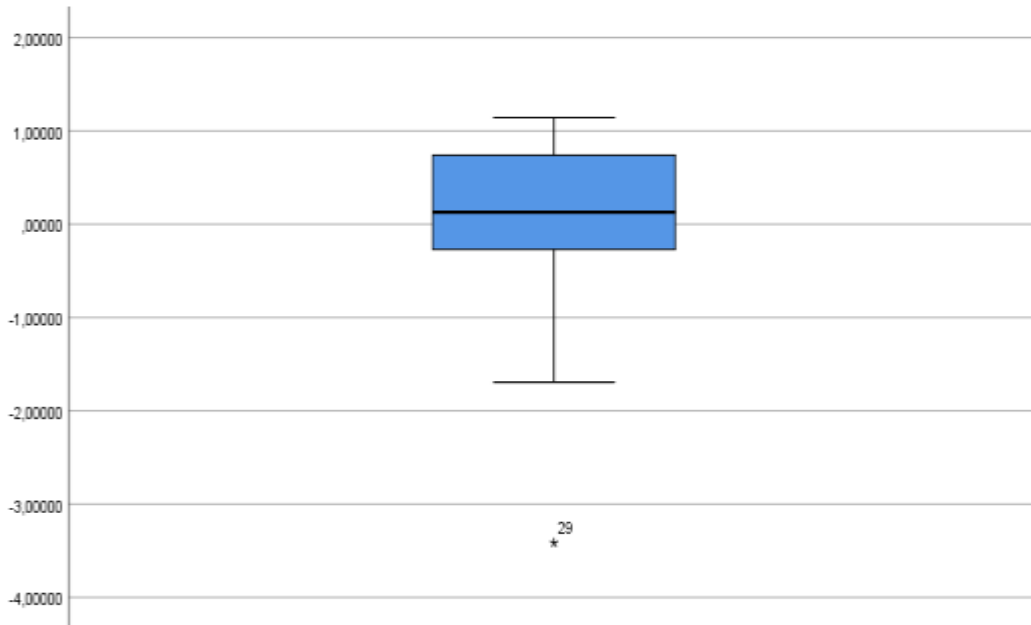
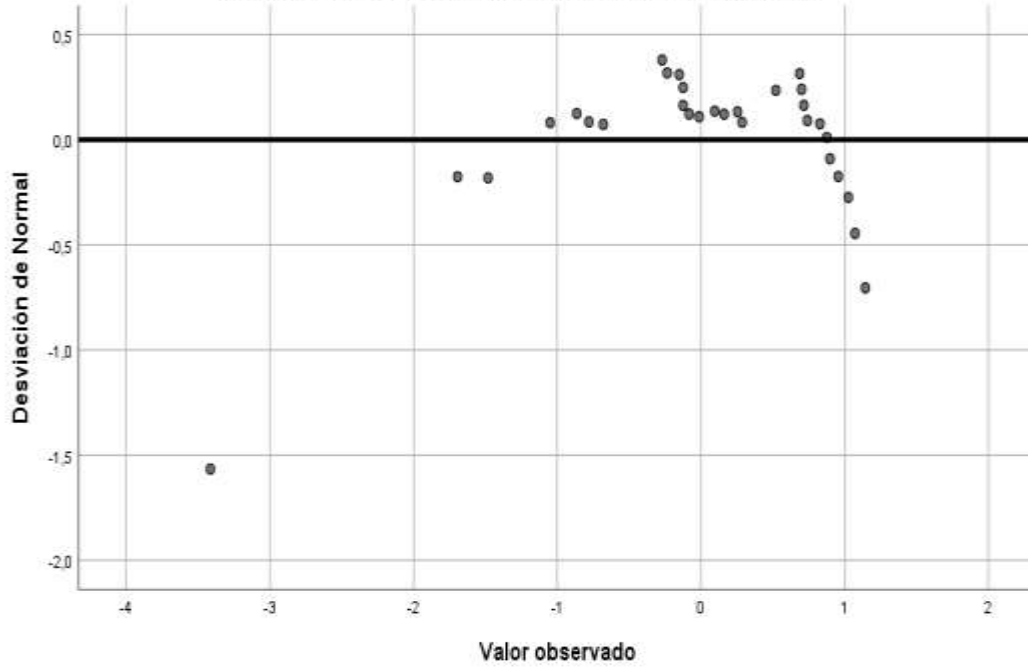


Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL



Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL

c) Independencia de los residuos estandarizados.

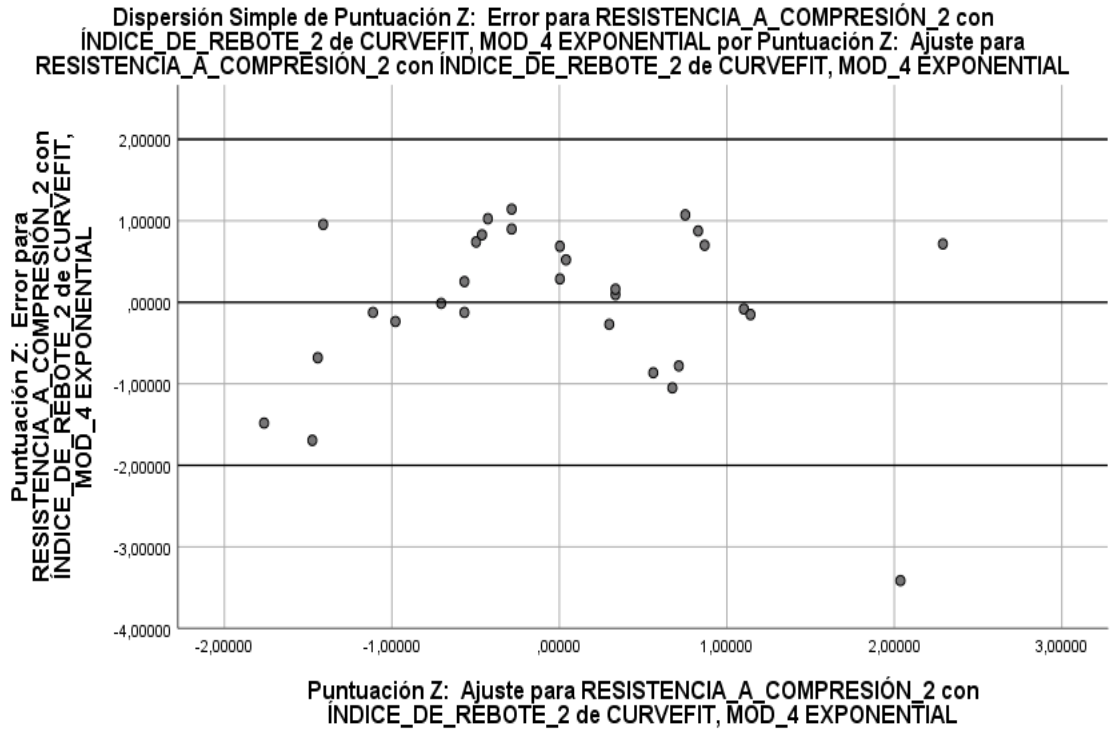
Prueba de rachas	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL	
Valor de pruebaa	,12862
Casos < Valor de prueba	15
Casos >= Valor de prueba	15
Casos totales	30
Número de rachas	10
Z	-2,044
Sig. asintótica(bilateral)	,041

a. Mediana

Prueba de rachas 2	
Puntuación Z: Error para RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2 con ÍNDICE_DE_REBOTE_2 de CURVEFIT, MOD_4 EXPONENTIAL	
Valor de pruebaa	,0000000
Casos < Valor de prueba	14
Casos >= Valor de prueba	16
Casos totales	30
Número de rachas	10
Z	-2,028
Sig. asintótica(bilateral)	,043

b. Media

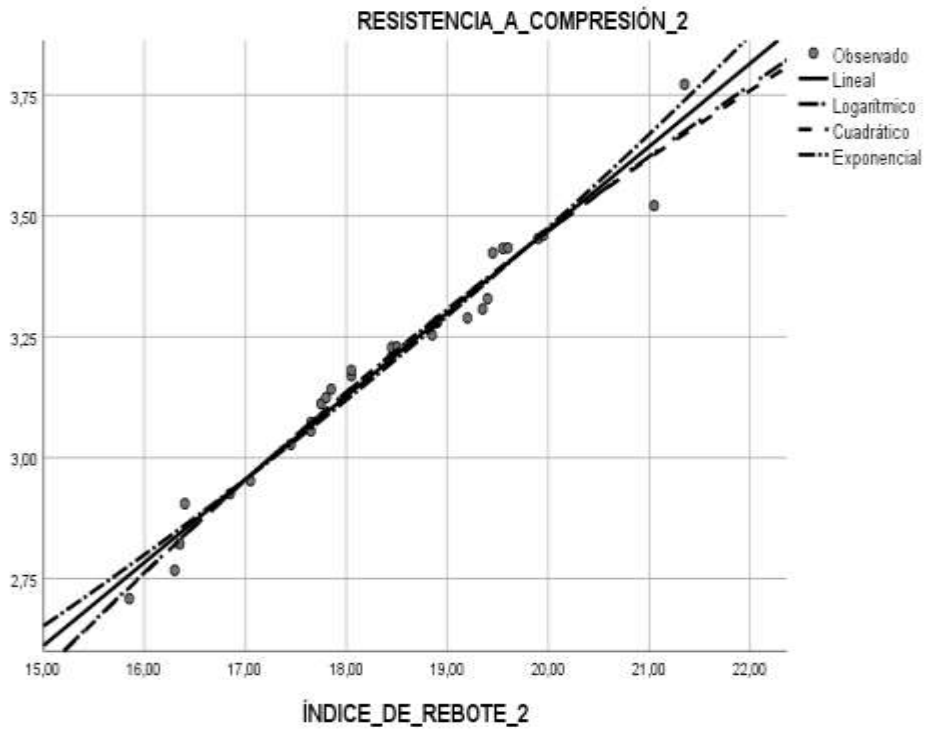
d) Homocedasticidad de los residuos estandarizados.



1.5 Resumen

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro								
Variable dependiente: RESISTENCIA_A_COMPRESIÓN_2								
	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
Ecuación	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,969	879,049	1	28	,000	,031	,172	
Logarítmico	,972	966,096	1	28	,000	-6,011	3,164	
Cuadrático	,972	462,842	2	27	,000	-1,757	,367	-,005
Exponencial	,964	757,190	1	28	,000	1,178	,054	

La variable independiente es ÍNDICE_DE_REBOTE_2.



**ANEXO D: ESTIMACIONES DE LA RESISTENCIA
DEL SUELO CEMENTO.**



UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).

Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.

Tipo de suelo: A - 4 IG-1

Tipo de cemento: IP-30-Yura

Porcentaje de cemento: 5%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].

Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

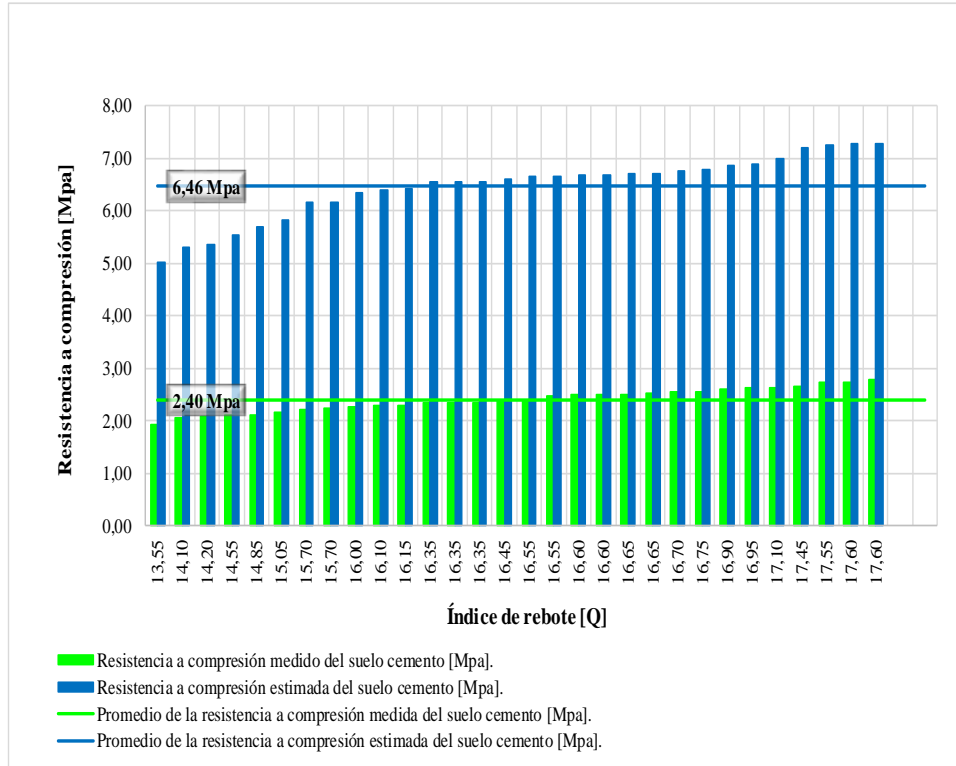
Formula de conversión: $\hat{y} = 0.0108x^2 + 0,2236x$

4. DATOS TÉCNICOS

Nº	[x]	[y]	[ŷ]
1	13,55	1,93	5,01
2	14,10	2,06	5,30
3	14,20	2,10	5,35
4	14,55	2,10	5,54
5	14,85	2,12	5,70
6	15,05	2,17	5,81
7	15,70	2,23	6,17
8	15,70	2,25	6,17
9	16,00	2,27	6,34
10	16,10	2,28	6,40
11	16,15	2,30	6,43
12	16,35	2,34	6,54
13	16,35	2,34	6,54
14	16,35	2,34	6,54
15	16,45	2,39	6,60
16	16,55	2,40	6,66
17	16,55	2,47	6,66
18	16,60	2,50	6,69
19	16,60	2,51	6,69
20	16,65	2,51	6,72
21	16,65	2,52	6,72
22	16,70	2,55	6,75
23	16,75	2,56	6,78
24	16,90	2,60	6,86
25	16,95	2,63	6,89
26	17,10	2,64	6,98
27	17,45	2,66	7,19
28	17,55	2,74	7,25
29	17,60	2,75	7,28
30	17,60	2,79	7,28
Promedio	16,19	2,40	6,46

Nota. La formula pertenece al modelo de curva de conversión proporcionado por el fabricante del esclerómetro Silver Schmidt.

4. GRÁFICO





UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).

Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.

Tipo de suelo: A - 4 IG-1

Tipo de cemento: IP-30-Yura

Porcentaje de cemento: 5%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].

Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

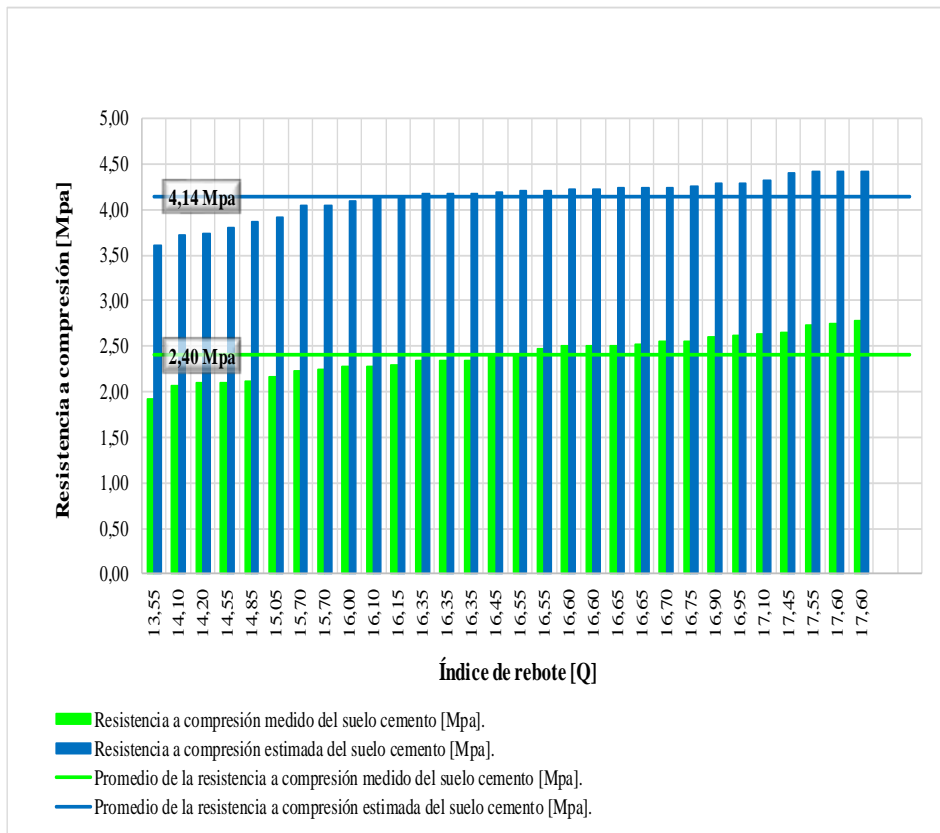
Formula de conversión: $\hat{y} = 0.202x + 0.870$

4. DATOS TÉCNICOS

Nº	[x]	[y]	[ŷ]
1	13,55	1,93	3,61
2	14,10	2,06	3,72
3	14,20	2,10	3,74
4	14,55	2,10	3,81
5	14,85	2,12	3,87
6	15,05	2,17	3,91
7	15,70	2,23	4,04
8	15,70	2,25	4,04
9	16,00	2,27	4,10
10	16,10	2,28	4,12
11	16,15	2,30	4,13
12	16,35	2,34	4,17
13	16,35	2,34	4,17
14	16,35	2,34	4,17
15	16,45	2,39	4,19
16	16,55	2,40	4,21
17	16,55	2,47	4,21
18	16,60	2,50	4,22
19	16,60	2,51	4,22
20	16,65	2,51	4,23
21	16,65	2,52	4,23
22	16,70	2,55	4,24
23	16,75	2,56	4,25
24	16,90	2,60	4,28
25	16,95	2,63	4,29
26	17,10	2,64	4,32
27	17,45	2,66	4,39
28	17,55	2,74	4,42
29	17,60	2,75	4,43
30	17,60	2,79	4,43
Promedio	16,19	2,40	4,14

Nota. La fórmula corresponde al modelo lineal obtenido mediante el programa SPSS, el cual se desarrolló a partir del análisis estadístico de los datos experimentales.

4. GRÁFICO





UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).

Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.

Tipo de suelo: A - 4 IG-1

Tipo de cemento: IP-30-Yura

Porcentaje de cemento: 5%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].

Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

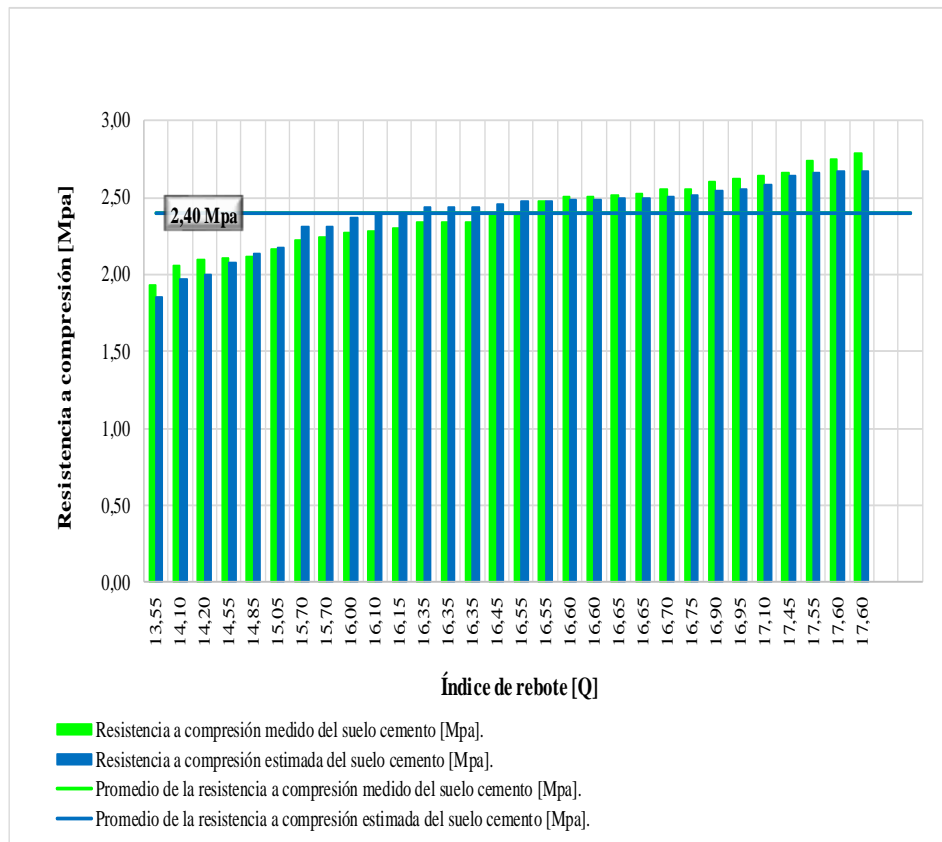
Formula de conversión: $\hat{y} = 3.131 \ln(x) - 6.311$

4. DATOS TÉCNICOS

Nº	[x]	[y]	[ŷ]
1	13,55	1,93	1,85
2	14,10	2,06	1,97
3	14,20	2,10	2,00
4	14,55	2,10	2,07
5	14,85	2,12	2,14
6	15,05	2,17	2,18
7	15,70	2,23	2,31
8	15,70	2,25	2,31
9	16,00	2,27	2,37
10	16,10	2,28	2,39
11	16,15	2,30	2,40
12	16,35	2,34	2,44
13	16,35	2,34	2,44
14	16,35	2,34	2,44
15	16,45	2,39	2,46
16	16,55	2,40	2,48
17	16,55	2,47	2,48
18	16,60	2,50	2,49
19	16,60	2,51	2,49
20	16,65	2,51	2,49
21	16,65	2,52	2,49
22	16,70	2,55	2,50
23	16,75	2,56	2,51
24	16,90	2,60	2,54
25	16,95	2,63	2,55
26	17,10	2,64	2,58
27	17,45	2,66	2,64
28	17,55	2,74	2,66
29	17,60	2,75	2,67
30	17,60	2,79	2,67
Promedio	16,19	2,40	2,40

Nota. La fórmula corresponde al modelo logarítmico obtenido mediante el programa SPSS, el cual se desarrolló a partir del análisis estadístico de los datos experimentales.

4. GRÁFICO





UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.
Tipo de suelo: A - 4 IG-1
Tipo de cemento: IP-30-Yura
Porcentaje de cemento: 5%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].
Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

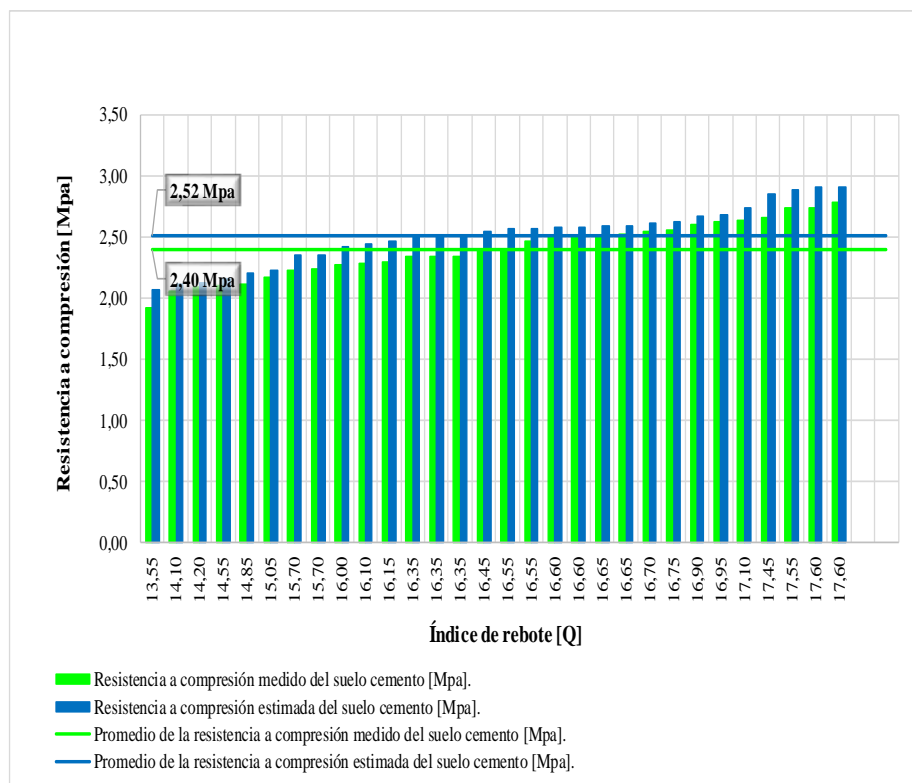
Formula de conversión: $\hat{y} = 0.039x^2 - 1.009x + 8.587$

4. DATOS TÉCNICOS

N°	[x]	[y]	[ŷ]
1	13,55	1,93	2,08
2	14,10	2,06	2,11
3	14,20	2,10	2,12
4	14,55	2,10	2,16
5	14,85	2,12	2,20
6	15,05	2,17	2,24
7	15,70	2,23	2,36
8	15,70	2,25	2,36
9	16,00	2,27	2,43
10	16,10	2,28	2,45
11	16,15	2,30	2,46
12	16,35	2,34	2,52
13	16,35	2,34	2,52
14	16,35	2,34	2,52
15	16,45	2,39	2,54
16	16,55	2,40	2,57
17	16,55	2,47	2,57
18	16,60	2,50	2,58
19	16,60	2,51	2,58
20	16,65	2,51	2,60
21	16,65	2,52	2,60
22	16,70	2,55	2,61
23	16,75	2,56	2,63
24	16,90	2,60	2,67
25	16,95	2,63	2,69
26	17,10	2,64	2,74
27	17,45	2,66	2,86
28	17,55	2,74	2,89
29	17,60	2,75	2,91
30	17,60	2,79	2,91
Promedio	16,19	2,40	2,52

Nota. La fórmula corresponde al modelo cuadrático obtenido mediante el programa SPSS, el cual se desarrolló a partir del análisis estadístico de los datos experimentales.

4. GRÁFICO





UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).

Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.

Tipo de suelo: A - 4 IG-1

Tipo de cemento: IP-30-Yura

Porcentaje de cemento: 5%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].

Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

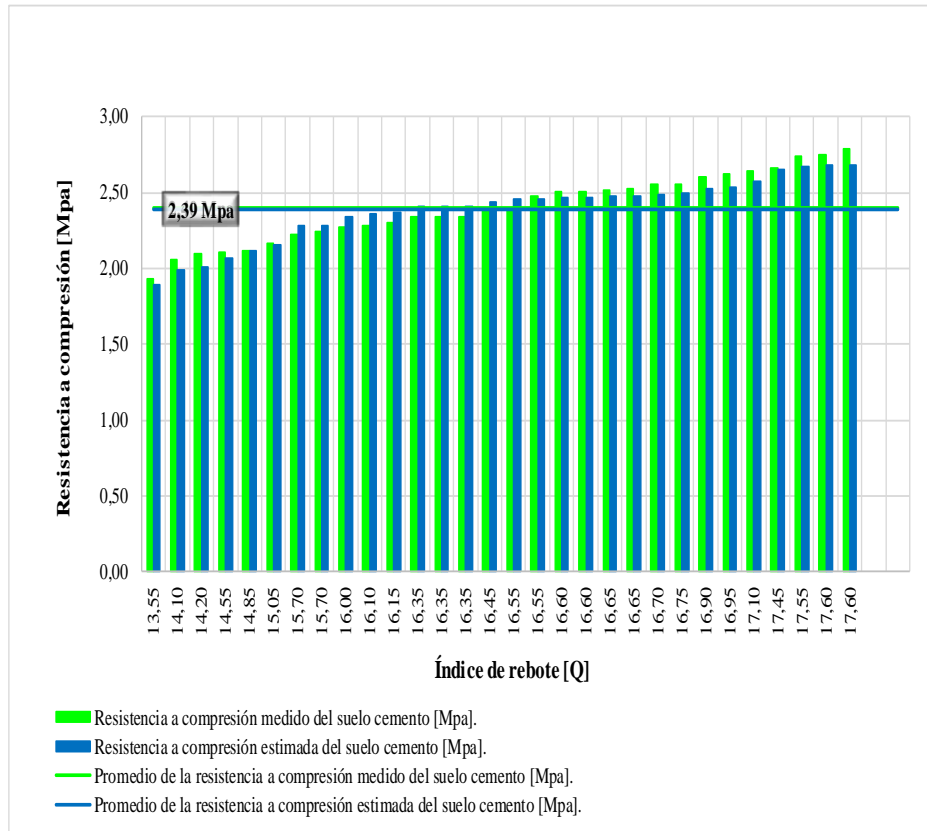
Formula de conversión: $\hat{y} = 0.591e^{0.086x}$

4. DATOS TÉCNICOS

Nº	[x]	[y]	[ŷ]
1	13,55	1,93	1,90
2	14,10	2,06	1,99
3	14,20	2,10	2,00
4	14,55	2,10	2,07
5	14,85	2,12	2,12
6	15,05	2,17	2,16
7	15,70	2,23	2,28
8	15,70	2,25	2,28
9	16,00	2,27	2,34
10	16,10	2,28	2,36
11	16,15	2,30	2,37
12	16,35	2,34	2,41
13	16,35	2,34	2,41
14	16,35	2,34	2,41
15	16,45	2,39	2,43
16	16,55	2,40	2,45
17	16,55	2,47	2,45
18	16,60	2,50	2,46
19	16,60	2,51	2,46
20	16,65	2,51	2,47
21	16,65	2,52	2,47
22	16,70	2,55	2,48
23	16,75	2,56	2,50
24	16,90	2,60	2,53
25	16,95	2,63	2,54
26	17,10	2,64	2,57
27	17,45	2,66	2,65
28	17,55	2,74	2,67
29	17,60	2,75	2,68
30	17,60	2,79	2,68
Promedio	16,19	2,40	2,39

Nota. La fórmula corresponde al modelo exponencial obtenido mediante el programa SPSS, el cual se desarrolló a partir del análisis estadístico de los datos experimentales.

4. GRÁFICO





UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.
Tipo de suelo: A - 4 IG-1
Tipo de cemento: IP-30-Yura
Porcentaje de cemento: 7%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].
Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

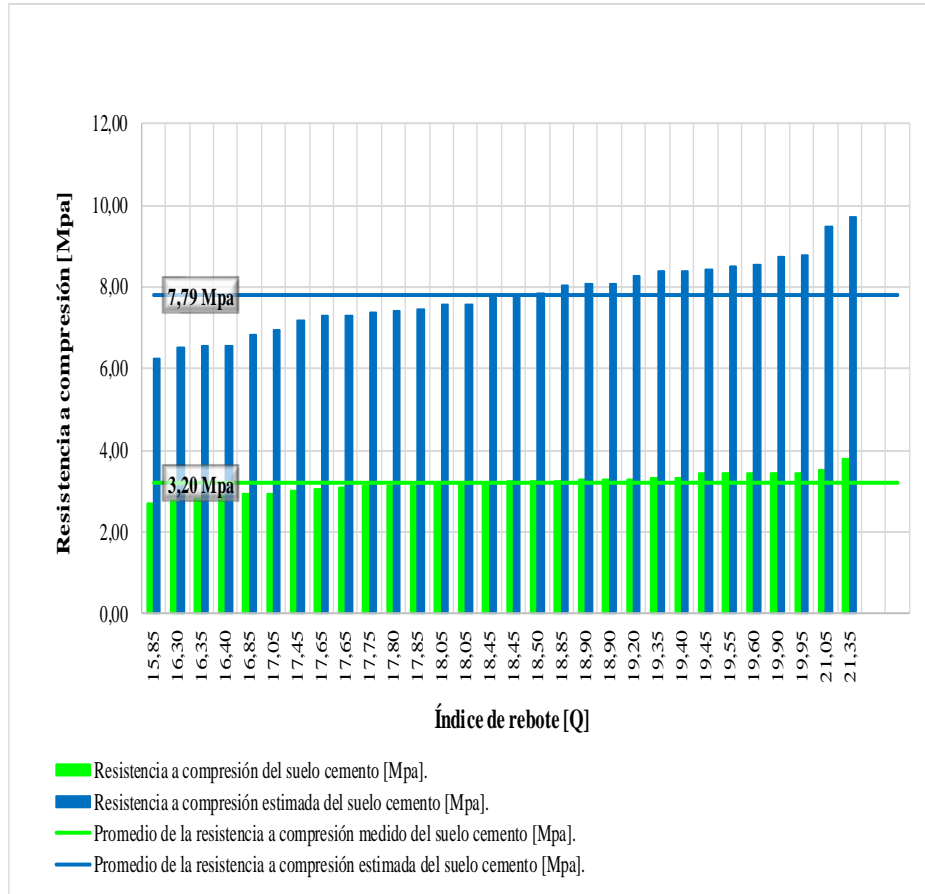
Formula de conversión: $\hat{y} = 0.0108x^2 + 0,2236x$

4. DATOS TÉCNICOS

N°	[x]	[y]	[\\$]
1	15,85	2,71	6,26
2	16,30	2,77	6,51
3	16,35	2,82	6,54
4	16,40	2,91	6,57
5	16,85	2,93	6,83
6	17,05	2,95	6,95
7	17,45	3,03	7,19
8	17,65	3,06	7,31
9	17,65	3,07	7,31
10	17,75	3,11	7,37
11	17,80	3,12	7,40
12	17,85	3,14	7,43
13	18,05	3,17	7,55
14	18,05	3,18	7,55
15	18,45	3,21	7,80
16	18,45	3,23	7,80
17	18,50	3,23	7,83
18	18,85	3,25	8,05
19	18,90	3,28	8,08
20	18,90	3,28	8,08
21	19,20	3,29	8,27
22	19,35	3,31	8,37
23	19,40	3,33	8,40
24	19,45	3,42	8,43
25	19,55	3,43	8,50
26	19,60	3,43	8,53
27	19,90	3,45	8,73
28	19,95	3,46	8,76
29	21,05	3,52	9,49
30	21,35	3,77	9,70
Promedio	18,40	3,20	7,79

Nota. La formula pertenece al modelo de curva de conversión proporcionado por el fabricante del esclerómetro Silver Schmidt.

4. GRÁFICO





UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.
Tipo de suelo: A - 4 IG-1
Tipo de cemento: IP-30-Yura
Porcentaje de cemento: 7%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].
Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

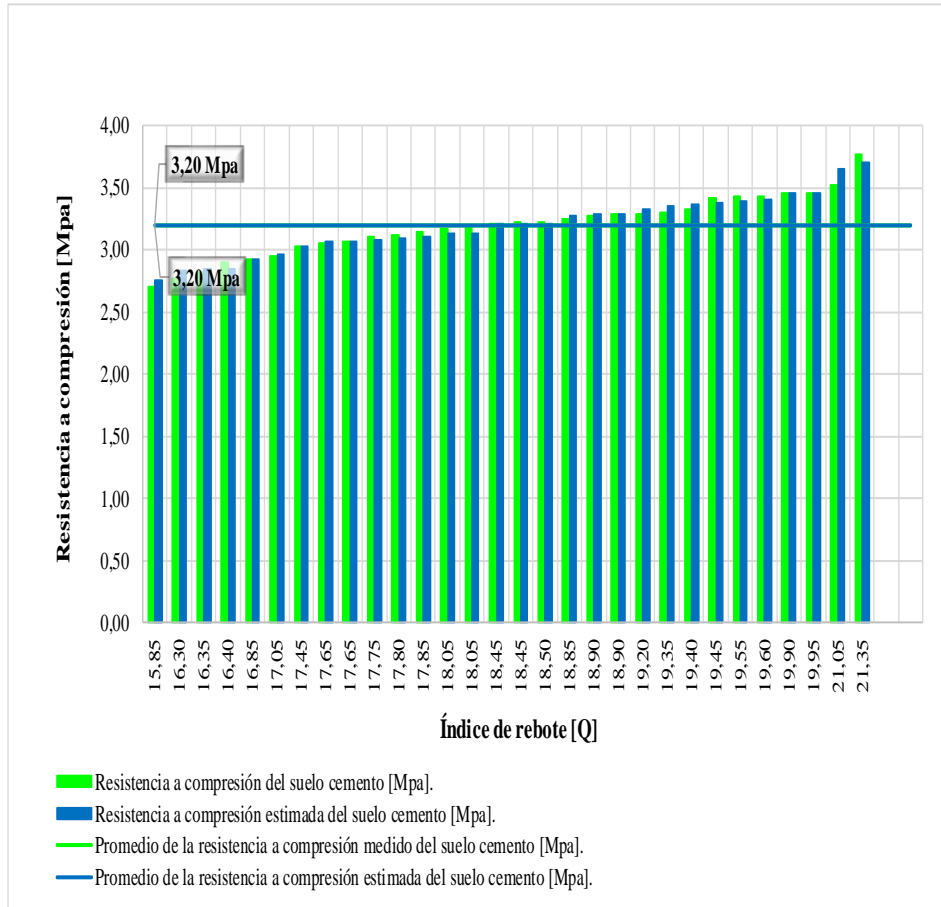
Formula de conversión: $\hat{y} = 0,172x + 0,031$

4. DATOS TÉCNICOS

Nº	[x]	[y]	[ŷ]
1	15,85	2,71	2,76
2	16,30	2,77	2,83
3	16,35	2,82	2,84
4	16,40	2,91	2,85
5	16,85	2,93	2,93
6	17,05	2,95	2,96
7	17,45	3,03	3,03
8	17,65	3,06	3,07
9	17,65	3,07	3,07
10	17,75	3,11	3,08
11	17,80	3,12	3,09
12	17,85	3,14	3,10
13	18,05	3,17	3,14
14	18,05	3,18	3,14
15	18,45	3,21	3,20
16	18,45	3,23	3,20
17	18,50	3,23	3,21
18	18,85	3,25	3,27
19	18,90	3,28	3,28
20	18,90	3,28	3,28
21	19,20	3,29	3,33
22	19,35	3,31	3,36
23	19,40	3,33	3,37
24	19,45	3,42	3,38
25	19,55	3,43	3,39
26	19,60	3,43	3,40
27	19,90	3,45	3,45
28	19,95	3,46	3,46
29	21,05	3,52	3,65
30	21,35	3,77	3,70
Promedio	18,40	3,20	3,20

Nota. La fórmula corresponde al modelo lineal obtenido mediante el programa SPSS, el cual se desarrolló a partir del análisis estadístico de los datos experimentales.

4. GRÁFICO





UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.
Tipo de suelo: A - 4 IG-1
Tipo de cemento: IP-30-Yura
Porcentaje de cemento: 7%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].
Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

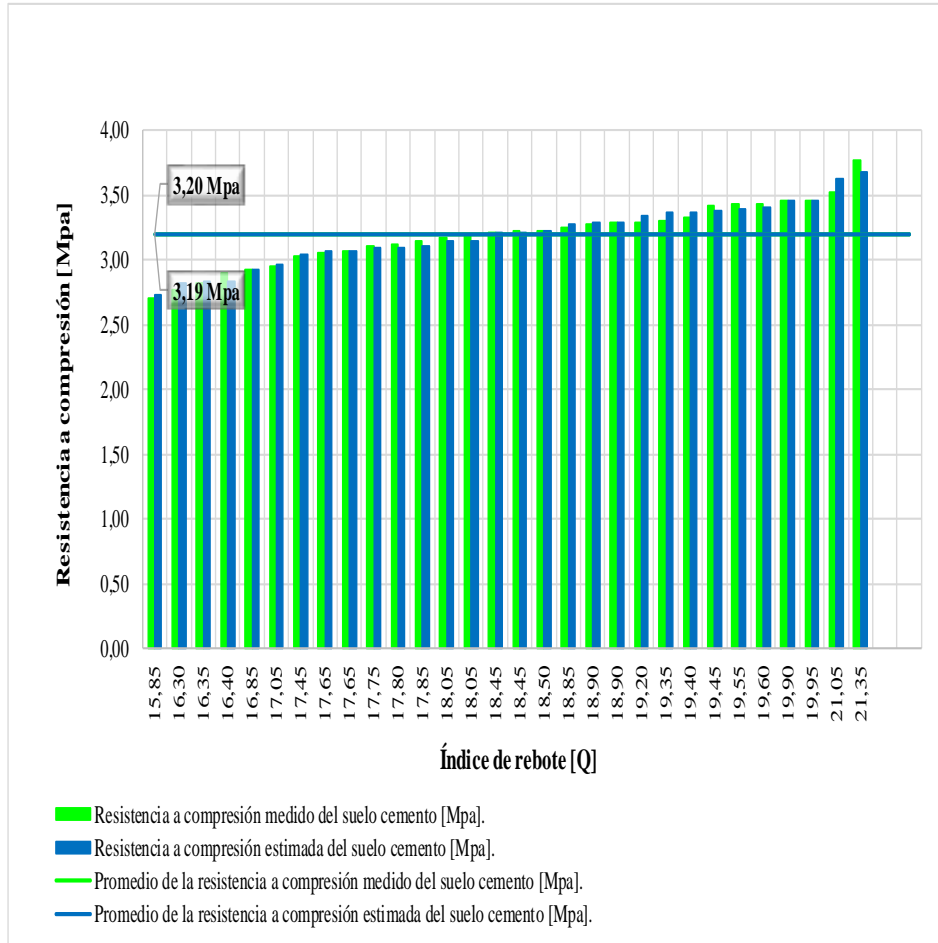
Formula de conversión: $\hat{y} = 3.164\ln(x) - 6.011$

4. DATOS TÉCNICOS

Nº	[x]	[y]	[ŷ]
1	15,85	2,71	2,73
2	16,30	2,77	2,82
3	16,35	2,82	2,83
4	16,40	2,91	2,84
5	16,85	2,93	2,93
6	17,05	2,95	2,96
7	17,45	3,03	3,04
8	17,65	3,06	3,07
9	17,65	3,07	3,07
10	17,75	3,11	3,09
11	17,80	3,12	3,10
12	17,85	3,14	3,11
13	18,05	3,17	3,14
14	18,05	3,18	3,14
15	18,45	3,21	3,21
16	18,45	3,23	3,21
17	18,50	3,23	3,22
18	18,85	3,25	3,28
19	18,90	3,28	3,29
20	18,90	3,28	3,29
21	19,20	3,29	3,34
22	19,35	3,31	3,36
23	19,40	3,33	3,37
24	19,45	3,42	3,38
25	19,55	3,43	3,40
26	19,60	3,43	3,40
27	19,90	3,45	3,45
28	19,95	3,46	3,46
29	21,05	3,52	3,63
30	21,35	3,77	3,67
Promedio	18,40	3,20	3,19

Nota. La fórmula corresponde al modelo logarítmico obtenido mediante el programa SPSS, el cual se desarrolló a partir del análisis estadístico de los datos experimentales.

4. GRÁFICO





**RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.**

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.
Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).
Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.
Tipo de suelo: A - 4 IG-1
Tipo de cemento: IP-30-Yura
Porcentaje de cemento: 7%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].
Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

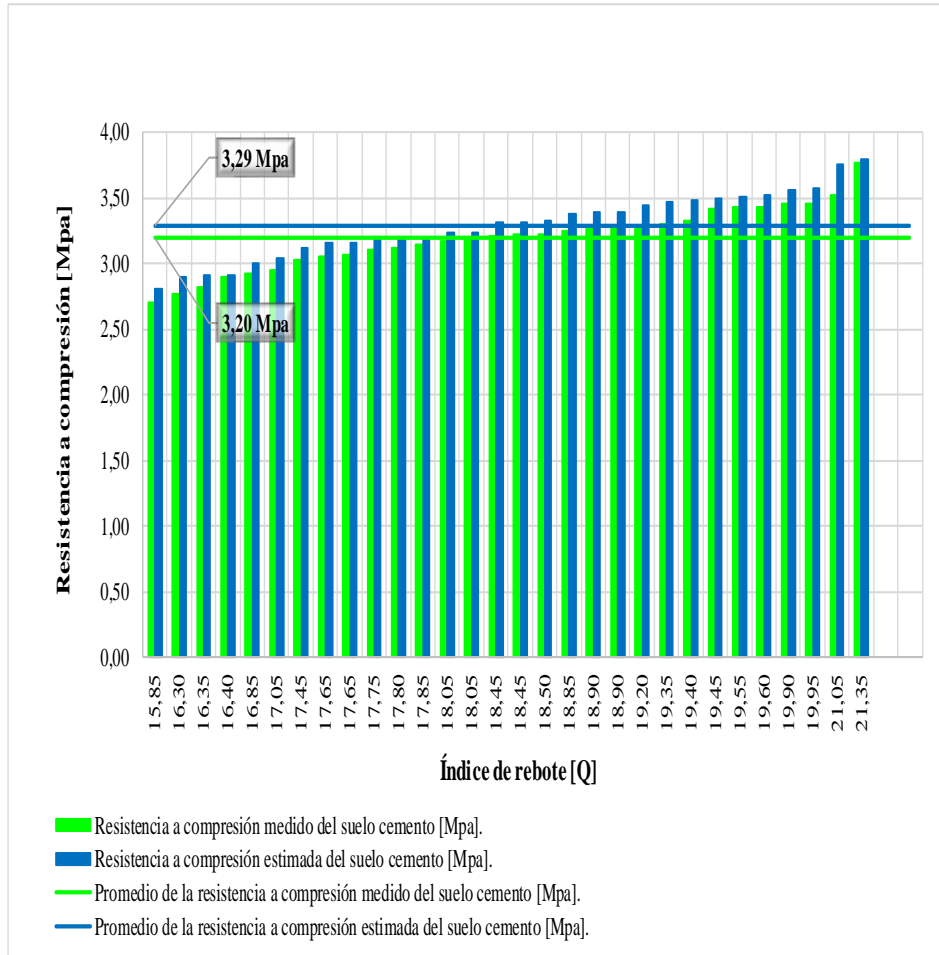
Formula de conversión: $\hat{y} = -0.005x^2 + 0.367x - 1.757$

4. DATOS TÉCNICOS

Nº	[x]	[y]	[ŷ]
1	15,85	2,71	2,80
2	16,30	2,77	2,90
3	16,35	2,82	2,91
4	16,40	2,91	2,92
5	16,85	2,93	3,01
6	17,05	2,95	3,05
7	17,45	3,03	3,12
8	17,65	3,06	3,16
9	17,65	3,07	3,16
10	17,75	3,11	3,18
11	17,80	3,12	3,19
12	17,85	3,14	3,20
13	18,05	3,17	3,24
14	18,05	3,18	3,24
15	18,45	3,21	3,31
16	18,45	3,23	3,31
17	18,50	3,23	3,32
18	18,85	3,25	3,38
19	18,90	3,28	3,39
20	18,90	3,28	3,39
21	19,20	3,29	3,45
22	19,35	3,31	3,47
23	19,40	3,33	3,48
24	19,45	3,42	3,49
25	19,55	3,43	3,51
26	19,60	3,43	3,52
27	19,90	3,45	3,57
28	19,95	3,46	3,57
29	21,05	3,52	3,75
30	21,35	3,77	3,80
Promedio	18,40	3,20	3,29

Nota. La fórmula corresponde al modelo cuadrático obtenido mediante el programa SPSS, el cual se desarrolló a partir del análisis estadístico de los datos experimentales.

4. GRÁFICO





UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Laboratorio de Suelos y Hormigones

RESISTENCIA ESTIMADA DEL SUELO CEMENTO
CON ENSAYOS DE ESCLEROMETRÍA CON RESPECTO A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

1. DATOS GENERALES

Proyecto: Evaluación de dosificación del suelo cemento con ensayos de compresión simple y esclerometría.

Ubicación: Universidad Amazónica de Pando (B/ Las Palmas).

Operador y procesador: Univ. Alexa Puerta Da Silva.

2. DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de ensayo: Probetas cilíndricas de suelo cemento.

Tipo de suelo: A - 4 IG-1

Tipo de cemento: IP-30-Yura

Porcentaje de cemento: 7%

3. DATOS DE LAS VARIABLES

Variable independiente [x]: Índice de rebote [Q].

Variable dependiente [y]: Resistencia a compresión [Mpa].

Formula de conversión: $\hat{y} = 1,178e^{0,054x}$

4. DATOS TÉCNICOS

N°	[x]	[y]	[ŷ]
1	15,85	2,71	2,77
2	16,30	2,77	2,84
3	16,35	2,82	2,85
4	16,40	2,91	2,86
5	16,85	2,93	2,93
6	17,05	2,95	2,96
7	17,45	3,03	3,02
8	17,65	3,06	3,06
9	17,65	3,07	3,06
10	17,75	3,11	3,07
11	17,80	3,12	3,08
12	17,85	3,14	3,09
13	18,05	3,17	3,12
14	18,05	3,18	3,12
15	18,45	3,21	3,19
16	18,45	3,23	3,19
17	18,50	3,23	3,20
18	18,85	3,25	3,26
19	18,90	3,28	3,27
20	18,90	3,28	3,27
21	19,20	3,29	3,32
22	19,35	3,31	3,35
23	19,40	3,33	3,36
24	19,45	3,42	3,37
25	19,55	3,43	3,39
26	19,60	3,43	3,39
27	19,90	3,45	3,45
28	19,95	3,46	3,46
29	21,05	3,52	3,67
30	21,35	3,77	3,73
Promedio	18,40	3,20	3,19

Nota. La fórmula corresponde al modelo exponencial obtenido mediante el programa SPSS, el cual se desarrolló a partir del análisis estadístico de los datos experimentales.

4. GRÁFICO

