



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL Y VIRUTA EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS TIPO TAPIAL PARA
VIVIENDAS RURALES EN EL DISTRITO DE ACORA,
PROVINCIA PUNO 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ERICK ANTHONY BARRIONUEVO CONDORI

Bach. PAUL SERGIO BAILON APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:


INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2025



ERICK ANTHONY BARRIONUEVO CONDORI - PAU... INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL Y VIRUTA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS TIPO TAPIAL PARA VI...

 Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:465843274

Fecha de entrega
9 jun 2025, 7:40 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
9 jun 2025, 7:47 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
tesis borrador tapial.pdf

Tamaño de archivo
10.7 MB

331 Páginas

57.938 Palabras

288.023 Caracteres


 **Ing. Samuel Huaguisto Cáceres**
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007637


 **Ing. Félix Rojas Chahuares**
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2051221





6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 1% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Ing. Samuel Huamani Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007537

Ing. Félix Rojas Chahuares
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2051221





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL Y VIRUTA EN LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE MUROS TIPO TAPIAL PARA VIVIENDAS RURALES EN EL
DISTRITO DE ACORA, PROVINCIA PUNO 2023

TESIS PRESENTADA POR:
ERICK ANTHONY BARRIONUEVO CONDORI

PAUL SERGIO BAILON APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

M.C. GINO FRANK LAQUE CORDOVA

PRIMER MIEMBRO

:

M.SC. YASMANI TEÓFILO VITULAS QUILLE

SEGUNDO MIEMBRO

:

ING. GLENY ZOILA DE LA RIVA TAPIA

ASESOR DE TESIS

:

DR.SC. SAMUEL HUAQUISTO CÁCERES

ÁREA: Construcciones

TEMA: Influencia de la adición de cal y viruta en las propiedades mecánicas de
muros tipo tapial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 16 de junio del 2025



M.C. Juana I. Zavaleta Gómez
Dra. En Matemáticas



DEDICATORIA

A mis padres, Rafael Barrionuevo Ortega y María Elena Condori Mamani cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios han sido la base sobre la cual he construido mis sueños. Gracias por creer en mí y por brindarme la fortaleza y el coraje para seguir adelante en cada etapa de mi vida.

Erick Anthony Barrionuevo Condori



Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mis queridos padres, Virginia Apaza Gallegos y Oswaldo Sergio Bailon Ari. Desde mis primeros pasos, hasta el día de hoy y siempre serán mi fuente constante de inspiración, fortaleza y guía. Su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido fundamentales para que hoy pueda presentar este logro académico. Gracias, mamá y papá, por su ternura, paciencia y esfuerzo por enseñarme a ver el mundo con esperanza. Este logro es tan suyo como mío. Son mis ángeles guardianes que Dios puso en mi vida y por todo ello les dedico este trabajo con el corazón lleno de gratitud. No bastara decirles todo lo que significan para mí en esta hoja. ¡Los quiero mucho!

Paul Sergio Bailon Apaza



AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos aprovechar esta oportunidad para extender nuestro más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno por habernos brindado un ambiente académico dinámico, así como los recursos que fueron importantes para la realización exitosa de este proyecto. Nuestro desarrollo académico y profesional no hubiera sido posible sin la ayuda de la institución, que nos ha permitido construir este proyecto proporcionándonos los recursos y el apoyo necesarios.

Quisiéramos expresar nuestro profundo agradecimiento al Dr. Sc. Samuel Huaquisto Cáceres, nuestro asesor académico, por habernos proporcionado una asistencia competente y un apoyo inquebrantable durante todo el proceso de realización de este estudio. La realización de esta tesis no hubiera sido posible sin su paciencia, experiencia y consejos, ya que fueron invaluable.

Erick Anthony Barrionuevo Condori

Paul Sergio Bailon Apaza



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	29
ABSTRACT.....	30
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	36
1.2 FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	39
1.2.1 Pregunta general de investigación.....	39
1.2.2 Pregunta específica de investigación.....	39
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	40
1.3.1 Hipótesis general.....	40
1.3.2 Hipótesis específicas	40
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	40
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	44
1.5.1 Objetivo general.....	44
1.5.2 Objetivos específicos.....	44
1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	44



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES	46
2.1.1	Antecedentes internacionales	46
2.1.2	Antecedentes nacionales	52
2.1.3	Antecedentes locales o regionales.....	58
2.2	MARCO TEÓRICO	63
2.2.1	Comportamiento estructural del tapial	63
2.2.1.1	Características mecánicas	63
2.2.2	Marco normativo y legal	66
2.2.2.1	Resistencia a compresión diagonal en muretes.....	66
2.2.2.2	Resistencia a compresión diagonal en muretes.....	67

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	69
3.1.1	Tipo de investigación	69
3.1.2	Nivel de la investigación.....	69
3.1.3	Enfoque de investigación	70
3.1.4	Diseño de la investigación.....	70
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	71
3.2.1	Población.....	71
3.2.2	Muestra.....	71
3.2.2.1	Muestras para resistencia a compresión axial.....	72
3.2.2.2	Muestras para resistencia a compresión diagonal.....	73
3.3	MATERIALES	74



3.3.1	Cal	74
3.3.2	Viruta	74
3.3.3	Tierra	75
3.3.4	Agua	76
3.4	EQUIPOS.....	76
3.5	DISEÑO ESTADÍSTICO	77
3.5.1	Prueba de normalidad.....	77
3.5.1.1	Prueba de Shapiro-Wilks.....	77
3.5.2	Análisis paramétrico.....	78
3.5.2.1	Prueba de relación entre variables	78
3.5.2.2	Estadístico de prueba ANOVA.....	80
3.6	PROCEDIMIENTO.....	83
3.6.1	Extracción de la muestra	83
3.6.1.1	Tierra	83
3.6.2	Caracterización de los materiales	85
3.6.2.1	Análisis granulométrico	85
3.6.2.2	Contenido de humedad.....	88
3.6.2.3	Límites de plasticidad	92
3.6.2.3.1	Límite líquido.....	92
3.6.2.3.2	Límite plástico	95
3.6.3	Dosificación para la elaboración de muretes.....	99
3.6.3.1	Compactación proctor estándar.....	100
3.6.4	Elaboración de los especímenes.....	116
3.6.4.1	Murete de albañilería a compresión axial	116
3.6.4.2	Murete de albañilería a compresión diagonal	127



3.6.5	Ensayos efectuados a los muretes tipo tapial	129
3.6.5.1	Resistencia a compresión axial de muretes.....	129
3.6.5.2	Resistencia a compresión diagonal de muretes.....	137

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS	144
4.1.1	Murete a compresión axial	144
4.1.1.1	Densidad.....	144
4.1.1.2	Contenido de humedad.....	157
4.1.1.3	Proceso de secado	175
4.1.1.4	Resistencia a compresión axial	176
4.1.1.5	Módulo de elasticidad	186
4.1.1.6	Formas de fallas en los especímenes.....	203
4.1.2	Murete a compresión diagonal	205
4.1.2.1	Densidad.....	205
4.1.2.2	Contenido de humedad.....	218
4.1.2.3	Proceso de secado	235
4.1.2.4	Resistencia a compresión diagonal	236
4.1.2.5	Módulo de corte	246
4.1.2.6	Formas de fallas en los especímenes.....	271
4.1.3	Interpretación de resultados	273
4.1.3.1	Interpretación de la resistencia a compresión axial	273
4.1.3.2	Interpretación de la resistencia a compresión diagonal	276
4.1.3.3	Interpretación del módulo de elasticidad	279
4.1.3.4	Interpretación del módulo de corte	282



4.2	CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	285
4.2.1	Resistencia a compresión axial de muretes	285
4.2.1.1	Prueba de normalidad.....	285
4.2.1.1.1	Hipótesis estadística	285
4.2.1.1.2	Regla de decisión.....	286
4.2.1.1.3	Interpretación y decisión.....	287
4.2.1.2	Prueba de relación entre variables	290
4.2.1.2.1	Variables: Viruta y resistencia a compresión axial	290
4.2.1.2.2	Variables: Cal y resistencia a compresión axial	291
4.2.1.3	Contraste de hipótesis	293
4.2.1.3.1	Hipótesis estadística	293
4.2.1.3.2	Estadístico de prueba ANOVA.....	293
4.2.2	Resistencia a compresión diagonal de muretes	294
4.2.2.1	Prueba de normalidad.....	295
4.2.2.1.1	Hipótesis estadística	295
4.2.2.1.2	Regla de decisión	295
4.2.2.1.3	Interpretación y decisión.....	296
4.2.2.2	Prueba de relación entre variables	300
4.2.2.2.1	Variables: Viruta y resistencia a compresión diagonal.....	300
4.2.2.2.2	Variables: Cal y resistencia a compresión diagonal	301
4.2.2.3	Contraste de hipótesis	303
4.2.2.3.1	Hipótesis estadística.....	303
4.2.2.3.2	Estadístico de prueba ANOVA.....	303
4.3	DISCUSIÓN	305
4.3.1	Resistencia a compresión axial de muretes	305



4.3.1.1	Relación entre la adición de cal y la resistencia.....	305
4.3.1.2	Relación entre la adición de viruta y la resistencia.....	307
4.3.2	Resistencia a compresión diagonal de muretes.....	309
4.3.2.1	Relación entre la adición de cal y la resistencia.....	309
4.3.2.2	Relación entre la adición de viruta y la resistencia.....	310
4.3.3	Propiedad del tapial.....	312
4.3.3.1	Módulo de elasticidad.....	312
4.3.3.2	Módulo de corte.....	314
4.4	CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....	315
4.4.1	Cumplimiento del objetivo específico N° 1.....	315
4.4.2	Cumplimiento del objetivo específico N° 2.....	316
4.4.3	Cumplimiento del objetivo específico N° 3.....	316
4.4.4	Cumplimiento del objetivo general.....	317
V.	CONCLUSIONES.....	319
VI.	RECOMENDACIONES.....	321
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	322
ANEXOS	327



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ensayo de compresión axial en muretes de tapial.....	67
Figura 2 Ensayo de compresión diagonal.....	68
Figura 3 Cal de obra	74
Figura 4 Tamizado de la viruta para eliminar restos de viruta.....	75
Figura 5 Organigrama de procesos	81
Figura 6 Esquema de producción de muretes	82
Figura 7 Ubicación de canteras para la extracción de muestras	83
Figura 8 Extracción de muestra cantera C-1	84
Figura 9 Extracción de muestra cantera C-2.....	84
Figura 10 Extracción de muestra cantera C-3.....	85
Figura 11 Ensayo de análisis granulométrico	87
Figura 12 Curva granulométrica C-1	87
Figura 13 Curva granulométrica C-2.....	88
Figura 14 Curva granulométrica C-3	88
Figura 15 Ensayo de Contenido de Humedad	89
Figura 16 Ensayo de límite líquido.....	93
Figura 17 Ensayo de límite plástico.....	95
Figura 18 Límites de consistencia de la muestra C-1	98
Figura 19 Límites de consistencia de la muestra C-2.....	98
Figura 20 Límites de consistencia de la muestra C-3	99
Figura 21 Ensayo de compactación proctor estándar	101
Figura 22 Material para el ensayo de compactación proctor estándar.....	101
Figura 23 Curva de compactación 0% viruta y 0% cal.....	105



Figura 24	Curva de compactación 0% viruta y 2% Cal.....	105
Figura 25	Curva de compactación 0% viruta y 4% cal.....	106
Figura 26	Curva de compactación 0% viruta y 6% cal.....	107
Figura 27	Curva de compactación 2% viruta y 0% cal.....	107
Figura 28	Curva de compactación 2% viruta y 2% cal.....	108
Figura 29	Curva de compactación 2% viruta y 4% cal.....	109
Figura 30	Curva de compactación 2% viruta y 6% cal.....	109
Figura 31	Curva de compactación 4% viruta y 0% cal.....	110
Figura 32	Curva de compactación 4% viruta y 2% cal.....	111
Figura 33	Curva de compactación 4% viruta y 4% cal.....	111
Figura 34	Curva de compactación 4% viruta y 6% cal.....	112
Figura 35	Curva de compactación 6% viruta y 0% cal.....	113
Figura 36	Curva de compactación 6% viruta y 2% cal.....	113
Figura 37	Curva de compactación 6% viruta y 4% cal.....	114
Figura 38	Curva de compactación 6% viruta y 6% cal.....	115
Figura 39	Dimensiones de los muretes de tapial	117
Figura 40	Elevación frontal y lateral del encofrado para la construcción de muretes	119
Figura 41	Fabricación de moldes para los muretes.....	120
Figura 42	Extracción del material de la cantera	120
Figura 43	Extracción del material con maquinaria.....	121
Figura 44	Transporte del material de la cantera.....	121
Figura 45	Materiales a utilizar para la elaboración de muretes	122
Figura 46	Zarandeo del material de la cantera.....	122
Figura 47	Combinación del suelo con la viruta y la cal.....	123
Figura 48	Compactación de la mezcla.....	124



Figura 49	Desencofrado del murete.....	125
Figura 50	Secado de los muretes en la intemperie	126
Figura 51	Protección de los muretes a precipitación pluviales.....	127
Figura 52	Dimensiones del murete a compresión diagonal.....	128
Figura 53	Elevación frontal y lateral del encofrado para la construcción de murete	129
Figura 54	Ensamblado del murete para el ensayo de compresión axial	131
Figura 55	Registro de dimensiones y el peso	133
Figura 56	Ensamblado del murete y encendido de la maquina	133
Figura 57	Identificación del tipo de falla.....	134
Figura 58	Obtención del contenido de humedad	134
Figura 59	Ensamblado del murete para el ensayo de compresión diagonal	137
Figura 60	Medición y ensamblado del murete	139
Figura 61	Ensamblado de los diales	139
Figura 62	Encendido del máquina y registro	140
Figura 63	Identificación del tipo de falla.....	140
Figura 64	Control de secado de las diferentes combinaciones	175
Figura 65	Carga vs desplazamiento 0% viruta y 0% cal	187
Figura 66	Carga vs desplazamiento 0% viruta y 2% cal	188
Figura 67	Carga vs desplazamiento 0% viruta y 4% cal	189
Figura 68	Carga vs desplazamiento 0% viruta y 6% cal	190
Figura 69	Carga vs desplazamiento 2% viruta y 0% cal	191
Figura 70	Carga vs desplazamiento 2% viruta y 2% cal	192
Figura 71	Carga vs desplazamiento 2% viruta y 4% cal	193
Figura 72	Carga vs desplazamiento 4% viruta y 0% cal	195
Figura 73	Carga vs desplazamiento 4% viruta y 2% cal	196



Figura 74	Carga vs desplazamiento 4% viruta y 4% cal	197
Figura 75	Carga vs desplazamiento 4% viruta y 6% cal	198
Figura 76	Carga vs desplazamiento 6% viruta y 0% cal	199
Figura 77	Carga vs desplazamiento 6% viruta y 2% cal	200
Figura 78	Carga vs desplazamiento 6% viruta y 4% cal	201
Figura 79	Carga vs desplazamiento 6% viruta y 6% cal	202
Figura 80	Falla en el murete a compresión axial	203
Figura 81	Falla dúctil en el murete	204
Figura 82	Falla dúctil con desprendimiento de partículas	204
Figura 83	Falla vertical en el murete	205
Figura 84	Control de secado de las diferentes combinaciones	235
Figura 85	Desplazamiento vertical murete con 0% viruta y 0% cal.....	247
Figura 86	Desplazamiento horizontal murete con 0% viruta y 0% cal	248
Figura 87	Desplazamiento vertical murete con 0% viruta y 2% cal.....	249
Figura 88	Desplazamiento horizontal murete con 0% viruta y 2% cal	249
Figura 89	Desplazamiento vertical murete con 0% viruta y 4% cal.....	250
Figura 90	Desplazamiento horizontal murete con 0% viruta y 4% cal	251
Figura 91	Desplazamiento vertical murete con 0% viruta y 6% cal.....	252
Figura 92	Desplazamiento horizontal murete con 0% viruta y 6% cal	252
Figura 93	Desplazamiento vertical murete con 2% viruta y 0% cal.....	253
Figura 94	Desplazamiento horizontal del murete con 2% viruta y 0% cal	254
Figura 95	Desplazamiento vertical del murete con 2% viruta y 2% cal.....	255
Figura 96	Desplazamiento horizontal del murete con 2% viruta y 2% cal	255
Figura 97	Desplazamiento vertical del murete con 2% viruta y 4% cal.....	256
Figura 98	Desplazamiento horizontal del murete con 2% viruta y 4% cal	257



Figura 99	Desplazamiento vertical del murete con 2% viruta y 6% cal.....	258
Figura 100	Desplazamiento horizontal del murete con 2% viruta y 6% cal.....	258
Figura 101	Desplazamiento vertical del murete con 4% viruta y 0% cal.....	259
Figura 102	Desplazamiento horizontal del murete con 4% viruta y 0% cal.....	260
Figura 103	Desplazamiento vertical del murete con 4% viruta y 2% cal.....	261
Figura 104	Desplazamiento horizontal del murete con 4% viruta y 2% cal.....	261
Figura 105	Desplazamiento vertical del murete con 4% viruta y 4% cal.....	262
Figura 106	Desplazamiento horizontal del murete con 4% viruta y 4% cal.....	263
Figura 107	Desplazamiento vertical del murete con 4% viruta y 6% cal.....	264
Figura 108	Desplazamiento horizontal del murete con 4% viruta y 6% cal.....	264
Figura 109	Desplazamiento vertical del murete con 6% viruta y 0% cal.....	265
Figura 110	Desplazamiento horizontal del murete con 6% viruta y 0% cal.....	266
Figura 111	Desplazamiento vertical del murete con 6% viruta y 2% cal	267
Figura 112	Desplazamiento horizontal del murete con 6% viruta y 2% cal.....	267
Figura 113	Desplazamiento vertical del murete con 6% viruta y 4% cal	268
Figura 114	Desplazamiento horizontal del murete con 6% viruta y 4% cal.....	269
Figura 115	Desplazamiento vertical del murete con 6% viruta y 6% cal.....	270
Figura 116	Desplazamiento horizontal del murete con 6% viruta y 6% cal.....	270
Figura 117	Falla por tracción diagonal en el murete típico o grupo control.....	271
Figura 118	Falla diagonal en el murete con adición de cal.....	272
Figura 119	Falla mixta en el murete	272
Figura 120	Resistencia a compresión axial de las combinaciones	273
Figura 121	Resistencia a compresión diagonal de las combinaciones	276
Figura 122	Módulo de elasticidad de la combinación	279
Figura 123	Módulo de corte de la combinación	282



Figura 124	Comparación de porcentajes de cal y resistencia a compresión axial.....	306
Figura 125	Comparación de porcentajes de viruta y resistencia a compresión axial .	308
Figura 126	Comparación de porcentajes cal y resistencia a compresión diagonal.....	310
Figura 127	Comparación de porcentajes viruta y resistencia a compresión diagonal	311
Figura 128	Comparación del módulo de elasticidad	312
Figura 129	Variación del módulo de elasticidad.....	313
Figura 130	Comparación del módulo de corte	314



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	45
Tabla 2 Dimensiones de las muestras a ensayar	71
Tabla 3 Cantidad de muestras a ensayar en resistencia a compresión axial.....	72
Tabla 4 Cantidad de muestras a ensayar en resistencia a compresión diagonal.....	73
Tabla 5 Tabla ANOVA	80
Tabla 6 Contenido de humedad de la muestra de Suelo C-1	90
Tabla 7 Contenido de humedad de la muestra de Suelo C-2	91
Tabla 8 Contenido de humedad de la muestra de Suelo C-3	91
Tabla 9 Resultados del contenido de humedad	91
Tabla 10 Resultados de índice de plasticidad.....	99
Tabla 11 Máxima densidad seca.....	115
Tabla 12 Contenido de Humedad Óptimo.....	115
Tabla 13 Comparación de densidades con 0% viruta y 0% cal.....	145
Tabla 14 Comparación de densidades con 0% viruta y 2% cal.....	146
Tabla 15 Comparación de densidades con 0% viruta y 4% cal.....	147
Tabla 16 Comparación de densidades con 0% viruta y 6% cal.....	147
Tabla 17 Comparación de densidades con 2% viruta y 0% cal.....	148
Tabla 18 Comparación de densidades con 2% viruta y 2% cal.....	149
Tabla 19 Comparación de densidades con 2% viruta y 4% cal.....	150
Tabla 20 Comparación de densidades con 2% viruta y 6% cal.....	150
Tabla 21 Comparación de densidades con 4% viruta y 0% cal.....	151
Tabla 22 Comparación de densidades con 4% viruta y 2% cal.....	152
Tabla 23 Comparación de densidades con 4% viruta y 4% cal.....	153



Tabla 24	Comparación de densidades con 4% viruta y 6% cal.....	153
Tabla 25	Comparación de densidades con 6% viruta y 0% cal.....	154
Tabla 26	Comparación de densidades con 6% viruta y 2% cal.....	155
Tabla 27	Comparación de densidades con 6% viruta y 4% cal.....	156
Tabla 28	Comparación de densidades con 6% viruta y 6% cal.....	156
Tabla 29	Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 0% cal.....	158
Tabla 30	Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 0%cal..	158
Tabla 31	Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 2% cal.....	159
Tabla 32	Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 2%cal..	159
Tabla 33	Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 4% cal.....	160
Tabla 34	Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 4%cal..	161
Tabla 35	Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 6% cal.....	161
Tabla 36	Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 6%cal..	162
Tabla 37	Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 0% cal.....	162
Tabla 38	Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 0%cal..	163
Tabla 39	Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 2% cal.....	163
Tabla 40	Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 2%cal..	164
Tabla 41	Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 4% cal.....	165
Tabla 42	Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 4%cal..	165
Tabla 43	Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 6% cal.....	166
Tabla 44	Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 6%cal..	166
Tabla 45	Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 0% cal.....	167
Tabla 46	Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 0%cal..	167
Tabla 47	Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 2% cal.....	168
Tabla 48	Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 2%cal..	168



Tabla 49	Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 4% cal.....	169
Tabla 50	Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 4%cal..	169
Tabla 51	Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 6% cal.....	170
Tabla 52	Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 6%cal..	170
Tabla 53	Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 0% cal.....	171
Tabla 54	Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 0%cal..	171
Tabla 55	Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 2% cal.....	172
Tabla 56	Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 2%cal..	172
Tabla 57	Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 4% cal.....	173
Tabla 58	Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 4%cal..	173
Tabla 59	Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 6% cal.....	174
Tabla 60	Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 6%cal..	174
Tabla 61	Resultado del ensayo de compresión axial con 0% viruta y 0% cal	176
Tabla 62	Resultado del ensayo de compresión axial con 0% viruta y 2% cal	177
Tabla 63	Resultado del ensayo de compresión axial con 0% viruta y 4% cal	177
Tabla 64	Resultado del ensayo de compresión axial con 0% viruta y 6% cal	178
Tabla 65	Resultado del ensayo de compresión axial con 2% viruta y 0% cal	179
Tabla 66	Resultado del ensayo de compresión axial con 2% viruta y 2% cal	179
Tabla 67	Resultado del ensayo de compresión axial con 2% viruta y 4% cal	180
Tabla 68	Resultado del ensayo de compresión axial con 2% viruta y 6% cal	181
Tabla 69	Resultado del ensayo de compresión axial con 4% viruta y 0% cal	181
Tabla 70	Resultado del ensayo de compresión axial con 4% viruta y 2% cal	182
Tabla 71	Resultado del ensayo de compresión axial con 4% viruta y 4% cal	183
Tabla 72	Resultado del ensayo de compresión axial con 4% viruta y 6% cal	183
Tabla 73	Resultado del ensayo de compresión axial con 6% viruta y 0% cal	184



Tabla 74	Resultado del ensayo de compresión axial con 6% viruta y 2% cal	185
Tabla 75	Resultado del ensayo de compresión axial con 6% viruta y 4% cal	185
Tabla 76	Resultado del ensayo de compresión axial con 6% viruta y 6% cal	186
Tabla 77	Módulo de elasticidad de los especímenes con 0% viruta y 0% cal	187
Tabla 78	Módulo de elasticidad de los especímenes con 0% viruta y 2% cal	188
Tabla 79	Módulo de elasticidad de los especímenes con 0% viruta y 4% cal	189
Tabla 80	Módulo de elasticidad de los especímenes con 0% viruta y 6% cal	190
Tabla 81	Módulo de elasticidad de los especímenes con 2% viruta y 0% cal	191
Tabla 82	Módulo de elasticidad de los especímenes con 2% viruta y 2% cal	192
Tabla 83	Módulo de elasticidad de los especímenes con 2% viruta y 4% cal	193
Tabla 84	Módulo de elasticidad de los especímenes con 2% viruta y 6% cal	194
Tabla 85	Carga vs desplazamiento 2% viruta y 6% cal	194
Tabla 86	Módulo de elasticidad de los especímenes con 4% viruta y 0% cal	195
Tabla 87	Módulo de elasticidad de los especímenes con 4% viruta y 2% cal	196
Tabla 88	Módulo de elasticidad de los especímenes con 4% viruta y 4% cal	197
Tabla 89	Módulo de elasticidad de los especímenes con 4% viruta y 6% cal	198
Tabla 90	Módulo de elasticidad de los especímenes con 6% viruta y 0% cal	199
Tabla 91	Módulo de elasticidad de los especímenes con 6% viruta y 2% cal	200
Tabla 92	Módulo de elasticidad de los especímenes con 6% viruta y 4% cal	201
Tabla 93	Módulo de elasticidad de los especímenes con 6% viruta y 6% cal	202
Tabla 94	Comparación de densidades con 0% viruta y 0% cal.....	206
Tabla 95	Comparación de densidades con 0% viruta y 2% cal.....	207
Tabla 96	Comparación de densidades con 0% viruta y 4% cal.....	208
Tabla 97	Comparación de densidades con 0% viruta y 6% cal.....	209
Tabla 98	Comparación de densidades con 2% viruta y 0% cal.....	209



Tabla 99	Comparación de densidades con 2% viruta y 2% cal.....	210
Tabla 100	Comparación de densidades con 2% viruta y 4% cal.....	211
Tabla 101	Comparación de densidades con 2% viruta y 6% cal.....	212
Tabla 102	Comparación de densidades con 4% viruta y 0% cal.....	212
Tabla 103	Comparación de densidades con 4% viruta y 2% cal.....	213
Tabla 104	Comparación de densidades con 4% viruta y 4% cal.....	214
Tabla 105	Comparación de densidades con 4% viruta y 6% cal.....	214
Tabla 106	Comparación de densidades con 6% viruta y 0% cal.....	215
Tabla 107	Comparación de densidades con 6% viruta y 2% cal.....	216
Tabla 108	Comparación de densidades con 6% viruta y 4% cal.....	217
Tabla 109	Comparación de densidades con 6% viruta y 6% cal.....	217
Tabla 110	Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 0% cal.....	219
Tabla 111	Contenido de humedad remanente del espécimen con 0%viruta y 0%cal .	219
Tabla 112	Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 2% cal.....	220
Tabla 113	Contenido de humedad remanente del espécimen con 0%viruta y 2%cal .	220
Tabla 114	Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 4% cal.....	221
Tabla 115	Contenido de humedad remanente del espécimen con 0%viruta y 4%cal .	221
Tabla 116	Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 6% cal.....	222
Tabla 117	Contenido de humedad remanente del espécimen con 0%viruta y 6%cal .	222
Tabla 118	Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 0% cal.....	223
Tabla 119	Contenido de humedad remanente del espécimen con 2%viruta y 0%cal .	223
Tabla 120	Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 2% cal.....	224
Tabla 121	Contenido de humedad remanente del espécimen con 2%viruta y 2%cal .	224
Tabla 122	Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 4% cal.....	225
Tabla 123	Contenido de humedad remanente del espécimen con 2%viruta y 4%cal .	225



Tabla 124	Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 6% cal.....	226
Tabla 125	Contenido de humedad remanente del espécimen con 2%viruta y 6%cal.	226
Tabla 126	Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 0% cal.....	227
Tabla 127	Contenido de humedad remanente del espécimen con 4%viruta y 0%cal.	227
Tabla 128	Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 2% cal.....	228
Tabla 129	Contenido de humedad remanente del espécimen con 4%viruta y 2%cal.	228
Tabla 130	Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 4% cal.....	229
Tabla 131	Contenido de humedad remanente del espécimen con 4%viruta y 4%cal.	229
Tabla 132	Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 6% cal.....	230
Tabla 133	Contenido de humedad remanente del espécimen con 4%viruta y 6%cal.	230
Tabla 134	Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 0% cal.....	231
Tabla 135	Contenido de humedad remanente del espécimen con 6%viruta y 0%cal.	231
Tabla 136	Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 2% cal.....	232
Tabla 137	Contenido de humedad remanente del espécimen con 6%viruta y 2%cal.	232
Tabla 138	Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 4% cal.....	233
Tabla 139	Contenido de humedad remanente del espécimen con 6%viruta y 4%cal.	233
Tabla 140	Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 6% cal.....	234
Tabla 141	Contenido de humedad remanente del espécimen con 6%viruta y 6%cal.	234
Tabla 142	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 0% viruta y 0% cal	236
Tabla 143	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 0% viruta y 2% cal	237
Tabla 144	Resultado del ensayo de los especímenes con 0% viruta y 4% cal.....	237
Tabla 145	Resultado del ensayo de los especímenes con 0% viruta y 6% cal.....	238
Tabla 146	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 2% viruta y 0% cal	239
Tabla 147	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 2% viruta y 2% cal	239
Tabla 148	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 2% viruta y 4% cal	240



Tabla 149	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 2% viruta y 6% cal	241
Tabla 150	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 4% viruta y 0% cal	241
Tabla 151	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 4% viruta y 2% cal	242
Tabla 152	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 4% viruta y 4% cal	243
Tabla 153	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 4% viruta y 6% cal	243
Tabla 154	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 6% viruta y 0% cal	244
Tabla 155	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 6% viruta y 2% cal	245
Tabla 156	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 6% viruta y 4% cal	245
Tabla 157	Resultado del ensayo a compresión diagonal con 6% viruta y 6% cal	246
Tabla 158	Módulo de corte de los especímenes con 0% viruta y 0% cal	247
Tabla 159	Módulo de corte de los especímenes con 0% viruta y 2% cal	248
Tabla 160	Módulo de corte de los especímenes con 0% viruta y 4% cal	250
Tabla 161	Módulo de corte de los especímenes con 0% viruta y 6% cal	251
Tabla 162	Módulo de corte de los especímenes con 2% viruta y 0% cal	253
Tabla 163	Módulo de corte de los especímenes con 2% viruta y 2% cal	254
Tabla 164	Módulo de corte de los especímenes con 2% viruta y 4% cal	256
Tabla 165	Módulo de corte de los especímenes con 2% viruta y 6% cal	257
Tabla 166	Módulo de corte de los especímenes con 4% viruta y 0% cal	259
Tabla 167	Módulo de corte de los especímenes con 4% viruta y 2% cal	260
Tabla 168	Módulo de corte de los especímenes con 4% viruta y 4% cal	262
Tabla 169	Módulo de corte de los especímenes con 4% viruta y 6% cal	263
Tabla 170	Módulo de corte de los especímenes con 6% viruta y 0% cal	265
Tabla 171	Módulo de corte de los especímenes con 6% viruta y 2% cal	266
Tabla 172	Módulo de corte de los especímenes con 6% viruta y 4% cal	268
Tabla 173	Módulo de corte de los especímenes con 6% viruta y 6% cal	269



Tabla 174	Estadístico de la variable de resistencia a compresión axial	285
Tabla 175	Prueba de normalidad de datos de resistencia a compresión axial.....	286
Tabla 176	Correlación entre adición de viruta y la resistencia a compresión axial	291
Tabla 177	Correlación entre adición de cal y la resistencia a compresión axial.....	292
Tabla 178	Análisis de la prueba ANOVA de resistencia a compresión axial	294
Tabla 179	Resumen de la prueba ANOVA de la resistencia a compresión axial	294
Tabla 180	Estadístico de la variable de resistencia a compresión diagonal	295
Tabla 181	Prueba de normalidad de datos de resistencia a compresión diagonal.....	296
Tabla 182	Correlación adición de viruta y la resistencia a compresión diagonal	301
Tabla 183	Correlación adición de cal y la resistencia a compresión diagonal.....	302
Tabla 184	Análisis de la prueba ANOVA de resistencia a compresión diagonal	303
Tabla 185	Resumen de la prueba ANOVA de la resistencia a compresión diagonal ..	304



ACRÓNIMOS

ASTM:	American Society of Testing Materials
σ :	Desviación estándar
H_1 :	Hipótesis alternativa
H_0 :	Hipótesis nula
IP:	Índice de Plasticidad
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
Kgf:	Kilógramo fuerza
LL:	Límite Líquido
LP:	Límite Plástico
MTC:	Ministerio de Transportes y Construcciones
MVCS:	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
G_m :	Módulo de corte
E_m :	Módulo de elasticidad
NTP:	Norma Técnica Peruana
ANOVA:	Prueba paramétrica de análisis de varianza
f_m :	Resistencia a compresión axial
V_m :	Resistencia a compresión diagonal
SUCS:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
SPSS:	Statistical Package the for Social Sciences
UTM:	Universal Transverse Mercator



RESUMEN

La presente investigación se enfocó en evaluar la influencia que tiene la cal y viruta en las propiedades mecánicas de muros tipo tapial para viviendas rurales en el distrito de Ácora. La investigación es pura o básica, transversal, prospectivo, analítico, de nivel explicativo, de enfoque cuantitativo y el muestreo es no probabilístico de tipo intencional. Se planteó la hipótesis que la adición de cal y viruta de eucalipto mejora favorablemente las propiedades mecánicas de muros tipo tapial; la metodología es analizar la influencia de la adición de viruta y cal al adicionar 2%, 4% y 6% en base al peso seco del suelo, efectuando ensayos de propiedades físicas y mecánicas a los muretes tipo tapial. Los resultados señalan que con 4% de viruta y 4% de cal, alcanzó una resistencia máxima a compresión axial de 8.77 kg/cm^2 superando en 70.48% con respecto al grupo control. Para la resistencia a compresión diagonal la muestra con 4% de viruta y 4% de cal alcanzó una resistencia máxima de 2.75 kg/cm^2 superando en 379.14% con respecto al grupo control. El módulo de elasticidad de la muestra con 0% de viruta y 4% de cal alcanzó un valor máximo de 1043.56 kg/cm^2 superando en 45.51% con respecto al grupo control; para el módulo de corte, la muestra con 0% de viruta y 6% de cal alcanzó un valor máximo de 98.40 kg/cm^2 superando en 206.11% con respecto al grupo control. Se puede concluir que la adición de viruta y cal influyen significativamente en el tapial.

Palabras clave: Cal, Compresión axial, Compresión diagonal, Murete, Tapial, Viruta.



ABSTRACT

An investigation of the influence that lime and chippings have on the mechanical properties of rammed earth walls that were developed particularly for rural homes in the Ácora region was the objective of this research. The research is straightforward or basic, cross-sectional, prospective, analytical, and of an explanatory level. Additionally, the technique is quantitative, and the sample is of the purposeful sort and is not based on chance. After conducting tests on the rammed earth walls to determine their physical and mechanical qualities, the approach consists of analyzing the impact of the addition of chips and lime by adding 2%, 4%, and 6% of the soil depending on the dry weight of the soil. In addition, it was expected that the incorporation of lime and eucalyptus chips into rammed earth walls would result in a favorable improvement in the mechanical qualities of the walls. With 4% of chips and 4% of lime, the material was able to attain a maximum axial compressive strength of 8.77 kg/cm²; this value was determined to be more than 70.48 % when compared to the control group for the material. The sample that included 4% chips and 4% lime reached a maximum strength of 2.75 kg/cm² for diagonal compressive strength, which was 379.14% greater than the control group. This was in comparison to the level of strength produced by the control group. The shear modulus of the sample with 0% chip and 6% lime reached a maximum value of 98.40 kg/cm² and exceeded the control group by 206.11%. One may reach the conclusion that the inclusion of chips and lime has a significant influence on the walling at the same time. This is the conclusion that can be brought about.

Keywords: Lime, Axial compression, Diagonal compression, Wall, Rammed earth, Chips.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En las regiones alto andinas del Perú, específicamente en el distrito de Ácora, que pertenece a la provincia de Puno, el sector de la construcción se enfrenta a barreras importantes relacionadas con factores geográficos, climáticos y logísticos. Las condiciones extremas de altitud y temperatura, junto con la escasa infraestructura de transporte, dificultan el acceso a materiales de construcción industrializados como el concreto armado, acero estructural y ladrillos cocidos. Esta situación ha movido la búsqueda de soluciones constructivas más accesibles, sostenibles y adaptadas al entorno local.

Una alternativa que ha demostrado eficacia técnica y pertinencia cultural es el uso del tapial, una técnica constructiva ancestral que consiste en la compactación de capas sucesivas de tierra húmeda dentro de moldes rígidos para formar muros portantes. Esta metodología, históricamente utilizada en diversas regiones del mundo, ha sido redescubierta por su capacidad de ofrecer soluciones habitacionales con bajo costo energético, adecuada eficiencia térmica y adaptabilidad a contextos rurales.

Desde un enfoque ingenieril, el tapial presenta características destacables. La masa térmica de sus muros permite una regulación eficiente de la temperatura interna, reduciendo la dependencia de sistemas de calefacción o aislamiento artificial. Además, el uso de materiales locales reduce los costos económicos y la huella ambiental, lo cual está alineado con los principios de la ingeniería sostenible y la arquitectura bioclimática. Estudios técnicos recientes han demostrado que, mediante la incorporación de estabilizantes como cal hidratada o pequeñas cantidades de viruta, pueden mejorar las propiedades mecánicas del material sin comprometer su bajo impacto ambiental.



Por otra parte, el empleo de esta técnica impulsa el desarrollo de capacidades locales, ya que puede ser ejecutada mediante mano de obra no especializada, fortaleciendo así los procesos de autoconstrucción asistida en comunidades rurales. Esta característica no solo incrementa la accesibilidad a soluciones habitacionales, sino que también contribuye a la conservación del conocimiento constructivo tradicional, muchas veces relegado frente a tecnologías convencionales poco adaptadas a las condiciones locales.

En este contexto, el tapial no debe ser considerado únicamente como una técnica constructiva alternativa, sino como una estrategia integral de desarrollo que conjuga sostenibilidad, identidad cultural y eficiencia estructural. Su implementación planificada podría representar un componente clave dentro de políticas públicas orientadas a mejorar las condiciones de habitabilidad en regiones rurales de altura, al mismo tiempo que se promueve una transición hacia prácticas constructivas resilientes y adaptadas al cambio climático.

No obstante, para optimizar la resistencia y durabilidad de estos muros en un entorno tan específico como el de Ácora, es crucial explorar métodos de mejora que puedan aumentar su desempeño estructural. En este sentido, la adición de cal y viruta a la mezcla de tierra para la construcción de muros tipo tapial emerge como una alternativa prometedora. Es posible que las cualidades mecánicas de los muros de tapial puedan mejorarse añadiendo cal, reconocida por su capacidad estabilizadora y la viruta, que es un elemento residual que puede mejorar la estructura del suelo. De este modo, los muros se adaptarían mejor a las circunstancias de la zona.

En el marco geográfico y climático del distrito de Ácora, ubicado en la región altiplánica de Puno, el presente estudio correspondiente al año 2023, se orienta al análisis



experimental del comportamiento mecánico de los muros tipo tapial modificados mediante la incorporación de aditivos naturales, específicamente cal hidratada y la viruta de madera. La investigación se propone identificar cómo la adición de estos materiales influye en parámetros fundamentales como la resistencia a la compresión axial y diagonal, la durabilidad frente a agentes climáticos agresivos y la estabilidad estructural del sistema constructivo bajo condiciones de alta humedad y amplitud térmica diaria, características típicas de la zona.

Esta investigación pretende establecer proporciones óptimas de estos componentes, considerando su interacción física y química con la tierra, de manera que se logre mejorar el desempeño estructural del tapial sin comprometer su viabilidad económica ni su compatibilidad con técnicas constructivas tradicionales. A través de ensayos mecánicos normalizados y análisis comparativos, se pretende obtener datos precisos que sustenten recomendaciones técnicas para la formulación de mezclas mejoradas de tapial, capaces de soportar mejor las exigencias ambientales del entorno altiplánico.

Este enfoque no solo responde a la necesidad de optimizar una técnica constructiva ancestral como el tapial, sino que también se enmarca dentro de los principios de la ingeniería sostenible, promoviendo el uso eficiente de materiales locales, renovables y de bajo impacto ambiental. En última instancia, los resultados esperados de esta investigación podrían servir como base para futuras normativas técnicas regionales, dirigidas a mejorar la seguridad, habitabilidad y vida útil de las viviendas rurales en zonas de alta vulnerabilidad climática.

El presente análisis tiene como finalidad desarrollar una alternativa constructiva más resistente, eficiente y económicamente viable para las zonas rurales del distrito de



Ácora, aportando así al fortalecimiento de soluciones habitacionales adaptadas a las condiciones socioclimáticas de la región. En este contexto, la investigación se orienta a evaluar el efecto de la incorporación de cal hidratada y la viruta de madera en la conformación de muros de tapial, con el objetivo de determinar mejoras sustanciales en su comportamiento estructural, resistencia mecánica y vida útil frente a las adversidades del entorno altiplánico.

Al integrar estos aditivos, el estudio busca optimizar las propiedades mecánicas de la tierra utilizada, aumentar la cohesión interna y mejorar la resistencia a esfuerzos compresivos. Esta aproximación tiene un fuerte componente de aplicabilidad práctica, ya que se orienta a la generación de recomendaciones técnicas concretas que puedan ser fácilmente replicadas por los habitantes locales, utilizando materiales accesibles y procedimientos constructivos tradicionales.

En última instancia, este trabajo se enmarca en una visión de ingeniería socialmente responsable y ambientalmente consciente, cuyo propósito es promover el desarrollo de tecnologías constructivas apropiadas, resilientes y sostenibles. Los resultados esperados no solo aspiran a mejorar las condiciones de habitabilidad de las viviendas rurales en Ácora, sino también a sentar las bases para futuras investigaciones en técnicas de construcción con tierra estabilizada en otras regiones con características similares.

El Capítulo I se dedica a establecer los fundamentos esenciales de la investigación, comenzando con la formulación clara y precisa del problema que motiva el estudio. Se plantean las hipótesis que guían la indagación científica, definiendo las suposiciones que serán sometidas a prueba a lo largo del desarrollo investigativo. Además, se especifican los objetivos generales y específicos que orientan la dirección y el alcance del trabajo.



Este capítulo también incluye la justificación del estudio, en la cual se argumenta la relevancia y pertinencia del tema abordado, tanto desde una perspectiva académica como práctica, destacando su aporte potencial al campo de conocimiento y su impacto social o técnico.

El Capítulo II se enfoca en la revisión crítica de la literatura existente y los antecedentes relevantes que han abordado temas afines, estableciendo así el marco teórico que sustenta el planteamiento del problema y la fundamentación científica de esta investigación. En esta sección se identifican las teorías, modelos y conceptos clave que orientan el estudio.

En el Capítulo III se describe el método de investigación seleccionado, detallando el enfoque, tipo y diseño metodológico adoptado para alcanzar los objetivos planteados, asegurando la coherencia y rigurosidad del proceso investigativo. Se describe con precisión el conjunto de materiales utilizados, los ensayos experimentales aplicadas y el diseño estadístico estructurado para garantizar la validez, confiabilidad y replicabilidad de los procedimientos de investigación. Se detallan las variables analizadas, los métodos de recolección de datos y los criterios para el análisis estadístico.

El Capítulo IV presenta de manera rigurosa y sistemática los resultados obtenidos, complementados con una interpretación técnica profunda y la discusión crítica. Se realiza el contraste de hipótesis mediante herramientas analíticas, y se evalúa el cumplimiento de los objetivos específicos y generales, identificando tendencias, comportamientos y hallazgos significativos.

El Capítulo V expone las conclusiones derivadas del estudio, formuladas con base en el análisis de los datos y su relación con el marco teórico, aportando respuestas claras y fundamentadas a los problemas planteados y a las hipótesis propuestas inicialmente.



En el Capítulo VI se plantean recomendaciones prácticas y estratégicas orientadas a la aplicación de los resultados en contextos reales, así como sugerencias para el perfeccionamiento de futuras investigaciones. Además, se identifican nuevas líneas de investigación que podrían ampliar y profundizar el conocimiento en el área de estudio.

Finalmente, el Capítulo VII incluye la compilación exhaustiva de referencias bibliográficas, que ofrecen soporte teórico, metodológico y contextual a la investigación, evidenciando la rigurosidad y el sustento científico que caracteriza este trabajo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema es que las propiedades mecánicas del tapial son insuficientes para las cargas de las viviendas tradicionales, así mismo el tapial elaborado en el distrito de Ácora no cumplen estándares de calidad, por lo que la presente tesis solucionará mejorar dichas propiedades incorporando viruta y cal.

A escala global, el sector de la construcción habitacional se enfrenta a crecientes desafíos vinculados a la sostenibilidad ambiental y al uso eficiente de recursos materiales. En este escenario, las técnicas constructivas tradicionales, como el sistema de tapial, están siendo objeto de una revalorización debido a su bajo impacto ecológico, su capacidad de aislamiento térmico pasivo y su compatibilidad con entornos rurales. No obstante, para que estas metodologías puedan competir con sistemas contemporáneos y cumplir con los estándares estructurales actuales, es imprescindible optimizar sus propiedades mecánicas, especialmente en lo que respecta a la resistencia y durabilidad de los elementos constructivos.

Una de las líneas de investigación más prometedoras en este ámbito es la estabilización del tapial mediante la adición de componentes naturales, como la cal hidratada y residuos lignocelulósicos como la viruta de madera. Estos aditivos podrían



modificar positivamente la estructura del material, reduciendo la porosidad, aumentando la cohesión interna y mejorando su comportamiento ante cargas compresivas y condiciones ambientales agresivas. La hipótesis central radica en que esta combinación de aditivos puede transformar una técnica ancestral en una solución tecnológicamente óptima y ambientalmente responsable, capaz de ofrecer una alternativa efectiva frente a los materiales industriales convencionales, como el concreto y el ladrillo cocido.

Sin embargo, el verdadero desafío técnico radica en comprender en profundidad el modo en que estos aditivos interactúan con la tierra del tapial y cómo estas modificaciones afectan su rendimiento mecánico y su respuesta a agentes de degradación como la humedad o los ciclos térmicos. Generar este conocimiento es esencial no solo para el fortalecimiento de las viviendas rurales en regiones específicas como el altiplano andino, sino también para escalar estas soluciones hacia un enfoque global de construcción sostenible, resiliente y adaptada a contextos diversos.

En el contexto peruano, particularmente en zonas rurales y de difícil acceso, el empleo de técnicas constructivas tradicionales constituye una práctica arraigada que responde tanto a limitaciones económicas como a la disponibilidad de materiales locales. Una de las metodologías más difundidas es el uso del tapial, un sistema ancestral basado en la compactación de tierra en moldes o encofrados para la formación de muros estructurales. Esta técnica ha demostrado ser funcional debido a su bajo costo, simplicidad de ejecución y adaptabilidad a las condiciones climáticas de diversas regiones del país, especialmente en zonas alto andinas y semiáridas.

No obstante, a pesar de sus ventajas en términos de sostenibilidad y accesibilidad, los muros de tapial presentan deficiencias notables en cuanto a resistencia mecánica, durabilidad frente a la humedad y comportamiento ante agentes de deterioro natural. Estas



limitaciones comprometen su capacidad para cumplir con los requerimientos mínimos de seguridad estructural establecidos por normativas contemporáneas, particularmente en entornos donde las condiciones ambientales son agresivas o inestables.

Frente a esta problemática, surge la hipótesis de que la incorporación de aditivos como la cal hidratada que actúa como agente estabilizante y la viruta de madera, pueden mejorar la ductilidad y reducir la fisuración podría modificar de manera significativa las propiedades físicas y mecánicas del material. Sin embargo, en el escenario nacional aún persiste una brecha de conocimiento respecto a la eficacia de estas modificaciones en condiciones reales de uso.

Por tanto, el verdadero reto consiste en evaluar científicamente cómo estas intervenciones pueden potenciar el desempeño estructural del tapial y en consecuencia, permitir su adaptación a los estándares de construcción moderna. Este tipo de innovación no solo tiene implicancias técnicas, sino también sociales, al contribuir a una vivienda rural más segura, económica y sostenible, alineada con los objetivos de desarrollo local y nacional.

En la región de Puno, ubicada en el altiplano peruano, las condiciones ambientales se caracterizan por extremas fluctuaciones térmicas y elevados niveles de humedad relativa, factores que representan retos importantes para la construcción y mantenimiento de viviendas rurales. Los muros construidos mediante la técnica del tapial, ampliamente utilizada en esta zona, deben garantizar una adecuada resistencia estructural y estabilidad frente a estas condiciones adversas para evitar deterioros prematuros.

La incorporación de aditivos como la cal hidratada y las virutas de madera se plantea como una alternativa técnica para mejorar las propiedades del suelo empleado en la fabricación del tapial. Estos materiales tienen el potencial de incrementar la cohesión



interna y la resistencia mecánica del muro, además de contribuir a la mitigación de los efectos nocivos de la humedad y las variaciones térmicas propias del entorno altiplánico.

El desafío principal en este contexto específico consiste en realizar una evaluación rigurosa del impacto que estos aditivos ejercen sobre las características físicas y mecánicas de los muros de tapial, con el fin de establecer protocolos efectivos para su aplicación. De esta manera se busca optimizar la técnica tradicional para hacerla más resistente y duradera, proporcionando así una solución constructiva que responda a las demandas climáticas y socioeconómicas de la región rural de Puno.

1.2 FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Pregunta general de investigación

¿De qué manera influye la adición de cal y viruta de eucalipto en las propiedades mecánicas de muros tipo tapial para viviendas rurales en el distrito de Ácora, provincia Puno 2023?

1.2.2 Pregunta específica de investigación

Nº 1: ¿Cómo se determina el valor de la resistencia a compresión axial de muros tipo tapial con la adición de cal y viruta de eucalipto?

Nº 2: ¿Cómo se determina el valor de la resistencia a compresión diagonal de muros tipo tapial con la adición de cal y viruta de eucalipto?

Nº 3: ¿Cómo se determinan el módulo de elasticidad y módulo de corte de muros tipo tapial con la adición de cal y viruta de eucalipto?



1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis general

La adición de cal y viruta de eucalipto mejora favorablemente las propiedades mecánicas de los muros tipo tapial.

1.3.2 Hipótesis específicas

N° 1: La adición de cal y viruta de eucalipto en muros tipo tapial mejora la resistencia a compresión axial.

N° 2: La adición de cal y viruta de eucalipto en muros tipo tapial mejora la resistencia a compresión diagonal.

N° 3: La adición de cal y viruta de eucalipto en muros tipo tapial mejora el módulo de elasticidad y módulo de corte.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La investigación sobre la influencia de la adición de cal y viruta en las propiedades mecánicas de muros tipo tapial para viviendas rurales en el distrito de Ácora, provincia de Puno, responde a una serie de necesidades y desafíos tanto a nivel local como global.

En el distrito de Ácora, una jurisdicción predominantemente rural situada en la provincia de Puno, las viviendas construidas mediante técnicas tradicionales, como el uso de tapial, enfrentan serias limitaciones en términos de desempeño estructural y durabilidad frente a condiciones ambientales adversas. Si bien el tapial constituye una solución económica y culturalmente arraigada, su vulnerabilidad frente a la humedad persistente, las lluvias estacionales y las marcadas oscilaciones térmicas características del altiplano pone en riesgo la estabilidad y seguridad de las edificaciones rurales. Estas



deficiencias estructurales no solo comprometen la vida útil de las viviendas, sino también la calidad de vida de sus habitantes, quienes se ven expuestos a riesgos constantes por fallas constructivas derivadas del deterioro progresivo de los materiales. Por tanto, resulta fundamental mejorar las propiedades mecánicas de los muros de tapial mediante intervenciones técnicas que permitan reforzar su resistencia a la compresión, su capacidad de soporte y su comportamiento frente a la humedad. La implementación de mejoras en este tipo de construcciones no solo contribuye al aumento de la seguridad estructural, sino que también incide directamente en el confort térmico y la habitabilidad de los espacios. Esta transformación representa una estrategia clave para el desarrollo sostenible de las comunidades rurales alto andinas, al combinar saberes tradicionales con soluciones ingenieriles innovadoras y ambientalmente responsables.

La región de Puno, ubicada en la zona alto andina del Perú, se distingue por sus condiciones climáticas rigurosas, caracterizadas por marcadas variaciones térmicas diurnas y nocturnas, así como por elevados niveles de humedad ambiental, especialmente durante las estaciones lluviosas. Estas condiciones representan un desafío significativo para la construcción con técnicas tradicionales como el tapial, cuyos componentes de tierra cruda son particularmente sensibles a la acción prolongada del agua y a los cambios bruscos de temperatura. En este contexto, la estabilización del tapial mediante la incorporación de aditivos como cal hidratada y viruta de madera se plantea como una alternativa técnica prometedora. Estos materiales pueden mejorar la cohesión interna de la mezcla, reducir la absorción de humedad y aumentar la resistencia mecánica del sistema constructivo frente a agentes de deterioro. La cal actúa como aglutinante y estabilizador químico, mientras que la viruta aporta propiedades de ligereza y flexibilidad que pueden reducir la formación de grietas. Explorar empíricamente los efectos de estos aditivos en la composición del tapial permitirá no solo adaptar las técnicas constructivas



vernáculos a las condiciones específicas del entorno puneño, sino también potenciar su eficiencia estructural. Este enfoque de mejora tecnológica basada en materiales locales busca prolongar la vida útil de las edificaciones rurales, incrementar su resistencia y contribuir a una arquitectura más segura, funcional y resiliente frente al cambio climático.

El aprovechamiento de materiales autóctonos como la tierra, la cal y los residuos orgánicos como la viruta de madera representa no solo una estrategia técnica eficiente, sino también una práctica coherente con los principios de sostenibilidad y autosuficiencia regional. Este enfoque promueve una construcción consciente del entorno, reduce la dependencia de materiales industrializados y fomenta la dinamización de las economías locales mediante el uso de recursos accesibles y disponibles en la propia comunidad. La mejora de las propiedades mecánicas de los muros de tapial a través de la incorporación de estos elementos estabilizantes contribuye significativamente al fortalecimiento de las técnicas constructivas tradicionales, otorgándoles un nuevo valor dentro del contexto contemporáneo de la ingeniería civil. Además, esta transformación técnica permite responder a los desafíos actuales en términos de eficiencia estructural, durabilidad y comportamiento frente a condiciones climáticas adversas. Este estudio tiene como propósito generar conocimiento aplicado que oriente el desarrollo de soluciones constructivas sostenibles, resilientes y replicables, adaptadas a las necesidades reales de las zonas rurales. De este modo, se espera aportar a la consolidación de modelos de vivienda económica, segura y ambientalmente responsable, en armonía con las características culturales y geográficas de las comunidades alto andinas.

Desde una perspectiva tanto académica como aplicada, la presente investigación tiene como objetivo abordar una brecha significativa en el conocimiento técnico relacionado con el comportamiento mecánico del tapial modificado mediante la incorporación de aditivos naturales, como la cal y la viruta de madera, en condiciones



climáticas particulares como las de la región de Puno. A pesar del uso extendido de esta técnica en contextos rurales, existe escasa documentación científica que analice con rigurosidad el efecto de estos materiales sobre la resistencia estructural y la durabilidad del tapial frente a factores ambientales extremos. Los resultados derivados de este estudio ofrecerán una base cuantitativa y cualitativa para optimizar las mezclas utilizadas en la construcción con tierra estabilizada, facilitando así la mejora de prácticas constructivas tradicionales en zonas que presentan condiciones similares, tanto dentro del territorio peruano como en otras regiones alto andinas o rurales del mundo donde se enfrentan desafíos ambientales comparables. Asimismo, este trabajo busca sentar un precedente técnico que pueda ser aprovechado en futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de la construcción sostenible. Al combinar conocimiento ancestral con innovación material, se busca contribuir a un modelo de edificación más resiliente, eficiente y adaptado a las realidades socioambientales de las comunidades más vulnerables.

Al generar evidencia empírica y técnica sobre la eficacia de la incorporación de cal y viruta en la mejora del tapial, esta investigación tiene el potencial de trascender el ámbito académico y convertirse en una herramienta valiosa para la formación de mano de obra local. La validación científica de estas técnicas constructivas permitirá no solo mejorar la calidad y durabilidad de las viviendas rurales, sino también facilitar la transferencia de conocimiento hacia los constructores, albañiles y técnicos de la región, fortaleciendo así sus capacidades en la aplicación de soluciones constructivas sostenibles. Este proceso de capacitación y difusión técnica promoverá la apropiación de prácticas constructivas mejoradas por parte de las comunidades, lo que a su vez contribuirá a elevar los estándares de seguridad, habitabilidad y eficiencia en las edificaciones rurales. Además, el fortalecimiento del conocimiento local en el uso de tecnologías constructivas



adaptadas al entorno natural y socioeconómico impulsa una construcción más resiliente, alineada con los principios del desarrollo sostenible y la gestión responsable de los recursos.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Analizar la influencia de la adición de cal y viruta de eucalipto en las propiedades mecánicas de muros tipo tapial para viviendas rurales en el distrito de Ácora, provincia Puno 2023.

1.5.2 Objetivos específicos

Nº 1: Determinar el valor de la resistencia a compresión axial de muros tipo tapial con la adición de cal y viruta de eucalipto.

Nº 2: Determinar el valor de la resistencia a compresión diagonal de muros tipo tapial con la adición de cal y viruta de eucalipto.

Nº 3: Determinar el módulo de elasticidad y el módulo de cortante de muros tipo tapial con la adición de cal y viruta de eucalipto.

1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La Tabla 1 muestra detalladamente la operacionalización de las variables, que se clasificó en variable independiente y variable dependiente. Para operacionalizar las variables independientes de viruta y cal, se puede cuantificar a través del porcentaje de incorporación en relación al peso seco del suelo. De igual forma, las variables dependientes poseen varios parámetros, como: resistencia a la compresión axial y resistencia a la compresión diagonal.



Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de medida
Viruta (variable independiente)	Dosificación en % de viruta	% Viruta	%
Cal (variable independiente)	Dosificación en % de cal	% Cal	%
Propiedad físico mecánica de los muretes (variable dependiente)	Resistencia a compresión axial	Resistencia a compresión axial de muretes	kg/cm ²
	Resistencia a compresión diagonal	Resistencia a compresión diagonal de muretes	kg/cm ²

Fuente: Creación única por los tesisistas.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

Rodríguez et al. (2020) “en su artículo de investigación, busca determinar valores experimentales para la caracterización del comportamiento a cortante y la resistencia a tracción de los calicantos de adobe. A partir de las pruebas realizadas a esfuerzos de presión diagonal o corte y pruebas de partición se analizan el comportamiento del tapial también se analizan diferentes estimadores del módulo de cizalladura. Según los resultados se concluye que el valor medio del esfuerzo cortante máximo es de 0,181 MPa con un coeficiente de variación de 3,99%, la deformación de cizalladura máxima (pico, la deformación correspondiente a la tensión de cizalladura máxima) presenta un valor medio de 0,0026 con un coeficiente de variación de 5,44%. A partir de la revisión de la literatura, los autores encuentran que estos valores son significativamente más altos que los presentados en la investigación de Silveira et al. (2015) que obtuvo una resistencia máxima de 0.026 MPa. A partir de los valores obtenidos para el módulo de elasticidad E, módulo secante entre $1/3$ y $2/3$ y módulo de Poisson, se obtiene un valor de 207 MPa para el módulo de corte G se recomienda un valor del módulo tangente entre $1/3$ y $2/3$ de la resistencia al corte para fines de diseño estructural”.

En el artículo de Silveira et al. (2015), “que tiene por objetivo evaluar el comportamiento de los paneles de muro en términos de relaciones tensión deformación, resistencia, deformación, rigidez y patrón de daño. Se recolectaron



los datos mediante el ensayo y análisis de cinco paneles de muro en compresión simple y cinco paneles de muro en compresión diagonal. A partir de estos ensayos fue posible determinar y evaluar las propiedades mecánicas del tapial. A partir del producto adquirido, puede deducirse que la resistencia al aplastamiento de los muros oscila entre 258 y 405 kPa, con un valor medio de 331 kPa y un coeficiente de variación del 17% en todos los casos. El resultado de la prueba de resistencia media a la compresión adquirida es inferior a la resistencia media a la compresión de los materiales componentes de los muros; es el 71% de la resistencia media de los adobes y asimismo el 71% de la resistencia media del mortero. La resistencia media a la compresión adquirida es inferior a la resistencia media de los adobes. El módulo de elasticidad secante a un tercio del esfuerzo máximo varía entre 684 y 821 MPa, con un valor medio de 757 MPa y coeficiente de variación del 8%. La resistencia al corte obtenido varía entre 22 y 32 kPa, con un valor medio de 26 kPa y un coeficiente de variación del 16 %. El módulo de rigidez medio es el 55% del módulo de elasticidad medio obtenido en los ensayos de compresión simple. Considerando la relación entre el factor de rigidez y el de la elasticidad para materiales elásticos varía entre $G= 0,39E$ y $G= 0,48E$ ”.

Tal y como se recoge en el artículo experimental que Reyes et al. (2018) han escrito, “el objetivo de su estudio es investigar el comportamiento a cortante de muros de tierra apisonada y adobe. La recolección de datos es mediante los ensayos a especímenes de muros sólidos en seis muros de adobe y tierra apisonada a escala real ensayados cíclicamente bajo un protocolo de desplazamiento controlado, la realización de ensayos cíclicos en seis 2.50 m × 1.80 m × 0.40 m muros macizos y dos 7.00 m × 3.45 m × 0.60 m muros con aberturas construidos con adobes. Según los resultados se concluye que los mecanismos de fallo de los



muros de tierra están dominados por la presencia de grietas diagonales que dividen los muros en grandes segmentos que eventualmente se caerán conduciendo a la pérdida de la capacidad de corte, la capacidad de corte está controlada por la carga axial del muro y la relación de aspecto, los límites inferiores de la capacidad de deriva local en el agrietamiento inicial y la resistencia de corte máxima de los muros y pilares son 0.08% y 0.80%, respectivamente. Los resultados indicaron que la capacidad de corte del muro de RE era mayor que la del muro de adobe para un nivel de deriva global máximo impuesto del 0.46%, cuando ambos empezaron a perder capacidad de carga lateral. El muro de tierra apisonada también mostró una mayor capacidad de disipación de energía y un alargamiento del periodo fundamental de vibración un 25% menor”.

En el artículo de Fages et al. (2022) “que tiene por objetivo evaluar los parámetros mecánicos a utilizar en el modelado numérico de muestras de adobe a través del desarrollo de los elementos finitos. La recolección de datos es mediante ensayos experimentales preliminares realizados sobre prismas de mampostería tipo tapial expuestos a cargas axiales y diagonales de compresión, respectivamente. Para las pruebas de compresión a corte, las especificaciones de los muros de mampostería de adobe se fabricaron siguiendo las especificaciones de diseño de la Norma ASTM E519 (1988). Las dimensiones fueron $900 \times 900 \times 160\text{mm}^3$, que consta de 9 filas de ladrillos con 2,5 ladrillos por fila. Los resultados obtenidos para las tres estimaciones diferentes del módulo de Young obtenidas a someter a carga axial los muretes de adobe (Rodríguez Mariscal y Solis, 2020). Corresponden al módulo secante a $1/3$ y $2/3$ de la resistencia a la compresión ($E_{1/3} = 642$ MPa y $E_{2/3} = 533$ MPa, respectivamente) y el módulo tangente entre $1/3$ y $2/3$ de la resistencia a la compresión ($E_{1/3-2/3} = 497$ MPa). Según los resultados



se concluye que la resistencia compresión diagonal (0,13 MPa) proporciona el mejor ajuste de la solución numérica con los resultados experimentales. La resistencia obtenida a partir de los ensayos de partición y suponiendo un estado de esfuerzo cortante puro en el ensayo de compresión diagonal (0,17 MPa), conduce a una sobreestimación de la capacidad de carga máxima del muro y a mayores inestabilidades”.

En el artículo de Miccoli et al. (2014) “que tiene por objetivo evaluar el comportamiento estático de la tierra apisonada y el modelado de elementos finitos. Se recolectaron los datos ensayando y modelando cinco compartimentos de tierra apisonada bajo compresión axial y otros cinco bajo compresión diagonal. Los resultados muestran que en las muestras de bloques de tierras se obtiene un módulo de Young de aproximadamente 2500 N/mm². Las propiedades mecánicas obtenidas en las pruebas de presión diagonal, en términos de resistencia al corte es 0.70 N/mm² y módulo de corte (G) es 1.582 N/mm², donde este último parámetro se calculó entre el 5% y el 30% de la resistencia al corte mediante ajuste lineal. Es importante resaltar que tanto la resistencia al corte como el módulo de corte (G) presentaron una dispersión bastante elevada, donde resistencia al corte varió entre 0,54 y 0,83 N/mm² y G entre 1260 y 2146 N/mm². Según los resultados se concluye que el programa experimental permitió caracterizar parámetros mecánicos importantes, como la resistencia a la compresión, el módulo de Young, el coeficiente de Poisson, la resistencia al cizallamiento y el módulo de cizallamiento, y evaluar el comportamiento no lineal del tapial, se demostró que la resistencia a la tracción de la interfaz y el espesor de las capas de tierra apisonada tenían poca influencia en el comportamiento de corte”.



Según Yamín et al. (2007), abordan en su artículo la problemática relacionada con la vulnerabilidad sísmica de las construcciones en adobe y tapia pisada en regiones rurales de Colombia. Su estudio combinó un trabajo de campo con inspecciones técnicas in situ, donde se identificaron los sistemas constructivos predominantes y se recopilaban muestras de materiales tradicionales como adobe y tierra para la elaboración de muros de tapia pisada. Posteriormente, en laboratorio se reconstruyeron probetas con estos materiales, las cuales fueron sometidas a diferentes condiciones de carga con el propósito de evaluar sus propiedades mecánicas y el comportamiento estructural bajo esfuerzos diversos. Los resultados de las pruebas indicaron una resistencia promedio a la compresión de 0.55 MPa, un módulo de elasticidad de 66.6 MPa, un esfuerzo de tracción diagonal de 0.037 MPa y un módulo de corte de 31.2 MPa para los muros construidos con tapia pisada. El estudio concluye que tanto las estructuras de adobe como las de tapia presentan una elevada vulnerabilidad frente a eventos sísmicos, debido principalmente a la baja resistencia a la tensión de los materiales y a la carencia de elementos estructurales esenciales, tales como sistemas de confinamiento adecuados, continuidad entre componentes estructurales, diafragmas rígidos y otras características que permitan una mejor distribución y absorción de cargas sísmicas.

Según Bestraten (2011), plantea en su artículo el propósito de proporcionar una perspectiva actualizada sobre las técnicas constructivas basadas en el uso de tierra, destacando tanto datos técnicos como ejemplos reconocidos globalmente que evidencian la relevancia y aplicabilidad de estas metodologías tradicionales en la ingeniería moderna. Para sustentar su análisis, se llevaron a cabo ensayos en diversas mezclas de tierra que arrojaron una resistencia a compresión promedio



de 3.2 N/mm^2 , una resistencia al corte de 0.79 N/mm^2 y un módulo de elasticidad estimado en 650 N/mm^2 . La investigación enfatiza que la tierra constituye un valioso patrimonio cultural y material, cuya utilización en la construcción ha permitido la existencia y conservación de edificaciones con siglos de antigüedad alrededor del mundo. Esta longevidad evidencia la durabilidad y el potencial que tiene la tierra como recurso constructivo, especialmente cuando se aplican técnicas mejoradas y controladas.

Según Afanador et al. (2013), llevaron a cabo un estudio cuyo propósito principal fue determinar las propiedades mecánicas del muro de zapata y analizar el impacto de los componentes estructurales en edificaciones construidas con muros de tapial. Para ello, desarrollaron un modelo matemático que permitió evaluar el grado de vulnerabilidad del conjunto histórico Gran Convención, empleando técnicas avanzadas de modelación mediante elementos finitos. Los resultados experimentales mostraron que la mayoría de los especímenes exhibieron un comportamiento elástico lineal, aunque dos de los seis evaluados presentaron respuestas dentro del rango no lineal bajo ciertas condiciones de carga. Las características mecánicas del tapial pisado fueron evaluadas a través de especímenes con dimensiones de $250 \times 500 \times 500 \text{ mm}$. Durante un período de 28 días, el módulo de elasticidad (E) promedio se situó en 54.78 MPa , con un valor máximo de 74.00 MPa y un mínimo de 42.12 MPa , mientras que el esfuerzo promedio de compresión alcanzó los 0.17 MPa . La resistencia a la corte más elevada registrada fue de 0.022 MPa , indicando las limitaciones del material frente a esfuerzos de cizallamiento. Se concluye que el tapial pisado responde principalmente de forma lineal y elástica a las acciones de compresión y tracción diagonal, sin incursionar significativamente en el comportamiento no lineal.



Además, el tiempo de fraguado de este material está influenciado por el área de exposición y la naturaleza del suelo utilizado. En este caso, para especímenes elaborados con material areno arcilloso, típico en la construcción con tapia pisada, el fraguado se completó aproximadamente en 16 días, según los resultados del análisis cinético de secado.

2.1.2 Antecedentes nacionales

El objetivo del estudio de investigación realizado por Chiqui y Chalco (2018), “es comprobar si el refuerzo de las capas de mortero de cemento y arena con una dosificación de volumen de 1:4 en las juntas, que se utilizan en los muros de tapial, tiene o no un efecto sobre las características mecánicas de presión axial y diagonal en comparación con el muro de tipo tapial tradicional. Se está realizando un estudio cuantitativo, y el grado de indagación es cuasi experimental. En su trabajo de laboratorio elaboraron un total de 48 especímenes, 24 especímenes fueron sometidos y compresión axial y 24 especímenes fueron sometidos a compresión diagonal, cada espécimen fue compuesto por cinco capas que se sometieron a compactación a 8 cm de altura mediante un martillo neumático, adicionando una mezcla de mortero de cemento con arena entre capa y capa. Se determinó que las hileras de mortero de cemento y arena, que se dosificaron en volumen de 1 a 4 como reforzamiento en las juntas de los muros, produjeron un aumento del 11,34% en la resistencia a cargas tipo axial de la estructura, en comparación con el tapial tradicional. Esto mismo se aplica a los esfuerzos de corte, que muestra un aumento del 77.78% en comparación con el esfuerzo de corte del tapial tradicional”.



El Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (1989), “cuya investigación tiene por objeto estudiar la forma de reforzar las casas de adobe, Se llevó a cabo una investigación preliminar para estudiar la viabilidad de emplear cañas y madera en rollo de eucalipto como componentes de refuerzo para reforzar muros o paredes de adobe. Esta investigación se llevó a cabo en colaboración con la Pontificia Universidad Católica de Filipinas (PUC). Después, en una investigación posterior, se realizaron pruebas con la ayuda de una mesa vibratoria, lo que facilitó la adquisición del impacto dinámico que tenían los muros de tierra apisonada. De acuerdo con los resultados, la prueba de compresión a corte o diagonal realizada en muros convencionales produjo un valor de $1,79 \text{ kg/cm}^2$, el muro al que se le añadió un 5% de cal produjo un valor de $0,87 \text{ kg/cm}^2$ y el muro al que se le añadió un 5% de cemento produjo un valor de $1,55 \text{ kg/cm}^2$ ”.

Según Tejada et al. (2017), en el marco de sus investigaciones sobre tecnologías constructivas tradicionales, centraron sus esfuerzos en el desarrollo y difusión del conocimiento técnico relacionado con el uso del tapial como sistema estructural. Una de sus investigaciones más destacadas fue el estudio titulado "Ensayos de Tapial Mejorado", el cual se enfocó en evaluar el comportamiento estructural de este material mediante una serie de ensayos físicos y dinámicos, incluyendo una simulación de sismos a escala real en un módulo habitacional construido con esta técnica. Durante el desarrollo del estudio, se aplicaron pruebas de caracterización del suelo, ensayos de compresión axial y esfuerzos de corte en diferentes configuraciones estructurales como prismas y muros. Entre los resultados más relevantes, se identificó que el muro mejorado sometido a cargas axiales, con dimensiones de $28 \times 20 \times 39 \text{ cm}$, alcanzó una resistencia a la



compresión axial de 11.78 kg/cm². En cuanto al comportamiento ante esfuerzos cortantes, se determinó un valor promedio de 1.685 kg/cm², con una desviación estándar de 0.61 kg/cm² y un coeficiente de variación de 5.19%. Asimismo, se reportó un esfuerzo cortante medio de 0.165 MPa, acompañado de una desviación estándar de 0.24 kg/cm² y un coeficiente de variación del 14.19%, lo que refleja cierta dispersión en los resultados, probablemente debido a las características heterogéneas del material. Estas pruebas fueron desarrolladas en los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), y el estudio concluye que, si bien el tapial mejorado muestra cierto potencial estructural, es indispensable continuar con investigaciones que profundicen en el análisis de sus propiedades físico mecánicas. Además, se destaca la necesidad de desarrollar sistemas de refuerzo que incrementen su desempeño estructural, especialmente frente a cargas sísmicas, a fin de garantizar su seguridad en edificaciones habitacionales.

Según Altamirano (2018), en el desarrollo de su investigación de pregrado, tuvo como objetivo principal determinar el comportamiento a compresión tanto de unidades individuales como de sistemas constructivos (muros y pilotes) elaborados con adobe estabilizado mediante la adición de cal apagada. La investigación se estructuró bajo un enfoque experimental, utilizando ensayos de compresión para evaluar la resistencia del material en distintas condiciones. Para ello, se fabricaron bloques, muretes y pilas de adobe con incorporaciones de cal apagada en tres proporciones distintas: 6%, 12% y 18% en relación al peso seco del suelo. Las unidades fueron sometidas a pruebas de compresión a los 30 y 60 días, con el fin de observar la evolución de sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo de curado. Los resultados obtenidos indicaron que la incorporación de cal apagada, lejos de mejorar la resistencia mecánica, produjo una disminución



significativa en la capacidad de carga de las unidades. Específicamente, se observó que a medida que aumentaba el porcentaje de cal, se reducía progresivamente la resistencia a compresión, afectando negativamente la calidad estructural del adobe. En el análisis comparativo, se clasificó la unidad tradicional como tipo “A”, mientras que los bloques estabilizados fueron designados como “B” (6%), “C” (12%) y “D” (18%). Las pruebas demostraron que las unidades de tipo B, C y D presentaron resistencias considerablemente inferiores a las del adobe convencional (A), tanto en formato unitario como en configuración de muro. En conclusión, el estudio evidencia que la estabilización del adobe con cal apagada no resulta una alternativa favorable para mejorar sus propiedades resistentes, especialmente cuando se utiliza como sustituto en porcentajes elevados del peso seco del suelo.

Según Valera (2019), en el marco de su trabajo de investigación para la obtención del título profesional, orientó su estudio a identificar y sistematizar información sobre el comportamiento estructural de bloques de adobe modificados mediante la incorporación de fibras vegetales, específicamente viruta de tornillo y viruta de eucalipto. Su investigación se enmarca dentro de un enfoque no experimental, con un diseño de tipo descriptivo, centrado en el análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del adobe tradicional frente a aquellos mejorados con aditivos fibrosos. El estudio consideró la ejecución de ensayos mecánicos de resistencia a la compresión, tracción a la flexión y pruebas de resistencia al agua, con el objetivo de evaluar los efectos de dichas adiciones sobre el desempeño del material. Según los resultados obtenidos, la inclusión de un 3% de viruta de tornillo en la mezcla de adobe resultó en una resistencia a compresión de 30.25 kg/cm^2 , valor que supera el de las muestras convencionales



empleadas en la zona. Asimismo, la adición de un 2% de viruta de eucalipto alcanzó un rendimiento aún más significativo, con una resistencia a compresión de 45.11 kg/cm², confirmando el potencial de esta fibra como refuerzo estructural en bloques de tierra. Los hallazgos permiten concluir que la adición controlada de fibras vegetales, como la viruta de eucalipto o de tornillo, constituye una estrategia efectiva para mejorar el comportamiento mecánico del adobe tradicional, especialmente en términos de resistencia a esfuerzos compresivos, ampliando su aplicabilidad como material alternativo en construcciones rurales o de bajo impacto ambiental.

Según Carhuanambo (2016), llevó a cabo una investigación de tipo experimental con el propósito de evaluar el efecto de la incorporación de viruta de eucalipto, en proporciones de 1.5%, 3.0% y 4.5% sobre las propiedades físico mecánicas del adobe compactado, con el fin de determinar los beneficios y limitaciones de dichos aditivos en su proceso de fabricación. El estudio contempló la ejecución de ensayos mecánicos sobre un total de 56 unidades sometidas a compresión, 42 muestras ensayadas a flexión y 42 especímenes evaluados para determinar su grado de absorción de agua. En cuanto a la resistencia a compresión, los bloques con adición de viruta de eucalipto mostraron mejoras progresivas con valores de 28.04 kg/cm², 29.79 kg/cm² y 30.94 kg/cm² para las dosificaciones de 1.5%, 3.0% y 4.5%, respectivamente. En contraste, las unidades que incorporaron viruta de eucalipto presentaron un desempeño decreciente en este mismo parámetro, registrando resistencias de 21.01 kg/cm², 18.53 kg/cm² y 13.64 kg/cm² para las mismas proporciones. En lo relativo a la resistencia a la flexión, los bloques con viruta de eucalipto obtuvieron valores de 20.67 kg/cm² (1.5%), 19.38 kg/cm² (3.0%) y 23.34 kg/cm² (4.5%), mientras que las muestras tratadas con



viruta alcanzaron resistencias de 18.06 kg/cm², 9.81 kg/cm² y 12.48 kg/cm² respectivamente. Este comportamiento sugiere una mayor efectividad mecánica de la viruta, especialmente en esfuerzos de tracción indirecta. Por último, las pruebas de absorción de agua demostraron que el incremento en la proporción de viruta conlleva un aumento en la capacidad de absorción del adobe, con valores de 19.36%, 20.15% y 20.95% para las proporciones de 1.5%, 3.0% y 4.5%, respectivamente. Este resultado indica una correlación directa entre el contenido de viruta y la higroscopicidad del material, lo cual debe considerarse en función de las condiciones ambientales de uso. En conclusión, la incorporación de viruta de eucalipto mejora notablemente las propiedades mecánicas del adobe compactado, aunque puede aumentar su vulnerabilidad a la humedad, mientras que la viruta presenta un comportamiento menos favorable en términos de resistencia estructural.

En su tesis de graduación, Cholon (2023), “intenta determinar la resistencia requerida añadiendo virutas de madera y rastrojo de maíz como aglutinante en el diseño de la mezcla para la fabricación de ladrillos de adobe. Esto se hace con el fin de obtener la resistencia deseada. La investigación se llevó a cabo mediante una técnica cuantitativa y un diseño experimental. Según los resultados respecto a la resistencia a esfuerzo de carga axial sobre prismas con incorporaciones de viruta de madera y tusa de maíz se obtuvo un valor de 5.06 kg/cm² con 3% de viruta y un 1% de tusa de maíz del valor promedio de todas las muestras evaluadas en estudio, los prismas elaborados con mortero en proporciones de 1 a 4, 1 a 5 y 1 a 6 resultaron una resistencia de 98.64 kg/cm². Los resultados del estudio indican que la resistencia a la compresión de los cubos de adobe arrojó un resultado de muestra estándar de 9,80 kg/cm², que representa



la media más alta entre todas las muestras analizadas. Curiosamente, la incorporación de un 2% de rastrojo de maíz demostró un notable aumento de la resistencia, alcanzando los 14,10 kg/cm². Además, al combinar un 2% de rastrojo de maíz con un 2% de virutas de madera, el valor de resistencia medido fue de 12,80 kg/cm². Es importante destacar que estos dos resultados mostraron un rendimiento superior en comparación con las demás muestras sometidas a prueba”.

2.1.3 Antecedentes locales o regionales

Jacinto y Chambilla (2022), “realizaron una investigación de grado cuyo objetivo fue desarrollar un modelo de vivienda de adobe reforzado con malla metálica diseñado para resistir sismos en la localidad de Lampa. Su estudio se clasificó como básico, explicativo y cuasi experimental. Utilizando el software SAP 2000, determinaron las propiedades mecánicas del adobe, específicamente el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson, para dos tipos de adobe: el antiguo, con valores de 87.092 MPa y 0.21 respectivamente, y el adobe recién elaborado, con 114.333 MPa y 0.167. Con base en el análisis de esfuerzos longitudinales en viviendas con dimensiones de 5.40 m de largo y 3.60 m de ancho, y utilizando adobes cuadrados de 0.40 m por lado, se evidenció que para esfuerzos que van desde 35 a 49 toneladas por metro cuadrado, el modelo con adobe nuevo presenta un área menor en 1.303 m² en comparación con el adobe antiguo. Además, se diseñaron dos prototipos a escala 1:10: uno sin refuerzo y otro reforzado con malla metálica. Ambos fueron sometidos a ensayos sísmicos en cuatro fases con distintas amplitudes y frecuencias. Durante la fase de falla, con una amplitud de 3 cm y frecuencia de 2.5 Hz, el prototipo sin refuerzo resistió 1.30 segundos, mientras que el reforzado alcanzó los 2.50 segundos. Proyectando



estos resultados a escala real, los tiempos de falla fueron de 13.00 segundos para el modelo sin refuerzo y 25.00 segundos para el reforzado, bajo una aceleración máxima de 0.305 g, equivalente a un sismo de intensidad VII en la Escala de Mercalli”.

Según Gonzales (2022) plantea en su investigación de grado una propuesta orientada a mejorar el desempeño estructural de los bloques de albañilería tradicional utilizados frecuentemente en la construcción de viviendas rurales. El objetivo central de su estudio fue incrementar la resistencia mecánica, la durabilidad y las propiedades físico mecánicas del adobe mediante su estabilización con cemento. Esta mejora estructural se aborda a través de una metodología de tipo descriptiva, transversal, prospectiva y analítica, lo que permitió evaluar de manera integral los cambios inducidos en el material tratado. Los ensayos realizados evidenciaron un aumento progresivo en la resistencia a compresión de los bloques estabilizados, con incrementos del 52.44%, 70.05% y hasta un 124.99% en comparación con los bloques convencionales. La máxima resistencia registrada alcanzó los 20.29 kg/cm². Asimismo, se identificó una reducción significativa en la absorción de humedad, con un descenso del 47.38%, lo cual sugiere una mayor estabilidad frente a condiciones climáticas adversas, reforzando la durabilidad del material en ambientes húmedos. En síntesis, la investigación concluye que la incorporación de cemento como agente estabilizante en el adobe contribuye significativamente a mejorar sus características físico mecánicas. Esta técnica incrementa la resistencia del material ante esfuerzos de compresión, erosión y exposición a la humedad, posicionando al adobe estabilizado como una alternativa técnica viable, eficiente y sostenible para la edificación rural.



Según el estudio realizado por Ticona (2024), su investigación tiene como objetivo central analizar exhaustivamente el impacto que genera la incorporación de fibra de polipropileno en la composición de bloques de adobe, con énfasis en sus propiedades físicas y mecánicas. Este estudio se enmarca dentro de un enfoque metodológico cuantitativo, de naturaleza aplicada, con un diseño cuasi experimental y un alto nivel explicativo, lo que permite una evaluación detallada de los efectos inducidos por la adición del polímero en cuestión. Mediante un muestreo no probabilístico, se elaboraron un total de 174 especímenes de adobe, diferenciados entre unidades convencionales fabricadas de forma artesanal y bloques tratados con distintas proporciones de fibra de polipropileno, en el centro poblado de Mi Perú, ubicado en la región de Puno. Las pruebas experimentales se ejecutaron sobre adobes con adiciones progresivas de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 3.0%, 5.0 % y 7.0 % de fibra, observándose una reducción significativa en la variabilidad dimensional de los bloques. En particular, se reportaron disminuciones en las deformaciones longitudinales (de 5.61% a 2.75%), transversales (de 6.94% a 4.50%) y en altura (de 7.50% a 1.29%), lo cual sugiere una mejora en la estabilidad dimensional del material. Adicionalmente, los resultados revelan un incremento sustancial en el rendimiento mecánico de los bloques tratados, destacando aumentos en la resistencia a la tracción (de 1.54 a 3.13 kg/cm²), a la compresión (de 12.06 a 23.70 kg/cm²) y a la flexión (de 7.40 a 13.04 kg/cm²). El análisis concluye que la adición óptima se encuentra en una proporción del 1.5% de fibra de polipropileno, alcanzando una resistencia a la tracción de 3.13 kg/cm². Estos resultados confirman que la fibra sintética actúa como un refuerzo eficaz, mejorando significativamente el desempeño físico mecánico del adobe



tradicional, y consolidándola como una alternativa técnica innovadora y sostenible en la mejora de materiales de construcción.

Vilca y Machaca (2024) en el marco de su tesis de grado, desarrollan una investigación aplicada orientada a evaluar el efecto de la incorporación de virutas de eucalipto en la fabricación de bloques de adobe, así como a comparar sus propiedades físico mecánicas y analizar su comportamiento estructural frente a eventos sísmicos, utilizando para ello modelos de vivienda a escala construidos en los distritos de Chupa y Chucuito. La investigación se clasifica como de nivel explicativo, con un diseño cuasi experimental, y emplea una metodología basada en ensayos mecánicos y dinámicos para la obtención de datos. La recolección de datos se llevó a cabo mediante ensayos de compresión, flexión y pruebas dinámicas en mesa vibratoria, aplicadas a modelos estructurales a escala. Para establecer una base de comparación, se elaboró un adobe patrón compuesto por materiales tradicionales como tierra de cantera, paja o ichu y agua. Posteriormente, se produjeron bloques mejorados mediante la incorporación de virutas de eucalipto en proporciones del 25%, 50% y 75% respecto al peso de la paja. En total, se utilizaron 24 muestras cúbicas de 10 cm y 24 muestras prismáticas de 40 cm × 19 cm × 10 cm por cada zona de estudio, además de cuatro modelos estructurales a escala. Los resultados del análisis experimental indican que, para la cantera del distrito de Chupa, la resistencia a compresión simple mejoró de manera progresiva con las proporciones de viruta añadidas: 0.00 kg/cm² (0%), 0.77 kg/cm² (25%), 5.12 kg/cm² (50%) y 6.54 kg/cm² (75%), en comparación con el adobe convencional. De manera similar, en la cantera de Chucuito se observaron mejoras de 0.00 kg/cm², 0.95 kg/cm², 1.44 kg/cm² y 5.86kg/cm² respectivamente. Estos hallazgos permiten concluir que la



incorporación de virutas de eucalipto, particularmente en una proporción del 75 %, genera un efecto positivo considerable en el desempeño mecánico del adobe, evidenciando su potencial como aditivo de refuerzo para mejorar la resistencia estructural y la respuesta sísmica del material.

En su trabajo de tesis, Huanca (2021) desarrolló una investigación orientada a mejorar las propiedades térmicas y mecánicas del adobe en la ciudad de Juliaca, mediante la incorporación progresiva de fibra de eucalipto en proporciones de 0%, 1%, 2,5% y 4%. Para evaluar los efectos de esta adición, el estudio se basó en los lineamientos establecidos por la Norma Técnica Peruana E.080 (2017), empleando un diseño de investigación de tipo experimental con enfoque cuantitativo y nivel explicativo. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en la resistencia a la flexión, con incrementos del 21.97%, 31.79% y 42.17% respecto al adobe convencional sin aditivos, conforme aumentaba el contenido de fibra. De manera similar, se observó un fortalecimiento progresivo en la resistencia a la compresión, registrando mejoras del 3.72%, 7.70% y 14.62%, lo cual sugiere una respuesta estructural más eficiente ante cargas mecánicas. En lo referente al comportamiento térmico, los resultados indicaron una leve disminución en la capacidad de aislamiento conforme se incrementaba la cantidad de fibra, con variaciones de 1.39%, 4.17% y 5.56%, respectivamente. Pese a ello, el impacto sobre las propiedades térmicas fue considerado poco significativo en comparación con los beneficios estructurales obtenidos. En síntesis, la investigación concluyó que la inclusión de fibra de eucalipto mejora de manera sustancial las propiedades mecánicas del adobe sin comprometer significativamente su comportamiento térmico. Esta estrategia representa una alternativa viable y ecológica para el fortalecimiento de edificaciones rurales,



contribuyendo a una construcción más sostenible y adaptada a las condiciones climáticas de zonas alto andinas.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Comportamiento estructural del tapial

Las construcciones con muros de tapial tienen una buena capacidad para soportar fuerzas de compresión, lo que les permite aguantar cargas pesadas sin mayor problema. Sin embargo, presentan dificultades cuando deben enfrentar fuerzas laterales, como las que provocan los sismos. En estos casos, la capacidad del tapial para resistir depende principalmente de su resistencia al esfuerzo cortante.

Es fundamental destacar que las edificaciones hechas con tierra requieren refuerzos complementarios, además de contar con un diseño adecuado que utilice paredes con densidades similares en direcciones perpendiculares.

2.2.1.1 Características mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales están relacionadas con su comportamiento frente a la aplicación de fuerzas externas, determinando su capacidad para absorber, resistir o deformarse ante distintas cargas. En el caso específico de los muros de tapial, la evaluación de estas propiedades se basa en analizar su respuesta estructural frente a diversos tipos de esfuerzos, como la compresión, el corte o la flexión. Esta interpretación permite comprender hasta qué punto el material puede mantener su integridad frente a las solicitaciones a las que podría estar expuesto durante su vida útil.



En la mayoría de los casos, los esfuerzos no actúan de forma aislada, sino que se presentan simultáneamente en combinaciones de dos o más tipos. Estas combinaciones pueden incluir fuerzas axiales junto con momentos flectores, axiales con esfuerzos de torsión, flectores con torsores, o incluso la interacción de esfuerzos axiales, flectores y torsores al mismo tiempo. Esta superposición de cargas complica el análisis estructural, ya que requiere una evaluación más precisa del comportamiento del material ante sollicitaciones complejas.

Resulta fundamental distinguir, dentro de las combinaciones de esfuerzos, aquellos que se clasifican como esfuerzos normales ya sean de tracción o compresión y aquellos considerados como esfuerzos cortantes. Esta diferenciación permite comprender mejor cómo se distribuyen las cargas en los elementos estructurales. Asimismo, es esencial analizar cómo se reparten dichos esfuerzos a lo largo de la sección del material y determinar los puntos donde se alcanzan los valores máximos, ya que esto influye directamente en el diseño y la seguridad de la estructura.

En los ensayos de compresión axial y compresión diagonal se espera la aparición de diferentes tipos de esfuerzos: en el primero, predominan los esfuerzos de compresión, mientras el segundo, los esfuerzos principales son de corte directo. Esto se debe a que, en una prueba de carga axial, la fuerza aplicada sobre el muro es transmitida de manera perpendicular por medio de las escuadras, provocando una distribución uniforme de la compresión sobre la superficie del muro. A su vez, la configuración geométrica del muro genera una redistribución



transversal de estas cargas, lo que origina la presencia de esfuerzos cortantes a lo largo del elemento.

a. Compresión Axial

El esfuerzo de compresión se define como el resultado de las tensiones internas que se generan dentro de un cuerpo sólido y deformable cuando es sometido a fuerzas que tienden a reducir su volumen. Este tipo de esfuerzo provoca un acortamiento del material en la dirección en la que actúa la carga. Además, debido al fenómeno descrito por el coeficiente de Poisson, la contracción en una dirección suele ir acompañada de una expansión en direcciones perpendiculares, lo que refleja el comportamiento tridimensional del material ante la compresión.

La resistencia del tapial depende de diversos factores, entre ellos:

- Características y propiedades de los materiales que conforman la mezcla: Esto incluye la tierra, los aditivos utilizados para mejorar el comportamiento del material, y el agua que actúa como agente aglutinante y facilitador de la compactación.
- Proporción relativa de los componentes en la mezcla: Es fundamental definir las cantidades específicas de cada material, prestando especial atención al porcentaje inicial de agua, ya que influye directamente en la trabajabilidad y resistencia del tapial.
- Mezclado de los materiales: Se refiere al proceso de integrar homogéneamente la tierra, aditivos y agua para obtener una



mezcla uniforme que permita una buena cohesión y compactación.

- Colocación y energía específica de compactación: Esta etapa abarca la forma en que se deposita la mezcla en los moldes o en obra, así como la cantidad de energía aplicada para compactarla adecuadamente, lo cual es crucial para alcanzar las propiedades mecánicas deseadas.

b. Esfuerzo cortante

Los esfuerzos cortantes representan una parte fundamental de la resistencia que impide el deslizamiento entre diferentes porciones de un sólido a lo largo de una sección determinada. Estos esfuerzos actúan de manera paralela al plano que los contiene, por lo que también se conocen como esfuerzos tangenciales. Su aparición se da cuando las fuerzas externas inducen que una sección del material intente desplazarse respecto a la adyacente. En particular, cuando este deslizamiento ocurre en un plano paralelo a la dirección de la carga aplicada, se habla de esfuerzo cortante directo. Cabe destacar que, en este tipo de estructuras, la capacidad para resistir esfuerzos de tracción es generalmente muy baja, limitando su desempeño frente a fuerzas que intentan separar o estirar el material.

2.2.2 Marco normativo y legal

2.2.2.1 Resistencia a compresión diagonal en muretes

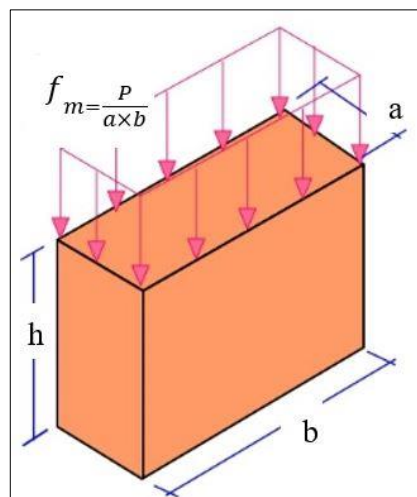
La verificación de la resistencia a la compresión se llevará a cabo conforme a lo establecido por la Norma Técnica E.080 (2017), que implica

someter los muretes tipo tapial a una carga axial, en la Figura 1 se observa el ensayo. Los requisitos que exige la Norma son las siguientes:

- Los muretes de tapial deben tener una altura que triplique aproximadamente el espesor.
- Es esencial garantizar que la media de las cuatro muestras más excepcionales de un total de seis sea igual o superior a la resistencia final de 6.12 kg/cm^2 tras 28 días sometido a un proceso de secado continuo.

Figura 1

Ensayo de compresión axial en muretes de tapial



Fuente: Creación única de los tesisistas.

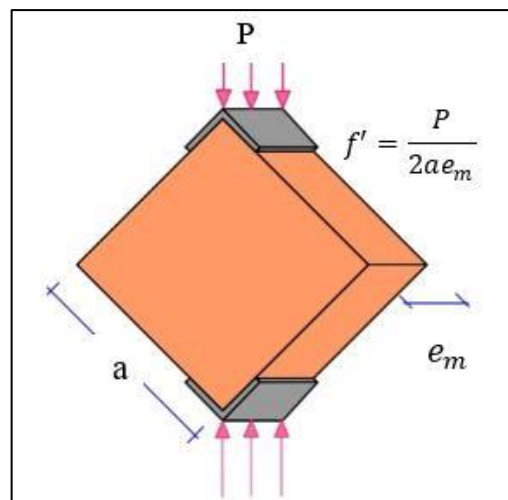
2.2.2.2 Resistencia a compresión diagonal en muretes

La verificación de la resistencia a la compresión diagonal se llevará a cabo conforme a lo establecido por la Norma Técnica E.080 (2017), que implica ensayar los muretes tipo tapial a una carga de corte o diagonal, en la Figura 2 se observa el ensayo. Los requisitos que exige la Norma son las siguientes:

- Los muretes tipo tapial utilizadas para la prueba de compresión diagonal, deben ser cuadradas y poseer un espesor variable (e_m).
- Es necesario garantizar que la media de las cuatro muestras más destacadas de un total de seis, sea equivalente o superior a la resistencia ultima de 0.25 kg/cm^2 , después de 28 días de secado.

Figura 2

Ensayo de compresión diagonal



Fuente: Creación única de los tesisistas.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

Según Sánchez y Meza (2015), “la investigación se categoriza como pura o básica, este tipo de investigación conduce a la exploración de nuevos conocimientos. El propósito de la investigación es recolectar datos de la situación actual con la finalidad de ampliar el saber científico, enfocándose en el hallazgo de principios y leyes esenciales que puedan tener usos directos o consecuencias”.

De acuerdo con Hernández (2014), “esta investigación se clasifica como transversal ya que se enfoca en describir el fenómeno recolectando información en un momento, instante y/o tiempo singular”.

Según Méndez et al. (2008), “la investigación es analítica ya que implica el estudio de las definiciones vinculadas al tema, con el objetivo de examinar sus componentes de manera completa y poder comprenderlo con mayor profundidad”.

Asimismo, este tipo de investigación es considerado prospectivo según Méndez et al. (2008) “ya que toda la información se recolectará, conforme a los estándares del investigador y para los propósitos concretos de la investigación, tras la planificación de esta”.

3.1.2 Nivel de la investigación

De acuerdo con Borja (2016), “la investigación es explicativa ya que tiene como objetivo esclarecer las causas o el ¿Por qué? sucede un fenómeno físico



en específico. El objetivo de la investigación es detallar el entorno en el que sucede este fenómeno y por qué hay una correlación entre las variables. Examina la relación entre las variables dependiente e independiente”.

3.1.3 Enfoque de investigación

Según Hernández (2014) “la investigación es cuantitativo porque es secuencial y basado en pruebas. Cada fase antecede la próxima y no podemos evadir etapas. El orden es estricto, aunque evidentemente, podemos reajustar alguna etapa. Parte de un concepto que va progresando y, una vez definido, surgen objetivos y preguntas de investigación, se examina la bibliografía y se elabora un marco o una perspectiva teórica”.

En ésta investigación, basándose en los tipos de datos examinados, se propone una metodología de investigación cuantitativa, esto se debe a que las variables implicadas se someterán a una experimentación que implica la recogida, evaluación y estudio de datos para determinar y verificar si las características de cargas axiales y diagonales de los muros tipo tapial difieren.

3.1.4 Diseño de la investigación

Según Hernández (2014) “la investigación es cuasiexperimental, debido a que las muestras no se distribuyeron de manera aleatoria en los grupos, sino que estos grupos ya se establecieron anticipadamente a los pruebas y unidades de muestras que se necesitan. En este diseño cuasiexperimental, el objetivo es mantener el control de los grupos ya establecidos”.

Esta investigación manipula las cantidades de cal y virutas de eucalipto para evaluar su impacto en las cualidades mecánicas del muro, que son variables dependientes.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

La población de la presente investigación comprende el grupo de muretes tipo tapial con la adición de viruta y cal en 0%, 2%, 4% y 6% en base al peso seco del suelo.

3.2.2 Muestra

El muestreo es de carácter no probabilístico de tipo intencional, establecido según criterio o juicio por el investigador.

El total de muestras de tapial a ensayar es 192 unidades, que serán ensayadas a compresión axial y diagonal, la Tabla 2 presenta un resumen de la cantidad de muestras designadas para las pruebas.

Tabla 2

Dimensiones de las muestras a ensayar

Tipo de espécimen	Tipo de ensayo	Dimensiones (cm)	Nº de muestras
Murete	Resistencia a la compresión axial	30 x 40 x 15	96
Murete	Resistencia a la compresión diagonal	30 x 30 x 10	96

Fuente: Creación única de los tesisistas.

Las muestras de tapial se ensayarán tras 28 días de secado continuo y sin ningún cambio brusco de humedad que afecte la muestra.

A continuación, se describen los criterios y normas técnicas para la estimación de las muestras recolectadas.

3.2.2.1 Muestras para resistencia a compresión axial

Según la Norma E 0.80 (2017) “la cantidad de muestra que requiere es de seis unidades, para realizar los ensayos y medir la resistencia del murete a compresión axial. Es necesario garantizar que la media de las cuatro muestras más destacadas de un total de seis, sea equivalente o superior a la resistencia última señalada, tras 28 días de secado continuo”.

Por lo tanto, la cantidad de muestras para cada combinación es de seis unidades. Existen 16 clases de combinaciones, lo que equivale a 96 muestras de tapial que serán evaluadas y sometidas a esfuerzos axiales.

Mediante la Tabla 3 se ilustra el resumen de la cantidad de muestras que se someterán a esfuerzos de compresión axial.

Tabla 3

Cantidad de muestras a ensayar en resistencia a compresión axial

	Con adición de 0% de viruta	Con adición de 2% de viruta	Con adición de 4% de viruta	Con adición de 6% de viruta	Cantidad de muestras
Con adición de 0% Cal	6	6	6	6	24
Con adición de 2% Cal	6	6	6	6	24
Con adición de 4% Cal	6	6	6	6	24
Con adición de 6% Cal	6	6	6	6	24
Total de Muestras					96

Fuente: Creación única de los tesisistas.

3.2.2.2 Muestras para resistencia a compresión diagonal

Según la Norma E.080 (2017) “la cantidad de muestra que requiere es de seis unidades, para realizar los ensayos y medir la resistencia del murete a compresión diagonal. Es necesario garantizar que la media de los cuatro muretes más destacados de un total de seis, sea equivalente o superior a la resistencia última señalada, después de someter a un proceso de secado continuo de 28 días”.

Por lo tanto, la cantidad de muestras para cada combinación es de seis unidades. Existen 16 clases de combinaciones, lo que equivale a 96 muestras de tapial que serán evaluadas a resistencia a compresión diagonal.

Mediante la Tabla 4 se ilustra el resumen de la cantidad de muestras a ensayar a compresión diagonal para cada combinación de viruta y cal.

Tabla 4

Cantidad de muestras a ensayar en resistencia a compresión diagonal

	Con adición de 0% de viruta	Con adición de 2% de viruta	Con adición de 4% de viruta	Con adición de 6% de viruta	Cantidad de muestras
Con adición de 0% Cal	6	6	6	6	24
Con adición de 2% Cal	6	6	6	6	24
Con adición de 4% Cal	6	6	6	6	24
Con adición de 6% Cal	6	6	6	6	24
Total de Muestras					96

Fuente: Creación única de los tesisistas.

3.3 MATERIALES

3.3.1 Cal

La cal utilizada para la investigación es de la marca HADES (Cal de obra), fue adquirida de la empresa Solutions y Trading SAC, en presentaciones de 20 kg, en la Figura 3 se observa la cal, sus características se indican en el Anexo 8.

Durante el proceso de elaboración de muretes, se hizo la correcta manipulación de este material, con los implementos de seguridad necesarios como son guantes y lentes de seguridad.

Figura 3

Cal de obra



Fuente: Creación única de los tesisistas.

3.3.2 Viruta

La viruta utilizada para la presente investigación fue obtenida del taller de carpintería “Noble” ubicado en el Jr. Industrias N° 354.

Previa a la elaboración de muretes, la viruta de eucalipto se tamizó para separar restos de viruta y otros elementos que puedan afectar posteriormente a las pruebas de compresión. En la Figura 4 se aprecia el tamizado de la viruta.

La viruta utilizada en la elaboración de muretes es la pasante a la malla de abertura 1/2 de pulgada y la retenida en la malla 1/4 de pulgada.

Figura 4

Tamizado de la viruta para eliminar restos de viruta



Fuente: Creación única de los tesisistas.

3.3.3 Tierra

La tierra, que es la materia prima del tapial, se extrajo de tres canteras para la presente investigación, estas canteras son cercanas a las viviendas del centro poblado Chancachi del distrito de Ácora, en la Figura 7 se detalla su ubicación.

La extracción de la tierra fue con ayuda de herramientas como pala y pico.

La extracción del suelo se realizó de tres diferentes canteras con el objetivo de determinar en laboratorio el suelo apto que cumple con los requisitos que exige la Norma E.080 (2017).



3.3.4 Agua

En esta investigación se manejó el agua potable dotada por la Empresa Municipal (EMSA PUNO), para la producción y fabricación de los muretes tipo tapial.

3.4 EQUIPOS

Para la presente investigación se empleó equipos para la fabricación de muretes y para someterlos a los ensayos, estos se detallan a continuación:

- Herramientas para trabajo manual (buggy, palas, picos, badilejo, plancha de empastar, mazo de goma, flexómetro, plomada, nivel, destornilladores, llave Stillson, tiralínea, bandejas y espátulas).
- Zaranda.
- Tamices.
- Balance digital.
- Vernier.
- Regla metálica.
- Molde Proctor Estándar.
- Molde para encofrado del murete a compresión axial 30 x 40 x 15 cm.
- Molde para encofrado del murete a compresión diagonal 30 x 30 x 10 cm.
- Pisón metálico.
- Dial indicador.
- Máquina de Compresión Tritest Digital para el ensayo de compresión.

3.5 DISEÑO ESTADÍSTICO

3.5.1 Prueba de normalidad

La prueba de Shapiro Wilks y Kolmogorov son los dos enfoques que se utilizan con más frecuencia, como afirma Romero (2016), “para verificar que los valores muestrales de la variable dependiente presentan una distribución normal. Es posible verificar a qué tipo de distribución pertenecen nuestros datos con el uso de pruebas de bondad de ajuste, lo que a su vez nos permite determinar qué pruebas, paramétricas o no, podemos realizar en la comparación estadística. A efectos de esta investigación, se utilizó la prueba de Shapiro Wilks debido a que el tamaño de la muestra era de unos cincuenta o menos”.

3.5.1.1 Prueba de Shapiro Wilks

Según Luzuriaga et al. (2023) “la pruebas ayudan Shapiro Wilks a determinar si un grupo de datos se ajusta a una distribución normal o varía notablemente de esta. La prueba paramétrica de Shapiro Wilk evalúa la correlación entre los datos y las puntuaciones normales correspondientes.

Hipótesis estadística

H₀: Los datos no son distintos a la distribución normal

H₁: Los datos son distintos a la distribución normal

Regla de decisión

Si **p-valor** ≤ 0.05 rechace la hipótesis nula.

Si **p-valor** >0.05 no rechace la hipótesis nula.

Por último, si el p-valor supera al nivel de significancia $\alpha = 0.05 = 5\%$, significa que los datos proceden de una distribución normal (Luzuriaga et al., 2023).

3.5.2 Análisis paramétrico

Hernández et al. (2014) “indican que se lleva a cabo bajo las condiciones siguientes: Los datos proceden de una distribución normal, caracterizada por niveles de medida de razón o intervalo, y presentan una variación uniforme entre los grupos. Por lo tanto, si se satisfacen los requisitos indicados, se opta por la prueba estadística paramétrica. La prueba paramétrica de coeficiente de correlación de Pearson y ANOVA fueron utilizada en la presente investigación”.

3.5.2.1 Prueba de relación entre variables

Según Hernández et al. (2014) “es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón”. El coeficiente r de Pearson se obtiene mediante la ecuación 1:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - n(\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - n(\sum y)^2}} \quad (1)$$

Donde:

n : Numero de datos muestrales

x : Valores de x

y : Valores de y

El coeficiente r de Pearson puede variar de $+ - 1.00$; el signo positivo indica una correlación positiva creciente y el signo negativo



correlación negativa decreciente. El valor de r se puede interpretar de la siguiente manera:

- -0.90 = Correlación negativa muy fuerte.
- -0.75 = Correlación negativa considerable.
- -0.50 = Correlación negativa media.
- -0.25 = Correlación negativa débil.
- -0.10 = Correlación negativa muy débil.
- $=$ No existe correlación alguna entre las variables.
- $+0.10$ = Correlación positiva muy débil.
- $+0.25$ = Correlación positiva débil.
- $+0.50$ = Correlación positiva media.
- $+0.75$ = Correlación positiva considerable.
- $+0.90$ = Correlación positiva muy fuerte.
- $+1.00$ = Correlación positiva perfecta

Hipótesis estadística

H_0 : $\rho=0$ no existe una correlación

H_1 : $\rho \neq 0$ existe una correlación

Regla de decisión

Si **p-valor** ≤ 0.05 rechace la hipótesis nula

Si **p-valor** >0.05 no rechace la hipótesis nula

Por último, si el p-valor es inferior al nivel de significancia $\alpha=0.05=5\%$, significa que las variables tienen una correlación (Luzuriaga et al., 2023).

3.5.2.2 Estadístico de prueba ANOVA

Según Hernández et al. (2014) “es una prueba estadística para evaluar si existen diferencias significativas entre más de dos grupos en términos de sus medias y variaciones”.

Hipótesis estadística

$$H_0: \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ las medias son diferentes}$$

Por último, no rechazar H_0 se afirma que el efecto sobre los k tratamientos es estadísticamente μ y en cambio, rechazar H_0 significa que al menos un efecto es diferente de μ , en la Tabla 5 se observa el cálculo.

Tabla 5

Tabla ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	F_0
Entre las muestras	$SC_{trat} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	k-1	$CM_{trat} = \frac{SC_{trat}}{k-1}$	$F_0 = \frac{CM_{trat}}{CM_{error}}$
Dentro de las muestras	$SC_{trat} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2$	N-k	$CM_{error} = \frac{SC_{error}}{N-k}$	
Total	$SC_{total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x})^2$	N-1		

Fuente: Estadística para Ingenieros y Científicos de Navidi (2006) Nota: SCTrat = Adición de cuadrados; SCError = Adición del error; SCTotal = total de la adición cuadrados; CMTrat = Cuadrado medio; CMError = error cuadrado medio; F_0 = Razón F.

Donde:

n_i : Número de pruebas

k : Número total de grupos

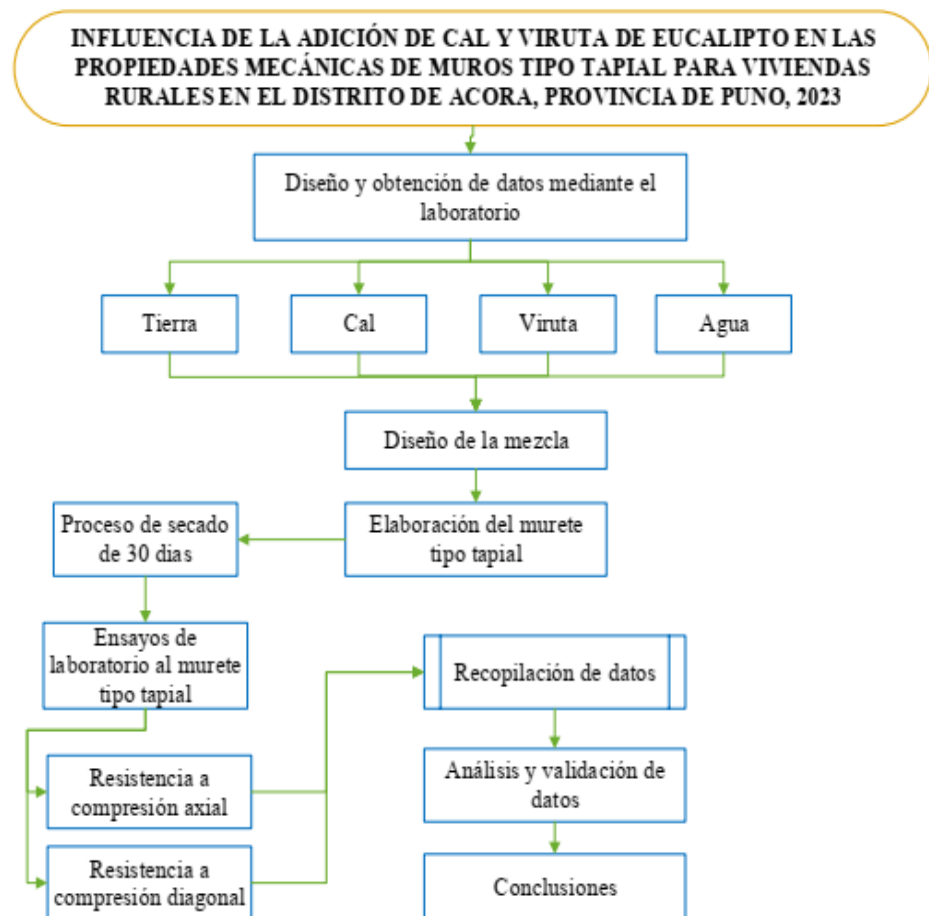
Se puede concluir que hay diferencias en las medias de los grupos cuando:

$$F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k} \quad (2)$$

Se utiliza una distribución establecida, denotada por la letra F, para determinar la distribución de la variable aleatoria F_0 .

Figura 5

Organigrama de procesos

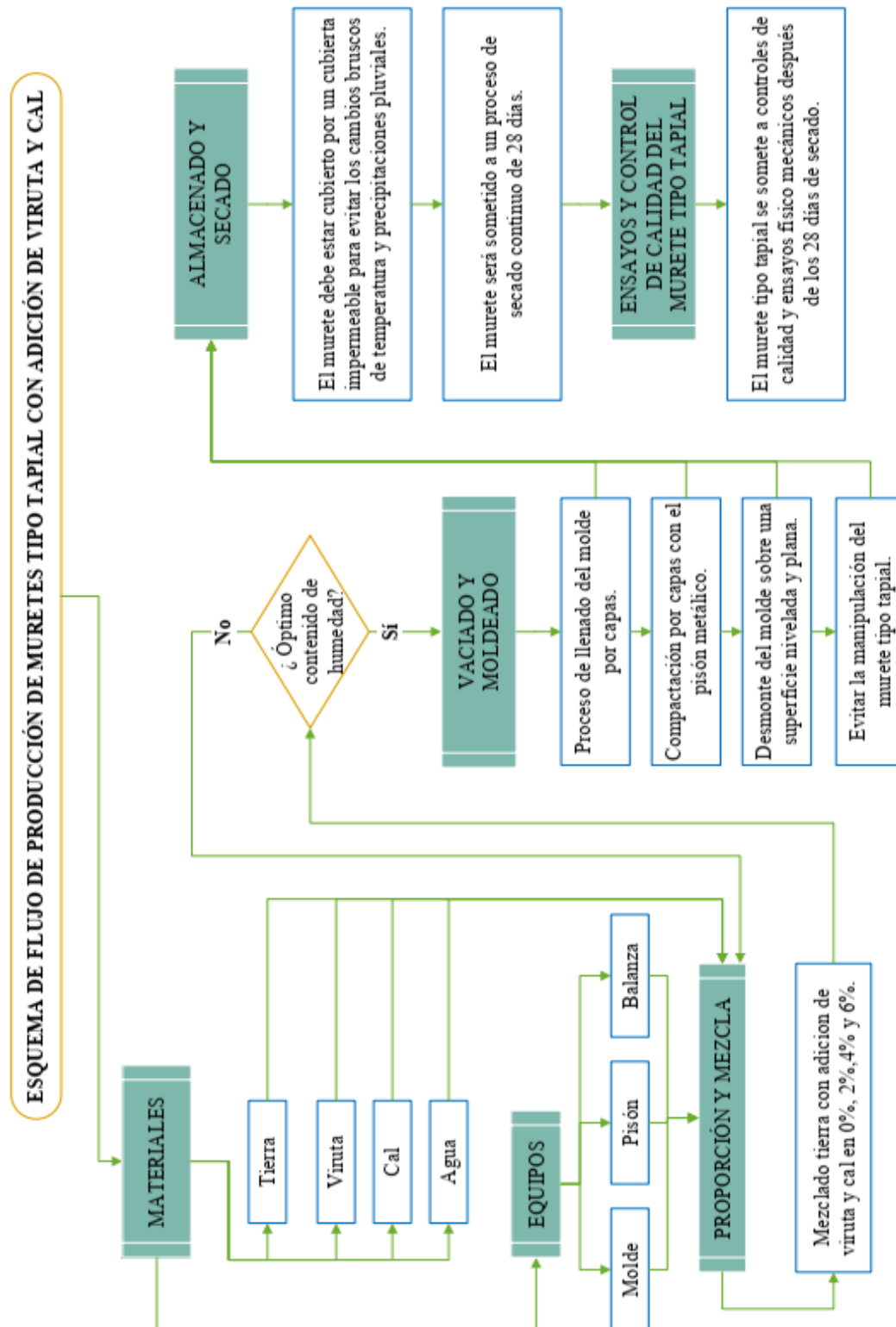


Fuente: Creación única de los tesisistas.

En la Figura 6 se muestra el esquema de producción de muretes.

Figura 6

Esquema de producción de muretes



Fuente: Creación única de los tesisistas.

3.6 PROCEDIMIENTO

3.6.1 Extracción de la muestra

3.6.1.1 Tierra

La materia prima del tapial, se extrajo de tres canteras para el estudio, éstas canteras están ubicadas aledañas a las casas del centro poblado Chancachi del distrito de Ácora.

La extracción de la tierra se realizó utilizando herramientas manuales como la pala y el pico. La extracción del suelo se realizó de tres diferentes canteras con el objetivo de determinar en laboratorio el suelo apto que cumple que exige le Norma.E.080 (2017). En la Figura 7 se logra observa una imagen satelital, donde se detalla la ubicación de las canteras.

Figura 7

Ubicación de canteras para la extracción de muestras

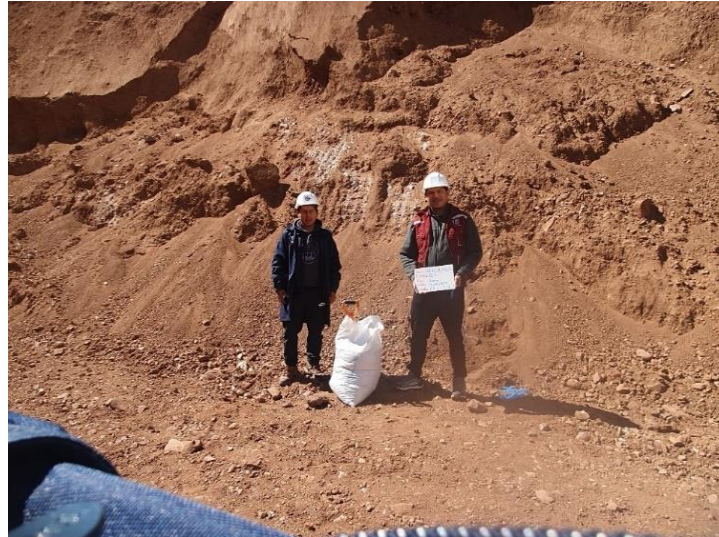


Fuente. Google Earth, imagen tomada satelitalmente mediante, con el propósito de identificar la zona de muestreo 2024.

Se ilustra mediante la Figura 8, 9 y 10 el proceso de extracción del material en cada cantera.

Figura 8

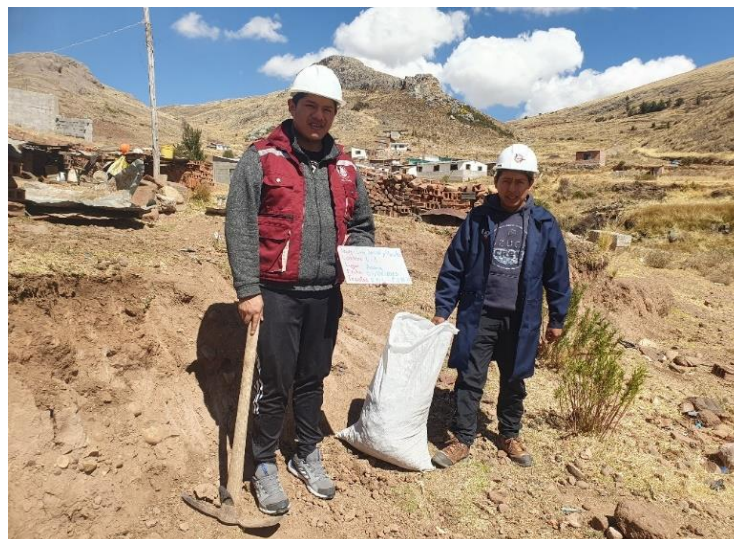
Extracción de muestra cantera C-1



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Figura 9

Extracción de muestra cantera C-2



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Figura 10

Extracción de muestra cantera C-3



Fuente: Creación única de los tesisistas.

3.6.2 Caracterización de los materiales

Se realizó el muestro de las tres canteras (C-1, C-2 y C-3), el material extraído se llevó a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno específicamente a las instalaciones del laboratorio de mecánica de suelos de la escuela de Ingeniería Civil, para realizar los ensayos de caracterización del tipo de suelo.

3.6.2.1 Análisis granulométrico

a) Descripción

Su objetivo es determinar la distribución ponderal de los tamaños de las partículas del suelo con el fin de reunir los datos necesarios para el desarrollo de la curva de distribución granulométrica del suelo, a través de una serie de tamices con aperturas variables, la muestra se tamiza hasta llegar al tamiz N° 200. De acuerdo con la Norma ASTM D 422-63 (2007) “la muestra retenida en cada malla se pesa y el porcentaje correspondiente al peso total de la muestra se suma



a los porcentajes retenidos en todas las mallas de mayor tamaño. El incremento total de esa cantidad permite determinar el porcentaje de suelo que está por debajo del tamaño que representa la malla en cuestión”.

b) Materiales y equipos

- Una balanza de aproximación de 0.1 g
- Tamices
- Bandeja y recipientes para la muestra

c) Procedimiento

- Secar el material a una temperatura estable, entre 105 grados y 110 grados centígrados como máximo, la cantidad de muestra requerida se determina por el diámetro nominal de la partícula más grande de la muestra.
- Una vez lavada la tierra, se registra el peso de la tierra seca.
- Luego se lava el material pasándolo a través del tamiz Nro. 200, para eliminar partículas de diámetro inferior y material orgánico. Tras introducirla en el horno durante al menos veinticuatro horas, se mide el peso en seco y se registra
- La norma ASTM D 422-63 (2007) especifica un conjunto de tamices, y se tamiza a través de ellos.
- Al registrar los datos con la balanza de precisión de 0.1 g, se efectúan los cálculos correspondientes para hallar la curva granulométrica.

En la Figura 11 se muestra el ensaya de análisis granulométrico.

Figura 11

Ensayo de análisis granulométrico



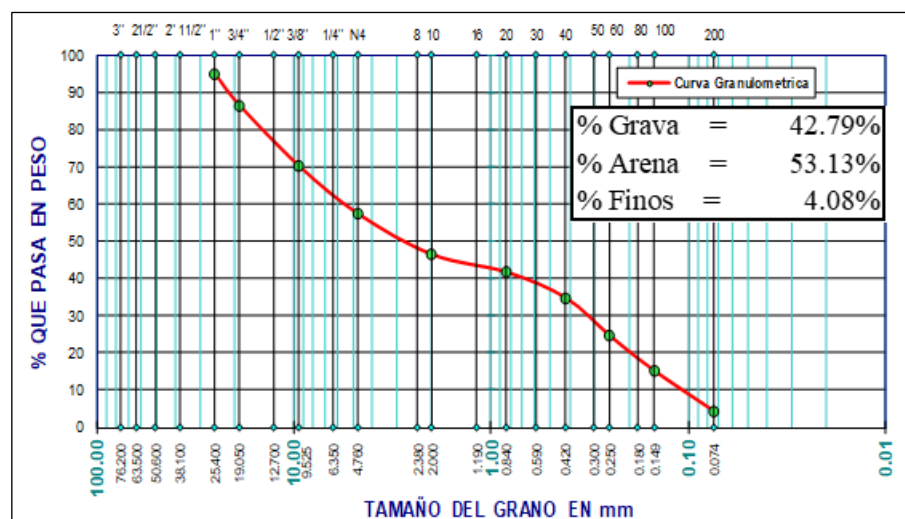
Fuente: Creación única de los testistas.

d) Cálculos

En el Anexo 2 se detallan los cálculos en el análisis granulométrico. Mediante la Figura 14, 13 y 14 se muestran los resultados de la prueba granulométrica de cada muestra.

Figura 12

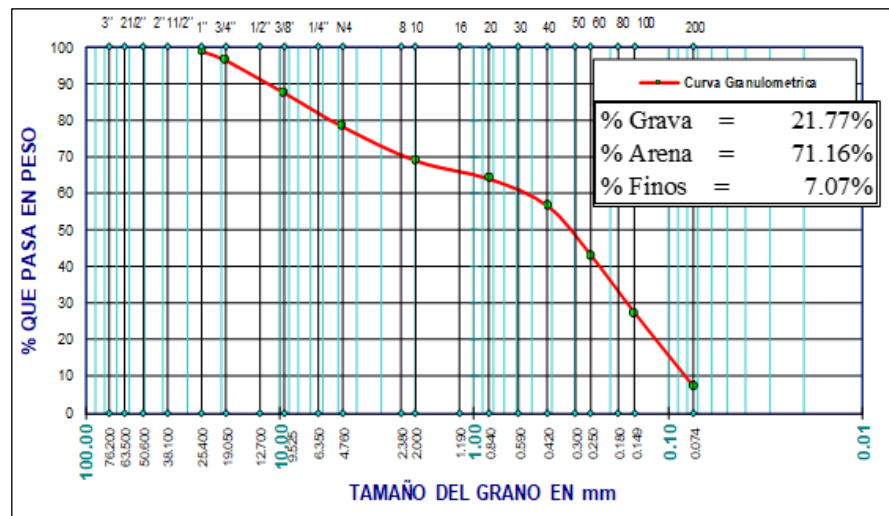
Curva granulométrica C-1



Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 13

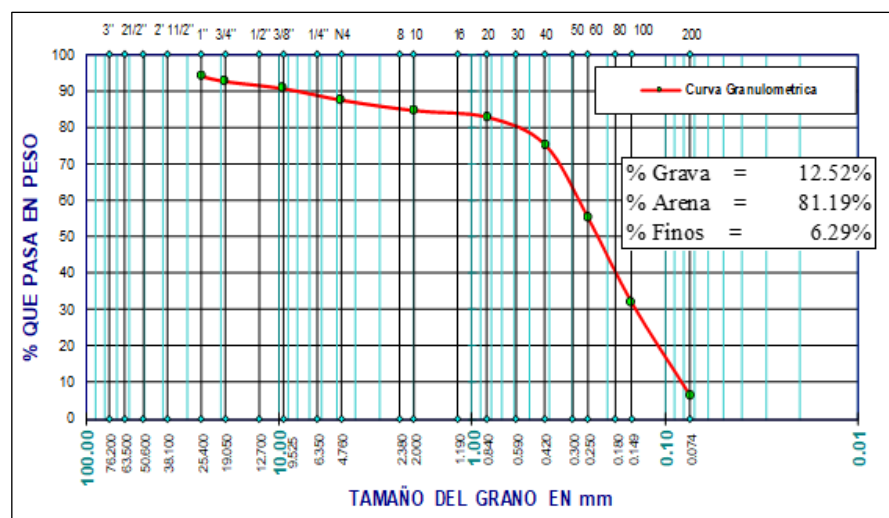
Curva granulométrica C-2



Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 14

Curva granulométrica C-3



Fuente: Creación única de los testistas.

3.6.2.2 Contenido de humedad

a) Descripción:

Según la ASTM D2216-19 (2019) “la humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación expresada como porcentaje del peso

de agua en una masa dada de suelo al peso de las partículas sólidas”. Según la ASTM D2216-19 (2019) y la NTP 339.127 (1988) se obtiene la cantidad de humedad, mediante la ecuación 3 :

$$w = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \quad (3)$$

En donde w es la proporción de la cantidad total de humedad presente. En este procedimiento, el peso del agua evacuada se determina en proporción al peso de la tierra. Cuando la tierra está húmeda, se introduce en un horno controlado a 110 ± 5 grados Celsius para eliminar la humedad.

Figura 15

Ensayo de contenido de humedad



Fuente: Creación única de los tesisistas.

b) Materiales

- Una balanza con aproximación de 0.1g
- Horno
- Bandejas y recipientes
- Cuchara de metal y espátula



c) Procedimiento

- Al menos tres muestras se toman para llevar a cabo el ensayo.
- Tanto el tipo de suelo como la granulometría nominal máxima determinarán la cantidad de muestra necesaria.
- Pesar los recipientes vacíos para el contenido de humedad anotando su identificación. Colocar la muestra de suelo natural en las cápsulas y determinar su peso húmedo.
- Colocar las muestras de suelo en el horno por un tiempo de 18 a 24 horas.
- Sacar la muestra y dejar enfriar como mínimo 15 minutos antes de pesar.

d) Cálculos

En la Tabla 6, 7, 8 y 10 figuran los datos obtenidos para cada muestra de suelo. En el Anexo 2 figuran los cálculos realizados.

Tabla 6

Contenido de humedad de la muestra de suelo C-1

Numero de tara	N°	S-55	S-54	S-61
Peso de tara	g	21.65	22.05	22.15
Peso de tara + muestra húmeda	g	104.93	122.77	107.69
Peso de tara + muestra seca	g	100.68	117.82	103.47
Peso de agua	g	4.25	4.95	4.22
Peso muestra seca	g	79.03	95.77	81.32
Contenido de humedad W%	%	5.38	5.17	5.19
Promedio cont. humedad W%	%		5.25	

Fuente: Creación única de los tesisistas.



Tabla 7

Contenido de humedad de la muestra de suelo C-2

Numero de tara	N°	S-48	S-41	A-1
Peso de tara	g	16.25	18.02	21.98
Peso de tara + muestra húmeda	g	96.93	97.12	105.55
Peso de tara + muestra seca	g	91.83	92.32	100.42
Peso de agua	g	5.10	4.80	5.13
Peso muestra seca	g	75.58	74.30	78.44
Contenido de humedad W%	%	6.75	6.46	6.54
Promedio cont. humedad W%	%		6.58	

Fuente: Creación única de los tesisistas.

Tabla 8

Contenido de humedad de la muestra de suelo C-3

Numero de tara	N°	ES-2	S-115	S-18
Peso de tara	g	21.59	16.63	16.24
Peso de tara + muestra húmeda	g	128.24	119.64	125.20
Peso de tara + muestra seca	g	124.45	115.94	120.98
Peso de agua	g	3.79	3.70	4.22
Peso muestra seca	g	102.86	99.31	104.74
Contenido de humedad W%	%	3.68	3.73	4.03
Promedio cont. humedad W%	%		3.81	

Fuente: Creación única de los tesisistas.

Tabla 9

Resultados del contenido de humedad

Numero de tara	N°	ES-2	S-115	S-18
Peso de tara	g	21.59	16.63	16.24
Peso de tara + muestra húmeda	g	128.24	119.64	125.20
Peso de tara + muestra seca	g	124.45	115.94	120.98
Peso de agua	g	3.79	3.70	4.22
Peso muestra seca	g	102.86	99.31	104.74
Contenido de humedad W%	%	3.68	3.73	4.03
Promedio cont. humedad W%	%		3.81	

Fuente: Coordenadas UTM (WGS84). Creación única de los tesisistas.



3.6.2.3 Límites de plasticidad

En el ámbito de la ingeniería civil y específicamente en la mecánica de suelos, el concepto de plasticidad se define como la capacidad intrínseca de un material, en este caso un suelo, para experimentar deformaciones permanentes y relativamente rápidas bajo la acción de esfuerzos externos, sin que ello implique modificaciones significativas en su volumen, sin presentar comportamientos elásticos predominantes ni llegar a su falla estructural. Esta propiedad está estrechamente vinculada al contenido de humedad del suelo, ya que dicho contenido determina su estado físico. De este modo, un suelo puede manifestarse en distintas fases: líquida, plástica o sólida, dependiendo de su grado de saturación. Cada estado implica una respuesta mecánica diferente frente a las cargas aplicadas, lo cual es fundamental para su caracterización y análisis en proyectos de ingeniería civil, especialmente en el diseño y evaluación de cimentaciones, presas de tierra y estructuras geotécnicas

3.6.2.3.1 Límite líquido

a) Descripción

Según la NTP 339.129 (2019), “el contenido de humedad del suelo en el límite líquido suele expresarse en porcentaje. Este es el punto en el que el suelo pasa de la fase líquida a la fase plástica. Cuando el vaso se golpea 25 veces desde una altura de 1 centímetro a razón de dos caídas cada vez, la cantidad de humedad en la que la ranura que separa dos porciones de una muestra de suelo y la muestra de suelo se cierra a lo largo de su parte inferior a lo largo de una distancia de media

pulgada, es la cantidad que se define como el contenido de humedad de la muestra de suelo”. La Figura 16 ilustra la prueba.

Figura 16

Ensayo de límite líquido



Fuente: Creación única de los tesistas.

b) Materiales y equipos

- Tamiz N° 40.
- Cuchara de Casagrande.
- Ranuradora ASTM.
- Balanza de precisión de 0.001 g.
- Mazo de goma.
- Bandeja y vasija de porcelana.
- Espátula.

c) Procedimiento

- Tamizar la muestra de suelo sobre la bandeja; por el tamiz Nro. 40, previo secado de este material al aire libre, se usa el material que pasa el tamiz, si existe presencia de grumos estos



se deberán desmenuzar con el mazo de goma, hasta obtener una muestra de 300 g.

- Tras colocar unos 100 g de muestra en el recipiente de porcelana, se moja con agua destilada durante veinticuatro horas.
- Este ajuste se realiza utilizando la parte trasera de la ranuradora, y es necesario calibrar la altura de caída de la cuchara de Casagrande.
- Colocar una porción de esta pasta en la cuchara de Casagrande con un espesor máximo de 1 cm. Hacer la ranura, con velocidad constante.
- Acciónese la copa a razón de dos golpes por segundo contando el número de golpes necesario para que la parte inferior del talud de la ranura se una al otro lado en un ancho de 1/2 pulgada.
- Después, hay que tomar una muestra de esa junta y meterla en una cápsula para poder determinar la cantidad de humedad que contiene. Hay que realizar dos pruebas antes de los 25 golpes, y otras dos después de los 25 golpes.

d) Cálculo

- Tras situar los cuatro puntos en un gráfico semilogarítmico, seguimos uniendo los dos puntos antes de 25 trazos, localizando en esta línea el punto que corresponde a la mitad de los dos puntos. No sólo unimos los dos puntos, sino que

después de 25 trazos, también determinamos el punto medio del punto. Por último, unimos los dos puntos medios.

- El límite líquido puede obtenerse situando $N=25$ golpes e intersecando la línea. A partir de este punto, pasamos al eje de ordenadas, lo que nos permite adquirir el contenido de humedad que corresponde a los 25 golpes.

3.6.2.3.2 Límite plástico

a) Descripción

Es la humedad más baja que permite la creación de barritas de suelo de aproximadamente 3.2 mm de diámetro, rodándolas entre la palma de la mano y una superficie suave como el vidrio esmerilado, evitando que estas barritas se desmoronen. Según la NTP 339.129 (2019) “es la cantidad de agua en el que los suelos cohesivos transitan de la condición semisólida a la condición plástico” (Figura 17).

Figura 17

Ensayo de límite plástico



Fuente: Creación única de los tesistas.



b) Materiales

- Tamiz N° 40
- Vidrio esmerilado
- Balanza de precisión de 0.001g
- Mazo de goma
- Bandejas
- Capsulas para hallar el contenido de humedad
- Horno
- Recipiente de porcelana
- Espátula

c) Procedimiento

- Se toma una pequeña cantidad de muestra para formar cilindros de 3 mm de espesor.
- Hasta que falla a un ritmo constante y se observan fracturas en su superficie, se fabrica una esfera empujándola contra el vidrio esmerilado y haciéndola girar con la palma de la mano para formar cilindros. Este proceso continúa hasta que la esfera alcanza un grosor de tres milímetros.
- Una vez alcanzada esta condición, se determina la cantidad de humedad presente. Para adquirir un resultado adecuado, es necesario realizar este proceso para un mínimo de tres muestras y a continuación, promediar los valores que más se aproximen al objetivo.



d) Cálculo

En la Figura 18, 19 y 20 se observa los resultados del límite plástico de las tres muestras (C1, C-2 y C-3) a evaluar. En el Anexo 2 se detalla el cálculo del límite plástico.

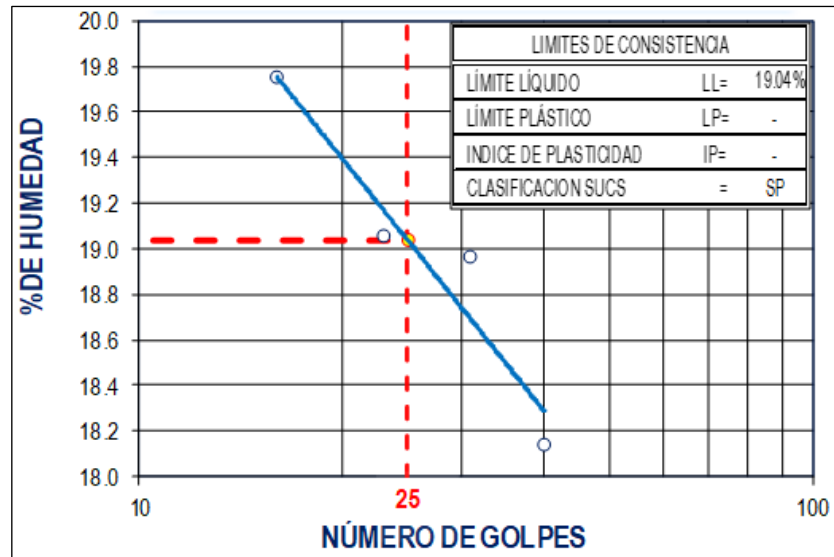
Índice de plasticidad (IP): Es el nivel del contenido de agua en el que un suelo se compara de manera plástica.

El índice de plasticidad de un suelo se establece como la resta entre su límite líquido y su límite plástico.

- La muestra C-1 no tiene límite plástico, al realizar este ensayo en el moldeado, la muestra se fisura muy rápido y no se llega a formar el cilindro de diámetro de 3.2 mm que requiere el ensayo, se observa en la Figura 18. La clasificación del suelo C-1 según el sistema SUCS, es una arena pobremente graduada (SP).
- Con respecto al sistema SUCS, la categorización del suelo C-2, es una arena pobremente graduada con arcilla de baja plasticidad (SP-SC). La distribución granulométrica se observa en la Figura 19.
- Con respecto al sistema SUCS, la categorización del suelo C-3, es una arena pobremente graduada con arcilla de baja plasticidad (SP-SC). La distribución granulométrica se observa en la Figura 20.

Figura 18

Límites de consistencia de la muestra C-1

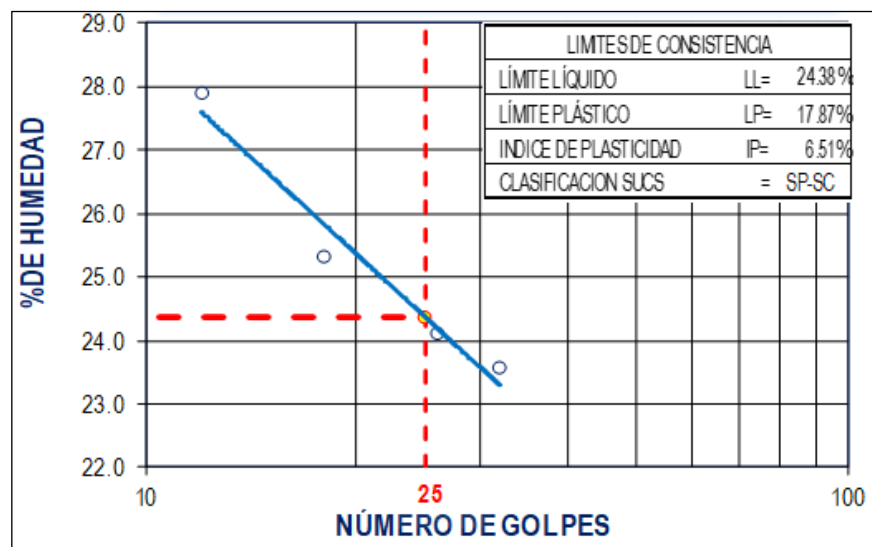


Fuente: Creación única de los testistas.

El límite plástico estaba presente solo en los suelos C-2 también en la C-3 y los resultados de esta investigación se ilustran en las Figuras 19 y 20 respectivamente.

Figura 19

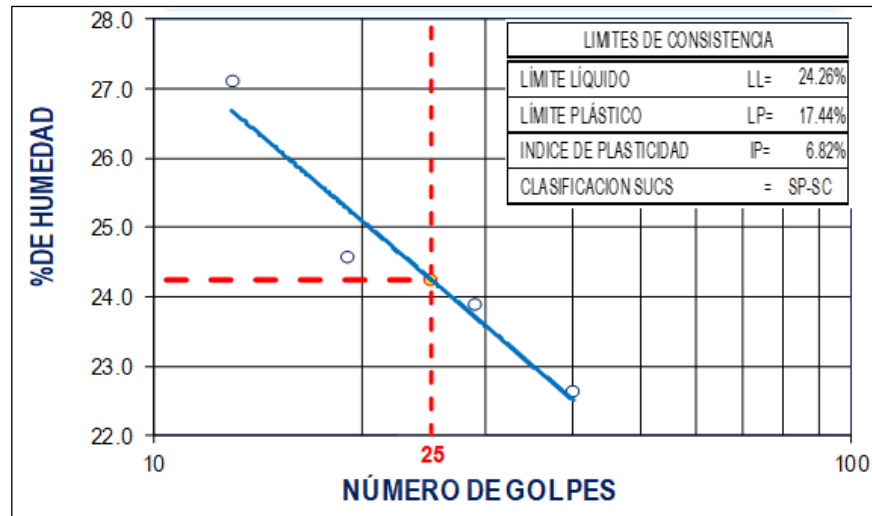
Límites de consistencia de la muestra C-2



Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 20

Límites de consistencia de la muestra C-3



Fuente: Creación única de los tesisistas.

El Tabla 10 ofrece un resumen de los límites por los que las muestras de suelo se consideraron coherentes.

Tabla 10

Resultados de índice de plasticidad

Cantera	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad
C – 1	19.04	-	-
C – 2	24.38	17.87	6.51
C – 3	24.26	17.44	6.82

Nota: la muestra C-1 no cuenta con límite plástico. Fuente: Creación única de los tesisistas.

3.6.3 Dosificación para la elaboración de muretes

Según los resultados de la caracterización de materiales, se seleccionó la muestra de suelo C-3, que es una arena pobremente graduada con arcilla de baja plasticidad (SP-SC) que cumple con las exigencias de la Norma E080.

Posteriormente se realizó las combinaciones de la muestra de suelo C-3 con cal y viruta en proporciones de 0%, 2%, 4% y 6% de masa en peso seco de

cada combinación, para realizar los ensayos de compactación estándar y de esta manera poder determinar la cantidad de agua para obtener una máxima densidad seca.

3.6.3.1 Compactación proctor estándar

a) Descripción

La compactación del suelo se refiere al incremento artificial de sus características mecánicas mediante técnicas mecánicas. Según la ASTM D698-12 (2021) y la NTP 339.142 (1999) “la importancia de compactar los suelos radica en que aumenta su resistencia y disminuye su capacidad de deformación. Esto se consigue sometiendo el suelo a procedimientos adecuados que aumentan su peso específico seco, reduciendo así la cantidad de vacíos en el suelo”.

Como afirman Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), la humedad ideal es un componente susceptible a la influencia de la energía de compactación.

Según la ASTM D698-12 (2021) Se emplea un molde de $101 \pm 0,4$ mm de diámetro con un pisón de $2,5 \pm 0,01$ kg para obtener el contenido de agua y su respectivo peso unitario seco de los suelos a través de una curva de compactación, que cae de una altura de $304,8 \pm 1,3$ mm ($12 \pm 0,05$ "), produciendo una energía de compactación de $600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($12\,400 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$).

En la Figura 21 y 22 presenta el avance del ensayo proctor estándar.

Figura 21

Ensayo de compactación proctor estándar



Fuente: Creación única de los tesistas.

Figura 22

Material para el ensayo de compactación proctor estándar



Fuente: Creación única de los tesistas.

b) Materiales y equipos

- Molde de diámetro de 101.6 mm
- Pisón especificado de peso 2.5 kg
- Regla metálica



- Balanza de precisión de 0.001g
- Malla N° 4
- Horno
- Bandeja
- Badilejo
- Capsulas para el contenido de humedad

c) Procedimiento

- Se debe dejar secar al aire una muestra de suelo de al menos cincuenta kilogramos antes de tamizarla a través de una malla de dos pulgadas, tres octavos de pulgada, cuatro pulgadas y malla Nro 4.
- Proceda a hallar los porcentajes retenidos en cada malla e identifique a qué método pertenece. De acuerdo con la muestra de suelo utilizada, se seleccionó el método A.
- Para cada muestra, preparamos 2.3 kg de tierra tamizada. Es necesario preparar cuatro muestras para esta prueba.
- Tras haber determinado con precisión las dimensiones geométricas de cada molde específicamente su altura, diámetro interno y el volumen calculado a partir de dichas medidas es indispensable registrar el peso del molde vacío, así como el de la placa base utilizada durante el proceso de compactación. Estos datos constituyen variables fundamentales para el cálculo posterior de la densidad húmeda y seca del suelo, y permiten garantizar la trazabilidad y exactitud de los resultados obtenidos durante los ensayos de



caracterización mecánica, conforme a los estándares establecidos por normas técnicas.

- Para determinar el primer punto, mezcle la muestra con una cantidad adecuada de agua. Para evitar la pérdida de humedad, esta mezcla debe realizarse con guantes, y preferiblemente con no más del dos por ciento del peso total del material.
- Dividiendo la muestra en cinco partes iguales y colocándola en el molde, deberá comprimir cada capa con 25 golpes de acuerdo con el tipo de prueba y la técnica A que se haya empleado. Esta operación debe realizarse en posición de espiral. Una vez compactado, se retira el anillo superior, enrasando con la regla metálica.
- Se registra el peso del molde y también la muestra compactada. En el siguiente paso, se recogen muestras de humedad de la parte superior e inferior del molde y, a continuación, se introduce el molde en el horno durante un periodo de veinticuatro horas.
- Se continúa este procedimiento hasta obtener los puntos en los que el suelo vuelve a reducir su peso en un mínimo de cuatro puntos. A razón de un dos por ciento cada muestra, aumentando la cantidad de agua presente.
- Los resultados experimentales obtenidos deben ser representados gráficamente mediante una curva de compactación, en la cual el eje de las abscisas (eje X) corresponde a los distintos valores del contenido de humedad



(%), mientras que el eje de las ordenadas (eje Y) refleja la densidad seca del suelo (ρ_d), expresados en unidades de densidad. Esta representación gráfica permite identificar el punto de humedad óptima y la densidad seca máxima, parámetros fundamentales para la evaluación del comportamiento del suelo frente a procesos de compactación.

Según ASTM D698-12 (2021) para hallar la densidad seca se utiliza la ecuación 4:

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (4)$$

Donde:

ρ_d : densidad seca de la probeta una vez comprimida

ρ_m : densidad húmeda de la probeta una vez comprimida

w: cantidad de agua

d) Resultados

El cálculo del resultado se detalla en el Anexo 2.

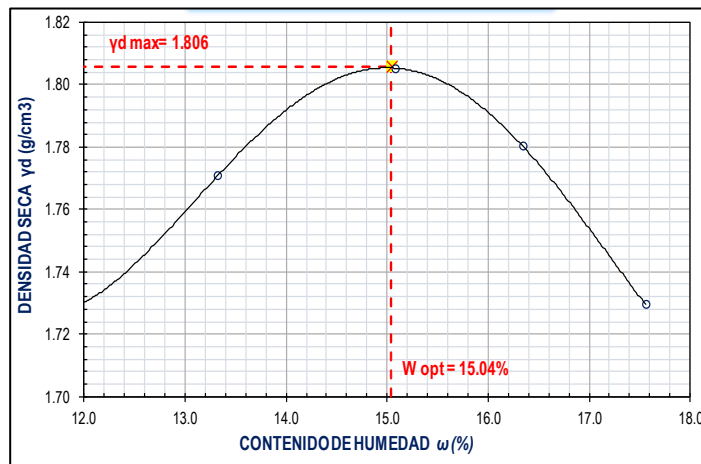
- **Combinación 0% viruta y 0% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 0% viruta y 0% cal de peso seco es el grupo control, la muestra tuvo los siguientes resultados que se observan en la Figura 23:

- Máxima densidad Seca γ_d máx. : 1.81 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 15.04%

Figura 23

Curva de compactación 0% viruta y 0% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

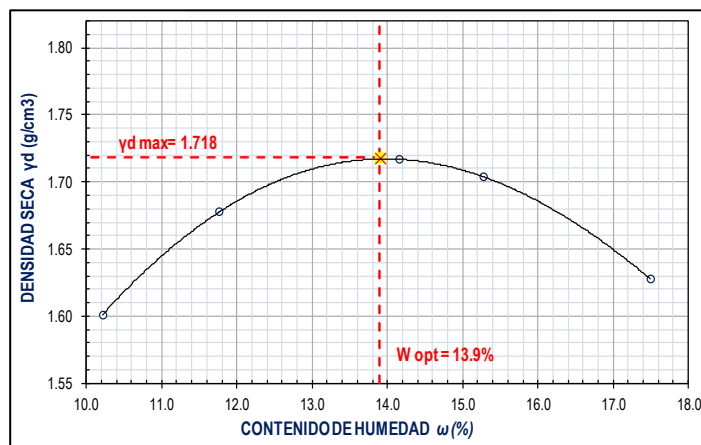
- **Combinación 0% viruta y 2% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 0% viruta y 2% Cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 24:

- Máxima densidad Seca γ_d máx. : 1.72 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 13.90%

Figura 24

Curva de compactación 0% viruta y 2% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

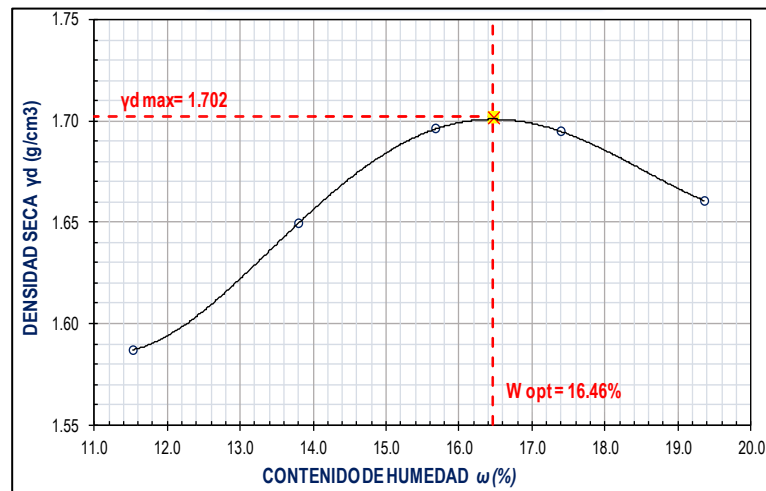
- **Combinación 0% viruta y 4% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 0% viruta y 4% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados, observan en la Figura 25:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.70 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 16.46%

Figura 25

Curva de compactación 0% viruta y 4% cal



Fuente: Creación única de los tesisistas.

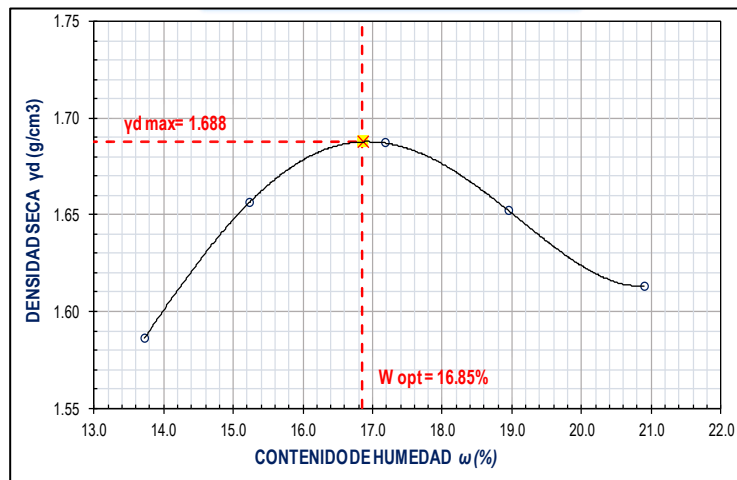
- **Combinación 0% viruta y 6% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 0% viruta y 6% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados que se observan en la Figura 26:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.69 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 16.85%

Figura 26

Curva de compactación 0% viruta y 6% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

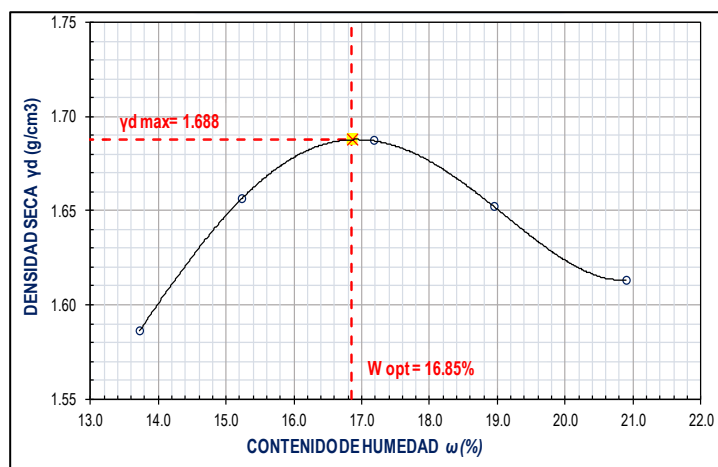
- **Combinación 2% viruta y 0% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 0% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados.

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.69 g/cm³
- Contenido de agua óptima: 16.35%

Figura 27

Curva de compactación 2% viruta y 0% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

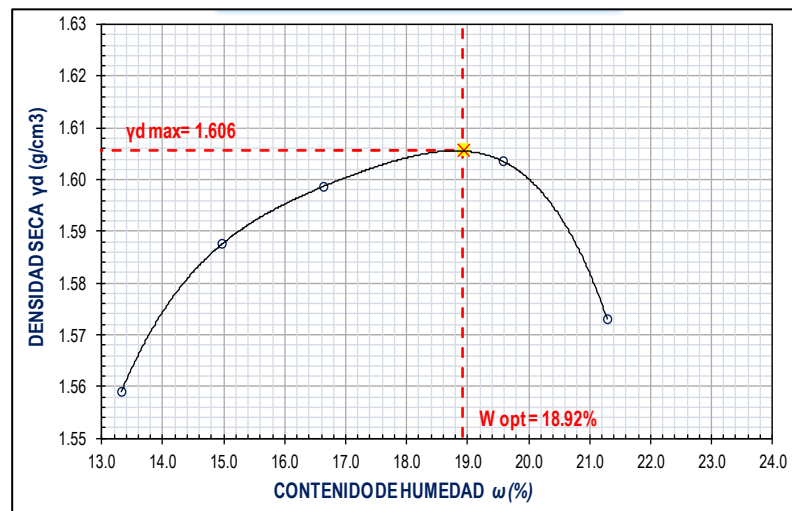
- **Combinación 2% viruta y 2% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 2% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 28:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.61 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 18.92%

Figura 28

Curva de compactación 2% viruta y 2% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

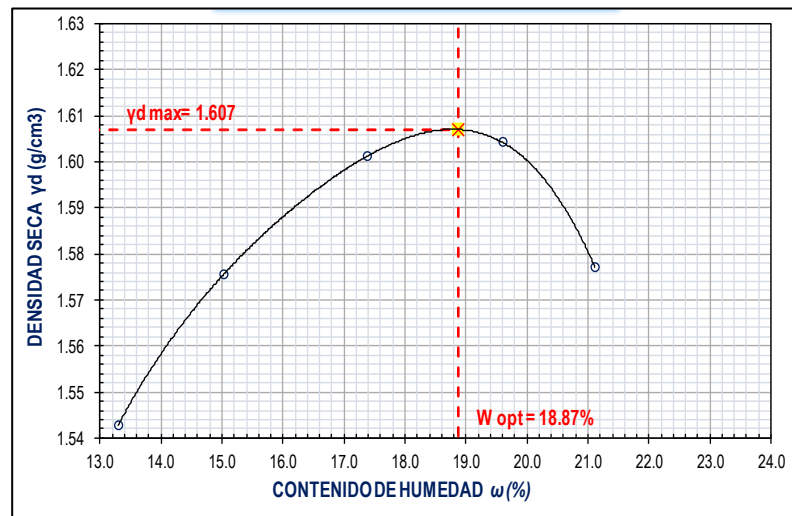
- **Combinación 2% viruta y 4% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 4% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 29:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.61 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 18.87%

Figura 29

Curva de compactación 2% viruta y 4% cal



Fuente: Creación única de los tesisistas.

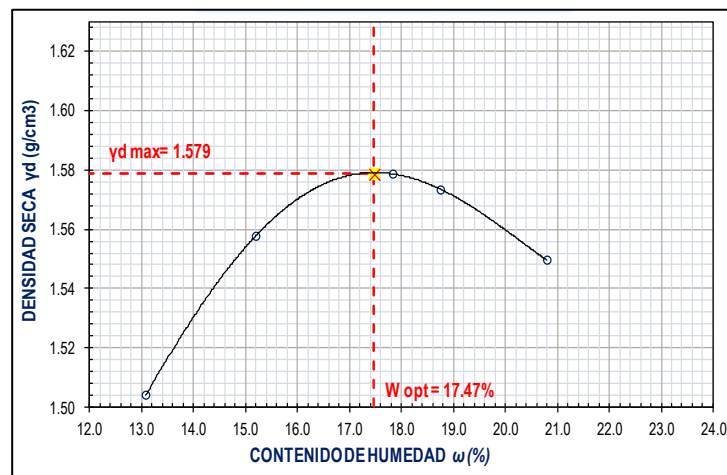
• **Combinación 2% viruta y 6% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 6% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados.

- Máxima densidad Seca γ_d máx. : 1.58 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 17.47%

Figura 30

Curva de compactación 2% viruta y 6% cal



Fuente: Creación única de los tesisistas.

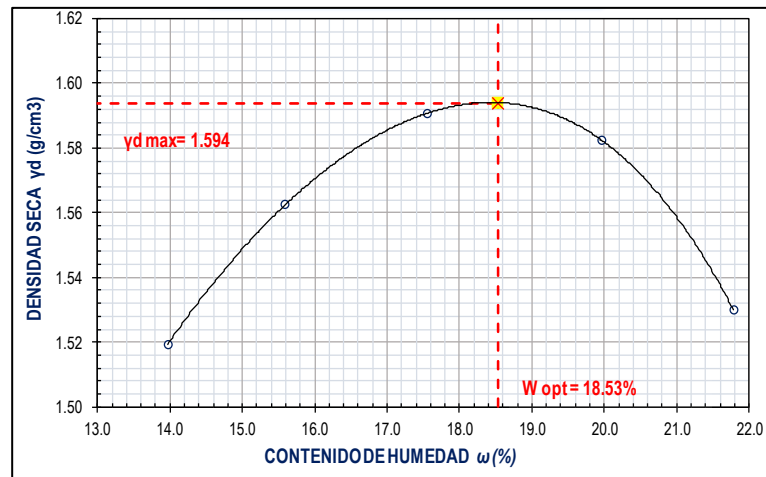
- **Combinación 4% viruta y 0% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 4% viruta y 0% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 31:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.59 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 18.53%

Figura 31

Curva de compactación 4% viruta y 0% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

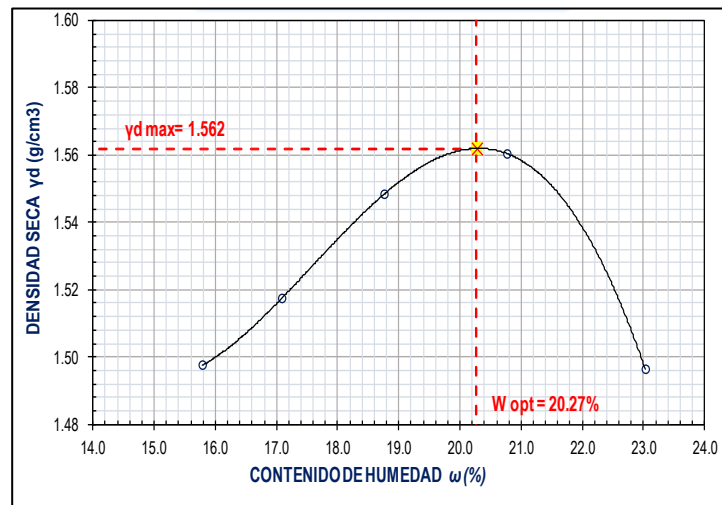
- **Combinación 4% viruta y 2% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 4% viruta y 2% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 32:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.56 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 20.27%

Figura 32

Curva de compactación 4% viruta y 2% cal



Fuente: Creación única de los tesisistas.

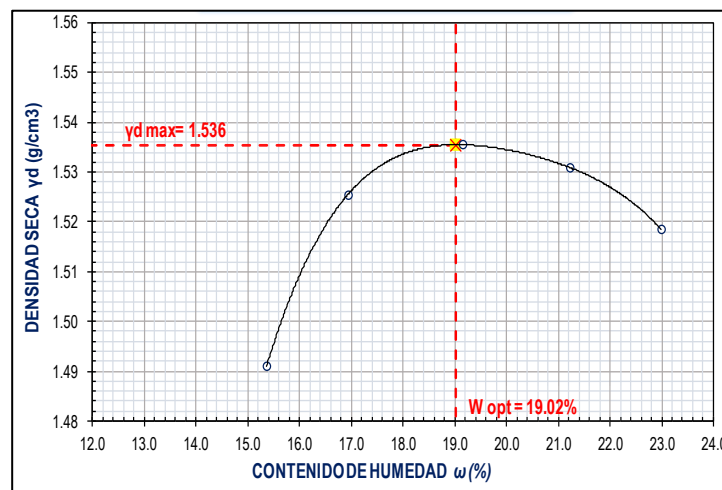
- **Combinación 4% viruta y 4% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 4% viruta y 4% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados.

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.54 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 19.02%

Figura 33

Curva de compactación 4% viruta y 4% cal



Fuente: Creación única de los tesisistas.

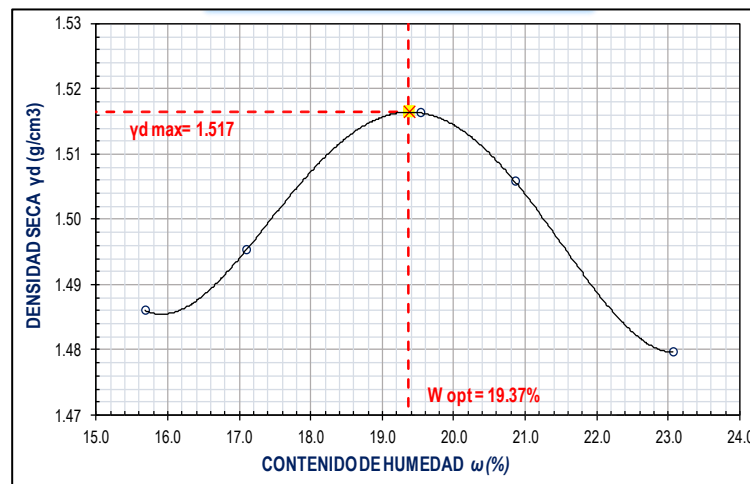
- **Combinación 4% viruta y 6% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 4% viruta y 6% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 34:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.52 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 19.37%

Figura 34

Curva de compactación 4% viruta y 6% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 6% viruta y 0% cal**

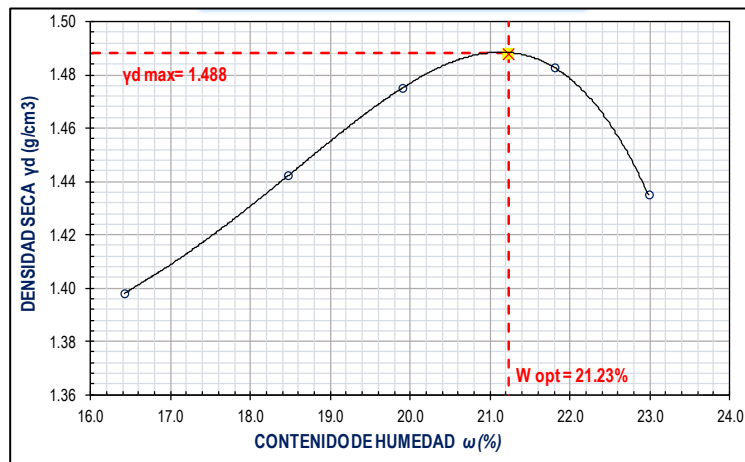
En la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 0% cal de peso seco.

La muestra sometida a ensayo tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 35:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.49 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 21.23%

Figura 35

Curva de compactación 6% viruta y 0% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

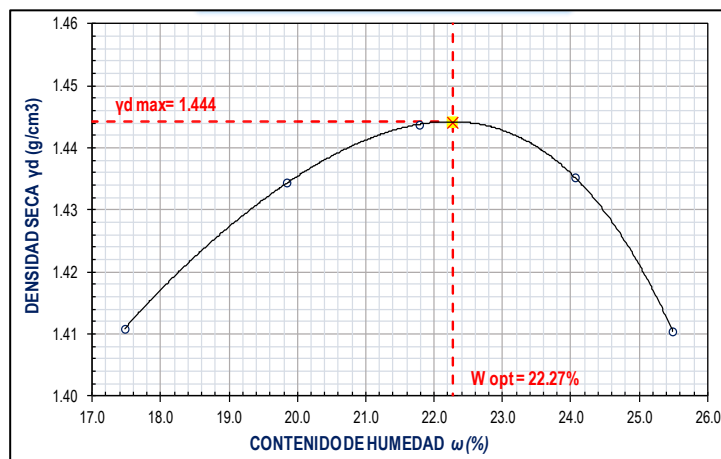
- **Combinación 6% viruta y 2% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 2% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 36:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.44 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 22.27%

Figura 36

Curva de compactación 6% viruta y 2% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 6% viruta y 4% cal**

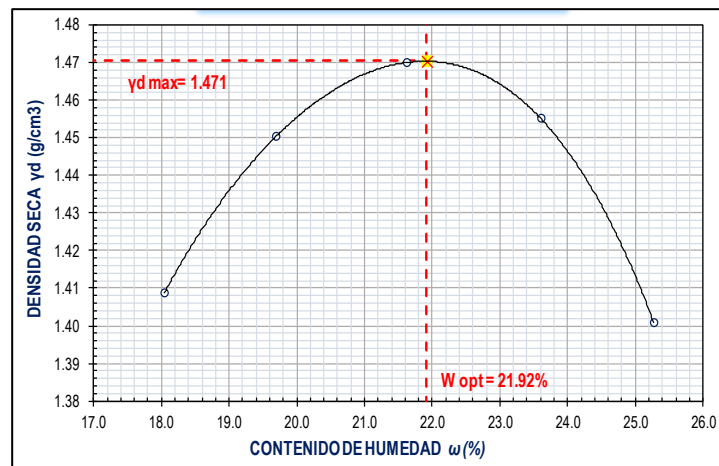
En la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 4% cal de peso seco.

La muestra tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 37:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.47 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 21.92%

Figura 37

Curva de compactación 6% viruta y 4% cal



Fuente: Creación única de los tesisistas.

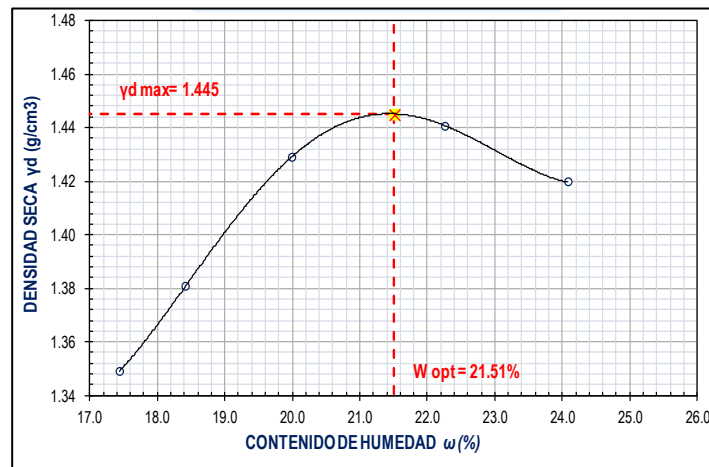
- **Combinación 6% viruta y 6% cal**

En la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 6% cal de peso seco, la muestra tuvo los siguientes resultados, que se observan en la Figura 38:

- Máxima densidad seca γ_d máx. : 1.45 g/cm³
- Contenido de humedad óptima: 21.51%

Figura 38

Curva de compactación 6% viruta y 6% cal



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Cada muestra que fue ensayada mediante la prueba proctor estándar, los resultados que se obtuvieron se resume en la Tabla 11 y 12.

Tabla 11

Máxima densidad seca

Máxima densidad seca γ_d máx. ($\frac{g}{cm^3}$)	Cal (% expresados en peso seco del material)				
	0%	2%	4%	6%	
Viruta	0%	1.81	1.72	1.7	1.69
(% expresados	2%	1.69	1.61	1.61	1.58
en peso seco	4%	1.59	1.59	1.54	1.52
del material)	6%	1.49	1.44	1.47	1.45

Fuente: Creación única de los tesisistas.

Tabla 12

Contenido de óptima humedad

Contenido de Humedad Óptimo W%	Cal (% expresados en peso seco del material)				
	0%	2%	4%	6%	
Viruta	0%	13.9	13.9	16.46	16.85
(% expresados	2%	16.35	18.92	18.87	17.47
en peso seco	4%	18.53	20.27	19.02	19.37
del material)	6%	21.23	22.27	21.92	21.51

Fuente: Creación única de los tesisistas.

Con estos resultados obtenidos se elaboraron los muretes tipo tapial para cada proporción de cal con viruta en 0%, 2%, 4% y 6% de masa en peso seco.

3.6.4 Elaboración de los especímenes

De acuerdo con la Norma E.070 (2019), la producción de prismas de mampostería de menor tamaño a veces denominados muros de mampostería, facilita la adquisición de características de mampostería. Para ello, los prismas deben crearse en las mismas circunstancias y dosificación que los muros auténticos, la pruebas que se realizan a estos prismas o muretes nos facilitan adquirir:

- a) La resistencia a cargas axiales de compresión (f'_m) y también la resistencia a corte (V'_m).
- b) Las propiedades de elasticidad (E_m) y de corte (G_m).
- c) Tipos de falla que se producirán al someter estos muretes a las pruebas, de esta manera se logra predecir la falla de los muros a escala real.

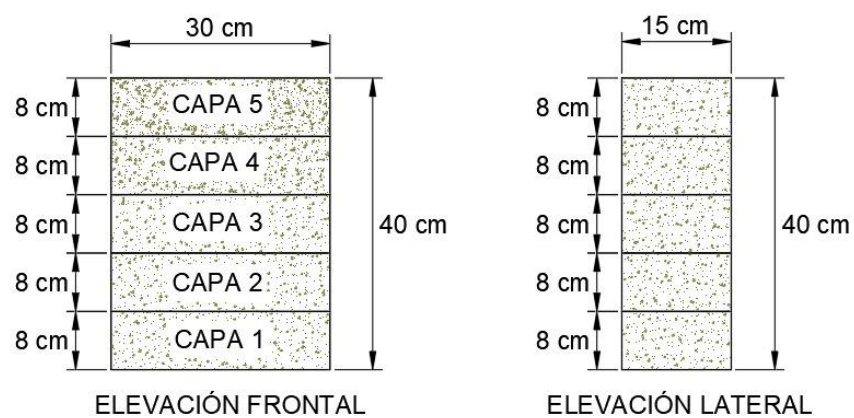
3.6.4.1 Murete de albañilería a compresión axial

La figura 39 muestra la construcción de probetas de las distintas combinaciones. Estos especímenes tienen dimensiones de 30 centímetros por 40 centímetros por 15 centímetros y estaban compuestos por cinco capas que se comprimieron a una altura de 8 centímetros utilizando un pisón metálico. Se controló las dimensiones en todas las pilas con el uso del flexómetro y vernier. La verticalidad se controló con herramienta como el nivel de mano y la plomada.

Se aplicó una fina capa de mortero de tierra en la parte superior de cada muro al finalizar el proceso de construcción del muro, antes de la prueba de compresión axial. Esto se hizo con el fin de homogeneizar la superficie de contacto y como resultado, distribuir la carga de manera uniforme, minimizando así la acumulación de concentraciones de tensión.

Figura 39

Dimensiones de los muretes de tapial



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Los muretes se sometieron a pruebas de compresión axial en la Máquina Tritest Digital de Compresión, tras finalizar el periodo de secado, que se estableció en 28 días de acuerdo con la Norma E.080.

a. Procedimiento de construcción

El tapial se elabora in situ. La tierra debe estar previamente preparada con el debido contenido de humedad, antes de ser echada al molde. El molde debe estar montado antes de iniciar con la compactación. La compactación es una etapa de suma importancia porque determina la resistencia del murete, debiendo el molde ser de un material resistente que soporte las fuerzas de compresión.



El molde a utilizar debe ser de cara liza que ayuda a deslizar el murete en el momento del desmontaje y así mismo debe ser impermeable las caras del molde para que no permite la pérdida de humedad del suelo.

b. Montaje del encofrado

Los tapiales se construyen vertiendo el suelo que ha sido previamente preparado en moldes o encofrados, lo que ayuda a compactar la tierra, esto es lo que distingue a los tapiales de otros tipos de construcción. Dentro del marco del proceso de construcción, es imperativo que la verticalidad de las paredes se preserve a pesar de la existencia de vibraciones. Además, es esencial que las dimensiones de ancho de las paredes permanezcan sin cambios a pesar de las presiones laterales que produce el material compactado. En vista de esto, es esencial que el encofrado esté preparado para soportar las vibraciones y empujes que se están transmitiendo.

c. Desmontaje del encofrado

Tan pronto como se termine el proceso de compactación de una sección de la pared, será necesario retirar y reubicar el encofrado en su ubicación inicial. El objetivo es reducir el tiempo necesario para nivelarlo. Se hizo una superficie de concreto nivelada para facilitar la remoción del encofrado, y luego se colocó el molde preparado sobre esta superficie.

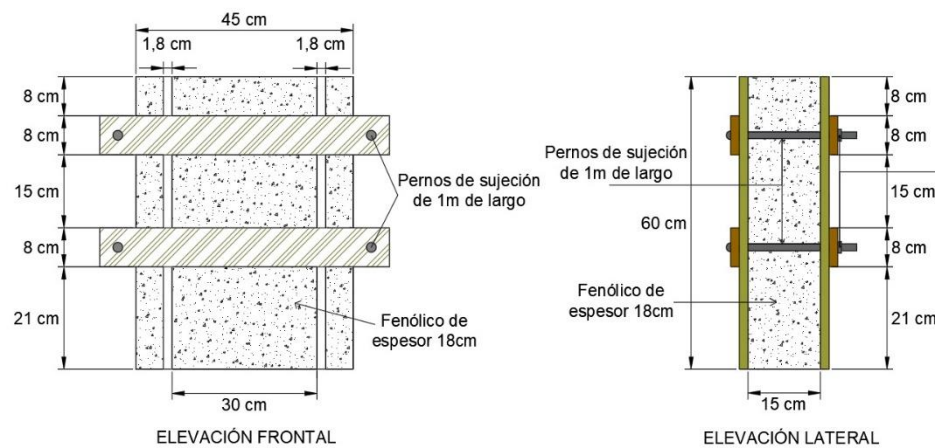
De los muchos métodos de construcción que se utilizan con frecuencia, hay dos que destacan en particular. Un encofrado deslizante

es un tipo de encofrado que implica crear porciones de la pared que luego actúan como guías para la construcción de las otras secciones de la pared. El primer tipo de encofrado se basa en el uso de guías que facilitan el levantamiento del encofrado. En el Perú, es más habitual hallar encofrados deslizantes, dado que la población generalmente tiene recursos escasos para obtener madera.

Estos moldes o encofrados que se utilizaron en la construcción de muretes tienen dimensiones establecidas que se muestran en la Figura 40.

Figura 40

Elevación frontal y lateral del encofrado para la construcción de muretes



Fuente: Creación única de los tesisistas.

El encofrado lateral está soportado por varillas de hierro que funcionan como puntales para ayudar a mantener su forma contra los impactos que se crean por el apisonado que ocurre durante el proceso de construcción de la pared. En la Figura 41 se observa los moldes elaborados.

Figura 41

Fabricación de moldes para los muretes



Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Preparación de la muestra de tierra con viruta y cal**

La tierra fue extraída del centro poblado Chancachi del distrito de Ácora, se observa en la Figura 42 y 43, con el apoyo de maquinarias fue transportado al lugar de trabajo en el centro poblado de Salcedo, donde se realizará la elaboración de los muretes, este proceso se logra apreciar en la Figura 44 y 45.

Figura 42

Extracción del material de la cantera



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Figura 43

Extracción del material con maquinaria



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Se pulverizó los terrones de mayor tamaño y se dispersó para que pueda secarse, este suelo se pasó a través de una zaranda con una abertura de 4.75 mm, este proceso se aprecia en la Figura 46.

Figura 44

Transporte del material de la cantera



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Figura 45

Materiales a utilizar para la elaboración de muretes



Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 46

Zarandeo del material de la cantera



Fuente: Creación única de los testistas.

Para cada una de las diversas muestras, el suelo se combina con viruta y cal en proporciones que se determinan por el peso seco del suelo respectivamente. La mezcla se produce en seco hasta que alcanza una consistencia uniforme, y luego se añade agua

gradualmente hasta que el contenido de humedad se incrementa al punto en que es adecuada para compactar, este proceso se observa en la Figura 47.

Figura 47

Combinación del suelo con la viruta y la cal



Fuente: Creación única de los tesistas.

- **Compactación de la tierra**

El molde a utilizar debe estar sujeto al suelo, debe estar nivelado, cuya base debe ser rígida para que soporte la compactación.

Después de colocar la tierra mezclada en el molde para crear una capa de aproximadamente 12 centímetros de altura, la tierra se aplasta con la ayuda de un pisón de metal mediante una serie de golpes continuos que se aplican a toda la superficie. Este proceso continúa hasta que la tierra alcanza una altura comprimida de 8 centímetros, este procedimiento se observa en la Figura 48. La cantidad de golpes y capas a compactar se calcularon

previamente con el propósito de ejercerle la misma energía de compactación realizado en el ensayo proctor estándar.

Al terminar la compactación de cada capa, se nivela la superficie y también se realiza unas delgadas ranuras de 1mm de profundidad en toda la superficie con el propósito de que esta superficie se adhiera a la siguiente capa a compactar. Después de cada compactación se debe controlar la verticalidad del molde mediante una plomada o nivel.

Figura 48

Compactación de la mezcla



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Terminando la compactación de la última capa, el molde es desmontado con mucho cuidado desajustando lentamente los pernos de sujeción para evitar daños en las caras del murete, se observa en la Figura 49 este procedimiento. Al desajustar

completamente el molde este se deslizará verticalmente hacia arriba dejando el murete en el lugar. Si tuviera algunas imperfecciones menores, las caras del murete, se debe aplicar el mismo mortero sobrante del mismo suelo para corregir las imperfecciones.

Figura 49

Desenfofrado del murete



Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Secado de los Especímenes**

Si bien es esencial prestar atención cuidadosa al proceso de secado de la tierra apisonada, también es esencial asegurar que el proceso sea continuo y que se eviten las variaciones rápidas de temperatura. Para evitar la rápida pérdida de humedad y, como resultado, prevenir la rotura debido a la exposición a cambios de temperatura, la tierra apisonada debe mantenerse húmeda durante al menos los siguientes tres días. Esto debe hacerse cubriéndolo con plástico u otro material de naturaleza similar. En la Figura 50

y 51 se observa el secado de los muretes elaborados y su protección.

El monitoreo del proceso de secado del murete se llevó a cabo mediante la determinación inicial del contenido de humedad inmediatamente después de su conformación. Este valor de referencia permitió establecer una línea base sobre la cual evaluar la evolución del secado a lo largo del tiempo. A partir de ese punto, se implementó un protocolo de seguimiento periódico, registrando el peso total del murete cada 48 horas utilizando una balanza de precisión. Esta metodología permitió calcular indirectamente la pérdida de humedad por evaporación.

Figura 50

Secado de los muretes en la intemperie



Fuente: Creación única de los tesisistas.

El registro de la pérdida de humedad se mantuvo constante durante un periodo de 28 días, observándose que en las últimas etapas del monitoreo las variaciones de peso fueron mínimas, indicando una estabilización en el contenido de humedad. La

representación gráfica del proceso, mediante una curva de secado (contenido de humedad en función del tiempo) evidenció un comportamiento aproximadamente lineal durante las fases finales del secado, lo cual sugiere que se alcanzó un equilibrio higrométrico con el ambiente.

Figura 51

Protección de los muretes a precipitación pluviales



Fuente: Creación única de los testistas.

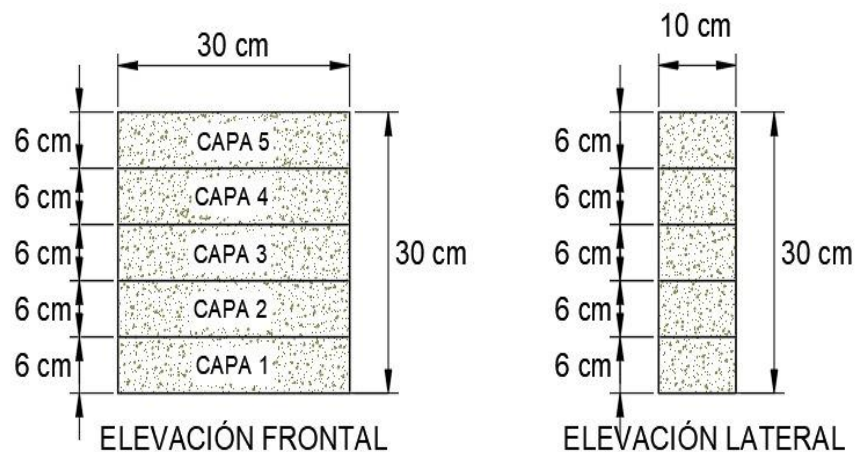
3.6.4.2 Murete de albañilería a compresión diagonal

Usando un compactador de metal, se produjeron los especímenes de las diferentes combinaciones con dimensiones de 30 centímetros por 30 centímetros por 10 centímetros. Estos especímenes estaban compuestos por cinco capas que fueron comprimidas a una altura de 6 centímetros. Las medidas se muestran en la Figura 52. Se controló las dimensiones en todas las pilas con el uso de flexómetro y vernier. La verticalidad se controló con un nivel.

Después de terminar la construcción de los pilotes, se aplicó una delgada capa de mortero de tierra en la parte superior de cada murete en aquellas superficies que tenían irregularidades. Esto se hizo con el fin de uniformizar la superficie de contacto y, como resultado, distribuir la carga de manera uniforme, evitando así la formación de concentraciones de tensión.

Figura 52

Dimensiones del murete a compresión diagonal



Fuente: creación única de los tesisistas.

Se realizaron pruebas en la Máquina de Compresión Tritest Digital a los muretes mientras estaban sometidos a cargas de corte diagonal, una vez terminado el periodo de secado, el cual fue de 28 días según la Norma E.080 (2017).

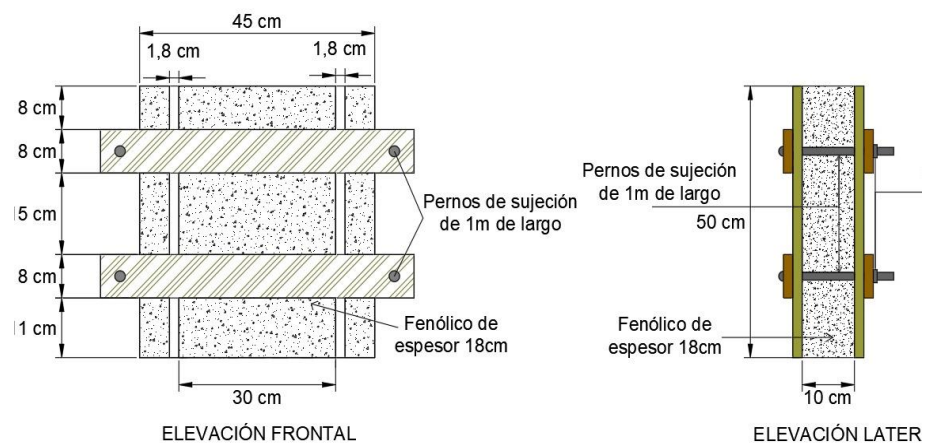
A) Procedimiento de construcción

La fabricación de los muretes destinados a ser evaluados bajo ensayos de compresión diagonal se llevó a cabo empleando la misma metodología constructiva aplicada en la elaboración de muretes para compresión axial. Esto asegura la homogeneidad en los procedimientos de

mezcla, colocación y curado de los materiales, permitiendo una comparación coherente entre ambos tipos de ensayo. La principal diferencia entre los especímenes radica en las dimensiones del encofrado utilizado, las cuales han sido adaptadas para cumplir con los requerimientos geométricos específicos del ensayo de compresión diagonal, tal como se ilustra en la Figura 53. Estas modificaciones permiten garantizar que el esfuerzo aplicado durante la prueba se distribuya adecuadamente según las condiciones del ensayo propuesto:

Figura 53

Elevación frontal y lateral del encofrado para la construcción de murete



Fuente: creación única de los testistas.

3.6.5 Ensayos efectuados a los muretes tipo tapial

3.6.5.1 Resistencia a compresión axial de muretes

a. Descripción

El ensayo experimental fue llevado a cabo sobre un conjunto de seis muretes fabricados mediante la técnica de construcción tipo tapial, elaborados a partir de una mezcla de tierra compactada, con la incorporación de diferentes proporciones de aditivos estabilizantes,



específicamente viruta de madera y cal hidratada. Las proporciones de cal y viruta adicionada fueron de 0%, 2%, 4% y 6% en peso respecto al seco del suelo, con el objetivo de evaluar el efecto de estos componentes en el desempeño mecánico del material bajo compresión diagonal. La prueba se basó según la Norma E.080 (2017).

Durante el procedimiento experimental, se utilizó un equipo de compresión Tritest Digital 50, el cual está diseñado para ensayos estructurales en elementos de pequeña y mediana escala, con una capacidad máxima de carga de 50 kilonewtons (kN). La máquina fue programada para operar a una velocidad constante de aplicación de carga de 1 milímetro por minuto (mm/min), lo que garantiza una tasa de deformación controlada y reproducible, condición indispensable para la evaluación precisa del comportamiento mecánico de materiales cuasi frágiles como la mampostería.

Con el fin de cuantificar las deformaciones inducidas en el murete a lo largo del ensayo, se incorporaron instrumentos de medición mecánica de desplazamiento lineal, comúnmente conocidos como relojes comparadores o diales micrométricos, fijados estratégicamente en la superficie del espécimen. Esta instrumentación permitió registrar, con alta resolución, el desplazamiento vertical generado por la carga aplicada, lo que facilitó la obtención de una curva experimental de carga frente a desplazamiento vertical.

Dicha curva constituye una herramienta clave para el análisis estructural, ya que proporciona información sobre la rigidez inicial, el

comportamiento postelástico y la capacidad última del murete bajo condiciones de compresión diagonal. En la Figura 54 se presenta el esquema de montaje experimental, donde se observa la disposición del equipo Tritest Digital 50, así como la ubicación de los dispositivos de medición sobre el espécimen.

Figura 54

Ensamblado del murete para el ensayo de compresión axial



Fuente: Creación única de los tesisistas.

b. Materiales y equipo

- Muretes tipo tapial codificados
- Máquina de compresión Tritest Digital 50
- Dial
- Nivel
- Plancha metálica



- Soporte metálico para diales

c. Procedimiento

1. Se identificó el tipo de murete a ensayar y que tipo de combinación representa. Se registró las medidas de sus dimensiones con la ayuda de flexómetro y vernier
2. Se pesó el murete en una balanza con precisión de 0.01 g, se observa en la Figura 55.
3. El murete fue colocado en el medio de la máquina de compresión Tritest Digital después de haber sido cuidadosamente posicionada dentro esta máquina. Con el propósito de distribuir el peso de manera uniforme, se colocaron placas de metal en la superficie de la pared.
4. Se enciende la Máquina de Compresión Tritest Digital, se configura la velocidad de compresión de 1mm/min, y se comienza a aplicar la carga. Se registra las deformaciones en los diales y también se anota las cargas.
5. Identificar el tipo de falla que se tuvo, se observa en la Figura 57.
6. La Figura 58 ilustra cómo determinar la cantidad de agua que estaba presente en el murete fracturado al final de la prueba.

Figura 55

Registro de dimensiones y el peso



Fuente: Creación única por los tesisistas.

Cada paso o etapa en las pruebas, se desarrollaron rigurosamente para garantizar la confiabilidad y una buena obtención de datos del ensayo.

Figura 56

Ensamblado del murete y encendido de la máquina



Fuente: Creación única por los tesisistas.

Figura 57

Identificación del tipo de falla



Fuente: Creación única por los testistas.

Figura 58

Obtención del contenido de humedad



Fuente: Creación única por los testistas.

d. Cálculos

- **Resistencia a compresión axial del murete**

Según la Norma E.080 (2017), la ecuación 5 ilustra cómo se puede calcular la resistencia axial a la compresión de murete,



dividiendo la carga máxima por el área bruta de la sección transversal de la pared:

$$f_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad (5)$$

Donde:

f_m : Resistencia a compresión de cargas axiales (kg)

$P_{m\acute{a}x}$: Carga máxima que el murete (kg)

A : Área transversal (cm²)

Al finalizar el proceso de prueba de las paredes, se determina la resistencia a cargas axiales (f_m) para cada murete individualmente y posteriormente, se calcula el valor promedio y la desviación estándar (σ) de las muestras probadas. La resistencia a compresión característica de los muretes obtiene mediante la ecuación 6.

$$f'_m = f_m - \sigma \quad (6)$$

- **Módulo de elasticidad del murete**

Para la determinación y análisis del módulo de elasticidad, es esencial centrarse en la región lineal de la curva de esfuerzo versus deformación. Este segmento retrata con precisión la respuesta elástica del material y típicamente abarca del 30% al 60% de la resistencia máxima. No se considera la parte inicial de la gráfica porque ese tramo representa el reacomodo del murete y la máquina.



Según el estudio realizado por Chiqui Paucar y Chalco Ruelas (2018), los datos requeridos para la determinación del valor de elasticidad se extraen de las mediciones de la deformación axial tomadas de la sección central de los muretes. Estas mediciones se capturan meticulosamente utilizando un par de micrómetros de precisión.

Esfuerzo Axial, se muestra en la ecuación 7:

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta P}{A} \quad (7)$$

Variabilidad unitaria relacionada con la carga aplicada (P), se muestra en la ecuación 8:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta D}{L} \quad (8)$$

Módulo de Elasticidad (E), se muestra en la ecuación 9:

$$E_m = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (9)$$

Donde:

$\Delta\sigma$: Presión axial en la porción elástico (kg/cm²)

ΔP : Variación de fuerza en el tramo elástico (kg)

A : Área (cm²)

$\Delta\varepsilon$: Deformacion unitaria

ΔD : Distanciamiento en la porción elástica (cm)

L : Distancia entre los diales

E_m : Factor elasticidad (kg/cm²)

3.6.5.2 Resistencia a compresión diagonal de muretes

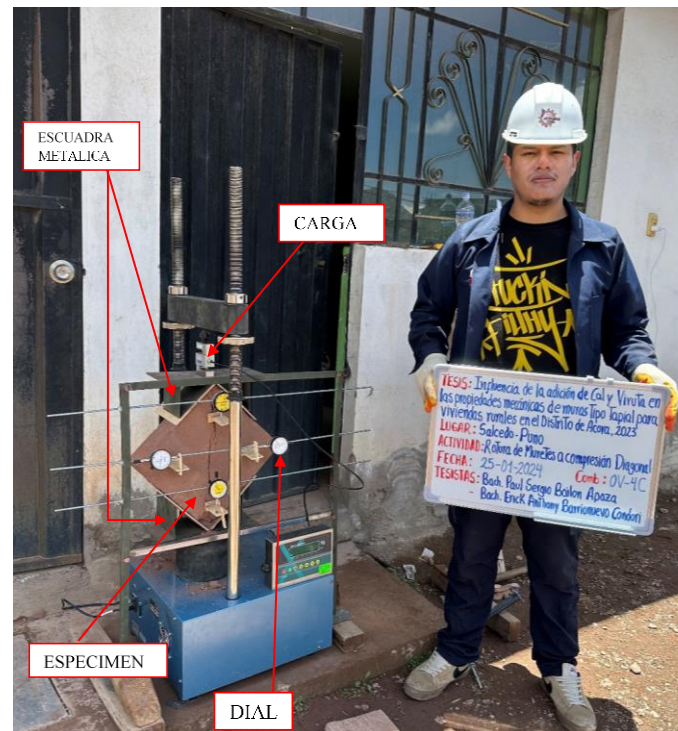
a. Descripción

El ensayo se realizó en seis muretes tipo tapial por combinación de tierra con adición de viruta y cal en 0%, 2%, 4% y 6%. La prueba se basó según la Norma E.080 (2017).

Para la prueba experimental, se utilizó la máquina de compresión Tritest Digital 50, que tiene una capacidad máxima de 50 KN. La máquina fue meticulosamente programada con una velocidad de compresión de 1 mm/min para aplicar la carga al espécimen de manera precisa. Al agregar cuatro diales adicionales a la estructura de la pared, la Figura 59 ilustra el proceso de ensamblaje.

Figura 59

Ensamblado del murete para el ensayo de compresión diagonal



Fuente: Creación única por los tesisistas.



b. Materiales y equipos

- Muretes tipo tapial codificados
- Máquina de compresión Tritest Digital 50
- Dial
- Nivel
- Plancha metálica
- Soporte metálico para diales

c. Procedimiento

1. Se midió las dimensiones del espécimen y se registró su peso. Después de posicionar la muestra en la Máquina Digital Tritest de manera que esté correctamente centrada y nivelada, se adjuntan a continuación los soportes de carga superior e inferior a la muestra, en la Figura 60 se ilustra este procedimiento.
2. En el marco de metal, hay cuatro diales de deformación que han sido ensamblados, estos deben coincidir con los topes de carga para poder registrar su deformación, este procedimiento se ilustra en la Figura 61.
3. Se enciende la máquina Tritest Digital, se configura la velocidad de compresión de 1mm/min, y se comienza a aplicar la carga. Se registra las deformaciones en los diales y también se anota las cargas.
4. El ensayo culminará cuando el murete sometido a compresión evidencie fisuras, se observa en la Figura 63.

5. Identificar el tipo de falla que se tuvo. Obtener el contenido de humedad del murete fisurado al terminar el ensayo.

Figura 60

Medición y ensablado del murete



Fuente: Creación única de los tesisas.

Cada paso o etapa en las pruebas, se desarrollaron rigurosamente para garantizar la confiabilidad.

Figura 61

Ensamblado de los diales



Fuente: Creación única por los tesisas.

Figura 62

Encendido del máquina y registro



Fuente: Creación única por los tesistas.

Figura 63

Identificación del tipo de falla



Fuente: Creación única por los tesistas.

d) Cálculo

- **Resistencia al esfuerzo de corte del murete**

Según la Norma E.080 (2017), una vez que la carga de ruptura se ha dividido por el área bruta de la diagonal, se puede calcular la resistencia al corte V_m . El cálculo se realizará según la ecuación 10 establecida en la Norma E.080.

$$V_m = \frac{P_{\max}}{2 a e_m} \quad (10)$$

Donde:

V_m : Esfuerzo de corte (kg/cm^2)

P_{\max} : Máxima fuerza que resiste el murete (kg)

e_m : Espesor del espécimen(cm)

a : Longitud del espécimen(cm)

- **Módulo de corte del murete**

Con los datos de la deformación, obtenidos con la lectura de los diales se determina el módulo de corte de la albañilería G_m . Se grafica carga versus desplazamiento. Según Chiqui Paucar y Chalco Ruelas (2018) la porción más lineal del gráfico es la que usamos para determinar G_m . En la mayoría de los casos, esta porción del gráfico representa entre el 30 y el 60 por ciento de la carga de rotura. No se considera la parte inicial de la gráfica porque ese tramo representa el reacomodo del murete y la máquina.

Variación de la carga, se muestra en la ecuación 11:

$$\Delta P = P(60\%) - P(30\%) \quad (11)$$

Esfuerzo cortante, se muestra en la ecuación 12:

$$\Delta V_m = \frac{\Delta P}{2ae_m} \quad (12)$$

Variación del desplazamiento, se muestra en la ecuación 13:

$$\Delta D = D(60\%) - D(30\%) \quad (13)$$

Una deformidad unitaria que está asociada con la fluctuación en la carga que experimentan los diales., se calcula mediante la ecuación 14.

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta D}{L} \quad (14)$$

La variabilidad angular Y' : es el total de las deformaciones unitarias que fueron calculadas por cada dial, se calcula mediante la ecuación 15.

$$Y' = \varepsilon_V + \varepsilon_H \quad (15)$$

El factor de corte G_m se calcula según la ecuación 16:

$$G_m = \frac{\Delta \cdot V_m}{Y'} \quad (16)$$

Donde:

P(30%) : Fuerza que resulta del 30% de la carga de rotura (kg)

P(60%) : Fuerza que resulta del 60% de la carga de rotura (kg)

D(30%) : Desplazamiento para la fuerza P(30%)

D(60%) : Desplazamiento para la P(60%)

L : Longitud entre diales(cm)



e_m : Espesor del espécimen(cm)

a : Lado del murete (cm)

ε_V : Deformación unitaria vertical (mm/mm)

ε_H : Deformación unitaria horizontal (mm/mm)



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Murete a compresión axial

4.1.1.1 Densidad

Dividiendo la masa (kg) de una sustancia por su volumen unitario (m^3) se puede obtener la densidad de la sustancia mediante un cálculo, tal y como establece el MTC (2016). De este modo, la densidad de la sustancia se abrevia como kg/m^3 y se calcula utilizando la ecuación 17:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (17)$$

Donde:

ρ : Densidad (kg/m^3)

M: Cantidad de masa (kg)

V : Volumen unitario (m^3)

Se registró las dimensiones del murete elaborado para determinar la densidad de elaboración, también se registró las dimensiones del murete antes de realizar el ensayo para determinar la densidad de ensayo, también se registró el peso de cada espécimen con una balanza digital.

En las siguientes tablas se muestra las densidades de cada murete elaborado de cada combinación.

- **Combinación 0% viruta y 0% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 2119.03 kg/m³ y 1898.39 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 0% de viruta y 0% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue del 1.47% y en el momento de la prueba, del 1.26%, puede consultar estos resultados en la Tabla 13.

Tabla 13

Comparación de densidades con 0% viruta y 0% cal

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0184	38.17	2078.00	35.39	1926.52
E-2	0.0178	37.28	2093.71	33.32	1871.31
E-3	0.0183	39.12	2140.21	34.67	1896.75
E-4	0.0180	38.45	2138.81	34.49	1918.53
E-5	0.0179	37.76	2105.88	33.52	1869.42
E-6	0.0184	39.65	2157.59	35.06	1907.82
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			2119.03	1898.39	
Desviación Estándar (kg/m³)			31.06	23.92	
Coefficiente de Variación			1.47%	1.26%	

Fuente: Creación única de los tesis.

- **Combinación 0% viruta y 2% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1965.09 kg/m³ y 1765.74 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 0% de viruta y 2% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba

realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 0.70%, y en el momento de la prueba, de 0.72%, puede consultar estos resultados en la Tabla 14.

Tabla 14

Comparación de densidades con 0% viruta y 2% cal

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0182	35.65	1960.00	31.97	1757.74
E-2	0.0181	35.24	1943.21	31.82	1754.62
E-3	0.0183	36.18	1979.37	32.30	1767.09
E-4	0.0177	34.92	1970.28	31.62	1784.09
E-5	0.0182	35.91	1978.30	32.26	1777.22
E-6	0.0179	35.15	1959.37	31.46	1753.68
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)		1965.09		1765.74	
Desviación Estándar (kg/m³)		13.73		12.68	
Coefficiente de Variación		0.70%		0.72%	

Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 0% viruta y 4% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1967.57 kg/m³ y 1735.02 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 0% de viruta y 4% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 0.78%, y en el momento de la prueba, de 0.96%, puede consultar estos resultados en la Tabla 15.

Tabla 15*Comparación de densidades con 0% viruta y 4% cal*

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0183	35.86	1962.00	31.68	1733.24
E-2	0.0182	35.72	1968.01	31.53	1737.16
E-3	0.0180	35.14	1950.04	30.72	1704.76
E-4	0.0181	35.93	1980.45	31.84	1755.01
E-5	0.0182	36.18	1990.19	31.70	1743.75
E-6	0.0178	34.79	1954.74	30.90	1736.18
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)		1967.57		1735.02	
Desviación Estándar (kg/m³)		15.37		16.74	
Coefficiente de Variación		0.78%		0.96%	

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 0% viruta y 6% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1979.53 kg/m³ y 1738.21 kg/m³. La dispersión media de los especímenes a lo largo del proceso de elaboración fue 0.95%.

Tabla 16*Comparación de densidades con 0% viruta y 6% cal*

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0183	36.17	1977.00	31.89	1743.22
E-2	0.0179	35.26	1972.92	30.82	1724.48
E-3	0.0181	35.84	1978.98	31.18	1721.67
E-4	0.0182	36.20	1992.79	31.91	1756.63
E-5	0.0181	36.29	2005.33	31.83	1758.88
E-6	0.0177	34.55	1950.17	30.55	1724.39
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)		1979.53		1738.21	
Desviación Estándar (kg/m³)		18.73		17.00	
Coefficiente de Variación		0.95%		0.98%	

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 2% viruta y 0% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1958.24 kg/m^3 y 1726.74 kg/m^3 . Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 2% de viruta y 0% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.29%, y en el momento de la prueba, de 2.87%, puede consultar estos resultados en la Tabla 17.

Tabla 17

Comparación de densidades con 2% viruta y 0% cal

Especímen	Volumen (m^3)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m^3)	Peso (kg)	Densidad (kg/m^3)
E-1	0.0184	35.96	1951.00	32.23	1748.75
E-2	0.0182	34.78	1916.22	29.97	1651.21
E-3	0.0180	35.18	1958.53	30.63	1705.23
E-4	0.0180	35.26	1963.00	30.84	1716.93
E-5	0.0181	35.65	1966.78	31.51	1738.38
E-6	0.0180	35.98	1993.93	32.48	1799.97
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m^3)			1958.24	1726.74	
Desviación Estándar (kg/m^3)			25.25	49.49	
Coefficiente de Variación			1.29%	2.87%	

Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 2% viruta y 2% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1946.66 kg/m^3 y 1679.23 kg/m^3 . Esto se determinó combinando la

muestra de suelo con 2% de viruta y 2% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.55%, y en el momento de la prueba, de 1.23%, puede consultar estos resultados en la Tabla 18.

Tabla 18

Comparación de densidades con 2% viruta y 2% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0183	35.08	1917.00	30.80	1682.91
E-2	0.0178	34.89	1958.73	30.00	1684.21
E-3	0.0180	35.72	1985.31	30.62	1701.85
E-4	0.0180	34.77	1933.45	30.16	1677.10
E-5	0.0181	34.68	1912.33	29.75	1640.48
E-6	0.0183	36.02	1973.14	30.83	1688.84
Densidad de Elaboración promedio (kg/m³)			1946.66		1679.23
Desviación Estándar (kg/m³)			30.25		20.73
Coefficiente de Variación			1.55%		1.23%

Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 2% viruta y 4% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1913.97 kg/m³ y 1649.38 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 2% de viruta y 4% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 2.31%, y en el momento de la prueba, de 2.79%, puede consultar estos resultados en la Tabla 19.

Tabla 19*Comparación de densidades con 2% viruta y 4% cal*

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0181	34.74	1919.00	29.99	1656.46
E-2	0.0180	33.47	1855.60	28.65	1588.38
E-3	0.0179	35.42	1979.31	30.67	1713.87
E-4	0.0180	33.79	1873.37	28.96	1605.59
E-5	0.0179	34.61	1929.42	30.07	1676.33
E-6	0.0181	34.86	1927.13	29.95	1655.69
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1913.97		1649.38
Desviación Estándar (kg/m³)			44.18		46.08
Coefficiente de Variación			2.31%		2.79%

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 2% viruta y 6% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1870.95 kg/m³ y 1639.61 kg/m³. La dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.47.

Tabla 20*Comparación de densidades con 2% viruta y 6% cal*

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0183	34.13	1860.00	30.53	1664.04
E-2	0.0182	34.02	1866.64	30.11	1652.11
E-3	0.0180	34.29	1901.06	29.96	1661.00
E-4	0.0178	32.57	1825.47	28.44	1594.00
E-5	0.0181	33.95	1876.13	29.35	1621.93
E-6	0.0180	34.12	1896.36	29.59	1644.59
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1870.95		1639.61
Desviación Estándar (kg/m³)			27.52		26.94
Coefficiente de Variación			1.47%		1.64%

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 4% viruta y 0% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1853.39 kg/m³ y 1603.84 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 4% de viruta y 0% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 3.13%, y en el momento de la prueba, de 2.93%, puede consultar estos resultados en la Tabla 21.

Tabla 21

Comparación de densidades con 4% viruta y 0% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0180	33.74	1870.00	29.44	1631.50
E-2	0.0180	33.88	1882.22	29.16	1620.00
E-3	0.0181	32.47	1790.58	28.27	1558.97
E-4	0.0183	33.36	1825.09	28.65	1567.41
E-5	0.0177	31.92	1805.65	27.72	1568.06
E-6	0.0184	35.73	1946.78	30.78	1677.07
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1853.39		1603.84
Desviación Estándar (kg/m³)			58.06		46.92
Coefficiente de Variación			3.13%		2.93%

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 4% viruta y 2% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1884.77 kg/m³ y 1605.14 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 4% de viruta y 2% de cal en peso seco. La fiabilidad

de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 2.98% y en el momento de la prueba, de 2.95%, puede consultar estos resultados en la Tabla 22.

Tabla 22

Comparación de densidades con 4% viruta y 2% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0181	34.13	1885.00	28.76	1588.52
E-2	0.0180	34.35	1905.22	29.20	1619.58
E-3	0.0178	32.76	1840.64	28.07	1577.13
E-4	0.0182	35.14	1931.24	29.78	1636.66
E-5	0.0180	32.41	1799.12	27.70	1537.67
E-6	0.0183	35.55	1947.40	30.51	1671.31
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1884.77		1605.14
Desviación Estándar (kg/m³)			56.18		47.32
Coefficiente de Variación			2.98%		2.95%

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 4% viruta y 4% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1804.27 kg/m³ y 1572.55 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 4% de viruta y 4% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 2.78%, y en el momento de la prueba, de 2.17%, puede consultar estos resultados en la Tabla 23.

Tabla 23*Comparación de densidades con 4% viruta y 4% cal*

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0179	32.78	1829.00	28.84	1608.93
E-2	0.0182	33.42	1835.98	28.57	1569.53
E-3	0.0181	32.91	1818.50	28.49	1574.26
E-4	0.0179	30.46	1704.27	27.15	1519.07
E-5	0.0181	33.18	1831.92	29.14	1608.87
E-6	0.0184	33.20	1805.95	28.58	1554.64
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1804.27	1572.55	
Desviación Estándar (kg/m³)			50.17	34.16	
Coefficiente de Variación			2.78%	2.17%	

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 4% viruta y 6% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1820.71 kg/m³ y 1603.03 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 4% de viruta y 6% de cal en peso seco.

Tabla 24*Comparación de densidades con 4% viruta y 6% cal*

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0184	33.35	1812.00	28.99	1574.90
E-2	0.0178	32.45	1824.03	27.97	1572.21
E-3	0.0183	33.89	1849.44	29.25	1596.23
E-4	0.0179	32.11	1798.86	28.52	1597.74
E-5	0.0180	32.38	1801.16	30.30	1685.46
E-6	0.0179	32.89	1838.75	28.47	1591.65
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1820.71	1603.03	
Desviación Estándar (kg/m³)			20.48	41.81	
Coefficiente de Variación			1.13%	2.61%	

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 6% viruta y 0% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1796.28 kg/m³ y 1520.20 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 6% de viruta y 0% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 2.13%, y en el momento de la prueba, de 2.49%, puede consultar estos resultados en la Tabla 25.

Tabla 25

Comparación de densidades con 6% viruta y 0% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0182	32.89	1806.00	27.35	1501.87
E-2	0.0178	30.76	1726.10	26.05	1461.80
E-3	0.0179	32.88	1834.09	28.10	1567.46
E-4	0.0179	32.64	1825.56	27.78	1553.74
E-5	0.0181	32.40	1794.82	27.33	1513.96
E-6	0.0182	32.59	1791.08	27.70	1522.34
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1796.28	1520.20	
Desviación Estándar (kg/m³)			38.31	37.81	
Coefficiente de Variación			2.13%	2.49%	

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 6% viruta y 2% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1753.66 kg/m³ y 1472.12 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 6% de viruta y 2% de cal en peso seco. La fiabilidad

de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 2.51%, y en el momento de la prueba, de 2.72%, puede consultar estos resultados en la Tabla 26.

Tabla 26

Comparación de densidades con 6% viruta y 2% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0183	32.11	1758.00	27.07	1482.18
E-2	0.0179	30.78	1718.58	25.99	1451.14
E-3	0.0180	32.24	1788.96	26.91	1493.20
E-4	0.0179	30.66	1708.36	25.53	1422.52
E-5	0.0181	32.89	1820.50	27.74	1535.44
E-6	0.0182	31.42	1727.56	26.34	1448.24
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1753.66		1472.12
Desviación Estándar (kg/m³)			44.04		40.06
Coefficiente de Variación			2.51%		2.72%

Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 6% viruta y 4% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1767.02 kg/m³ y 1487.61 kg/m³. Esto se determinó combinando la muestra de suelo con 6% de viruta y 4% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 2.70%, y en el momento de la prueba, de 2.99%, puede consultar estos resultados en la Tabla 27.

Tabla 27

Comparación de densidades con 6% viruta y 4% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0181	32.28	1788.00	27.09	1500.66
E-2	0.0181	32.64	1807.31	27.51	1523.26
E-3	0.0182	31.81	1748.28	26.91	1478.97
E-4	0.0178	30.07	1687.51	25.16	1411.96
E-5	0.0183	33.27	1817.14	28.14	1536.95
E-6	0.0179	31.32	1753.88	26.32	1473.88
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1767.02	1487.61	
Desviación Estándar (kg/m³)			47.80	44.41	
Coefficiente de Variación			2.70%	2.99%	

Fuente: Creación única de los tesisistas.

- **Combinación 6% viruta y 6% cal**

Los seis especímenes se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1718.07 kg/m³ y 1439.79 kg/m³, puede consultar estos resultados en la Tabla 28.

Tabla 28

Comparación de densidades con 6% viruta y 6% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0181	31.92	1761.00	26.88	1482.82
E-2	0.0181	30.72	1700.31	25.99	1438.51
E-3	0.0180	30.37	1689.41	25.77	1433.53
E-4	0.0179	31.12	1736.42	26.18	1460.78
E-5	0.0184	32.45	1765.86	26.76	1456.22
E-6	0.0182	30.12	1655.39	24.87	1366.85
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1718.07	1439.79	
Desviación Estándar (kg/m³)			43.65	39.81	
Coefficiente de Variación			2.54%	2.76%	

Fuente: Creación única por los tesisistas.



4.1.1.2 Contenido de humedad

El nivel ideal de humedad se obtiene al dividir la cantidad total del peso del agua que está contenida dentro de una masa de suelo, entre el peso del suelo.

Según el MTC (2016) el nivel ideal de humedad se obtiene aplicando la ecuación 18:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100 \quad (18)$$

Donde w es el nivel ideal de humedad porcentualmente.

- **Combinación 0% viruta y 0% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 0% viruta y 0% cal, es 15.04% para una máxima densidad de suelo seco de 1.806 g/m³.

Se obtuvo la cantidad de humedad del suelo, para poder corregirla debido a la humedad natural del suelo in situ. Se agregó la cantidad de agua calculada a la mezcla hasta llegar a la humedad ideal según la prueba Proctor Estándar. La viruta y cal estuvieron en estado seco antes de realizar la mezcla.

En la elaboración de los especímenes de la muestra de suelo con 0% viruta y 0% cal, se obtuvo la humedad ideal promedio de 15.17%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 29 se ilustra los reportes.

Tabla 29

Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (g)	Humedad Inicial en la Elaboración				Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-03	18.87	140.79	124.72	105.85	16.07	15.18%	
E-2	E-04	40.02	143.35	129.76	89.74	13.59	15.14%	
E-3	S224	53.04	120.81	112.08	59.04	8.73	14.79%	
E-4	S-1	52.93	130.85	120.41	67.48	10.44	15.47%	
E-5	S-46	19.29	114.28	101.87	82.58	12.41	15.03%	
E-6	S-63	17.31	104.64	92.97	75.66	11.67	15.42%	
Promedio							15.17%	

Fuente: Creación única por los tesisistas.

La humedad que aún persiste en los especímenes que no se logra secar, debido a las características internas del tapial, ésta humedad remanente es 2.44%, en la Tabla 30 se aprecia y detalla los resultados efectuado

Tabla 30

Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (g)	Humedad Final en la Rotura				Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-44	17.77	105.04	102.96	85.19	2.08	2.44%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 2% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con

0% viruta y 2% cal, es 13.90% para una máxima densidad de suelo seco de 1.718g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 13.95%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 31 se ilustra los reportes.

Tabla 31

Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso Suelo Seco (g)			
E-1	T-07	25.09	116.82	105.75	80.66	11.07	13.72%	
E-2	S-23	19.52	100.55	90.51	70.99	10.04	14.14%	
E-3	LL-06	26.46	117.24	106.15	79.69	11.09	13.92%	
E-4	T-07	24.87	94.86	86.10	61.23	8.76	14.31%	
E-5	S-57	17.82	106.83	95.89	78.07	10.94	14.01%	
E-6	D-01	24.16	99.74	90.71	66.55	9.03	13.57%	
Promedio							13.95%	

Fuente: Elaboración propia.

La humedad que aún persiste en los especímenes que no se logra secar, debido a las características internas del tapial, ésta humedad remanente es 2.15%, en la Tabla 32 se aprecia los resultandos.

Tabla 32

Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	DC-06	57.81	131.57	130.02	72.21	1.55	2.15%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 4% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 0% viruta y 4% cal, es 16.46% para una máxima densidad de suelo seco de 1.702 g/cm³.

Se obtuvo la cantidad de humedad del suelo, para poder corregirla debido a la humedad natural del suelo in situ. Se agregó la cantidad de agua calculada a la mezcla hasta la humedad ideal según la prueba Proctor Estandar. La viruta y cal estuvieron en estado seco antes de realizar la mezcla.

En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 16.47%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 33 se ilustra los reportes.

Tabla 33

Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	S-22	28.08	106.91	95.91	67.83	11.00	16.22%
E-2	D-01	24.16	90.06	80.71	56.55	9.35	16.53%
E-3	S-04	19.30	97.53	86.67	67.37	10.86	16.12%
E-4	S-23	19.52	110.69	97.60	78.08	13.09	16.76%
E-5	S-44	17.79	120.02	105.65	87.86	14.37	16.36%
E-6	S-63	16.80	131.23	114.76	97.96	16.47	16.81%
Promedio							16.47%

Fuente: Creación única por los tesisistas.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 3.49%, revise la

Tabla 34.

Tabla 34

Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (g)	Humedad Final en la Rotura			Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula+ Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)		
E-1	S-57	18.51	102.94	100.09	81.58	2.85	3.49%

Fuente: Creación única por los tesistas.

- **Combinación 0% viruta y 6% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 0% viruta y 6% cal, es 16.85% para una máxima densidad de suelo seco de 1.688 g/cm³, en la Tabla 35 se ilustra los reportes.

Tabla 35

Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (g)	Humedad Inicial en la Elaboración				Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-115	16.65	123.95	108.39	91.74	15.56	16.96%	
E-2	ES-02	21.60	120.42	106.27	84.67	14.15	16.71%	
E-3	S-48	16.27	94.74	83.25	66.98	11.49	17.15%	
E-4	S-18	16.45	86.37	76.27	59.82	10.10	16.88%	
E-5	S-45	22.07	104.62	92.49	70.42	12.13	17.23%	
E-6	A-01	21.99	99.76	88.70	66.71	11.06	16.58%	
Promedio							16.92%	

Fuente: Creación única por los tesistas.

La humedad que aún persiste en los especímenes que no se logra secar, ésta humedad remanente es 3.02% (ver la Tabla 36).

Tabla 36

Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 6% cal

Especimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula+ Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-14	18.88	90.75	88.64	69.76	2.11	3.02%	

Fuente: Elaboración propia

- **Combinación 2% viruta y 0% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 0% cal, es 16.35% para una máxima densidad de suelo seco de 1.689 g/cm³(ver la Tabla 37).

Tabla 37

Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 0% cal

Especimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-11	17.31	87.22	77.51	60.20	9.71	16.13%	
E-2	T-07	24.88	109.44	97.78	72.90	11.66	15.99%	
E-3	D-01	24.16	93.05	83.31	59.15	9.74	16.47%	
E-4	S-46	16.77	104.96	92.29	75.52	12.67	16.78%	
E-5	S-23	19.53	93.97	83.53	64.00	10.44	16.31%	
E-6	HD4	40.02	137.83	123.85	83.83	13.98	16.68%	
Promedio							16.39%	

Fuente: Elaboración propia.

La humedad que aún persiste en los especímenes que no se logra secar, ésta humedad remanente es 3.80% (ver la Tabla 38).

Tabla 38

Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 0% cal

Espécimen Cápsula		Humedad Final en la Rotura					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	S-29	19.49	117.30	113.72	94.23	3.58	3.80%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 2% cal**

De acuerdo a los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 2% cal, es 18.92% para una máxima densidad de suelo seco de 1.606 g/cm³.

Tabla 39

Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 2% cal

Espécimen Cápsula		Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	JH-06	19.81	110.92	96.28	76.47	14.64	19.14%
E-2	S-56	16.98	91.23	79.45	62.47	11.78	18.86%
E-3	C-23	52.48	121.35	110.23	57.75	11.12	19.26%
E-4	E-04	52.91	129.58	117.47	64.56	12.11	18.76%
E-5	HR-11	48.79	116.48	105.83	57.04	10.65	18.67%
E-6	E-12	53.49	114.72	104.78	51.29	9.94	19.38%
Promedio							19.01%

Fuente: Elaboración propia.

La humedad que aún persiste en los especímenes que no se logra secar, debido a las características internas del tapial, ésta humedad remanente es 1.63% (ver la Tabla 40).

Tabla 40

Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (g)	Humedad Final en la Rotura			Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)		
E-1	M-07	32.09	93.32	92.34	60.25	0.98	1.63%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 4% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 4% cal, es 18.87% para una máxima densidad de suelo seco de 1.607 g/cm³.

Se obtuvo la cantidad de humedad del suelo, para poder corregirla debido a la humedad natural del suelo in situ. Se agregó la cantidad de agua calculada a la mezcla hasta alcanzar la humedad ideal según la prueba Proctor Estandar. La viruta y cal estuvieron en estado seco antes de realizar la mezcla.

En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 18.80%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 41 se ilustra los reportes.

Tabla 41

Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	HR-18	27.07	96.98	85.96	58.89	11.02	18.71%	
E-2	HR-07	23.66	94.93	83.54	59.88	11.39	19.02%	
E-3	HR-17	27.57	98.84	87.50	59.93	11.34	18.92%	
E-4	E-03	25.62	117.33	102.95	77.33	14.38	18.60%	
E-5	HR-21	32.80	102.79	91.56	58.76	11.23	19.11%	
E-6	HR-09	26.62	96.61	85.71	59.09	10.90	18.45%	
Promedio							18.80%	

Fuente: Elaboración propia.

La humedad que aún persiste en los especímenes que no se logra secar, debido a las características internas del tapial, ésta humedad remanente es 3.18% (ver la Tabla 42).

Tabla 42

Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	BLP	50.57	111.56	109.68	59.11	1.88	3.18%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 6% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 6% cal, es 17.47% para una máxima densidad de suelo

seco de 1.579 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 17.49%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 43 se ilustra los reportes.

Tabla 43

Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	E-04	32.91	102.66	92.20	59.29	10.46	17.64%
E-2	TA-07	57.95	107.70	100.38	42.43	7.32	17.25%
E-3	M-06	43.36	95.63	87.73	44.37	7.90	17.80%
E-4	M-08	23.44	96.71	86.05	62.61	10.66	17.03%
E-5	HR-05	24.80	92.93	82.79	57.99	10.14	17.49%
E-6	HR-04	26.79	88.28	79.02	52.23	9.26	17.73%
Promedio							17.49%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que no logra secar es 2.84% (ver la Tabla 44).

Tabla 44

Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	M-07	52.10	113.59	111.89	59.79	1.70	2.84%

Fuente: Elaboración propia

- **Combinación 4% viruta y 0% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo

con 4% viruta y 0% cal, es 18.53% para una máxima densidad de suelo seco de 1.594 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 18.60%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 45 se ilustra los reportes.

Tabla 45

Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 0% cal

Especímen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	E-02	53.31	120.38	110.03	56.72	10.35	18.25%
E-2	BLP	40.57	112.02	100.71	60.14	11.31	18.81%
E-3	HR-21	46.62	131.35	118.19	71.57	13.16	18.39%
E-4	TA-07	57.95	137.32	124.61	66.66	12.71	19.07%
E-5	HR-09	45.52	119.51	108.16	62.64	11.35	18.12%
E-6	HR-17	47.56	139.73	125.03	77.47	14.70	18.98%
Promedio							18.60%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que y no logra secar es 3.20% (ver la Tabla 46).

Tabla 46

Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 0% cal

Especímen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (gr)	
E-1	E-03	52.80	132.17	129.71	76.91	2.46	3.20%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 2% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo

con 4% viruta y 2% cal, es 20.27% para una máxima densidad de suelo seco de 1.562g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 20.21%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 47 se ilustra los reportes.

Tabla 47

Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	E-12	53.49	134.58	121.19	67.70	13.39	19.78%
E-2	HR-18	47.07	121.62	108.92	61.85	12.70	20.53%
E-3	S-09	34.85	104.73	93.06	58.21	11.67	20.05%
E-4	S-05	39.91	113.09	100.71	60.80	12.38	20.36%
E-5	HR-23	47.62	142.74	126.95	79.33	15.79	19.90%
E-6	HR-03	52.99	136.32	122.06	69.07	14.26	20.65%
Promedio							20.21%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad remanente que no logra secar es 2.86% (ver la Tabla 48).

Tabla 48

Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	M-08	54.59	137.92	135.60	81.01	2.32	2.86%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 4% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 4% viruta y 4% cal, es 19.00% para una máxima densidad de suelo seco de 1.536g/cm³, en la Tabla 49 se ilustra los reportes.

Tabla 49

Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	S-24	50.58	129.44	116.89	66.31	12.55	18.93%
E-2	M-02	67.43	136.07	124.98	57.55	11.09	19.27%
E-3	TA-07	37.94	115.82	103.34	65.40	12.48	19.08%
E-4	M-06	53.35	140.32	126.54	73.19	13.78	18.83%
E-5	HR-70	43.67	141.18	125.84	82.17	15.34	18.67%
E-6	C-23	52.51	126.95	114.87	62.36	12.08	19.37%
Promedio							19.02%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 3.75% (ver la Tabla 50).

Tabla 50

Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	HR-11	48.79	116.64	114.19	65.40	2.45	3.75%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 6% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 4% viruta y 6% cal, es 19.37% para una máxima densidad de suelo seco de 1.517g/cm^3 , en la Tabla 51 se ilustra los reportes.

Tabla 51

Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	HR-09	46.63	109.50	99.34	52.71	10.16	19.28%
E-2	HR-17	47.58	121.82	109.98	62.40	11.84	18.97%
E-3	E-04	52.44	134.47	120.96	68.52	13.51	19.72%
E-4	D-02	37.50	107.47	96.34	58.84	11.13	18.92%
E-5	M-06	32.10	117.72	103.68	71.58	14.04	19.61%
E-6	A-7	37.95	108.82	97.43	59.48	11.39	19.15%
Promedio							19.27%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 3.13% (ver la Tabla 52).

Tabla 52

Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	E-12	53.48	124.35	122.20	68.72	2.15	3.13%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 0% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 0% cal, es 21.23% para una máxima densidad de suelo seco de 1.488g/cm³, en la Tabla 53 se ilustra los reportes.

Tabla 53

Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	M-08	54.60	130.79	117.72	63.12	13.07	20.71%
E-2	S-05	39.91	120.09	105.95	66.04	14.14	21.41%
E-3	HR-18	47.04	119.86	107.20	60.16	12.66	21.04%
E-4	M-02	37.45	115.67	101.77	64.32	13.90	21.61%
E-5	R-07	43.68	107.97	96.86	53.18	11.11	20.89%
E-6	R-11	38.79	126.12	110.75	71.96	15.37	21.36%
Promedio							21.17%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 2.80% (ver la Tabla 54).

Tabla 54

Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	R-05	43.94	131.27	128.89	84.95	2.38	2.80%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 2% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 2% cal, es 22.27% para una máxima densidad de suelo seco de 1.444 g/cm³, en la Tabla 55 se ilustra los reportes.

Tabla 55

Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula+ Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (gr)	
E-1	R-23	47.65	129.81	114.69	67.04	15.12	22.55%
E-2	S-04	33.03	105.21	92.07	59.04	13.14	22.26%
E-3	S-09	34.84	103.98	91.54	56.70	12.44	21.94%
E-4	M-03	37.02	111.84	98.29	61.27	13.55	22.12%
E-5	E-12	23.49	109.63	93.70	70.21	15.93	22.69%
E-6	E-04	32.92	101.80	89.22	56.30	12.58	22.34%
Promedio							22.32%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 3.07% (ver la Tabla 56).

Tabla 56

Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula+ Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	R-09	35.62	104.50	102.45	66.83	2.05	3.07%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 4% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 4% cal, es 21.92% para una máxima densidad de suelo seco de 1.471g/cm³, en la Tabla 57 se ilustra los reportes.

Tabla 57

Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	R-17	47.58	117.57	105.01	57.43	12.56	21.87%
E-2	M-08	28.74	108.15	94.01	65.27	14.14	21.66%
E-3	D-02	37.45	126.91	110.62	73.17	16.29	22.26%
E-4	T-11	37.94	136.01	118.62	80.68	17.39	21.55%
E-5	HR-05	33.92	102.80	90.39	56.47	12.41	21.98%
E-6	P-21	29.58	116.71	101.36	71.78	15.35	21.38%
Promedio							21.79%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.80% (ver la Tabla 58).

Tabla 58

Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	E-12	43.49	130.62	129.08	85.59	1.54	1.80%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 6% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 6% cal, es 21.51% para una máxima densidad de suelo seco de 1.445g/cm³, en la Tabla 59 se ilustra los reportes.

Tabla 59

Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	S-23	37.64	116.44	102.47	64.83	13.97	21.55%
E-2	S-21	46.63	128.90	114.46	67.83	14.44	21.29%
E-3	E-011	33.06	102.08	89.76	56.70	12.32	21.73%
E-4	S-18	47.05	125.85	112.10	65.05	13.75	21.14%
E-5	S-09	34.84	134.81	116.76	81.92	18.05	22.03%
E-6	E-03	28.98	103.53	90.40	61.42	13.13	21.38%
Promedio							21.52%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 3.23% (ver la Tabla 60).

Tabla 60

Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	D-02	40.58	115.13	112.80	72.22	2.33	3.23%

Fuente: Elaboración propia.

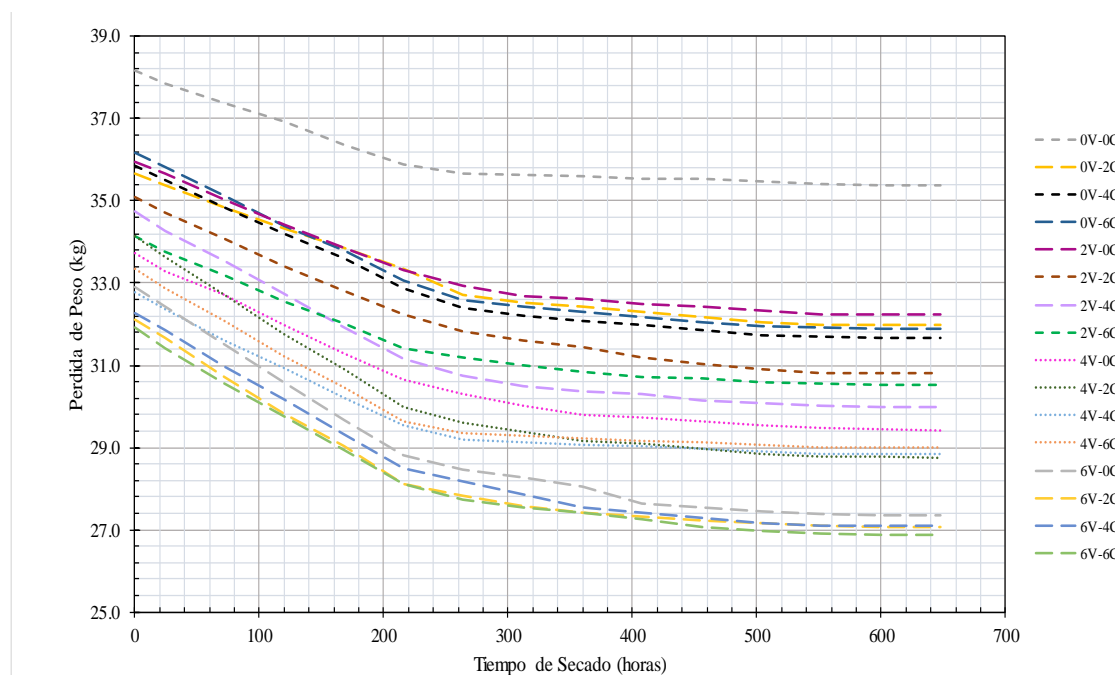
4.1.1.3 Proceso de secado

Se elaboró 16 curvas de secado en función del tiempo, es decir una curva de secado por combinación. Se seleccionó un espécimen elaborado representante de cada combinación y se registró el peso de los especímenes cada 2 días durante un tiempo de 28 días, como indica la Norma E.080 diseño y construcción de con tierra reforzada.

Se evidenció que durante los 8 primeros días se logró un secado considerable de pendiente negativa y durante el transcurso de los días la pérdida de agua se fue reduciendo hasta llegar a los 28 días, donde la pérdida de agua era despreciable, debido a que el agua era mínima y no se puede secar debido a propiedades internas del tapial, este control de secado se observa en la Figura 64.

Figura 64.

Control de secado de las diferentes combinaciones



Fuente: Creación única de los tesisistas.

4.1.1.4 Resistencia a compresión axial

- **Combinación 0% viruta y 0% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 0% de viruta y 0% de cal es 5.61 kg/cm², la desviación estándar resultó 0.47 kg/cm² y su coeficiente 8.31% (ver la Tabla 61).

Tabla 61

Resultado del ensayo de compresión axial con 0% viruta y 0% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia a Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	30	30.10	40.15	15.05	453.01	2660.90	5.87
M-2	30	30.20	39.90	15.05	454.51	2258.60	4.97
M-3	30	30.05	40.15	15.15	455.26	2893.53	6.36
M-4	30	29.80	40.05	14.85	442.53	2402.86	5.43
M-5	30	30.10	40.07	15.05	453.01	2495.31	5.51
M-6	30	29.95	40.20	14.90	446.26	2466.86	5.53
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							5.61
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.47
Coficiente de Variación							8.31%
Resistencia Característica f'm (Kg/cm²)							5.14

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 2% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 0% de viruta y 2% de cal es 6.48 kg/cm², la estándar variación resultó 0.74 kg/cm² y su coeficiente 11.35% (ver Tabla 62).

Tabla 62

Resultado del ensayo de compresión axial con 0% viruta y 2% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	31	30.10	40.15	15.05	453.01	3059.11	6.75
M-2	31	30.20	39.90	15.05	454.51	2671.05	5.88
M-3	31	30.05	40.15	15.15	455.26	2842.73	6.24
M-4	31	29.80	40.05	14.85	442.53	3041.84	6.87
M-5	31	30.10	40.07	15.05	453.01	3438.00	7.59
M-6	31	29.95	40.20	14.90	446.26	2485.15	5.57
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							6.48
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.74
Coefficiente de Variación							11.35%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							5.75

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 4% cal**

La resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 0% de viruta y 4% de cal es 7.11 kg/cm².

Tabla 63

Resultado del ensayo de compresión axial con 0% viruta y 4% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	32	30.10	39.95	15.20	457.52	3762.02	8.22
M-2	32	30.00	40.20	15.05	451.50	3517.23	7.79
M-3	32	30.00	40.30	14.91	447.15	2996.12	6.70
M-4	32	30.15	39.85	15.10	455.27	3093.64	6.80
M-5	32	29.90	40.00	15.20	454.48	3270.39	7.20
M-6	32	30.00	39.95	14.85	445.50	2641.59	5.93
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							7.11
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.82
Coefficiente de Variación							11.55%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							6.28

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 6% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 0% de viruta y 6% de cal es 6.08 kg/cm², la estándar variación resultó 0.65 kg/cm² y su coeficiente 10.75% (ver Tabla 64).

Tabla 64

Resultado del ensayo de compresión axial con 0% viruta y 6% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	33	30.15	40.05	15.15	456.77	2904.70	6.36
M-2	33	30.05	40.05	14.85	446.24	2482.10	5.56
M-3	33	29.95	39.90	15.16	453.89	3295.79	7.26
M-4	33	30.10	40.10	15.05	453.01	2718.80	6.00
M-5	33	29.90	39.95	15.15	452.99	2599.94	5.74
M-6	33	29.80	39.90	14.90	444.02	2467.88	5.56
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							6.08
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.65
Coeficiente de Variación							10.75%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							5.43

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 0% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 2% de viruta y 0% de cal es 7.41 kg/cm², la estándar variación resultó 0.70 kg/cm² y su coeficiente 9.43% (ver Tabla 65).

Tabla 65

Resultado del ensayo de compresión axial con 2% viruta y 0% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	34	30.05	40.35	15.20	456.76	3483.71	7.63
M-2	34	30.10	40.20	15.00	451.50	3912.35	8.67
M-3	34	30.00	40.05	14.95	448.50	3040.82	6.78
M-4	34	29.95	39.85	15.05	450.75	3077.39	6.83
M-5	34	29.85	39.95	15.20	453.72	3377.05	7.44
M-6	34	30.15	39.90	15.00	452.25	3222.65	7.13
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							7.41
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.70
Coefficiente de Variación							9.43%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							6.71

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 2% cal**

La resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 2% de viruta y 2% de cal es 7.60 kg/cm².

Tabla 66

Resultado del ensayo de compresión axial con 2% viruta y 2% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	35	30.15	40.20	15.10	455.27	3559.89	7.82
M-2	35	29.95	40.05	14.85	444.76	3910.32	8.79
M-3	35	29.85	40.05	15.05	449.24	3091.61	6.88
M-4	35	29.75	39.90	15.15	450.71	3057.07	6.78
M-5	35	30.20	39.90	15.05	454.51	3704.12	8.15
M-6	35	29.95	40.10	15.20	455.24	3264.30	7.17
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							7.60
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.79
Coefficiente de Variación							10.43%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							6.81

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 4% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 2% de viruta y 4% de cal es 8.19 kg/cm², la estándar variación resultó 1.09 kg/cm² y su coeficiente 13.34% (ver Tabla 67).

Tabla 67

Resultado del ensayo de compresión axial con 2% viruta y 4% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	36	30.15	39.90	15.05	453.76	3924.54	8.65
M-2	36	30.05	40.15	14.95	449.25	4415.11	9.83
M-3	36	29.90	39.90	15.00	448.50	3341.50	7.45
M-4	36	29.90	39.95	15.10	451.49	3567.00	7.90
M-5	36	30.15	40.20	14.80	446.22	2984.95	6.69
M-6	36	30.00	39.80	15.15	454.50	3924.54	8.63
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							8.19
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							1.09
Coeficiente de Variación							13.34%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							7.10

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 6% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 2% de viruta y 6% de cal es 7.39 kg/cm², la estándar variación resultó 0.86 kg/cm² y su coeficiente 11.68% (ver Tabla 68).

Tabla 68

Resultado del ensayo de compresión axial con 2% viruta y 6% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	37	30.20	40.10	15.15	457.53	3521.29	7.70
M-2	37	30.15	39.90	15.15	456.77	3939.77	8.63
M-3	37	30.05	40.15	14.95	449.25	3307.98	7.36
M-4	37	30.15	39.85	14.85	447.73	2950.41	6.59
M-5	37	29.80	39.95	15.20	452.96	3541.60	7.82
M-6	37	30.05	40.05	14.95	449.25	2811.24	6.26
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							7.39
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.86
Coefficiente de Variación							11.68%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							6.53

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 0% cal**

Los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales es 6.87 kg/cm².

Tabla 69

Resultado del ensayo de compresión axial con 4% viruta y 0% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima a carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	38	30.15	39.90	15.00	452.25	3213.51	7.11
M-2	38	30.00	40.00	15.00	450.00	3488.79	7.75
M-3	38	29.90	39.90	15.20	454.48	2866.10	6.31
M-4	38	30.05	40.15	15.15	455.26	3392.29	7.45
M-5	38	30.00	39.95	14.75	442.50	3123.10	7.06
M-6	38	30.05	40.05	15.25	458.26	2530.86	5.52
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							6.87
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.82
Coefficiente de Variación							11.91%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							6.05

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 2% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a compresión axial, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 4% de viruta y 2% de cal es 8.58 kg/cm², la estándar variación resultó 0.87 kg/cm² y su coeficiente 10.20% (ver Tabla 70).

Tabla 70

Resultado del ensayo de compresión axial con 4% viruta y 2% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	39	30.15	39.90	15.05	453.76	3835.15	8.45
M-2	39	30.00	39.80	15.10	453.00	4306.44	9.51
M-3	39	29.90	39.95	14.90	445.51	3392.29	7.61
M-4	39	30.05	40.10	15.10	453.76	3989.54	8.79
M-5	39	30.15	40.10	14.90	449.24	4287.14	9.54
M-6	39	29.95	40.10	15.20	455.24	3440.03	7.56
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							8.58
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.87
Coficiente de Variación							10.20%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							7.70

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 4% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 4% de viruta y 4% de cal es 9.66 kg/cm², la estándar variación resultó 0.89 kg/cm² y su coeficiente 9.21% (ver Tabla 71).

Tabla 71

Resultado del ensayo de compresión axial con 4% viruta y 4% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia a Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	40	30.05	39.90	14.95	449.25	4480.12	9.97
M-2	40	29.95	40.25	15.10	452.25	4244.48	9.39
M-3	40	30.00	39.95	15.10	453.00	4708.63	10.39
M-4	40	30.00	39.85	14.95	448.50	3622.87	8.08
M-5	40	30.25	40.05	14.95	452.24	4347.06	9.61
M-6	40	29.95	40.25	15.25	456.74	4804.10	10.52
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							9.66
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.89
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							8.77

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 6% cal**

Los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales es 9.34 kg/cm², la estándar variación es 0.76 kg/cm².

Tabla 72

Resultado del ensayo de compresión axial con 4% viruta y 6% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima a carga aplicada (Kg)	Resistencia a Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	41	30.20	40.10	15.20	459.04	4281.05	9.33
M-2	41	29.95	40.00	14.85	444.76	3735.61	8.40
M-3	41	30.15	40.25	15.10	455.27	4725.90	10.38
M-4	41	29.95	40.00	14.90	446.26	4136.82	9.27
M-5	41	30.10	39.95	14.95	450.00	4508.55	10.02
M-6	41	29.75	39.95	15.05	447.74	3879.85	8.67
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							9.34
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.76
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							8.58

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 0% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 6% de viruta y 0% de cal es 6.93 kg/cm², la estándar variación resultó 1.08 kg/cm² y su coeficiente 15.61% (ver Tabla 73).

Tabla 73

Resultado del ensayo de compresión axial con 6% viruta y 0% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	42	30.15	40.00	15.10	455.27	3090.60	6.79
M-2	42	29.95	39.80	14.95	447.75	3400.41	7.59
M-3	42	29.90	40.11	14.95	447.01	2736.07	6.12
M-4	42	30.10	40.00	14.85	446.99	3067.23	6.86
M-5	42	29.85	40.05	15.10	450.74	3885.94	8.62
M-6	42	30.15	40.10	15.05	453.76	2524.77	5.56
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							6.93
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							1.08
Coefficiente de Variación							15.61%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							5.84

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 2% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 6% de viruta y 2% de cal es 8.55 kg/cm², la estándar variación resultó 0.73 kg/cm² y su coeficiente 8.59% (ver Tabla 74).

Tabla 74

Resultado del ensayo de compresión axial con 6% viruta y 2% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	43	30.20	40.05	15.10	456.02	3894.07	8.54
M-2	43	29.95	40.00	14.95	447.75	4164.24	9.30
M-3	43	30.25	39.85	14.95	452.24	3405.49	7.53
M-4	43	30.00	40.15	14.90	447.00	3574.11	8.00
M-5	43	29.85	39.95	15.15	452.23	4267.84	9.44
M-6	43	30.05	39.95	15.15	455.26	3873.75	8.51
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							8.55
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.73
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							7.82

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 4% cal**

Los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 6% de viruta y 4% de cal es 9.04 kg/cm².

Tabla 75

Resultado del ensayo de compresión axial con 6% viruta y 4% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	44	30.20	39.85	15.00	453.00	4465.90	9.86
M-2	44	30.00	40.00	15.05	451.50	4673.09	10.35
M-3	44	29.95	40.10	15.15	453.74	3463.39	7.63
M-4	44	30.10	40.00	14.80	445.48	3737.64	8.39
M-5	44	30.10	40.15	15.15	456.02	4419.18	9.69
M-6	44	30.05	39.75	14.95	449.25	3730.53	8.30
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							9.04
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							1.07
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							7.97

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 6% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 40 x 15 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos axiales de la combinación de suelo que incluía 6% de viruta y 6% de cal es 8.08 kg/cm², la estándar variación resultó 0.57 kg/cm² y su coeficiente 7.11% (ver Tabla 76).

Tabla 76

Resultado del ensayo de compresión axial con 6% viruta y 6% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Axial fm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	45	30.15	39.95	15.05	453.76	3733.58	8.23
M-2	45	30.10	40.15	14.95	450.00	3971.26	8.83
M-3	45	29.75	40.15	15.05	447.74	3420.73	7.64
M-4	45	30.15	40.30	14.75	444.71	3577.16	8.04
M-5	45	30.30	39.90	15.20	460.56	3336.42	7.24
M-6	45	29.95	40.10	15.15	453.74	3859.53	8.51
Resistencia a Compresión Axial Promedio fm (Kg/cm²)							8.08
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.57
Coefficiente de Variación							7.11%
Resistencia Característica f 'm (Kg/cm²)							7.51

Fuente: Creación única de los testistas.

4.1.1.5 Módulo de elasticidad

La porción lineal del gráfico de carga versus desplazamiento se utiliza para calcular el valor de la elasticidad (E_m) de las muestras. Esta sección representa con precisión el comportamiento elástico de las muestras y abarca desde el 30% hasta el 60% de la carga de ruptura.

- **Combinación 0% viruta y 0% cal**

La elasticidad (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 0% viruta y 0% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15cm resultó 717.16 kg/cm² (ver Tabla 77).

Tabla 77

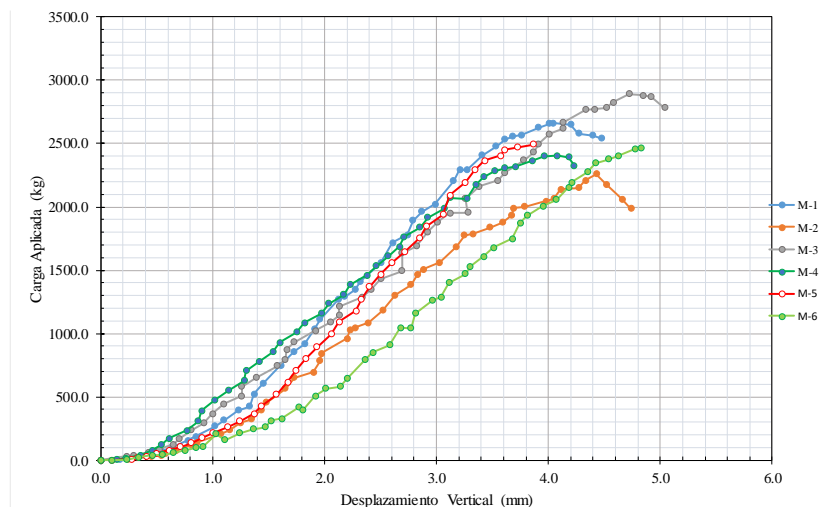
Módulo de elasticidad de los especímenes con 0% viruta y 0% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	$\Delta F/m$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	2660.90	453.01	2.14	4.04	1.00	0.002491	858.19
M-2	2258.60	454.51	1.61	4.43	1.04	0.002607	619.23
M-3	2893.53	455.26	1.08	3.28	0.69	0.001719	628.55
M-4	2402.86	442.53	1.70	4.08	1.08	0.002697	631.76
M-5	2495.31	453.01	1.68	3.87	0.76	0.001897	886.91
M-6	2466.86	446.26	1.52	4.83	0.90	0.002239	678.33
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							717.16
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							122.43
Coefficiente de Variación							17.07%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 65

Carga vs desplazamiento 0% viruta y 0% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 0% viruta y 2% cal**

La elasticidad (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 0% viruta y 2% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 1018.89 kg/cm² (ver Tabla 78).

Tabla 78

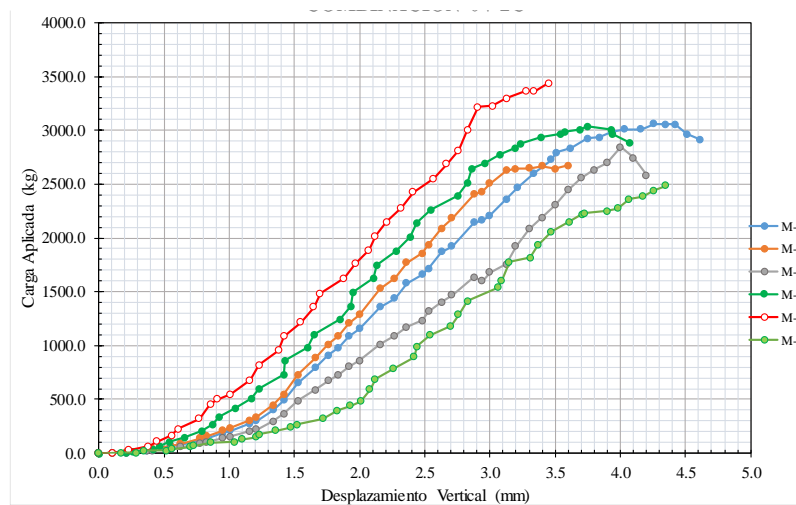
Módulo de elasticidad de los especímenes con 0% viruta y 2% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	$\Delta F/m$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3059.11	453.01	2.12	4.26	0.87	0.002167	979.16
M-2	2671.05	454.51	1.63	3.60	0.61	0.001529	1068.87
M-3	2842.73	455.26	1.97	4.00	1.13	0.002814	699.40
M-4	3041.84	442.53	2.03	3.75	0.68	0.001698	1194.01
M-5	3438.00	453.01	2.06	3.45	0.70	0.001747	1181.13
M-6	2485.15	446.26	1.40	4.35	0.57	0.001418	990.76
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							1018.89
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							181.07
Coefficiente de Variación							17.77%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 66

Carga vs desplazamiento 0% viruta y 2% cal



Fuente: creación única de los testistas.

- **Combinación 0% viruta y 4% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 0% viruta y 4% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 1043.56 kg/cm² (ver Tabla 79).

Tabla 79

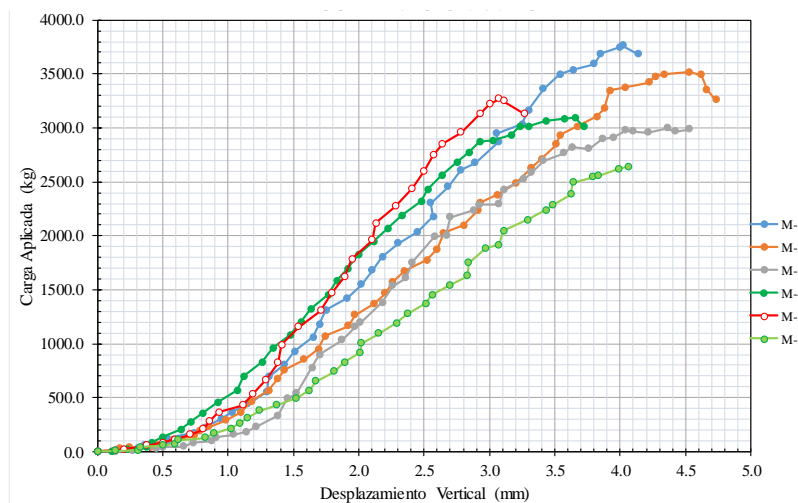
Módulo de elasticidad de los especímenes con 0% viruta y 4% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	$\Delta F/m$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3762.02	457.52	1.63	3.85	0.60	0.001502	1088.24
M-2	3517.23	451.50	2.27	2.80	1.06	0.002637	860.23
M-3	2996.12	447.15	2.44	4.36	0.88	0.002184	1115.48
M-4	3093.64	455.27	1.91	3.65	0.66	0.001656	1150.74
M-5	3270.39	454.48	2.14	3.07	0.69	0.001725	1238.94
M-6	2641.59	445.50	1.80	4.06	0.89	0.002228	807.73
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							1043.56
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							170.91
Coefficiente de Variación							16.38%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 67

Carga vs desplazamiento 0% viruta y 4% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 0% viruta y 6% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 0% viruta y 6% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 541.23 kg/cm² (ver Tabla 80).

Tabla 80

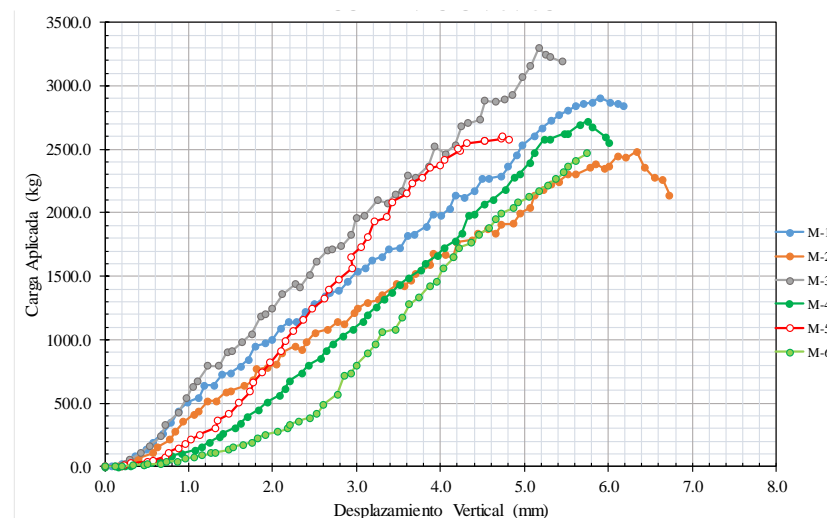
Módulo de elasticidad de los especímenes con 0% viruta y 6% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	Δf_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	2904.70	456.77	1.92	5.90	1.81	0.004519	425.74
M-2	2482.10	446.24	2.53	6.34	2.79	0.006966	362.46
M-3	3295.79	453.89	2.16	5.17	1.37	0.003434	630.41
M-4	2718.80	453.01	1.80	5.75	1.39	0.003466	518.28
M-5	2599.94	452.99	1.81	4.74	1.07	0.002678	675.83
M-6	2467.88	444.02	1.62	5.75	1.02	0.002556	634.65
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							541.23
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							126.98
Coefficiente de Variación							23.46%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 68

Carga vs desplazamiento 0% viruta y 6% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 2% viruta y 0% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 2% viruta y 0% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 471.41 kg/cm² (ver Tabla 81).

Tabla 81

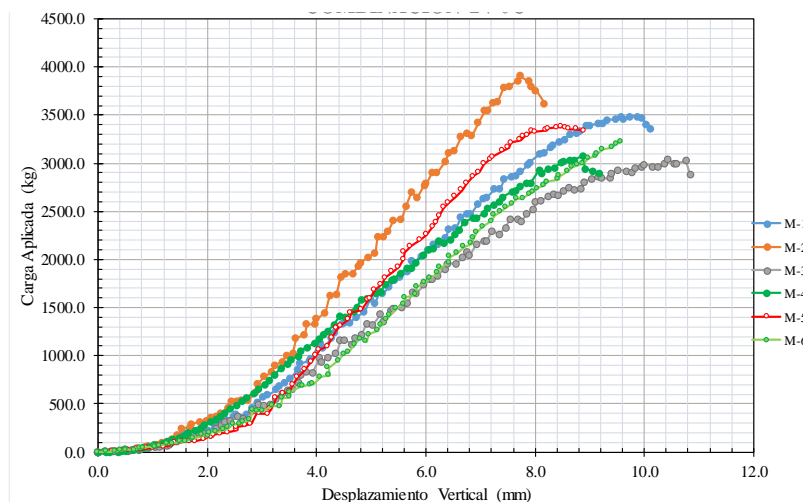
Módulo de elasticidad de los especímenes con 2% viruta y 0% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	Δf_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3483.71	456.76	2.10	9.88	1.80	0.004461	469.71
M-2	3912.35	451.50	2.47	7.72	1.69	0.004204	587.71
M-3	3040.82	448.50	2.00	10.44	2.11	0.005268	380.54
M-4	3077.39	450.75	2.07	8.87	2.06	0.005169	400.29
M-5	3377.05	453.72	2.21	8.90	1.61	0.004030	547.31
M-6	3222.65	452.25	2.25	9.58	2.03	0.005088	442.89
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							471.41
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							81.76
Coefficiente de Variación							17.34%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 69

Carga vs desplazamiento 2% viruta y 0% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 2% viruta y 2% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 2% viruta y 2% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 565.32 kg/cm² (ver Tabla 82).

Tabla 82

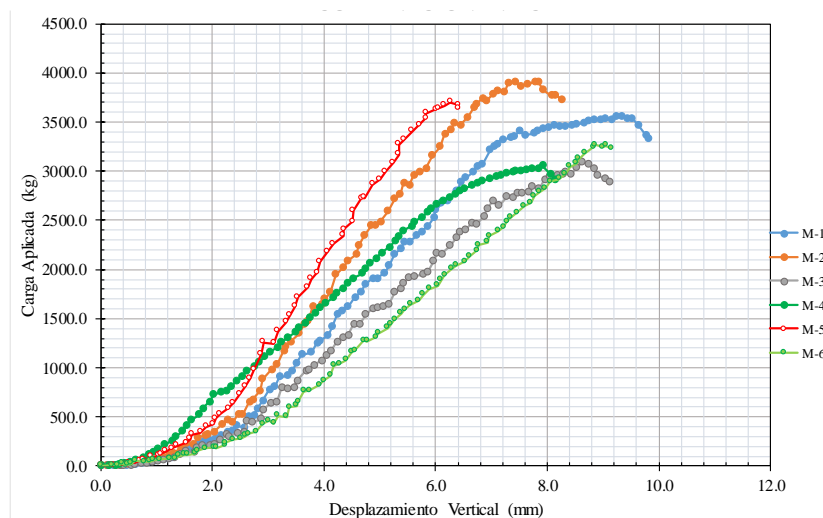
Módulo de elasticidad de los especímenes con 2% viruta y 2% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	Δf_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3559.89	455.27	2.45	9.23	1.76	0.004378	559.17
M-2	3910.32	444.76	2.65	7.78	1.44	0.003596	737.62
M-3	3091.61	449.24	1.99	8.62	1.74	0.004345	457.05
M-4	3057.07	450.71	1.98	7.92	1.80	0.004511	439.23
M-5	3704.12	454.51	2.46	6.27	1.29	0.003233	760.53
M-6	3264.30	455.24	2.24	8.86	2.05	0.005112	438.31
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							565.32
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							149.39
Coefficiente de Variación							26.43%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 70

Carga vs desplazamiento 2% viruta y 2% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 2% viruta y 4% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 2% viruta y 4% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 582.73 kg/cm² (ver Tabla 83).

Tabla 83

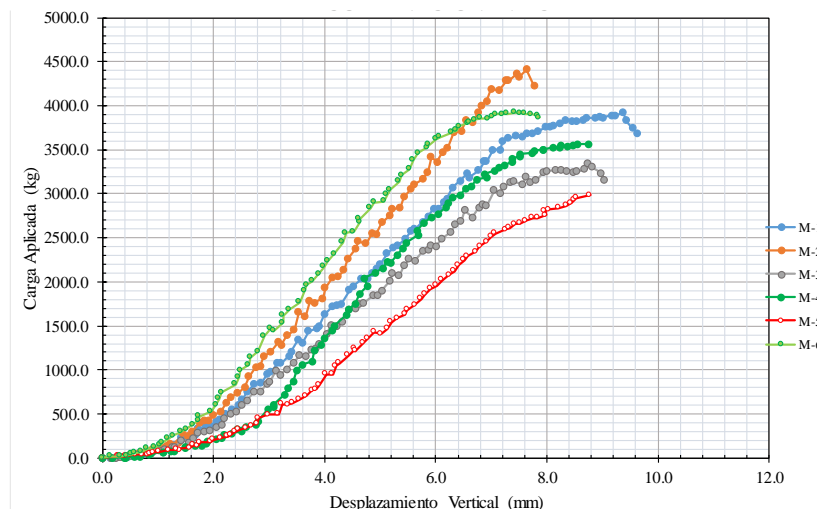
Módulo de elasticidad de los especímenes con 2% viruta y 4% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	Δf_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3924,54	453,76	2,72	9,38	1,88	0,004712	576,41
M-2	4415,11	449,25	2,85	7,64	1,86	0,004633	616,05
M-3	3341,50	448,50	2,23	8,74	1,85	0,004637	481,25
M-4	3567,00	451,49	2,41	8,54	1,46	0,003655	658,24
M-5	2984,95	446,22	2,19	8,78	1,83	0,004552	482,18
M-6	3924,54	454,50	2,59	7,42	1,51	0,003794	682,28
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							582,73
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							86,22
Coefficiente de Variación							14,80%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 71

Carga vs desplazamiento 2% viruta y 4% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 2% viruta y 6% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 2% viruta y 6% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 398.65 kg/cm² (ver Tabla 84).

Tabla 84

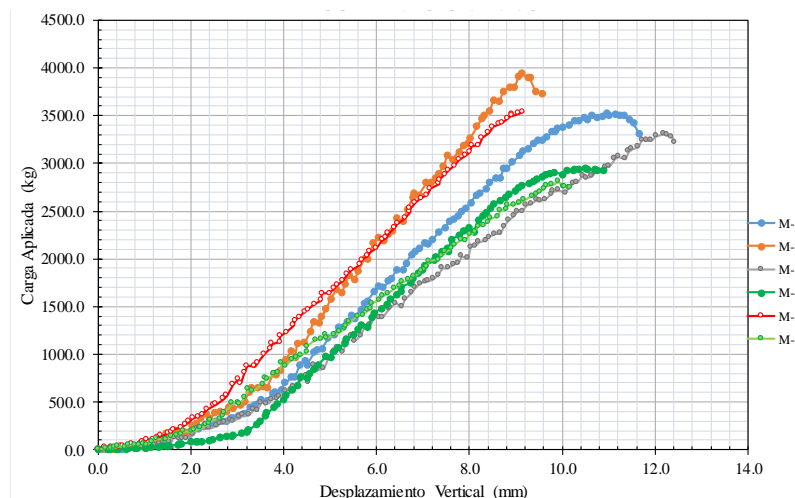
Módulo de elasticidad de los especímenes con 2% viruta y 6% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	$\Delta F/m$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3521.29	457.53	2,31	10.95	2.10	0.005237	440.99
M-2	3939.77	456.77	2,77	9.12	2.12	0.005313	521.18
M-3	3307.98	449.25	2,09	12.18	2.70	0.006725	311.42
M-4	2950.41	447.73	2,04	10.49	2.05	0.005144	395.69
M-5	3541.60	452.96	2,33	9.16	2.28	0.005707	407.95
M-6	2811.24	449.25	1,97	9.92	2.51	0.006267	314.68
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							398.65
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							79.45
Coefficiente de Variación							19.93%

Fuente: Creación única de los testistas.

Tabla 85

Carga vs desplazamiento 2% viruta y 6% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 4% viruta y 0% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 4% viruta y 0% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 288.01 kg/cm² (ver Tabla 86).

Tabla 86

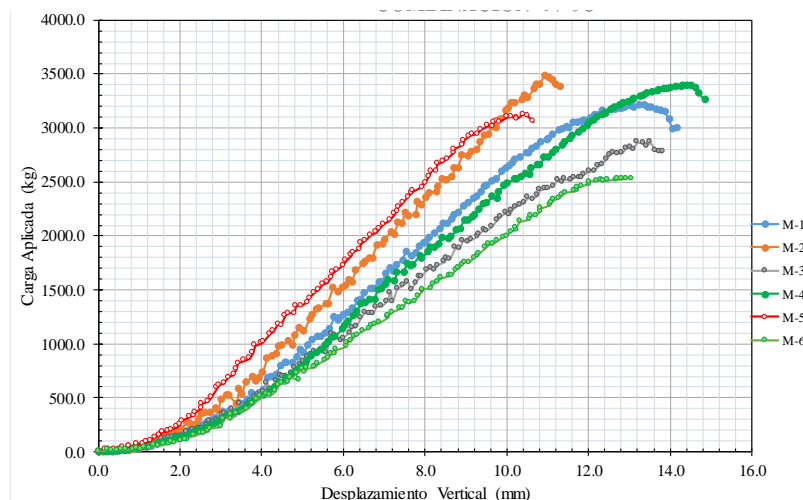
Módulo de elasticidad de los especímenes con 4% viruta y 0% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	ΔF_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3213.51	452.25	2.10	13.36	2.87	0.007193	292.34
M-2	3488.79	450.00	2.32	10.93	2.53	0.006325	367.31
M-3	2866.10	454.48	1.88	13.51	3.16	0.007920	237.11
M-4	3392.29	455.26	2.27	14.51	3.13	0.007796	291.14
M-5	3123.10	442.50	2.17	10.41	2.62	0.006558	331.55
M-6	2530.86	458.26	1.64	12.92	3.15	0.007865	208.60
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							288.01
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							58.50
Coefficiente de Variación							20.31%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 72

Carga vs desplazamiento 4% viruta y 0% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 4% viruta y 2% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 4% viruta y 2% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 444.59 kg/cm² (ver Tabla 87).

Tabla 87

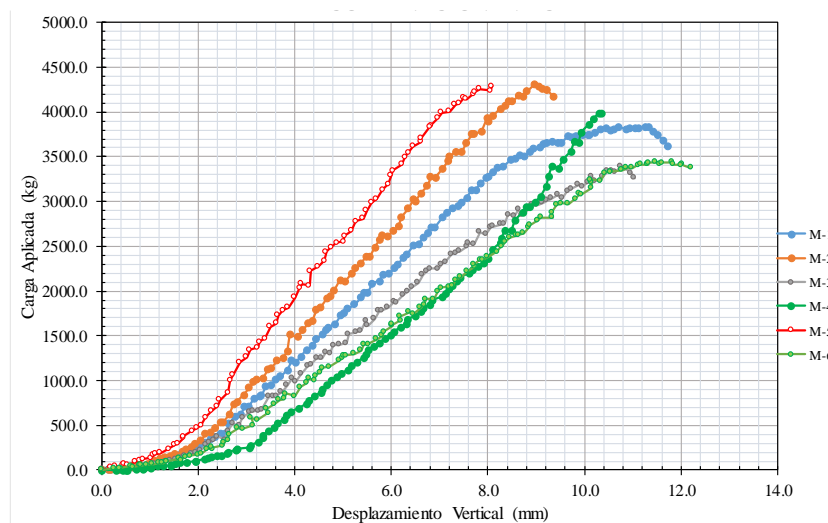
Módulo de elasticidad de los especímenes con 4% viruta y 2% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	$\Delta F/m$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3835.15	453.76	2.60	11.33	2.28	0.005714	454.13
M-2	4306.44	453.00	2.92	8.96	2.00	0.005025	580.64
M-3	3392.29	445.51	2.28	10.76	2.48	0.006208	367.37
M-4	3989.54	453.76	2.55	10.35	2.71	0.006758	378.02
M-5	4287.14	449.24	2.87	8.09	2.00	0.004988	575.86
M-6	3440.03	455.24	2.21	11.47	2.85	0.007107	311.50
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							444.59
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							113.08
Coefficiente de Variación							25.44%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 73

Carga vs desplazamiento 4% viruta y 2% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 4% viruta y 4% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 4% viruta y 4% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 409.02 kg/cm² (ver Tabla 88).

Tabla 88

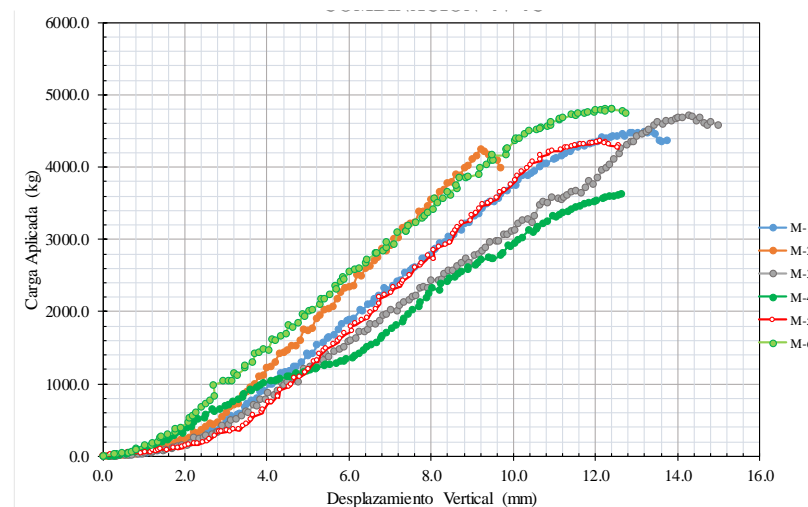
Módulo de elasticidad de los especímenes con 4% viruta y 4% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	Δf_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	4480.12	449.25	2.98	13.37	2.77	0.006942	428.68
M-2	4244.48	452.25	2.67	9.20	2.00	0.004969	537.62
M-3	4708.63	453.00	3.12	14.27	3.83	0.009587	325.86
M-4	3622.87	448.50	2.44	12.62	3.40	0.008532	286.48
M-5	4347.06	452.24	2.86	12.13	2.46	0.006142	466.32
M-6	4804.10	456.74	3.17	12.38	3.12	0.007752	409.19
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							409.02
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							91.80
Coefficiente de Variación							22.44%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 74

Carga vs desplazamiento 4% viruta y 4% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 4% viruta y 6% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 4% viruta y 6% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 387.47 kg/cm² (ver Tabla 89).

Tabla 89

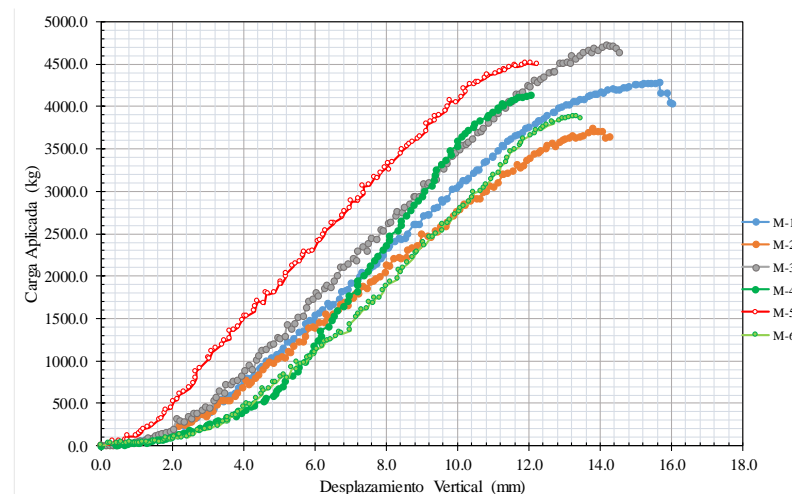
Módulo de elasticidad de los especímenes con 4% viruta y 6% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	Δf_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	4281.05	459.04	2.91	15.67	3.53	0.008803	330.86
M-2	3735.61	444.76	2.33	13.78	3.15	0.007875	296.17
M-3	4725.90	455.27	3.14	14.17	3.42	0.008497	369.25
M-4	4136.82	446.26	2.75	12.06	2.00	0.005000	550.03
M-5	4508.55	450.00	3.01	12.06	3.06	0.007660	393.49
M-6	3879.85	447.74	2.73	13.33	2.83	0.007084	385.03
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							387.47
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							87.57
Coefficiente de Variación							22.60%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 75

Carga vs desplazamiento 4% viruta y 6% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 6% viruta y 0% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 6% viruta y 0% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 281.45 kg/cm² (ver Tabla 90).

Tabla 90

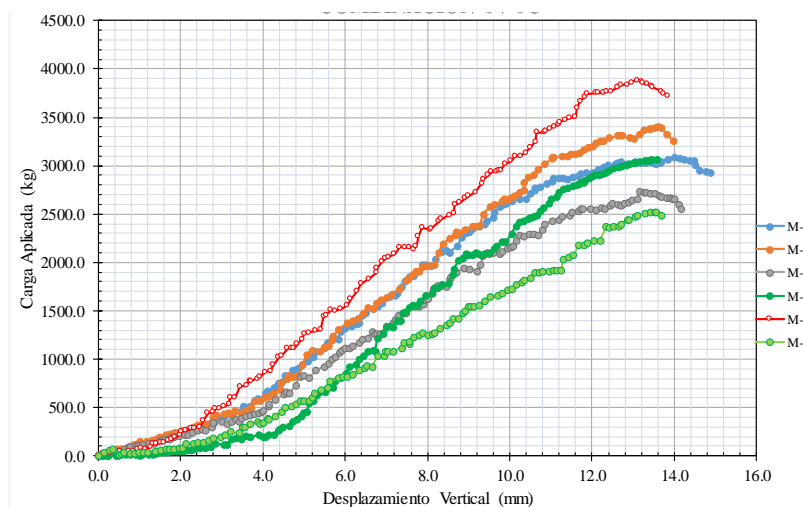
Módulo de elasticidad de los especímenes con 6% viruta y 0% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	$\Delta F/m$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3090.60	455.27	2.01	14.00	2.69	0.006725	298.67
M-2	3400.41	447.75	2.34	13.60	3.21	0.008065	289.78
M-3	2736.07	447.01	1.93	13.15	3.22	0.008029	239.78
M-4	3067.23	446.99	2.11	13.58	2.52	0.006300	335.18
M-5	3885.94	450.74	2.65	13.09	3.27	0.008165	324.38
M-6	2524.77	453.76	1.54	13.55	3.07	0.007656	200.93
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							281.45
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							51.60
Coefficiente de Variación							18.33%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 76

Carga vs desplazamiento 6% viruta y 0% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 6% viruta y 2% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 6% viruta y 2% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 346.65 kg/cm² (ver Tabla 91).

Tabla 91

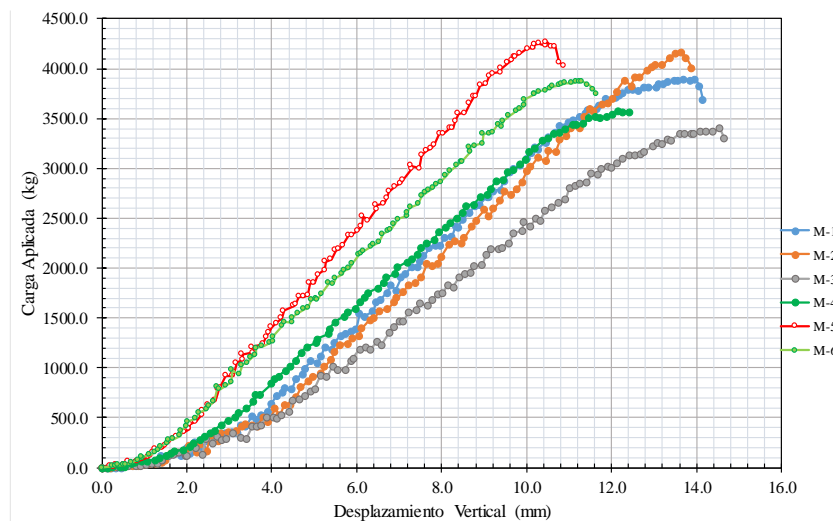
Módulo de elasticidad de los especímenes con 6% viruta y 2% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	$\Delta f \cdot m$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E _m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3894.07	456.02	2.63	13.96	3.07	0.007665	342.67
M-2	4164.24	447.75	2.76	13.64	3.03	0.007575	364.84
M-3	3405.49	452.24	2.25	14.55	3.51	0.008808	255.32
M-4	3574.11	447.00	2.38	12.16	2.87	0.007148	332.60
M-5	4267.84	452.23	2.82	10.46	2.60	0.006508	433.90
M-6	3873.75	455.26	2.73	11.30	3.11	0.007785	350.60
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							346.65
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							57.47
Coefficiente de Variación							16.58%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 77

Carga vs desplazamiento 6% viruta y 2% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 6% viruta y 4% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 6% viruta y 4% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 414.33 kg/cm² (ver Tabla 92).

Tabla 92

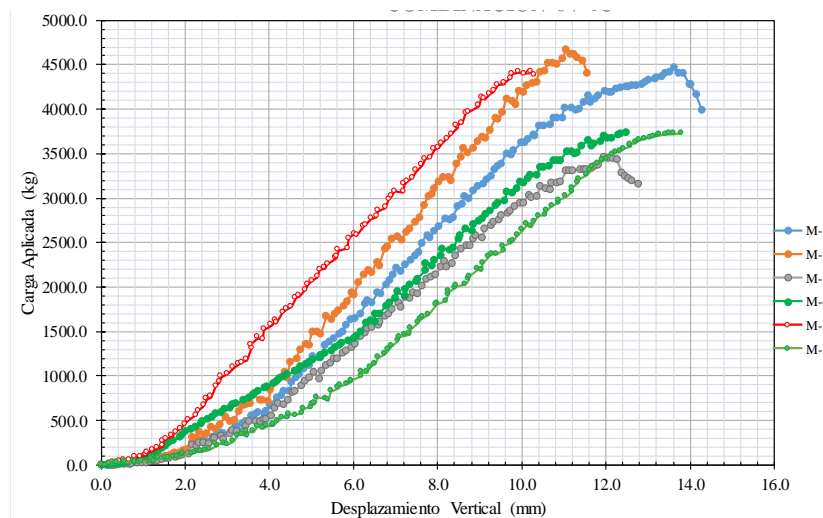
Módulo de elasticidad de los especímenes con 6% viruta y 4% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	$\Delta F/m$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	4465.90	453.00	2.94	13.61	2.71	0.006801	432.35
M-2	4673.09	451.50	3.18	11.05	2.63	0.006575	483.56
M-3	3463.39	453.74	2.28	11.95	2.49	0.006209	367.81
M-4	3737.64	445.48	2.57	12.46	2.86	0.007150	359.16
M-5	4419.18	456.02	2.99	10.22	2.65	0.006600	452.98
M-6	3730.53	449.25	2.51	13.79	2.56	0.006440	390.13
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							414.33
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							49.81
Coefficiente de Variación							12.02%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 78

Carga vs desplazamiento 6% viruta y 4% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 6% viruta y 6% cal**

La elasticidad media (E_m) obtenida mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 6% viruta y 6% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 40 x 15 cm resultó 330.96 kg/cm² (ver Tabla 93).

Tabla 93

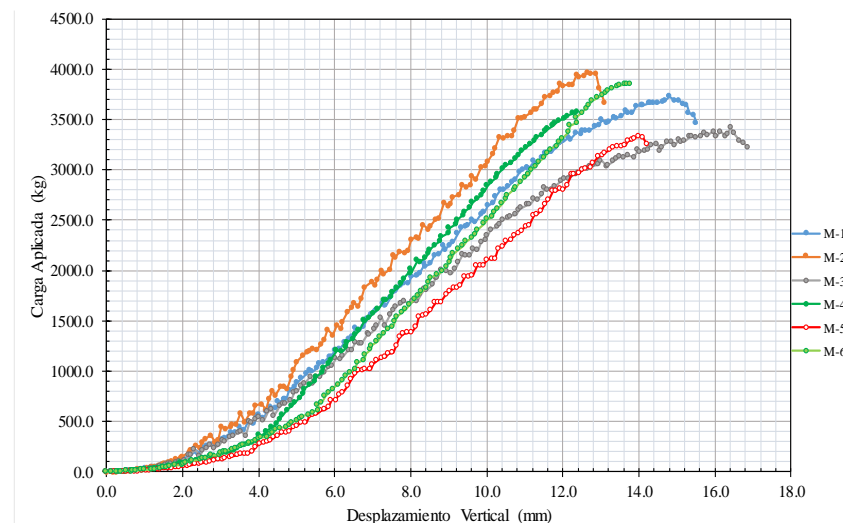
Módulo de elasticidad de los especímenes con 6% viruta y 6% cal

Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	Área Promedio (cm ²)	Δf_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria			Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
M-1	3733.58	453.76	2.44	14.80	3.15	0.007885	309.81
M-2	3971.26	450.00	2.81	12.66	3.06	0.007621	368.51
M-3	3420.73	447.74	2.34	16.42	3.42	0.008518	274.65
M-4	3577.16	444.71	2.47	12.37	2.63	0.006526	378.08
M-5	3336.42	460.56	2.26	14.01	3.11	0.007794	289.81
M-6	3859.53	453.74	2.56	13.77	2.81	0.007007	364.90
Módulo de Elasticidad Promedio E_m (Kg/cm²)							330.96
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							44.93
Coefficiente de Variación							13.58%

Fuente: Creación única de los testistas.

Figura 79

Carga vs desplazamiento 6% viruta y 6% cal



Fuente: Creación única de los testistas.

4.1.1.6 Formas de fallas en los especímenes

La falla ideal de los especímenes (muretes), sometidos a compresión axial, es una grieta vertical en la cara de mayor longitud, que se produce por la tracción debido a la expansión lateral causada por la compresión aplicada.

En la Figura 80, 81, 82 y 83, se muestra las fallas más comunes de los especímenes ensayadas a compresión axial. Los especímenes presentaron un comportamiento dúctil caracterizado por agrietamientos o fisuras presentadas en sentido vertical, también se evidencio desprendimiento de partículas.

Figura 80

Falla en el murete a compresión axial



Fuente: Creación única de los tesistas.

Figura 81

Falla dúctil en el murete



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Figura 82

Falla dúctil con desprendimiento de partículas



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Figura 83

Falla vertical en el murete



Fuente: Creación única de los testistas.

4.1.2 Murete a compresión diagonal

4.1.2.1 Densidad

La densidad de una sustancia puede calcularse dividiendo la masa (kg) de ese material por su unidad de volumen (m^3), tal y como establece el MTC (2016). De este modo, la densidad de la sustancia se expresa en kilogramos por metro cúbico, lo que se abrevia como kg/m^3 y se calcula utilizando la siguiente ecuación 19:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (19)$$

Donde:

ρ : Densidad (kg/m^3)

M: Cantidad de masa (kg)

V : Volumen Unitario (m^3)

Se registró las dimensiones del murete elaborado para determinar la densidad de elaboración, también se registró las dimensiones del murete antes de realizar el ensayo para determinar la densidad de ensayo y se registró el peso de cada espécimen con una balanza digital.

- **Combinación 0% viruta y 0% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 2127.14 kg/m³ y 1882.33 kg/m³, esto se determinó combinando la muestra de suelo con 0% de viruta y 0% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.40%, y en el momento de la prueba, de 1.28%, puede consultar estos resultados en la Tabla 94.

Tabla 94

Comparación de densidades con 0% viruta y 0% cal

Espécimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0092	19.20	2078.00	17.06	1845.91
E-2	0.0089	18.75	2111.36	16.54	1862.50
E-3	0.0092	19.68	2140.07	17.42	1894.31
E-4	0.0090	19.34	2156.11	16.99	1894.12
E-5	0.0089	18.99	2123.16	16.86	1885.02
E-6	0.0093	19.94	2154.13	17.70	1912.14
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			2127.14		1882.33
Desviación Estándar (kg/m³)			29.71		24.07
Coefficiente de Variación			1.40%		1.28%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 2% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1974.29 kg/m³ y 1766.52 kg/m³, esto se determinó combinando la muestra de suelo con 0% de viruta y 2% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 0.76%, y en el momento de la prueba, de 0.97%, puede consultar estos resultados en la Tabla 95.

Tabla 95

Comparación de densidades con 0% viruta y 2% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0091	17.88	1960.00	15.89	1742.22
E-2	0.0091	17.73	1953.73	15.90	1752.08
E-3	0.0092	18.20	1979.13	16.30	1772.51
E-4	0.0088	17.57	1991.93	15.79	1790.13
E-5	0.0091	18.07	1986.52	16.14	1774.34
E-6	0.0090	17.68	1974.44	15.83	1767.84
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1974.29		1766.52
Desviación Estándar (kg/m³)			14.91		17.06
Coefficiente de Variación			0.76%		0.97%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 4% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1975.80 kg/m³ y 1725.27 kg/m³, esto

se determinó combinando la muestra de suelo con 0% de viruta y 4% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 0.60%, y en el momento de la prueba, de 0.69%, puede consultar estos resultados en la Tabla 96.

Tabla 96

Comparación de densidades con 0% viruta y 4% cal

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0092	18.04	1962.00	15.73	1710.67
E-2	0.0091	17.97	1973.58	15.59	1712.19
E-3	0.0090	17.68	1963.65	15.52	1723.75
E-4	0.0091	18.08	1989.05	15.81	1739.32
E-5	0.0091	18.20	1989.20	15.84	1731.26
E-6	0.0089	17.50	1977.35	15.35	1734.42
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1975.80		1725.27
Desviación Estándar (kg/m³)			11.84		11.86
Coefficiente de Variación			0.60%		0.69%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 6% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1988.88 kg/m³ y 1732.10 kg/m³, ésto se determinó combinando la muestra de suelo con 0% de viruta y 6% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 0.74%, y en el momento de la prueba, de 0.85%, puede consultar estos resultados en la Tabla 97.

Tabla 97*Comparación de densidades con 0% viruta y 6% cal*

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0092	18.18	1977.00	15.74	1711.62
E-2	0.0089	17.74	1994.47	15.48	1740.39
E-3	0.0091	18.03	1982.66	15.70	1726.44
E-4	0.0091	18.21	1999.91	15.93	1749.51
E-5	0.0091	18.26	2008.94	15.85	1743.79
E-6	0.0088	17.38	1970.28	15.18	1720.87
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)		1988.88		1732.10	
Desviación Estándar (kg/m³)		14.71		14.74	
Coefficiente de Variación		0.74%		0.85%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 0% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1951.70 kg/m³ y 1706.49 kg/m³ (ver Tabla 98).

Tabla 98*Comparación de densidades con 2% viruta y 0% cal*

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0093	18.15	1951.00	15.86	1704.90
E-2	0.0091	17.50	1925.15	15.23	1675.43
E-3	0.0090	17.63	1965.46	15.46	1723.54
E-4	0.0090	17.74	1974.45	15.47	1721.80
E-5	0.0091	17.96	1969.54	15.76	1728.28
E-6	0.0090	17.35	1924.60	15.19	1685.00
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)		1951.70		1706.49	
Desviación Estándar (kg/m³)		22.20		22.04	
Coefficiente de Variación		1.14%		1.29%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 2% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1940.51 kg/m³ y 1663.17 kg/m³, esto se determinó combinando la muestra de suelo con 2% de viruta y 2% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.44% y en el momento de la prueba de 1.46%, puede consultar estos resultados en la Tabla 99.

Tabla 99

Comparación de densidades con 2% viruta y 2% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0092	17.63	1917.00	15.14	1646.30
E-2	0.0089	17.55	1979.70	15.05	1697.69
E-3	0.0090	17.27	1915.74	14.73	1633.98
E-4	0.0090	17.49	1937.16	15.01	1662.48
E-5	0.0091	17.45	1922.88	15.00	1652.90
E-6	0.0092	18.12	1970.58	15.50	1685.65
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1940.51		1663.17
Desviación Estándar (kg/m³)			28.03		24.25
Coefficiente de Variación			1.44%		1.46%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 4% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran respectivamente 1901.75 kg/m³ y 1626.75 kg/m³, esto

se determinó combinando la muestra de suelo con 2% de viruta y 4% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.10% y en el momento de la prueba de 1.13%, puede consultar estos resultados en la Tabla 100.

Tabla 100

Comparación de densidades con 2% viruta y 4% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0091	17.39	1919.00	14.81	1634.67
E-2	0.0090	17.12	1899.10	14.66	1626.22
E-3	0.0089	16.82	1881.41	14.30	1599.53
E-4	0.0090	17.00	1879.57	14.60	1614.22
E-5	0.0089	16.94	1898.42	14.57	1632.82
E-6	0.0091	17.54	1932.97	15.00	1653.06
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1901.75	1626.75	
Desviación Estándar (kg/m³)			20.96	18.38	
Coefficiente de Variación			1.10%	1.13%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 6% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran 1880.1 kg/m³ y 1627.95 kg/m³, esto se determinó combinando la muestra de suelo con 2% de viruta y 6% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.42%, y en el momento de la prueba, de 1.70%, puede consultar estos resultados en la Tabla 101.

Tabla 101*Comparación de densidades con 2% viruta y 6% cal*

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0092	17.16	1860.00	14.86	1610.57
E-2	0.0092	17.12	1871.02	14.79	1616.38
E-3	0.0090	17.25	1913.53	14.99	1662.83
E-4	0.0089	16.39	1848.89	14.11	1591.69
E-5	0.0091	17.08	1876.18	14.83	1629.03
E-6	0.0090	17.17	1910.99	14.89	1657.23
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1880.10		1627.95
Desviación Estándar (kg/m³)			26.64		27.66
Coefficiente de Variación			1.42%		1.70%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 0% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran 1898.05 kg/cm² y 1629.09 kg/m³, puede consultar estos resultados en la Tabla 102.

Tabla 102*Comparación de densidades con 4% viruta y 0% cal*

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0090	16.86	1870.00	14.41	1598.47
E-2	0.0090	17.05	1894.44	14.67	1630.00
E-3	0.0091	17.34	1901.54	14.78	1620.81
E-4	0.0092	17.48	1900.83	15.06	1637.67
E-5	0.0088	16.46	1878.92	14.13	1612.94
E-6	0.0093	17.98	1942.57	15.50	1674.63
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1898.05		1629.09
Desviación Estándar (kg/m³)			25.17		26.13
Coefficiente de Variación			1.33%		1.60%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 2% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran 1912.74 kg/cm² y 1618.39 kg/m³, esto se determinó combinando la muestra de suelo con 4% de viruta y 2% de cal en peso seco, puede consultar estos resultados en la Tabla 103.

Tabla 103

Comparación de densidades con 4% viruta y 2% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0091	17.08	1885.00	14.45	1594.94
E-2	0.0090	17.28	1913.75	14.57	1613.62
E-3	0.0089	16.58	1870.17	14.07	1587.05
E-4	0.0091	17.68	1935.31	14.89	1629.91
E-5	0.0090	17.31	1926.67	14.70	1636.17
E-6	0.0092	17.89	1945.57	15.16	1648.68
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1912.74		1618.39
Desviación Estándar (kg/m³)			29.54		24.17
Coefficiente de Variación			1.54%		1.49%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 4% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran 1837.21 kg/cm² y 1570.67 kg/m³, puede consultar estos resultados en la Tabla 104.

Tabla 104

Comparación de densidades con 4% viruta y 4% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0089	16.35	1829.00	13.97	1562.64
E-2	0.0092	16.81	1837.06	14.43	1576.97
E-3	0.0091	16.56	1824.82	14.08	1551.54
E-4	0.0089	16.34	1833.85	14.01	1572.35
E-5	0.0090	16.69	1845.28	14.21	1571.09
E-6	0.0093	17.21	1853.25	14.76	1589.43
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1837.21	1570.67	
Desviación Estándar (kg/m³)			10.53	12.84	
Coefficiente de Variación			0.57%	0.82%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 6% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran 1819.16 kg/cm² y 1548.58 kg/m³, puede consultar estos resultados en la Tabla 105.

Tabla 105

Comparación de densidades con 4% viruta y 6% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0093	16.80	1812.00	14.38	1550.91
E-2	0.0089	16.03	1811.25	13.67	1544.59
E-3	0.0092	16.69	1811.85	14.15	1536.11
E-4	0.0089	16.15	1815.60	13.67	1536.79
E-5	0.0090	16.29	1816.08	13.92	1551.86
E-6	0.0090	16.55	1848.20	14.07	1571.25
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1819.16	1548.58	
Desviación Estándar (kg/m³)			14.37	12.96	
Coefficiente de Variación			0.79%	0.84%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 0% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran 1787.84 kg/cm² y 1506.81 kg/m³, esto se determinó combinando la muestra de suelo con 6% de viruta y 0% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.60% y en el momento de la prueba, de 2.09% puede consultar estos resultados en la Tabla 106.

Tabla 106

Comparación de densidades con 6% viruta y 0% cal

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0091	16.50	1806.00	13.90	1521.55
E-2	0.0089	15.48	1743.15	13.00	1463.89
E-3	0.0090	16.28	1817.70	13.82	1543.03
E-4	0.0089	15.68	1762.88	13.09	1471.69
E-5	0.0091	16.30	1799.19	13.79	1522.14
E-6	0.0091	16.40	1798.14	13.85	1518.55
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)		1787.84		1506.81	
Desviación Estándar (kg/m³)		28.55		31.55	
Coefficiente de Variación		1.60%		2.09%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 2% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran 1752.37 kg/cm² y 1463.32 kg/m³, esto se determinó

combinando la muestra de suelo con 6% de viruta y 2% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.13% y en el momento de la prueba, de 1.00% puede consultar estos resultados en la Tabla 107.

Tabla 107

Comparación de densidades con 6% viruta y 2% cal

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0092	16.11	1758.00	13.38	1459.77
E-2	0.0089	15.49	1732.65	13.03	1457.48
E-3	0.0090	15.99	1779.74	13.25	1474.77
E-4	0.0090	15.62	1744.36	13.06	1458.48
E-5	0.0091	16.05	1768.76	13.48	1485.53
E-6	0.0091	15.81	1730.71	13.19	1443.90
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1752.37		1463.32
Desviación Estándar (kg/m³)			19.86		14.64
Coefficiente de Variación			1.13%		1.00%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 4% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran 1781.61 kg/cm² y 1491.22 kg/m³ esto se determinó combinando la muestra de suelo con 6% de viruta y 4% de cal en peso seco. La fiabilidad de la prueba realizada queda garantizada por el hecho de que la dispersión media de las muestras a lo largo del proceso de elaboración fue 1.32% y en el momento de la prueba, de 1.46% puede consultar estos resultados en la Tabla 108.

Tabla 108*Comparación de densidades con 6% viruta y 4% cal*

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0090	16.12	1788.00	13.55	1503.10
E-2	0.0090	16.22	1793.26	13.54	1496.96
E-3	0.0092	16.00	1748.60	13.40	1464.45
E-4	0.0088	15.67	1770.74	13.10	1480.33
E-5	0.0092	16.74	1817.34	14.05	1525.30
E-6	0.0089	15.76	1771.75	13.14	1477.21
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1781.61		1491.22
Desviación Estándar (kg/m³)			23.49		21.76
Coefficiente de Variación			1.32%		1.46%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 6% cal**

Los seis especímenes de dimensiones 30 x 30 x 10 cm, se sometieron a un análisis estadístico, que reveló que la densidad media de los especímenes en el momento del procesamiento y en el momento de la prueba eran 1739.52 kg/cm² y 1461.83 kg/m³, puede consultar estos resultados en la Tabla 109.

Tabla 109*Comparación de densidades con 6% viruta y 6% cal*

Especimen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
E-1	0.0091	15.98	1761.00	13.36	1472.16
E-2	0.0090	15.59	1726.51	13.12	1452.97
E-3	0.0090	15.28	1695.05	12.93	1434.36
E-4	0.0089	15.66	1758.16	13.14	1475.23
E-5	0.0092	16.01	1732.52	13.54	1465.23
E-6	0.0092	16.14	1763.90	13.46	1471.01
Densidad de Elaboración Promedio (kg/m³)			1739.52		1461.83
Desviación Estándar (kg/m³)			26.83		15.59
Coefficiente de Variación			1.54%		1.07%

Fuente: Elaboración propia.



4.1.2.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad resulta de la división del contenido de peso de agua en una masa de suelo, entre el peso de las partículas sólidas.

Según el MTC (2016) el contenido de humedad se calcula mediante la ecuación 20:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100 \quad (20)$$

Donde w es el contenido de humedad expresado en porcentaje.

- **Combinación 0% viruta y 0% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 0% viruta y 0% cal, es 15.04% para una máxima densidad de suelo seco de 1.806 g/cm³.

Se obtuvo la cantidad de humedad del suelo, para poder corregirla debido a la humedad natural del suelo in situ.

Se agregó la cantidad de agua calculada a la mezcla hasta la humedad ideal según la prueba Proctor Estandar. La viruta y cal estuvieron en estado seco antes de realizar la mezcla.

En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 15.09% muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 110 se ilustra los reportes.

Tabla 110

Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-23	37.64	113.78	103.72	66.08	10.06	15.22%	
E-2	S-21	46.63	127.64	117.20	70.57	10.44	14.79%	
E-3	E-011	33.06	108.61	98.78	65.72	9.83	14.96%	
E-4	S-18	47.05	116.56	107.43	60.38	9.13	15.12%	
E-5	S-09	34.84	124.75	112.77	77.93	11.98	15.37%	
E-6	E-03	28.98	96.75	87.88	58.90	8.87	15.06%	
Promedio								15.09%

Fuente: Elaboración propia.

La humedad que aún persiste en los especímenes que no se logra secar, debido a las características internas del tapial, ésta humedad remanente es 2.23% (ver la Tabla 111).

Tabla 111

Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	R-05	43.94	111.71	110.23	66.29	1.48	2.23%	

Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 0% viruta y 2% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 0% viruta y 2% cal, es 13.90% para una máxima densidad de suelo

seco de 1.718g/cm^3 . En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 13.93%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 112 se ilustra los reportes.

Tabla 112

Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula+ Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula+ Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	R-17	47.58	129.68	119.52	71.94	10.16	14.12%
E-2	M-08	28.74	115.19	104.65	75.91	10.54	13.88%
E-3	D-02	37.45	107.17	98.46	61.01	8.71	14.28%
E-4	T-11	37.94	116.12	106.69	68.75	9.43	13.72%
E-5	HR-05	33.92	114.99	105.02	71.10	9.97	14.02%
E-6	P-21	29.58	106.22	97.06	67.48	9.16	13.57%
Promedio							13.93%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.26%.

Tabla 113

Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	R-09	35.62	112.26	111.31	75.69	0.95	1.26%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 4% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo

con 0% viruta y 4% cal, es 16.46% para una máxima densidad de suelo seco de 1.702 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 16.28%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 114 se ilustra los reportes.

Tabla 114

Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula+ Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	R-23	47.65	120.73	110.32	62.67	10.41	16.61%	
E-2	S-04	33.03	102.74	92.93	59.90	9.81	16.38%	
E-3	S-09	34.84	105.68	95.80	60.96	9.88	16.21%	
E-4	M-03	37.02	117.24	106.20	69.18	11.04	15.96%	
E-5	E-12	23.49	115.62	102.54	79.05	13.08	16.55%	
E-6	E-04	32.92	113.30	102.22	69.30	11.08	15.99%	
Promedio							16.28%	

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.55%.

Tabla 115

Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	E-12	43.49	123.87	122.64	79.15	1.23	1.55%	

Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 0% viruta y 6% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo

con 0% viruta y 6% cal, es 16.85% para una máxima densidad de suelo seco de 1.688 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 16.87%, ver la Tabla 116.

Tabla 116

Contenido de humedad del espécimen con 0% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	M-08	54.60	129.40	118.42	63.82	10.98	17.20%	
E-2	S-05	39.91	126.99	114.54	74.63	12.45	16.68%	
E-3	HR-18	47.04	115.92	105.93	58.89	9.99	16.96%	
E-4	M-02	37.45	120.33	108.20	70.75	12.13	17.14%	
E-5	R-07	43.68	122.74	111.59	67.91	11.15	16.42%	
E-6	R-11	38.79	103.36	94.07	55.28	9.29	16.81%	
Promedio							16.87%	

Fuente: Creación única de los testistas.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.14%.

Tabla 117

Contenido de humedad remanente del espécimen con 0% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	D-02	40.58	105.15	104.42	63.84	0.73	1.14%	

Fuente: Creación única de los testistas.

- **Combinación 2% viruta y 0% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo

con 2% viruta y 0% cal, es 16.35% para una máxima densidad de suelo seco de 1.689 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 16.19%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 118 se ilustra los reportes.

Tabla 118

Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	HR-09	46.63	135.29	123.17	76.54	12.12	15.83%	
E-2	HR-17	47.58	118.77	108.94	61.36	9.83	16.02%	
E-3	E-04	52.44	121.91	112.08	59.64	9.83	16.48%	
E-4	D-02	37.50	110.91	100.63	63.13	10.28	16.28%	
E-5	M-06	32.10	115.06	103.64	71.54	11.42	15.96%	
E-6	A-7	37.95	139.73	125.26	87.31	14.47	16.57%	
Promedio								16.19%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.68%.

Tabla 119

Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	E-03	52.80	134.58	133.23	80.43	1.35	1.68%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 2% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo

con 2% viruta y 2% cal, es 18.92% para una máxima densidad de suelo seco de 1.606g/cm³, ver el reporte de datos en la Tabla 120.

Tabla 120

Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula+ Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-24	50.58	118.01	107.14	56.56	10.87	19.22%	
E-2	M-02	67.43	145.56	133.00	65.57	12.56	19.16%	
E-3	TA-07	37.94	100.01	90.09	52.15	9.92	19.02%	
E-4	M-06	53.35	140.54	126.77	73.42	13.77	18.76%	
E-5	HR-70	43.67	115.86	104.52	60.85	11.34	18.64%	
E-6	C-23	52.51	150.57	134.64	82.13	15.93	19.40%	
Promedio							19.03%	

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 2.15%.

Tabla 121

Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	M-08	54.59	132.65	131.01	76.42	1.64	2.15%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 4% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 4% cal, es 18.87% para una máxima densidad de suelo

seco de 1.607 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 18.86%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 122 se ilustra los reportes.

Tabla 122

Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	E-12	53.49	135.71	122.61	69.12	13.10	18.95%	
E-2	HR-18	47.07	115.53	104.52	57.45	11.01	19.16%	
E-3	S-09	34.85	109.32	97.31	62.46	12.01	19.23%	
E-4	S-05	39.91	104.73	94.56	54.65	10.17	18.61%	
E-5	HR-23	47.62	123.14	111.20	63.58	11.94	18.78%	
E-6	HR-03	52.99	139.16	125.76	72.77	13.40	18.41%	
Promedio								18.86%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.23%.

Tabla 123

Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	HR-11	48.79	134.96	133.91	85.12	1.05	1.23%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 6% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 2% viruta y 6% cal, es 17.47% (ver la Tabla 124).

Tabla 124

Contenido de humedad del espécimen con 2% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (g)	Humedad Inicial en la Elaboración				Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	E-02	53.31	128.86	117.65	64.34	11.21	17.42%	
E-2	BLP	40.57	130.33	117.14	76.57	13.19	17.23%	
E-3	HR-21	46.62	111.35	101.58	54.96	9.77	17.78%	
E-4	TA-07	57.95	140.66	128.67	70.72	11.99	16.95%	
E-5	HR-09	45.52	135.79	122.24	76.72	13.55	17.66%	
E-6	HR-17	47.56	110.75	101.41	53.85	9.34	17.34%	
Promedio								17.40%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.72%.

Tabla 125

Contenido de humedad remanente del espécimen con 2% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (g)	Humedad Final en la Rotura				Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	E-12	53.48	116.67	115.60	62.12	1.07	1.72%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 0% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 4% viruta y 0% cal, es 18.53% para una máxima densidad de suelo seco de 1.594 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo

la humedad ideal promedio de 18.64%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 126 se ilustra los reportes.

Tabla 126

Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	E-04	32.91	134.37	118.72	85.81	15.65	18.24%	
E-2	TA-07	57.95	142.52	128.97	71.02	13.55	19.08%	
E-3	M-06	43.36	117.52	105.70	62.34	11.82	18.96%	
E-4	M-08	23.44	97.63	86.25	62.81	11.38	18.12%	
E-5	HR-05	24.80	107.19	94.03	69.23	13.16	19.01%	
E-6	HR-04	26.79	95.36	84.69	57.90	10.67	18.43%	
Promedio							18.64%	

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.33%.

Tabla 127

Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-29	19.49	88.06	87.16	67.67	0.90	1.33%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 2% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 4% viruta y 2% cal, es 20.27% para una máxima densidad de suelo

seco de 1.562g/cm^3 . En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 20.18%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 128 se ilustra los reportes.

Tabla 128

Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 2% cal

Especímen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	HR-18	27.07	111.22	97.06	69.99	14.16	20.23%
E-2	HR-07	23.66	91.09	79.62	55.96	11.47	20.50%
E-3	HR-17	27.57	103.71	91.00	63.43	12.71	20.04%
E-4	E-03	25.62	114.74	99.93	74.31	14.81	19.93%
E-5	HR-21	32.80	118.47	103.83	71.03	14.64	20.61%
E-6	HR-09	26.62	90.46	79.93	53.31	10.53	19.75%
Promedio							20.18%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.75%.

Tabla 129

Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 2% cal

Especímen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	M-07	32.09	95.93	94.83	62.74	1.10	1.75%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 4% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo

con 4% viruta y 4% cal, es 19.00% para una máxima densidad de suelo seco de 1.536g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 18.96%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 130 se ilustra los reportes.

Tabla 130

Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 4% cal

Especímen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	S-11	17.31	95.50	83.10	65.79	12.40	18.85%
E-2	T-07	24.88	99.73	87.69	62.81	12.04	19.17%
E-3	D-01	24.16	121.32	105.56	81.40	15.76	19.36%
E-4	S-46	16.77	101.48	88.12	71.35	13.36	18.72%
E-5	S-23	19.53	82.30	72.27	52.74	10.03	19.02%
E-6	HD4	40.02	114.79	103.04	63.02	11.75	18.64%
Promedio							18.96%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.66% (ver la Tabla 131).

Tabla 131

Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 4% cal

Especímen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	BLP	50.57	125.34	124.12	73.55	1.22	1.66%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 6% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 4% viruta y 6% cal, es 19.37% para una máxima densidad de suelo seco de 1.517 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 19.40%, muy cerca a la cantidad de humedad óptima, en la Tabla 132 se ilustra los reportes.

Tabla 132

Contenido de humedad del espécimen con 4% viruta y 6% cal

Especímen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	S-115	16.65	88.58	76.73	60.08	11.85	19.72%
E-2	ES-02	21.60	89.18	78.13	56.53	11.05	19.55%
E-3	S-48	16.27	103.52	89.58	73.31	13.94	19.02%
E-4	S-18	16.45	110.47	95.25	78.80	15.22	19.31%
E-5	S-45	22.07	96.76	84.49	62.42	12.27	19.66%
E-6	A-01	21.99	89.47	78.63	56.64	10.84	19.14%
Promedio							19.40%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 2.17%.

Tabla 133

Contenido de humedad remanente del espécimen con 4% viruta y 6% cal

Especímen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	M-07	52.10	119.58	118.15	66.05	1.43	2.17%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 0% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 0% cal, es 21.23% para una máxima densidad de suelo seco de 1.488 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 21.31% (ver en la Tabla 134)

Tabla 134

Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	S-22	28.08	92.36	81.02	52.94	11.34	21.42%
E-2	D-01	24.16	101.71	88.20	64.04	13.51	21.10%
E-3	S-04	19.30	103.97	88.91	69.61	15.06	21.63%
E-4	S-23	19.52	117.40	100.49	80.97	16.91	20.88%
E-5	S-44	17.79	81.58	70.39	52.60	11.19	21.27%
E-6	S-63	16.80	104.67	89.09	72.29	15.58	21.55%
Promedio							21.31%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 2.14%.

Tabla 135

Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 0% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
E-1	S-44	17.77	105.64	103.80	86.03	1.84	2.14%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 2% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 2% cal, es 22.27% para una máxima densidad de suelo seco de 1.444 g/cm³, en la Tabla 136 se ilustra los reportes.

Tabla 136

Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	T-07	25.09	101.23	87.21	62.12	14.02	22.57%	
E-2	S-23	19.52	87.40	75.15	55.63	12.25	22.02%	
E-3	LL-06	26.46	105.05	90.73	64.27	14.32	22.28%	
E-4	T-07	24.87	122.02	104.23	79.36	17.79	22.42%	
E-5	S-57	17.82	102.04	86.92	69.10	15.12	21.88%	
E-6	D-01	24.16	94.15	81.46	57.30	12.69	22.15%	
Promedio							22.22%	

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.57% (ver la Tabla 137).

Tabla 137

Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 2% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	DC-06	57.81	127.80	126.72	68.91	1.08	1.57%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 4% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 4% cal, es 21.92% para una máxima densidad de suelo seco de 1.471 g/cm³. En la elaboración de los especímenes, se obtuvo la humedad ideal promedio de 21.96%, ver la Tabla 138 .

Tabla 138

Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-03	18.87	91.01	78.05	59.18	12.96	21.90%	
E-2	E-04	40.02	124.18	109.21	69.19	14.97	21.64%	
E-3	S224	53.04	154.94	136.47	83.43	18.47	22.14%	
E-4	S-1	52.93	136.96	121.78	68.85	15.18	22.05%	
E-5	S-46	19.29	89.07	76.37	57.08	12.70	22.25%	
E-6	S-63	17.31	108.19	91.94	74.63	16.25	21.77%	
Promedio							21.96%	

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 2.46%.

Tabla 139

Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 4% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Agua (g)	Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)			
E-1	S-57	18.51	109.39	107.21	88.70	2.18	2.46%	

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 6% cal**

De acuerdo con los hallazgos en la prueba de Proctor Estandar, la humedad ideal obtenida, para la combinación de la muestra de suelo con 6% viruta y 6% cal, es 21.51% para una máxima densidad de suelo seco de 1.445g/cm³, en la Tabla 140 se ilustra los reportes.

Tabla 140

Contenido de humedad del espécimen con 6% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Inicial en la Elaboración					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	S-46	16.77	91.00	77.72	60.95	13.28	21.79%
E-2	S-23	19.53	103.59	88.76	69.23	14.83	21.42%
E-3	HD4	40.02	132.09	116.01	75.99	16.08	21.16%
E-4	S-24	50.58	122.80	109.80	59.22	13.00	21.95%
E-5	M-02	67.43	136.20	124.16	56.73	12.04	21.22%
E-6	TA-07	37.94	108.49	95.97	58.03	12.52	21.58%
Promedio							21.52%

Fuente: Elaboración propia.

Esta humedad que persiste y no logra secar es 1.57% (ver la Tabla 141).

Tabla 141

Contenido de humedad remanente del espécimen con 6% viruta y 6% cal

Espécimen	Cápsula	Humedad Final en la Rotura					Contenido de Humedad Inicial
		Peso de Cápsula (g)	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso de Suelo Seco (g)	Contenido de Agua (g)	
E-1	E-12	53.49	124.04	122.95	69.46	1.09	1.57%

Fuente: Elaboración propia.

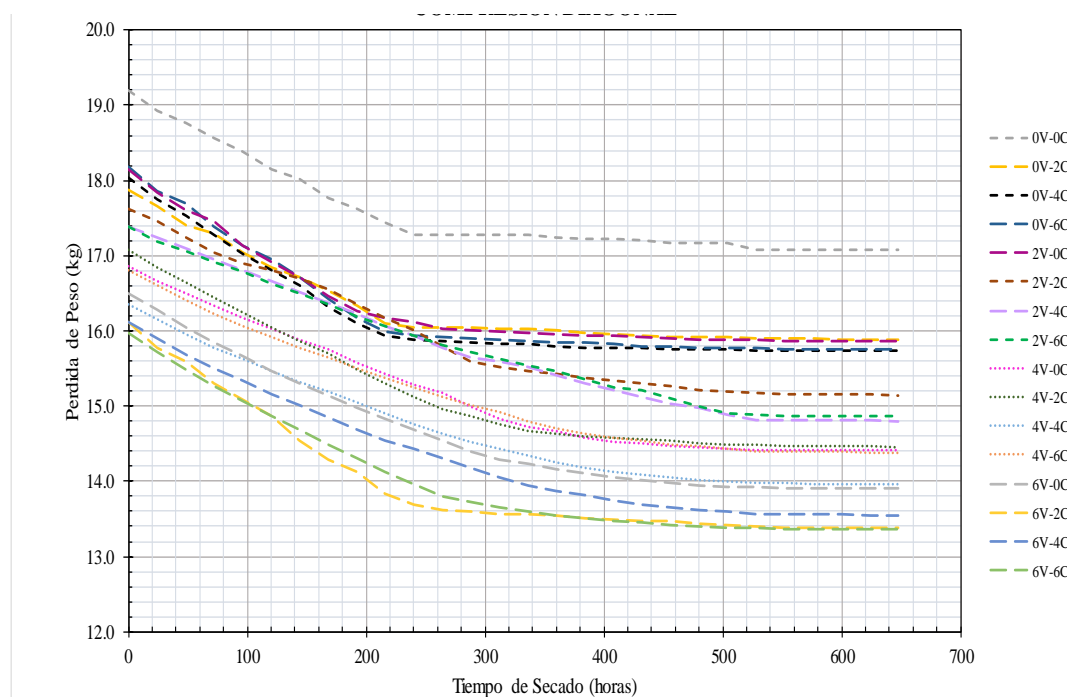
4.1.2.3 Proceso de secado

Se elaboró 16 curvas de secado en función del tiempo, es decir una curva de secado por combinación. Se seleccionó un espécimen elaborado, representante de cada combinación y se registró el peso de los especímenes cada 2 días durante un tiempo de 28 días, como indica la Norma E.080 diseño y construcción de con tierra reforzada, en la Figura 84 se observa este proceso de secado.

Se evidenció que durante los 8 primeros días se logró un secado considerable de pendiente negativa y durante el transcurso de los días la pérdida de agua se fue reduciendo hasta llegar a los 28 días, donde la pérdida de agua era despreciable, debido a que el agua era mínima y no se pudo secar debido a propiedades internas del tapial.

Figura 84

Control de secado de las diferentes combinaciones



Fuente: Creación única de los testistas.

4.1.2.4 Resistencia a compresión diagonal

- **Combinación 0% viruta y 0% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 0% de viruta y 0% de cal es 0.63 kg/cm², la estándar variación resultó 0.06 kg/cm² y su coeficiente 9.27% (ver Tabla 142).

Tabla 142

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 0% viruta y 0% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	46	30.15	30.35	10.10	611.05	345.37	0.57
M-2	46	29.85	29.90	9.95	594.51	362.63	0.61
M-3	46	30.05	30.15	10.15	611.03	391.07	0.64
M-4	46	30.10	29.95	9.95	597.50	406.31	0.68
M-5	46	30.00	30.10	9.91	595.29	427.68	0.72
M-6	46	30.15	30.10	10.20	614.55	358.20	0.58
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							0.63
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.06
Coefficiente de Variación							9.27%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 2% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 0% de viruta y 2% de cal es 0.83 kg/cm², la estándar variación resultó 0.04 kg/cm² y su coeficiente 4.85% (ver Tabla 143).

Tabla 143

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 0% viruta y 2% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	47	30.10	30.15	10.05	605.51	487.56	0.81
M-2	47	30.20	29.90	10.05	604.01	484.51	0.80
M-3	47	30.05	30.15	10.15	611.03	478.42	0.78
M-4	47	29.80	30.05	9.85	589.52	507.87	0.86
M-5	47	30.10	30.07	10.05	604.71	498.13	0.82
M-6	47	29.95	30.20	9.90	595.49	529.20	0.89
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							0.83
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.04
Coefficiente de Variación							4.85%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 4% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 0% de viruta y 4% de cal es 0.87 kg/cm² (ver Tabla 144).

Tabla 144

Resultado del ensayo de los especímenes con 0% viruta y 4% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	48	30.10	29.95	10.20	612.51	522.09	0.85
M-2	48	30.00	30.20	10.05	605.01	507.87	0.84
M-3	48	30.00	30.30	9.91	597.27	553.57	0.93
M-4	48	30.15	29.85	10.10	606.00	511.94	0.84
M-5	48	29.90	30.00	10.20	610.98	562.58	0.92
M-6	48	30.00	29.95	9.85	590.51	479.13	0.81
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							0.87
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.05
Coefficiente de Variación							5.42%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 6% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 0% de viruta y 6% de cal es 0.83 kg/cm², la estándar variación resultó 0.04 kg/cm² y su coeficiente 5.35% (ver Tabla 145).

Tabla 145

Resultado del ensayo de los especímenes con 0% viruta y 6% cal

Especímen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	49	30.15	30.05	10.15	611.03	531.23	0.87
M-2	49	30.05	30.05	9.85	591.99	505.84	0.85
M-3	49	29.95	29.90	10.16	607.78	462.17	0.76
M-4	49	30.10	30.10	10.05	605.01	489.59	0.81
M-5	49	29.90	29.95	10.15	607.48	533.26	0.88
M-6	49	29.80	29.90	9.90	591.03	482.31	0.82
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							0.83
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.04
Coficiente de Variación							5.35 %

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 0% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 2% de viruta y 0% de cal es 1.20 kg/cm², la estándar variación resultó 0.11 kg/cm² y su coeficiente 9.19% (ver Tabla 146).

Tabla 146

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 2% viruta y 0% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	50	30.05	30.35	10.20	616.08	708.23	1.15
M-2	50	30.10	30.20	10.00	603.00	676.02	1.12
M-3	50	30.00	30.05	9.95	597.50	739.39	1.24
M-4	50	29.95	29.85	10.05	600.99	801.32	1.33
M-5	50	29.85	29.95	10.20	609.96	804.01	1.32
M-6	50	30.15	29.90	10.00	600.50	637.25	1.06
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							1.20
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.11
Coefficiente de Variación							9.19%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 2% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 2% de viruta y 2% de cal es 1.28 kg/cm² (ver Tabla 147).

Tabla 147

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 2% viruta y 2% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	51	30.15	30.20	10.10	609.54	820.99	1.35
M-2	51	29.95	30.05	9.85	591.00	812.49	1.37
M-3	51	29.85	30.05	10.05	602.00	775.94	1.29
M-4	51	29.75	29.90	10.15	605.45	747.52	1.23
M-5	51	30.20	29.90	10.05	604.01	721.67	1.19
M-6	51	29.95	30.10	10.20	612.51	746.04	1.22
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							1.28
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.07
Coefficiente de Variación							5.72 %

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 4% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 2% de viruta y 4% de cal es 2.32 kg/cm², la estándar variación resultó 0.10 kg/cm² y su coeficiente 4.33% (ver Tabla 148).

Tabla 148

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 2% viruta y 4% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	52	30.15	29.90	10.05	603.50	1399.88	2.32
M-2	52	30.05	30.15	9.95	598.99	1450.82	2.42
M-3	52	29.90	29.90	10.00	598.00	1398.07	2.34
M-4	52	29.90	29.95	10.10	604.49	1333.14	2.21
M-5	52	30.15	30.20	9.80	591.43	1299.19	2.20
M-6	52	30.00	29.80	10.15	606.97	1472.57	2.43
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							2.32
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.10
Coficiente de Variación							4.33%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 6% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 2% de viruta y 6% de cal es 2.09 kg/cm², la estándar variación resultó 0.10 kg/cm² y su coeficiente 4.60% (ver Tabla 149).

Tabla 149

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 2% viruta y 6% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	53	30.20	30.10	10.15	612.05	1285.66	2.10
M-2	53	30.15	29.90	10.15	609.51	1250.95	2.05
M-3	53	30.05	30.15	9.95	598.99	1326.04	2.21
M-4	53	30.15	29.85	9.85	591.00	1287.48	2.18
M-5	53	29.80	29.95	10.20	609.45	1214.16	1.99
M-6	53	30.05	30.05	9.95	598.00	1184.65	1.98
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							2.09
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.10
Coefficiente de Variación							4.60%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 0% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 4% de viruta y 0% de cal es 2.11 kg/cm² (ver Tabla 150).

Tabla 150

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 4% viruta y 0% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	54	30.15	29.90	10.00	600.50	1302.16	2.17
M-2	54	30.00	30.00	10.00	600.00	1281.39	2.14
M-3	54	29.90	29.90	10.20	609.96	1167.74	1.91
M-4	54	30.05	30.15	10.15	611.03	1154.55	1.89
M-5	54	30.00	29.95	9.75	584.51	1351.67	2.31
M-6	54	30.05	30.05	10.25	616.03	1378.87	2.24
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							2.11
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.17
Coefficiente de Variación							8.17%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 2% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 4% de viruta y 2% de cal es 2.21 kg/cm² (ver Tabla 151).

Tabla 151

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 4% viruta y 2% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	55	30.15	29.90	10.05	603.50	1429.21	2.37
M-2	55	30.00	29.80	10.10	603.98	1298.64	2.15
M-3	55	29.90	29.95	9.90	592.52	1261.10	2.13
M-4	55	30.05	30.10	10.10	607.52	1357.49	2.23
M-5	55	30.15	30.10	9.90	596.48	1350.00	2.26
M-6	55	29.95	30.10	10.20	612.51	1301.04	2.12
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							2.21
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.10
Coefficiente de Variación							4.34%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 4% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 4% de viruta y 4% de cal es 2.88 kg/cm², la estándar variación resultó 0.13 kg/cm² y su coeficiente 4.62% (ver Tabla 152).

Tabla 152

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 4% viruta y 4% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	56	30.05	29.90	9.95	596.50	1818.62	3.05
M-2	56	29.95	30.25	10.10	608.02	1801.75	2.96
M-3	56	30.00	29.95	10.10	605.50	1684.12	2.78
M-4	56	30.00	29.85	9.95	595.51	1596.89	2.68
M-5	56	30.25	30.05	9.95	599.99	1767.56	2.95
M-6	56	29.95	30.25	10.25	617.05	1778.88	2.88
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							2.88
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.13
Coefficiente de Variación							4.62%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 6% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 4% de viruta y 6% de cal es 2.52 kg/cm² (ver Tabla 153).

Tabla 153

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 4% viruta y 6% cal

Espécimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	57	30.20	30.10	10.20	615.06	1596.89	2.60
M-2	57	29.95	30.00	9.85	590.51	1441.69	2.44
M-3	57	30.15	30.25	10.10	610.04	1425.46	2.34
M-4	57	29.95	30.00	9.90	593.51	1510.67	2.55
M-5	57	30.10	29.95	9.95	597.50	1547.96	2.59
M-6	57	29.75	29.95	10.05	599.99	1571.99	2.62
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							2.52
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.11
Coefficiente de Variación							4.39%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 0% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 6% de viruta y 0% de cal es 0.96 kg/cm² (ver Tabla 154).

Tabla 154

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 6% viruta y 0% cal

Especímen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	58	30.15	30.00	10.10	607.52	631.31	1.04
M-2	58	29.95	29.80	9.95	594.51	530.22	0.89
M-3	58	29.90	30.11	9.95	597.05	560.68	0.94
M-4	58	30.10	30.00	9.85	591.99	593.18	1.00
M-5	58	29.85	30.05	10.10	604.99	587.08	0.97
M-6	58	30.15	30.10	10.05	605.51	544.25	0.90
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							0.96
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.06
Coefficiente de Variación							6.08%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 2% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 6% de viruta y 2% de cal es 1.97 kg/cm², la estándar variación resultó 0.11 kg/cm² y su coeficiente 5.63% (ver Tabla 155).

Tabla 155*Resultado del ensayo a compresión diagonal con 6% viruta y 2% cal*

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	59	30.20	30.05	10.10	608.53	1268.90	2.09
M-2	59	29.95	30.00	9.95	596.50	1146.43	1.92
M-3	59	30.25	29.85	9.95	598.00	1175.86	1.97
M-4	59	30.00	30.15	9.90	595.49	1227.61	2.06
M-5	59	29.85	29.95	10.15	606.97	1080.13	1.78
M-6	59	30.05	29.95	10.15	609.00	1221.48	2.01
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							1.97
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.11
Coefficiente de Variación							5.63%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 4% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 6% de viruta y 4% de cal es 2.40 kg/cm² (ver Tabla 156).

Tabla 156*Resultado del ensayo a compresión diagonal con 6% viruta y 4% cal*

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	60	30.20	29.85	10.00	600.50	1466.85	2.44
M-2	60	30.00	30.00	10.05	603.00	1457.92	2.42
M-3	60	29.95	30.10	10.15	609.51	1356.47	2.23
M-4	60	30.10	30.00	9.80	588.98	1358.50	2.31
M-5	60	30.10	30.15	10.15	611.54	1524.66	2.49
M-6	60	30.05	29.75	9.95	595.01	1508.48	2.54
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							2.40
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.12
Coefficiente de Variación							4.86%

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 6% cal**

Las muestras de dimensiones 30 x 30 x 10 cm fueron sometidas a pruebas, donde los datos obtenidos mostraron que la resistencia media a esfuerzos diagonales o de corte de la combinación de suelo que incluía 6% de viruta y 6% de cal es 1.92 kg/cm², la estándar variación resultó 0.16 kg/cm² y su coeficiente 8.50% (ver Tabla 157).

Tabla 157

Resultado del ensayo a compresión diagonal con 6% viruta y 6% cal

Especimen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia Compresión Diagonal Vm (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
M-1	61	30.15	29.95	10.05	604.01	1315.56	2.18
M-2	61	30.10	30.15	9.95	599.49	1187.02	1.98
M-3	61	29.75	30.15	10.05	602.00	1078.44	1.79
M-4	61	30.15	30.30	9.75	589.39	1127.15	1.91
M-5	61	30.30	29.90	10.20	614.04	1186.72	1.93
M-6	61	29.95	30.10	10.15	609.51	1039.56	1.71
Resistencia a Compresión Diagonal Promedio Vm (Kg/cm²)							1.92
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)							0.16
Coficiente de Variación							8.50%

Fuente: Creación única de los testistas.

4.1.2.5 Módulo de corte

A continuación, se muestra los cálculos obtenidos de los ensayos a compresión diagonal, para obtener el módulo de corte (G) de los muretes de cada combinación.

- **Combinación 0% viruta y 0% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 0% viruta y 0% cal, al

ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 32.15 kg/cm², la estándar variación resultó 2.98 kg/cm² y su respectivo coeficiente de 9.28% (ver Tabla 158).

Tabla 158

Módulo de corte de los especímenes con 0% viruta y 0% cal

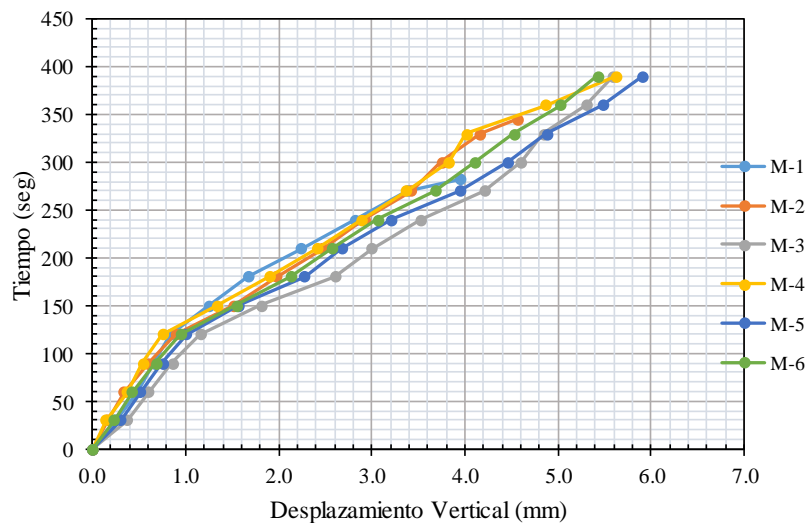
Especimen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔVm (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ε1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ε2 (mm/mm)		
M-1	345.37	0.14	0.59	0.002360	0.71	0.002834	0.005194	26.73
M-2	362.63	0.16	0.92	0.003680	0.40	0.001606	0.005286	30.71
M-3	391.07	0.16	0.95	0.003800	0.29	0.001160	0.004960	33.19
M-4	406.31	0.15	0.80	0.003200	0.33	0.001320	0.004520	33.86
M-5	427.68	0.16	0.82	0.003271	0.37	0.001463	0.004734	34.78
M-6	358.20	0.16	0.87	0.003475	0.34	0.001343	0.004819	33.61
Promedio Módulo de Corte Gm (Kg/cm²)								32.15
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)								2.98
Coficiente de Variación								9.28%

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 85 y 86 grafican.

Figura 85

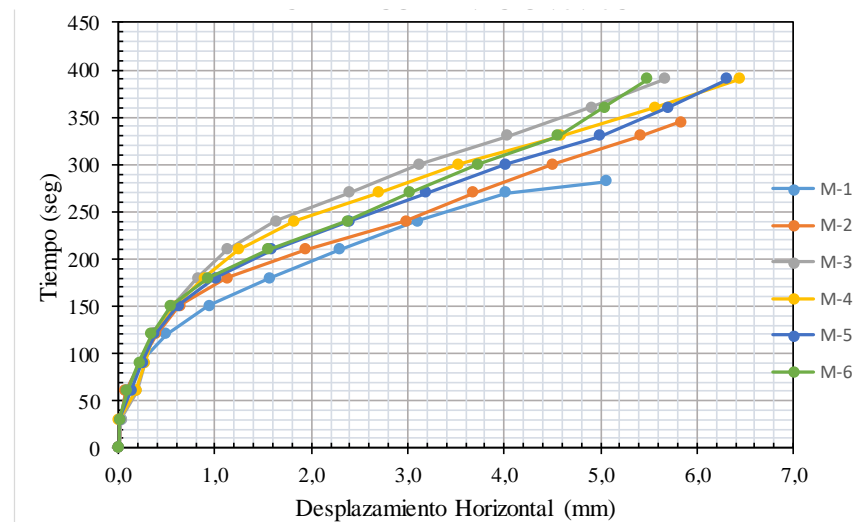
Desplazamiento vertical murete con 0% viruta y 0% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 86

Desplazamiento horizontal murete con 0% viruta y 0% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 2% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 0% viruta y 2% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 52.62 kg/cm².

Tabla 159

Módulo de corte de los especímenes con 0% viruta y 2% cal

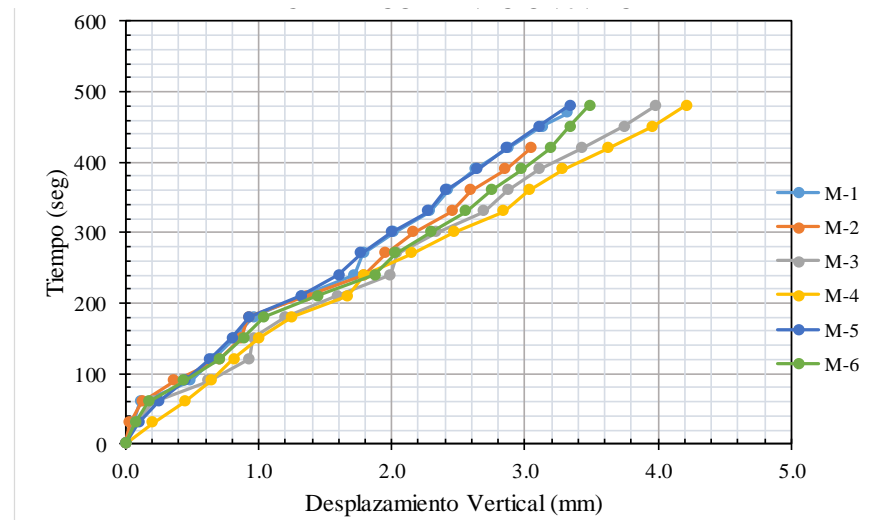
Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
M-1	487.56	0.24	0.90	0.003600	0.19	0.000780	0.004380	54.39
M-2	484.51	0.24	0.92	0.003680	0.20	0.000800	0.004480	53.31
M-3	478.42	0.24	1.03	0.004120	0.21	0.000840	0.004960	47.94
M-4	507.87	0.26	0.79	0.003160	0.45	0.001800	0.004960	52.46
M-5	498.13	0.25	0.80	0.003189	0.37	0.001497	0.004687	52.96
M-6	529.20	0.28	0.99	0.003946	0.29	0.001149	0.005095	54.66
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²) 52.62								
Desviación Estándar σ (Kg/cm²) 2.44								
Coefficiente de Variación 4.64%								

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250 mm. Fuente: Creación única de los tesisistas.

Estas Figuras 87 y 88 grafican el tiempo versus el desplazamiento vertical y horizontal de los muretes sometidos a cargas diagonales.

Figura 87

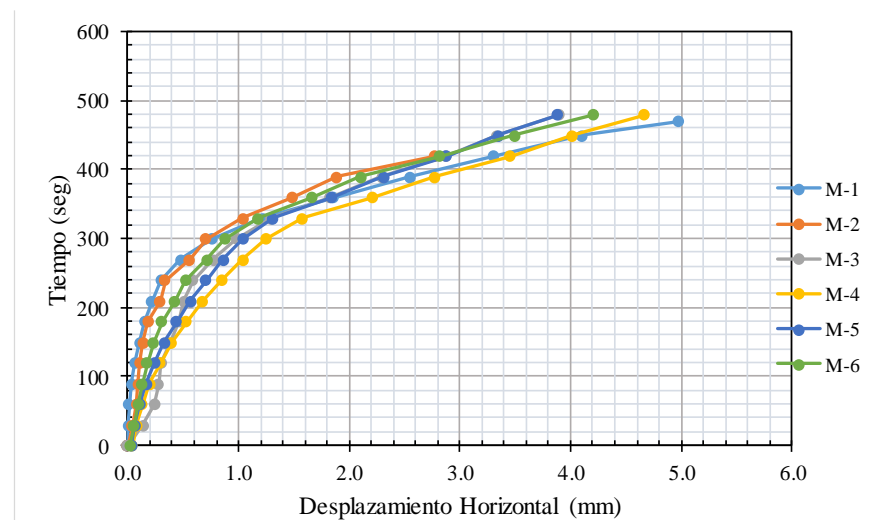
Desplazamiento vertical murete con 0% viruta y 2% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 88

Desplazamiento horizontal murete con 0% viruta y 2% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 4% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 0% viruta y 4% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 44.45 kg/cm².

Tabla 160

Módulo de corte de los especímenes con 0% viruta y 4% cal

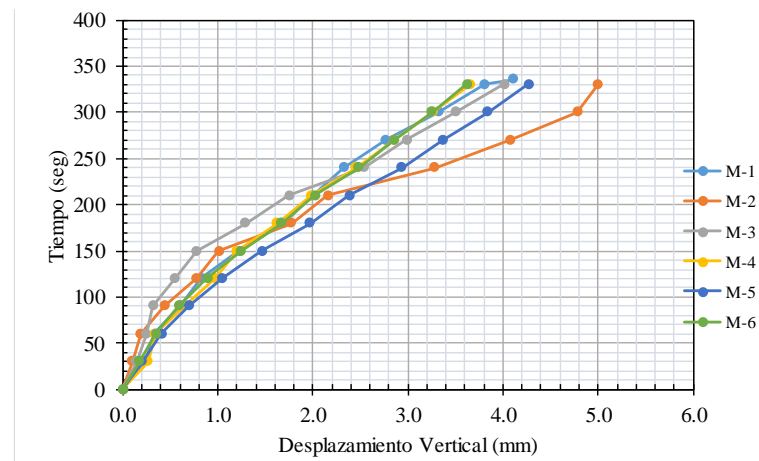
Especimen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
			M-1	522.09	0.30	0.62		
M-2	507.87	0.23	1.33	0.005320	0.29	0.001160	0.006480	35.24
M-3	553.57	0.30	0.97	0.003880	0.48	0.001920	0.005800	52.20
M-4	511.94	0.17	0.65	0.002600	0.31	0.001240	0.003840	44.97
M-5	562.58	0.31	1.27	0.005080	0.41	0.001644	0.006724	45.36
M-6	479.13	0.22	1.08	0.004303	0.26	0.001032	0.005335	41.03
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²) 44.45								
Desviación Estándar σ (Kg/cm²) 5.82								
Coefficiente de Variación 13.10%								

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 89 y 90 grafican estos datos.

Figura 89

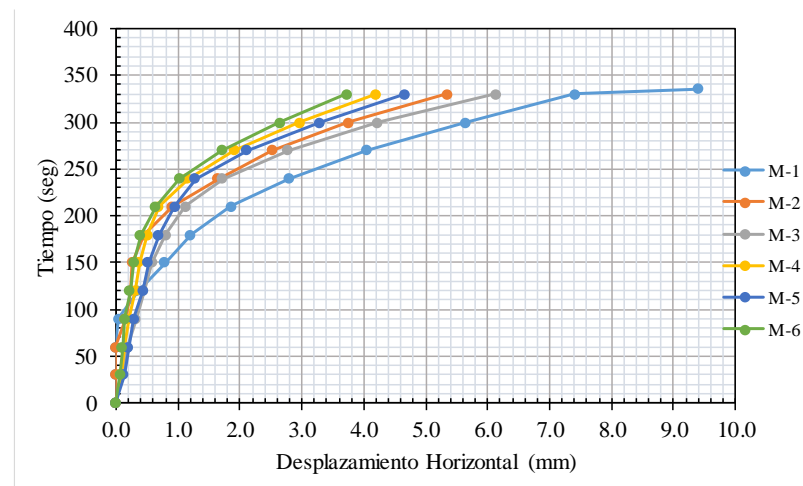
Desplazamiento vertical murete con 0% viruta y 4% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 90

Desplazamiento horizontal murete con 0% viruta y 4% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 0% viruta y 6% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 0% viruta y 6% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 98.40 kg/cm².

Tabla 161

Módulo de corte de los especímenes con 0% viruta y 6% cal

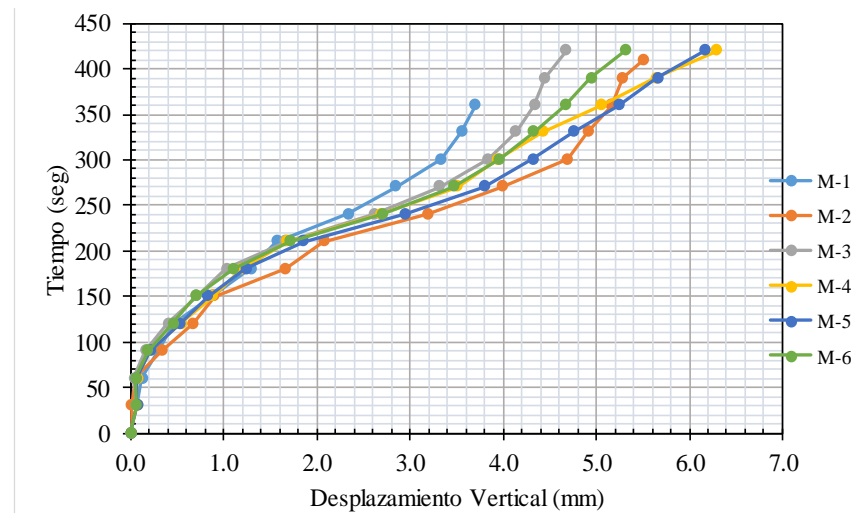
Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
M-1	531.23	0.29	0.58	0.002320	0.15	0.000580	0.002900	100.90
M-2	505.84	0.30	0.57	0.002280	0.18	0.000720	0.003000	98.96
M-3	462.17	0.27	0.55	0.002200	0.15	0.000600	0.002800	95.52
M-4	489.59	0.30	0.67	0.002680	0.14	0.000560	0.003240	91.22
M-5	533.26	0.32	0.62	0.002491	0.26	0.001028	0.003519	92.32
M-6	482.31	0.30	0.52	0.002076	0.15	0.000582	0.002657	111.50
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²) 98.40								
Desviación Estándar σ (Kg/cm²) 7.42								
Coefficiente de Variación 7.54%								

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 91 y 92 grafican el tiempo versus el desplazamiento vertical y horizontal de los muretes sometidos a cargas diagonales.

Figura 91

Desplazamiento vertical murete con 0% viruta y 6% cal

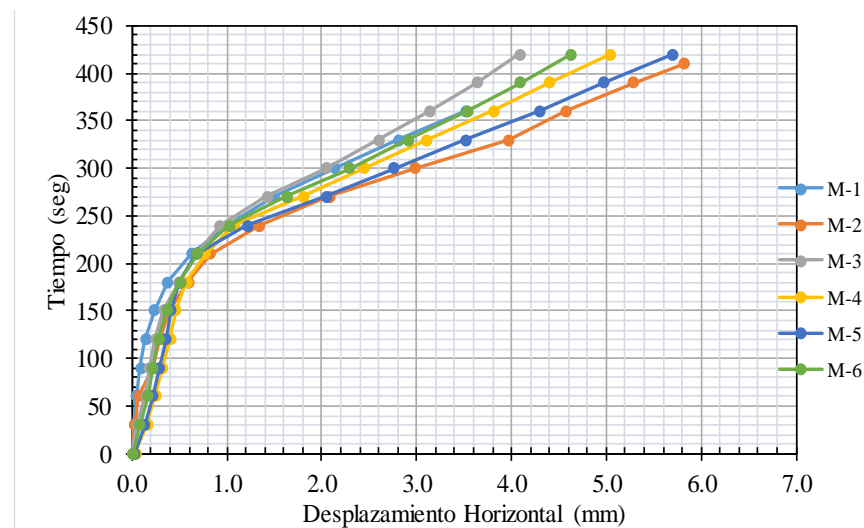


Fuente: Elaboración propia.

El registro de estos datos se realizó minuciosamente.

Figura 92

Desplazamiento horizontal murete con 0% viruta y 6% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 0% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 2% viruta y 0% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 25.97 kg/cm².

Tabla 162

Módulo de corte de los especímenes con 2% viruta y 0% cal

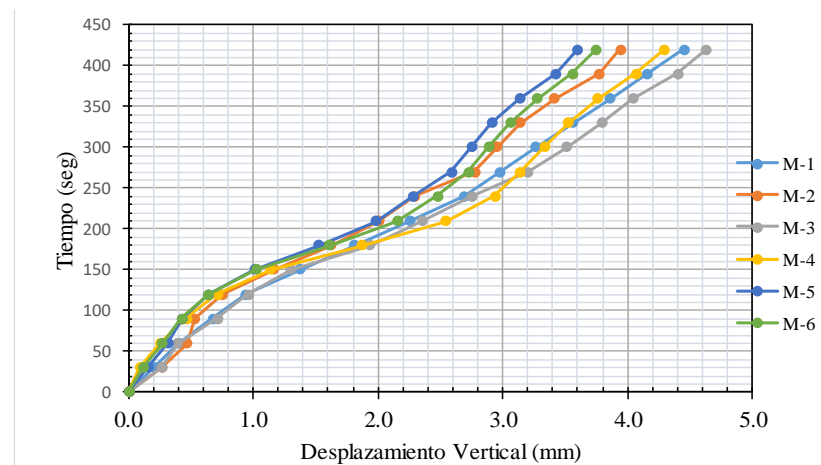
Especimen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
			M-1	708.23	0.38	2.04		
M-2	676.02	0.39	2.02	0.008080	1.53	0.006120	0.014200	27.30
M-3	739.39	0.44	2.24	0.008960	2.24	0.008973	0.017933	24.27
M-4	801.32	0.46	2.43	0.009720	1.83	0.007318	0.017038	26.78
M-5	804.01	0.47	1.94	0.007779	2.04	0.008145	0.015925	29.47
M-6	637.25	0.39	2.08	0.008313	1.72	0.006875	0.015188	25.38
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²)								25.97
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)								2.42
Coefficiente de Variación								9.31%

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 93 y 94 grafican estos datos.

Figura 93

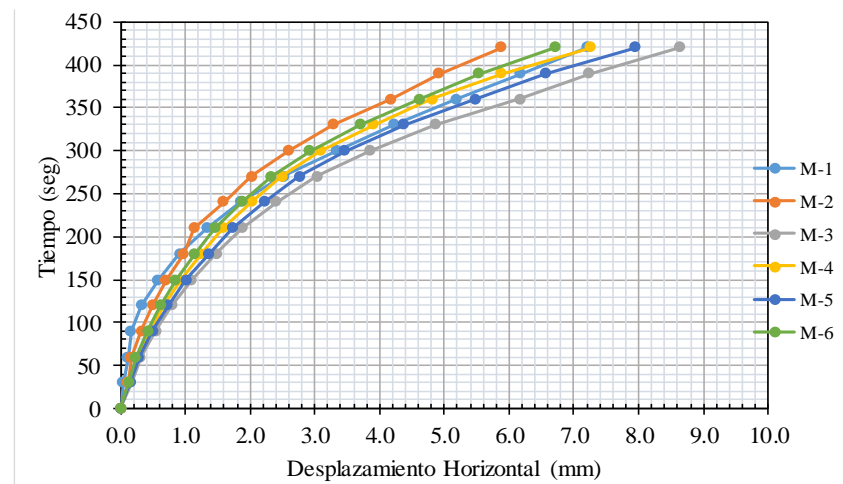
Desplazamiento vertical murete con 2% viruta y 0% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 94

Desplazamiento horizontal del murete con 2% viruta y 0% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 2% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 2% viruta y 2% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 14.46 kg/cm².

Tabla 163

Módulo de corte de los especímenes con 2% viruta y 2% cal

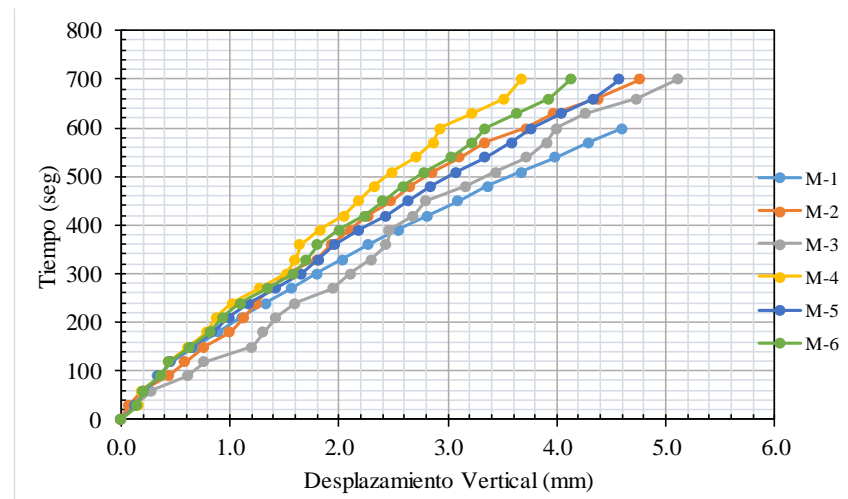
Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
M-1	820.99	0.44	1.71	0.006830	6.25	0.024990	0.031820	13.69
M-2	812.49	0.39	1.24	0.004960	5.85	0.023400	0.028360	13.70
M-3	775.94	0.39	1.20	0.004800	5.22	0.020880	0.025680	15.11
M-4	747.52	0.39	1.16	0.004640	4.26	0.017040	0.021680	17.88
M-5	721.67	0.36	1.46	0.005850	5.47	0.021875	0.027725	12.95
M-6	746.04	0.34	1.31	0.005245	4.97	0.019894	0.025139	13.41
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²)								14.46
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)								1.83
Coefficiente de Variación								12.63%

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 95 y 96 grafican el tiempo versus el desplazamiento vertical y horizontal de los muretes sometidos a cargas diagonales.

Figura 95

Desplazamiento vertical del murete con 2% viruta y 2% cal

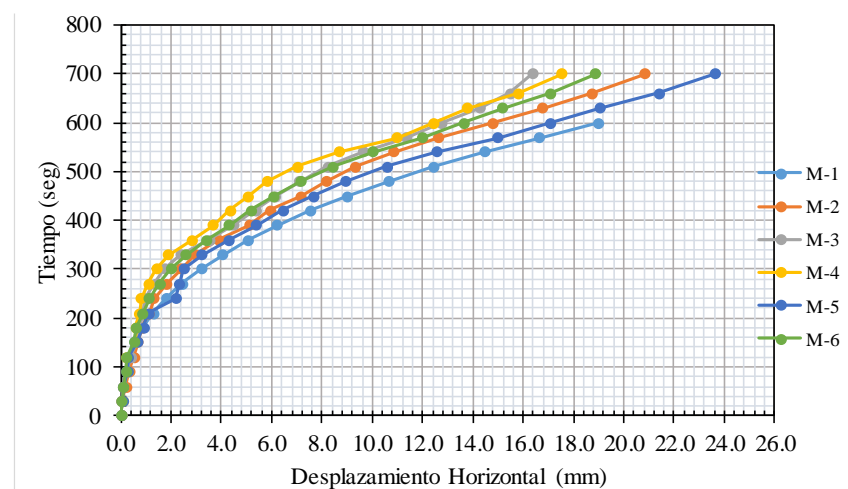


Fuente: Elaboración propia.

El registro de estos datos que se obtuvieron del murete ensayado, se realizo minuciosamente.

Figura 96

Desplazamiento horizontal del murete con 2% viruta y 2% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 4% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 2% viruta y 4% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 89.86 kg/cm².

Tabla 164

Módulo de corte de los especímenes con 2% viruta y 4% cal

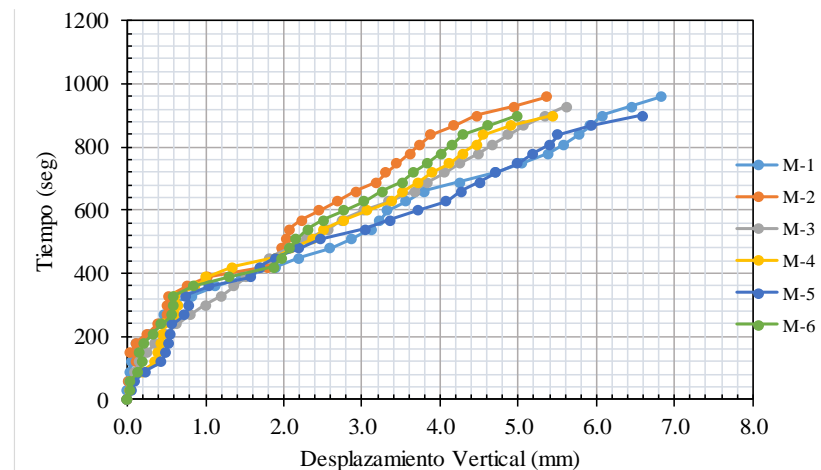
Especimen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
			M-1	1399.88	0.71	1.48		
M-2	1450.82	0.75	1.41	0.005640	0.49	0.001960	0.007600	98.59
M-3	1398.07	0.71	1.07	0.004280	1.03	0.004120	0.008400	84.70
M-4	1333.14	0.68	0.87	0.003480	1.23	0.004920	0.008400	81.39
M-5	1299.19	0.68	1.12	0.004477	0.86	0.003440	0.007917	86.45
M-6	1472.57	0.75	1.44	0.005769	0.75	0.003019	0.008788	85.55
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²) 89.86								
Desviación Estándar σ (Kg/cm²) 8.53								
Coefficiente de Variación 9.50%								

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250 mm. Fuente: creación única de los testistas.

Estas Figuras 97 y 98 grafican estos datos.

Figura 97

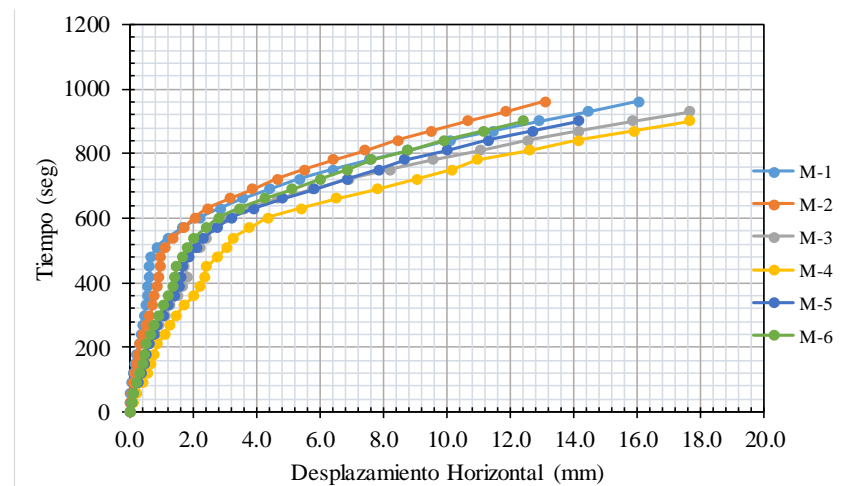
Desplazamiento vertical del murete con 2% viruta y 4% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 98

Desplazamiento horizontal del murete con 2% viruta y 4% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 2% viruta y 6% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 2% viruta y 6% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 41.26 kg/cm².

Tabla 165

Módulo de corte de los especímenes con 2% viruta y 6% cal

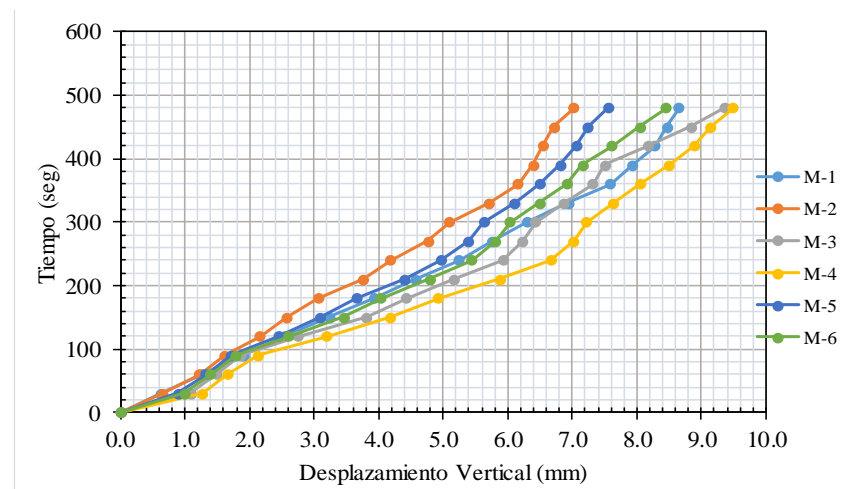
Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
M-1	1285.66	0.68	2.69	0.010740	1.54	0.006170	0.016910	40.27
M-2	1250.95	0.68	2.15	0.008600	1.49	0.005960	0.014560	46.92
M-3	1326.04	0.75	3.30	0.013200	1.58	0.006320	0.019520	38.39
M-4	1287.48	0.73	3.74	0.014960	1.05	0.004200	0.019160	38.20
M-5	1214.16	0.68	2.69	0.010775	1.20	0.004789	0.015565	43.40
M-6	1184.65	0.66	3.00	0.011988	1.09	0.004344	0.016332	40.38
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²) 41.26								
Desviación Estándar σ (Kg/cm²) 3.34								
Coefficiente de Variación 8.11%								

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250 mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 99 y 100 grafican los datos obtenidos.

Figura 99

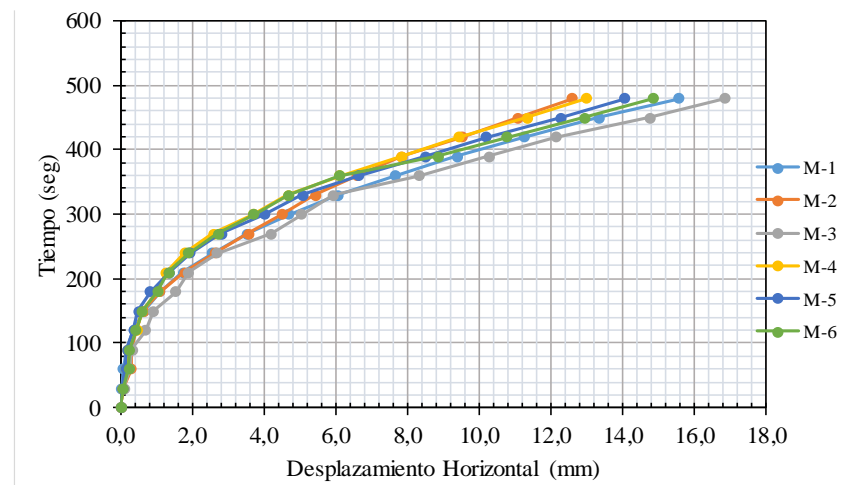
Desplazamiento vertical del murete con 2% viruta y 6% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 100

Desplazamiento horizontal del murete con 2% viruta y 6% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 0% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 4% viruta y 0% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 43.54 kg/cm², la

estándar variación resultó 3.57 kg/cm^2 y su respectivo coeficiente de 8.19% (ver Tabla 166).

Tabla 166

Módulo de corte de los especímenes con 4% viruta y 0% cal

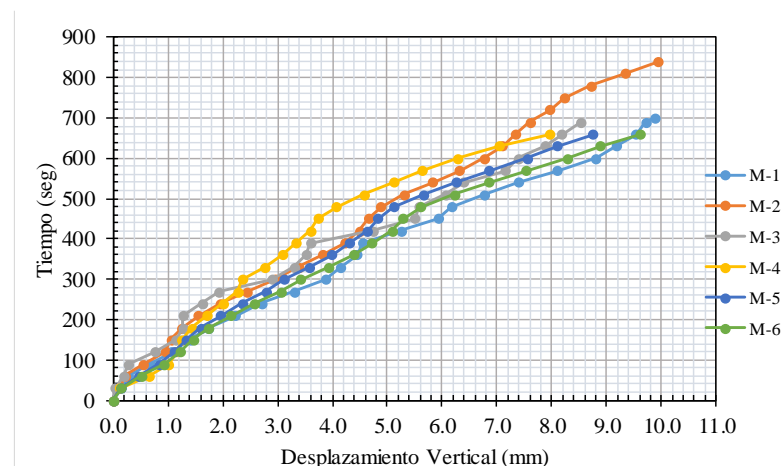
Especimen	Máxima Carga Aplicada $P_{m\acute{a}x}$ (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
			M-1	1302.16	0.69	2.32		
M-2	1281.39	0.65	2.66	0.010640	1.06	0.004240	0.014880	43.79
M-3	1167.74	0.59	2.33	0.009320	1.43	0.005720	0.015040	39.08
M-4	1154.55	0.59	1.63	0.006520	1.99	0.007960	0.014480	40.52
M-5	1351.67	0.75	2.34	0.009370	1.68	0.006700	0.016070	46.53
M-6	1378.87	0.73	2.57	0.010286	1.20	0.004781	0.015067	48.54
Promedio Módulo de Corte Gm (Kg/cm²)								43.54
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)								3.57
Coefficiente de Variación								8.19%

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250 mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 101 y 102 grafican el tiempo versus el desplazamiento vertical y horizontal de los muretes sometidos a cargas diagonales.

Figura 101

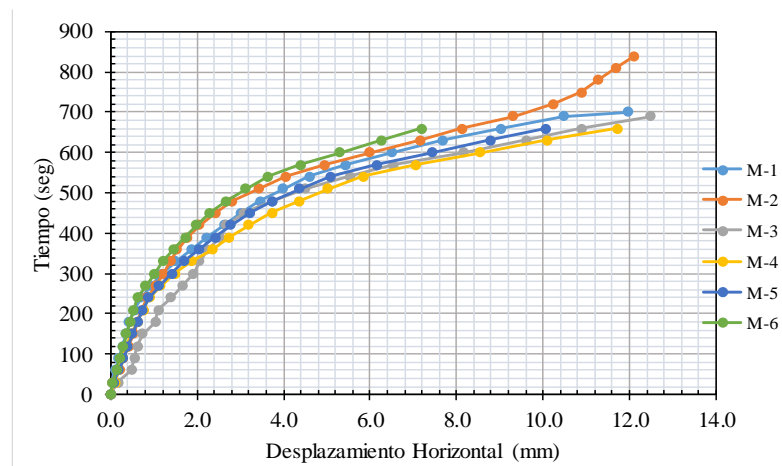
Desplazamiento vertical del murete con 4% viruta y 0% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 102

Desplazamiento horizontal del murete con 4% viruta y 0% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 2% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 4% viruta y 2% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 65.91 kg/cm².

Tabla 167

Módulo de corte de los especímenes con 4% viruta y 2% cal

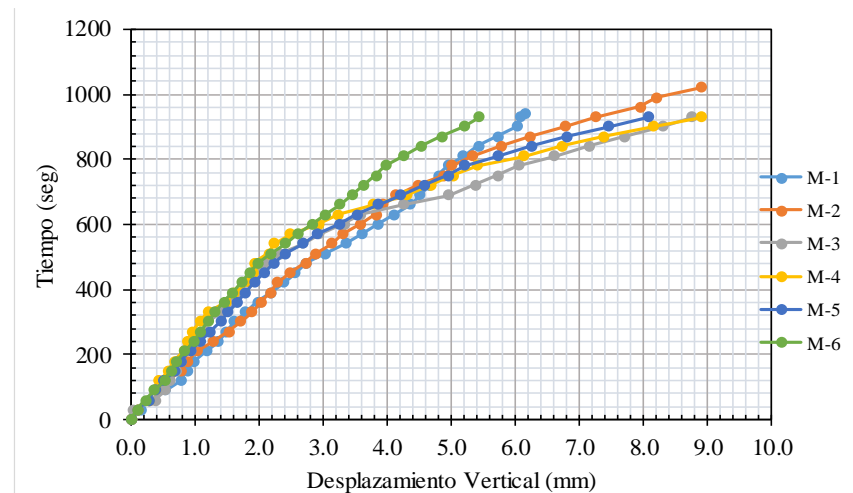
Especímen	Máxima Carga Aplicada $P_{máx}$ (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
			M-1	1429.21	0.68	1.39		
M-2	1298.64	0.70	1.58	0.006320	1.27	0.005080	0.011400	61.50
M-3	1261.10	0.70	1.14	0.004560	1.49	0.005960	0.010520	66.63
M-4	1357.49	0.66	1.18	0.004720	1.13	0.004533	0.009253	71.35
M-5	1350.00	0.65	1.15	0.004600	1.35	0.005397	0.009997	65.44
M-6	1301.04	0.70	1.15	0.004589	1.45	0.005808	0.010397	67.34
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²) 65.91								
Desviación Estándar σ (Kg/cm²) 3.45								
Coefficiente de Variación 5.23%								

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250 mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 103 y 104 grafican el tiempo versus el desplazamiento vertical y horizontal de los muretes sometidos a cargas diagonales.

Figura 103

Desplazamiento vertical del murete con 4% viruta y 2% cal

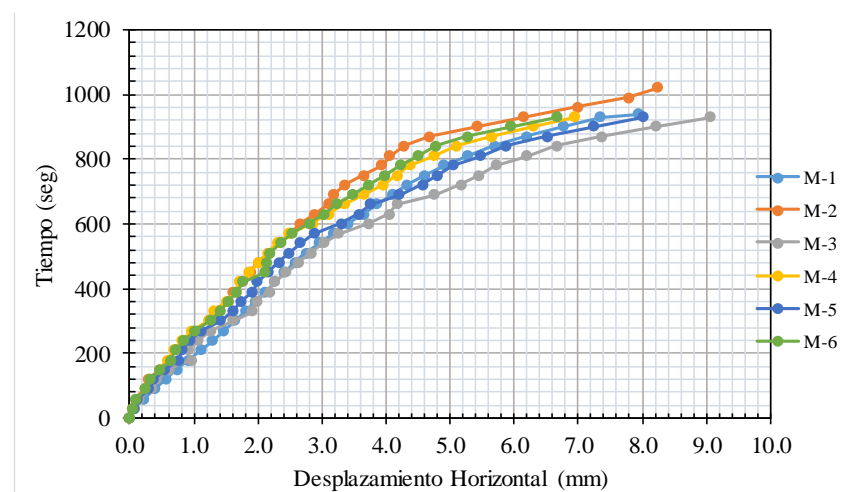


Fuente: Elaboración propia.

Estos gráficos se realizaron mediante los datos obtenidos de las pruebas.

Figura 104

Desplazamiento horizontal del murete con 4% viruta y 2% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 4% viruta y 4% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 4% viruta y 4% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 59.70 kg/cm².

Tabla 168

Módulo de corte de los especímenes con 4% viruta y 4% cal

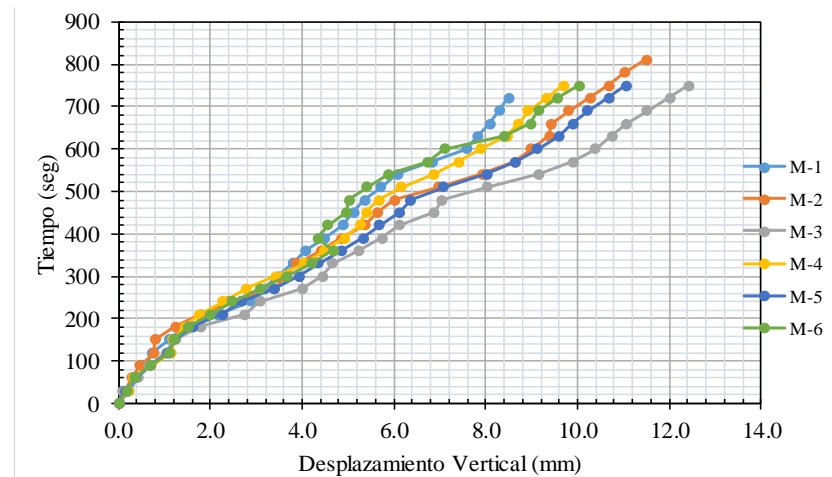
Especimen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
			M-1	1818.62	0.93	2.63		
M-2	1801.75	0.89	3.18	0.012720	0.45	0.001800	0.014520	61.29
M-3	1684.12	0.82	2.99	0.011960	0.72	0.002880	0.014840	55.36
M-4	1596.89	0.80	3.04	0.012160	0.52	0.002080	0.014240	55.92
M-5	1767.56	0.75	2.61	0.010420	0.49	0.001960	0.012380	60.25
M-6	1778.88	0.83	2.34	0.009340	0.95	0.003813	0.013153	63.21
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²) 59.70								
Desviación Estándar σ (Kg/cm²) 3.30								
Coefficiente de Variación 5.52%								

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250 mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 105 y 106 grafican los datos obtenidos.

Figura 105

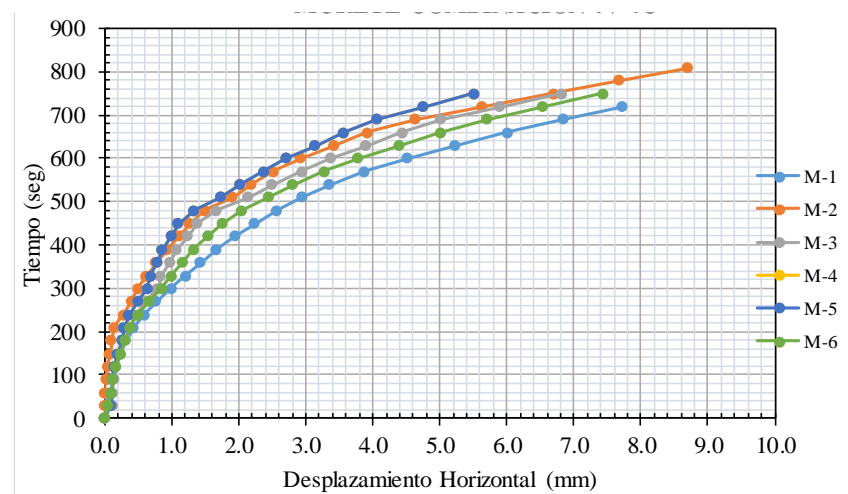
Desplazamiento vertical del murete con 4% viruta y 4% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 106

Desplazamiento horizontal del murete con 4% viruta y 4% cal



Fuente: Elaboración propia

- **Combinación 4% viruta y 6% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 4% viruta y 6% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 34.72 kg/cm².

Tabla 169

Módulo de corte de los especímenes con 4% viruta y 6% cal

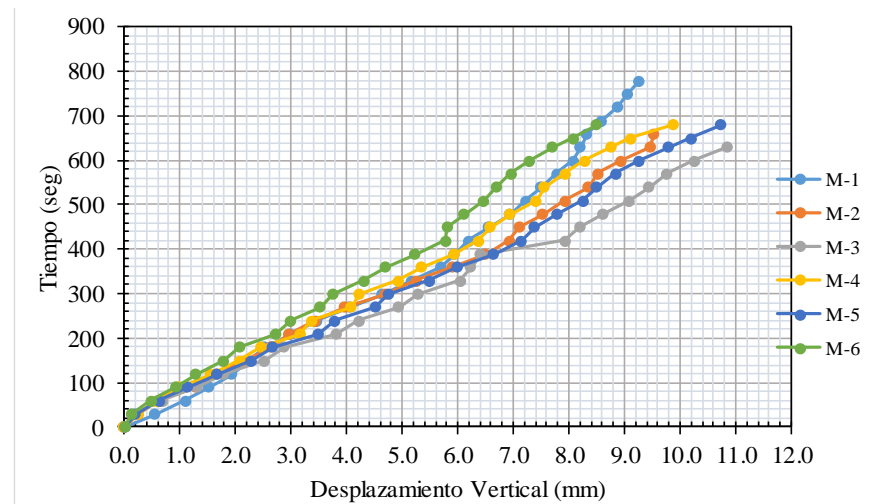
Especimen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
M-1	1596.89	0.76	3.09	0.012360	2.09	0.008352	0.020712	36.76
M-2	1441.69	0.68	3.55	0.014200	1.82	0.007280	0.021480	31.70
M-3	1425.46	0.77	3.52	0.014080	2.60	0.010400	0.024480	31.55
M-4	1510.67	0.70	2.77	0.011080	1.87	0.007480	0.018560	37.88
M-5	1547.96	0.80	3.66	0.014640	2.49	0.009960	0.024600	32.40
M-6	1571.99	0.80	3.06	0.012248	2.18	0.008710	0.020958	38.00
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²)								34.72
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)								3.15
Coefficiente de Variación								9.06%

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 107 y 108 grafican el tiempo versus el desplazamiento vertical y horizontal de los muretes sometidos a cargas diagonales.

Figura 107

Desplazamiento vertical del murete con 4% viruta y 6% cal

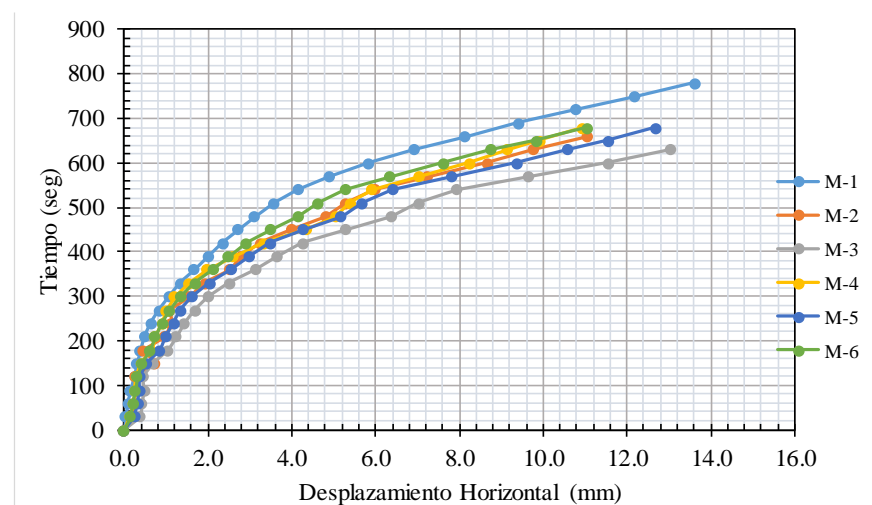


Fuente: Elaboración propia.

Estos gráficos se desarrollaron con los datos obtenidos de las pruebas.

Figura 108

Desplazamiento horizontal del murete con 4% viruta y 6% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 0% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 6% viruta y 0% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 14.71 kg/cm².

Tabla 170

Módulo de corte de los especímenes con 6% viruta y 0% cal

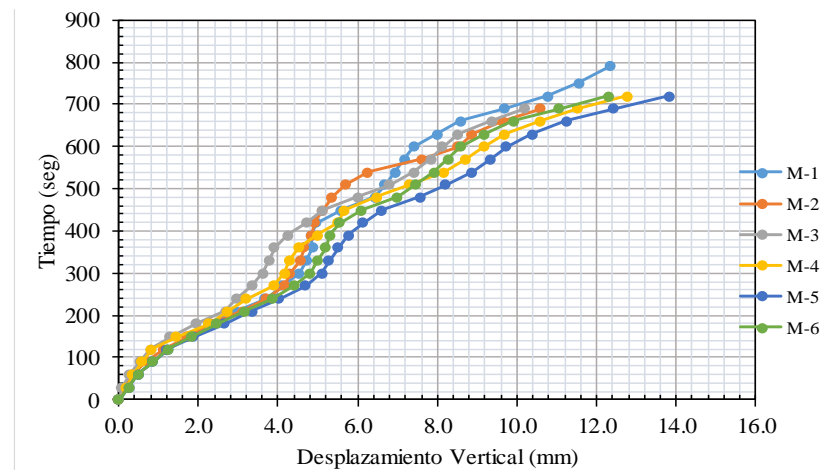
Especimen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
			M-1	631.31	0.29	2.33		
M-2	530.22	0.31	2.01	0.008040	3.17	0.012680	0.020720	14.84
M-3	560.68	0.28	2.18	0.008720	1.80	0.007200	0.015920	17.85
M-4	593.18	0.29	2.47	0.009880	2.88	0.011520	0.021400	13.39
M-5	587.08	0.27	2.58	0.010308	2.99	0.011960	0.022268	12.29
M-6	544.25	0.26	2.25	0.008994	2.39	0.009570	0.018564	13.91
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²)								14.71
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)								1.98
Coefficiente de Variación								13.47%

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 109 y 110 grafican los datos obtenidos.

Figura 109

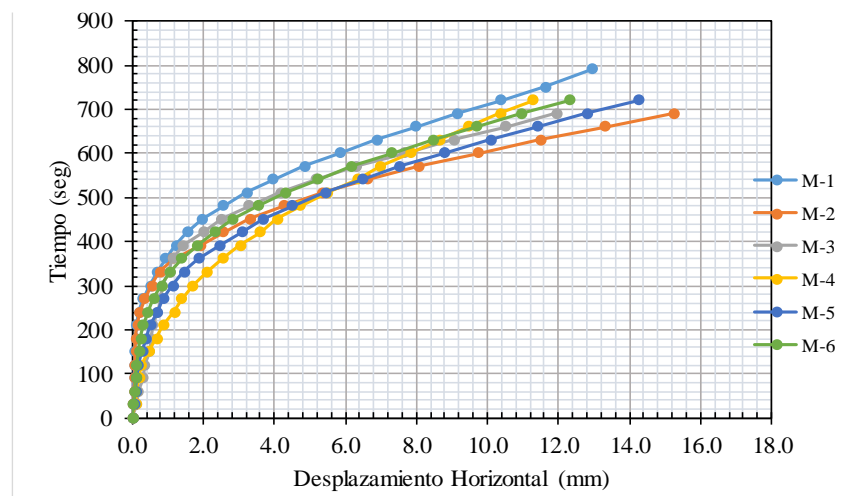
Desplazamiento vertical del murete con 6% viruta y 0% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 110

Desplazamiento horizontal del murete con 6% viruta y 0% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 2% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 6% viruta y 2% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 26.05 kg/cm².

Tabla 171

Módulo de corte de los especímenes con 6% viruta y 2% cal

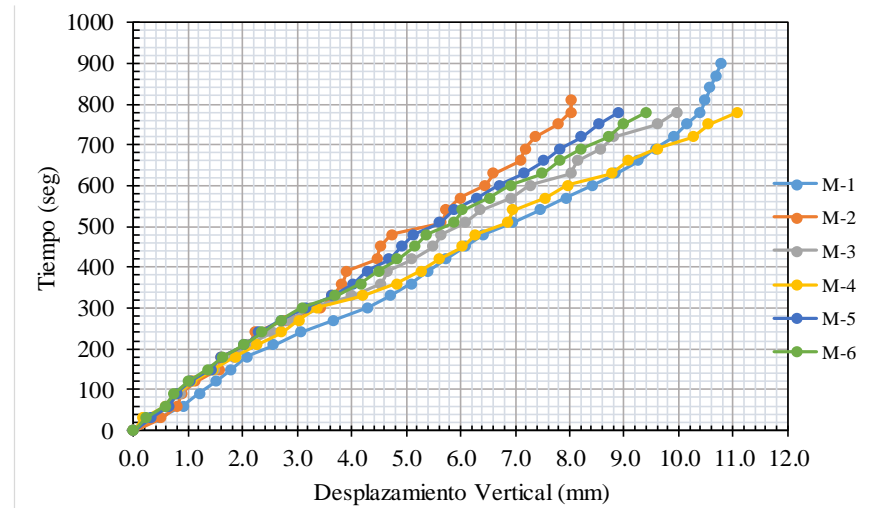
Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
			M-1	1268.90	0.68	3.15		
M-2	1146.43	0.56	2.21	0.008840	2.73	0.010920	0.019760	28.09
M-3	1175.86	0.58	2.83	0.011320	3.38	0.013520	0.024840	23.38
M-4	1227.61	0.61	3.48	0.013920	2.29	0.009160	0.023080	26.45
M-5	1080.13	0.52	2.44	0.009779	2.84	0.011340	0.021119	24.49
M-6	1221.48	0.60	2.79	0.011162	3.31	0.013253	0.024414	24.61
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²)								26.05
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)								2.30
Coefficiente de Variación								8.82%

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 111 y 112 grafican los datos obtenidos en la pruebas.

Figura 111

Desplazamiento vertical del murete con 6% viruta y 2% cal

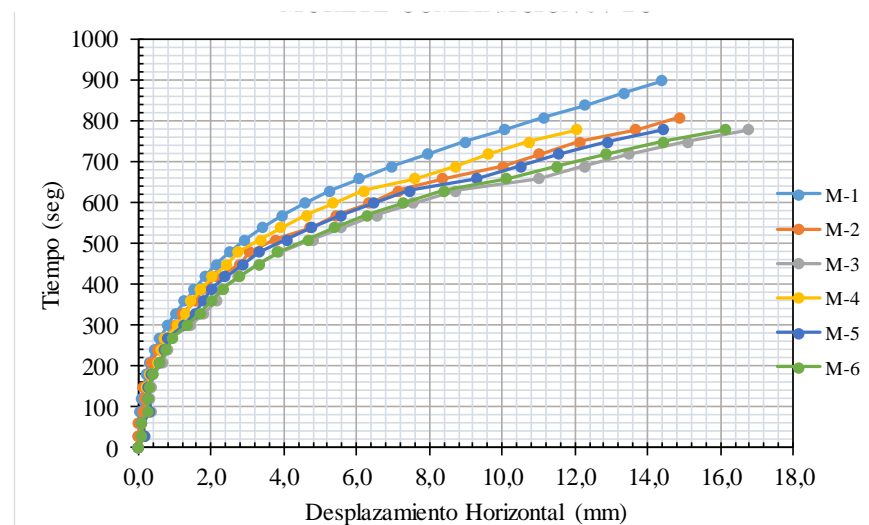


Fuente: Elaboración propia.

Estos gráficos se desarrollaron mediante los datos obtenidos de las pruebas.

Figura 112

Desplazamiento horizontal del murete con 6% viruta y 2% cal



Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación 6% viruta y 4% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 6% viruta y 4% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 27.81 kg/cm².

Tabla 172

Módulo de corte de los especímenes con 6% viruta y 4% cal

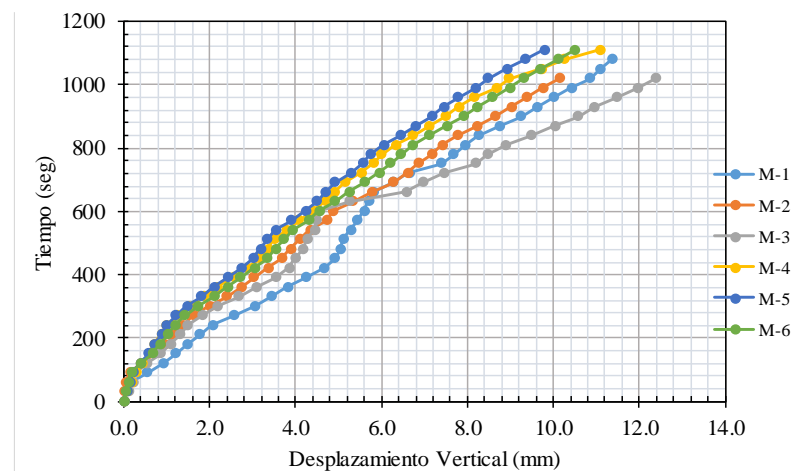
Especimen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
			M-1	1466.85	0.76	3.27		
M-2	1457.92	0.71	3.26	0.013040	3.38	0.013532	0.026572	26.62
M-3	1356.47	0.65	2.75	0.011000	3.56	0.014240	0.025240	25.94
M-4	1358.50	0.69	3.45	0.013800	2.33	0.009320	0.023120	30.05
M-5	1524.66	0.78	3.49	0.013966	2.69	0.010760	0.024726	31.36
M-6	1508.48	0.77	3.84	0.015343	3.05	0.012211	0.027554	27.81
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²) 27.81								
Desviación Estándar σ (Kg/cm²) 2.46								
Coefficiente de Variación 8.83%								

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 113 y 114 grafican los datos obtenidos.

Figura 113

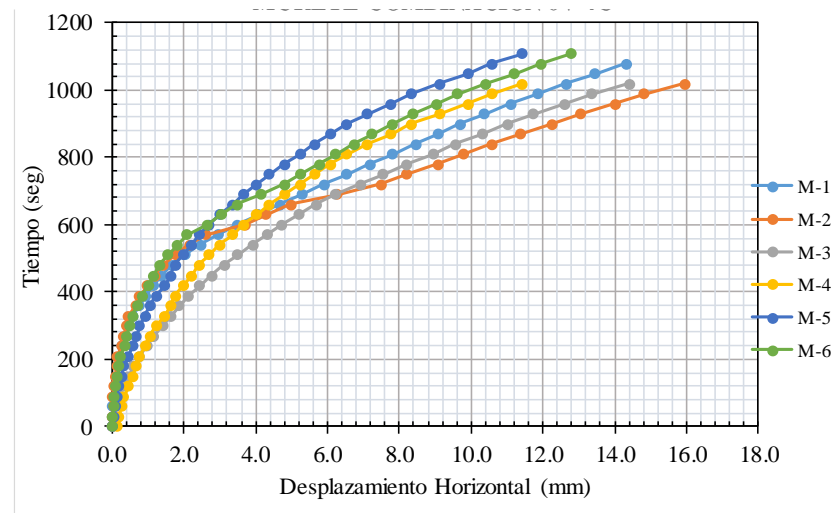
Desplazamiento vertical del murete con 6% viruta y 4% cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 114

Desplazamiento horizontal del murete con 6% viruta y 4% cal



Fuente: Elaboración propia

- **Combinación 6% viruta y 6% cal**

El valor de corte promedio (G_m) obtenido mediante la combinación de la muestra de suelo que incluía 6% viruta y 6% cal, al ensayar estos especímenes de 30 x 30 x 10 cm resultó 20.38 kg/cm².

Tabla 173

Módulo de corte de los especímenes con 6% viruta y 6% cal

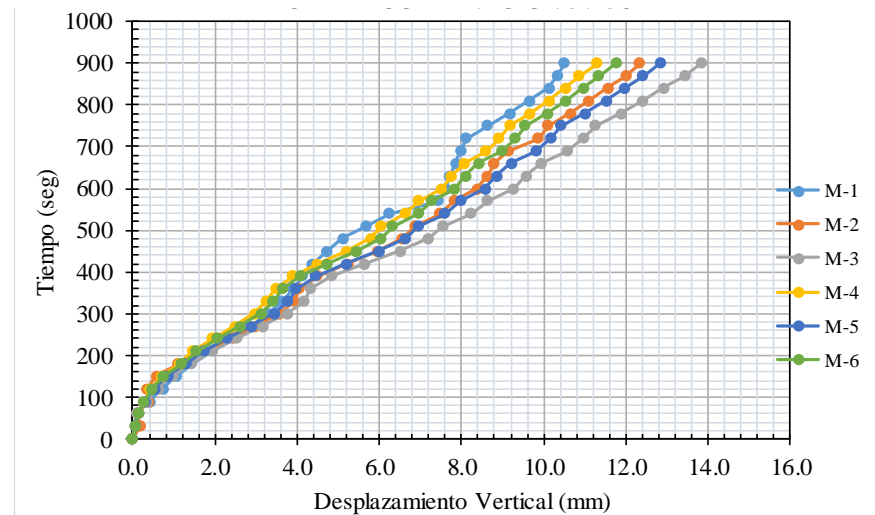
Especímen	Máxima Carga Aplicada P _{máx} (Kg)	ΔV_m (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria-Vertical		Deformación Unitaria-Horizonta		Deformación Angular (Y)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	ϵ_2 (mm/mm)		
M-1	1315.56	0.61	3.84	0.015340	2.73	0.010920	0.026260	23.09
M-2	1187.02	0.55	3.90	0.015600	3.67	0.014697	0.030297	18.23
M-3	1078.44	0.49	4.46	0.017840	3.32	0.013280	0.031120	15.61
M-4	1127.15	0.53	3.73	0.014920	1.98	0.007920	0.022840	23.09
M-5	1186.72	0.61	4.79	0.019176	2.56	0.010224	0.029401	20.61
M-6	1039.56	0.52	4.43	0.017709	1.59	0.006351	0.024061	21.66
Promedio Módulo de Corte G_m (Kg/cm²)								20.38
Desviación Estándar σ (Kg/cm²)								2.96
Coefficiente de Variación								14.51%

Nota: Para el ensayo la longitud de los diales es de 250 mm. Fuente: Creación única de los testistas.

Estas Figuras 115 y 116 grafican el tiempo versus el desplazamiento vertical y horizontal de los muretes sometidos a cargas diagonales.

Figura 115

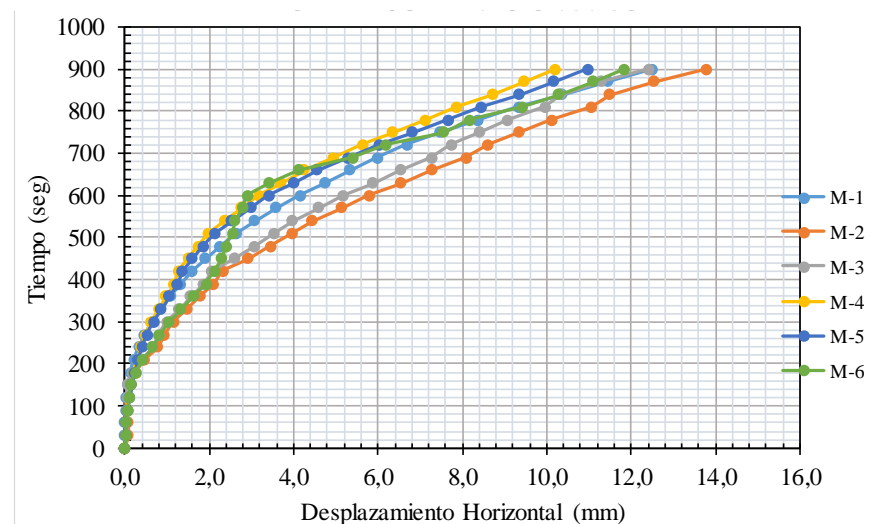
Desplazamiento vertical del murete con 6% Viruta y 6% Cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 116

Desplazamiento horizontal del murete con 6% viruta y 6% cal



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.6 Formas de fallas en los especímenes

Una vez que los muretes se sometieron a compresión diagonal, la falla ideal es una grieta diagonal que ocurre en la dirección de la carga aplicada y es producida por las cargas de corte. Esta falla ideal evidencia que el murete se fabricó adecuadamente asimismo el esfuerzo de corte se aplicó uniformemente en todo el murete.

Las fallas más frecuentes de los muretes que fueron evaluadas a esfuerzos de corte o diagonal se muestran en las Figuras 117, 118 y 119. En el transcurso del ensayo a corte del murete, se produjo la separación de partículas, se comportó dúctilmente manifestando agrietamientos en forma diagonal.

Figura 117

Falla por tracción diagonal en el murete típico o grupo control



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Figura 118

Falla diagonal en el murete con adición de cal



Fuente: Creación única de los tesisistas.

El procedimiento para obtener datos de estos ensayos fue planificado y organizado. Con el fin de obtener todos los datos y no omitir ninguno.

Figura 119

Falla mixta en el murete



Fuente: Creación única de los tesisistas.

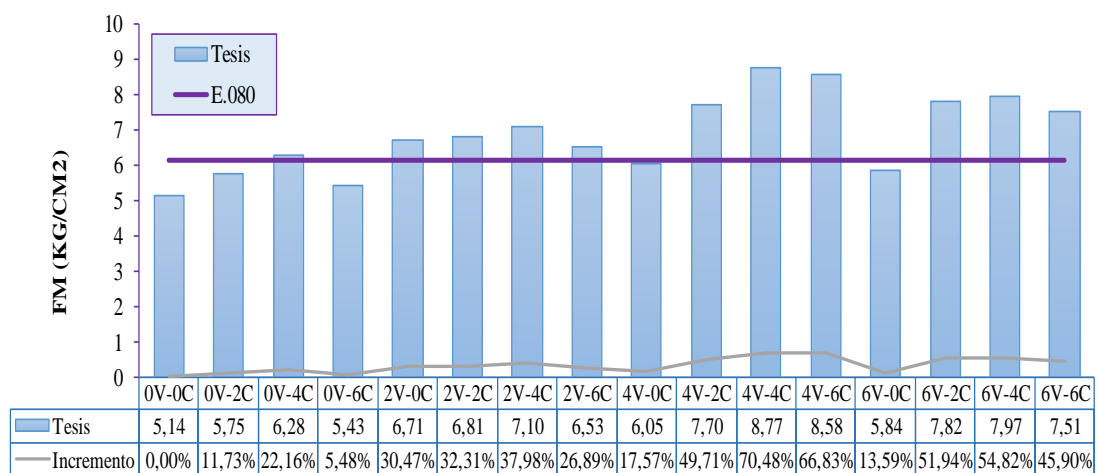
4.1.3 Interpretación de resultados

4.1.3.1 Interpretación de la resistencia a compresión axial

Mediante la Figura 120 se ilustra el gráfico comparativo tipo barra de la resistencia a cargas axiales, obtenidas al ensayar los diferentes muretes tipo tapial con adición de viruta y cal en 2%, 4% y 6%. Se especifica la resistencia última de 6.12 kg/cm^2 que exige la Norma E.080, esta resistencia mínima deberían cumplir todo los muretes evaluados para satisfacer las resistencia. Los resultados que se lograron obtener de las pruebas se detallan en la Tabla 61-76 (pág. 177-187).

Figura 120

Resistencia a compresión axial de las combinaciones



Fuente: Creación única de los tesis.

A continuación, se menciona el análisis e interpretación de cada muestra ensayada a compresión axial:

- La muestra patrón o control ensayada con 0% de viruta y 0% de cal tiene una resistencia de 5.14 kg/cm^2 , este espécimen servirá como referencia para el análisis comparativo con las demás muestras.



- La muestra con 0% de viruta y 2% de cal tiene una resistencia de 5.75 kg/cm^2 que tiene un incremento del 11.73% con respecto al grupo control.
- La muestra con 0% de viruta y 4% de cal logra una resistencia de 6.28 kg/cm^2 , tiene un aumento del 22.16% con respecto al grupo control.
- La muestra con 0% de viruta y 6% de cal obtiene una resistencia de 5.43 kg/cm^2 , tiene un aumento del 5.48% con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 0% de cal alcanza una resistencia de 6.71 kg/cm^2 , tiene un aumento del 30.47 % con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 2% de cal tiene una resistencia de 6.81 kg/cm^2 , tiene un aumento del 32.31% con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 4% de cal tiene una resistencia de 7.10 kg/cm^2 , tiene un aumento del 37.98% con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 6% de cal tiene una resistencia de 6.53 kg/cm^2 , tiene un aumento del 26.89% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 0% de cal tiene una resistencia de 6.05 kg/cm^2 , tiene un aumento del 17.57% con respecto al grupo control.



- La muestra con 4% de viruta y 2% de cal tiene una resistencia de 7.70 kg/cm^2 , tiene un aumento del 49.71% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 4% de cal tiene una resistencia de 8.77 kg/cm^2 , tiene un aumento del 70.48% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 6% de cal tiene una resistencia de 8.58 kg/cm^2 , tiene un aumento del 66.83% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 0% de cal tiene una resistencia de 5.84 kg/cm^2 , tiene un aumento del 13.59% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 2% de cal tiene una resistencia de 7.82 kg/cm^2 , tiene un aumento del 51.94% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 4% de cal tiene una resistencia de 7.97 kg/cm^2 , tiene un aumento del 54.82% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 6% de cal tiene una resistencia de 7.51 kg/cm^2 , tiene un aumento del 45.90% con respecto al grupo control.

Teniendo los resultados obtenidos, está claro que la mayoría de estos resultados son superiores al valor mínimo de 6.12 kg/cm^2 que exige la Norma E.080, siendo el valor máximo de compresión axial la

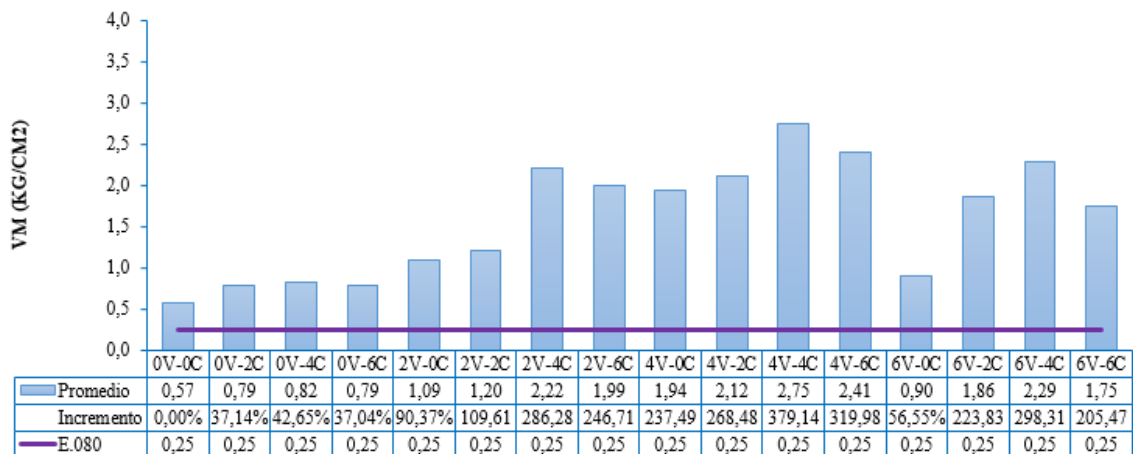
combinación 4% de viruta y 4% de cal con un valor de 8.77 kg/cm² que tiene un aumento del 70.48% en relación al grupo control cuya resistencia es de 5.14 kg/cm²; asimismo se tiene un aumento mínimo en la resistencia a compresión axial la combinación 0% de viruta y 6% de cal con un valor de 5.43 kg/cm² que tiene un incremento del 5.48% con relación al grupo control, ésta resistencia presentada es debido a que el murete es muy rígido y frágil a esfuerzos de compresión.

4.1.3.2 Interpretación de la resistencia a compresión diagonal

Mediante la Figura 121 se ilustra un gráfico comparativo tipo barra de la resistencia a cargas diagonales, obtenidas al ensayar los diferentes muretes tipo tapial con adición de viruta y cal en 2%, 4% y 6%. Se especifica la resistencia ultima de 0.25 kg/cm² que exige la Norma E.080, esta resistencia mínima deberían cumplir todo los muretes evaluados para satisfacer las resistencia. Los resultados que se lograron obtener de las pruebas se detallan en la Tabla 142-157 (pág. 237-247).

Figura 121

Resistencia a compresión diagonal de las combinaciones



Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se detalla el análisis e interpretación de cada muestra ensayada a compresión diagonal:

- La muestra patrón o control ensayada con 0% de viruta y 0% de cal con un valor de 0.57 kg/cm^2 , este espécimen servirá como referencia para el análisis comparativo con las demás muestras.
- La muestra con 0% de viruta y 2% de cal logro resistir 0.79 kg/cm^2 , tiene un aumento del 37.14% con respecto al grupo control.
- La muestra con 0% de viruta y 4% de cal tiene una resistencia de 0.82 kg/cm^2 , tiene un aumento del 42.65% con respecto al grupo control.
- La muestra con 0% de viruta y 6% de cal tiene una resistencia de 0.79 kg/cm^2 , tiene un aumento del 37.04% con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 0% de cal tiene una resistencia de 1.09 kg/cm^2 , tiene un aumento del 90.37% con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 2% de cal tiene una resistencia de 1.20 kg/cm^2 , un aumento del 109.61% con relación al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 4% de cal tiene una resistencia de 2.22 kg/cm^2 , un aumento del 286.28% con respecto al grupo control.



- La muestra con 2% de viruta y 6% de cal tiene una resistencia de 1.99 kg/cm^2 , un aumento del 246.71% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 0% de cal tiene una resistencia de 1.94 kg/cm^2 , un aumento del 237.49% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 2% de cal tiene una resistencia de 2.12 kg/cm^2 , un aumento del 268.48% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 4% de cal tiene una resistencia de 2.75 kg/cm^2 , un aumento del 379.14% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 6% de cal tiene una resistencia de 2.41 kg/cm^2 , un aumento del 319.98% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 0% de cal tiene una resistencia de 0.90 kg/cm^2 , un aumento del 56.55% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 2% de cal tiene una resistencia de 1.86 kg/cm^2 y un aumento del 223.83% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 4% de cal tiene una resistencia de 2.29 kg/cm^2 y un aumento del 298.31% con respecto al grupo control.

- La muestra con 6% de viruta y 6% de cal tiene una resistencia de 1.75 kg/cm² y un aumento del 205.47% con respecto al grupo control.

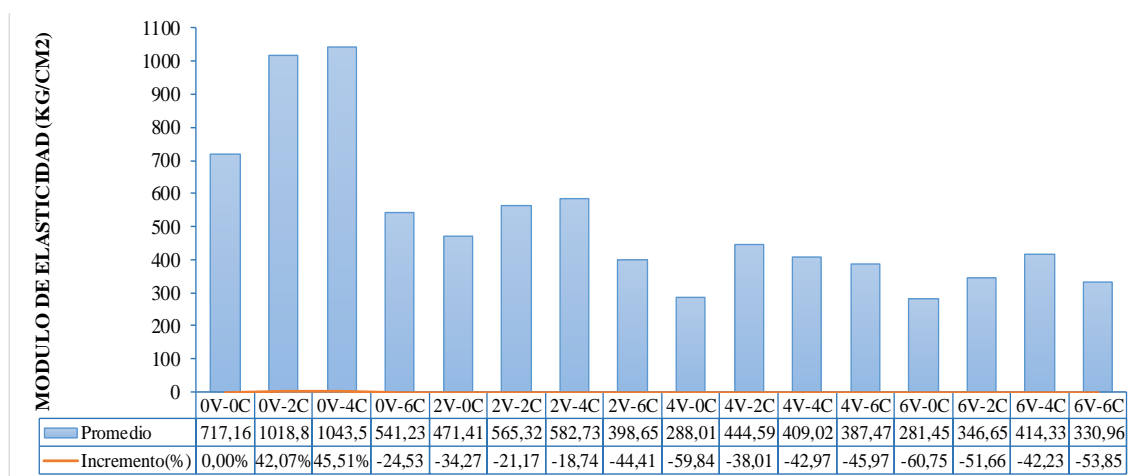
Teniendo los resultados obtenidos, está claro que la mayoría de estos resultados son superiores al valor mínimo de 0.25 kg/cm² que exige la Norma E.080, siendo el valor máximo de compresión la combinación 4% de viruta y 4% de cal con un valor de 2.75 kg/cm², asimismo se tiene un aumento mínimo en la resistencia diagonal la combinación 0% de viruta y 6% de cal con un valor de 0.79 kg/cm².

4.1.3.3 Interpretación del módulo de elasticidad

Mediante la Figura 122 que es un gráfico tipo barra se realiza una comparación de los módulos de elasticidad de los muretes, cuyos resultados están en la Tabla 77-93 (pág.188-203), de los diferentes muretes con adición de viruta y cal en 2%, 4% y 6%.

Figura 122

Módulo de elasticidad de la combinación



Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se detalla el análisis e interpretación del módulo de elasticidad obtenido de cada muestra en relación con la muestra patrón.

- La muestra patrón o control ensayado con 0% de viruta y 0% de cal tiene una elasticidad de 717.16 kg/cm^2 que servirá como referencia para el análisis de las demás muestras.
- La muestra con 0% de viruta y 2% cal su elasticidad es 1018.89 kg/cm^2 que tiene un incremento del 42.07%.
- La muestra con 0% de viruta y 4% de cal su elasticidad es 1043.56 kg/cm^2 , tiene un incremento del 45.51%.
- La muestra con 0% de viruta y 6% cal su elasticidad es 541.23 kg/cm^2 , tiene un descenso de 24.53% .
- La muestra con 2% de viruta y 0% cal su elasticidad es 471.41 kg/cm^2 , tiene un descenso del 34.27%.
- La muestra con 2% de viruta y 2% cal su elasticidad es 565.32 kg/cm^2 , tiene un descenso del 21.17%.
- La muestra con 2% de viruta y 4% cal su elasticidad es 582.73 kg/cm^2 , tiene un descenso del 18.74%.
- La muestra con 2% de viruta y 6% cal su elasticidad es 398.65 kg/cm^2 , tiene un descenso del 44.41%.
- La muestra con 4% de viruta y 0% cal su elasticidad es 288.01 kg/cm^2 , tiene un descenso del 59.84% .
- La muestra con 4% de viruta y 2% cal su elasticidad es 444.59 kg/cm^2 , tiene un descenso del 38.01%.



- La muestra con 4% de viruta y 4% cal su elasticidad es 409.02 kg/cm^2 , tiene un descenso del 42.97%.
- La muestra con 4% de viruta y 6% cal su elasticidad es 387.47 kg/cm^2 , tiene un descenso del 45.97%.
- La muestra con 6% de viruta y 0% cal su elasticidad es 281.45 kg/cm^2 , tiene un descenso del 60.75%.
- La muestra con 6% de viruta y 2% cal su elasticidad es 346.65 kg/cm^2 , que tiene un descenso del 51.66%.
- La muestra con 6% de viruta y 4% cal su elasticidad es 414.33 kg/cm^2 , que tiene un descenso del 42.23%.
- La muestra con 6% de viruta y 6% cal su elasticidad es 330.96 kg/cm^2 , que tiene un descenso del 53.85%.

De los ensayos realizado a las 16 combinaciones de viruta y cal, se obtiene un valor máximo del módulo de elasticidad en la combinación con 0% de viruta y 4% de cal con un valor de 1043.56 kg/cm^2 que tiene un aumento del 45.51% con respecto al grupo control cuya resistencia es de 717.16 kg/cm^2 ; asimismo se tiene un descenso del módulo de la elasticidad en la combinación 6% de viruta y 0% de cal con un valor de 281.45 kg/cm^2 que disminuyó en 60.75% con respecto al grupo control.

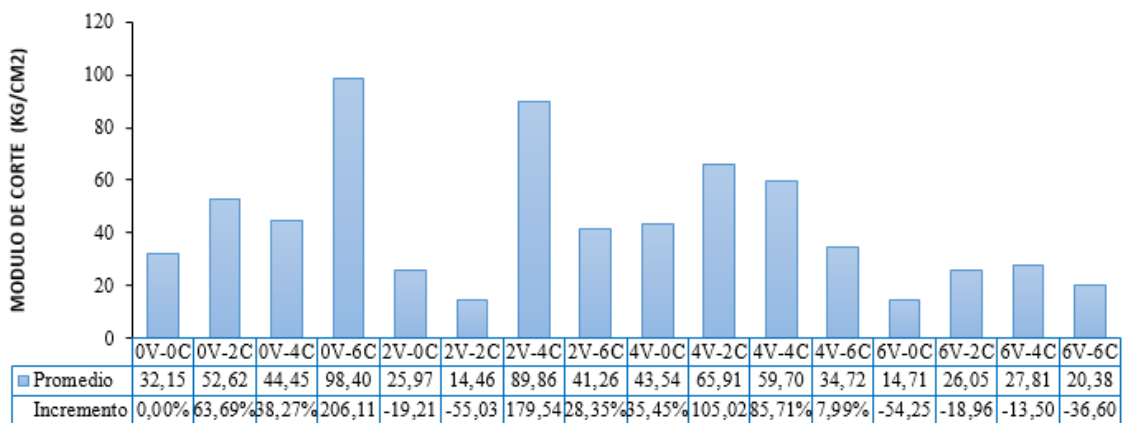
El descenso de la elasticidad se incrementa con la adición de 4% de viruta a más cantidad, según la Figura 122 se puede apreciar que la mayoría de las muestras reducen su módulo de elasticidad.

4.1.3.4 Interpretación del módulo de corte

Mediante la Figura 123 que es un gráfico tipo barra se realiza una comparación de los módulos de corte de los muretes, cuyos resultados están en la Tabla 158-173 (pág.248-271), de los diferentes muretes con adición de viruta y cal en 2%, 4% y 6%.

Figura 123

Módulo de corte de la combinación



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detalla el análisis e interpretación del módulo de corte obtenido de cada muestra:

- La muestra patrón o control ensayada con 0% de viruta y 0% de cal tiene un módulo de corte de 32.15 kg/cm² que servirá como referencia para el análisis de las demás muestras.
- La muestra con 0% de viruta y 2% su módulo de corte es de 52.62 kg/cm² que tiene un aumento del 63.69% con respecto al grupo control.



- La muestra con 0% de viruta y 4% de cal su módulo de corte es de 44.45 kg/cm² tiene un aumento del 38.27% con respecto al grupo control.
- La muestra con 0% de viruta y 6% de cal su módulo de corte es de 98.40 kg/cm² tiene un aumento del 206.11% con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 0% de cal su módulo de corte es de 25.97 kg/cm² tiene un descenso del 19.21% con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 2% de cal su módulo de corte es de 14.46 kg/cm² tiene un descenso del 55.03% con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 4% de cal su módulo de corte es de 89.86 kg/cm² tiene un aumento del 179.54% con respecto al grupo control.
- La muestra con 2% de viruta y 6% de cal su módulo de corte es de 41.26 kg/cm² tiene un aumento del 28.35% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 0% de cal su módulo de corte es de 43.54 kg/cm² tiene un aumento del 35.45% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 2% de cal su módulo de corte es de 65.91kg/cm² tiene un aumento del 105.02% con respecto al grupo control.



- La muestra con 4% de viruta y 4% de cal su módulo de corte es de 59.70 kg/cm² tiene un aumento del 85.71% con respecto al grupo control.
- La muestra con 4% de viruta y 6% de cal su módulo de corte es de 34.72 kg/cm² tiene un aumento del 7.99% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 0% de cal su módulo de corte es de 14.71 kg/cm² tiene un descenso del 54.25% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 2% de cal su módulo de corte es de 26.05 kg/cm² tiene un descenso del 18.96% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 4% de cal su módulo de corte es de 27.81 kg/cm² tiene un descenso del 13.50% con respecto al grupo control.
- La muestra con 6% de viruta y 6% de cal su módulo de corte es de 20.38 kg/cm² tiene un descenso del 36.60% con respecto al grupo control.

De los ensayos realizado a las 16 combinaciones de viruta y cal, se obtiene un valor máximo del módulo de corte la combinación con 0% de viruta y 6% de cal cuyo valor de 98.40 kg/cm² que tiene un aumento del 206.11% en relación al grupo control ,asimismo se tiene un descenso del módulo de corte en la combinación 2% de viruta y 2% de cal con un valor de 14.46 kg/cm² que tiene un descenso del 55.03% con respecto al grupo control. El descenso del módulo de corte con la adición con 6% de viruta

según la Figura 123, es debido a que un exceso de viruta no aporta resistencia al corte y la viruta en el interior del murete origina múltiples planos de falla al someterlo a esfuerzo de corte y éste influye en la disminución del módulo de corte.

4.2 CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.2.1 Resistencia a compresión axial de muretes

La prueba de resistencia a la compresión axial de los muretes se realizó con varios porcentajes de combinaciones de viruta y cal al 0%, 2%, 4% y 6%. Los datos adquiridos de esta prueba se utilizaron para evaluar la variable y verificar la hipótesis.

4.2.1.1 Prueba de normalidad

Usando la correspondiente prueba de Shapiro Wilk, que se utiliza para muestras que son iguales o menores a 50, se verificó la normalidad que existe en los datos para la variable de resistencia a compresión axial con la asistencia del programa SPSS. Los datos que se procesaron para la verificación se resumen en la Tabla 174.

Tabla 174

Estadístico de la variable de resistencia a compresión axial

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
6	Cuantitativo	Razón	Shapiro-Wilk

Fuente: Creación única de los tesis.

4.2.1.1.1 Hipótesis estadística

H_0 : La distribución de la resistencia a compresión axial no es diferente a la distribución normal

H₁: La distribución de la resistencia a compresión axial es diferente a la distribución normal

4.2.1.1.2 Regla de decisión

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$ rechace la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} > 0.05$ no rechace la hipótesis nula

Los resultados de la prueba de normalidad que fueron procesados utilizando el software SPSS se muestran en la Tabla 175.

Estos datos procesados se obtuvieron de los reportes de los ensayos.

Tabla 175

Prueba de normalidad de datos de resistencia a compresión axial

Descripción	Shapiro-Wilk			Decisión
	N	Estadístico	p-valor	
M: 0V% y 0%C	6	0.951	0.745	Distribución Normal
M: 0V% y 2%C	6	0.973	0.912	Distribución Normal
M: 0V% y 4%C	6	0.979	0.948	Distribución Normal
M: 0V% y 6%C	6	0.842	0.136	Distribución Normal
M: 2V% y 0%C	6	0.879	0.265	Distribución Normal
M: 2V% y 2%C	6	0.926	0.552	Distribución Normal
M: 2V% y 4%C	6	0.980	0.952	Distribución Normal
M: 2V% y 6%C	6	0.965	0.859	Distribución Normal
M: 4V% y 0%C	6	0.925	0.545	Distribución Normal
M: 4V% y 2%C	6	0.881	0.273	Distribución Normal
M: 4V% y 4%C	6	0.898	0.364	Distribución Normal
M: 4V% y 6%C	6	0.953	0.767	Distribución Normal
M: 6V% y 0%C	6	0.974	0.916	Distribución Normal
M: 6V% y 2%C	6	0.943	0.686	Distribución Normal
M: 6V% y 4%C	6	0.918	0.492	Distribución Normal
M: 6V% y 6%C	6	0.986	0.976	Distribución Normal

Nota: Los datos de las pruebas se detalla en las páginas 174-184. Para la descripción: (M: 0V% y 0%C) = muestra con 0% de viruta y 0% de cal. Fuente: Procesado y extraído por los testistas mediante el software SPSS.



4.2.1.1.3 Interpretación y decisión

- Para los especímenes de suelo que incluían 0%V y 0%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.745 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se determina que la distribución de la resistencia que incluye 0% de viruta y 0% de cal no es distinto a la distribución normal.
- Para los especímenes de suelo que incluían 0%V y 2%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.912 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 0% de viruta y 2% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 0%V y 4%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.948 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 0% de viruta y 4% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 0%V y 6%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.136 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 0% de viruta y 6% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 2%V y 0%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.265 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que



la distribución de la resistencia a compresión axial con 2% de viruta y 0% de cal no es diferente a la distribución normal.

- Para las muestras con 2%V y 2%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.552 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 2% de viruta y 2% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 2%V y 4%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.952 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 2% de viruta y 4% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 2%V y 6%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.859 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 2% de viruta y 6% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 4%V y 0%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.545 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 4% de viruta y 0% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 4%V y 2%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.273 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que



la distribución de la resistencia a compresión axial con 4% de viruta y 2% de cal no es diferente a la distribución normal.

- Para las muestras con 4%V y 4%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.364 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 4% de viruta y 4% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 4%V y 6%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.767 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 4% de viruta y 6% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 6%V y 0%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.916 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 6% de viruta y 0% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 6%V y 2%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.686 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 6% de viruta y 2% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 6%V y 4%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.492 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que

la distribución de la resistencia a compresión axial con 6% de viruta y 4% de cal no es diferente a la distribución normal.

- Para las muestras con 6%V y 6%C:

La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.976 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión axial con 6% de viruta y 6% de cal no es diferente a la distribución normal.

El p -valor según la Tabla 175 son superiores al nivel de significancia de 0.05 se confirma que la distribución de la resistencia a compresión axial con adición de viruta y cal tiene distribución normal.

4.2.1.2 Prueba de relación entre variables

Con el propósito de determinar si existe o no una asociación entre las variables, se utiliza la prueba de correlación de Pearson en conjunto con programa SPSS.

4.2.1.2.1 Variables: Viruta y resistencia a compresión axial

- **Hipótesis estadística**

H_0 : No existe una correlación lineal entre la viruta y resistencia a compresión axial de los muretes de tapial.

H_1 : Existe una correlación lineal entre la viruta y la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial.

- **Regla de decisión**

Si p -valor ≤ 0.05 rechace la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} > 0.05$ no rechaza la hipótesis nula

En la Tabla 176 se presenta el resultado del análisis estadístico de correlación de Pearson entre las variables de adición de viruta y la resistencia a compresión axial, con el software SPSS.

Tabla 176

Correlación entre adición de viruta y la resistencia a compresión axial

N	Correlación de Pearson (r)	p-valor	Decisión
24	0.384	0.064	Se acepta H_0

Fuente: Creación única de los tesis, datos procesado y extraídos del software SPSS.

- **Interpretación y decisión**

Según los datos del análisis estadístico las variables de adición de viruta y la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial, se correlacionan positivamente de manera muy baja (0.384) según la Tabla 176. Con un nivel de significancia superior al 0.05. Por lo tanto, la hipótesis nula H_0 se acepta y la hipótesis H_1 alternativa se rechaza; entonces no existe correlación lineal entre las variables de adición de viruta y la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial.

4.2.1.2.2 Variables: Cal y resistencia a compresión axial

- **Hipótesis estadística**

H_0 : No existe una correlación lineal entre las variables de adición de cal y la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial.

H₁: Existe una correlación lineal entre las variables de adición de cal y la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial.

- **Regla de decisión**

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$ rechace la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} > 0.05$ no rechace la hipótesis nula

En la Tabla 177 se presenta el resultado del análisis estadístico de correlación de Pearson entre las variables de adición de cal y la resistencia a compresión axial, con el software SPSS.

Tabla 177

Correlación entre adición de cal y la resistencia a compresión axial

N	Correlación de Pearson (r)	p-valor	Decisión
24	0.273	0.196	Se acepta H ₀

Fuente: Creación única de los tesis, datos procesado con el software SPSS.

- **Interpretación y decisión**

Según los datos del análisis estadístico las variables de adición de cal y la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial, se correlacionan positivamente de manera muy baja (0.273) según la Tabla 177. Con un nivel de significancia superior al 0.05. Por lo tanto, la hipótesis nula H₀ se acepta y la hipótesis H₁ alternativa se rechaza; entonces no existe correlación lineal entre las variables de adición de cal y la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial.

4.2.1.3 Contraste de hipótesis

Para el contraste de hipótesis del ensayo de la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial adicionadas con viruta y cal, se hizo uso del estadístico de prueba ANOVA, donde éste permite determinar si el parámetro es diferente, analizando las medias de las diferentes muestras, es decir si es mayor o menor que nuestro valor hipotético

4.2.1.3.1 Hipótesis estadística

H₀: La adición de viruta y cal no influye significativamente en la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial

H₁: La adición de viruta y cal influye significativamente en la resistencia a compresión axial de los muretes de tapial

4.2.1.3.2 Estadístico de prueba ANOVA

H₀: $\mu_0 = 5.61$ (igualdad de las medias)

H₁: $\mu_1 \neq 5.61$ (las medias son diferentes)

En la Tabla 178 se detalla el análisis estadístico de la prueba ANOVA.

Donde se obtiene: $F_0 > F_{\text{crítico}}$ ($12.03 > 1.79$)

Según la Tabla 179, se rechaza la hipótesis nula **H₀**, se acepta la hipótesis alternativa **H₁**, entonces existen diferencias; la adición de viruta y cal influye significativamente en la resistencia a compresión axial.

Tabla 178

Análisis de la prueba ANOVA de resistencia a compresión axial

Descripción	Resistencia a compresión (kg/cm ²)						\bar{x}
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
M: 0%V y 0%C	5,87	4,97	6,36	5,43	5,51	5,53	5,61
M: 0%V y 2%C	6,75	5,88	6,24	6,87	7,59	5,57	6,48
M: 0%V y 4%C	8,22	7,79	6,70	6,80	7,20	5,93	7,11
M: 0%V y 6%C	6,36	5,56	7,26	6,00	5,74	5,56	6,08
M: 2%V y 0%C	7,63	8,67	6,78	6,83	7,44	7,13	7,41
M: 2%V y 2%C	7,82	8,79	6,88	6,78	8,15	7,17	7,6
M: 2%V y 4%C	8,65	9,83	7,45	7,90	6,69	8,63	8,19
M: 2%V y 6%C	7,70	8,63	7,36	6,59	7,82	6,26	7,39
M: 4%V y 0%C	7,11	7,75	6,31	7,45	7,06	5,52	6,87
M: 4%V y 2%C	8,45	9,51	7,61	8,79	9,54	7,56	8,58
M: 4%V y 4%C	9,97	9,39	10,39	8,08	9,61	10,52	9,66
M: 4%V y 6%C	9,33	8,40	10,38	9,27	10,02	8,67	9,35
M: 6%V y 0%C	6,79	7,59	6,12	6,86	8,62	5,56	6,92
M: 6%V y 2%C	8,54	9,30	7,53	8,00	9,44	8,51	8,55
M: 6%V y 4%C	9,86	10,35	7,63	8,39	9,69	8,30	9,04
M: 6%V y 6%C	8,23	8,83	7,64	8,04	7,24	8,51	8,08

Nota: Los resultados de las pruebas se puede ver en las páginas 174-184. Para la descripción: (M: 0V% y 0%C) = muestra con 0% de viruta y 0% de cal. Fuente: Procesado del tesista mediante el software SPSS.

Tabla 179

Resumen de la prueba ANOVA de la resistencia a compresión axial

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	F ₀	p-valor	F _{crítico}
Entre las muestras	123.09	15	12.03	7.59×10^{-15}	1.79
Dentro de las muestras	54.57	80			
Total	177.66	95			

Fuente: Procesado por los tesistas mediante el software SPSS.

4.2.2 Resistencia a compresión diagonal de muretes

Para evaluar la variable y dar validez de la hipótesis, se recopiló los datos del ensayo a resistencia a compresión diagonal de los muretes con diferentes porcentajes de combinación de viruta y cal (0%, 2%,4% y 6%).

4.2.2.1 Prueba de normalidad

Con el apoyo del software SPSS se logró verificar la normalidad de los datos de la variable resistencia a compresión diagonal según se detalla en la Tabla 180, utilizando la prueba pertinente de Shapiro Wilk, que se utiliza para muestras igual o inferiores a 50.

Tabla 180

Estadístico de la variable de resistencia a compresión diagonal

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
6	Cuantitativo	Razón	Shapiro-Wilk

Fuente: Creación única de los testistas.

4.2.2.1.1 Hipótesis estadística

H₀: La distribución de la resistencia a compresión diagonal no es diferente a la distribución normal.

H₁: La distribución de la resistencia a compresión diagonal es diferente a la distribución normal.

4.2.2.1.2 Regla de decisión

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$ rechace la hipótesis nula.

Si $p\text{-valor} > 0.05$ no rechace la hipótesis nula.

En la Tabla 181 se muestra los resultados de la prueba de normalidad procesados con el software SPSS.

Estos datos se obtuvieron del reporte de los ensayos realizados.

Tabla 181*Prueba de normalidad de datos de resistencia a compresión diagonal*

Descripción	Shapiro-Wilk			Decisión
	N	Estadístico	p-valor	
M: 0V% y 0%C	6	0.944	0.690	Distribución Normal
M: 0V% y 2%C	6	0.939	0.650	Distribución Normal
M: 0V% y 4%C	6	0.860	0.188	Distribución Normal
M: 0V% y 6%C	6	0.945	0.700	Distribución Normal
M: 2V% y 0%C	6	0.921	0.513	Distribución Normal
M: 2V% y 2%C	6	0.914	0.463	Distribución Normal
M: 2V% y 4%C	6	0.888	0.308	Distribución Normal
M: 2V% y 6%C	6	0.916	0.479	Distribución Normal
M: 4V% y 0%C	6	0.891	0.323	Distribución Normal
M: 4V% y 2%C	6	0.896	0.349	Distribución Normal
M: 4V% y 4%C	6	0.963	0.842	Distribución Normal
M: 4V% y 6%C	6	0.857	0.178	Distribución Normal
M: 6V% y 0%C	6	0.955	0.780	Distribución Normal
M: 6V% y 2%C	6	0.935	0.623	Distribución Normal
M: 6V% y 4%C	6	0.951	0.751	Distribución Normal
M: 6V% y 6%C	6	0.965	0.855	Distribución Normal

Nota: Los resultados de las pruebas se detallan en las páginas 234-244. Para la descripción: (M: 0V% y 0%C) = muestra con 0% de viruta y 0% de cal. Fuente: Procesado por los testistas con el software SPSS.

4.2.2.1.3 Interpretación y decisión

- Para las muestras con 0%V y 0%C:
La significancia no es menor de 0.05 ($p\text{-valor: } 0.690 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 0% de viruta y 0% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 0%V y 2%C:
La significancia no es menor de 0.05 ($p\text{-valor: } 0.650 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes



con 0% de viruta y 2% de cal no es diferente a la distribución normal.

- Para las muestras con 0%V y 4%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.188 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 0% de viruta y 4% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 0%V y 6%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.700 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 0% de viruta y 6% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 2%V y 0%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.513 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 2% de viruta y 0% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 2%V y 2%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.463 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes



con 2% de viruta y 2% de cal no es diferente a la distribución normal.

- Para las muestras con 2%V y 4%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.308 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 2% de viruta y 4% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 2%V y 6%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.479 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 2% de viruta y 6% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 4%V y 0%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.323 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 4% de viruta y 0% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 4%V y 2%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p -valor: $0.349 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 4% de viruta y 2% de cal no es diferente a la distribución normal.



- Para las muestras con 4%V y 4%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.842 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 4% de viruta y 4% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 4%V y 6%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.178 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 4% de viruta y 6% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 6%V y 0%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.780 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 6% de viruta y 0% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 6%V y 2%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.623 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 6% de viruta y 2% de cal no es diferente a la distribución normal.



- Para las muestras con 6%V y 4%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.751 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 6% de viruta y 4% de cal no es diferente a la distribución normal.
- Para las muestras con 6%V y 6%C:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.855 > 0.05$), por lo tanto se rechaza H_1 y se acepta H_0 , se llega a la conclusión que la distribución de la resistencia a compresión diagonal de muretes con 6% de viruta y 6% de cal no es diferente a la distribución normal.

El p-valor según la Tabla 181 son superiores al nivel de significancia de 0.05; se confirma que la distribución de la resistencia a compresión diagonal con adición de viruta y cal tiene distribución normal.

4.2.2.2 Prueba de relación entre variables

Se realiza mediante la prueba de correlación de Pearson con el uso del software SPSS, para verificar la asociación entre variables.

4.2.2.2.1 Variables: Viruta y resistencia a compresión diagonal

- **Hipótesis estadística**

H_0 : No existe una correlación lineal entre las variables de adición de viruta y la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial

H₁: Existe una correlación lineal entre las variables de adición de viruta y la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial.

- **Regla de decisión**

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$ rechace la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} > 0.05$ no rechace la hipótesis nula

En la Tabla 182 se presenta el resultado del análisis estadístico de correlación de Pearson entre las variables adición de viruta y la resistencia a compresión diagonal, con el software SPSS.

Tabla 182

Correlación adición de viruta y la resistencia a compresión diagonal

N	Correlación de Pearson (r)	p-valor	Decisión
24	0.376	0.070	Se acepta H ₀

Fuente: Elaboración propia, datos procesado y extraídos del software SPSS.

- **Interpretación y decisión**

Según los datos del análisis estadístico las variables de adición de viruta y la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial, se correlacionan positivamente de manera muy baja (0.376) según la Tabla 182. Con un nivel de significancia superior al 0.05. Por lo tanto, la hipótesis nula **H₀** se acepta y la hipótesis **H₁** alternativa se rechaza; entonces no existe correlación lineal entre las variables de adición de viruta y la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial.

4.2.2.2.2 Variables: Cal y resistencia a compresión diagonal

- **Hipótesis estadística**

H₀: No existe una correlación lineal entre las variables de adición de cal y la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial

H₁: Existe una correlación lineal entre las variables de adición de cal y la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial

- **Regla de decisión**

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$ rechace la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} > 0.05$ no rechace la hipótesis nula

En la Tabla 183 se presenta el resultado del análisis estadístico de correlación de Pearson entre las variables de adición de cal y la resistencia a compresión diagonal, con el software SPSS.

Tabla 183

Correlación adición de cal y la resistencia a compresión diagonal

N	Correlación de Pearson (r)	p-valor	Decisión
24	0.699	0.00015	Se acepta H ₁

Fuente: Creación única de los tesis, datos procesados mediante el software SPSS.

- **Interpretación y decisión**

Según los datos del análisis estadístico las variables de adición de cal y la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial, se correlacionan positivamente de manera elevada (0.699) según la Tabla 183. Con un nivel de significancia inferior al 0.05. Por lo tanto, la hipótesis nula H₀ se rechaza y la hipótesis H₁ alternativa se acepta;



entonces existe correlación lineal entre las variables de adición de cal y la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial.

4.2.2.3 Contraste de hipótesis

Para el contraste de hipótesis del ensayo de la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial adicionadas con viruta y cal, se hizo uso del estadístico de prueba ANOVA, donde éste permite determinar si el parámetro es diferente, analizando las medias de las diferentes muestras, es decir si es mayor o menor que nuestro valor hipotético.

4.2.2.3.1 Hipótesis estadística

H₀: La adición de viruta y cal no influye significativamente en la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial.

H₁: La adición de viruta y cal influye significativamente en la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial.

4.2.2.3.2 Estadístico de prueba ANOVA

H₀: $\mu_0 = 0.63$ (igualdad de las medias)

H₁: $\mu_1 \neq 0.63$ (las medias son diferentes)

En la Tabla 184 se detalla el análisis estadístico de la prueba ANOVA:

Tabla 184

Análisis de la prueba ANOVA de resistencia a compresión diagonal

Descripción	Resistencia a compresión (kg/cm ²)						\bar{x}
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
M: 0%V y 0%C	0,57	0,61	0,64	0,68	0,72	0,58	0,63
M: 0%V y 2%C	0,81	0,80	0,78	0,86	0,82	0,89	0,83
M: 0%V y 4%C	0,85	0,84	0,93	0,84	0,92	0,81	0,87
M: 0%V y 6%C	0,87	0,85	0,76	0,81	0,88	0,82	0,83
M: 2%V y 0%C	1,15	1,12	1,24	1,33	1,32	1,06	1,2
M: 2%V y 2%C	1,35	1,37	1,29	1,23	1,19	1,22	1,28
M: 2%V y 4%C	2,32	2,42	2,34	2,21	2,20	2,43	2,32
M: 2%V y 6%C	2,10	2,05	2,21	2,18	1,99	1,98	2,09
M: 4%V y 0%C	2,17	2,14	1,91	1,89	2,31	2,24	2,11
M: 4%V y 2%C	2,37	2,15	2,13	2,23	2,26	2,12	2,21
M: 4%V y 4%C	3,05	2,96	2,78	2,68	2,95	2,88	2,88
M: 4%V y 6%C	2,60	2,44	2,34	2,55	2,59	2,62	2,52
M: 6%V y 0%C	1,04	0,89	0,94	1,00	0,97	0,90	0,96
M: 6%V y 2%C	2,09	1,92	1,97	2,06	1,78	2,01	1,97
M: 6%V y 4%C	2,44	2,42	2,23	2,31	2,49	2,54	2,41
M: 6%V y 6%C	2,18	1,98	1,79	1,91	1,93	1,71	1,92

Nota: Los resultados de las pruebas se aprecian en las paginas 234-244. Para la descripción: (M: 0V% y 0%C)=muestra con 0% de viruta y 0% de cal. Fuente: Procesado por los tesisistas mediante el software SPSS.

Tabla 185

Resumen de la prueba ANOVA de la resistencia a compresión diagonal

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	F ₀	p-valor	F _{crítico}
Entre las muestras	47.92	15	298.31	1.34×10^{-63}	1.79
Dentro de las muestras	0.85	80			
Total	48.77	95			

Fuente: Procesado y extraído del software SPSS por los tesisistas.

Donde se obtiene: $F_0 > F_{crítico}$ (298.31 > 1.79)

Según la Tabla 185, rechaza la hipótesis nula H_0 , se acepta la hipótesis alternativa H_1 , entonces existen diferencias; la adición de viruta y cal influye significativamente en la resistencia a compresión diagonal de los muretes de tapial.

4.3 DISCUSIÓN

4.3.1 Resistencia a compresión axial de muretes

4.3.1.1 Relación entre la adición de cal y la resistencia

Los resultados del ensayo se muestran en la Figura 120 (pág.274), donde se obtiene un incremento de la resistencia a compresión axial del murete adicionando 2%, 4% y 6% de cal, que tiene un valor de 5.75 kg/cm², 6.28 kg/cm² y 5.43 kg/cm² respectivamente, representando un incremento de la resistencia de 11.73%, 22.16% y 5.48% superior a la muestra patrón respectivamente. Estos valores demuestran que con solo adicionar 4% de cal eleva su resistencia a compresión axial del murete, pero no se llega a incrementar la resistencia adicionando más cal como el caso de la muestra con 6% cal. Estos valores se muestran en la Figura 124.

Así mismo, la investigación de Altamirano (2018) indica que “la resistencia a compresión del murete alcanzo valores de 3.66 kg/cm², 3.06 kg/cm² y 2.60 kg/cm² al incorporar cal en 6%, 12% y 18% respectivamente en base al suelo seco, de los cuales disminuyeron en 6.54%, 70% y 74.51% frente al valor de control de 10.20 kg/cm², como se ilustra mediante la Figura 124”.

Los datos reflejan que a mayor adición de cal se reduce la resistencia a compresión axial del murete, esto sucede debido que se ensayaron muestras con demasiada adición de cal y no se investigó menores incorporaciones, donde sí se pueda apreciar considerable aporte de la cal a la resistencia, no consideró estudios previos para poder ensayar

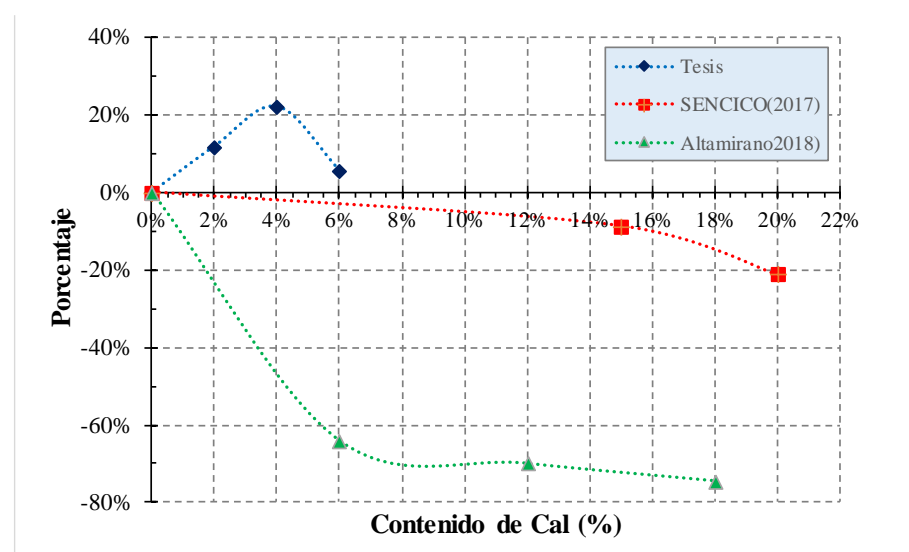
las muestras a menores incorporación de la cal; en cambio, éste estudio si analizó la influencia de la adición de la cal en 2%, 4% y 6%, donde ésta incorporación es mínima y se pudo obtener una máxima resistencia a compresión axial.

En la investigación por la Gerencia de Investigación y Normalización SENCICO (2017) “señala que la resistencia a compresión del murete alcanza valores de 14.24 kg/cm^2 y 12.29 kg/cm^2 al incorporar cal en 15% y 20% respectivamente, los cuales se reduce en 8.66% y 21,17% con respecto a la muestra patrón que tuvo una resistencia de 15.59 kg/cm^2 , estos valores se muestran en la Figura 124 ”.

Los resultados presentados no aportan considerable información debido que al adicionar demasiada cal no se puede apreciar la variación de la resistencia a compresión axial.

Figura 124

Comparación de porcentajes de cal y resistencia a compresión axial



Nota: se muestran los porcentajes de adición de cal vs el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión axial del murete de la presente tesis y también de otras investigaciones. Fuente: Creación única de los tesis.

4.3.1.2 Relación entre la adición de viruta y la resistencia

Para los ensayos de compresión axial que se muestran en la Figura 120 (pág.274) donde se obtiene un incremento de la resistencia a compresión axial del murete adicionando 2%, 4% y 6% de viruta, que tiene un valor de 6.71 kg/cm², 6.05 kg/cm² y 5.84 kg/cm² respectivamente, representando un incremento de la resistencia de 30.47%, 17.57% y 13.59% superior a la muestra patrón de 5.14 kg/cm². Estos valores demuestran que con solo adicionar 2% de viruta eleva su resistencia a compresión axial del murete, pero no se llega a incrementar la resistencia adicionando 4% y 6% viruta, estos incrementos de viruta reducen la resistencia significativamente. Estos valores se muestran en la Figura 125.

Así mismo, la investigación de Valera (2019) indica que “la resistencia a compresión del murete alcanzó valores de 45.11 kg/cm², y 43.78 kg/cm² al incorporar viruta en 2% y 3% respectivamente en base al suelo seco, de los cuales su resistencia se incrementó en 63.74%, 58.91% frente al valor de control de 27.55 kg/cm²”.

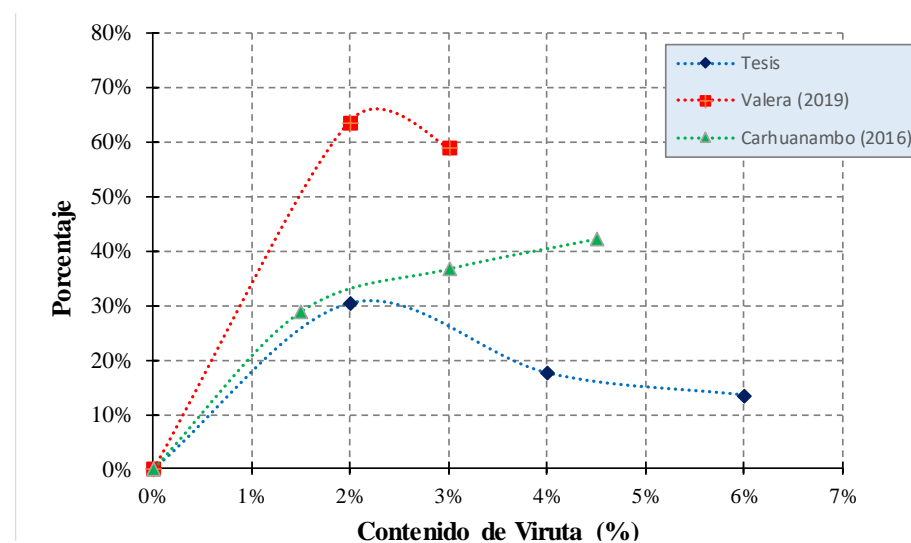
Los datos reflejan que al adicionar se 2% de viruta se tiene un incremento de la resistencia a compresión axial y al adicionar más viruta su resistencia tiende a disminuir como se puede ver en la Figura 125; estos resultados no son diferentes a la presente investigación, en ambas investigaciones se llegó a incrementar la resistencia a compresión axial con una incorporación de 2% de viruta, aportando confiabilidad a los resultados.

Además, en la investigación de Carhuanambo (2016) indica que “la resistencia a compresión axial del murete adicionando 1.5%, 3% y 4.5% de viruta, llegan a tener un valor de 28.04 kg/cm² , 29.74 kg/cm² y 30.94 kg/cm² respectivamente, representando un incremento de la resistencia de 32.45%, 40.48% y 46.15% superior a la muestra patrón de 21.17 kg/cm², en la Figura 125 se grafica estos resultados”.

Estos valores demuestran que la resistencia a compresión axial llega a incrementar hasta un 46.15%, su investigación solo se limita a la adición de 4.5% de viruta, para adicionar más viruta no cuenta con estudios para saber hasta qué porcentaje llega a incrementar su máxima resistencia; en cambio ésta presente investigación si analizó la incorporación de la viruta hasta hallar la máxima resistencia a compresión axial y también como la excesiva incorporación reduce la resistencia.

Figura 125

Comparación de porcentajes de viruta y resistencia a compresión axial



Nota: Se muestran los porcentajes de adición de viruta vs el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión axial del murete de la presente tesis y también de otras investigaciones. Fuente: Creación única de los tesisistas.

4.3.2 Resistencia a compresión diagonal de muretes

4.3.2.1 Relación entre la adición de cal y la resistencia

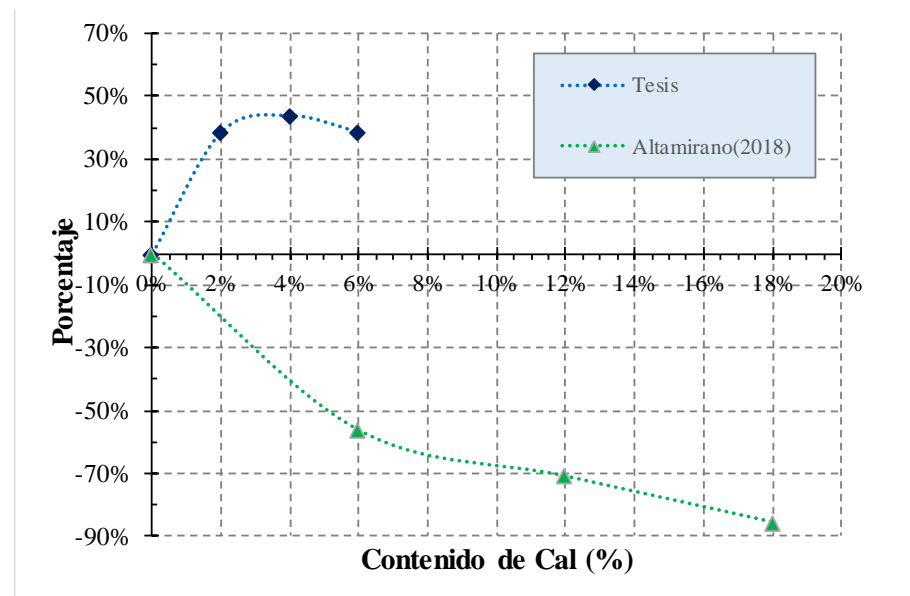
Los resultados del ensayo a compresión diagonal se muestran en la Figura 121 (pág.277), adicionando 2%, 4% y 6% de cal, donde se obtiene un incremento de la resistencia de 0.79 kg/cm^2 , 0.82 kg/cm^2 y 0.79 kg/cm^2 respectivamente, representando un incremento de 37.14%, 42.65% y 37.04% superior a la muestra patrón de 0.57 kg/cm^2 . Estos valores demuestran que con solo adicionar 4% de cal eleva su resistencia a compresión diagonal del murete, pero no se llega a incrementar la resistencia adicionando más cal como el caso de la muestra con 6% cal. Estos valores se ven en la Figura 126.

Así mismo, la investigación de Altamirano (2018), indica que “la resistencia a compresión diagonal del murete alcanzo valores de 0.21 kg/cm^2 , 0.14 kg/cm^2 y 0.07 kg/cm^2 al incorporar cal en 6%, 12% y 18% respectivamente en base al suelo seco, de los cuales disminuyeron en 56.25%, 70.83% y 85.42% frente al valor de control de 0.48 kg/cm^2 , la Figura 126 se grafica los resultados”.

Los datos reflejan que a mayor adición de cal se reduce la resistencia a compresión diagonal del murete, esto sucede debido que se ensayaron muestras con demasiada adición de cal y no se investigó menores incorporaciones de cal; en cambio la presente investigación si tomó en cuenta estos factores y analizó pequeñas rango de incorporación de la cal para evaluar su resistencia.

Figura 126

Comparación de porcentajes cal y resistencia a compresión diagonal



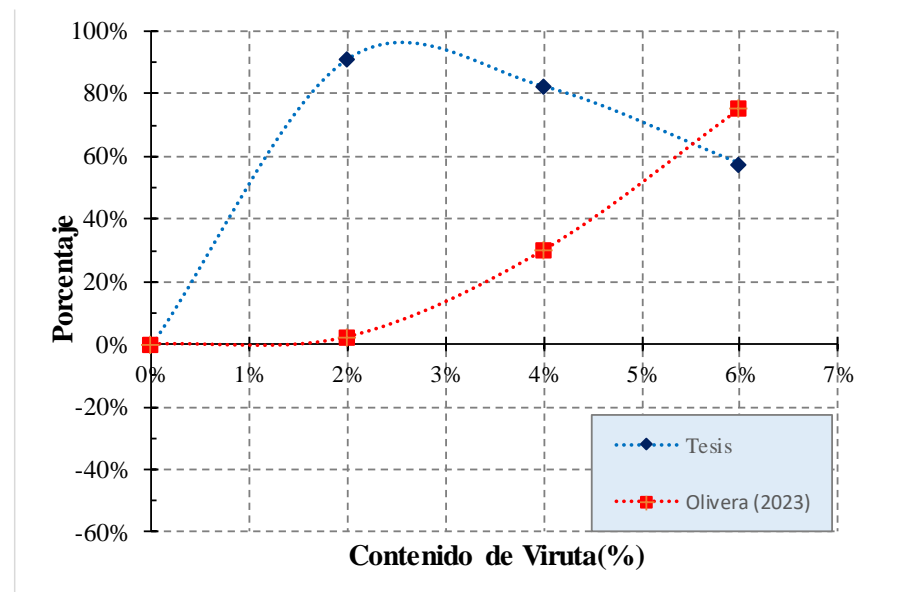
Nota: Se muestran los porcentajes de adición de cal vs el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión diagonal del murete de la presente tesis y también de otras investigaciones. Fuente: Creación única de los tesisistas.

4.3.2.2 Relación entre la adición de viruta y la resistencia

Los resultados del ensayo a compresión diagonal se muestran en la Figura 121(pág. 277), adicionando 2%, 4% y 6% de viruta, donde se obtiene un incremento de la resistencia de 1.09 kg/cm^2 , 1.04 kg/cm^2 y 0.90 kg/cm^2 respectivamente, representando 90.37%, 82.46 % y 56.55 % superior a la muestra patrón. Estos valores demuestran que al adicionar entre 2% y 4% de viruta eleva su resistencia a compresión diagonal del murete, pero no se llega a incrementar la resistencia adicionando más viruta como el caso de la muestra con 6% viruta. Mediante la Figura 127 se grafican los resultados que se hallaron.

Figura 127

Comparación de porcentajes viruta y resistencia a compresión diagonal



Nota: Se muestran los porcentajes de adición de viruta vs el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión diagonal del murete de la presente tesis y también de otras investigaciones. Fuente: Creación única de los tesisistas.

Así mismo, la investigación de Olivera (2023), indica que “la resistencia a compresión diagonal del murete alcanzo valores de 0.294 kg/cm^2 , 0.374 kg/cm^2 y 0.504 kg/cm^2 al incorporar viruta de tornillo en 2%, 4% y 6% respectivamente en base al suelo seco, de los cuales incrementaron su resistencia en 2.44%, 30.31% y 75.61% frente al valor de control de 0.287 kg/cm^2 , mediante la Figura 127 se grafica estos resultados”.

Los datos son diferentes a la presente investigación, debido a que utilizó viruta de tornillo, su resistencia llego a incrementar hasta un 75.61%, su investigación solo se limita a la adición de 6% de viruta, para adicionar más viruta no cuenta con estudios para saber hasta qué porcentaje llega a incrementar su máxima resistencia.

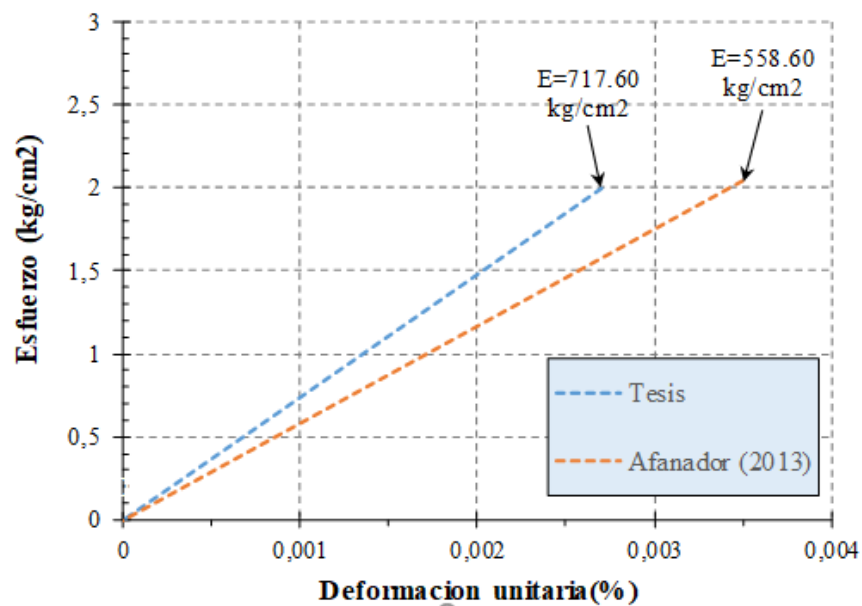
4.3.3 Propiedad del tapial

4.3.3.1 Módulo de elasticidad

Los resultados del ensayo se aprecian en la Figura 122 (pág. 279). El módulo de elasticidad o Young que se obtuvo en el ensayo de compresión axial del tapial típico de la presente investigación, tuvo un valor máximo de 886.91 kg/cm² y un valor mínimo de 619.23 kg/cm². El valor promedio del módulo de elasticidad para el tapial típico es 717.60 kg/cm², estos resultados se pueden observar en la Figura 128.

Figura 128

Comparación del módulo de elasticidad



Fuente: Creación única de los tesisistas.

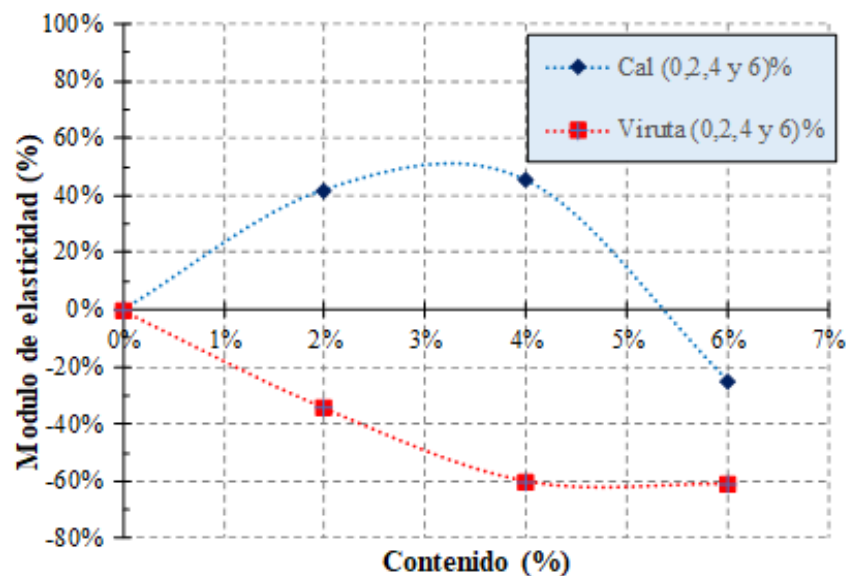
Asimismo, la investigación realizada por Afanador et al. (2013) indica que para el módulo de elasticidad del tapial indica un valor máximo de 754.59 kg/cm², un valor mínimo 429.50 kg/cm² y el valor promedio de 558.60 kg/cm², este resultado es inferior al módulo de elasticidad de la presente tesis, debido al tipo de suelo a usar y la energía de compactación

al momento de elaborar los muretes. En la figura 128 se grafican los resultados.

Se realizó una comparación del módulo de elasticidad con incrementos de 2%, 4% y 6% de cal, donde su módulo de elasticidad es de 1018.89 kg/cm^2 , 1043.56 kg/cm^2 y 541.23 kg/cm^2 respectivamente, representando un incremento de 42.07%, 45.51% y una disminución de 24.53% con relación a la muestra patrón cuyo módulo de elasticidad es 717.16 kg/cm^2 . Estos valores demuestran que al adicionar entre 2% y 4% de cal se llega a incrementar el módulo de elasticidad, pero este no se llega a incrementar a más cal como es el caso de la muestra con 6% cal, estos valores se muestran en la Figura 129.

Figura 129

Variación del módulo de elasticidad



Fuente: Creación única de los tesisistas.

Así mismo, se realizó una comparación del módulo de elasticidad con incrementos de viruta donde alcanzó valores de 471.41 kg/cm^2 ,

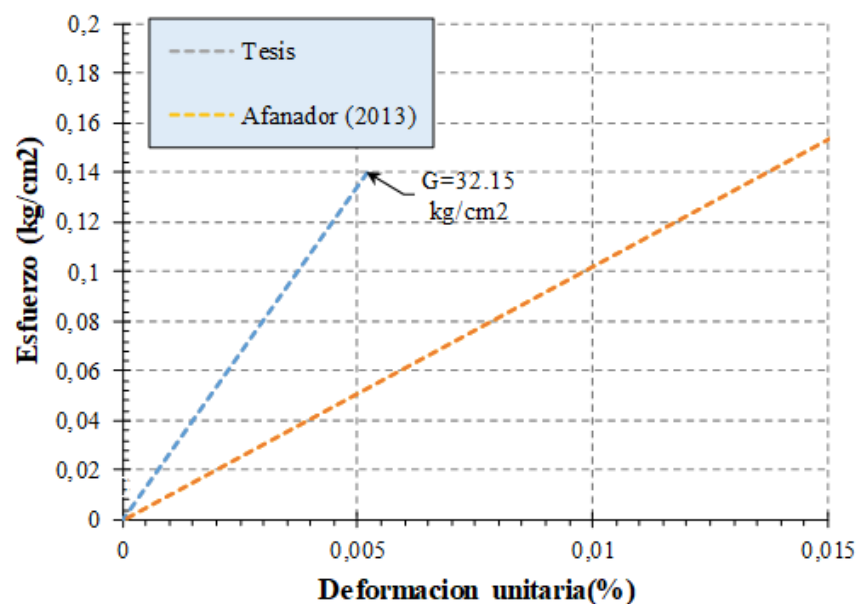
288.01 kg/cm² y 281.45 kg/cm² al incorporar viruta en 2%, 4% y 6% respectivamente en base al suelo seco, de los cuales disminuyeron en 34.27%, 59.84% y 60.75% frente al valor de control de 717.16 kg/cm² como se muestra en la Figura 129, dichos datos reflejan que a mayor adición de viruta se reduce el módulo de elasticidad.

4.3.3.2 Módulo de corte

Los resultados del ensayo se muestran en la Figura 123 (pág. 282), el módulo de corte que se obtuvo en el ensayo de compresión diagonal del tapial típico de la presente investigación, tuvo un valor máximo de 34.78 kg/cm² y un valor mínimo de 26.73 kg/cm². El valor promedio del módulo de corte para el tapial típico es de 32.15 kg/cm², estos resultados se pueden observar en la Figura 130.

Figura 130

Comparación del módulo de corte



Fuente: Creación única de los tesisistas.



En cuanto al módulo de corte o cizallamiento del tapial, la investigación realizada por Afanador et al. (2013) revela un valor medio de 9.89 kg/cm^2 , este valor es inferior al módulo de cizallamiento de la presente investigación, este se debe al tipo de suelo que se utilizara y el tipo de deformación que presentará en la prueba de compresión diagonal, estos son los factores que contribuyen a esta diferencia, estas conclusiones pueden verse en la Figura 130.

4.4 CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

4.4.1 Cumplimiento del objetivo específico N° 1

Como primer objetivo se tiene “determinar el valor de la resistencia a compresión axial de los muretes tipo tapial con la adición de cal y viruta de eucalipto”.

Se cumplió dicho objetivo efectuando el ensayo bajo la Norma E.080 (2017), los resultados del ensayo se detallan desde la Tabla 61-76 (pág. 177-187), y la Figura 120 (pág. 274), llegando a obtener un valor máximo de la resistencia a compresión axial, la combinación con 4% de viruta y 4% de cal con un valor de 8.77 kg/cm^2 que tiene un incremento del 70.48% con respecto al grupo control 0% de viruta y 0% de cal cuya resistencia es de 5.14 kg/cm^2 ; asimismo se tiene un incremento mínimo en la resistencia a compresión axial, la combinación 0% de viruta y 6% de cal con un valor de 5.43 kg/cm^2 que tiene un incremento del 5.48% con respecto al grupo control. En la Figura 120 (pág. 274) se presenta el incremento porcentual de cada uno de las muestras ensayadas.

4.4.2 Cumplimiento del objetivo específico N° 2

Como segundo objetivo se tuvo “determinar el valor de la resistencia a compresión diagonal de muros tipo tapial con la adición de cal y viruta de eucalipto”.

Se cumplió dicho objetivo efectuando el ensayo bajo la Norma E.080 (2017), los resultados del ensayo se detallan desde la Tabla 142-157 (pág. 237-247) y la Figura 121 (pág. 277), llegando a obtener un valor máximo de resistencia a compresión diagonal, la combinación con 4% de viruta y 4% de cal con un valor de 2.75 kg/cm^2 , asimismo se tiene un incremento mínimo en la resistencia a compresión diagonal, la combinación 0% de viruta y 6% de cal con un valor de 0.79 kg/cm^2 . En la Figura 121 (pág. 277) se observa la resistencia a compresión diagonal de las muestras ensayadas.

4.4.3 Cumplimiento del objetivo específico N° 3

Como tercer objetivo se tuvo “determinar las propiedades del material en la elaboración del tapial”.

Para el módulo de elasticidad, se cumplió dicho objetivo efectuando el ensayo bajo la Norma E.080 (2017), los resultados del ensayo se detallan desde la Tabla 77-93 (pág. 188-203) y la Figura 122 (pág. 279), llegando a obtener un valor máximo del módulo de elasticidad, la combinación 0% de viruta y 4% de cal con un valor de 1043.56 kg/cm^2 que tiene un incremento del 45.51% con respecto al grupo control 0% de viruta y 0% de cal cuyo valor es 717.16 kg/cm^2 ; asimismo se tiene un descenso del módulo de la elasticidad, en la combinación 6% de viruta y 0% de cal con un valor de 281.45 kg/cm^2 el cual disminuyó en

60.75% con respecto al grupo control. En la Figura 122 (pág. 279) se presenta la variación del módulo de elasticidad de cada uno de la muestra ensayadas.

Para el módulo de corte se cumplió dicho objetivo efectuando el ensayo bajo la Norma E.080 (2017), los resultados del ensayo se detallan desde la Tabla 158-173 (pág. 248-271) y la Figura 123 (pág. 282), llegando a obtener un valor máximo del módulo de corte de la combinación 0% de viruta y 6% de cal con un valor de 98.40 kg/cm^2 , asimismo se tiene un descenso del módulo de corte en la combinación 2% de viruta y 2% de cal con un valor de 14.46 kg/cm^2 con respecto al grupo control. En la Figura 123 (pág. 282) se observa del módulo de corte de cada uno de la muestra ensayadas.

4.4.4 Cumplimiento del objetivo general

Como objetivo general se tuvo “analizar la influencia de la adición de cal y viruta de eucalipto en las propiedades mecánicas de muros tipo tapial para viviendas rurales en el distrito de Ácora, provincia de Puno”.

Se cumplió el objetivo realizando los ensayos de caracterización de materiales (Anexo 2), variación dimensional de murete que se van a someter a compresión axial desde la Tabla 13-28 (pág. 146-157), variación dimensional de murete que se van a someter a compresión diagonal desde la Tabla 94-109 (pág. 207-218), resistencia a compresión axial desde la Tabla 61-76 (pág. 177-187), resistencia a compresión diagonal desde la Tabla 142-157 (pág. 237-247), módulo de elasticidad desde la Tabla 77-93 (pág. 188-203) y el módulo de corte desde la Tabla 158-173 (pág. 248-271).



Se obtuvo un valor máximo de la resistencia a compresión axial en la combinación de 4% de viruta y 4% de cal con un valor de 8.77 kg/cm^2 que tiene un incremento del 70.48% con respecto al grupo control de 5.14 kg/cm^2 . Para la resistencia a compresión diagonal se obtuvo un valor máximo en la combinación de 4% de viruta y 4% de cal con un valor de 2.75 kg/cm^2 , superando en 379.14% con respecto al grupo control de 0.57 kg/cm^2 . Para el módulo de elasticidad del tapial en la muestra con 0% de viruta y 4% de cal se obtuvo un valor máximo de 1043.56 kg/cm^2 superando en 45.51% con respecto al grupo control de 717.6 kg/cm^2 ; finalmente para el módulo de corte del tapial en la muestra con 0% de viruta y 6% de cal se obtuvo un valor máximo de 98.40 kg/cm^2 superando en 206.11% con respecto al grupo control de 32.15 kg/cm^2 .

Los resultados obtenidos indican que si influye la adición de viruta y cal en la resistencia a compresión axial y compresión diagonal. Donde una mínima cantidad de viruta y cal mejoran la resistencia, pero si se le adiciona demasiada viruta y cal la resistencia del murete tiende a disminuir negativamente.



V. CONCLUSIONES

- La adición de viruta y cal en los muretes tipo tapial influyen significativamente en la resistencia a compresión axial, donde la muestra con 4% de viruta y 4% de cal alcanzó un valor máximo de 8.77 kg/cm^2 superando en 70.48% con respecto al grupo control de 5.14 kg/cm^2 ; asimismo se tiene un incremento mínimo en la resistencia a compresión axial, la muestra con 0% de viruta y 6% de cal con un valor de 5.43 kg/cm^2 que tiene un incremento del 5.48% con respecto al grupo control. Todas las muestras con adición de viruta y cal alcanzan valores superiores al grupo control, estos valores demuestran que con una mínima cantidad de viruta y cal su resistencia a compresión se incrementa, pero esto no sucede al incrementar más viruta y cal.
- La adición de viruta y cal en los muretes tipo tapial influyen significativamente en la resistencia a compresión diagonal, donde la muestra con 4% de viruta y 4% de cal alcanzó un valor máximo de 2.75 kg/cm^2 superando en 379.14% con respecto al grupo control de 0.57 kg/cm^2 ; asimismo se tiene un incremento mínimo en la resistencia a compresión diagonal, la muestra con 0% de viruta y 6% de cal con un valor de 0.79 kg/cm^2 que tiene un incremento del 37.04% con respecto al grupo control. Todas las muestras con adición de viruta y cal alcanzan valores superiores al grupo control, estos valores demuestran que con una mínima cantidad de viruta y cal entre 2% y 4%, su resistencia a compresión diagonal se incrementa.
- La adición de viruta y cal en los muretes tipo tapial influyen significativamente en el módulo de elasticidad, como es el caso de la muestra con 0% de viruta y 4% de cal que alcanzó un valor máximo de 1043.56 kg/cm^2 superando en 45.51% con respecto al grupo control de 717.6 kg/cm^2 ; asimismo se tiene que el descenso máximo en el módulo de elasticidad es con la muestra con 6% de viruta y 0% de cal con un valor



de 281.45 kg/cm^2 que disminuyó en 60.75% con respecto al grupo control. Estos valores demuestran que con una mínima cantidad de cal entre 2% y 4% su módulo de elasticidad se incrementa, pero esto no sucede al incrementar más viruta y cal. La adición de viruta y cal en los muretes tipo tapial influyen significativamente en el módulo de corte, donde la muestra con 0% de viruta y 6% de cal alcanzó un valor máximo de 98.40 kg/cm^2 superando en 206.11% con respecto al grupo control de 32.15 kg/cm^2 ; asimismo se tiene el descenso máximo en el módulo de corte con la muestra con 2% de viruta y 2% de cal con un valor de 14.46 kg/cm^2 que disminuyó en 55.03% con respecto al grupo control.

- En consecuencia, se concluye que la adición de viruta y cal en porcentaje de peso seco en 2%, 4% y 6%, influyen significativamente en las propiedades físico mecánicas de los muretes tipo tapial; donde la muestra con 4% de viruta y 4% de cal incrementó las propiedades de resistencia a compresión axial y diagonal en 8.77 kg/cm^2 y 2.75 kg/cm^2 respectivamente, superando a las propiedades físico mecánicas del tapial típico.



VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere ampliar el campo de estudio mediante la incorporación y evaluación de otros tipos de aditivos naturales o industriales que puedan contribuir no solo a un incremento en la resistencia a compresión axial del tapial, sino también a mejorar su trabajabilidad durante el proceso constructivo, permitiendo una aplicación más eficiente y homogénea del material.
- Es recomendable ejercer un control estricto sobre la verticalidad y la horizontalidad en la ejecución de los muretes utilizados en los ensayos de compresión diagonal. Las desviaciones geométricas durante el proceso de conformado pueden alterar significativamente los resultados de las pruebas, afectando la validez de los datos obtenidos y su reproducibilidad.
- Se aconseja llevar a cabo ensayos complementarios de carácter térmico y acústico sobre muretes de tapial modificados con cal y viruta de madera, a fin de analizar de manera integral el impacto de estos aditivos en el comportamiento higrotérmico y en la capacidad de aislamiento sonoro del sistema constructivo, lo cual es clave para determinar su viabilidad en contextos habitacionales rurales.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanador García, N., Carrascal Delgado, M., y Bayona Chinchilla, M. (2013). *Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada*. 22. doi:<https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2514/2369>
- Altamirano Carrasco, O. V. (2018). *Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad de Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional de la UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2528>
- ASTM. (1988). *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages*. American Society for Testing and Materials (ASTM). doi:10.1520/E0519-07
- ASTM D2216-19. (2019). *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. American Society for Testing and Materials (ASTM). doi:10.1520/D2216-19
- ASTM D422-63. (2007). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. American Society for Testing and Materials (ASTM). doi:10.1520/D0422-63R07
- ASTM D698-12. (2021). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))*. American Society for Testing and Materials (ASTM). doi:10.1520/D0698-12R21
- Bestraten, S., Hormías, E., y Altemir, A. (2011). *Construcción con tierra en el siglo XXI*. 63, 5-20. doi: 10.3989/ic.10.046
- Borja Suárez, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Carhuamambo Villanueva, J. T. (2016). *Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y viruta, Cajamarca 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional de la UNC. <https://hdl.handle.net/11537/7328>



- Chiqui Paucar, W., y Challco Ruelas, R. (2018). *Evaluación de las propiedades mecánicas de muros tipo tapial para viviendas económicas con presencia de hiladas de mortero de cemento-arena, en la A.P.V. Ayuda mutua, 2017. Cusco, Cusco, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco]. Repositorio insitucional de la UNSAC.
<http://hdl.handle.net/20.500.12918/3489>
- Cholon Gonzales, A. A., y Villegas Granados, L. (2023). *Evaluación de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Adobe Agregando Viruta de Madera y Tusa de Maíz* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipan]. Repositorio institucional de la USS. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11432>
- Fages, J., Tarque, N., Rodríguez Mariscal, J., y Solís, M. (2022). *Calibration of a total strain crack model for adobe masonry based on compression and diagonal compression tests. Construction and Building Materials, 352.*
[doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128965](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128965)
- Gonzales Vargas, F. R. (2022). *Mejoramiento de las propiedades del adobe con la estabilización de cemento, en viviendas autoconstruidas por familias de bajos recursos económicos en el centro poblado Ramis, Taraco, Huancané - 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la UNAP.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18741>
- Guerrero Baca, L. F. (2009). *El Tapial, un sistema constructivo patrimonial*. Chile: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel Del Castillo Negrete".
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación (6ta ed.)*. McGraw Hill.
- Huanca Machaca, S. (2021). *Influencia de las fibras de eucalipto en las propiedades térmicas y mecánicas del adobe de la ciudad de Juliaca 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional de la UCV.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/68353>



- Hueso Maldonado, H., y Orellana Martinez, A. (2009). *Guia básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el Salvador* [Tesis de pregrado, Universidad de el Salvador]. San Salvador
- Instituto Nacional de la Investigación y Normalización de la Vivienda. (1989). *Construcción con Tapial*. Lima, Lima, Perú: Marens Artes Gráficas E.I.R.L.
- Jacinto Ccallo, F., y Chambilla Maquera, W. A. (2022). *Propuesta de un modelo de vivienda de adobe reforzado con malla metálica sismoresistente para la localidad de Lampa, distrito y provincia de Lampa - Puno, periodo 2020 - 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la UNAP. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18421>
- Juárez Badillo, E., y Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos*. México: Limusa S.A.
- Luzuriaga Jaramillo, H. A., Espinoza Pino, C. A., Haro Sarango, A. F., y Ortiz Roman, H. D. (2023). *Histograma y distribución normal: Shapiro-Wilk y Kolmogorov Smirnov aplicado a SPSS*. doi: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i4.1242>
- Maldonado Ramos, L., De Hoz Onrubia, J., y Vela Cossio, F. (2003). *Diccionario de Construcción Tradicional*. Tierra. San Sebastián: Nerea S.A.
- Méndez Ramírez, I., Namihira Guerrero, D., Moreno Altamirano, L. y Sosa de Martínez, C. (2008). *El protocolo de investigación: Lineamientos para su elaboración y análisis*. México: Trillas S.A.
- Miccoli, L., Olivera, D., Silva, R., Muller, U., y Schueremans, L. (2014). *Static behaviour of rammed earth: experimental testing and finite element modelling*. *Materials and Structures*, 48. doi:<http://dx.doi.org/10.1617/s11527-014-0411-7>
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2017). *Norma Técnica E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada*. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, C. (2019). *Norma E.070 Albañilería*. Perú.
- Minke, G. (2005, setiembre). *Manual de Construcción en Tierra*. Alemania: Editorial Fin de Siglo.



- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima.
- Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros*. Mexico: McGraw-Hill.
- Neves, C., y Faria, O. (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. Bauru, Brasil: RED IBERO-AMERICANA PROTERRA.
- NTP 339.129. (2019). *SUELOS. Metodo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos*. INDECOPI
- NTP 339.142. (1999). *SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía estandar*. INDECOPI
- NTP 399.127. (1988). *SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*. INDECOPI
- Olivera Fernandez, Y. M. (2023). *Influencia de viruta de tornillo en propiedades físicas y mecánicas del adobe centro poblado San Carlos, San José Lambayeque* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional de la UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/129104>
- Reyes, J. C., Yamin, L., Hassan, W., Sandoval, J., y Gonzales, C. (2018). *Experimental analysis of diagonal compression and splitting tests for the characterization of shear and tensile behavior of adobe masonry*. Journal of Engineering Structures. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.07.061>
- Rodriguez Mariscal, J., Ma, Q., y Solís, M. (2020). *Experimental analysis of diagonal compression and splitting tests for the characterization of shear and tensile behavior of adobe masonry*. International Journal of Integrated Engineering, 215. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110633>
- Romero Saldaña, M. (2016). *Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal*. Enfermeria del Trabajo. <https://enfermeriadeltrabajo.com/wp-content/uploads/2020/11/Revista-ET-Vol.-6-Nu%CC%81m.-3.pdf>
- Sánchez Carlesi, H., y Reyes Mesa, C. (2015). *Metodología y diseños en la investigación científica (5ta ed.)*. Lima: Anneth SRL.



- Silveira, D., Varum, H., Costa, A., y Carvalho, J. (2015). *Mechanical Properties and Behavior of Traditional Adobe Wall Panels of the Aveiro District*. American Society of Civil Engineers. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001194](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001194)
- Tejada Shmidt, U., Medoza Garcia, A., y Torrealva Dávila, D. (2017). *Uso del tapial en la construcción*. Lima: SENCICO.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4768973/Uso%20del%20tapial%20en%20la%20construcci%C3%B3n.pdf?v=1687890047>
- Ticona Gomez, N. (2024). *Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del adobe incorporando fibra de propileno, Puno 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la UNAP.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/23853>
- Valera Garatea, M. S. (2019). *Mejoramiento del adobe en sus propiedades físicas y mecánicas agregándole fibra de viruta en su composición* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Toribio de Mogrovejo]. Repositorio institucional de la UCTM. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/3151>
- Vilca Quispe, A., y Machaca Humpiri, E. (2024). *Evaluación de la adición de las virutas de eucalipto en el adobe y comportamiento sísmico de un ambiente rural usando un modelo a escala reducida en el altiplano, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la UNAP.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/23867>
- Vuñuales, G., Martins Neves, C., Silvio Ríos, L., y Octavio Flores, M. (2003). *Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica*. Salvador, Brasil: Impresiones Sudamérica.
- Yamín Lacouture, L. E., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. C., y Ruiz Valencia, D. (2007). *Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada*. 20(2), 286-377.
doi:<http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a09.pdf>



ANEXOS

Anexo 1. Glosario de términos

Anexo 2. Ensayos de laboratorio

Anexo 3. Formatos de recolección de datos

Anexo 4. Registro de control de secado

Anexo 5. Análisis de costo unitario del tapial

Anexo 6. Compactación del tapial in situ

Anexo 7. Certificado de laboratorio

Anexo 8. Ficha técnica de la cal



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Enck Anthony Barrionuevo Lombri
identificado con DNI 70004728 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Influencia de la Adición de Cal y Viruta en las propiedades mecánicas de muros tipo Tapial para viviendas rurales en el distrito de Acora, Provincia Puno 2023"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de Junio del 2025

Enck Anthony Barrionuevo Lombri

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Erick Anthony Barriowasa Condori identificado con DNI 70004728 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Influencia de la adición de cal y viruta en las propiedades mecánicas de muros tipo TAPIAL para viviendas rurales en el distrito de Acora, Provincia Puno 2023"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de Junio del 2025


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Paul Sergio Bailon Apaza
identificado con DNI 70362826 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“Influencia de la adición de cal y viruta en las propiedades mecánicas de muros
tipo tapial para viviendas rurales en el distrito de Acora, provincia Puno 2023”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de Junio del 2025


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Paul Sergio Bailon Apaza
identificado con DNI 70362826 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Influencia de la adición de cal y viruta en las propiedades mecánicas de muros tipo tapial para viviendas rurales en el distrito de Acora, provincia Puno 2023 ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de Junio del 2025


FIRMA (obligatoria)



Huella