

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA



Estudio Técnico – Económico de Bloques de Adobe Adicionado
con Arundo Donax. Lima, 2019.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTORES

Mayra Leysi Guevara Carrión

Guadalupe Isabel Merino Riofrio

ASESOR

Manuel Ismael Laurencio Luna

Lima, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	MAYRA LEYSI
Apellidos	GUEVARA CARRION
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	72961271
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	GUADALUPE ISABEL
Apellidos	MERINO RIOFRIO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	70070886
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	MANUEL ISMAEL
Apellidos	LAURENCIO LUNA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	42362708
Número de Orcid (Obligatorio)	0000-0002-5992-0202

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	FELIX GERMAN
Apellidos	DELGADO RAMIREZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	22264222

Segundo miembro

Nombres	VICTOR
Apellidos	GARCES DIAZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	32860015

Tercer miembro

Nombres	ALCIBIADES
Apellidos	BANCES MEZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	44127737

Datos de la Obra

Materia*	Bloque de adobe, Arundo Donax, propiedades físicas y mecánicas, costo de fabricación
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: Enlace	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00
Idioma	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Tesis
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Civil
Grado académico o título profesional	Título Profesional
Nombre del programa	Ingeniería Civil
Código del programa Consultar el listado: Enlace	732016

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



FACULTAD DE INGENIERÍA
ACTA N° 011-2022-UCSS-FI/TPICIV
SUSTENTACION DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
SEDE LIMA

Los Olivos, 29 de noviembre de 2022

Siendo las 12:00 horas del 29 de noviembre de 2022, utilizando los recursos para la videoconferencia disponibles en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se dio inicio a la sustentación de la Tesis:

“Estudio Técnico-Económico de bloques de adobe adicionado con Arundo Donax. Lima, 2019”

Por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

GUEVARA CARRION, MAYRA LEYSI

Ante el Jurado calificador conformado por el:

Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German
Mgr. GARCES DIAZ, Víctor
Ing. BANCES MEZA, Alcibíades

Presidente
Secretario
Miembro

Siendo las 14:00 horas, habiendo sustentado y atendido las preguntas realizadas por cada uno de los miembros del jurado; y luego de la respectiva deliberación, el jurado le otorgó la calificación de:

APROBADO MUY BUENO

En mérito a la calificación obtenida se expide la presente acta con la finalidad que el Consejo de Facultad considere se le otorgue al Bachiller GUEVARA CARRION, MAYRA LEYSI Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

En señal de conformidad firmamos,

.....
Ing. BANCES MEZA, Alcibíades
Miembro

.....
Mgr. GARCES DIAZ, Víctor
Secretario

.....
Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German
Presidente



FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA N° 012-2022-UCSS-FI/TPICIV

**SUSTENTACION DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
SEDE LIMA**

Los Olivos, 29 de noviembre de 2022

Siendo las 12:00 horas del 29 de noviembre de 2022, utilizando los recursos para la videoconferencia disponibles en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se dio inicio a la sustentación de la Tesis:

“Estudio Técnico-Económico de bloques de adobe adicionado con Arundo Donax. Lima, 2019”

Por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

MERINO RIOFRIO, GUADALUPE ISABEL

Ante el Jurado calificador conformado por el:

Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German
Mgtr. GARCES DIAZ, Víctor
Ing. BANCES MEZA, Alcibíades

Presidente
Secretario
Miembro

Siendo las 14:00 horas, habiendo sustentado y atendido las preguntas realizadas por cada uno de los miembros del jurado; y luego de la respectiva deliberación, el jurado le otorgó la calificación de:

APROBADO MUY BUENO

En mérito a la calificación obtenida se expide la presente acta con la finalidad que el Consejo de Facultad considere se le otorgue al Bachiller MERINO RIOFRIO, GUADALUPE ISABEL Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

En señal de conformidad firmamos,

.....
Ing. BANCES MEZA, Alcibíades
Miembro

.....
Mgtr. GARCES DIAZ, Víctor
Secretario

.....
Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German
Presidente

DEDICATORIA

Dedicado a Dios por darnos las fuerzas y perseverancia de seguir luchando día a día para cumplir nuestros objetivos.

A nuestros padres por confiar en nosotras y darnos el apoyo emocional para no rendirnos y mantenernos firmes con nuestros anhelos en la vida. Por darnos ese impulso que nos anima a seguir a pesar de los obstáculos y barreras.

A nuestros docentes por la guía en este camino profesional, por compartir sus conocimientos y experiencias para con nosotras.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es fruto de nuestro esfuerzo diario, el cual con mucho ímpetu hemos venido realizando en el transcurso de la carrera. Asimismo, hemos recibido el apoyo de personas importantes, logrando en conjunto nuestros objetivos profesionales.

En primer lugar, agradecer a Dios por ser el pilar de nuestras vidas, guiarnos y darnos la sabiduría de tomar buenas decisiones con su amor y misericordia. En segundo lugar, a nuestra familia; principalmente a nuestros padres, quienes nos han acompañado en este camino profesional con amor, paciencia, ternura y sobre todo con sus buenos consejos. En tercer lugar, a todas las personas que nos apoyaron en cada etapa de nuestra investigación. Finalmente, a nuestros docentes, principalmente a nuestro asesor y a nuestra alma mater por inculcarnos los conocimientos y aprendizajes necesarios para nuestro futuro, no solo profesional, si no también personal.

RESUMEN

La investigación fue de alcance descriptiva-comparativa, su objetivo general fue comparar las propiedades y el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo. El diseño de investigación fue transeccional, con un método de razonamiento hipotético-deductivo. La muestra investigada estuvo conformada por tres muestras, la primera con un tamaño de 16 unidades de bloques, la segunda igual a 12 unidades de pilas y la tercera con 12 unidades de muretes. Asimismo, se utilizaron técnicas de observación registrada como planos, fichas in situ, fichas de ensayos de laboratorio y presupuestos del costo de fabricación. Se realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas del material clasificándose como Arena Arcillosa “SC”. Asimismo, se determinó las propiedades físicas y mecánicas, resultando que ambos especímenes superan lo indicado en la Norma E.080. También, se realizó un análisis de precios unitarios del costo de fabricación, presentando el bloque sin refuerzo un costo igual a S/ 1,00 y el reforzado un valor de S/ 1,53. Concluyéndose que, se logró determinar la influencia del refuerzo con fibras de Arundo Donax comparando las propiedades y costo de fabricación de los especímenes planteados. Encontrando diferencias mínimas y nuevas propuestas de mejora.

Palabras claves: Bloque de adobe, Arundo Donax, propiedades físicas y mecánicas, costo de fabricación.

ABSTRACT

The research was descriptive-comparative in scope, its general objective was to compare the properties and manufacturing cost of the adobe block reinforced with Arundo Donax and the adobe block without reinforcement. The research design was transectional, with a hypothetical-deductive reasoning method. The investigated sample consisted of three samples, the first with a size of 16 units of blocks, the second equal to 12 units of piles and the third with 12 units of low walls. Likewise, recorded observation techniques were used, such as plans, on-site records, laboratory test records and manufacturing cost budgets. Tests were carried out to determine the physical properties of the material, classifying it as Clay Sand "SC". Likewise, the physical and mechanical properties were determined, resulting in both specimens exceeding what is indicated in Standard E.080. Also, an analysis of unit prices of the manufacturing cost was carried out, presenting the block without reinforcement a cost equal to S/ 1,00 and the reinforced one a value of S/ 1,53. Concluding that, it was possible to determine the influence of the reinforcement with Arundo Donax fibers by comparing the properties and manufacturing cost of the proposed specimens. Finding minimal differences and new proposals for improvement.

Keywords: Adobe block, Arundo Donax, physical and mechanical properties, manufacturing cost.

ÍNDICE

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción del Problema.....	1
1.1.1. Antecedentes Históricos.....	1
1.1.2. Causas del problema	3
1.1.3. Pronóstico del problema	4
1.1.4. Control del pronóstico	4
1.2. Preguntas de investigación	5
1.2.1. Pregunta general.....	5
1.2.2. Preguntas específicas	5
1.3. Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Delimitación de la investigación	7
1.4.1. Delimitación de Contenido	7
1.4.2. Delimitación Espacial	7
1.4.3. Delimitación Temporal	8
1.5. Viabilidad de la investigación	8

1.5.1. Viabilidad Técnica	8
1.5.2. Viabilidad Financiera	9
1.6. Importancia y justificación de la investigación	10
1.6.1. Justificación social	10
1.6.2. Justificación ambiental.....	11
1.6.3. Justificación técnica	11
1.6.4. Importancia	11
CAPÍTULO II	13
MARCO TEÓRICO	13
2.1. Antecedentes de investigación.....	13
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	13
2.1.2. Antecedentes Nacionales	17
2.2. Bases teóricas.....	21
2.2.1. Definición, composición del adobe y características.....	21
2.2.2. Pruebas in situ de la tierra del adobe	22
2.2.3. Propiedades físicas de la tierra del adobe	23
2.2.4. Propiedades físicas del bloque de adobe.....	28
2.2.5. Diseño de mezcla del adobe.....	31
2.2.6. Proceso constructivo del bloque de adobe	32
2.2.7. Proceso constructivo de la pila de bloque de adobe	36
2.2.8. Proceso constructivo del murete de bloque de adobe	36
2.2.9. Propiedades mecánicas del bloque de adobe	37
2.2.10. Propiedades mecánicas de la pila de bloque de adobe.....	37
2.2.11. Propiedades mecánicas del murete de bloque de adobe	38
2.2.12. Formas y tiempos de ocurrencia de la compresión, compresión axial y compresión diagonal.....	39
2.2.13. Equipos de ensayos	41

2.2.14. Fallas en viviendas de adobe y sus causas	43
2.2.15. Norma Técnica Peruana para el uso de adobe	47
2.2.16. Ventajas y desventajas de los bloques de adobe.....	48
2.2.17. Definición, características y procedencia del Arundo Donax.....	49
2.2.18. Propiedades físicas y aplicaciones del Arundo Donax	51
2.2.19. Propiedades mecánicas del Arundo Donax.....	52
2.2.20. Proceso de extracción de las fibras de Arundo Donax	53
CAPÍTULO III.....	54
METODOLOGÍA	54
3.1. Nivel o alcance de la investigación.....	54
3.2. Diseño de investigación	54
3.3. El método de razonamiento	55
3.4. Etapas de la investigación.....	55
3.5. Muestra investigada	58
3.6. Descripción de la muestra.....	61
3.7. Tamaño de la muestra	62
3.8. Tipo de muestreo de la investigación.....	62
3.9. Norma técnica	63
3.10. Técnica e instrumento	64
CAPÍTULO IV	65
HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	65
4.1 Identificación y definición de las Variable de la investigación y Sub-variables (dimensiones e indicadores)	65
4.1.1. Variable de la investigación.....	65
4.1.2. Sub-variables	65
4.2. Hipótesis general.....	70
4.3. Hipótesis específicas.....	70

4.4. Tabla de operacionalización de variables	73
4.5. Matriz de consistencia	75
CAPÍTULO V	79
DESARROLLO EXPERIMENTAL	79
5.1. Descripción del trabajo de campo.....	79
5.1.1. Toma de muestra de la tierra del adobe	79
5.1.2. Toma de muestra de las fibras de Arundo Donax.....	80
5.1.3. Pruebas in situ de la tierra del adobe	83
5.1.4. Elaboración de fibras de Arundo Donax.....	86
5.1.5. Construcción de los bloques de adobe sin refuerzo	90
5.1.6. Construcción de los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	97
5.1.7. Construcción de las pilas de bloques de adobe según tipo de espécimen....	103
5.1.8. Construcción de los muretes de bloques de adobe según tipo de espécimen	107
5.2. Descripción del trabajo de laboratorio.....	110
5.2.1. Ensayos para la tierra del adobe	111
5.2.2. Ensayos para los bloques de adobe.....	126
5.2.3. Ensayo para las pilas de bloques de adobe	132
5.2.4. Ensayos para los muretes de bloques de adobe	139
5.2.5. Diagrama de Gantt del trabajo de campo y laboratorio	144
5.2.6. Diagrama de Gantt de trabajo de ingeniería	144
5.3. Análisis e interpretación de resultados	149
5.3.1. Resultados de las propiedades físicas de la tierra del adobe.....	149
5.3.2. Resultado de las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes	153
5.3.3. Resultado del costo de fabricación de los especímenes.....	192
5.4. Comprobación de hipótesis y descripción del estadístico empleado.....	195
5.4.1. Comprobación de la hipótesis general	195

5.4.2. Comprobación de la hipótesis específica 01	196
5.4.3. Comprobación de la hipótesis específica 02	199
5.4.4. Comprobación de la hipótesis específica 03	203
5.4.5. Comprobación de la hipótesis específica 04	206
5.4.6. Comprobación de la hipótesis específica 05	212
5.4.7. Comprobación de la hipótesis específica 06	216
5.4.8. Comprobación de la hipótesis específica 07	221
5.4.9. Resultado de comprobación de prueba de hipótesis específicas para validación de hipótesis general.....	223
CAPÍTULO VI	224
ANÁLISIS DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	224
6.1. Propuestas de mejora	224
6.2. Evaluación futura del impacto ambiental y social	225
6.3. Evaluación económica	228
CONCLUSIONES	230
RECOMENDACIONES.....	233
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	235
ANEXOS	241

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Presupuesto total de murete de adobe	10
Tabla 2 Proporción de mezcla de barro para adobes	32
Tabla 3 Descripción y tamaño de muestra para los bloques de adobe	59
Tabla 4 Descripción y tamaño de muestra para las pilas de bloques de adobe	59
Tabla 5 Descripción y tamaño de muestra para los muretes de bloques de adobe.....	60
Tabla 6 Muestras investigadas.....	60
Tabla 7 Operacionalización de variables.....	73
Tabla 8 Matriz de Consistencia	75
Tabla 9 Matriz de Consistencia (continuación).....	76
Tabla 10 Dosificación de los materiales.....	91
Tabla 11 Dosificación de los materiales.....	98
Tabla 12 Resultados de las propiedades físicas de la tierra del adobe	149
Tabla 13 Resultados de análisis granulométrico por tamizado	150
Tabla 14 Resultados de límites de consistencia.....	151
Tabla 15 Resultados del contenido de humedad	152
Tabla 16 Resultado de las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes	153
Tabla 17 Desplazamientos y cargas al 20 % y 50 % de los especímenes sin refuerzo	170
Tabla 18 Desplazamientos y cargas al 20 % y 50 % de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	172
Tabla 19 Desplazamientos y cargas al 20 % y 50 % de los especímenes sin refuerzo	187
Tabla 20 Desplazamientos y cargas al 20 % y 50 % de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	190
Tabla 21 Análisis de precios unitarios del bloque de adobe sin refuerzo.....	193
Tabla 22 Análisis de precios unitarios del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax.....	194
Tabla 23 Resistencia a la compresión de bloques de adobe	197
Tabla 24 Succión de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	200
Tabla 25 Succión de bloques de adobe sin refuerzo.....	200
Tabla 26 Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 2.....	201
Tabla 27 Resistencia a la compresión axial de los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	204

Tabla 28 Resistencia a la compresión axial de los bloques de adobe sin refuerzo.....	204
Tabla 29 Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 3.....	205
Tabla 30 Módulo de elasticidad de pilas de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax.....	208
Tabla 31 Módulo de elasticidad de pilas de bloque de adobe sin refuerzo	209
Tabla 32 Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 4.....	210
Tabla 33 Resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax.....	213
Tabla 34 Resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloque de adobe sin refuerzo	213
Tabla 35 Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 5.....	214
Tabla 36 Módulo de corte “Gm” de los bloques de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax.....	218
Tabla 37 Módulo de corte “Gm” de los bloques de adobe sin refuerzo	219
Tabla 38 Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 6.....	220
Tabla 39 Resultado de comprobación de prueba de hipótesis específicas	223
Tabla 40 Resumen de las diferencias de costo	229

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Prueba de presencia de arcilla o resistencia seca	22
Figura 2 Prueba de presencia de arcilla o resistencia seca	23
Figura 3 Aparato manual para límite líquido.....	25
Figura 4 Construcción del tendal.....	33
Figura 5 Gavera para adobe cuadrado	33
Figura 6 Preparación del barro	34
Figura 7 Moldeo de adobes	35
Figura 8 Secado y apilado de adobes.....	35
Figura 9 Obtención de la resistencia unitaria por corte puro.....	39
Figura 10 Ensayo a compresión de cubos	42
Figura 11 Ensayo a compresión axial de pilas	42
Figura 12 Ensayo a compresión diagonal.....	43
Figura 13 Falla por cortante.....	44
Figura 14 Falla por flexión y desgarramiento	44
Figura 15 Falla por carga sísmica coplanar	45
Figura 16 Falla en la zona triangular de los tímpanos y refuerzo recomendado	46
Figura 17 Falla por volteo	46
Figura 18 Etapas del desarrollo del trabajo de investigación	57
Figura 19 Colocación de la muestra de tierra de adobe en bolsas	80
Figura 20 Identificación de la muestra de tierra de adobe.....	80
Figura 21 Proceso de cortado de las plantas de Arundo Donax	81
Figura 22 Traslado a una zona limpia	82
Figura 23 Colocación del Arundo Donax en la movilidad.....	82
Figura 24 Cilindros de 12 mm de diámetro.....	83
Figura 25 Cintas de 4 mm de espesor.....	84
Figura 26 Esferas pequeñas de tierra.....	85
Figura 27 Esferas pequeñas de tierra presionadas	86
Figura 28 Limpieza del tallo del Arundo Donax	87
Figura 29 Corte longitudinal de tallo y retiro de nudo del Arundo Donax.....	88
Figura 30 Tallos cortados de Arundo Donax sumergidos en agua.....	88
Figura 31 Tiras del tallo de Arundo Donax aplastadas	89
Figura 32 Deshilachado para hilos de fibras de Arundo Donax.....	89

Figura 33 Trenzado de fibras de Arundo Donax	90
Figura 34 Selección de un espacio plano y limpio	91
Figura 35 Tamizado de la tierra de adobe	92
Figura 36 Ruma de tierra de adobe con agua	92
Figura 37 Mezcla de barro.....	93
Figura 38 Colocación de paja	93
Figura 39 Adobera en agua limpia	94
Figura 40 Colocación de arena fina en las adoberas	94
Figura 41 Colocación de la mezcla de barro en la adobera	95
Figura 42 Enrase del adobe	95
Figura 43 Desmolde del bloque de adobe	96
Figura 44 Secado de los bloques de adobe sin refuerzo	96
Figura 45 Bloques de adobe en canto.....	97
Figura 46 Adoberas sumergidas en agua.....	99
Figura 47 Colocación de las fibras de manera diagonal.....	99
Figura 48 Colocación de la mezcla de barro en las adoberas con las fibras diagonales	100
Figura 49 Cortado de las fibras sobrantes	101
Figura 50 Enrase del bloque de adobe con regla de madera	101
Figura 51 Retiro de la adobera	102
Figura 52 Secado de los bloques de adobe.....	102
Figura 53 Bloques de adobe en canto.....	103
Figura 54 Mortero de adobe	104
Figura 55 Colocación de escantillón y herramientas humedecidas.....	105
Figura 56 Limpieza de bloques de adobe	105
Figura 57 Asentado de bloques de adobe	106
Figura 58 Uso de nivel y plomada para verificar nivelación y alineación de la pila.....	106
Figura 59 Corte de bloques de adobe por la mitad.....	108
Figura 60 Bloque de adobe sumergido en agua.....	109
Figura 61 Asentado de bloques de adobe y mortero para murete	109
Figura 62 Nivelación horizontal y dimensiones de murete	110
Figura 63 Cuarteo y colocación de la muestra en tara.....	112
Figura 64 Peso de tara	112
Figura 65 Peso de tara más muestra de tierra de adobe.....	113
Figura 66 Proceso de lavado de muestra	113

Figura 67 Muestra lavada en el horno de laboratorio	114
Figura 68 Tamizado manual	114
Figura 69 Tamizado manual y limpieza con cepillo.....	115
Figura 70 Registro del peso retenido en cada tamiz	115
Figura 71 Cuarteo de la tierra de adobe.....	117
Figura 72 Colocación de la muestra en una tara.....	117
Figura 73 Mezcla para el ensayo de límite líquido.....	118
Figura 74 Colocación de la mezcla en la Copa de Casagrande	118
Figura 75 Separación de la mezcla con ayuda del acanalador	119
Figura 76 Golpes y cierre de la ranura	120
Figura 77 Registro del peso de la muestra.....	120
Figura 78 Amasado de la muestra húmeda.....	121
Figura 79 Formación de los cilindros	122
Figura 80 Colocación de la muestra en el horno de laboratorio	123
Figura 81 Cuarteo de la tierra de adobe.....	124
Figura 82 Registro de peso de muestras más tara.....	125
Figura 83 Muestra en el horno de laboratorio	125
Figura 84 Colocación de triplay en la máquina universal	127
Figura 85 Colocación del espécimen en la máquina universal.....	127
Figura 86 Alineación del espécimen con la máquina universal	128
Figura 87 Inicio del ensayo de compresión	128
Figura 88 Comportamiento del espécimen después de la aplicación de cargas	129
Figura 89 Registro de las medidas de los especímenes	130
Figura 90 Peso del bloque de adobe	131
Figura 91 Bloque de adobe sumergido en agua.....	131
Figura 92 Retiro del espécimen en contacto con el agua	132
Figura 93 Pilas con refrentado (capping)	133
Figura 94 Transporte y colocación de pila en máquina de ensayo	134
Figura 95 Pilas sin refuerzo ensayadas.....	134
Figura 96 Máquina de ensayo y computadora con cargas registradas	135
Figura 97 Pilas con referencias para colocación de instrumento LVDT.....	136
Figura 98 Pila con pernos y clavo para colocación de instrumento LVDT.....	137
Figura 99 Pila con instrumento LVDT local	137
Figura 100 Pila con instrumento LVDT global	138

Figura 101 Pila ensayada, carga máxima y desplazamientos registrados	138
Figura 102 Muretes con refrendado (capping)	140
Figura 103 Transporte y colocación de murete en máquina de ensayo.....	140
Figura 104 Murete ensayado y forma de falla	141
Figura 105 Murete con referencia para colocación de instrumentos LVDT	142
Figura 106 Colocación de instrumentos LVDT vertical y horizontal	143
Figura 107 Murete ensayado y registro de carga máxima y desplazamientos	143
Figura 108 Diagrama de Gantt del trabajo de campo y laboratorio	145
Figura 109 Diagrama de Gantt de trabajo de diseño de ingeniería.....	148
Figura 110 Curva granulométrica.....	151
Figura 111 Diagrama de fluidez	152
Figura 112 Comparación de la resistencia a la compresión entre especímenes	154
Figura 113 Fallas en los cubos de adobe	155
Figura 114 Succión de bloques de adobe sin refuerzo	156
Figura 115 Succión de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax 157	
Figura 116 Comparación de la succión entre especímenes	158
Figura 117 Resistencia a la compresión axial de pilas sin refuerzo	159
Figura 118 Resistencia a la compresión axial de pilas reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax	161
Figura 119 Comparación de la resistencia a la compresión axial entre especímenes.....	163
Figura 120 Pandeo de las fibras diagonales.....	164
Figura 121 Falla ideal en especímenes PS1 y PS2	165
Figura 122 Falla ideal en especímenes PS4 y PS6	165
Figura 123 Falla por aplastamiento local en espécimen PS3 y PS5.....	166
Figura 124 Falla por aplastamiento local en espécimen PR1	167
Figura 125 Falla por aplastamiento local en espécimen PR4.....	167
Figura 126 Falla ideal con aplastamiento en la parte superior en pilas PR2	168
Figura 127 Falla ideal con aplastamiento local en el espécimen PR3 y PR6.....	169
Figura 128 Carga vertical y desplazamiento axial de los especímenes sin refuerzo.....	170
Figura 129 Comparación del módulo de elasticidad de pilas sin refuerzo	171
Figura 130 Carga vertical y desplazamiento axial de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	172

Figura 131 Comparación del módulo de elasticidad de pilas reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax	173
Figura 132 Comparación del módulo de elasticidad entre especímenes	174
Figura 133 Resistencia a la compresión diagonal de muretes sin refuerzo	175
Figura 134 Resistencia a la compresión diagonal de muretes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	176
Figura 135 Resistencia a la compresión diagonal entre especímenes	177
Figura 136 Fibras unidas a la unidad del bloque de adobe después de ensayo	178
Figura 137 Falla mixta en espécimen MS1	179
Figura 138 Falla mixta en espécimen MS2	180
Figura 139 Falla por tracción diagonal en el espécimen MS3.....	180
Figura 140 Falla por tracción diagonal y mixta en espécimen MS4	181
Figura 141 Falla por tracción diagonal en espécimen MS5	182
Figura 142 Falla mixta en espécimen MR1	182
Figura 143 Falla mixta en espécimen MR2.....	183
Figura 144 Falla mixta en espécimen MR3.....	183
Figura 145 Falla por tracción diagonal en espécimen MR4.....	184
Figura 146 Falla mixta en espécimen MR5.....	184
Figura 147 Falla por tracción diagonal en espécimen MR6.....	185
Figura 148 Carga vertical y desplazamiento de los especímenes sin refuerzo.....	186
Figura 149 Carga horizontal y desplazamiento de los especímenes sin refuerzo	186
Figura 150 Módulo de corte de los 6 especímenes de muretes sin refuerzo	188
Figura 151 Carga vertical y desplazamiento de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	189
Figura 152 Carga horizontal y desplazamiento de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	189
Figura 153 Módulo de corte de los 6 especímenes de muretes reforzados con fibras diagonales	191
Figura 154 Comparación del módulo de corte entre especímenes	192
Figura 155 Comparación del módulo de corte entre especímenes	195
Figura 156 Región crítica cola a la derecha	198
Figura 157 Propuesta de mejora de colocación de unión perpendicular en la zona central	224
Figura 158 Matriz de Leopold	227

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Límite líquido de los suelos	26
Ecuación 2 Límite plástico de los suelos	26
Ecuación 3 Índice de plasticidad de los suelos	27
Ecuación 4 Contenido de humedad del suelo	27
Ecuación 5 Coeficiente de permeabilidad	28
Ecuación 6 Succión	29
Ecuación 7 Absorción.....	30
Ecuación 8 Resistencia a la compresión axial	38
Ecuación 9 Esfuerzo de compresión del material tierra del bloque de adobe	40
Ecuación 10 Esfuerzo de compresión admisible de la pila	40
Ecuación 11 Esfuerzo de compresión admisible del murete	41

INTRODUCCIÓN

En nuestro país, existen 2 148 494 construcciones en donde las paredes exteriores están construidas de un material de adobe o tapia, representando el 27,9 % de la totalidad de las viviendas particulares, de acuerdo al último censo realizado en el año 2017 (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018, p.23). Este material de adobe, como se menciona en la Norma E.080, es una unidad de tierra cruda con proporciones de arena o paja para mejorar su resistencia y su durabilidad en su vida útil. Sin embargo, estas viviendas presentan grietas y fallas frente a factores externos como sismos, vientos y lluvias que generan que estas construcciones presenten peligros y riesgos a los pobladores. Por ello, en esta presente investigación se plantea el uso de un recurso natural como refuerzo al adobe para minimizar estos riesgos. Este es el Arundo Donax conocido como caña brava o carrizo; es una planta herbácea que crece a orillas de los ríos o canales de agua y en todos los espacios disponibles, el cual resiste en periodos de sequía y humedades altas con una longitud de 2 a 8 metros.

Por eso, se ha planteado el objetivo general, el cual es comparar las propiedades y el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo. Para cumplir con este objetivo se plantean 2 tipos de especímenes, el primero es el bloque de adobe sin refuerzo; y el segundo, el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax. Para ello, se realizarán diversos ensayos para determinar sus propiedades físicas y mecánicas; y un análisis de precios unitarios, para su costo de fabricación. Con ello se realizará una comparación entre los mismos y de esta manera conocer la influencia del refuerzo. A continuación, se plantea lo que contiene cada capítulo de la presente investigación.

El primer capítulo se refiere al planteamiento del problema. En este se especifica la descripción del problema, preguntas, objetivos, delimitación, viabilidad, importancia y la justificación de esta investigación.

El segundo capítulo corresponde al marco teórico que comprende los antecedentes internacionales y nacionales; así como, las bases teóricas correspondientes.

El tercer capítulo corresponde a la metodología. Esta se refiere al nivel o alcance de la investigación, el diseño de la investigación, método de razonamiento, pasos de la investigación, descripción de la muestra investigada, tamaño de la muestra, tipo de muestreo de la investigación, norma técnica aplicada, técnica e instrumento.

El cuarto capítulo se refiere a las hipótesis y variables de la investigación, en el cual se identifica la variable independiente, la variable dependiente y sub variables; así como, la hipótesis general y las específicas. Cabe destacar que se presenta una tabla de operacionalización de variables y la matriz de consistencia.

En el quinto capítulo se realiza el diseño experimental de la presente investigación. En esta se detalla a mayor profundidad la descripción del trabajo de campo, laboratorio, el análisis e interpretación de los resultados de las propiedades físicas de la tierra, propiedades físicas y mecánicas de los bloques de adobe y el costo de fabricación de cada uno de los especímenes. Asimismo, se realiza la comprobación de las hipótesis y descripción del estadístico empleado.

El sexto capítulo corresponde al análisis del proyecto de investigación. En este capítulo se encuentran planteadas las propuestas de mejoras, las cuales podrían ser tomadas para futuras investigaciones. Asimismo, se detalla la evaluación del impacto ambiental y social que generó la construcción de los especímenes propuestos. Finalmente, se encuentra la evaluación económica de los bloques de adobe sin y con refuerzo.

Por último, las conclusiones y recomendaciones con los anexos respectivos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

1.1.1. Antecedentes Históricos

El adobe ha sido utilizado a lo largo de muchos siglos por diferentes pueblos de América. Molina (2020) menciona que se empezó a utilizar este material desde hace 9 000 años, encontrándose en diversos lugares del mundo viviendas, templos, fortalezas, y muchas construcciones más con adobe. Como es el caso de Turquestán, en el cual se encontraron viviendas entre los años 800 y 600 a.C., en Asiria se dio origen al uso de este material en el año 5 000 a.C., en Egipto hace 3 000 años con las bóvedas del templo Mortuorio de Ramsés II, en Irán en la ciudad de Arge Bam hace 2 500 años. Y así en muchos otros países alrededor del mundo, el material adobe ha sido y sigue siendo utilizado para las construcciones.

A nivel nacional en nuestro país una de las principales situaciones que se presentan constantemente, debido a la pobreza, es la construcción de viviendas con materiales tradicionales como el adobe, tapial, quincha, entre otros. Principalmente en las zonas rurales, en donde a pesar del crecimiento y avance económico del país aún millones de familias realizan las construcciones de sus viviendas con estos materiales tradicionales.

Según el último Censo Nacional realizados en el año 2017; se señala que, 4 298 274 viviendas particulares están construidas sus paredes exteriores con ladrillo o bloque de cemento, representando este el 55,0 %; mientras que, hay 2 148 494 viviendas construidas por adobe o tapia siendo este el 27,9 %. Asimismo, existen 727 778 viviendas con paredes exteriores de madera, representando este el 9,5 %. Por otro lado, también hay viviendas construidas por otros materiales como: triplay, calamina y estera con un 3,1 %, quincha con un 2,1 %, piedra con barro igual a 1,0 % y piedra o sillar con cal o cemento igual a 0,6 % (INEI, 2018, p.23).

Asimismo, según las Encuestas Nacionales de Hogares realizadas por el INEI en los años comprendidos del 2015 al 2019 cuyas viviendas tienen en sus paredes y según la zona de residencia existe en promedio 32,7 % del total de estas viviendas a nivel nacional construidas

con adobe o tapia. De las cuales el 20,4 % representa a las viviendas del área urbana; mientras que, en el área rural es igual al 72,3 % (INEI).

Si bien es cierto el construir las viviendas con este elemento trae ventajas ya sean económicas, sociales y ambientales; también, se presentan ciertas desventajas como es la poca estabilidad y resistencia de estas, la falta de elementos estructurales seguros para su permanencia durante movimientos sísmicos entre otros. Por ello, el Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) en su folleto “Construyendo casas de adobe más resistentes” (2002) menciona que:

PREDES puso en práctica la construcción de viviendas de adobe reforzadas con mallas, viga de concreto y cimentación de mampostería de concreto, en varios pueblos rurales de la provincia de Sánchez Cerro (Moquegua), donde se han levantado 250 viviendas en apoyo a la reconstrucción, después del terremoto que afectó al sur peruano en junio de 2001. Dicha experiencia se llevó a cabo con el Movimiento por la Paz (MPDL) de España y el financiamiento de la Oficina de Ayuda Humanitaria de la Unión Europea (ECHO). Tuvo el aporte del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (Sencico) en la capacitación del personal, albañiles y operarios. (p.04)

La problemática de las construcciones de materiales de adobe, tapial o quincha se presentaba desde años atrás, en donde las entidades antes mencionadas empezaron a enfocar su preocupación y buscar estrategias para mejorar ello, pues como se menciona en el párrafo citado anteriormente, se construyeron viviendas reforzadas con mallas para así minimizar los peligros o daños que podría traer este proceso constructivo.

Asimismo, otras instituciones como la Pontificia Universidad Católica del Perú pusieron a disposición de la población manuales para la construcción de viviendas de adobe reforzadas con mallas, como es el caso del Manual de Construcción Reforzado con Geomallas en donde indica paso a paso el proceso de construcción de una vivienda desde dos ambientes hasta cuatro ambientes, así como la elaboración de los adobes, la colocación y corte de la geomalla y de los demás elementos estructurales que se necesitan en una vivienda como los cimientos, sobre cimientos, paredes, techos y finalmente de los acabados, con la finalidad de que

muchos pobladores se beneficien y les permita vivir de manera tranquila y segura (Blondet et al., 2010).

Dado a la gran demanda de estas viviendas y los problemas que conllevaban los procesos autoconstructivos se estableció una normativa con lineamientos básicos. Para ello, Sencico (2020) puso a disposición la Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada del Reglamento Nacional de Edificaciones en el año 2020, esta es la última versión y de uso actual respecto al tema de investigación.

1.1.2. Causas del problema

Una de las causas de esta problemática generada es que gran parte de las viviendas construidas con adobe se realizan sin atender la normativa, tal como señala el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2010) “(...) actualmente en muchos casos no se respeta un adecuado proceso constructivo, o se ha prescindido de la asistencia técnica calificada, generando riesgos y accidentes en la seguridad y salud de las personas” (p.5).

Como se mencionó anteriormente, al no contar con una persona con habilidades y conocimientos en la planificación, diseño y construcción de viviendas de adobe, estas son propensas al deterioro y colapso en casos de sismos u otros desastres naturales.

Asimismo, la gran cantidad de deficiencias de materiales y proceso constructivo que presentan las viviendas son otras de las causas de que la estructura no sea resistente y segura para sus habitantes. Por ejemplo, los materiales de construcción son de baja calidad; el espesor de los muros no son los adecuados y no hay una buena conexión de amarre entre muros y techo. Además, por el inadecuado mantenimiento que se le da a este tipo de estructuras, ya que para que garanticen durabilidad y confort se requiere que le den un mantenimiento riguroso y constante (García et al, 2016).

Finalmente, la humedad es perjudicial en las unidades de albañilería, pues al encontrarse agua existente en el terreno se puede generar que las sales solubles lleguen a la superficie. Esto afectaría al muro ocasionado la disgregación de la parte inferior de los adobes (García et al, 2016).

Esto se evidencia en las grietas, fisuras y presencia de moho en los ambientes generando deficiencias estructurales. Por ello, esto es un factor decisivo en la resistencia del muro.

1.1.3. Pronóstico del problema

Esta situación se ve reflejada en diversos departamentos del territorio peruano. Existen millones de familias que aún habitan en viviendas con unidades de albañilería de adobe, tapia o quincha. Según el Censo realizado en el año 2017, existen 2 148 494 viviendas particulares que han sido construidas del material adobe o tapia en sus paredes exteriores, de las cuales los departamentos con mayor número de viviendas construidas con estos materiales son: Huancavelica, Apurímac, Cajamarca y Cusco con valores de 84 835 (82,4 %), 91 752 (76,1 %), 264 310 (70,3 %) y 217 794 (67,3 %) viviendas respectivamente (INEI, 2018, p. 30).

El adobe se presenta como uno de los recursos más usados desde la antigüedad por la facilidad de obtención y aplicación. A pesar de que, las cifras de viviendas de adobe o tapia están disminuyendo con el tiempo, estas aún siguen siendo un número significativo, representando el segundo material más utilizado, sobre todo en las zonas rurales del país. Asimismo, como se señaló anteriormente, son estructuras de baja resistencia, sin un buen comportamiento estructural. Si no se realiza ninguna acción para corregir este problema, muchas personas se verán afectadas. Pues, en el momento que suceda un sismo, inundaciones u otra catástrofe, las viviendas tienen un alto porcentaje de colapsar. En consecuencia, traería pérdidas económicas y muerte de la población generando una inestabilidad social en el país.

1.1.4. Control del pronóstico

La presente investigación hace una propuesta de mejorar el bloque de adobe como elemento constructivo basado en el material disponible que se encuentra en la zona de estudio. La siguiente propuesta consiste en reforzar al bloque de adobe con fibras de Arundo Donax, en donde tras realizar ensayos para determinar la succión, resistencia a la compresión axial y compresión diagonal se podrá hacer un estudio comparativo de las propiedades técnicas y económicas; pudiendo determinar de esta manera, si el refuerzo que se le hará al elemento

constructivo resulta favorable y eficiente. Pues es de vital importancia lograr mejoras no solo en la estructura de la vivienda; sino también, en el elemento constructivo.

Para ello, se realizó bloques de adobe sin ningún tipo de refuerzo y otros reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax. Teniendo en cuenta el cumplimiento de la Norma E.080 en todo el proceso constructivo de los bloques.

Con estos ensayos se quiere determinar mediante fichas técnicas las características de los especímenes. Para así conocer cuál sería la consecuencia o beneficio de usar uno o el otro, ya que se podrá identificar la carga y desplazamiento que soportará cada espécimen. De tal manera, se busca poder concientizar a la población y sobre todo ofrecer un aporte técnico para la construcción de viviendas con material adobe. Beneficiando a la población peruana, sobre todo a las familias de bajos recursos.

1.2. Preguntas de investigación

1.2.1. Pregunta general

- ¿Cuál es la diferencia entre las propiedades y costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo?

1.2.2. Preguntas específicas

- ¿Cuál es la diferencia entre la resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe y la resistencia que establece la Norma E.080?
- ¿Cuál es la diferencia entre la succión del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo?
- ¿Cuál es la diferencia entre la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo?
- ¿Cuál es la diferencia entre el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo?

- ¿Cuál es la diferencia entre la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo?
- ¿Cuál es la diferencia entre módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo?
- ¿Cuál es la diferencia entre el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Comparar las propiedades y el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Comparar la resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe con la resistencia que establece la Norma E. 080.
- Comparar la succión del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.
- Comparar la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo.
- Comparar el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo.
- Comparar la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo.
- Comparar el módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo.
- Comparar el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Delimitación de Contenido

Se enfocó principalmente en los recursos que se presentan en la naturaleza para su aprovechamiento y uso, como la tierra que es uno de los elementos naturales en mayor abundancia. De esta manera, se buscó utilizar este recurso en beneficio de las necesidades constructivas de la población; por lo que, en este trabajo de investigación se propuso a los bloques de adobe para el proceso constructivo; para ello, se evalúa y se compara su comportamiento técnico y económico. Además, la construcción de estos bloques de adobe se enfoca en la región costa central; por lo que, si se desea aplicar para otra región geográfica es necesario realizar estudios del comportamiento de la propuesta planteada. Asimismo, los muros de bloques de adobe con el tipo de reforzamiento propuesto en caso de construcción de viviendas se limitan hasta 2 pisos como máximo.

La presente tesis, según los lineamientos establecidos y exigidos por la Universidad Católica Sedes Sapientiae para los proyectos de investigación y tesis, tiene como línea de investigación: “Construcción y Gestión de Edificaciones”; asimismo, se encuentra dentro del campo de investigación: “Tecnología de la Construcción y Procesos Constructivos”.

1.4.2. Delimitación Espacial

La investigación se desarrolló en el departamento y provincia de Lima en el distrito de Lurigancho-Chosica, en un área determinada del centro poblado de Santa María de Huachipa de donde se obtuvo la tierra para la elaboración de los especímenes y cada una de las muestras que se realizaron. Los ensayos se realizaron en dos laboratorios, el primero de ellos fue el Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C. en el cual se hicieron los ensayos para determinar las propiedades físicas de la tierra del adobe. El segundo fue el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en el cual se realizaron los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes.

El Arundo Donax se obtuvo de la localidad de Carapongo en el distrito de Lurigancho-Chosica, en el departamento y provincia de Lima, para luego extraer las fibras que se emplearon en la fabricación de los especímenes planteados según corresponda.

1.4.3. Delimitación Temporal

Los datos que se consideraron para el desarrollo de este trabajo, como las muestras de tierra para los especímenes, la ejecución de ensayos y la obtención de resultados abarcaron un periodo de ocho meses, considerados entre el mes de enero e inicios de agosto de 2021. A inicios del 2020 se realizó básicamente el planteamiento del problema, marco teórico y metodología de la investigación. Mientras que, el planteamiento de la hipótesis general y específicas se desarrollaron en los meses de abril y mayo del 2020. Finalmente, se realizó el desarrollo experimental entre los meses de febrero y agosto de 2021; y la obtención de los resultados en quincena de octubre del mismo año.

1.5. Viabilidad de la investigación

1.5.1. Viabilidad Técnica

Se pretendió dar una solución a los problemas que se presentan en el país, especialmente en los departamentos en donde existe mayor pobreza. Se realizó un estudio comparativo técnico y económico de la unidad de albañilería. Ensayando dos especímenes, el primero un bloque de adobe sin ningún refuerzo y el segundo reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax; con la finalidad de determinar los beneficios en cuanto a su resistencia y comportamiento frente a cargas actuantes; así como, el aspecto económico. Siendo importante porque de ello dependerá que las personas de bajos recursos puedan tener acceso y facilidad de llevar a cabo la ejecución de sus viviendas con este tipo de construcción.

Para llevar a cabo la evaluación y ejecución del proceso constructivo de estos bloques se tuvo como referencia la Norma Técnica Peruana E.080, en donde se establecen ciertos parámetros; así como, la cantidad de arcilla que debe contener la tierra. Para ello, las muestras y datos necesarios para el trabajo de investigación fueron recolectados en Santa María de Huachipa-Lurigancho.

Asimismo, los ensayos se realizaron en dos laboratorios; MarJent Engineering Lab S.A.C. y el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, los cuales contaron con las herramientas y equipos para la ejecución de los ensayos propuestos.

1.5.2. Viabilidad Financiera

El trabajo de investigación se realizó en el periodo de ocho meses aproximadamente, en donde se contó con las recomendaciones y supervisión del asesor y la disponibilidad total de los investigadores para llevar a cabo tanto la recolección de datos como la elaboración de los ensayos. Durante todo este tiempo, la investigación fue financiada totalmente por los autores, disponiendo de los recursos necesarios.

Durante el proyecto de investigación se realizó un estudio económico de la construcción de los bloques de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax para su posterior uso en muros de viviendas. Asimismo, para observar la viabilidad financiera del proyecto se presenta el costo por metro cuadrado de un muro con el tipo de reforzamiento propuesto igual a S/ 32,86 sin IGV, en el cual se detalla el metrado y precio unitario (tabla 1). Observando que el costo por metro cuadrado de este tipo de albañilería es viable frente a la albañilería simple. Puesto que, según la revista Costos de la edición de mayo de 2022 el metro cuadrado de muro con ladrillo King Kong puesto en sogá tiene un costo de S/ 79,22 sin IGV (2022, p. 8).

Tabla 1*Presupuesto total de murete de adobe*

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01.00	Construcción del murete de bloque de adobe				32,86
01.01	Murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax 1 m ²	Und.	1	32,86	32,86
	Costo directo				32,86
	IGV				5,91
	Total presupuesto				38,77
	Son: treinta y ocho con 70/100 soles				

Nota. La unidad de medida “unidad” se abrevia como “Und.” de acuerdo a la NORMA TÉCNICA DE METRADOS PARA OBRAS DE EDIFICACIÓN Y HABILITACIONES URBANAS (RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 073-2010/VIVIENDA/VMCS-DNC.).
Elaboración propia, 2021.

1.6. Importancia y justificación de la investigación

1.6.1. Justificación social

Se trató de mejorar la calidad de las construcciones de los muros de material de adobe, hechos por un recurso natural que es la tierra. Pues, el costo del material y el proceso constructivo es mucho menor frente a otro tipo de albañilería. Asimismo, es un recurso natural que se encuentra al alcance de la mano, por lo que facilita su uso en estas construcciones.

Otro de los problemas sociales que aqueja a la población, en especial, a los peruanos que viven en zonas rurales, es el deterioro de las paredes de adobe. Puesto que, no cuentan con recursos económicos para tener muros más resistentes, ni con un especialista para estas construcciones. Por ello, este tipo de albañilería presenta una mayor probabilidad de sufrir daños importantes como fisuras, grietas e incluso colapsos. Lo cual generaría pérdidas económicas y/o humanas. Siendo de vital importancia mejorar este elemento constructivo.

1.6.2. Justificación ambiental

Por lo que la investigación se basó en el diseño y evaluación de bloques de adobe, siendo la tierra uno de sus materiales que se puede encontrar en forma ilimitada en la naturaleza. Esto se evidencia cuando se demuelen viviendas y los escombros son reintegrados a la tierra, logrando menor impacto ambiental (Baraya, 2022).

Por otro lado, este trabajo de investigación permitió usar los recursos naturales, plantas que se encuentran a disposición del hombre que recolecta para su propio beneficio. Una de ellas, es la planta de Arundo Donax que tiene la ventaja de propagarse. Por ello, la población de bajos recursos económicos puede usar esta planta para mejorar sus viviendas. Teniendo en cuenta que no es un recurso que genera impacto ambiental negativo; en cambio, permite que los seres humanos busquen soluciones adecuadas con los recursos que la naturaleza brinda.

1.6.3. Justificación técnica

Se propuso un refuerzo al bloque de adobe con las fibras diagonales de Arundo Donax, por lo que se identificó la factibilidad de usar estas fibras. Los resultados permitieron conocer la gran importancia de mejorar los procesos constructivos que incluyen materiales que protejan la vida de los habitantes, de aquellos que no tengan los recursos económicos para construir con mejores técnicas. Se tuvo en cuenta los ensayos que establecen las Normas Técnicas Peruanas; pues se encuentran los parámetros mínimos para el diseño de las estructuras de adobe. Permitiendo conocer el comportamiento frente a las fuerzas actuantes sobre las viviendas. Por otro lado, estas unidades de albañilería tienen la facilidad de moldearse en diferentes formas con buenos acabados. Por ello, empleando un material de refuerzo y siguiendo los lineamientos que establece la Norma E.080 se lograría que los hogares sean más seguros y no afecten la integridad de sus habitantes.

1.6.4. Importancia

La importancia radica en los resultados obtenidos, pues tras plantear la idea de un nuevo refuerzo para la unidad de albañilería de adobe. Se pretende que ésta presente mejores características en cuanto a su resistencia frente a factores externos. Por lo que, se hizo necesario experimentar dos tipos de muestras, la primera sin refuerzo y la segunda con

refuerzo con fibras diagonales de Arundo Donax. Tras realizar diversos ensayos para medir sus propiedades físicas y mecánicas; así como, determinar el costo de fabricación de cada tipo de bloque. Se lograría brindar información importante a la población en general, pero sobre todo a los futuros ingenieros fomentando que estos realicen mayores investigaciones en busca de una mejora en las unidades de albañilería o en las estructuras en general para beneficio de las personas con bajos recursos, las cuales aún continúan construyendo con bloques de adobe.

Cabe resaltar que los resultados como los módulos de elasticidad, módulo de corte, resistencias últimas; así como, los rendimientos de la construcción de cada unidad de bloque obtenidos resultan importantes, pues permiten que se tengan datos de muestras significativas ensayadas para ser empleadas en otras investigaciones, análisis estructural y normativas vigentes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

- Bonilla y Merino (2017) realizaron un proyecto investigación titulada “Estudio de las propiedades físicas de la caña Guadúa y su aplicación como refuerzo en la construcción de estructuras de adobe”. El tipo de investigación fue de alcance experimental cuya variable independiente fueron las propiedades físicas de la caña Guadúa y variable dependiente las estructuras de adobe. El objetivo general de dicha investigación fue realizar un estudio analítico y experimental acerca de la caña Guadúa, para su aplicación en la construcción con adobe. Se realizaron dos tipos de muros, uno reforzado con la caña Guadúa y otro sin reforzamiento. Para ello, se consideró un espesor de muro de 0,40 m, un largo de 2,52 m y una altura de 2,11 m. Asimismo, estos muros estuvieron conformados por bloques de adobe con 40 cm de ancho 20 cm de largo y espesor de 10 cm, y cañas de refuerzo de 10 cm de diámetro. Los autores usaron técnicas de observación registrada en base a fichas técnicas de los ensayos y modelamientos realizados a todas las muestras. La metodología utilizada consistió en primer lugar en el dimensionamiento de los muros; para ello se basaron en la Norma Técnica Peruana E.080 considerando un espesor de muro de 0,40 m. Con ese espesor y en base al porcentaje del peso para carga lateral y la resistencia al corte se definió la altura y el largo de los muros a ensayar. En segundo lugar, los autores realizaron el diseño del modelo matemático utilizando la teoría de elementos finitos. En tercer lugar, realizaron la construcción de dos tipos de muros antes mencionados, colocando dos bloques de hormigón ciclópeo en la parte de la cimentación y en ambos laterales del muro. Finalmente, ejecutaron los ensayos de carga lateral. Los resultados que se obtuvieron en la modelación para los esfuerzos axiales en dirección “x” e “y” y para los esfuerzos cortantes respectivamente fueron los mismos tanto en el modelamiento matemático como el análisis estructural. Los autores verificaron una gran diferencia entre el muro sin refuerzo y el muro reforzado, pues el primero posee una forma de falla frágil y el segundo una falla dúctil. Asimismo, determinaron que la carga que resistió el muro de adobe reforzado fue cuatro veces mayor que el sin reforzamiento, además esta caña

proporcionó una ductilidad de desplazamiento en un rango de 3,18 % a 3,58 %. Por otro lado, la elasticidad de ambos muros fue muy similar, pero respecto a la capacidad de disipación de energía el muro reforzado con caña Guadúa tuvo una disipación de energía de 300 veces más. Obtuvieron que la relación de la deriva entre ambas muestras fue mayor a 50; en consecuencia, la caña Guadúa favorece considerablemente el comportamiento plástico del muro, lo cual permite grandes desplazamientos. Finalmente, los investigadores concluyeron que el uso de otras alternativas como materiales para una construcción sustentable como en este caso se presentó la caña Guadúa, se puede conseguir viviendas con buenas condiciones sismorresistente, económicas y con un alto grado de confort y habitabilidad. Ya que, como se mencionó en los resultados, el adicionarle estos refuerzos mejoran las propiedades mecánicas de resistencia para las viviendas.

El presente antecedente aporta conocimiento respecto al empleo de otras fibras para el uso de viviendas construidas con bloques de adobe. Brindando información sobre la eficacia del uso de fibras vegetales como la caña Guadúa. En este caso no se reforzó a la unidad de albañilería, sino a la estructura del muro; en nuestro caso se plantea reforzar la unidad de albañilería con fibras de Arundo Donax, para poder encontrar la resistencia a la compresión axial y diagonal que ofrecerían estos bloques a los muros de las viviendas. De tal manera, de poder determinar si aportan una mejora para las futuras construcciones de adobe.

- Echeverry y Jaramillo (2017) llevaron a cabo un trabajo de investigación cuyo título fue “Elaboración de (BTC) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos”. El tipo de investigación fue de alcance experimental cuyas variables principales fueron el tipo de suelo, tipo de arcilla y tipo de cemento como variables independientes y variable dependiente la resistencia a la compresión simple. El objetivo general fue determinar la resistencia de muretes fabricados con bloques de tierra comprimida crudos compuestos por suelos derivados de cenizas volcánicas, cemento y arcilla, como alternativa de construcción de muros no estructurales en vivienda rural sostenible en el municipio de Pereira. Se realizaron especímenes con diferente porcentaje de adición de cemento, con 3 %, 4 % y 5 %. Para los cuales realizaron ensayos de resistencia a la compresión. Asimismo, ensayaron bloques con diferente porcentaje de arcilla y con 5 % de cemento para todas. Finalmente,

los autores realizaron muretes con diferente porcentaje de arcilla del 0 %, 5 %, 10 % y 20 % y 25 % de cemento para cada uno de ellos, para lo cual se consideró 2 unidades por cada tipo de adición, formando un total de 8 muretes. Para dicha investigación utilizaron técnicas de observación registrada a partir de fichas técnicas de los ensayos de cada una de las muestras. La metodología utilizada por los autores consistió en primer lugar en la localización del sitio de estudio, tomando el sector de la florida en el Municipio de Pereira. En segundo lugar, realizaron la caracterización física y mecánica de los suelos, llevando a cabo ensayos como el límite líquido y plástico, el ensayo hidrómetro, Proctor modificado NTC 2122. En tercer lugar, elaboraron los BTC utilizando una maquina cinva-Ram. Finalmente, realizaron ensayos de resistencia a compresión a los especímenes con adición del 3 %, 4 % y 5 % de cemento, tanto a las probetas, como a los bloques y muros. Los resultados que obtuvieron fueron que al aumentar en un 3 % y 5 % de cemento a las muestras la resistencia a la compresión en las probetas ensayadas aumenta. Por otro lado, los investigadores determinaron que para el caso de bloques con adición de 5 % de cemento y 10 %, 20 % y 30 % de arcilla no presenta una estabilización. Asimismo, según los resultados que obtuvieron de laboratorios el BTC tiene menor resistencia que los comerciales, haciendo que los BTC convencionales tengan un mayor costo. Finalmente, pudieron concluir que al adicionarle un 5 % de cemento ayuda a mejorar la resistencia de los bloques; sin embargo, el adicionarle ciertos porcentajes de arcilla ocasiona que los bloques no sean los más óptimos. Asimismo, el trabajar con estos bloques demandará un mayor costo, por el tiempo que se toma para su fabricación.

El antecedente mencionado líneas arriba nos permite tener una mejor visión en cuanto al análisis del costo y beneficio que conlleva el adicionar diferentes elementos como refuerzo de los bloques de adobes tradicionales. Pues el adicionar cualquier elemento llevará un trabajo extra respecto a lo convencional; sin embargo, si esta adición proporciona mejores resultados es beneficioso para la unidad de albañilería y sería conveniente emplearlo. Asimismo, se puede tener un enfoque de otras opciones de aditivos como es en este caso el cemento y adición en mayores proporciones del material de arcilla. Además, al tener la mezcla una mayor cantidad de arcilla no beneficia las propiedades del bloque de adobe. Permitiendo con ello que, nuestra tesis no se enfoque o cambie las proporciones; sino que, se trabaje con las cantidades definidas en las normas

- Ayala y Chuya (2018) realizó un trabajo de investigación titulado “Comparación de parámetros mecánicos y físicos del adobe tradicional con fibra de vidrio”. La investigación fue de alcance descriptivo cuya variable principal fue parámetros mecánicos y físicos del adobe con fibra de vidrio. El objetivo general fue analizar y comparar las propiedades mecánicas de adobes reforzados con la fibra antes mencionada en los bloques de adobe tradicionales de San José de Balzay. Se construyeron 16 muestras de unidades de adobe de dimensiones de 45 cm x 25 cm x 15 cm y de 10 cm x 10 cm x 10 cm; y 8 muretes de adobe; de los cuales, 4 fueron de dimensiones de 25 cm x 45 cm x 55 cm y las 4 últimas de 25 cm x 55 cm x 55 cm. Las fichas de los ensayos fueron su técnica para la registrar los resultados, junto con la observación. La metodología consistió en una primera etapa, que fue la selección de la tierra y ensayos de campo tales como: prueba de elasticidad, impacto, corte con cuchillo, sedimentación, resistencia seca, color, exudación. Asimismo, ensayos para el análisis de las propiedades físicas del suelo. En la segunda etapa, los investigadores realizaron la elaboración de las unidades y muretes de adobe, los cuales se sometieron a ensayos de compresión, flexión y compresión diagonal. En la tercera etapa, ensayaron los muretes reforzados con fibra de vidrio como el ensayo a tracción. Por último, realizaron un análisis y comparación de las propiedades mecánicas entre los muretes con y sin reforzamiento. Los resultados que obtuvieron dieron a conocer que en compresión tuvo una resistencia de un 25 % más que el adobe tradicional. Asimismo, en flexión se incrementó este valor en un 514 %. Por otro lado, para los ensayos de compresión en muretes dio un resultado del 30 %; y en compresión diagonal, un 18 % más. Finalmente, concluyeron que el refuerzo de las fibras de vidrio es vital para mejorar la resistencia de la estructura de adobe; puesto que, hay un incremento significativo en comparación a estructuras tradicionales, teniendo en cuenta la mejor disposición de las varillas de fibras de vidrio.

Este antecedente, para nuestra investigación, aporta información del empleo de nuevos elementos para la unidad albañilería de adobe, no solo elementos naturales, sino también reciclados. Nos permite tener una mejor visión respecto a los constantes y necesarios intentos por lograr obtener una unidad de adobe reforzada, para así mejorar las construcciones de la población como es el uso de fibras de vidrio. Refuerzo que generó mayor resistencia tanto a compresión como a flexión. Lo que conlleva a ser más investigaciones y ensayos empleando otras opciones como adición para estas unidades

de albañilería, sobre todo aquellas que no generen un impacto negativo al medio ambiente.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

- Carhuanambo (2016) desarrolló una tesis titulada “Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016”. El tipo de investigación fue de alcance experimental cuyas variables independientes fueron el porcentaje de viruta y el porcentaje de aserrín; y variables dependientes fueron la resistencia a compresión del adobe compactado, la resistencia a la flexión del adobe compactado y la absorción de agua del adobe compactado. El objetivo general de dicha investigación fue determinar las propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con 1,5 %, 3,0 % y 4,5 % adición de viruta y 1,5 %, 3,0 % y 4,5 % adición de aserrín de Eucalipto. Se elaboraron 140 bloques de adobe usando la prensa CINVA, de los cuales 56 fueron sometidos a ensayos de compresión, 42 para el ensayo de flexión y 42 para los ensayos de absorción del agua, teniendo en cuenta los porcentajes de adición. En la investigación utilizaron técnicas de observación registrada en base a fichas técnicas de los ensayos para la recolección de datos y análisis de los mismos. La metodología usada consistió en un análisis de las propiedades del suelo, sobre la que se realizó el análisis granulométrico, contenido de humedad y límites de Atterberg. Seguido a ello, realizó los ensayos de Proctor modificado tanto para el suelo sin adición como el suelo con cada uno de los porcentajes de aserrín y viruta de Eucalipto. Luego, el autor elaboró los adobes compactados teniendo en cuenta los porcentajes de adición de las fibras vegetales de 1,5 %, 3,0 % y 4,5 % de aserrín y viruta, esto en proporción al peso del material. Por último, fueron trasladados para ser ensayados en el laboratorio de concreto de la UPN de Cajamarca. Los resultados que se obtuvieron fue un suelo Arena Arcillosa (SC) con un contenido de humedad de 12,61, límite líquido de 29,9 %, límite plástico de 19,8 % e índice de plasticidad de 10,2 %. Respecto a los ensayos de compresión dieron un mejor resultado la adición de viruta de 1,5 %, 3,0 % y 4,5 % con valores de 28,04 kg/cm², 29,79 kg/cm² y 30.94 kg/cm² respectivamente; y la adición de aserrín con los mismos porcentajes dieron valores de 21,01 kg/cm², 18,53 kg/cm² y 13,64 kg/cm², cumpliendo la resistencia mínima de la normativa peruana de 12 kg/cm². Para los ensayos a flexión, obtuvo una resistencia de 20,67 kg/cm², 19,38 kg/cm² y 23,34 kg/cm² para la adición de viruta de 1,5 %, 3,0 % y 4,5 % respectivamente; mientras, que las

adiciones de aserrín dieron como resultado de 18,06 kg/cm² para 1,5 %, 9,81 kg/cm² para 3,0 % y 12,48 kg/cm² para 4,5 %, superando la adición de viruta al adobe patrón de 18,11 kg/cm². Finalmente, los resultados fueron para la absorción de agua de 19,36 %, 20,1 % y 20,95 % para la adición de viruta; y 16,99 %, 17,75 % y 18,35 % la adición de aserrín, teniendo en cuenta los porcentajes antes mencionados para ambos casos. Cabe resaltar, que estos resultados superaron el adobe patrón que dio un valor de 15,69 %. Por ello, concluyó que la adición en los porcentajes de 1,5 %, 3,0 % y 4,5 %, de viruta de Eucalipto mejora la resistencia del adobe tanto en compresión, flexión y absorción de agua.

El antecedente permitió conocer que aplicando dos adiciones de fibras vegetales; tales como, viruta de Eucalipto y aserrín mejoró las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de adobe tradicionales. De los cuales, la mejor opción fue la viruta de Eucalipto. Por ello, este antecedente aporta a la investigación en conocer que diferentes fibras naturales mejoran las propiedades de los bloques de adobe, de esta forma se debe investigar que otras fibras pueden ser adicionadas para mejorar las construcciones de adobe que estén al alcance de los pobladores.

- Bolaños (2016) hizo su tesis titulada “Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna”. Este fue de alcance experimental cuya variable independiente fue el porcentaje de adición de goma de tuna y las variables dependientes fueron la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y la resistencia a la absorción de agua. El objetivo general de dicha investigación fue determinar la resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna en diferentes porcentajes. Realizó un total de 96 unidades compactadas y estabilizadas con la adición antes mencionada en 5 %, 10 % y 15 %. Del total de la muestra, 40 fueron sometidos a compresión, 32 unidades a flexión y 24 ensayados a absorción. En este trabajo se usó la técnica de observación registrada con fichas de los ensayos realizados a toda la muestra y curvas de esfuerzo vs deformación. La metodología consistió en la obtención de la muestra de tierra de adobe y goma de tuna. Luego, para conocer y clasificar la tierra fue sometida a ensayos. Por último, el investigador construyó los adobes y se sometieron a los ensayos con la finalidad de conocer la resistencia entre la muestra estándar y el adicionado. Los resultados mostraron un contenido de humedad de 9,3 %, LL de 26,0 %, el LP de 15,0 % e IP de

11,0 %. Con estos ensayos y del análisis granulométrico se encontró que el suelo fue SC Arena Arcillosa, donde su gradación cumplía con los parámetros de la Norma E.080. Por otro lado, encontró de cada muestra su densidad seca y humedad óptima. En los ensayos de resistencia a compresión obtuvo que la muestra estándar fue 19,19 kg/cm², los de adición con goma de 5 %, 10 % y 15 % fueron 21,90 kg/cm², 25,27 kg/cm² y 27,56 kg/cm² respectivamente. Mientras, en la resistencia a la flexión obtuvo que la muestra patrón fue 4,77 kg/cm², las muestras adicionadas con los porcentajes antes mencionados fueron 6,47 kg/cm², 6,81 kg/cm² y 6,11 kg/cm² respectivamente. Por último, la resistencia a la absorción obtuvo solamente para los adobes con adición con 5 % y 10 %, siendo los valores de 12,68 % y 14,62%. Destacando que la adición con goma de tuna tiene una mayor resistencia que la muestra patrón. Concluyó que el empleo de la adición de goma de tuna en adobes compactados aporta un mayor beneficio en cuanto a resistencia a diferencia de los adobes sin adición, permitiendo viviendas más estables y resistentes.

El presente antecedente permitió conocer que la adición de otros recursos mejoró la resistencia frente a los bloques convencionales, siendo estos provenientes de la naturaleza, pues la adición de goma de tuna mejoró la resistencia en diferentes porcentajes de adición. Por ello, es vital conocer que otros recursos naturales pueden ayudar a mejorar las construcciones de adobe, conociendo su comportamiento frente a cargas actuantes.

- Torres (2016) realizó una investigación cuyo título fue “Las fibras naturales como refuerzo sísmico en la edificación de viviendas de adobe en la costa del departamento de Ica”. La investigación de alcance descriptivo cuya variable principal fue una edificación de adobe reforzada con una fibra natural. El objetivo general fue proponer el refuerzo sísmico en una estructura de adobe, teniendo como fibra natural el Agave Henequén en malla tejida, en la costa de Ica. Se realizó un prototipo virtual de una vivienda rural de un piso con un área de (10 m x 12 m), dividida en diferentes ambientes. Para el análisis sísmico, estos muros fueron reforzados con mallas de fibras de Agave Henequén en ambas caras, teniendo en cuenta que estuvieron conectadas cada 30 cm y el grosor de la fibra fue de ½ mm de diámetro y separadas cada fibra de 1 cm; luego estos muros fueron tarrajeados encima de las mallas. Para el análisis sísmico se consideró modelo de masas distribuidas, diagrama elástico, análisis de elementos finitos

y la aplicación de la Norma E.030. Como técnica se basó en fichas de los modelamientos realizados mediante el software SAP conjuntamente con planos de la edificación. La metodología consistió en primer lugar en realizar un modelo de una vivienda de 120 m². En segundo lugar, el autor procesó los datos en el software para su posterior modelamiento. En tercer lugar, realizó el diseño sismorresistente tomando en cuenta la Norma E.030. En cuarto lugar, el respectivo modelamiento en SAP y obtuvo que 10,78 kg resiste cada fibra de carga o tracción aplicada. Los resultados fueron una fuerza horizontal de 0,40 del peso de la estructura, carga viva 50 kg/cm² y carga muerta de 150 kg/cm²; observó que el lugar más crítico del muro frente a sismos es cerca a puertas y bordeando el dintel llegando hasta 30 kg/cm². Asimismo, resultó la máxima fuerza de flexión de 169,08 kg/cm², teniendo en cuenta que encontró 16 hilos por centímetro de la malla tejida siendo esta la mayor densidad lineal obtenida; mientras, que la menor fuerza de flexión fue de 56,21 kg/cm² teniendo 6 hilos en 1 cm de malla tejida. Este valor menor se debió a que en la zona no existía ningún vano a diferencia en la zona de mayor fuerza de flexión que se encontraba una puerta y ventana. Finalmente, llegó a la conclusión que al realizar un modelamiento de la vivienda encontró la máxima fuerza y la cantidad de hilos por cm necesarios para un correcto reforzamiento y así brindar una mayor resistencia y seguridad. Siendo esta 16 hilo/cm en el diseño de la malla tejida de Agave henequén, considerando la separación de las fibras pues permitirá que esta se adhiera tanto al muro como al mortero de manera segura.

En este antecedente se observó el comportamiento de la malla tejida con fibra de Agave henequén en el modelamiento de SAP. Teniendo observaciones como la cantidad de hilos por cm dando diferentes valores de fuerzas de flexión, siendo importante conocer la cantidad adecuada para un mejor diseño de la malla y por ende una mayor resistencia. Por ello, aporta en la investigación conocer otras fibras naturales para usarlas como malla o como una adición a los bloques de adobe, recalcando usar la cantidad adecuada para mejorar su comportamiento.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Definición, composición del adobe y características

2.2.1.1. El adobe y su composición

Según la Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada el adobe es una mezcla de tierra cruda con una proporción de paja o arena y agua; de tal manera, que le brinde mayor durabilidad y resistencia al bloque que se vaya a construir, existen varias formas de poder brindarle una mayor resistencia al adobe, como el incorporar otro tipo de materiales ya sea cal, cemento, fibras naturales u otros, a esta acción se le denomina bloques estabilizados (Sencico, 2020).

Por otro lado, respecto a la composición del material adobe en cuanto al agregado fino (arcilla) y grueso (arena) los autores Quintana y Vera (2017) mencionan que “La arcilla, actúa como aglomerante manteniendo unida la masa, mientras que la arena sirve de esqueleto interno de la masa. Es por eso que la combinación óptima entre ambos constituyentes influye en un mejor comportamiento del material” (p.15).

2.2.1.2. Características del adobe

Algunas de las características que debe tener el bloque de adobe para llevar a cabo las construcciones son en primer lugar la calidad de la tierra a emplear, esta deberá tener una cantidad adecuada de arcilla; así como, no contar con restos orgánicos. Por otro lado, el agua debe ser potable o no contar con materia orgánica ni sales (Sencico, 2020).

Asimismo, los bloques de adobe tienen como características el ser aislantes térmicos y acústicos, pues pueden controlar las temperaturas extremas, lo que hace que la construcción de este material predomine en las zonas andinas del país (Moscoso, 2016, p. 73).

2.2.2. Pruebas in situ de la tierra del adobe

2.2.2.1. Prueba de cinta de barro

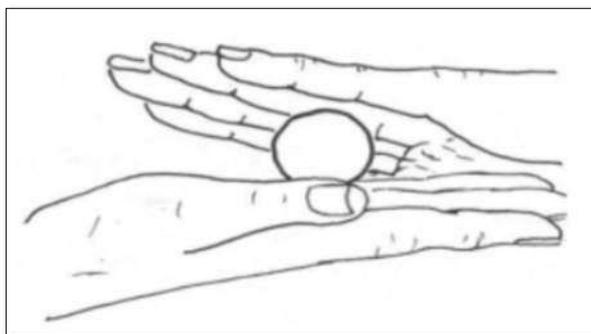
La Norma E.080 especifica que la prueba de cinta de barro da a conocer inicialmente la presencia de arcilla presentada en la tierra a estudiar. Esta prueba tiene una duración de 10 minutos aproximadamente; para ello, se emplea una porción de barro con el objetivo de formar un cilindro con un diámetro de 12 mm y una longitud aproximada de 5 cm, la cual se debe colocar en la mano y aplanar con los dedos hasta alcanzar 4 mm de espesor; luego, tomar desde un extremo y dejar colgar para visualizar a que longitud llega. Si esta alcanza entre 20 cm y 25 cm, se determina que el suelo es muy arcilloso. Pero si se llegase a cortar a los 10 cm o menos, el suelo tiene poca cantidad de arcilla (Sencico, 2020, p. 28).

2.2.2.2. Prueba de presencia de arcilla o resistencia seca

La Norma E.080 menciona que esta prueba se basa en formar cuatro unidades de esferas pequeñas de tierra de la zona a trabajar, a la cual se le agregará agua con proporciones adecuadas, como se puede observar en la figura 1, buscando que no se deformen significativamente al secarse.

Figura 1

Prueba de presencia de arcilla o resistencia seca



Nota. Formación de las esferas pequeñas sobre las palmas de las manos. Adaptado de la "Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada" (p.28), por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, 2020.

Luego de dejar secar las esferas pequeñas por cuarenta y ocho (48) horas, teniendo en cuenta que no se humedezcan ni se mojen; seguido a ello, se presionan fuerte con el dedo pulgar e índice, como se observa en la figura 2. Si luego de la prueba una de las esferas pequeñas se quiebra, rompe o agrieta se debe formar con el mismo material cuatro esferas pequeñas más y dejar secar siguiendo lo descrito anteriormente, repitiendo la misma prueba. Si se vuelve a fisurar, romper o presenta alguna grieta se debe desechar la cantera de donde se extrajo el material para la prueba; de lo contrario, se toma la cantera para usarla como material de construcción (Sencico, 2020, p. 28).

Figura 2

Prueba de presencia de arcilla o resistencia seca



Nota. Presión con el pulgar e índice de las manos a la esfera seca. Adaptado de la "Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada" (p.28), por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, 2020.

2.2.3. Propiedades físicas de la tierra del adobe

2.2.3.1. Gradación del suelo

Una de las propiedades físicas del adobe es su composición de materiales. Como indica Zapata (2018) el suelo puede clasificarse de diferentes maneras. Siendo una de estas la clasificación por el tamaño de las partículas, de las cuales se encuentran las gravas, arenas, limos y arcillas. De acuerdo al MIT (Massachusetts Institute of Technology) las partículas de diámetros menores a 0,002 mm hacen referencia a las arcillas, diámetros entre 0,002 mm y 0,06 mm limo y arena a aquellas partículas que miden entre 0,06 mm y 2 mm de diámetro. Mientras que las que tengan un mayor diámetro se denominan gravas. De igual manera estos

cuatro tipos se pueden agrupar por suelos gruesos (> 1 mm) como las gravas y arenas y suelos finos (< 1 mm) para limos y arcillas (p. 3).

La grava es aquel suelo que pasa por el tamiz de 75 mm (3") y queda retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4). La arena son partículas que pasa por el tamiz 4,75 mm (N°4) y queda retenido sobre el tamiz 75 μ m (N° 200). En el caso de la arcilla, es el suelo que pasa por el tamiz N° 200 con un IP igual o mayor que 4, o está por encima de la línea "A" en la carta de plasticidad. Finalmente, el limo es el suelo que pasa por el tamiz N° 200 con un índice de plasticidad menor que 4 o está debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2000).

Se podrá determinar la gradación que presenta la muestra de suelo del adobe mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), en donde se identifica el nombre, origen y símbolo del grupo de suelo al que pertenece la muestra. La NTP 339.134 "Métodos para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado clasificación SUCS)", menciona que SUCS toma como referencia la granulometría, límite líquido e índice de plasticidad y la carta de plasticidad de Casagrande. Asimismo, este divide en tres grupos; tales como, suelos de grano grueso, suelo de grano fino y suelos altamente orgánicos, dentro de estos grupos se subdivide en 15 grupos de suelos. Con la información de los ensayos se ubica a qué tipo de suelo presenta la muestra de adobe (Comité Técnico Permanente de Geotecnia, 1999).

En cuanto AASHTO, los suelos son clasificados en 7 grupos denominados por una simbología del A-1 al A-7, de los cuales algunos se subdividen. El grupo A-1 se subdivide en A-1-a y A-1-b; A-7 se subdividen en dos grupos A-7-5 y A-7-6; mientras que, A-2 se subdivide en A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7; de esta manera, formarían un total de 12. Cabe resaltar que los materiales granulares (del A-1 al A-3) son aquellos que pasan la malla N° 200 en un 35 % o menos; y los materiales limosos y arcillosos (del A-4 al A-7) pasan la malla N° 200 más del 35 % los suelos altamente orgánicos son clasificados como A-8. Asimismo, toma como referencia la granulometría y límites de Atterberg con la finalidad de agrupar la muestra en su respectivo grupo de suelo (Bañón y Beviá, 2000).

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Ecuación 1 Límite líquido de los suelos

Se tiene que:

N: Número de golpes requerido para cerrar la ranura

Wⁿ: Contenido de humedad del suelo

2.2.3.3. Límite plástico de la tierra

El límite plástico es definido por la norma D 4318 - 05 Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos como “el contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en el límite entre los estados plástico y semisólido” (ASTM, 2005, p. 3).

El manual de ensayos del MTC (2016) menciona que el (L.P.) es la “(...) humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8”) de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen” (p. 72). Asimismo, para determinar los resultados, se hace uso del promedio de dos datos obtenidos del contenido de humedad, según los rangos aceptables y el empleo de la ecuación 2.

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Ecuación 2 Límite plástico de los suelos

2.2.3.4. Índice de plasticidad de la tierra

Se define al IP como aquella diferencia entre su límite líquido y plástico tal como se observa en la ecuación 3. Por otro lado, cabe resaltar que cuando el límite líquido o el límite plástico no pueden determinarse, se denomina al índice de plasticidad con la abreviatura NP (no plástico); asimismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se denominará como NP (MTC, 2016).

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Ecuación 3 Índice de plasticidad de los suelos

L.L.: Límite líquido

L.P.: Límite plástico

2.2.3.5. Contenido de humedad

Es expresada como un porcentaje, esta se obtiene de la razón entre el peso del agua contenida en los poros y el peso de ese material en estado sólido. Además, la temperatura con la que se determina es de 110 ± 5 °C (ASTM, 1998).

Según el MTC (2016) con este modo se logra determinar el peso de agua eliminada; para ello, se debe secar el suelo húmedo de manera constante en un horno controlado a 110 °C \pm 5 °C. En donde el peso de las partículas sólidas se obtiene del peso del suelo que es secado en el horno y la pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua. Se debe tener en cuenta que, las muestras deben mantenerse en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura de 3 °C a 30 °C hasta el momento del ensayo; de tal manera que, se prevea la condensación de humedad del suelo. Una vez realizado el muestreo se determina mediante la siguiente ecuación 4 (p.49).

$$W (\%) = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Ecuación 4 Contenido de humedad del suelo

2.2.3.6. Permeabilidad

Una de las propiedades fundamentales que presenta el suelo respecto al flujo de agua es la permeabilidad, siendo esta la capacidad con la que cuenta el suelo para permitir el pase de algún fluido sin que este dañe o altere su estructura interna. Esta se calcula en base al coeficiente de permeabilidad determinado por la Ley de Darcy. Se calcula como la velocidad de traslación del agua por el suelo asociada a un gradiente hidráulico unitario, expresado en la ecuación 5.

$$k= Q/IA$$

Ecuación 5 Coeficiente de permeabilidad

El cual tenemos:

k, coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica (m/s)

Q, caudal (m³/s)

I, gradiente (m/m)

A, sección (m²)

Por otro lado, hay que tener en cuenta ciertos factores inherentes del suelo y del agua circulante que intervienen en la permeabilidad, tales como: la relación de vacíos del suelo, la temperatura del agua, la estructura y estratificación del suelo y agujeros, fisuras, etc., en el suelo (Juárez y Rico, 1973).

2.2.4. Propiedades físicas del bloque de adobe

2.2.4.1. Alabeo

La medida del alabeo según la NTP 399.613 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería”. En donde se determina la concavidad o convexidad tanto de las superficies como de los bordes del bloque. Para el caso de medición de las concavidades se coloca una barra a lo largo de la superficie, esto de manera longitudinal o diagonal de extremo a extremo y se mide la mayor distancia con uso de una herramienta como la regla o cuña. Asimismo, para las superficies convexas se coloca la unidad a medir sobre una superficie plana y se prosigue a tener el resultado de la distancia de los cuatro bordes. Por otro lado, para los extremos cóncavos y convexos se coloca la barra entre los extremos y se mide la distancia mayor con aproximación a 1 mm (Comité Técnico de Normalización de Unidades de albañilería, 2017, p.22).

2.2.4.2. Rapidez inicial de absorción (Succión)

La NTP 399.613 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería”. Menciona que, la succión es el periodo inicial de

absorción, en otras palabras, el agua que puede absorber en un minuto. Asimismo, se menciona que esta se determina secando los especímenes a una temperatura de 105 °C a 115 °C no menor a 24 horas. Luego de dejarlo enfriar se debe pesar el espécimen con una aproximación de 0,5 g. Seguidamente se sumerge en una bandeja con agua en el periodo de un minuto +/- 1s, se retira secándolo con paños húmedos en un periodo de 10 segundos y este deberá ser pesado en los siguientes 2 minutos. Finalmente se obtiene la succión con la diferencia del peso inicial y final. Teniendo en cuenta que si el área del espécimen es mayor que $\pm 2,5 \%$ de 200 cm² se debe corregir con la ecuación 6 con una aproximación a 0,1 g como se muestra a continuación (Comité Técnico de Normalización de Unidades de albañilería, 2017, p.22).

$$X = \frac{200 \times W}{L \times B}$$

Ecuación 6 Succión

De la cual:

X = Diferencia de pesos corregida sobre la base de 200 cm² (g)

W = Diferencia de pesos del espécimen (g)

L = Longitud del espécimen (cm)

B = Ancho del espécimen (cm)

2.2.4.3. Absorción

La NTP 399.604 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto”. Señala que, para determinar la absorción de agua que tiene la unidad de albañilería consiste en usar tres especímenes enteros o cortados de una unidad entera. Estos se sumergen en agua a una temperatura de 15,6 °C a 26,7 °C durante 24 horas, en este paso se debe registrar el peso sumergido. Luego retirar los especímenes drenando toda el agua con ayuda de una malla metálica gruesa de 9,5 mm durante un minuto; asimismo retirar el agua superficial con paños húmedos; posterior a ello, se pesa los especímenes. Finalmente, las muestras son colocadas al horno de 100 °C a 115 °C aproximadamente 24 horas, se registra los pesos y se calcula la respectiva capacidad de

absorción con los pesos antes registrados (Comité Técnico de Normalización de Unidades de Albañilería, 2002, p.16).

$$\text{Absorción \%} = \left[\frac{Ws - Wd}{Wd} \right] \times 100$$

Ecuación 7 Absorción

En donde:

Ws: Peso del espécimen en contacto con el agua (kg)

Wd: Peso del espécimen seco al horno (kg)

2.2.4.4. Porosidad

La porosidad es el volumen que poseen todos los poros del barro, en este caso el adobe, teniendo en cuenta sobre todo la dimensión de estos. Es decir, el volumen del suelo que es ocupado por agua, gases y actividad biológica. Siendo de mucha importancia ya que con ello se determina la cantidad de agua que se puede acumular o no (Molina, 2020).

2.2.4.5. Densidad

Existen dos tipos de densidades que se pueden determinar como propiedad física del suelo, las cuales son la densidad aparente, siendo esta la relación que hay entre el volumen total de sólidos y su masa; y la densidad real se determina por la composición química y mineralógica, por lo que esta es constante (Molina, 2020).

2.2.4.6. Conducción térmica

Otra de las propiedades físicas que presenta el adobe es la conducción térmica, pues al trabajar la tierra de manera adecuada se puede llegar a tener un gran confort térmico en las construcciones de adobe. Asimismo, se menciona que la conductividad térmica se basa en:

“El proceso de conducción de calor establecido por la ley de Fourier, donde los bloques sólidos de los materiales de construcción tienen un espesor h , cuyas caras (exterior al ambiente e interior a la habitación) de magnitud A están a diferente

temperatura caliente y fría T_c y T_f respectivamente” (Cuitiño et al, 2015, como se citó en Alagón y Neira, 2020).

2.2.5. Diseño de mezcla del adobe

Como bien nos menciona la Norma E.080 para realizar el diseño de mezcla es importante primero verificar el tipo de tierra a utilizar, la cual debe tener una cantidad apropiada de arcilla y arena, de tal manera que los bloques no se rajen o presenten algún tipo de fisuras o grietas; si no que, tengan una buena resistencia. Para ello, se realiza la prueba de “Cinta de barro” y la “Presencia de arcilla” debiendo equilibrar la mezcla para evitar fisuras o grietas al momento del secado y mejorar su resistencia seca incorporándole paja o fibras naturales; buscando se cumpla con la resistencia a la compresión última del material tierra igual a $10,2 \text{ kgf/cm}^2$, la resistencia última a compresión axial en pilas igual a $6,12 \text{ kgf/cm}^2$ y la resistencia última a compresión diagonal igual a $0,25 \text{ kgf/cm}^2$. Por otro lado, se menciona en la norma que la proporción de agua para elaborar los bloques de adobe no debe ser mayor al 20 % del peso del contenido seco, además que estos pueden ser cuadrados o rectangulares, teniendo en cuenta que los bloques cuadrados no deben sobrepasar los 0,40 m de lado y los de forma rectangular deben tener un largo igual a dos veces su ancho, con una altura entre 0,08 m y 0,12 m para ambos casos (Sencico, 2020).

Según Blondet et al. (2010) los bloques de adobes a emplear deben tener una buena mezcla de tierra, arena gruesa, paja y agua, con una proporción adecuada de cada elemento que se va usar para el diseño de la mezcla. Los autores indica ciertas proporciones para los adobes tradicionales, la cual se presenta en la tabla 2. Asimismo, sus medidas pueden variar; sin embargo, se aconseja hacer bloques anchos.

Tabla 2*Proporción de mezcla de barro para adobes*

Mezcla de barro para hacer adobes
5 latas de barro dormido (reposar mínimo 24 horas)
1 lata de arena gruesa
1 lata de paja de 5 cm de largo
$\frac{1}{2}$ lata de agua

Nota. Dosificación a tener en cuenta para la construcción de adobes. Adaptado de “Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludable y seguras” (p.24), por Blondet, et al., 2010.

2.2.6. Proceso constructivo del bloque de adobe

Este consta básicamente de cinco pasos, los cuales se realizan después de haber determinado la calidad de la tierra a usar, Blondet et al. (2010) en el Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludables, los describe de la siguiente manera:

- a) **Construcción del tendal:** Este será en un espacio libre, amplio y plano; para ello se debe tener en cuenta la forma en cómo se construye. Primero se debe compactar el terreno en donde se va a trabajar con la ayuda de un pisón, una vez compactado el terreno se le cubre con una capa de arena como se observa en la figura 4. Es importante tener en cuenta cubrir el tendal con plástico o esteras para proteger del sol a los adobes y así evitar que se rajen.

Figura 4

Construcción del tendal



Nota. Compactación del terreno, colocación arena fina y tendal. Adaptado de “Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludable y seguras” (p.23), por Blondet, et al., 2010.

- b) Fabricación de las gaveras: Moldes normalmente fabricadas de madera que se usan para hacer los adobes. Se debe tener en cuenta sus dimensiones, pues dado que el adobe se encoge al secarse deben ser más grandes, en la figura 5 se muestra una gavera con sus dimensiones para un bloque de adobe de 40 cm x 40 cm x 10 cm, teniendo en cuenta que las medidas mostradas en la figura son las medidas internas de la gavera.

Figura 5

Gavera para adobe cuadrado



Nota. Medidas de adobera en cm. Adaptado de “Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludable y seguras” (p.24), por Blondet, et al., 2010.

- c) Preparación del barro: Es importante contar con una adecuada calidad de tierra, arena gruesa, agua y paja de 5 cm para las construcciones de estas unidades. Primero, se debe tamizar la tierra con la ayuda de una zaranda, con la finalidad de que esta esté limpia, sin piedras, restos o basura. Luego a ello, se coloca la tierra en rumas y se prosigue echando agua para obtener el barro, dejándolo reposar por 24 horas como mínimo. Pasado el tiempo requerido se procede a realizar la mezcla del barro dormido, la arena gruesa, la paja y el agua, batiendo de tal manera que sea una mezcla consistente usando los pies o palas como se observa en la figura 6.

Figura 6

Preparación del barro



Nota. Mezcla de barro con paja. Adaptado de “Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludable y seguras” (p.24), por Blondet, et al., 2010.

- d) Moldeo de adobes: Para realizar el moldeo es importante tener una batea tanto de agua como de arena fina y hacerlos en el tendal construido previamente. Para ello, se debe humedecer la gavera en el agua y espolvorear arena fina para evitar que el barro se pegue a ella. Seguidamente, se coloca la gavera en el tendal y se lanza fuertemente bolas de barro hasta llenar la gavera para luego compactarla con las manos o con el pie tanto en el centro como en las esquinas. Finalmente se empareja con una regla de madera húmeda y se levanta con cuidado el molde para evitar que el adobe se deforme como se puede apreciar en la figura 7.

Figura 7*Moldeo de adobes*

Nota. Retiro de adoberas. Adaptado de “Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludable y seguras” (p.26), por Blondet, et al., 2010.

- e) Secado y apilado: Se recomienda secarlos en un periodo de 3 semanas. Asimismo, se recomienda que los bloques deben estar protegidos por paja o arena gruesa en caso que el tendal no esté cubierto, después de 10 días de su fabricación se deben colocar de costados para lograr un mejor secado como se observa en la figura 8. Luego, se apilan para su uso.

Figura 8*Secado y apilado de adobes*

Nota. Colocación en canto. Adaptado de “Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludable y seguras” (p.27), por Blondet, et al., 2010.

2.2.7. Proceso constructivo de la pila de bloque de adobe

Las pilas se realizan mediante el siguiente proceso constructivo:

Primero, se deben seleccionar los bloques de adobe que no presenten fisuras ni ningún tipo de falla. Luego se prepara la mezcla del mortero con las proporciones adecuadas. Cabe resaltar que, el mortero es una mezcla compuesta de diversos materiales. Además, como se menciona en la Norma E.080 el espesor del mortero puede variar entre 5 mm y 20 mm (Sencico, 2020, p.26).

Después, se debe contar con un espacio nivelado para asentar los bloques de adobe de las pilas. Para ello, se colocará un escantillón para tener una referencia al momento de colocar los bloques. Se asentará el primer bloque y su respectivo mortero respetando el espesor predefinido, luego se coloca otro bloque y con ayuda del nivel y la plomada se tiene en cuenta que estén alineados, de esa manera sucesivamente hasta obtener la altura de la pila requerida.

2.2.8. Proceso constructivo del murete de bloque de adobe

El procedimiento para realizar los muretes es:

- En primer lugar, se escogen los bloques de adobe a utilizar en buen estado, estos no deben presentar ningún tipo de falla, mancha o cualquier imperfección. Asimismo, la cantidad va a depender de las dimensiones que se requieran para el murete.
- En segundo lugar, se tiene que tener preparado el mortero con el cual se va a unir las unidades de albañilería.
- En tercer lugar, según las medidas del murete, se debe cortar los bloques haciendo uso de herramientas como la picota, amoladora u alguna otra herramienta, teniendo cuidado de no dañar la porción que se empleará en el murete.
- Finalmente, se debe tener nivelada el área en donde se colocarán las hiladas. Para ello, se colocará bloque por bloque con su respectiva junta de mortero haciendo uso de un escantillón para medir de manera segura el espesor de este. Se sigue este procedimiento hasta tener las medidas necesarias; asimismo, para que el murete este nivelado y

construido correctamente se debe utilizar ciertas herramientas como la regla, el nivel y la plomada.

2.2.9. Propiedades mecánicas del bloque de adobe

Dentro de las propiedades mecánicas encontramos las siguientes:

2.2.9.1. Resistencia a la compresión

Aguilar y Quezada (2017) lo define como “(...) el esfuerzo máximo que soporta un material antes que presente reblandecimiento” (p.49). En otras palabras, se somete cargas o fuerzas externas que actúan sobre el material, el cual se expresa mediante la carga de rotura dividida con el área de sección de la muestra.

2.2.9.2. Resistencia a la tracción indirecta

Esta resistencia también se conoce como compresión diagonal, el cual consiste en la aplicación de una carga de compresión a una de las diagonales de muretes de adobe logrando encontrar el esfuerzo a cortante (Aguilar y Quezada, 2017).

2.2.9.3. Resistencia a la flexión

Aguilar y Quezada (2017) mencionan que para encontrar la flexión en el adobe se tiene que colocar la carga de forma perpendicular al lado que se encuentra longitudinalmente asegurando dos puntos para encontrar el esfuerzo antes mencionado.

2.2.10. Propiedades mecánicas de la pila de bloque de adobe

2.2.10.1. Resistencia a la compresión axial ($f'm$)

Esta es una de las propiedades mecánicas que se puede medir a las pilas de bloques de adobe, según mencionan San Bartolomé et al. (2018) para una unidad de pila la se obtiene al dividir la carga aplicada y el área que presenta la sección transversal del espécimen. En caso sea necesario se debe corregir el valor obtenido por un factor de esbeltez indicado en la Norma

E.070, asimismo al obtener los resultados de todas las pilas a ensayar, se calcula el valor promedio (f_m) y la desviación estándar (σ). Con estos valores se halla la resistencia a la compresión característica (f'_m):

$$f'_m = f_m - \sigma$$

Ecuación 8 Resistencia a la compresión axial

2.2.10.2. Módulo de elasticidad (E_m)

Este es también denominado módulo de Young, el cual mide la rigidez del material. Aguilar y Quezada (2017) mencionan que el módulo de elasticidad:

(...) relaciona el esfuerzo con la deformación unitaria siendo un parámetro indispensable para el diseño estructural, en material no lineal, ni isótropo como el adobe depende principalmente de las características de la tierra y también de factores como la fabricación, secado, etc, por ello no es una constante como lo es en otros materiales. (p. 48)

2.2.11. Propiedades mecánicas del murete de bloque de adobe

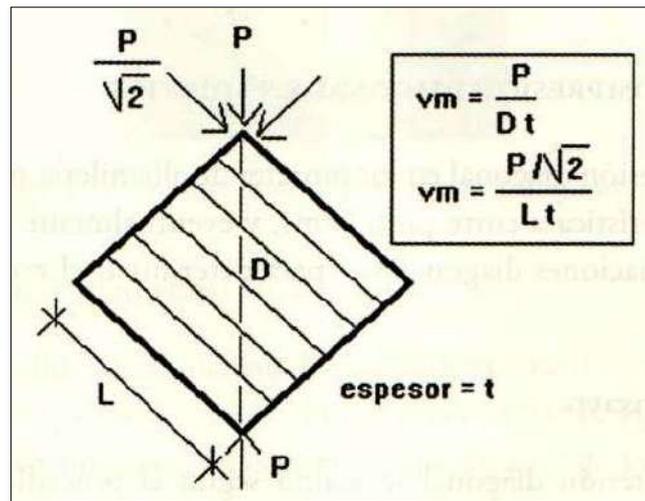
2.2.11.1. Resistencia a la compresión diagonal (v'_m)

Según la NTP 399.621 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería” establece que los muretes deben ser cuadrados como mínimo de 60 cm x 60 cm y tener 2 unidades sin cortar por hilada (Comité Técnico de Normalización de Unidades de Albañilería, 2004, p. 4).

Asimismo, San Bartolomé et al. (2018) señala que la resistencia al corte puro (v_m) se obtiene al dividir la carga de rotura aplicada y el área bruta de la diagonal (D_t) o de igual manera para los muretes cuadrados se divide la carga diagonal proyectada en dirección de las hiladas entre el área bruta de las mismas (L_t), como se observa en la figura 9 (p. 90).

Figura 9

Obtención de la resistencia unitaria por corte puro



Nota. Carga aplicada (P), diagonal del murete (D), lado del murete (L). Adaptado de “Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Albañilería” (p.90), por San Bartolomé et al., 2018.

2.2.11.2. Módulo de corte (G_m)

Es la respuesta que tiene un material, en este caso los muretes de bloques de adobe, ante la colocación de un esfuerzo cortante. Pues se define como la relación del esfuerzo y la deformación del corte y en materiales elásticos no lineales, el módulo depende de la magnitud de la deformación (Muentes, 2016).

2.2.12. Formas y tiempos de ocurrencia de la compresión, compresión axial y compresión diagonal

2.2.12.1. Compresión

Esta resistencia sucede cuando el material se somete a cargas o fuerzas de forma perpendicular a la sección. Cabe resaltar que, la Norma E.080 menciona que la resistencia a la compresión última del material tierra debe ser igual a 1,0 MPa o 10,2 kgf/cm² valor obtenido del promedio de los 4 mejores especímenes de 6 ensayadas. Asimismo, esta resistencia se calcula con la ecuación 9 como se muestra a continuación (Sencico, 2020).

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Ecuación 9 Esfuerzo de compresión del material tierra del bloque de adobe

Siendo:

P = Carga aplicada (kgf)

A = Área de la sección transversal del espécimen (cm²)

2.2.12.2. Compresión axial

Sucede cuando las pilas de bloques de adobe son sometidas a cargas perpendiculares al área bruta de la sección transversal de la muestra. La E.080 indica que la resistencia obtenida del promedio de los 04 mejores de los 06 especímenes ensayados debe ser igual o mayor a la resistencia última de 0,6 MPa o 6,12 kgf/cm². Cabe resaltar, que la resistencia a compresión axial se calcula con la ecuación 10 (Sencico, 2020).

$$f'_m = \frac{P}{axb}$$

Ecuación 10 Esfuerzo de compresión admisible de la pila

Del cual:

P: Carga aplicada (kgf)

a: Dimensión menor de la sección transversal (cm)

b: Dimensión mayor de la sección transversal (cm)

Por otro lado, para hallar el módulo de elasticidad (Em) se debe instrumentar con dos Linear Variable Differential Transformer (LVDT), los cuales miden la deformación axial tomando como referencia una zona central del espécimen y los extremos de la pila, lo cual estos instrumentos deben estar separados por una junta de mortero. Al hallarse la gráfica de carga versus desplazamiento se encuentra el esfuerzo axial y deformación unitaria asociada a la diferencia de cargas. La división de ambos valores permite encontrar este módulo de elasticidad (San Bartolomé et al., 2018).

2.2.12.3. Compresión diagonal

El esfuerzo de corte sucede cuando los materiales se someten a cargas o acciones paralelas a la sección transversal del plano de estudio. Esto genera grietas y el posible colapso de la estructura (Torres, 2016).

Por ello, la NTP E.080 especifica que la resistencia última de la compresión diagonal o tracción indirecta ensayados a muretes de bloques de adobe debe ser igual a 0,025 MPa o 0,25 kgf/cm²; asimismo, para el cálculo del esfuerzo último se debe considerar que es la división de la carga aplicada entre dos veces el lado por el espesor del murete como se muestra en la ecuación 11 (Sencico, 2020).

$$f'_t = \frac{P}{2ae_m}$$

Ecuación 11 Esfuerzo de compresión admisible del murete

Donde:

P: Carga aplicada (kgf)

a: Lado del murete (cm)

e_m: Espesor del murete (cm)

Cabe destacar, que se si se instrumenta el ensayo con dos LVDT en una cara del murete se puede encontrar el módulo de corte (Gm). Para ello, estos instrumentos se colocan en la parte central separadas al menos por dos juntas horizontales. Esto permite encontrar una gráfica de cargas versus desplazamiento y al centrarse en la parte más lineal de la gráfica se halla el esfuerzo cortante y deformación unitaria de la diferencia de cargas. El módulo de corte se calcula con la división del esfuerzo cortante y la suma de las deformaciones unitarias (San Bartolomé et al., 2018).

2.2.13. Equipos de ensayos

Los equipos utilizados para los diferentes ensayos se observan en las figuras 10, 11 y 12.

Figura 10

Ensayo a compresión de cubos



Nota. Cubos de 10 cm arista en máquina universal de resistencia a compresión del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP, 2021.

Figura 11

Ensayo a compresión axial de pilas



Nota. Equipo universal para el ensayo de pilas del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP, 2021.

Figura 12*Ensayo a compresión diagonal*

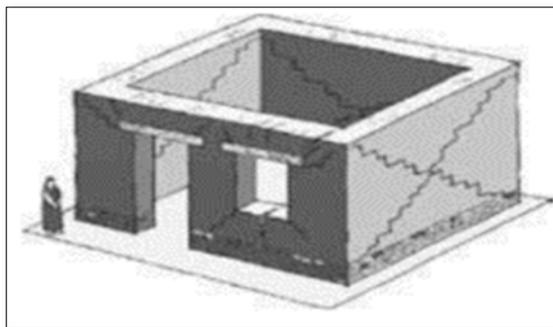
Nota. Murete de 77 cm x 77 cm x 25 cm en máquina universal para el ensayo de compresión diagonal del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP, 2021.

2.2.14. Fallas en viviendas de adobe y sus causas**2.2.14.1. Fallas**

Las viviendas de adobe son estructuras construidas por personas que viven en zonas rurales por su facilidad en el proceso constructivo y un bajo costo económico. Sin embargo, al pasar el tiempo y por fenómenos externos estas viviendas tienden a fallar. Una de estas es la falla por cortante, la cual mencionan Yamín et al. (2007) se genera por empujes horizontales de sismos, vientos u otros paralelos al plano del muro. Esto provoca el agrietamiento y el derrumbe de los muros, perdiendo su estabilidad lateral como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Falla por cortante

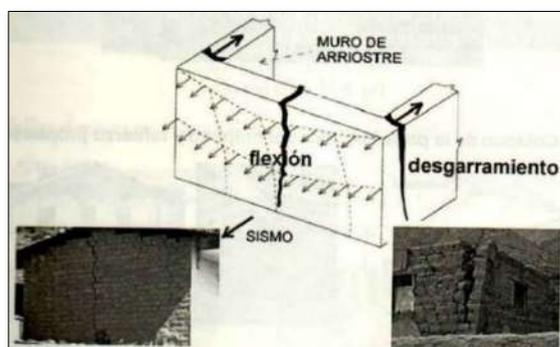


Nota. Falla ocasionada por cargas sísmicas, vientos y otros paralelos al plano del muro. Adaptado de “Estudios de vulnerabilidad, rehabilitación, y refuerzo de casas de adobe y tapia pisada” (p.289), por Yamín et al., 2007.

Otra de las fallas es por flexión, el cual se presenta de forma perpendicular al plano del muro y su agrietamiento es vertical como se aprecia en la figura 14. Esto se presenta porque la estructura no cuenta con una viga solera en la zona central para el control de la flexión. Asimismo, al no contar con una solera transversal, un mal confinamiento en las esquinas y amarre entre muros se presenta el desgarramiento vertical, generando que los muros en voladizo impacten unos contra otros hasta volcarse toda la estructura de adobe (San Bartolomé et al., 2018).

Figura 14

Falla por flexión y desgarramiento



Nota. Falla producida por acciones sísmicas perpendiculares al plano del muro. Adaptado de “Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Albañilería” (p. 319), por San Bartolomé et al., 2018.

Por otro lado, la mala calidad de la mezcla del mortero en las edificaciones de adobe produce la falla por carga sísmica coplanar como indica (San Bartolomé et al., 2018). Pues, se menciona que frente a fuerzas sísmicas la baja adherencia del mortero con los bloques de adobe origina fallas por corte, presentándose de manera escalonada específicamente en las juntas de los muros (figura 15).

Figura 15

Falla por carga sísmica coplanar

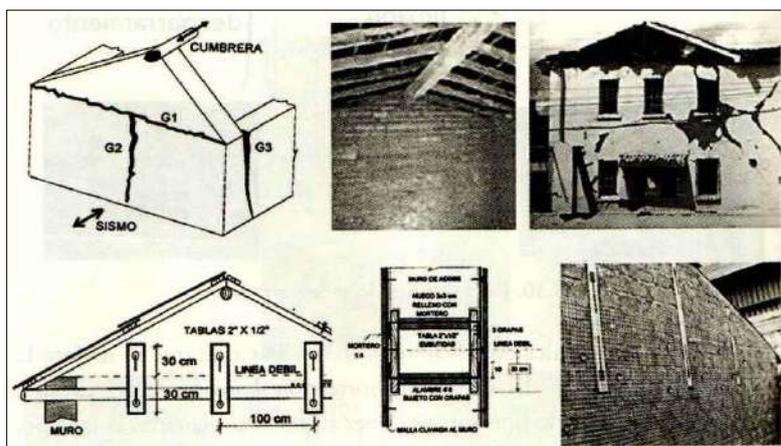


Nota. Falla producida por cargas sísmicas coplanares por la poca adherencia entre el mortero y el adobe. Adaptado de “Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Albañilería” (p. 319), por San Bartolomé et al., 2018.

Cabe resaltar que, San Bartolomé et al. (2018) mencionan que una de las principales fallas que sucede es en la base de la zona triangular de los tímpanos. Pues, la suma del empuje de la viga cumbre y las fuerzas sísmicas perpendiculares en el tímpano de la estructura originan fallas horizontales. Para ello, los autores recomendaron colocar en estas zonas tablas verticales en el muro amarradas con alambre #8 (figura 16).

Figura 16

Falla en la zona triangular de los tímpanos y refuerzo recomendado

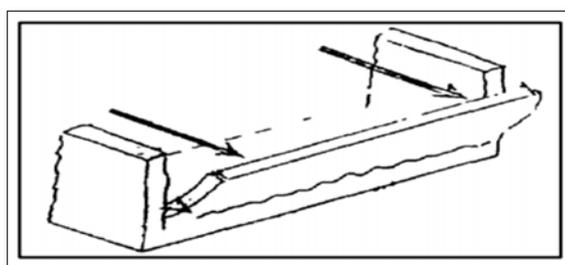


Nota. Falla originada por el apoyo de la viga cumbrera en el tímpano y las cargas sísmicas perpendiculares al plano del mismo. Adaptado de “Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Albañilería” (p. 320), por San Bartolomé et al., 2018.

Asimismo, se presenta la falla por volteo. Esta ocurre cuando las uniones entre los muros no son los adecuados provocando que se comporten como un elemento independiente y no como una sola estructura. Al generarse esta situación, las fuerzas actuantes pueden lograr que el muro pierda su estabilidad y colapse. Por lo que, este elemento estructural no tendrá la adecuada resistencia para impedir la falla por volteo (Muentes, 2016). Todo lo escrito anteriormente se puede apreciar en la figura 17.

Figura 17

Falla por volteo



Nota. Falla ocasionada por mala unión entre elementos estructurales. Adaptado en “Optimización en el uso de adobe sismorresistente como material constructivo para viviendas familiares de bajo costo” (p.16), por Muentes, 2016.

2.2.14.2. Causas

Como se vio anteriormente, las viviendas de adobe presentan importantes fallas que originan que la estructura se deteriore y en el peor de los casos colapse. Esto se debe por diferentes causas tal como señala Torres (2016). Él menciona que una de ellas es la mala calidad en la elección de los materiales de la mezcla de adobe; asimismo, los bloques de adobe no cuentan con un buen dimensionamiento. Pues, los maestros de obra no tienen conocimiento de las medidas adecuadas, no respetan las alturas mínimas y máximas de entrepiso. Por ello, estas personas construyen con medidas inadecuadas y sin un asesoramiento técnico.

Por otro lado, el autor señala que existe una inadecuada unión entre los elementos estructurales. Pues, en muchos de los casos no hay una viga de solera o collar; es decir, las viviendas no presentan una estructura que permita la unión de los techos con los muros con la finalidad de transmitir adecuadamente las cargas. Asimismo, menciona que otra de las importantes causas que originan las fallas es contar con un techo pesado, el cual no permite que la estructura tenga resistencia y los muros tienden a fallar.

2.2.15. Norma Técnica Peruana para el uso de adobe

Actualmente, se cuenta con la Norma E.080 “Diseño y construcción con tierra reforzada”. Plantea los requerimientos mínimos para las construcciones con refuerzo en adobe y tapial. Dado que, se quiere que resistan las sollicitaciones sísmicas a sismos leves, severos y fuertes. Uno de los requerimientos es el uso de la tierra, en el que se menciona que debe tener adecuada cantidad de arcilla. Por otro lado, el espesor de los muros debe tener como mínimo de 40 cm contando con arriostres horizontales y verticales. Asimismo, plantea los coeficientes sísmicos para cada tipo de zona que se encuentra la edificación. La norma plantea el uso de una viga que se coloca en la parte superior del muro unida con el techo, pues permite una mejor trabajabilidad de la estructura. Esta debe contar con cimientos y sobrecimientos que eviten la humedad; así como, la capacidad de transmitir las cargas al suelo (Sencico, 2020).

Para el refuerzo horizontal se tiene que tener en cuenta que la caña brava o carrizo deben tener un diámetro de 25 mm como refuerzo vertical y horizontal como máximo cada 4 hiladas. Por otro lado, la norma específica que en el caso de refuerzo con geomalla se debe

tener una tracción de 3,5 kN/m; así como, si se usa sogas para su respectivo amarre, estas deben tener diámetro igual o mayor a 5/32” (Sencico, 2020).

Por último, la Norma E.080 menciona la adecuada instalación eléctrica y sanitaria. Asimismo, indica los esfuerzos admisibles de las resistencias que deben soportar las estructuras de adobe y menciona los ensayos de laboratorio y pruebas, tales como: cinta de barro, presencia de arcilla, contenido de humedad y control de fisuras (Sencico, 2020).

2.2.16. Ventajas y desventajas de los bloques de adobe

2.2.16.1. Ventajas

Quispe (2017) menciona algunas ventajas de la construcción de adobe que pueden presentarse a continuación:

- Al utilizar los recursos que se encuentran en la naturaleza y ser accesibles no se genera ningún costo o es mínimo, estando el adobe al alcance de las personas de bajos recursos económicos.
- No necesitan especialización en construcciones de adobe ya que el proceso constructivo es bastante simple, por lo cual puede ser elaborados por cualquier persona con conocimientos básicos de construcción o elaboración de bloques de adobes.
- Las construcciones de adobe pueden ser durables, más cuando el adobe previamente se estabiliza con materiales que puedan mejorar su resistencia y durabilidad.
- Genera un aislamiento térmico, pues permite que las construcciones se adapten a los cambios de temperatura manteniendo un ambiente interno agradable.

Por otro lado, Baraya (2022) indica otras ventajas que se detallan en las siguientes líneas:

- Para la fabricación de adobe y construcciones de las viviendas con estas unidades de albañilería generan un menor impacto en el ambiente. Así como, los escombros que se producen pasado su vida útil regresa a la naturaleza, siendo reutilizable para la construcción de nuevas viviendas.

- En la fabricación del molde de adobe se usan adoberas, estas permiten crear una gran variedad de formas que logran crear un aspecto particular de las viviendas. Destacando que, se pueden crear maquetas que permiten correcciones constructivas que generan menor costo a diferencia de otros sistemas constructivos.

2.2.16.2. Desventajas

San Bartolomé et al. (2018) mencionan algunas desventajas de la construcción de adobe que se presentan a continuación:

- Baja calidad en la mano de obra, pues no existe un control y no hay una persona calificada en conocimientos en construcciones de adobe.
- En las construcciones no hay refuerzo que permite una mayor resistencia frente a factores externos generando diferentes fallas.
- Las viviendas no poseen elementos de conexión entre las paredes y los habitantes no dan el mantenimiento adecuado.

Por otro lado, la Norma E.080 menciona una de las desventajas. Esta es la siguiente.

- No se permiten construcciones de más de dos pisos, teniendo en cuenta el lugar en donde se construirá. Pues se permite en zonas sísmicas 4 y 3 de solo un piso de adobe y en las demás zonas solo dos (Sencico, 2020).

2.2.17. Definición, características y procedencia del Arundo Donax

2.2.17.1. Definición

El Arundo Donax es la planta herbácea denominada caña brava o carrizo en el territorio peruano. Pertenece a la familia Poaceae por ser una planta con una longitud de 2 a 8 metros, la cual crece en lugares húmedos que le permitan propagarse en el territorio; en otras palabras, se le puede encontrar a orillas de canales de agua. Asimismo, esta planta es hidrofílica; es decir, que su polinización la realizan mediante el agua con un crecimiento de 7 cm por día. Esto permite una alta producción aproximadamente de más de 10 t/ha de materia seca y 80 tallos/m², permitiendo que la población tenga a la mano esta planta en gran

cantidad. Por otro lado, es una planta similar al del bambú al ser un tallo verde, largo y liso; sin embargo, esta posee una hoja que envuelve el tallo (Sánchez, 2017).

2.2.17.2. Características

Como menciona Sánchez (2017), el Arundo Donax tiene la característica de ser una planta perenne; en otras palabras, una planta que su vida se prolonga por mucho tiempo. Este cuenta con un tallo recto de gran dimensión de sección vacía de un diámetro aproximado de 33 mm y paredes gruesas de 0,83 mm a 5,40 mm. Asimismo, este tallo cuenta con secciones a lo largo de su eje longitudinal con una dimensión de 12 cm a 30 cm. Por otro lado, otra de sus características es el color verde de sus hojas durante el inicio de su crecimiento llegando a un color amarillo cuando está en etapa de madurez. Estas son delgadas y lineales con un espesor de 4 cm a 8 cm y de largo de 65 cm.

También, este autor menciona que su reproducción se puede dar mediante brotes de tallos, los cuales se colocan en el terreno y permite su propagación. Esto le permite crecer en todos los espacios disponibles de forma descontrolada convirtiéndose en una planta invasora que sobrevive a tiempos de sequía por no necesitar mucha agua después de posicionarse en el terreno.

2.2.17.3. Procedencia

El Arundo Donax es una planta herbácea que tiene origen en América Latina. La planta se puede encontrar en diferentes zonas con humedad alta y seca; asimismo, en lugares donde la temperatura se encuentra entre los 22 °C y 27 °C durante todo el año, en precipitaciones pluviales que varían desde los 1 100 mm/año a 3 400 mm/año y en altitudes de 2 400 m s. n. (Habran et al., 2021).

2.2.18. Propiedades físicas y aplicaciones del Arundo Donax

2.2.18.1. Propiedades físicas

- **Contenido de humedad**

Entre de las propiedades físicas más importantes del Arundo Donax encontramos el contenido de humedad. Baquero et al. (2018) mencionan que esta propiedad tiene un valor de $8,07 \pm 2,59$ % en fibras que no sufren ningún tratamiento; en cambio, para las fibras tratadas como es el caso para paneles compuestos tiene un contenido de humedad $8,88 \pm 2,09$ %.

- **Densidad:**

Baquero et al. (2018) mencionan que la densidad es otra de las propiedades del Arundo Donax, cuyo valor en sus fibras naturales tiene $0,62 \pm 0,20$ g/cm³; mientras que, en fibras tratadas se obtuvo un valor de $0,59 \pm 0,0013$ g/cm³. Verificándose que la disminución se debe por la modificación a las fibras.

Asimismo, estos autores mencionan que en paneles con porcentajes de fibras se obtienen valores diferentes. Para el caso del 70 % se obtuvo $1,02 \pm 0,06$ % y para el 60 %, un valor de $0,91 \pm 0,07$ %.

- **Absorción**

Esta propiedad fue determinada mediante ensayos a fibras naturales y modificadas en su superficie. La primera se obtuvo un valor de $36,45 \pm 4,01$ % y para la segunda, $36,24 \pm 2,54$ %. Ante ello, se logra apreciar que el tratamiento a la fibra no genera cambio en su absorción efectiva (Baquero et al., 2018).

Por otro lado, en paneles con 70 % de estas fibras se tuvo $12,56 \pm 1,78$ % y en paneles con 60 % dio un valor de $14,55 \pm 3,21$ % para el ensayo de absorción a las 24 horas (Baquero et al., 2018).

- **Hinchamiento**

Baquero et al. (2018) mencionan que para encontrar los datos de esta propiedad se realizaron ensayos a las 24 horas. En donde los valores encontrados fueron $13,65 \pm 1,90$ % y $8,44 \pm 3,89$ % para paneles con proporción de 70 % y 60 % de fibras de Arundo Donax respectivamente. Cabe precisar que, mientras mayor es la cantidad de fibras se presenta una mayor susceptibilidad a los cambios en contacto con el agua.

2.2.18.2. Aplicaciones

Dentro de sus aplicaciones más importantes del Arundo Donax se emplea el tallo en la construcción de cercos perimétricos para corrales de animales. Por otro lado, en la construcción se ha utilizado para muros de viviendas mediante la técnica de tapia pisada, en donde los pobladores siguen usando métodos de fabricación rurales. Asimismo, con las hojas y fibras extraídas del tallo de la planta se elaboran artesanías como la fabricación de sombreros. Dado a su durabilidad, flexibilidad y estar al alcance de las personas (Habran et al., 2021).

2.2.19. Propiedades mecánicas del Arundo Donax

2.2.19.1. Resistencia a la compresión

Baquero et al. (2018) realizaron ensayos para determinar la resistencia a la compresión en paneles compuestos con fibras de Arundo Donax distribuida en resina vegetal. El resultado obtenido para los paneles con 70 % de fibras de Arundo Donax fue un valor de 29,07 MPa y en paneles con 60 % de estas fibras alcanzó una resistencia a la compresión de 16,60 MPa. De esta manera, se analizó que a menor cantidad de fibras disminuye la resistencia y pierde rigidez el material. Por ello, los autores recalcan la importancia de la dosificación para un buen comportamiento mecánico.

2.2.19.2. Resistencia a la tracción

Habran et al. (2021) realizaron una investigación para determinar la resistencia a la tracción de las fibras de Arundo Donax. En donde, los resultados fueron que soportaron un esfuerzo

a tracción de 147,51 MPa; asimismo, se comparó con otros recursos más utilizados como la fibra de cáñamo dando un valor de 285 MPa y la fibra de vidrio con un resultado de 2 500 MPa, deduciendo que se puede utilizar como refuerzo en materiales para tener un mejor control de fisuras. Además, los autores recomiendan su uso en las zonas rurales pues es difícil que los pobladores accedan a materiales convencionales.

2.2.19.3. Resistencia a la flexión

Para la determinación de esta propiedad, Baquero et al. (2018) realizaron ensayos a paneles con fibras de Arundo Donax comparando con paneles hechos de fibras de bambú y de coco. Teniendo resultados que el módulo de rotura de la caña brava dio un valor de $43,6 \pm 0,2$ MPa, para el bambú, $22,6 \pm 1,1$ MPa y para los paneles de coco, un resultado de $17,9 \pm 1,3$ MPa. Mientras que, el módulo de elasticidad a flexión se obtuvo $3,6 \pm 0,4$ MPa, $2,9 \pm 0,9$ MPa y $1,4 \pm 0,5$ MPa para la caña brava, bambú y coco respectivamente. Destacando que, el Arundo Donax conocido como caña brava tuvo valores superiores debiéndose a la rugosidad, moldeo y compactación del mismo y la relación entre el diámetro y longitud.

2.2.20. Proceso de extracción de las fibras de Arundo Donax

Habran et al. (2021) mencionan que para obtener las fibras se debe aplicar el siguiente procedimiento. En primer lugar, se visualiza el color y la textura de la planta de Arundo Donax con la finalidad de verificar si este fue dañado por insectos o hongos. En segundo lugar, se escoge aquellas que no tienen ninguna afectación y se extrae las fibras mediante dos métodos. El primero es por medio de un trapiche; es decir, un molino que por acción mecánica aplasta el tallo y deja expuesta su estructura interna. En cambio, el segundo método es manual que consiste en aplastar el tallo con un martillo para romper la estructura externa, luego utilizar las manos para extraer las fibras que se encuentran en la capa interna de la planta.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Nivel o alcance de la investigación

Se tuvo un nivel o alcance Descriptiva-Comparativa.

Los estudios descriptivos pretenden especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, miden o recolectan datos y reportan información sobre diversos conceptos, variables, aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o problema a investigar. En un estudio descriptivo el investigador selecciona una serie de cuestiones (que, recordemos, denominamos variables) y después recaba información sobre cada una de ellas, para así representar lo que se investiga (describirlo o caracterizarlo). (Hernández y Mendoza, 2018, p.92)

Fue un estudio descriptivo porque se describió el refuerzo de los bloques de adobe con fibras de Arundo Donax, las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes con la medición y recolección de los datos de ensayos in situ, de laboratorio y análisis de precios que presentan cada uno, realizando la comparación entre estos.

3.2. Diseño de investigación

Fue un diseño transeccional o transversal descriptivo; ya que, describe el comportamiento de la variable que en este caso son las propiedades técnicas y costo de fabricación de dos tipos de especímenes (bloques de adobe con diferente reforzamiento). En donde se realizó una comparación entre los mismos, permitiendo de esa manera observar su interrelación en un momento dado. Por lo que Hernández y Mendoza (2018) mencionan “(...) estos estudios buscan indagar el nivel o estado de una o más variables en una población; en este caso, en un tiempo único” (p. 177). Asimismo, estos autores señalan “(...) puedes pretender realizar descripciones comparativas entre grupos o subgrupos de personas u otros seres vivos, casos, objetos, comunidades o indicadores (esto es, en más de un grupo)” (p.178).

3.3. El método de razonamiento

El método de razonamiento empleado fue Hipotético-Deductivo, ya que se plantearon diversas hipótesis las cuales fueron verificadas mediante procesos deductivos; es decir, se midieron las variables mediante pruebas in situ, ensayos de laboratorio y análisis de precios con el objetivo de corroborar las hipótesis planteadas. Por ello, respecto al método de razonamiento Hernández y Mendoza (2018) mencionan que “(...) se vale de la lógica o razonamiento deductivo, que parte de la teoría, de la cual se derivan las hipótesis que el investigador somete a prueba. De lo general a lo particular” (p. 7).

3.4. Etapas de la investigación

Etapa 1: Ensayos y pruebas en la zona de estudio para el análisis y control de la selección del suelo óptimo para la construcción de los bloques. Para ello se realizó básicamente dos pruebas según lo estipulado en la Norma E.080 que son la prueba “Cinta de barro” y “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”, como se detalla en los capítulos anteriores.

Etapa 2: Extracción de muestras del suelo estudiado y de las fibras de Arundo Donax. Para ello, se extrajo las muestras de la tierra de adobe y las fibras de Arundo Donax en Santa María de Huachipa y en la localidad de Carapongo respectivamente, ambos ubicados en Lurigancho – Lima.

Etapa 3: Se caracterizó los materiales como son los estudios de análisis granulométrico, límites de consistencia y contenido de humedad en el Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C.

Etapa 4: Se preparó la mezcla del adobe según las proporciones necesarias y teniendo como guía la Norma E.080. En donde los especímenes tuvieron un determinado dimensionamiento, dosificación, elaboración y cantidad de días de secado.

Etapa 5: Se realizó la construcción de bloques de adobe, los cuales tuvieron una dimensión aproximada de 37 cm x 25 cm x 12 cm y cubos de 10 cm de arista, teniendo en cuenta que estos especímenes fueron de dos tipos. Por ello, para el caso del espécimen con refuerzo de fibras diagonales se colocaron 4 fibras de 39 cm a una distancia separada de los extremos de

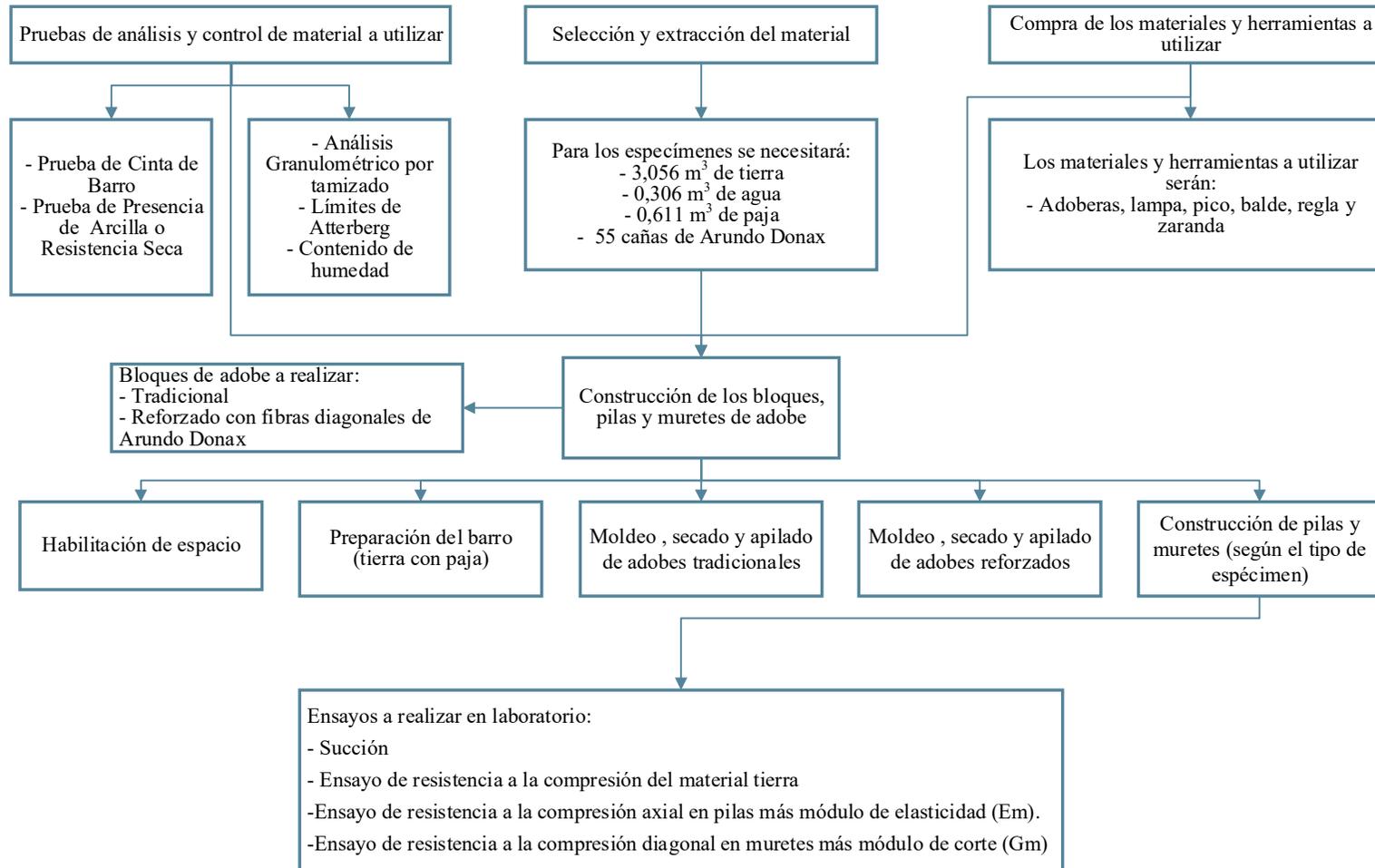
5 cm. Asimismo, se realizó la construcción de pilas con una dimensión de 78 cm de alto, 37 cm de ancho y 25 cm de espesor y la construcción de muretes con una dimensión de 77 cm x 77 cm x 25 cm. Además, estos tuvieron un espesor de 1,5 cm de mortero.

Etapa 6: Se llevaron a cabo los ensayos de las características físicas y mecánicas que ofrecen los especímenes, los cuales se realizaron en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

A continuación, en la figura 18 se presentará un esquema que servirá como guía para el desarrollo de este trabajo de investigación:

Figura 18

Etapas del desarrollo del trabajo de investigación



Nota. Conjunto de actividades realizadas. Elaboración propia, 2021.

3.5. Muestra investigada

La unidad de muestreo según plantean Hernández y Mendoza (2018):

(...) se centra sobre “qué” o “quiénes” se recolectarán los datos (personas u otros seres vivos, objetos, sucesos, colectividades de estudio), lo cual depende del planteamiento del problema, los alcances de la investigación, las hipótesis formuladas y el diseño de investigación. (p. 197)

Por otro lado, se menciona que “Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Chaudhuri, 2018 y Lepkowski, 2008b, como se citó en Hernández y Mendoza, 2018, p.198). Por ello, en esta investigación se planteó que la unidad de muestreo o análisis fueron los bloques, las pilas y los muretes de adobe, de los cuales se conoció sus propiedades físicas, mecánicas y su costo de fabricación.

Teniendo en cuenta ello, se planteó el tamaño de muestra para los ensayos de succión y resistencia a la compresión del material tierra para los cubos de adobe de 10 cm de arista como se indica en la tabla 3, resistencia a la compresión axial más módulo de elasticidad (E_m) para las pilas de bloques de adobe indicados en la tabla 4 y el ensayo de resistencia a la compresión diagonal más módulo de corte (G_m) para los muretes de bloques de adobe indicados en la tabla 5. Con ello, se conoce la muestra investigada, el cual se refiere a los 10 especímenes conformados por bloques de adobe, 6 cubos de adobe de 10 cm de arista, 12 especímenes conformados por pilas de bloques de adobe y 12 especímenes conformados por muretes de bloques de adobe dando un total de 40 especímenes como se aprecia en la tabla 6.

Tabla 3*Descripción y tamaño de muestra para los bloques de adobe*

Especímen	Descripción	Dimensiones del espécimen			Ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas
		Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	
BS	Bloque de adobe sin refuerzo	37	25	12	5
BR	Bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	37	25	12	5
C	Cubos de adobe	10	10	10	6
Tamaño de muestra n₁					16

Nota: El ensayo de la propiedad física corresponde a succión; y el ensayo de la propiedad mecánica, a compresión. Elaboración propia, 2021.

Tabla 4*Descripción y tamaño de muestra para las pilas de bloques de adobe*

Especímen	Descripción	Dimensiones del espécimen			Ensayo para determinar la propiedad mecánica Compresión axial
		Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	
PS	Pila de bloque de adobe sin refuerzo	78	37	25	6
PR	Pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	78	37	25	6
Tamaño de muestra n₂					12

Nota: Cada pila constará por 6 unidades de bloques de adobe según su tipo de refuerzo. Elaboración propia, 2021.

Tabla 5*Descripción y tamaño de muestra para los muretes de bloques de adobe*

Especímen	Descripción	Dimensiones del espécimen			Ensayo para determinar la propiedad mecánica
		Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Compresión diagonal
MS	Murete de bloque de adobe sin refuerzo	77	77	25	6
MR	Murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	77	77	25	6
Tamaño de muestra n3					12

Nota: Cada murete constará por 12 unidades de bloques de adobe según su tipo de refuerzo.
Elaboración propia, 2021.

Tabla 6*Muestras investigadas*

Muestra	Descripción	Ensayos	Tamaño de muestras
n1	Bloques de adobe	Succión en bloques de adobe de 37 cm x 25 cm x 12 cm	10
		Resistencia a la compresión del material tierra de cubos de 10 cm de arista	6
n2	Pilas de bloques de adobe	Resistencia a la compresión axial en pilas de 78 cm x 37 cm x 25 cm	12
n3	Muretes de bloques de adobe	Resistencia a la compresión diagonal de muretes de 77 cm x 77 cm x 25 cm	12
MUESTRAS INVESTIGADAS (N = n1+n2+n3)			40

Nota: Las Muestras Investigadas están conformadas por el tamaño de muestras de los bloques, pilas y muretes de adobe. Elaboración propia, 2021.

3.6. Descripción de la muestra

Hernández y Mendoza mencionan lo siguiente:

(...) una muestra es un subgrupo de la población o universo que te interesa, sobre la cual recolectarán los datos pertinentes, y deberá ser representativa de dicha población (de manera *probabilística*, para que puedas generalizar los resultados encontrados en la muestra a la población). (p.196)

Para esta investigación se presentaron tres muestras, la muestra “n1” la cual consiste en 16 especímenes en total conformada por bloques de adobe de 37 cm x 25 cm x 12 cm para los ensayos de succión y cubos de 10 cm x 10 cm x 10 cm para ensayos de resistencia a la compresión del material tierra; la muestra “n2” consiste en 12 pilas de bloques de adobe de una altura de 78 cm, largo de 37 cm y un ancho de 25 cm para el ensayo de resistencia a compresión axial más módulo de elasticidad (E_m); y la muestra “n3” consiste en 12 muretes de bloques de adobe de 77 cm x 77 cm x 25 cm sometidos a ensayos de resistencia a compresión diagonal más módulo de corte (G_m). La muestra n1 para el ensayo a succión contó con 2 especímenes; el primero fue un bloque de adobe con una mezcla simple que se usa en las construcciones de viviendas tradicionales, el cual no tuvo ningún tipo de refuerzo y el segundo presentó un refuerzo con 4 fibras diagonales de Arundo Donax para cada bloque de adobe, estas tuvieron una longitud interna de 39 cm y separadas a 5 cm del extremo. Por otro lado, para el caso de la muestra n2 conformada por pilas contaron con 6 bloques para cada tipo de espécimen; y la muestra n3, por muretes con 12 unidades de bloques de adobe con y sin refuerzo respectivamente, construidas con juntas de 1,5 cm de mortero.

Para construir los bloques de adobe se usaron los siguientes materiales: 2 adoberas de dimensiones de 38 cm x 26 cm x 13 cm; de las cuales, una de ellas presentó 4 orificios para las fibras diagonales de Arundo Donax; una adobera de 11 cm x 11 cm x 11 cm, tierra limpia sin residuos tanto vegetales como desechos inorgánicos, paja, fibras diagonales de Arundo Donax y agua según cada espécimen. Las proporciones de los materiales para los especímenes son de 3,056 m³ de tierra, 0,306 m³ de agua, 0,611 m³ de paja, 55 cañas de Arundo Donax. Asimismo, en esta mezcla de adobe se usaron herramientas manuales, tales como: pico, pala, regla, zaranda. Y para la construcción de las pilas y muretes se usaron regla, nivel, plomada y una plancha de batir.

3.7. Tamaño de la muestra

Se seleccionaron diferentes especímenes para determinar sus propiedades mediante los ensayos. Para las propiedades físicas se realizó el ensayo de succión a los bloques de adobe; mientras, que para determinar las propiedades mecánicas se realizaron ensayos de compresión a los bloques de adobe, ensayos de compresión axial más módulo de elasticidad (E_m) a pilas y ensayos de compresión diagonal más módulo de corte (G_m) a muretes de adobe. Para el primer ensayo de la muestra “n1” se seleccionaron 5 especímenes sin refuerzo y 5 especímenes con refuerzo teniendo un total de 10 unidades. Por otro lado, para el ensayo a compresión de estos bloques se seleccionaron 6 especímenes. De esta manera, la muestra n1 consta de 16 bloques de adobe.

Mientras que para el ensayo de compresión axial más módulo de elasticidad (E_m) de la muestra n2 se tuvo 6 especímenes para pilas con bloques de adobe sin refuerzo y 6 especímenes para pilas con bloques de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax con un total de 12 pilas. Por otro lado, para el ensayo de compresión diagonal más módulo de corte (G_m) se utilizaron especímenes de la muestra n3, 6 muretes con bloques de adobe sin refuerzo y 6 muretes de bloques de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax teniendo un total de 12 muretes.

3.8. Tipo de muestreo de la investigación

Se basó en un muestreo no probabilístico que se define como:

En las muestras **no probabilísticas**, la elección de las unidades no depende de la probabilidad, sino de razones relacionadas con las características y contexto de la investigación. Aquí el procedimiento no es mecánico ni electrónico, ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas se basan a otros criterios. (Hernández y Mendoza, 2018, p.200)

Como se mencionó anteriormente, esta investigación se basó en parámetros que define la Norma E.080, la cual plantea los esfuerzos admisibles y resistencia última a los ensayos a

realizar; así como, la cantidad de muestras mínimas para cada uno de ellos, la cual son seis, pero se tomó en cuenta el promedio de los cuatro mejores resultados. Por otro lado, qué tipo de pruebas in situ se tiene que realizar a la tierra del adobe; tales como: cinta de barro y presencia de arcilla. Esto quiere decir que el muestreo es intencional o dirigido por la Norma E.080.

3.9. Norma técnica

Para la investigación, se ha empleado la Norma E.080 publicada por Sencico (2020). Esta menciona dos pruebas in situ que se le debe realizar a la tierra para comprobar la presencia de arcilla. Estas pruebas se realizan con la finalidad de optimizar la tierra, tener un control sobre las fisuras de secado y una mejor resistencia cuando el bloque este seco.

Por otro lado, menciona que los bloques de adobe deben tener una cantidad de agua requerida para su fabricación. Esta no debe sobrepasar el 20 % del peso seco. Asimismo, indica que para su preparación se debe tamizar la tierra antes de la preparación del barro y realizar un secado lento, utilizando tendales para protegerlos del sol y del viento. Cabe resaltar, que estos pueden ser de forma cuadrada, cuyas dimensiones no deben sobrepasar los 0,40 m, o de forma rectangular con una altura entre 0,08 m y 0,12 m, y un largo igual a dos veces su ancho. Asimismo, esta Norma indica que la resistencia última de los cubos de adobe a ensayos de resistencia a la compresión del material tierra debe ser 1,0 MPa o 10,2 kgf/cm². Teniendo en cuenta, que para este ensayo se deben realizar seis muestras tomando el promedio de las cuatro mejores.

Mientras, que la resistencia última a compresión axial en pilas debe ser 0,6 MPa o 6,12 kgf/cm² tomando el promedio de cuatro mejores de 6 muestras ensayadas, donde la altura es aproximadamente 3 veces la menor dimensión de la base.

En los muretes ensayados a compresión diagonal o tracción indirecta deben tener una dimensión aproximada de 0,65 cm x 0,65 cm x e_m y cumplir con la resistencia última de 0,025 MPa o 0,25 kgf/cm² del promedio de las cuatro mayores resistencias de las seis muestras.

Finalmente, menciona aspectos importantes que debe tener un mortero para una buena calidad, como su contenido de humedad, la cual no debe pasar el 20 % con la finalidad de evitar el agrietamiento; asimismo, indica un espesor entre 0,5 cm y 2 cm.

3.10. Técnica e instrumento

La técnica que se planteó para la recolección de datos fue la observación registrada, pues se identificó la carga máxima aplicada, la deformación y la resistencia de los especímenes de bloques de adobe sometidos a diferentes ensayos. Ante esto, Grinnell et al. (2009, como se citó en Hernández y Mendoza, 2018) mencionan que “Un **instrumento de medición** adecuado es aquel que registra datos observables que representan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente” (p.228). Por ello, se emplearon instrumentos de registros mediante formatos de las pruebas in situ y ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO IV

HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

4.1 Identificación y definición de las Variable de la investigación y Sub-variables (dimensiones e indicadores)

4.1.1. Variable de la investigación

Se tiene como variable principal “propiedades técnicas y costo de fabricación del bloque de adobe”. La primera se refiere a las características técnicas que presenta el material; es decir, su comportamiento frente a estímulos externos como la luz, el calor, el ambiente, las fuerzas y cargas aplicadas. En estas encontramos las propiedades físicas y mecánicas de la tierra y el bloque de adobe tradicional y con refuerzo. Por otro lado, el costo de fabricación es el valor monetario de la construcción de cada uno de los especímenes. En este se calcula el costo de la mano de la obra, los materiales y herramientas. Cabe resaltar que la Norma Técnica Peruana E.080 menciona que el adobe es la unidad de tierra natural, el cual puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad (p.8).

4.1.2. Sub-variables

Se realizó la descomposición de las variables en indicadores. Estos se agruparon en dimensiones de acuerdo a sus características comunes, los cuales se detallarán a continuación.

4.1.2.1. Dimensiones

- **Propiedades mecánicas del bloque de adobe**

Las propiedades mecánicas son todas aquellas donde los materiales son sometidos a fuerzas y/o cargas con la finalidad de ver su comportamiento, desplazamientos y esfuerzos. En esta investigación una de esas propiedades es la resistencia a la compresión del material tierra para la construcción de bloques de adobe.

- **Propiedades físicas y mecánicas del bloque de adobe sin refuerzo**

El bloque de adobe sin refuerzo tiene ciertas propiedades físicas y mecánicas. La primera son aquellas propiedades que logran cambiar, pero no alteran su composición original; asimismo, se manifiestan sin ninguna intervención, las cuales son medibles y visibles con la observación y medición al bloque de adobe tradicional. Por otro lado, las propiedades mecánicas son todas aquellas que tienen un comportamiento al actuar fuerzas; es decir, la capacidad de resistir las acciones de cargas aplicadas al bloque de adobe sin refuerzo.

- **Propiedades físicas y mecánicas del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax**

El bloque de adobe reforzado con fibras de Arundo Donax se caracteriza por tener propiedades físicas y mecánicas. La primera describe las características como color, conductividad eléctrica, forma, entre otros. Para esta investigación se considera la succión. Por otro lado, las propiedades mecánicas son las diversas maneras en que se comporta un material de construcción cuando es sometido a acciones externas. Es decir, las propiedades mecánicas son aquellas que permiten tener una diferencia de un material de otro desde su comportamiento mecánico como la resistencia a esfuerzos de compresión, tracción, flexión, torsión, entre otros.

- **Costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo**

El bloque de adobe sin refuerzo tiene un costo de fabricación. Este se refiere al gasto económico que involucra la construcción de este espécimen. Para ello, se debe conocer el costo de la mano de obra, los materiales y las herramientas manuales, el cual la suma de cada uno da como resultado el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo.

- **Costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax**

El costo de fabricación es el valor monetario. Para su cálculo se realiza un análisis de precios unitarios que involucra la cantidad y precio de la mano de obra, materiales y

herramientas. En el caso de la mano de obra se toma en consideración al operario y ayudantes; los materiales son la tierra, el agua, la paja y las fibras de Arundo Donax; por último, las herramientas manuales son el pico, la lampa, regla y zaranda. Estos permiten conocer el costo de fabricación de este espécimen.

4.1.2.2. Indicadores

- **Resistencia a la compresión del material tierra**

$$f'm = \frac{P}{a \times b}$$

Dónde:

$f'm$ = Resistencia última a la compresión del material tierra (kgf/cm²)

P = Carga máxima aplicada al bloque (kg)

a = ancho del bloque (cm)

b = largo del bloque (cm)

- **Succión**

$$X = \frac{200 \times W}{L \times B}$$

De la cual:

X = Diferencia de pesos corregida sobre la base de 200 cm² (g)

W = Diferencia de pesos del espécimen (g)

L = Longitud del espécimen (cm)

B = Ancho del espécimen (cm)

- **Resistencia a la compresión axial**

$$f'm = \frac{P}{a \times b}$$

Dónde:

$f'm$ = Resistencia última a compresión axial (kgf/cm²)

P = Carga máxima aplicada a la pila (kg)

a = Ancho de la pila (cm)

b = Largo de la pila (cm)

- **Módulo de elasticidad (Em)**

$$E_m = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Dónde:

Em = Módulo de elasticidad (kgf/cm²)

$\Delta\sigma$ = Esfuerzo axial (kgf/cm²)

$\Delta\varepsilon$ = Deformación asociada a la diferencia de cargas

➤ Esfuerzo axial:

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta P}{A}$$

Dónde:

ΔP = Diferencia de cargas (kgf)

A = Área bruta de la sección transversal (cm²)

➤ Deformación asociada a ΔP :

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta D}{L}$$

Dónde:

ΔD = Diferencia de desplazamientos (cm)

L = Distancia entre bases del LVDT

- **Resistencia a la compresión diagonal**

$$f't = \frac{P}{2 \times a \times t}$$

Dónde:

f_t = Resistencia última a compresión diagonal (kgf/cm²)

P = Carga máxima aplicada al murete (kg)

a = Ancho del murete (cm)

t = Espesor del murete (cm)

- **Módulo de corte (Gm)**

$$Gm = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma}$$

Dónde:

Gm = Módulo de corte (kgf/cm²)

$\Delta\tau$ = Esfuerzo cortante (kgf/cm²)

$\Delta\gamma$ = Deformación angular: $\Delta\varepsilon = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$

- Esfuerzo cortante:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta P}{A}$$

Dónde:

ΔP = Diferencia de cargas (kgf)

A = Área bruta de la diagonal cargada (cm²)

- Deformación unitaria asociada a ΔP de cada LVDT

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta D}{L}$$

Dónde:

ΔD = Diferencia de desplazamientos (cm)

L = Distancia entre bases del LVDT

- **Costo de fabricación**

$$CU = CMo + CMa + CEq$$

De lo cual:

CU = Costo unitario del bloque (S/)

CMo = Costo mano de obra (cuadrilla x cantidad x precio unitario) (S/)

CMa = Costo materiales (cantidad x precio unitario) (S/)

CEq = Costo equipos (cantidad x precio unitario) (S/)

4.2. Hipótesis general

Hipótesis Alterna Ha: El bloque de adobe reforzado con Arundo Donax presentará mejores propiedades y costo de fabricación que el bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula Ho: El bloque de adobe reforzado con Arundo Donax no presentará mejores propiedades y costo de fabricación que el bloque de adobe sin refuerzo.

4.3. Hipótesis específicas

- **Hipótesis específica 1:**

Hipótesis Alterna Ha: La resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe será mayor que la resistencia que establece la Norma E.080.

Hipótesis Nula Ho: La resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe no será mayor que la resistencia que establece la Norma E.080.

- **Hipótesis específica 2:**

Hipótesis Alterna Ha: La succión en el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula Ho: La succión en el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no será mayor que el bloque de adobe sin refuerzo.

- **Hipótesis específica 3:**

Hipótesis Alterna Ha: La resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax resultará mayor que la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula Ho: La resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no resultará mayor que la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

- **Hipótesis específica 4:**

Hipótesis Alterna Ha: El módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula Ho: El módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no será mayor que el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

- **Hipótesis específica 5:**

Hipótesis Alterna Ha: La resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax resultará mayor que la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula Ho: La resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no resultará mayor que la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

- **Hipótesis específica 6:**

Hipótesis Alternativa Ha: El módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el módulo de corte del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula Ho: El módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no será mayor que el módulo de corte del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

- **Hipótesis específica 7:**

Hipótesis Alternativa Ha: El costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula Ho: El costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no será mayor que el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo.

4.4. Tabla de operacionalización de variables

Tabla 7

Operacionalización de variables

Variable de la Investigación	Dimensiones de las variables	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento	Método para medir el indicador	
Propiedades técnicas y costo de fabricación del bloque de adobe	Propiedades mecánicas del bloque de adobe	Resistencia a la compresión del material tierra	kgf/cm ²	Ficha 1	Ensayo de compresión	
		Succión	g	Ficha 2	Ensayo de succión	
	Propiedades físicas y mecánicas del bloque de adobe sin refuerzo	Resistencia a la compresión axial	kgf/cm ²	Ficha 3	Ensayo a compresión axial	
		Módulo de elasticidad (Em)	kgf/cm ²	Ficha 3	Ensayo a compresión axial	
		Resistencia a la compresión diagonal	kgf/cm ²	Ficha 3	Ensayo a compresión diagonal	
		Módulo de corte (Gm)	kgf/cm ²	Ficha 3	Ensayo a compresión diagonal	
		Propiedades físicas y mecánicas del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	Succión	g	Ficha 2	Ensayo de succión
			Resistencia a la compresión axial	kgf/cm ²	Ficha 2	Ensayo a compresión axial
			Módulo de elasticidad (Em)	kgf/cm ²	Ficha 3	Ensayo a compresión axial
			Resistencia a la compresión diagonal	kgf/cm ²	Ficha 3	Ensayo a compresión diagonal

	Módulo de corte (Gm)	kgf/cm ²	Ficha 3	Ensayo a compresión diagonal
Costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo	Costo de fabricación	S/	Ficha 4	Presupuesto
Costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	Costo de fabricación	S/	Ficha 5	Presupuesto

Nota: Información de las variables e indicadores con sus respectivos métodos de medición del trabajo de investigación. Elaboración propia, 2021.

4.5. Matriz de consistencia

Tabla 8

Matriz de Consistencia

Título: Estudio técnico-económico de bloques de adobe adicionado con Arundo Donax. Lima, 2019.

PREGUNTA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	MUESTRA INVESTIGADA	TÉCNICA E INSTRUMENTO	TAMAÑO MUESTRA Y ENSAYOS
GENERAL	GENERAL	GENERAL				
¿Cuál es la diferencia entre las propiedades y costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo?	Comparar las propiedades y el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.	El bloque de adobe reforzado con Arundo Donax presentará mejores propiedades y costo de fabricación que el bloque de adobe sin refuerzo.	Descriptiva (Comparativa)	40 especímenes (16 bloques de adobe, 12 pilas y 12 muretes de bloques de adobe)	Técnica: Observación registrada Instrumento: Instrumentos de registro mediante formatos de pruebas in situ y formatos de ensayos de laboratorio y presupuestos.	La muestra investigada son los 40 especímenes sometidos a ensayos de succión, resistencia a la compresión del material tierra, resistencia a la compresión axial más módulo de elasticidad (Em) y resistencia a la compresión diagonal más módulo de corte (Gm).

Nota: Información para el desarrollo del trabajo de investigación. Elaboración propia, 2021.

Tabla 9

Matriz de Consistencia (continuación)

PREGUNTAS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	MUESTRA INVESTIGADA	TÉCNICA E INSTRUMENTO	TAMAÑO MUESTRA Y ENSAYOS
¿Cuál es la diferencia entre la resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe y la resistencia que establece la Norma E.080?	Comparar la resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe con la resistencia que establece la Norma E. 080.	La resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe será mayor que la resistencia que establece la Norma E.080.	Descriptiva (Comparativa)	40 especímenes (16 bloques de adobe, 12 pilas y 12 muretes de bloques de adobe)	Técnica: Observación registrada Instrumento: Instrumentos de registro mediante formatos de pruebas in situ y formatos de ensayos de laboratorio y presupuestos.	La muestra investigada son los 40 especímenes sometidos a ensayos de succión, resistencia a la compresión del material tierra, resistencia a la compresión axial más módulo de elasticidad (Em) y resistencia a la compresión diagonal más
¿Cuál es la diferencia entre la succión del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo?	Comparar la succión del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.	La succión en el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el bloque de adobe sin refuerzo.				

<p>¿Cuál es la diferencia entre la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo?</p>	<p>Comparar la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo.</p>	<p>La resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax resultará mayor que la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.</p>	<p>módulo de corte (Gm).</p>
<p>¿Cuál es la diferencia entre el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo?</p>	<p>Comparar el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo.</p>	<p>El módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.</p>	
<p>¿Cuál es la diferencia entre la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con</p>	<p>Comparar la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque</p>	<p>La resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax resultará mayor que la resistencia a la</p>	

<p>fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo?</p>	<p>de adobe sin refuerzo.</p>	<p>compresión diagonal del murete de bloque de adobe sin refuerzo.</p>
<p>¿Cuál es la diferencia entre el módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo?</p>	<p>Comparar el módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo.</p>	<p>El módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el módulo de corte del murete de bloque de adobe sin refuerzo.</p>
<p>¿Cuál es la diferencia entre el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo?</p>	<p>Comparar el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.</p>	<p>El costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo.</p>

Nota: Información para el desarrollo del trabajo de investigación. Elaboración propia, 2021.

CAPÍTULO V

DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1. Descripción del trabajo de campo

5.1.1. Toma de muestra de la tierra del adobe

En el trabajo de campo se realizó la obtención de todos los recursos y materiales básicos para la construcción de los bloques, pilas y muretes. Uno de ellos fue la tierra para la elaboración del adobe, la cual fue extraída de Santa María de Huachipa el 01 de febrero del 2021. Para la toma de muestra respectiva se tuvo en cuenta los siguientes materiales, herramientas y procedimiento.

- **Materiales:** Los materiales empleados para la toma de muestra de la tierra del adobe fueron bolsas e identificadores para la muestra.
- **Herramientas:** Entre las herramientas utilizadas fueron un pico de acero, una pala con un mango de madera.
- **Procedimiento:** Para la toma de muestra se empezó realizando la extracción de la tierra con ayuda de un pico y una pala. Cabe destacar que la muestra pasó dos pruebas in situ con la finalidad de comprobar si era adecuada para la construcción de los bloques, pilas y muretes de adobe.

Luego, se colocó la muestra de la tierra de adobe en bolsas con su respectiva identificación para ser llevado al laboratorio y realizar los ensayos a la tierra del adobe. Este proceso se observa en las figuras 19 y 20.

Figura 19

Colocación de la muestra de tierra de adobe en bolsas



Nota. Extracción de muestra de tierra de cantera del lugar de estudio. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 20

Identificación de la muestra de tierra de adobe



Nota. Muestra de tierra rotulada para ensayos de clasificación. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.1.2. Toma de muestra de las fibras de Arundo Donax

El Arundo Donax fue extraído de la localidad de Carapongo el 16 de abril del 2021. Este fue transportado hacia el distrito de Comas con la finalidad realizar el proceso de extracción de las fibras diagonales. A continuación, se detallará los materiales, herramientas y el procedimiento respectivo para la extracción de las fibras de Arundo Donax.

- **Materiales:** Los materiales empleados para la toma de muestra fueron 8 costales de rafia de 50 cm x 90 cm aproximadamente y un rollo de cinta de embalaje transparente.
- **Herramientas:** La herramienta utilizada fue un arco de sierra de material de acero. Esta contó con un ancho de 12,50 cm, longitud de 30,50 cm y un peso de 0,60 kg.
- **Procedimiento:** Para la toma de muestra de Arundo Donax en Carapongo, se visitó una chacra de cultivo de verduras, pues contaba con un canal de agua que en sus orillas crecían estas plantaciones conocidas como caña brava. Para ello, con la ayuda de un familiar se cortaron 55 plantas de Arundo Donax con un arco de sierra, observándose en la figura 21.

Figura 21

Proceso de cortado de las plantas de Arundo Donax



Nota. Cortado de plantaciones de Arundo Donax con arco de sierra. Archivo fotográfico propio, 2021.

Posterior a ello, se trasladó a una zona limpia para desojar y cortar en dos e incluso en tres partes los tallos del Arundo Donax con la finalidad de poder transportarlos (ver figura 22).

Figura 22

Traslado a una zona limpia



Nota. Plantas de Arundo Donax de 4,5 m de longitud aproximadamente. Archivo fotográfico propio, 2021.

Los tallos de Arundo Donax cortados fueron embalados con cinta y las hojas fueron colocados en los costales de rafia. Finalmente, se colocó en la movilidad para su posterior traslado al distrito de Comas como se aprecia en la figura 23.

Figura 23

Colocación del Arundo Donax en la movilidad



Nota. Movilidad con Arundo Donax para su traslado al distrito de Comas. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.1.3. Pruebas in situ de la tierra del adobe

5.1.3.1. Prueba de cinta de barro

La Norma E.080 “Diseño y Construcción con Tierra Reforzada” menciona que esta prueba permite tener un control de calidad de la tierra, pues ayuda a comprobar la presencia de arcilla en la muestra. Con ello se logró tener la cantidad adecuada de arcilla para que no presenten fisuras de secado y la resistencia seca mejor. A continuación, se detalla lo siguiente:

- **Materiales:** Los materiales utilizados fueron un balde, agua y tierra de la cantera del sitio de estudio para formar los cilindros.
- **Procedimiento:** En primer lugar, se tomó una muestra de tierra y se le colocó agua hasta lograr una mezcla de barro, con la cual se hizo un cilindro de 12 mm de diámetro y una longitud inicial aproximada de 5 cm. Este fue colocado en la mano y se aplanó como se puede observar en la figura 24.

Figura 24

Cilindros de 12 mm de diámetro



Nota. Formación de cilindros de 12 mm de diámetro de la prueba in situ cinta de barro. Archivo fotográfico propio, 2021.

Luego, como se aprecia en la figura 25 se formó una cinta de 4 mm de espesor y se descolgó lo más que se pudo. Pues si la muestra alcanza una longitud entre 20 cm y 25 cm, se determina que el suelo es muy arcilloso, pero si se corta a los 10 cm o menos quiere decir que el suelo tiene poco contenido de arcilla. En nuestro caso, la cinta alcanzó una longitud de 14 cm, lo cual nos indicó que tiene una correcta cantidad de arcilla.

Figura 25

Cintas de 4 mm de espesor



Nota. Cintas de 4 mm de espesor estirados hasta una longitud de 14 cm de la prueba in situ cinta de barro. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.1.3.2. Presencia de arcilla o Resistencia Seca

Con esta prueba se permite tener un control y evitar fisuras durante el secado; así como, mejorar su resistencia seca.

- **Materiales:** Entre los materiales que se usaron para esta prueba fueron: tierra del lugar de estudio, un balde y agua.

- **Procedimiento:** Se empezó añadiendo agua a la tierra seleccionada para la prueba. Luego, se formó 4 esferas pequeñas usando las palmas de las manos, teniendo en cuenta que no debe deformarse a simple vista al momento del secado.

Posterior a ello, se dejó secar las esferas pequeñas durante 48 horas tomando algunas consideraciones. Entre ellas tenemos el asegurar que las esferas pequeñas no se humedezcan o se mojen por las lluvias, derrames de agua y entre otros factores como se puede ver en la figura 26.

Figura 26

Esferas pequeñas de tierra



Nota. Cuatro unidades de esferas pequeñas de tierra formadas para la prueba in situ. Archivo fotográfico propio, 2021.

Transcurrido el secado, se procedió a presionar fuertemente cada esfera usando el dedo pulgar y el dedo índice de una mano, como se observa en la figura 27. En esta prueba, se observó si las esferas pequeñas se quebraron, rompieron o agrietaron, donde se consideró que si una de estas esferas pequeñas presentaba estas condiciones se volvía a repetir la prueba; así como, buscar otra cantera cuando la segunda prueba presentaba las mismas condiciones. Pues, indicaba que la tierra del adobe no tenía la suficiente cantidad de arcilla; por lo tanto, los adobes no serían resistentes. En nuestra prueba, las esferas pequeñas no se rompieron ni agrietaron indicando que la muestra de la tierra era óptima.

Figura 27

Esferas pequeñas de tierra presionadas



Nota. Esferas pequeñas de tierra presionadas con el pulgar e índice para la prueba in situ presencia de arcilla o resistencia seca. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.1.4. Elaboración de fibras de Arundo Donax

La elaboración de las fibras de Arundo Donax se realizó mediante un proceso, el cual constó de varias actividades como son la limpieza, corte, sumergido en agua, aplastado, deshilachado y trenzado. Este proceso se realizó del 19 de abril al 17 de mayo de 2021. A continuación, se detallarán los materiales, herramientas y proceso de elaboración de las fibras de Arundo Donax.

- **Materiales:** Los materiales empleados fueron 0,80 m³ de agua, una piscina de 2 m de largo, 1,50 m de ancho y 0,60 m de altura, 55 cañas de Arundo Donax de una altura promedio de 4,50 m y una madera de 0,30 m de largo, 0,15 m de ancho y 0,10 m de altura.

- **Herramientas:** Se usaron 4 cuchillos y un martillo.
- **Proceso de elaboración de las fibras de Arundo Donax:** Para la elaboración de las fibras de Arundo Donax la primera actividad a realizar, como se aprecia en la figura 28, fue la limpieza del tallo de las cañas utilizando un cuchillo, se retiraron los residuos sobrantes de las hojas y se pelaron hasta que el tallo quedó completamente liso y limpio.

Figura 28

Limpieza del tallo del Arundo Donax



Nota. Limpieza de residuos de hojas de los tallos de Arundo Donax. Archivo fotográfico propio, 2021.

Seguido a ello se cortaron todas las cañas de manera longitudinal, obteniendo por caña un promedio de 4 tiras de un centímetro de ancho aproximadamente; después con un cuchillo se les retiró, lo más posible, el nudo interno del tallo, como se muestra en la figura 29.

Figura 29

Corte longitudinal de tallo y retiro de nudo del Arundo Donax



Nota. Corte longitudinal de tallo en cuatro tiras aproximadamente y retiro de nudos internos. Archivo fotográfico propio, 2021.

Una vez que las tiras quedaron completamente limpias y lisas se colocaron en una piscina con agua por un periodo de 5 días aproximadamente con el objetivo que la corteza y el nudo se ablande (figura 30).

Figura 30

Tallos cortados de Arundo Donax sumergidos en agua



Nota. Tallos cortados longitudinalmente colocados en agua por un periodo de 5 días aproximadamente. Archivo fotográfico propio, 2021.

Transcurrido ese tiempo se fueron retirando poco a poco y aplastando con el martillo todas las cañas en una madera, se aplastaron hasta observar sus fibras, como se muestra

en la figura 31; después se deshilaron con la mano abriendo longitudinalmente cada una de ellas hasta obtener los hilos de fibras (ver figura 32).

Figura 31

Tiras del tallo de Arundo Donax aplastadas



Nota. Tiras de Arundo Donax recién retiradas del agua aplastadas con el martillo.
Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 32

Deshilachado para hilos de fibras de Arundo Donax



Nota. Tiras longitudinales de Arundo Donax aplastadas para deshilar y obtener hilos.
Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente, estos hilos fueron trenzados con un grosor de 1 cm y largo de 50 cm aproximadamente, pudiéndose apreciar ello en la figura 33.

Figura 33

Trenzado de fibras de Arundo Donax



Nota. Trenzado de hilos de fibras de Arundo Donax a una longitud de 50 cm aproximadamente. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.1.5. Construcción de los bloques de adobe sin refuerzo

La construcción de los bloques de adobe sin refuerzo fue realizada en Santa María de Huachipa con la ayuda de dos personas con experiencia en construcción de bloques de adobe, llevándose a cabo del 27 mayo al 04 de junio del 2021. A continuación, se detalla los materiales, dosificación, herramientas y procedimiento que se tuvo en cuenta para la fabricación de este espécimen.

- **Materiales:** Uno de los materiales empleados fue la tierra para el adobe que se encontró clasificado como Arena Arcillosa SC de acuerdo a los ensayos de laboratorio. Asimismo, se utilizó agua limpia, paja de 5 cm de largo aproximadamente, arena fina, una adobera de 11 cm x 11 cm x 11 cm y otra de 38 cm x 26 cm x 13 cm.
- **Dosificación de los materiales:** Para la construcción de los bloques de adobe sin refuerzo se tuvo en cuenta la dosificación de los materiales apreciada en la tabla 10.

Tabla 10*Dosificación de los materiales*

Especimen	Cantidad (Und.)	Dosificación		
		Tierra (m ³)	Agua(m ³)	Paja (m ³)
Bloques de adobe sin refuerzo de cubos de 10 cm de arista	6	0,0084	0,0008	0,0017
Bloques de adobe sin refuerzo de 37 cm x 25 cm x 12 cm	133	1,5239	0,1524	0,3048

Nota: La dosificación presentada en m³ es para el metrado total según cada espécimen. Elaboración propia, 2021.

- **Herramientas:** Entre las herramientas empleadas encontramos una pala, un pico, una regla de madera de 50 cm de largo y 5 cm de ancho. Por último, se utilizó una zaranda de malla de 3/8” para el tamizado de la tierra.
- **Procedimiento:** Para iniciar con la construcción de los especímenes se seleccionó un espacio plano y libre de residuos como basuras o piedras (ver figura 34); luego, se colocó una capa de arena fina sobre el terreno con la finalidad que no se peguen a la superficie en el momento del secado.

Figura 34*Selección de un espacio plano y limpio*

Nota. Habilidad de un área plana y limpia y esparcimiento de arena fina. Archivo fotográfico propio, 2021.

Seguido a ello, se procedió a tamizar la tierra utilizando la zaranda para que esté limpia, sin piedras y sin ningún resto de plantas o basura como se aprecia en la figura 35.

Figura 35

Tamizado de la tierra de adobe



Nota. Tierra tamizada de la cantera del lugar de estudio. Archivo fotográfico propio, 2021.

Luego, la tierra del adobe fue acomodada en rumas para colocar el agua hasta formar el barro para el adobe, el cual fue reposado durante 48 horas, teniendo en cuenta que se cubrió con plástico grueso color azul para evitar la caída del agua (ver figuras 36 y 37).

Figura 36

Ruma de tierra de adobe con agua



Nota. Ruma de tierra con agua para barro y dejarlo en reposo por 48 horas. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 37*Mezcla de barro*

Nota. Barro listo para mezclarlo con paja. Archivo fotográfico propio, 2021.

Después, se realizó la mezcla del barro con la paja de 5 cm de largo aproximadamente teniendo en cuenta la proporción de paja y tierra 1:5. Cabe destacar que en este proceso se utilizó una pala y los pies para batir toda la mezcla y forma la consistencia que se necesita para el adobe sin refuerzo, tal como se aprecia en la figura 38.

Figura 38*Colocación de paja*

Nota. Pisado de paja de 5 cm de largo para una mejor mezcla con el barro. Archivo fotográfico propio, 2021.

Seguido a ello, se humedeció la adobera con agua limpia y se colocó arena a sus costados para que el adobe no se pegue. Este proceso se aprecia en las figuras 39 y 40.

Figura 39

Adobera en agua limpia



Nota. Lavado de adobera con agua limpia por todos sus bordes. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 40

Colocación de arena fina en las adoberas



Nota. Adoberas con arena fina para bloques de 37 cm x 25 cm x 12 cm y de 10 cm x 10 cm x 10 cm. Archivo fotográfico propio, 2021.

Luego, como se observa en la figura 41 la mezcla del barro fue lanzada con las manos hacia el interior de las adoberas; después, con una regla de madera mojada se procedió a emparejar y levantar el molde teniendo cuidado de no desintegrar el bloque de adobe (ver figuras 42 y 43).

Figura 41

Colocación de la mezcla de barro en la adobera



Nota. Colocación y acuñado en esquinas de mezcla de barro en adobera. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 42

Enrase del adobe



Nota. Enrase de barro con regla de madera en todo el borde de la adobera. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 43

Desmolde del bloque de adobe



Nota. Retiro de adobera para bloques de adobe de 10 cm de arista. Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente, se colocó la arena encima de cada adobe para evitar que tengan rajaduras e iniciar el secado y apilado durante 20 días, teniendo en cuenta que a los 10 días se procedió a colocar los especímenes en canto para un mejor secado, como se muestran en las siguientes figuras 44 y 45.

Figura 44

Secado de los bloques de adobe sin refuerzo



Nota. Hileras de bloques de adobe sin refuerzo cubiertos con arena fina para su respectivo secado. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 45*Bloques de adobe en canto*

Nota. Colocación de bloques de adobe en canto para su secado de las caras laterales. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.1.6. Construcción de los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax

Los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax fueron construidos con la ayuda de dos trabajadores en Santa María de Huachipa del 01 al 08 de junio del 2021. Para llevar a cabo ello, se tuvo en cuenta los siguientes materiales, dosificación, herramientas y procedimiento respectivo.

- **Materiales:** Los materiales empleados fueron la tierra del adobe clasificada como Arena Arcillosa, fibras diagonales de 50 cm de largo de Arundo Donax (longitud interna de 39 cm), agua limpia, paja de 5 cm de largo, y dos adoberas de 38 cm x 26 cm x 13 cm con 4 orificios para la colocación de las fibras de 1,2 cm de diámetro separados en los extremos en 5 cm.

- **Dosificación de los materiales:** En la construcción de los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax se tuvo en cuenta la dosificación de materiales (ver tabla 11).

Tabla 11*Dosificación de los materiales*

Especímen	Cantidad (Und.)	Dosificación			
		Tierra (m ³)	Agua (m ³)	Paja (m ³)	Cañas de Arundo Donax (Und.)
Bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	133	1,5239	0,1524	0,3048	55

Nota: La dosificación presentada en m³ es para el metrado total del espécimen. Elaboración propia, 2021.

- **Herramientas:** Entre las herramientas empleadas fueron una pala, una regla de madera de 50 cm de largo y 5 cm de ancho; dos sierras de 30 cm de largo y una zaranda de malla de 3/8” para tamizar la tierra del adobe.
- **Procedimiento:** La construcción de estos especímenes tiene el procedimiento que los bloques tradicionales hasta la actividad de mezcla de barro con paja. Luego se humedeció la adobera con agujeros de 1 cm de diámetro (ver figura 46) y se colocó arena fina en sus costados; mientras, se escogieron las fibras diagonales y se sumergieron en agua durante 1 segundo para que no le quite agua a la mezcla.

Figura 46

Adoberas sumergidas en agua



Nota. Lavado de adoberas con agua limpia por todos sus bordes. Archivo fotográfico propio, 2021.

Seguido a ello, las fibras fueron colocadas en las adoberas por cada orificio de manera diagonal (figura 47).

Figura 47

Colocación de las fibras de manera diagonal



Nota. Fibras de Arundo Donax colocadas en forma diagonal a 5 cm de extremos de adobera. Archivo fotográfico propio, 2021.

Después, se colocó la mezcla de barro en las adoberas con las fibras diagonales y con la ayuda de las manos se compactó esta mezcla en toda la adobera para una mejor adherencia (figura 48).

Figura 48

Colocación de la mezcla de barro en las adoberas con las fibras diagonales



Nota. Mezcla de barro colocada y acuñada en adobera con fibras diagonales de Arundo Donax. Archivo fotográfico propio, 2021.

Seguido a ello, se cortaron las fibras sobrantes de las esquinas de las adoberas con ayuda de dos serruchos para continuar con el enrase con la regla de madera previamente humedecida con agua limpia. Este proceso se observa en la figura 49 y 50.

Figura 49

Cortado de las fibras sobrantes



Nota. Cortado con hoja de sierra de fibras de Arundo Donax sobrantes. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 50

Enrase del bloque de adobe con regla de madera



Nota. Enrase de barro con regla de madera en todo el borde de la adobera. Archivo fotográfico propio, 2021.

Por último, como se aprecia en la figura 51 se retiró con cuidado la adobera y se dejó secar cada bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax durante 20 días, teniendo en cuenta que para mejorar este proceso se colocaron de canto a los 10 días (ver figura 52 y 53).

Figura 51

Retiro de la adobera



Nota. Retiro de adobera para bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 52

Secado de los bloques de adobe



Nota. Hileras de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax cubiertos con arena fina para su respectivo secado. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 53

Bloques de adobe en canto



Nota. Colocación de bloques de adobe en canto para su secado de las caras laterales. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.1.7. Construcción de las pilas de bloques de adobe según tipo de espécimen

La construcción de las pilas de bloques de adobe se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de PUCP, con la mano de obra de un operario y un peón. Esta actividad se realizó del día 07 y 08 de julio de 2021. A continuación, se detallarán los materiales, herramientas y proceso constructivo de las pilas de bloques de adobe.

- **Materiales:** Para la construcción de las pilas se usaron materiales tales como; 6 unidades de bloques de adobe según el tipo de espécimen; es decir, para las pilas sin refuerzo y para las pilas reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax. Asimismo, se utilizaron 0,092 m³ de mortero, dos tinas de plástico con una capacidad de 17,8 L, una escobilla de mano y dos bases de madera para asentar las pilas de 275 cm de largo, 30 cm de ancho y una altura de 5 cm.
- **Herramientas:** Las herramientas empleadas fueron escantillones de madera de 120 cm de largo, una regla de 80 cm, un nivel de mano de burbuja de plástico de 50 cm de longitud, una plomada de bronce, un martillo, una wincha de 7,5 m y una plancha de batir.

- **Proceso constructivo:** Se tomaron 6 unidades de bloques de adobe por cada pila según su tipo de espécimen; para ello, se escogieron aquellos que no presentaban ningún tipo de agrietamiento, fisura o cualquier daño.

Luego, como se observa en la figura 54, se colocó mortero en una tina para su posterior uso, este fue elaborado en Santa María de Huachipa con un día de anticipación, pues se dejó reposar el barro y al día siguiente se mezcló la paja. La dosificación utilizada de paja y tierra fue de 1:1,5, para las 12 pilas se necesitó 0,052 m³ de tierra, 0,005 m³ de agua y 0,035 m³ de paja.

Figura 54

Mortero de adobe



Nota. Mortero de adobe con proporción de 1:1,5 de paja y tierra para especímenes de pilas. Archivo fotográfico propio, 2021.

En segundo lugar, se humedecieron las bases de madera y las herramientas como la plancha de batir, el escantillón y la regla. En tercer lugar, se clavó el escantillón en la base de madera, como se muestra en la figura 55; seguido a ello, se tomó un bloque y se limpió con una escobilla los residuos de la arena (ver figura 56).

Figura 55

Colocación de escantillón y herramientas humedecidas



Nota. Colocación de escantillón en bases de madera y herramientas humedecidas para construcción de pilas. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 56

Limpieza de bloques de adobe



Nota. Limpieza con escobilla de mano de bloques de adobe en todas sus caras. Archivo fotográfico propio, 2021.

Luego, como se puede ver en la figura 57, se sumergió el bloque en una tina con agua por 20 segundos y este fue asentado en la base de madera con su respectiva capa de mortero con un espesor de 1,5 cm.

Figura 57

Asentado de bloques de adobe



Nota. Bloques de adobes asentados con una junta de 1,5 cm de espesor. Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente, se fueron colocando cada uno de los bloques siguiendo el mismo procedimiento que el anterior, teniendo en cuenta que la pila este correctamente nivelada y alineada. Para ello, se usó constantemente el nivel y la plomada (ver figura 58).

Figura 58

Uso de nivel y plomada para verificar nivelación y alineación de la pila



Nota. Nivelación y alineación de pilas con nivel de mano y plomada. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.1.8. Construcción de los muretes de bloques de adobe según tipo de espécimen

La construcción de los muretes de bloques de adobe se realizó en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP con la ayuda de un operario y un peón.

Esta actividad se realizó del día 09 al 13 de julio del año 2021. A continuación, se presentan los materiales, equipos, herramientas y proceso constructivo de los muretes de bloques de adobe.

- **Materiales:** Los materiales empleados fueron 12 bloques de adobe sin refuerzo y 12 bloques reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax. Además, se utilizó 0,242 m³ de mortero, dos tinas de plástico con una capacidad de 17,8 L, una escobilla de mano y planchas de fenólico de 76,5 cm de largo, 26 cm de ancho y 1,27 cm de espesor y listones de madera con dimensiones de 32 cm, 9 cm y 4 cm de largo, ancho y espesor respectivamente.
- **Equipos y herramientas:** Las herramientas utilizadas fueron una regla de madera de 80 cm, un nivel de mano de burbuja de plástico de 50 cm de longitud, una plomada de bronce, un martillo, una wincha de 7,5 m, una plancha de batir, un disco de corte de acero inoxidable de 7" y una amoladora angular de 7".
- **Proceso constructivo:** Se seleccionaron 12 bloques de adobe según el tipo de espécimen mencionados anteriormente. Los cuales no presentaron ningún tipo de falla, mancha u otra imperfección; es decir, se seleccionaron bloques de adobe en perfecto estado. Luego de ello, se realizó el corte de los bloques con un disco de acero inoxidable de 7", como se aprecia en la figura 59; para ello, se cortaron por la mitad y se tuvo en cuenta de no dañarlos.

Figura 59*Corte de bloques de adobe por la mitad*

Nota. Cortes de bloques de adobe por la mitad con amoladora y disco de 7". Archivo fotográfico propio, 2021.

En el caso del mortero se tomó una dosificación de paja y tierra de 1:1,5; por lo que, se empleó 0,137 m³ de tierra, 0,014 m³ de agua, 0,091 m³ de paja para los 12 muretes de bloque de adobe construidos. La mezcla del mortero fue realizada con un día de anticipación en el lugar de estudio.

Para ello, se dejó reposar el barro y al día siguiente fue mezclado con la paja. Posteriormente, se colocó la plancha de fenólico humedecida sobre los listones, buscando que el área de trabajo este nivelada. Después se tomaron los bloques y se limpiaron los residuos de arena con una escobilla; asimismo se colocó una tina con agua para sumergirlos por un periodo de 20 segundos aproximadamente (figura 60).

Figura 60

Bloque de adobe sumergido en agua



Nota. Bloque de adobe sumergido en agua por un periodo de 20 segundos. Archivo fotográfico propio, 2021.

Según se puede ver en la figura 61 una vez el bloque fue sumergido se colocó en la base, de esta manera se completó la primera hilada con dos bloques de adobe con una separación de 1,5 cm de mortero.

Figura 61

Asentado de bloques de adobe y mortero para murete



Nota. Bloques de adobes asentados con respectivas juntas de mortero de 1,5 cm de espesor para muretes. Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente, se colocaron las 6 hiladas que se requieren para el murete haciendo uso del nivel, la regla, la wincha y la plomada (ver figura 62).

Figura 62

Nivelación horizontal y dimensiones de murete



Nota. Nivelación y corroboración de medidas de muretes de bloques de adobes con nivel de mano y wincha. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.2. Descripción del trabajo de laboratorio

Uno de los laboratorios empleados para realizar los ensayos fue el Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C. En este se realizaron los ensayos de análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg y contenido de humedad de la tierra del adobe. Teniendo en cuenta, que el laboratorio proporcionó las herramientas y equipos necesarios para realizar los ensayos antes mencionados. Por otro lado, el ensayo para medir la resistencia a la compresión del material tierra, el ensayo de succión, compresión axial y compresión diagonal se realizaron en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, debido a que cuenta con los equipos para realizar dichos ensayos.

5.2.1. Ensayos para la tierra del adobe

5.2.1.1. Análisis granulométrico por tamizado

Se realizó en el laboratorio geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., el cual se basó en la norma ASTM D6913 “Métodos de prueba estándar para la distribución del tamaño de partículas (gradación) de suelos usando análisis de tamiz”. En este ensayo se consideraron los siguientes materiales, herramientas, equipos y procedimiento, los cuales se detallan a continuación.

- **Materiales:** Encontramos la tierra de adobe, taras para el depósito del material de ensayo, tamices de malla cuadrada del N° 4 al N° 200, recipientes para la contención de las muestras y guantes de jebe para el proceso de lavado de muestra.
- **Equipos y herramientas:** Los equipos utilizados fueron una balanza electrónica de color blanco para el peso de la muestra, calibrado para una mejor precisión y exactitud; asimismo, un horno de laboratorio con una capacidad de temperatura de 110 °C. Mientras, las herramientas utilizadas fueron un cucharón para la contención del material y recolección de la muestra, un cepillo para la limpieza de las mallas de los tamices en el proceso del ensayo.
- **Procedimiento:** En primer lugar, se inició con el cuarteo de la tierra de adobe, de la cual se escogió una muestra y se colocó en una tara como se observa en la figura 63.

Figura 63

Cuarteo y colocación de la muestra en tara



Nota. Cuarteo y selección de material para ensayos de clasificación. Archivo fotográfico propio, 2021.

En segundo lugar, la tara a usar se registró su peso correspondiente para colocar la muestra de tierra de adobe (ver figura 64) y registrar el peso del material con la tara en la balanza electrónica (ver figura 65).

Figura 64

Peso de tara



Nota. Peso de tara en balanza electrónica calibrada. Tara y balanza del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

Figura 65

Peso de tara más muestra de tierra de adobe



Nota. Peso en gramos de la muestra más tara. Tara y balanza del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

En tercer lugar, se inició el proceso de lavado de la muestra pesada con la finalidad de quitar todo los limos y arcillas, teniendo en cuenta que se realizó hasta que el agua no se note turbia (ver figura 66).

Figura 66

Proceso de lavado de muestra



Nota. Uso de guantes de jebe para el lavado de muestra. Archivo fotográfico propio, 2021.

En cuarto lugar, la muestra lavada se llevó al horno de laboratorio durante 24 horas para el proceso de secado como se aprecia en la figura 67.

Figura 67

Muestra lavada en el horno de laboratorio



Nota. Temperatura constante del horno de laboratorio de 110 °C. Archivo fotográfico propio, 2021.

En quinto lugar, con la muestra ya secada se inició el tamizado manual por un tiempo moderado, teniendo en cuenta, que si quedaron partículas en los tamices se retiró usando un cepillo (Ver figura 68 y 69).

Figura 68

Tamizado manual



Nota. Considerar el material retenido en cada tamiz. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 69

Tamizado manual y limpieza con cepillo



Nota. Colocar el material retenido en bandejas y con un cepillo limpiar el material adherido al tamiz. Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente, como se observa en la figura 70 se registró el peso retenido en cada tamiz para proseguir con los cálculos respectivos.

Figura 70

Registro del peso retenido en cada tamiz



Nota. Tener en cuenta la calibración de balanza en cada peso. Tara y balanza del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

5.2.1.2. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg fueron realizados en el laboratorio geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., y se tomó en cuenta la norma ASTM D4318 “Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos”. Seguidamente, se presentan los ensayos respectivos para determinar estos valores de la tierra del adobe.

- **Límite líquido**

Para el ensayo del límite líquido se tomó en cuenta los siguientes materiales, herramientas, equipos y procedimiento que se detallan a continuación.

Materiales: Los materiales utilizados fueron la muestra de la tierra del adobe, vasija de porcelana, agua destilada, taras para contener las muestras y recipientes de diferentes tamaños.

Equipos y herramientas: Entre los equipos que se utilizaron encontramos la copa de Casagrande de operación manual, un horno de laboratorio a una temperatura constante de 110 °C para secar la muestra y una balanza electrónica para los pesos respectivos. Por otro lado, las herramientas que se utilizaron fueron una espátula de metal para disolver la muestra, un acanalador para dividir la muestra en dos partes y un cucharón para separar las muestras.

Procedimiento: El ensayo empezó colocando la muestra de tierra de adobe en un recipiente y se realizó el cuarteo con ayuda de un cucharón (ver figura 71).

Luego, una de las porciones se colocó en una tara respectiva (ver figura 72), se registró su peso y se llevó al horno de laboratorio para el secado.

Figura 71

Cuarteo de la tierra de adobe



Nota. Cuarteo del material para ensayos de límites de consistencia. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 72

Colocación de la muestra en una tara



Nota. Selección del material para límites de consistencia. Archivo fotográfico propio, 2021.

Después, la muestra se colocó en una vasija de porcelana y se añadió una pequeña cantidad de agua destilada mezclando todo con una espátula hasta que la mezcla sea homogénea y la consistencia de la pasta sea pegajosa como se aprecia en la figura 73.

Figura 73

Mezcla para el ensayo de límite líquido



Nota. Tener una buena consistencia de la mezcla. Copa de Casagrande del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

Seguido a ello, se colocó una pequeña porción de la mezcla en la parte central de la copa de Casagrande y se nivela la superficie como se aprecia en la figura 74.

Figura 74

Colocación de la mezcla en la Copa de Casagrande



Nota. Asegurarse que la mezcla este nivelada con los bordes de la copa de Casagrande. Copa de Casagrande del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

Luego, con un acanalador se dividió la muestra en dos partes desde el punto más alto hasta el más bajo sobre el borde de la copa como se observa en la figura 75.

Figura 75

Separación de la mezcla con ayuda del acanalador



Nota. Utilizar un acanalador plástico o metálico para la separación de la mezcla. Copa de Casagrande del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

Después, se empezó a golpear hasta cerrar la ranura a una longitud de $\frac{1}{2}$ ", teniendo en cuenta que el cierre debió comprender entre 25 a 35 golpes. Este procedimiento se realizó dos veces más para un cierre de 20 a 30 golpes y para 15 a 25 golpes; para ello, se aumentó la cantidad de agua destilada con la finalidad de aumentar el contenido de humedad y disminuir el número de golpes. Esto se aprecia en la figura 76.

Figura 76

Golpes y cierre de la ranura

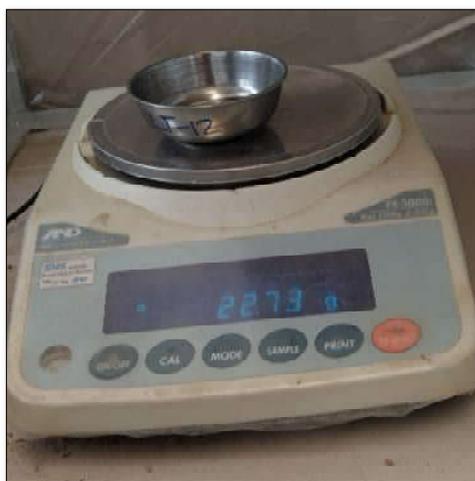


Nota. Tener en cuenta la cantidad de agua para el cierre de ranura. Copa de Casagrande del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

Por último, se tomó la muestra de la parte central y se colocó en una tara para registrar su peso como se observa en la figura 77.

Figura 77

Registro del peso de la muestra



Nota. Tener en cuenta la calibración de balanza en cada peso. Tara y balanza del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

- **Límite plástico**

Para realizar el ensayo del límite plástico se tomó en cuenta los siguientes materiales, herramientas, equipos y procedimiento que se detallan a continuación.

Materiales: Entre los materiales encontramos la muestra de tierra de adobe, recipientes para almacenar la muestra, vidrio de reloj y una superficie de rodadura.

Equipos y herramientas: Entre los equipos encontramos el horno de laboratorio controlado a una temperatura de 110 °C y una balanza electrónica para los pesos respectivos. Mientras, la principal herramienta utilizada para el ensayo del límite plástico fue la espátula de hoja flexible.

Procedimiento: En primer lugar, se tomó la muestra secada previamente escogida del cuarteo inicial para luego amasar la muestra de tierra de adobe hasta una consistencia que pueda enrollarse sin que se pegue en las manos esparciendo y mezclando continuamente sobre la superficie de rodadura, el cual se aprecia en la figura 78.

Figura 78

Amasado de la muestra húmeda



Nota. Colocar una cantidad adecuada de agua para formar la masa de la muestra.
Archivo fotográfico propio, 2021.

En segundo lugar, como se observa en la figura 79 se formaron los cilindros hasta un diámetro de 3,2 mm (1/8”), teniendo en cuenta que esta prueba continua hasta que el rollito empiece a rajarse y tiende a desmoronarse en el diámetro antes mencionado. Si no presentó agrietamiento alrededor del diámetro de 3,2 mm se vuelve a realizar el mismo procedimiento hasta que se cumpla lo antes dicho

Figura 79

Formación de los cilindros



Nota. Cilindros formados con un diámetro de 3,2 mm. Archivo fotográfico propio, 2021.

En tercer lugar, los cilindros aptos se colocaron en vidrios de reloj hasta tener la cantidad necesaria. Todo este procedimiento se repitió en otra muestra de tierra de adobe.

Finalmente, las muestras se colocaron en taras para registrar su peso respectivo y fue llevado al horno de laboratorio como se observa en la figura 80, para después obtener el peso y realizar los cálculos respectivos.

Figura 80

Colocación de la muestra en el horno de laboratorio



Nota. El horno de laboratorio debe estar a una temperatura constante de 110 °C. Horno del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

5.2.1.3. Contenido de humedad

Se realizó en el laboratorio geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C. Para ello se tomó en cuenta la norma ASTM D2216 “Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa”. A continuación, se detallan los siguientes materiales, herramientas, equipos y procedimiento que se llevó a cabo para este ensayo.

- **Materiales:** Los materiales utilizados fueron una muestra de tierra de adobe, taras para contener la muestra y recipientes.
- **Equipos y herramientas:** Los equipos que se emplearon fueron una balanza electrónica para el registro de los pesos y un horno de laboratorio a una temperatura constante de 110 °C para el secado respectivo. Por otra parte, la herramienta utilizada fue un cucharón para el cuarteo de la muestra de tierra de adobe.

- **Procedimiento:** En primer lugar, la muestra de tierra de adobe se colocó en un recipiente para mezclar de manera uniforme y se procedió al cuarteo de la misma (ver figura 81).

Figura 81

Cuarteo de la tierra de adobe



Nota. Cuarteo y selección de material para ensayos de contenido de humedad. Archivo fotográfico propio, 2021.

En segundo lugar, se registró el peso de una tara vacía; luego, se colocó una parte de la muestra anterior en esta para registrar el peso de la tara con la muestra húmeda (ver figura 82).

Figura 82

Registro de peso de muestras más tara



Nota. Calibrar la balanza electrónica para un peso correcto. Tara y Balanza del Laboratorio Geotécnico MarJent Engineering Lab S.A.C., 2021.

En tercer lugar, la muestra pesada se llevó al horno de laboratorio a una temperatura de 110 °C durante 24 horas (ver figura 83).

Figura 83

Muestra en el horno de laboratorio



Nota. El horno de laboratorio debe estar a una temperatura constante de 110 °C. Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente, transcurrido el tiempo se registró el peso de la tara con la muestra seca y se realizaron los cálculos respectivos para determinar su contenido de humedad.

5.2.2. Ensayos para los bloques de adobe

5.2.2.1. Compresión

Fue realizado en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP, tomando en cuenta la norma ASTM C109 “Método Normalizado de Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Especímenes Cúbicos de 2 in o [50 mm])”. Para realizar el ensayo se tomó en cuenta lo siguiente:

- **Materiales:** Los materiales utilizados fueron 6 cubos de bloques de adobe de 10 cm de arista y 6 tablas de triplay de las mismas medidas que los especímenes.
- **Equipos y herramientas:** El equipo fue una máquina universal; mientras, que la herramienta utilizada fue una cinta métrica.
- **Procedimiento:** En primer lugar, se registró las medidas de cada uno de los cubos de adobe con ayuda de una cinta métrica.

Luego, fueron colocados en la máquina universal, teniendo en cuenta que en la parte superior e inferior se colocó un triplay de la misma medida del bloque de adobe. Todo ello se aprecia en las figuras 84 y 85.

Figura 84

Colocación de triplay en la máquina universal



Nota. La colocación del triplay debe estar nivelado al centro de la máquina universal.
 Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 85

Colocación del espécimen en la máquina universal



Nota. El espécimen no debe presentar residuos en las caras en contacto con la máquina.
 Archivo fotográfico propio, 2021.

En segundo lugar, como se observa en la figura 86 se centró cada espécimen en la máquina universal alineando con el centro de la superficie de la placa en contacto con el mismo.

Figura 86

Alineación del espécimen con la máquina universal



Nota. Cerciorarse que el espécimen este colocado al centro de la máquina universal. Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente, se inició con el ensayo aplicando la carga a una velocidad uniforme de 1 kN/min (ver figura 87), observando las fallas de cada espécimen y su máxima carga (ver figura 88) para proseguir con los cálculos respectivos de la resistencia a la compresión del material tierra.

Figura 87

Inició del ensayo de compresión



Nota. Carga aplicada a cubos de 10 cm. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 88

Comportamiento del espécimen después de la aplicación de cargas



Nota. Presencia de fisuras en las esquinas de los especímenes a la aplicación de cargas hasta desintegro de los mismos. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.2.2.2. Rapidez inicial de absorción (Succión)

El ensayo se realizó en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP. Para el ensayo se tomó en cuenta la NTP 399.613 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería”. A continuación, se detallará sobre este procedimiento y los materiales, herramientas y equipos empleados.

- **Materiales:** Entre los materiales utilizados fueron 5 bloques de adobe sin refuerzo y 5 bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax. Asimismo, se utilizó agua para ponerla en contacto con los especímenes y una bandeja plana para colocar cada bloque de adobe.
- **Equipos y herramientas:** Los equipos usados fueron una balanza, un horno de laboratorio con capacidad de temperatura de 110 °C y un cronómetro para medir el tiempo de sumergir cada espécimen. La herramienta utilizada fue una cinta métrica para medir los bloques de adobe.

- **Procedimiento:** En primer lugar, se registró las medidas de cada bloque de adobe con una cinta métrica (ver figura 89).

Luego, fueron llevados a un horno durante 24 horas para el proceso de secado y pasado este tiempo retirarlo para registrar el peso del espécimen al natural (ver figura 90).

Figura 89

Registro de las medidas de los especímenes



Nota. La medición de cada espécimen se realizó en mm. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 90

Peso del bloque de adobe



Nota. Traslado a la zona del peso del espécimen con equipo de carga. Archivo fotográfico propio, 2021.

En segundo lugar, como se aprecia en la figura 91 los bloques de adobe fueron colocados sobre una bandeja con agua durante 1 minuto, teniendo en cuenta que este tiempo se inicia cuando el bloque entre en contacto con el agua.

Figura 91

Bloque de adobe sumergido en agua



Nota. Se utilizó una botella con agua para mantener el nivel de agua constante de la bandeja y una tina para la caída del agua manteniendo la zona del ensayo limpia. Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente, pasado el periodo anterior se retiró el espécimen (ver figura 92), se registró el peso luego de 1 minuto en contacto con el agua y se realizaron los cálculos respectivos.

Figura 92

Retiro del espécimen en contacto con el agua



Nota. Contabilizar el tiempo de 1 minuto con un cronómetro para el retiro del espécimen. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.2.3. Ensayo para las pilas de bloques de adobe

5.2.3.1. Compresión axial

Como referencia se siguió lo indicado en la Norma Técnica Peruana E.080; la cual menciona que, la pila a ensayar debe tener aproximadamente una altura igual a tres veces su menor dimensión, teniendo una resistencia última igual a 0,6 MPa o 6,12 kgf/cm². Para ello, se divide la carga vertical aplicada entre el área transversal de la pila.

Para la presente investigación se tuvieron pilas con una altura de 78 cm, un largo de 37cm y un ancho de 26 cm aproximadamente, cumpliendo con ello la relación mencionada

anteriormente. Seguidamente, se detallarán los materiales, equipos, herramientas y procedimiento para llevar a cabo el ensayo.

- **Materiales:** Los materiales utilizados para el ensayo fueron 6 pilas de bloques de adobe sin refuerzo, 6 pilas de bloques de adobe reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax, capping para cada una de las pilas, 2 bases de madera y 2 triplay.
- **Equipos y herramientas:** Los equipos utilizados para llevar a cabo el ensayo fueron una máquina universal, una grúa, una computadora; mientras que, las herramientas empleadas fueron dos sujetadores metálicos de carga.
- **Procedimiento:** Para llevar a cabo el presente ensayo; en primer lugar, se realizó el refrentado (capping) de las 12 pilas con cemento y yeso en su base superior, esta actividad se realizó dos días antes del ensayo (ver figura 93).

Figura 93

Pilas con refrentado (capping)



Nota. Pilas con el refrentado en la parte superior del espécimen y su respectiva identificación. Archivo fotográfico propio, 2021.

Posteriormente, como se puede apreciar en la figura 94, se trasladaron las pilas una por una con la ayuda de una grúa, bases de maderas y sujetadores metálicos hasta colocarla en la máquina de ensayo. Se corroboró que la pila esté centrada y se pusieron dos triplay, cada uno en contacto con las bases de la máquina y la pila.

Figura 94

Transporte y colocación de pila en máquina de ensayo



Nota. Se trasladó con cuidado cada pila para evitar algún daño que afecte los resultados de los ensayos. Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente se ajustó la máquina y se aplicó la carga vertical a una velocidad de 0,5 mm/min. La carga fue aplicada y se presenciaron las fallas (fisuras) en el espécimen (ver figura 95).

Figura 95

Pilas sin refuerzo ensayadas



Nota. Se colocó un triplay en la parte inferior, teniendo en cuenta que sea la misma medida que la pila. Archivo fotográfico propio, 2021.

Asimismo, las cargas aplicadas fueron registradas en la computadora mediante un software, como se observa en la figura 96 teniendo con ello la carga máxima por cada unidad de espécimen.

Figura 96

Máquina de ensayo y computadora con cargas registradas



Nota. Se tuvo en cuenta la velocidad de ensayo de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.2.3.2. Módulo de elasticidad (E_m)

Se determinó mediante el ensayo de resistencia a compresión axial con la carga vertical aplicada y la ayuda de 2 Transformadores Diferenciales Variables Lineales (en adelante LVDT) que permitían registrar la deformación axial.

Cabe mencionar que, se tomó como referencia lo indicado en el libro de San Bartolomé et al. “Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería”, en este se indica que una buena práctica es colocar 2 instrumentos LVDT, con el objetivo de medir la deformación axial central. A continuación, se mencionarán los materiales, equipos, herramientas y procedimiento de medición del módulo de elasticidad.

- **Materiales:** Los materiales empleados fueron 6 pilas de bloques de adobe sin refuerzo, 6 pilas de bloques de adobe reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax, tizas, alambre de cobre, ligas y clavos.

- **Equipos y herramientas:** Los equipos y herramientas utilizados para determinar el módulo de elasticidad fueron 2 instrumentos LVDT uno local y otro global, una wincha, un martillo, un taladro y una computadora.
- **Procedimiento:** En primer lugar, se trazaron 2 referencias en una de las caras verticales a las 12 pilas para los instrumentos LVDT, como se muestra en la figura 97; para ello, con una wincha y una tiza se marcaron dos cruces a una separación de 30 cm, ubicadas al centro de la cara de las pilas.

Figura 97

Pilas con referencias para colocación de instrumento LVDT



Nota. La referencia de los instrumentos LVDT se colocó en la cara de menor dimensión de la pila de bloque de adobe. Archivo fotográfico propio, 2021.

En segundo lugar; una vez ya transportada y colocada la pila en la máquina de ensayo se le colocaron pernos en la referencia superior y un clavo en la referencia inferior antes marcadas con la ayuda de un taladro y de un martillo respectivamente, como se puede observar en la figura 98.

Figura 98

Pila con pernos y clavo para colocación de instrumento LVDT



Nota. La colocación de los pernos y clavos fue en las referencias antes dichas, teniendo mucho cuidado. Archivo fotográfico propio, 2021.

En tercer lugar, se colocó el instrumento LVDT local y el alambre de cobre en la cara de la pila marcada (ver figura 99) y el LVDT global en la parte de la máquina de ensayo (ver figura 100); además estos fueron conectados a la computadora para su registro.

Figura 99

Pila con instrumento LVDT local



Nota. Cada instrumento LVDT local fue sincronizado con la máquina universal de ensayo. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 100

Pila con instrumento LVDT global



Nota. El instrumento LVDT global se colocó en la otra cara de menor dimensión de pila. Archivo fotográfico propio, 2021.

Por último, se registraron las cargas aplicadas y los desplazamientos, como se aprecia en la figura 101. Cabe resaltar que con la gráfica de los datos registrados de cargas y desplazamientos se tomó la parte más lineal comprendida entre el 20 % y 50 % de la carga de rotura. De esta manera con la división del esfuerzo axial ($\Delta P/A$) y la deformación unitaria asociada a ΔP ($\Delta D/L$) se obtuvo el módulo de elasticidad de cada una de las pilas ensayadas.

Figura 101

Pila ensayada, carga máxima y desplazamientos registrados



Nota. En el monitor se observó la máxima carga, las gráficas de carga versus desplazamiento. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.2.4. Ensayos para los muretes de bloques de adobe

5.2.4.1. Compresión diagonal

Para medir esta resistencia se tomó como guía la Norma Técnica Peruana E.080 “Diseño y construcción con tierra reforzada”. Esta menciona en el capítulo II “Consideraciones generales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada” que los especímenes deben tener una dimensión mínima de 0,65 m x 0,65 m x e_m ; y una resistencia última de 0,025 MPa o 0,25 kgf/cm², siendo esta la división de la carga aplicada entre dos veces el lado por el espesor del murete.

Por ello, en esta investigación se consideró muretes de bloques de adobe de 77 cm x 77 cm x 25 cm aproximadamente. A continuación, se indican los materiales, equipos, herramientas y procedimientos.

- **Materiales:** Entre los materiales tenemos 6 muretes de bloques de adobe sin refuerzo, 6 muretes de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax, capping para los 12 muretes y dos triplay.
- **Equipos y herramientas:** Los equipos y herramientas que se utilizaron fueron la máquina universal de ensayo, una grúa, un sujetador metálico de carga y una computadora.
- **Procedimiento:** Para realizar el ensayo días previos se realizó el refrentado (capping) de los 12 muretes a base de cemento y yeso, como se muestra en la figura 102.

Figura 102

Muretes con refrendado (capping)



Nota. Capping de cemento y yeso en esquina superiores de muretes. Archivo fotográfico propio, 2021.

Una vez listo el capping se procedió a trasladar cada una de las muestras mediante el uso de una grúa y un sujetador metálico de carga. Se ubicó al murete en forma diagonal en las bases de la máquina y fue colocada en la parte superior del mismo dos triplay, como se observa en la figura 103; asimismo se verificó que el murete esté correctamente centrado y se ajustó la máquina.

Figura 103

Transporte y colocación de murete en máquina de ensayo



Nota. Muretes en sujetadores de carga para el traslado a la máquina de ensayo, de debe trasladar con cuidado para evitar errores por fallas previas al ensayo. Archivo fotográfico propio, 2021.

Finalmente, se fue aplicando la carga a una velocidad de 0,5 mm/min hasta alcanzar su carga máxima. Observando con ello fallas como grietas o fisuras, como se aprecia en la figura 104. Cabe resaltar que, la carga máxima fue registrada mediante un software en una computadora.

Figura 104

Murete ensayado y forma de falla



Nota. Carga aplicada a especímenes de muretes de bloques de adobe con presencia de falla mixta, por tracción diagonal y escalonada en juntas de mortero. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.2.4.2. Módulo de corte (Gm)

Se obtuvo mediante el ensayo de resistencia a la compresión diagonal mediante la carga aplicada y 3 instrumentos LVDT que permitían registrar los desplazamientos tanto vertical como horizontal. Para ello, se tomó como base lo indicado en el libro “Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería” de San Bartolomé et al., el cual indica que, para determinar el módulo de corte de un murete se colocan en una de las caras 2 instrumentos LVDT, los cuales medirán la deformación en ambas diagonales. A continuación, se detallarán los materiales, equipos, herramientas y procedimiento.

- **Materiales:** Los materiales empleados fueron 6 muretes de bloques de adobe sin refuerzo, 6 bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax, tizas, alambre de cobre, clavos y ligas.
- **Equipos y herramientas:** Se utilizaron fueron 3 instrumentos LVDT, una wincha, un taladro, un martillo y una computadora.
- **Procedimiento:** Para poder calcular el módulo de corte primero se marcó una de las caras del murete con cuatro cruces paralelas a sus extremos del murete como referencia, separadas entre sí 30 cm. Con la finalidad de posteriormente poder fijar los LVDT, (ver figura 105).

Figura 105

Murete con referencia para colocación de instrumentos LVDT



Nota. Referencias en las cuatro esquinas paralelas a caras de murete con separación de 30 cm entre ellas. Archivo fotográfico propio, 2021.

Después de haber transportado y colocado los muretes en la máquina de ensayo se colocaron los 2 instrumentos LVDT locales, uno en dirección vertical y otro en horizontal con un taladro y un clavo para amarrar los alambres de cobre, como se puede apreciar en la figura 106; asimismo se colocó un LVDT global en la máquina de ensayo. Además, estos se conectaron a la computadora para el registro de la carga y desplazamientos.

Figura 106

Colocación de instrumentos LVDT vertical y horizontal

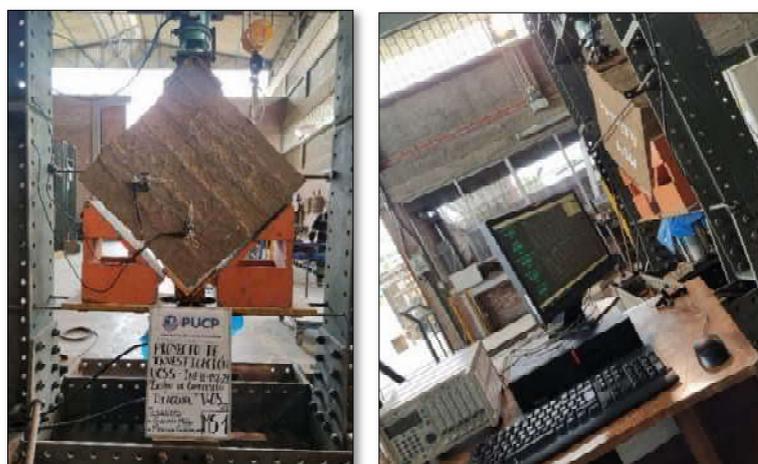


Nota. Instrumentos LVDT vertical y horizontal con conexión a software para lectura de desplazamientos. Archivo fotográfico propio, 2021.

Posteriormente, se registraron las cargas aplicadas y los respectivos desplazamientos vertical y horizontal (ver figura 107). De esta manera se toma la parte más lineal de la gráfica de carga y desplazamiento que vendría a ser del 20 % al 50 % de la carga de rotura aproximadamente. Además, con la suma de las dos deformaciones ($\Delta D/L$) se calcula la deformación angular (γ) y se halla el módulo de corte con la división del esfuerzo cortante ($\Delta P/A$) y la deformación angular (γ).

Figura 107

Murete ensayado y registro de carga máxima y desplazamientos



Nota. Lectura de carga y desplazamientos. Archivo fotográfico propio, 2021.

5.2.5. Diagrama de Gantt del trabajo de campo y laboratorio

Se llevaron a cabo una serie de actividades como el trabajo en campo y laboratorio. Esto nos permitió determinar las propiedades físicas de la tierra del adobe y las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes. Cada una de las actividades presentadas en la figura 108 del diagrama de Gantt consta de una duración y la secuencia según como se fue trabajando.

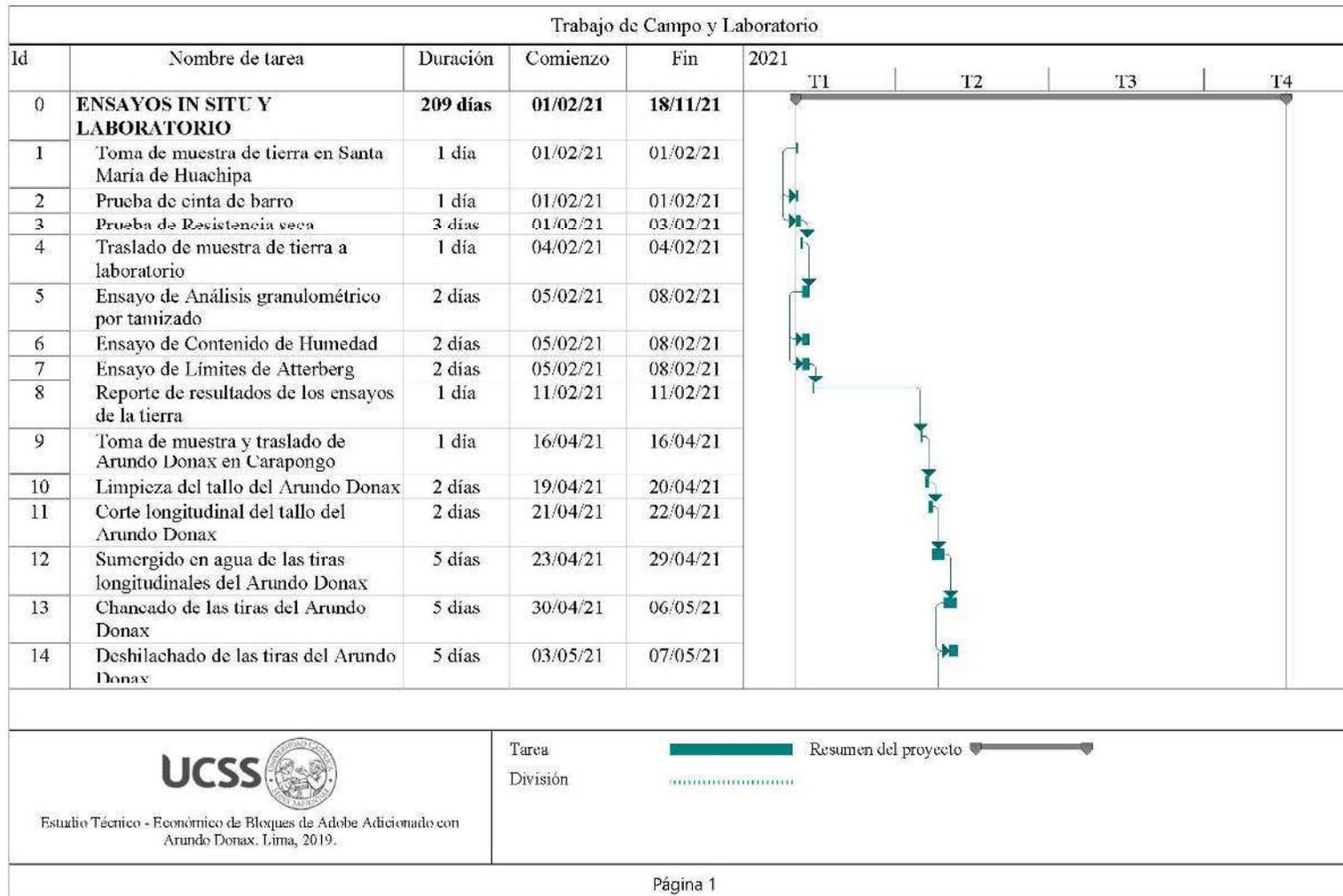
Por otro lado, en la figura 108 se puede observar que el inicio de las actividades fue el día 01 de febrero de 2021 con la actividad toma de muestra de tierra en Santa María de Huachipa y culminó el 18 de noviembre de 2021 con el reporte de los resultados de los ensayos de pilas y muretes. Teniendo una duración total de 209 días.

5.2.6. Diagrama de Gantt de trabajo de ingeniería

En la figura 109 se muestran los entregables de la investigación. Cabe destacar que, la duración y secuencia de estas actividades se presentan según lo desarrollado fecha tras fecha. En el cual, se destaca que el inicio fue el 20 de noviembre del 2021 con el reporte consolidado de resultados de todos los ensayos, finalizando el 17 de diciembre del mismo año con la evaluación económica de la propuesta de investigación.

Figura 108

Diagrama de Gantt del trabajo de campo y laboratorio



Trabajo de Campo y Laboratorio					
Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	2021
					T1
15	Trenzado de las fibras del Arundo Donax	10 días	04/05/21	17/05/21	
16	Tamizado de la tierra	2 días	27/05/21	28/05/21	
17	Preparación del barro para hacer los adobes sin refuerzo	2 días	31/05/21	02/06/21	
18	Mezclado del barro con paja para los bloques de adobe sin refuerzo	1 día	02/06/21	02/06/21	
19	Moldeo de bloque de adobe sin refuerzo	2 días	03/06/21	04/06/21	
20	Preparación del barro para hacer los adobes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	2 días	01/06/21	03/06/21	
21	Mezclado del barro con paja para los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	1 día	03/06/21	03/06/21	
22	Moldeo de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	3 días	04/06/21	08/06/21	
23	Secado y Apilado de adobes	18 días	03/06/21	28/06/21	
24	Etiquetado de bloques de adobe	0.5 días	29/06/21	29/06/21	
25	Traslado de los bloques de adobe al laboratorio de la PUCP	0.5 días	29/06/21	29/06/21	
26	Ensayo de succión	3 días	30/06/21	02/07/21	
27	Ensayo de compresión	1 día	01/07/21	01/07/21	
28	Reporte de los resultados de los ensayos	1 día	08/07/21	08/07/21	



 Estudio Técnico - Económico de Bloques de Adobe Adicionado con Arundo Donax. Lima, 2019.

Tarea  Resumen del proyecto 

 División 

Trabajo de Campo y Laboratorio					
Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	2021
					T1
29	Preparación de mortero en Santa María de Huachipa	1 día	05/07/21	05/07/21	
30	Traslado de adobes para la construcción de pilas y muretes; y mortero	1 día	05/07/21	05/07/21	
31	Construcción de pilas de adobe sin refuerzo	1 día	07/07/21	07/07/21	
32	Construcción de pilas de adobe reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax	1 día	08/07/21	08/07/21	
33	Construcción de muretes de adobe sin refuerzo	1.5 días	09/07/21	12/07/21	
34	Construcción de muretes de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax	1.5 días	12/07/21	13/07/21	
35	Secado de pilas y muretes de adobe	20 días	08/07/21	04/08/21	
36	Refrentado de pilas y muretes	2 días	02/08/21	03/08/21	
37	Etiquedado de pilas y muretes	1 día	03/08/21	03/08/21	
38	Ensayo a la compresión axial más módulo de elasticidad (Em)	2 días	04/08/21	05/08/21	
39	Ensayo a la compresión diagonal más módulo de corte (Gm)	2 días	09/08/21	10/08/21	
40	Reporte de los resultados de los ensayos	1 día	18/11/21	18/11/21	

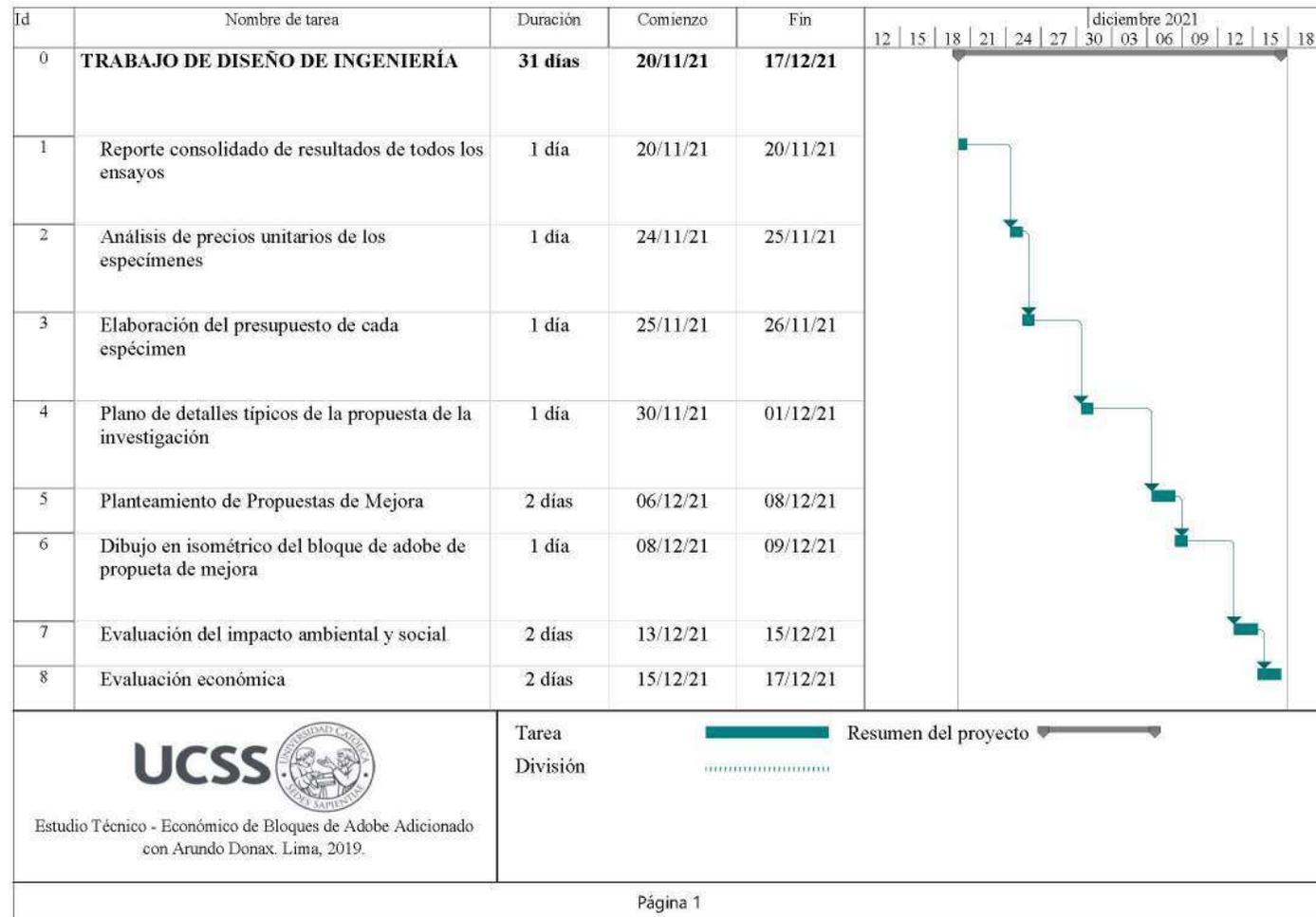
 <p>Estudio Técnico - Económico de Bloques de Adobe Adicionado con Arundo Donax. Lima, 2019.</p>	Tarea  Resumen del proyecto 
	División 

Página 3

Nota. Duración de actividades de acuerdo a su normativa correspondiente. Elaboración propia, 2021.

Figura 109

Diagrama de Gantt de trabajo de diseño de ingeniería



Nota. Cada actividad se detalla en el capítulo 5, 6 y anexos. Elaboración propia, 2021.

5.3. Análisis e interpretación de resultados

5.3.1. Resultados de las propiedades físicas de la tierra del adobe

Se realizó el ensayo de análisis granulométrico por tamizado; límites de Atterberg y el contenido de humedad. A continuación, en la tabla 12 se presentan los resultados de las propiedades físicas de la tierra del adobe.

Tabla 12

Resultados de las propiedades físicas de la tierra del adobe

Muestra	Propiedades físicas de la tierra del adobe				
	Gradación del suelo	Límites de Atterberg			Contenido de humedad (%)
		Límite Líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	
M-01: Tierra del adobe	Grava: 0,30 % Arena: 56,60 % Finos: 43,10 %	24,00	16,00	8,00	5,7
Clasificación ASSHTO y SUCS	A-4, índice de grupo 1; Arena arcillosa "SC"				

Nota. La muestra M-01 fue extraída del lugar de estudio en Santa María de Huachipa. Elaboración propia, 2021.

De la tabla 12, se puede observar que, en la gradación del suelo se obtuvo un 0,30 % de grava, 56,60 % de arena y 43,10 % de finos; este último comprendido por limos y arcillas. Esto también se ve reflejado en la figura 110 de la curva granulométrica, en la cual se muestran los porcentajes acumulados que pasan por cada uno de los tamices y la distribución en grava, arena y finos obtenida.

Asimismo, con los resultados del análisis granulométrico por tamizado y los límites de Atterberg se realizó la Clasificación AASHTO, teniendo como grupo de clasificación el "A-4" y como índice de grupo 1. Además, según la clasificación SUCS, el material ensayado pertenece al grupo "SC", cuyo nombre del grupo es arena arcillosa.

Por otro lado, respecto al contenido de humedad se obtuvo un porcentaje igual a 5,7 % siendo este un valor bajo, pues como se indica en la norma se debe controlar el contenido de humedad, con el objetivo de que el material a usar en el momento de secado no ocurra fisuras ni grietas en los bloques de adobe.

5.3.1.1. Resultados del análisis granulométrico por tamizado

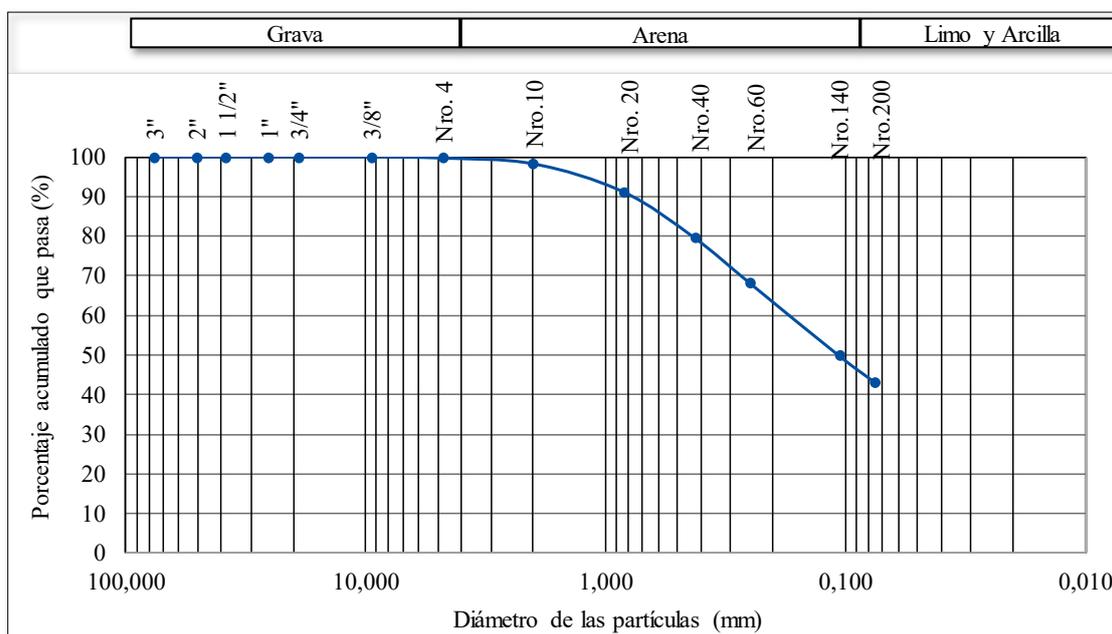
En la tabla 13 se encuentran los resultados del ensayo de análisis granulométrico por tamizado según la norma ASTM D6913, en la cual se observa el porcentaje acumulado que pasa por cada uno de los tamices desde la malla de 3" hasta la malla N° 200.

Tabla 13

Resultados de análisis granulométrico por tamizado

Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D6913)		
Nro. Malla	Abertura (mm)	% Acum. que pasa
3"	76,200	100
2"	50,800	100
1 1/2"	38,100	100
1"	25,400	100
3/4"	19,100	100
3/8"	9,520	100
N° 4	4,760	99,7
N° 10	2,000	98,3
N° 20	0,840	91,2
N° 40	0,425	79,6
N° 60	0,250	68,2
N° 140	0,106	49,9
N° 200	0,075	43,1

Nota. El ensayo se realizó en base a los estándares de la norma internacional ASTM D6913. Elaboración propia, 2021.

Figura 110*Curva granulométrica*

Nota. En la columna izquierda se aprecian los porcentajes acumulados de material pasante y en la fila superior e inferior los diámetros de tamices en mm y en pulgadas respectivamente. Elaboración propia, 2021.

5.3.1.2. Resultados de los límites de Atterberg

En la tabla 14 se puede observar los resultados del ensayo de los límites de Atterberg con sus respectivos equipos utilizados. Cabe resaltar que el índice de plasticidad se obtuvo de la resta del límite líquido y el límite plástico.

Tabla 14*Resultados de límites de consistencia*

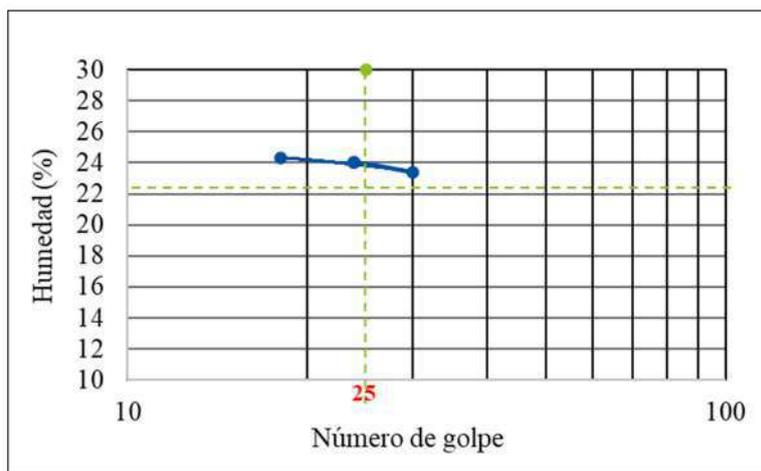
Límites de consistencia (ASTM D4318)		Equipo de ensayo utilizado
Límite líquido (LL)	24	Manual
Límite plástico (LP)	16	Mecánico
Índice plástico (IP)	8	Plástica

Nota. El ensayo se realizó en base a los estándares de la norma internacional ASTM D4318. Elaboración propia, 2021.

Por otro lado, en la figura 111 se observa el diagrama de fluidez, en el que se presenta el porcentaje de humedad a 25 golpes. Cabe mencionar que, para la muestra se dio en un intervalo de golpes de 15 a 25, 20 a 30 y 25 a 35 con tres muestras de tierra de adobe.

Figura 111

Diagrama de fluidez



Nota. El ensayo se realizó en base a los estándares de la norma internacional ASTM D4318. Elaboración propia, 2021.

5.3.1.3. Resultados del contenido de humedad

Tabla 15

Resultados del contenido de humedad

N° tara		B-210	B-19
Peso de tara	g	93,4	94,2
Peso tara + muestra húmeda	g	524,7	501,4
Peso tara + muestra seca	g	501,7	479,1
Peso de agua	g	23	22,3
Peso de suelo seco	g	408,3	384,9
Contenido de humedad	%	5,63	5,79
Promedio	%	5,71	

Nota. Los pesos de las taras y muestra se realizaron en una balanza calibrada. Elaboración propia, 2021.

En la tabla 15 se presentan los resultados del contenido de humedad; para ello, se ensayaron dos muestras B-210 y B-19, y de cada uno se registraron los datos necesarios para hallar el porcentaje de contenido de humedad y finalmente el promedio de ambos.

5.3.2. Resultado de las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes

En la tabla 16 se presenta de manera general los resultados de los ensayos de succión, resistencia a la compresión del material tierra, resistencia a la compresión axial más módulo de elasticidad "Em" y resistencia a la compresión diagonal más módulo de corte "Gm" de los especímenes sin refuerzo y los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax. Cabe destacar, que el ensayo de succión se realizó a 5 bloques de adobe según el tipo de espécimen y se consideró todas las muestras para el cálculo del promedio de los resultados, el ensayo a compresión se realizó a 6 cubos de adobe sin refuerzo para la resistencia del material tierra y se consideró el promedio de las 4 mejores muestras; finalmente, las demás propiedades mecánicas se realizaron a 6 muestras según el tipo de espécimen y se ha tomado el promedio de los 4 mejores.

Tabla 16

Resultado de las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes

Especímen	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
	Succión (g)	Resistencia a la compresión del material tierra (kgf/cm ²) *	Resistencia a la compresión axial (kgf/cm ²)	Módulo de elasticidad "Em" (kgf/cm ²)	Resistencia a la compresión diagonal (kgf/cm ²)	Módulo de corte "Gm" (kgf/cm ²)
Especímen sin refuerzo	1,0	11,99	9,92	3 063,65	0,58	923,22
Especímen reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	0,7	-----	9,26	3 530,52	0,53	908,44

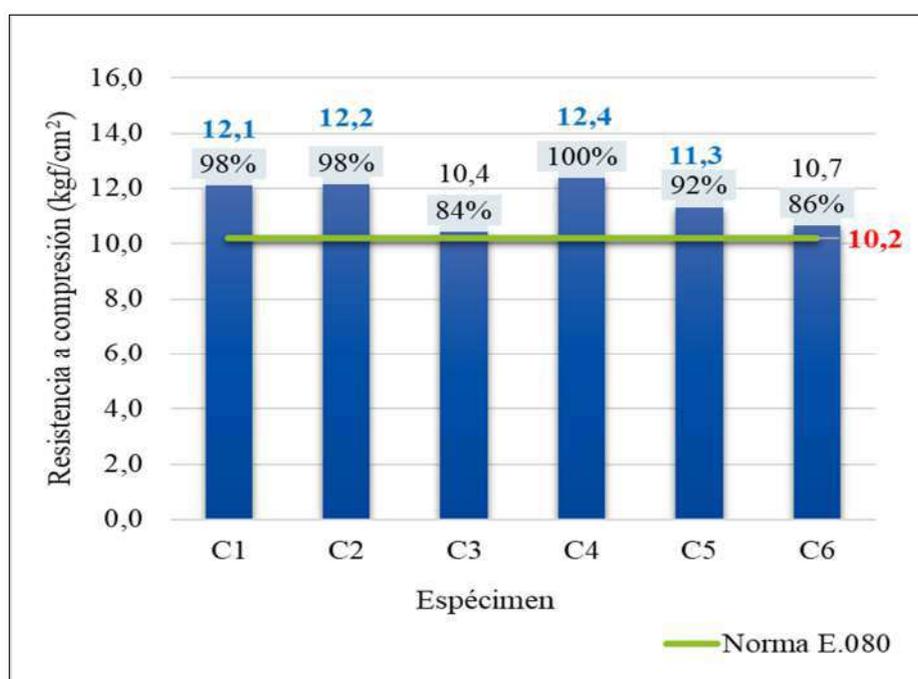
Nota. (*) La resistencia a la compresión del material tierra se realizó en bloques de adobe sin refuerzo. Elaboración propia, 2021.

5.3.2.1. Resistencia a la compresión

Se planteó el objetivo específico 1 con la finalidad de comparar una de las propiedades mecánicas de los especímenes. El cual fue comparar la resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe con la resistencia que establece la Norma E.080. Para cumplir con ello se construyeron 6 cubos de bloques de adobe de arista de 10 cm, teniendo en cuenta los parámetros de la Norma E.080 tales como las condiciones de la masa de tierra para elaborar el adobe.

Figura 112

Comparación de la resistencia a la compresión entre especímenes



Nota. Los valores de color azul representan los cuatro mejores valores de la resistencia a la compresión de los especímenes; y el valor de color rojo, la resistencia establecida en la Norma E.080. Además, se muestra el porcentaje de incidencia respecto a la mayor resistencia entre los especímenes ensayados. Elaboración propia, 2021.

Los resultados se observan en la figura 112, en la cual se puede apreciar la comparación entre los seis especímenes de bloques de adobe; asimismo, la comparación con la resistencia última que establece la Norma E.080. Se obtuvo una resistencia de 12,1 kgf/cm², 12,2 kgf/cm², 10,4 kgf/cm², 12,4 kgf/cm², 11,3 kgf/cm² y 10,7 kgf/cm² para los especímenes C1,

C2, C3, C4, C5 y C6 respectivamente. El espécimen con una mayor resistencia es el C4 con un valor de $12,4 \text{ kgf/cm}^2$ y el espécimen con menor resistencia es el C3 con un valor de $10,4 \text{ kgf/cm}^2$. El promedio de las cuatro mejores resistencias dio un valor de $11,99 \text{ kgf/cm}^2$ superando la resistencia última de la Norma E. 080, la cual menciona que debe ser igual a $10,2 \text{ kgf/cm}^2$.

Por ello, se puede decir que la resistencia superó en un 17,6 % más que la resistencia de la Norma E.080 obteniendo que el bloque de adobe presenta una mejor durabilidad y es más denso; además que, la calidad de la tierra es la adecuada para la construcción de las pilas y muretes de adobe. De igual manera, se puede indicar que cada uno de los especímenes superan el valor que indica la Norma E.080. Por otro lado, al momento de incrementar las cargas los especímenes empezaron a presentar fallas; tales como, agrietamiento y fisuras desde las esquinas, en los centros, hasta llegar a desintegrarse en toda la unidad (ver figura 113).

Figura 113

Fallas en los cubos de adobe



Nota. Aparición de fisuras verticales en todo el espécimen. Archivo fotográfico propio, 2021.

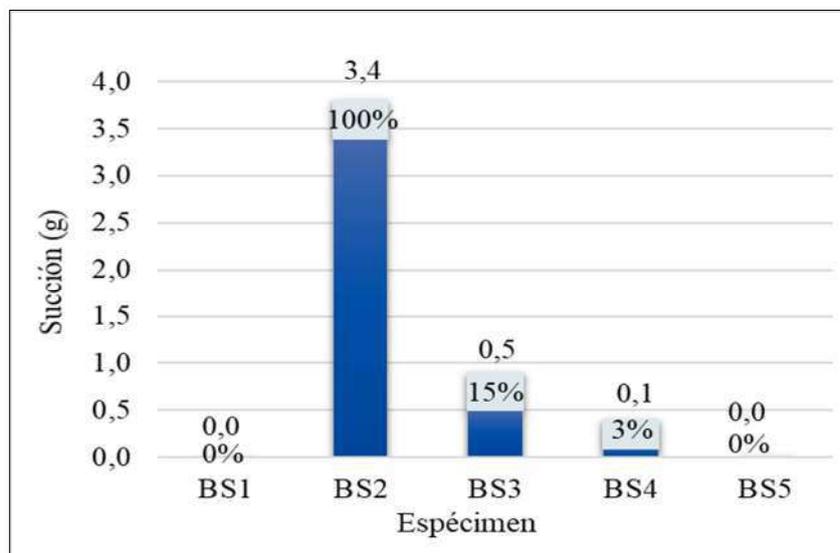
5.3.2.2. Periodo inicial de absorción (Succión)

Otro de los objetivos específicos planteados respecto a las propiedades físicas de los especímenes fue el objetivo específico 2, este fue comparar la succión del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo. Para cumplir con este objetivo específico se ensayaron 10 especímenes. De los cuales 5 de ellos fueron bloques de adobe sin refuerzo; y los otros 5, reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax.

En la figura 114 se muestran los resultados de la succión en gramos de los bloques de adobe sin refuerzo, del cual se observa que para este tipo de adobes la mayor succión fue de 3,4 g para el espécimen BS2; mientras que la menor succión fue de 0,1 g para el espécimen BS4. Asimismo, para los especímenes BS1 y BS5 se registró un valor igual a cero; puesto que, para el primero de ellos su peso seco y peso húmedo no varió; y para el segundo, el espécimen se disolvió en la zona de contacto con el agua perdiendo peso.

Figura 114

Succión de bloques de adobe sin refuerzo



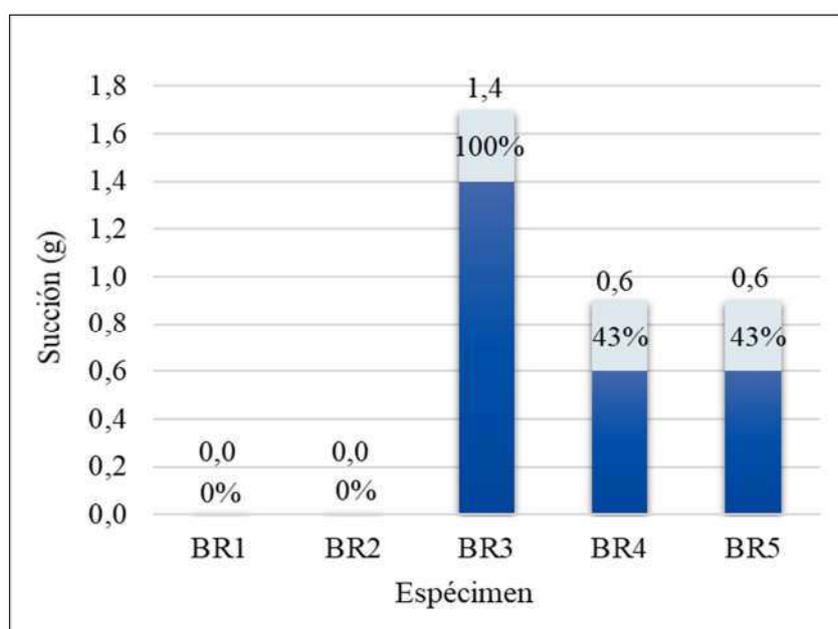
Nota. La succión se realizó en una base de 200 cm² por minuto. Y los porcentajes presentados son la incidencia respecto al mayor valor obtenido de succión. Elaboración propia, 2021.

Los resultados de la succión en gramos de los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax se presentan en la figura 115, en este caso se obtuvieron como resultados una succión de 1,4 g para el espécimen BR3 siendo esta la mayor y una succión de 0,6 g para los especímenes BR4 y BR5.

Asimismo, al igual que los bloques sin refuerzo, se presentaron los casos en el que el peso seco y peso húmedo no varió para el espécimen BR1 y el espécimen BR2 se disolvió en la zona de contacto con el agua perdiendo su peso.

Figura 115

Succión de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax

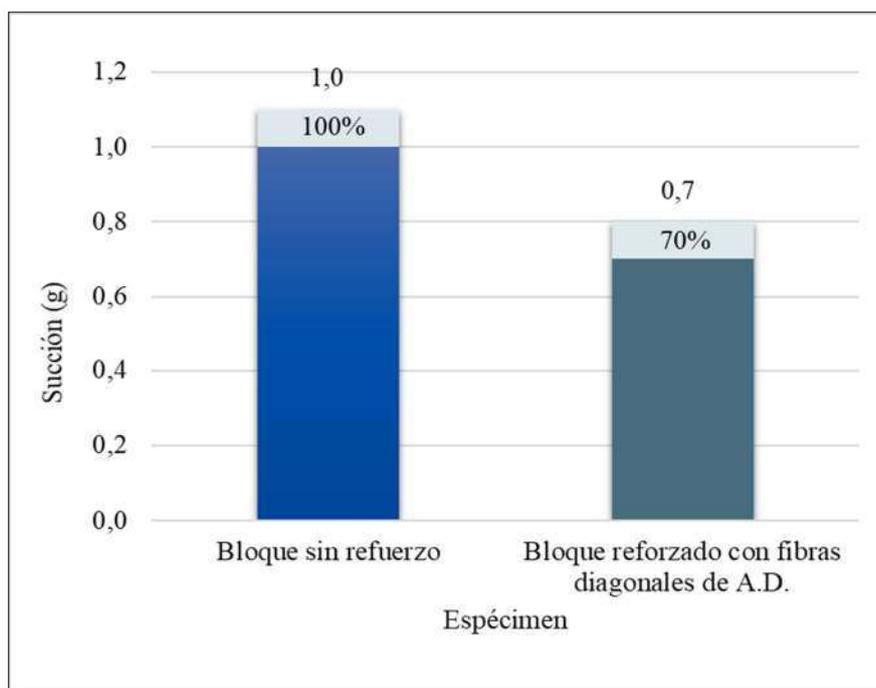


Nota. La succión se realizó en una base de 200 cm² por minuto. Y los porcentajes presentados son la incidencia respecto al mayor valor obtenido de succión. Elaboración propia, 2021.

Con el promedio de los resultados obtenidos y presentados anteriormente (ver figura 114 y 115) se realizó la comparación de la succión entre los especímenes según el tipo de espécimen (ver figura 116).

Figura 116

Comparación de la succión entre especímenes



Nota. Promedio de los especímenes y porcentaje de incidencia respecto a la mayor succión. Elaboración propia, 2021.

En la figura 116 se muestra la succión de cada uno de los especímenes; es decir, la rapidez inicial de absorción con que cuentan los bloques de adobe. En la cual se observa que el espécimen sin refuerzo presenta una succión de 1,0 g, siendo este el espécimen de mayor succión. Mientras que, el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax cuenta con la menor succión igual a 0,7 g; por lo que, este permite que la cara de asiento de la unidad de albañilería en contacto con el agua no presente una succión excesiva. Lo cual significa que el asentado entre el bloque y el mortero presentará uniones adecuadas, de lo contrario se tendrá una adhesión pobre e incompleta y sobre todo muros con uniones de baja resistencia. Por ello, los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax permite que el bloque no le quite agua al mortero al momento del asentado.

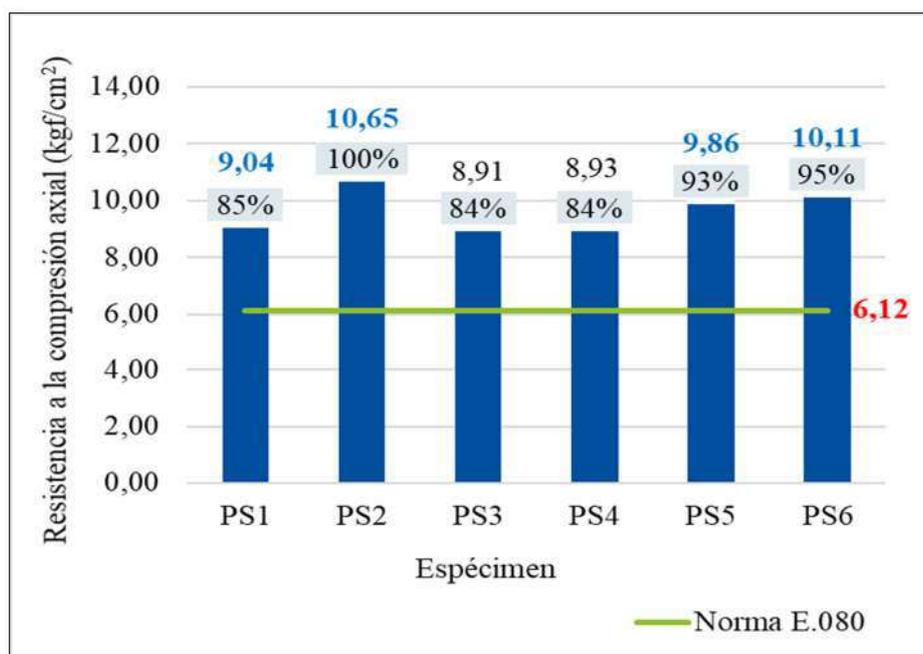
5.3.2.3. Resistencia a la compresión axial

En la presente tesis se planteó el objetivo específico 3 para comparar una de las propiedades mecánicas de los especímenes. Este objetivo específico fue comparar la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

En la figura 117 figuran los resultados de los 6 especímenes propuestos para la resistencia a la compresión de las pilas de bloques de adobe sin refuerzo, resaltando la resistencia última de la Norma E.080.

Figura 117

Resistencia a la compresión axial de pilas sin refuerzo



Nota. Los valores de color azul representan los cuatro mejores valores de la resistencia a la compresión axial de los especímenes; y el valor de color rojo, la resistencia de la Norma E.080. Además, se muestra el porcentaje de incidencia respecto a la mayor resistencia entre los especímenes ensayados. Elaboración propia, 2021.

En la figura 117 se muestra la resistencia a la compresión axial. En la cual, se observa que el espécimen PS1 tiene un valor 9,04 kgf/cm², PS2 un valor de 10,65 kgf/cm², PS3 un valor

de 8,91 kgf/cm², PS4 un valor 8,93 kgf/cm², el PS5 un valor de 9,86 kgf/cm² y el PS6 un valor de 10,11 kgf/cm². El espécimen con mayor resistencia es el PS2 con un valor 10,65 kgf/cm² y el espécimen con menor resistencia es el PS3 con un valor de 8,91 kgf/cm². El promedio de las cuatro mejores tiene un valor 9,92 kgf/cm² cumpliendo con la resistencia última de la Norma E. 080. Esta menciona que la resistencia última a la compresión axial debe ser igual a 6,12 kgf/cm². De igual manera, se puede indicar que cada uno de los especímenes superan este valor.

Lo resultados de los 6 especímenes propuestos para la resistencia a la compresión de las pilas de bloques de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax, resaltando la resistencia última de la Norma E.080, se observan en la figura 118.

Cabe mencionar que, el esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento resultó igual a 4,96 kgf/cm². Este valor se determinó con las ecuaciones según lo indicado en el ítem 8.4 de la Norma E.080.

$$f_m = 0,40 f'_m = 0,40 \times 9,92 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_m = 3,97 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento} = 1,25 f_m = 1,25 \times 3,97 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

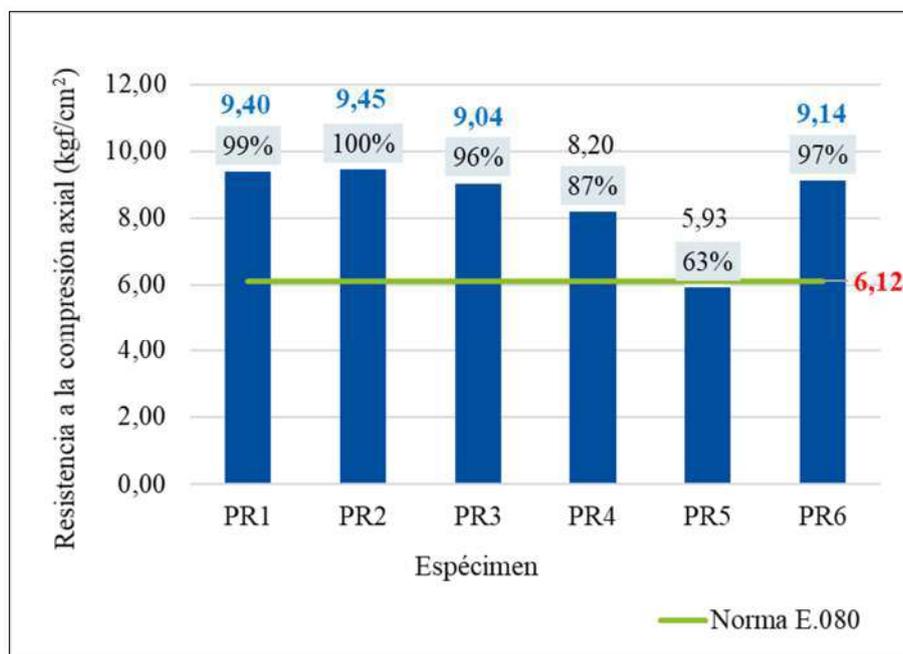
$$\text{Esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento} = 4,96 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Donde:

f'_m : Esfuerzo de compresión admisible (promedio de las cuatro mejores resistencias)

Figura 118

Resistencia a la compresión axial de pilas reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax



Nota. Los valores de color azul representan los cuatro mejores valores de resistencia a la compresión axial de los especímenes; y el valor de color rojo, la resistencia de la Norma E.080. Además, se muestra el porcentaje de incidencia respecto a la mayor resistencia entre los especímenes ensayados. Elaboración propia, 2021.

Se muestra la resistencia a la compresión axial de cada uno de los especímenes en la figura 118. En la cual, se puede apreciar que el espécimen PR1 tiene un valor 9,40 kgf/cm², PR2 un valor de 9,45 kgf/cm², PR3 un valor de 9,04 kgf/cm², PR4 un valor 8,20 kgf/cm², el PR5 un valor de 5,93 kgf/cm² y el PR6 un valor de 9,14 kgf/cm². El espécimen con mayor resistencia es el PR2 con un valor 9,45 kgf/cm² y el espécimen con menor resistencia es el PR5 con un valor de 5,93 kgf/cm². El promedio de las cuatro mejores tiene un valor 9,26 kgf/cm² cumpliendo con la resistencia última de la Norma E. 080. Esta menciona que la resistencia última a la compresión axial debe ser igual a 6,12 kgf/cm². De igual manera, se puede indicar que cada uno de los especímenes superan este valor a excepción del espécimen PR5, pues este presentó una resistencia en un 0,19 kgf/cm² menos que lo se indica en la Norma E.080 esto se estima que se debe a la baja adherencia entre el refuerzo de fibras

diagonales y el material, ya que la falla se presentó en la zona central de la pila, llegándose a exponer las fibras.

Cabe mencionar que, el esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento resultó igual a $4,63 \text{ kgf/cm}^2$. Este valor se determinó con las ecuaciones según lo indicado en el ítem 8.4 de la Norma E.080.

$$f_m = 0,40f'_m = 0,40 \times 9,26 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_m = 3,70 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento} = 1,25f_m = 1,25 \times 3,70 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento} = 4,63 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

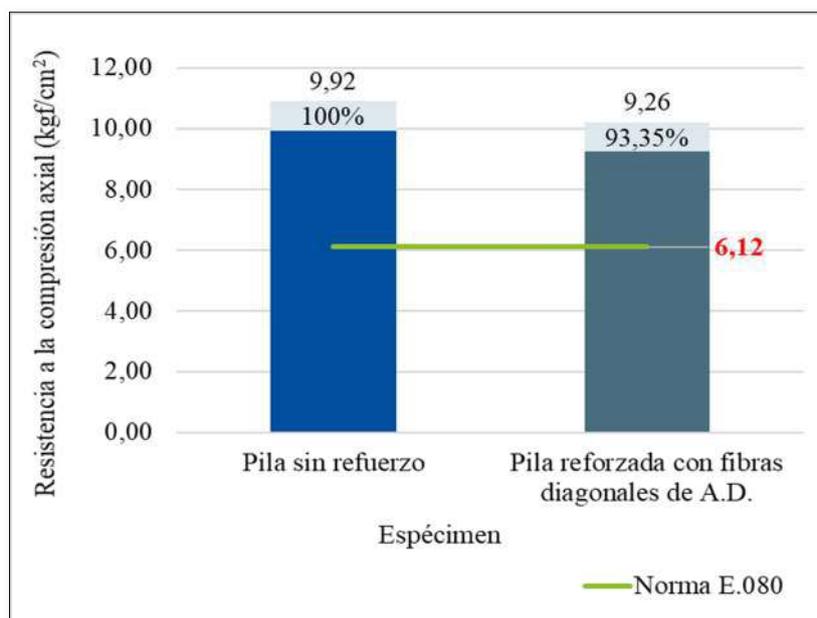
Donde:

f'_m : Esfuerzo de compresión admisible (promedio de las cuatro mejores resistencias)

En la figura 119 se observa la comparación del promedio de las cuatro mejores resistencias de las pilas del bloque sin refuerzo y las pilas del bloque reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax, así como, la comparación con la resistencia última de la Norma E.080.

Figura 119

Comparación de la resistencia a la compresión axial entre especímenes



Nota. Promedio de los especímenes y porcentaje de incidencia respecto a la mayor resistencia. Elaboración propia, 2021.

En la figura 119 se aprecia la comparación de ambos especímenes, en donde se recalca que la pila sin refuerzo tiene un valor de 9,92 kgf/cm² y la pila reforzada con fibras diagonales de Arundo Donax tiene un valor de 9,26 kgf/cm². Ambos superan la resistencia última de la Norma E.80 que indica un valor de 6,12 kgf/cm²; sin embargo, las pilas de bloques de adobe reforzadas con Arundo Donax presentan una menor resistencia a la compresión axial de 0,66 kgf/cm²; en otras palabras, tienen una resistencia menor de 6,65 % que las pilas sin refuerzo.

Se quiere indicar que esta menor resistencia mencionada anteriormente se debe a muchos factores. Uno de ellos, es la construcción de los bloques de adobe, pues los especímenes reforzados con las fibras diagonales tuvieron un proceso distinto en el que no se lanzó la mezcla, sino se colocó por partes usando las manos para compactar que pudieron generar algunos vacíos y no se comporte como un bloque de adobe macizo.

Por otro lado, el ensayo a compresión axial nos permitió saber que las fibras diagonales tuvieron cierta rigidez que, colocadas de manera diagonal y sin ninguna unión perpendicular, se pandearon, ya que trabajaron en compresión. Es decir, estas fibras diagonales reducen la

resistencia a la compresión del muro, deteriorando a los bloques de adobe en la zona de pandeo, como se puede observar en la figura 120.

En futuras investigaciones es importante que las fibras diagonales estén conectadas entre sí, con otras fibras en la parte central (cruces de las diagonales) de manera perpendicular, para evitar de nuevo el mismo comportamiento. Esto va permitir reducir la longitud de pandeo, siendo más difícil que las fibras se pandeen.

Figura 120

Pandeo de las fibras diagonales



Nota. Lo señalado con la flecha de color rojo son los refuerzos de fibras diagonales de Arundo Donax en los bloques de adobe después del ensayo. Archivo fotográfico propio, 2021.

Cabe resaltar que, durante el ensayo se observaron diferentes fallas en las pilas de bloque de adobe. Dentro de las pilas de bloques de adobe sin refuerzo, encontramos que los especímenes PS1, PS2, PS4 y PS6 presentaron un tipo de falla ideal; es decir, presentaron una grieta vertical atravesando la unidad con el mortero, ya que estas son las tracciones laterales que se presentan cuando la unidad genera esfuerzos en dirección transversal, pues restringe deformaciones transversales del mortero (ver figura 121 y 122).

Figura 121*Falla ideal en especímenes PS1 y PS2*

Nota. Especímen de la izquierda es el PS1; y el de la derecha, el PS2. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 122*Falla ideal en especímenes PS4 y PS6*

Nota. Especímen de la izquierda es el PS4; y el de la derecha, el PS6. Archivo fotográfico propio, 2021.

Por otro lado, para el caso de las pilas PS3 y PS5 se presentó una falla por aplastamiento local; es decir, la falla se dio en una zona en específico de la pila. El espécimen PS3 falló desde la parte superior hasta la zona central. Mientras que, para el espécimen PS5 la falla se originó principalmente en la zona superior de la misma (ver figura 123).

Figura 123

Falla por aplastamiento local en espécimen PS3 y PS5



Nota. Especímen de la izquierda es el PS3; y el de la derecha, el PS5. Archivo fotográfico propio, 2021.

Para las pilas de bloques de adobe reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax se presentaron las fallas que se describen a continuación. Los especímenes PR1, PR4 y PR5 presentaron una falla por aplastamiento local, de los cuales el PR1 se encontró localizada desde la zona central hasta la parte inferior de la pila (ver figura 124). Mientras que, el espécimen PR4 presentó la falla en la zona central hasta la zona superior, en la que se observa que la falla ocurrió específicamente en donde se encontraban los refuerzos de fibras diagonales, por el pandeo de las mismas (ver figura 125).

Figura 124*Falla por aplastamiento local en espécimen PR1*

Nota. El aplastamiento local se observa a mayor detalle en la parte inferior de la pila. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 125*Falla por aplastamiento local en espécimen PR4*

Nota. En la figura derecha se observan las grietas verticales en la zona de refuerzo de las fibras de Arundo Donax. Archivo fotográfico propio, 2021.

Por otro lado, el espécimen PR2 presentó una falla ideal con aplastamiento en la parte superior, en la cual se observa que en la cara de menor dimensión la grieta vertical tiene una continuidad por la zona reforzada con fibras diagonales en ambas paralelas, dado al pandeo que estas generaron. Asimismo, la cara de mayor dimensión presenta una grieta vertical en el centro, como se aprecia en la figura 126.

Figura 126

Falla ideal con aplastamiento en la parte superior en pilas PR2

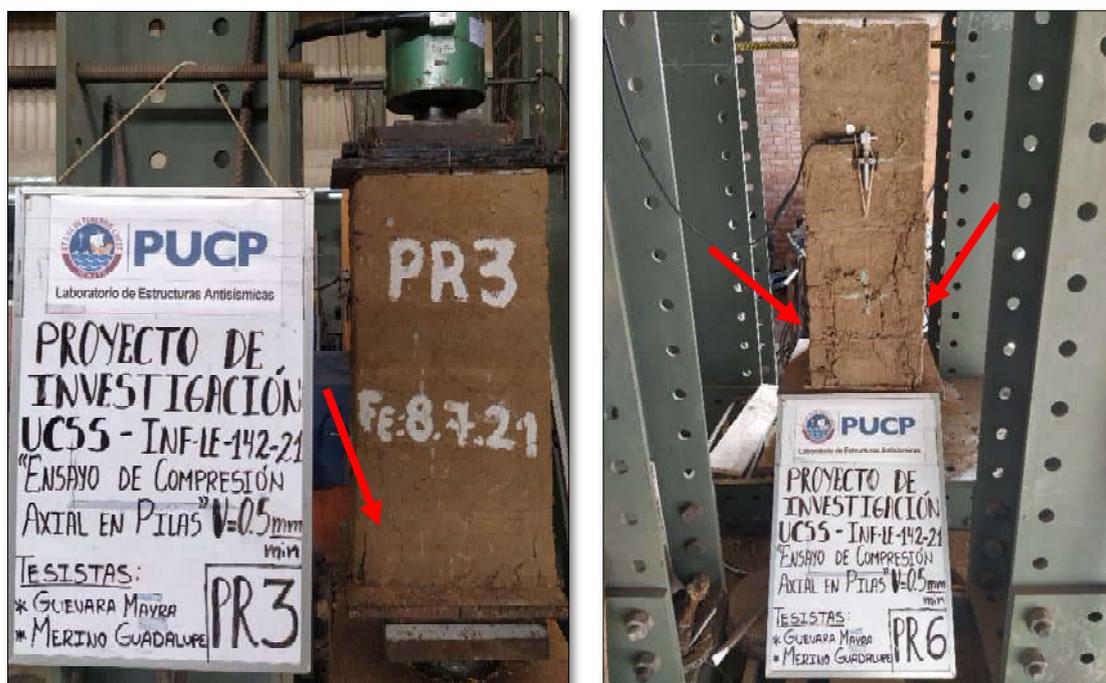


Nota. Las flechas de color rojo señalan las fallas que presentan las pilas reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax. Archivo fotográfico propio, 2021.

En la figura 127 se observa que, la falla presentada para los especímenes PR3 y PR6 fue ideal con aplastamiento local. En el caso del primero el aplastamiento ocurrió en la zona inferior; mientras que, para el segundo se presentó desde la zona central hasta la parte inferior, observándose además en este último que las grietas verticales se dieron en la zona de refuerzo con las fibras diagonales, debido al pandeo originado por las fibras.

Figura 127

Falla ideal con aplastamiento local en el espécimen PR3 y PR6



Nota. Especímen de la izquierda es el PR3; y el de la derecha, el PR6. Archivo fotográfico propio, 2021.

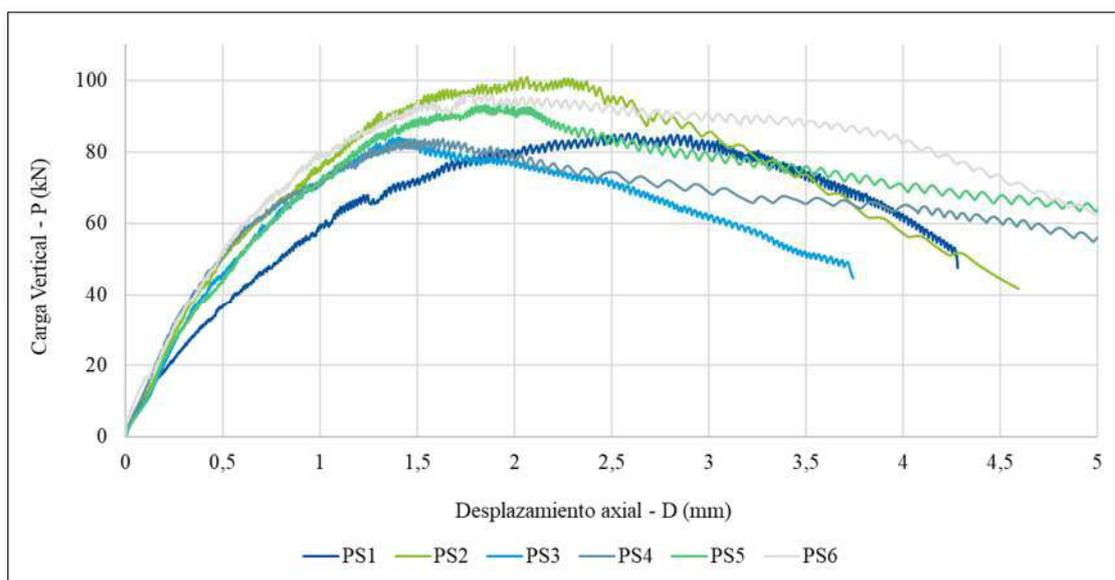
5.3.2.4. Módulo de Elasticidad “Em”

Asimismo, otro de los objetivos es el objetivo específico 4, el cual fue comparar el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

Para ello, en la figura 128 se presentan las gráficas de las cargas verticales y los desplazamientos axiales de cada uno de los 6 especímenes sin refuerzo. Cabe resaltar que, para determinar los módulos se tomó la parte más lineal considerando desde el 20 % hasta el 50 % de la carga máxima aplicada, como se observa en la tabla 17.

Figura 128

Carga vertical y desplazamiento axial de los especímenes sin refuerzo



Nota. La velocidad aplicada fue de 0,5 mm/min. Elaboración propia, 2021.

Tabla 17

Desplazamientos y cargas al 20 % y 50 % de los especímenes sin refuerzo

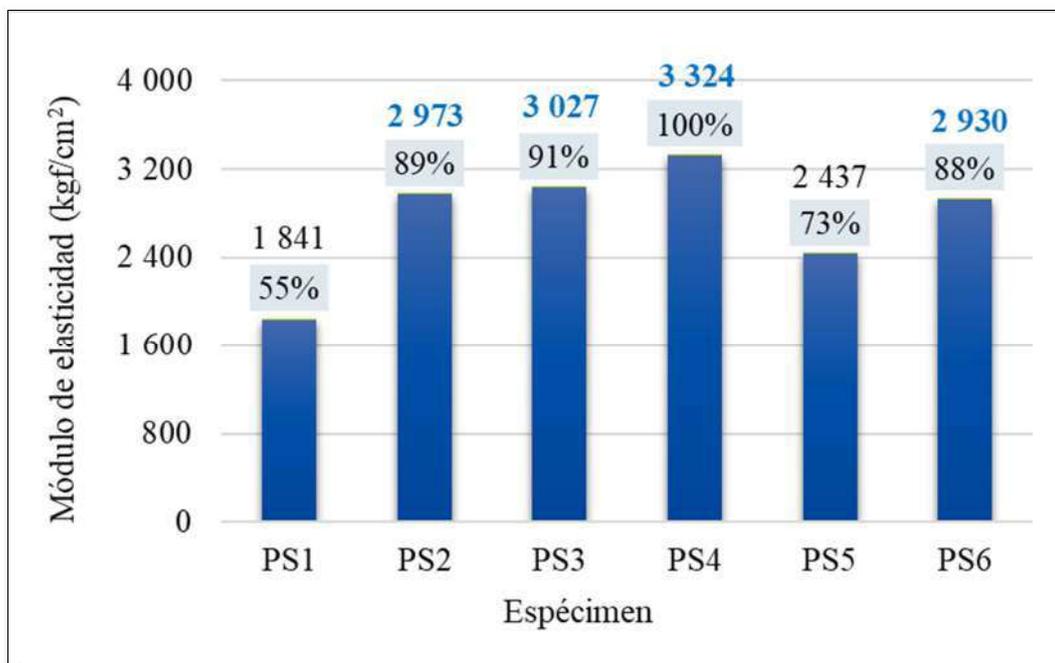
ESPÉCIMEN	CARGA MÁXIMA (kN)	P 20 % (kN)	P 50 % (kN)	D 20 % (mm)	D 50 % (mm)
PS1	85,18	17,04	42,59	0,175	0,617
PS2	100,91	20,18	50,46	0,180	0,503
PS3	84,13	16,83	42,07	0,168	0,433
PS4	83,72	16,74	41,86	0,131	0,372
PS5	93,34	18,67	46,67	0,171	0,535
PS6	96,34	19,27	48,17	0,151	0,461

Nota. La conversión de 1kN es igual a 101.97 kgf. P 20 % y P 50 % se refieren a la carga aplicada al 20 % y 50 % respectivamente de la carga máxima, D 20 % y D 50 % se refieren desplazamientos producidos en ese porcentaje respectivo de carga. Elaboración propia, 2021.

En la figura 129 se observan los resultados de los 6 especímenes construidos y ensayados para el módulo de elasticidad de las pilas de bloques de adobe sin refuerzo.

Figura 129

Comparación del módulo de elasticidad de pilas sin refuerzo



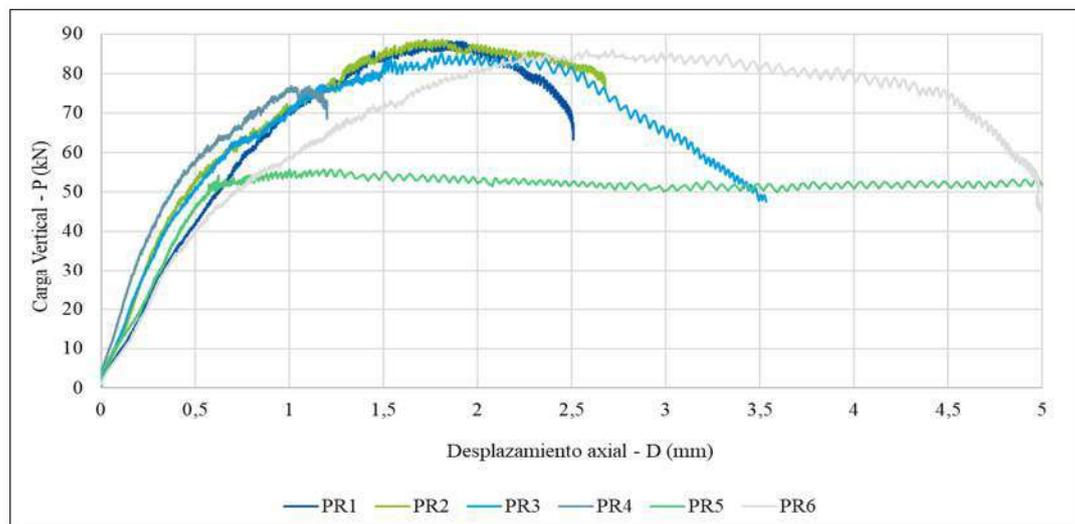
Nota. Los valores presentados en color azul representan mayor valor de módulo de elasticidad; y los porcentajes, la incidencia respecto al módulo de mayor valor. Elaboración propia, 2021.

En la figura 129 se puede observar que el espécimen PS1 tiene un valor 1 841 kgf/cm², PS2 un valor de 2 973 kgf/cm², PS3 un valor de 3 027 kgf/cm², PS4 un valor 3 324 kgf/cm², el PS5 un valor de 2 437 kgf/cm² y el PS6 un valor de 2 930 kgf/cm². El espécimen con mayor módulo de elasticidad es el PS4 igual a 3 324 kgf/cm² y el espécimen con menor módulo de elasticidad es el PS1 con un valor de 1 841 kgf/cm². El promedio de los cuatro mejores es igual a 3 063,65 kgf/cm², el cual indica la relación del esfuerzo con la deformación del espécimen.

Por otro lado, en la figura 130 se presentan las gráficas de las cargas verticales y los desplazamientos axiales de los 6 especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax, donde se tomó la parte más lineal desde el 20 % hasta el 50 % de la carga máxima aplicada, como se observa en la tabla 18.

Figura 130

Carga vertical y desplazamiento axial de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax



Nota. La velocidad aplicada fue de 0,5 mm/min. Elaboración propia, 2021.

Tabla 18

Desplazamientos y cargas al 20 % y 50 % de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax

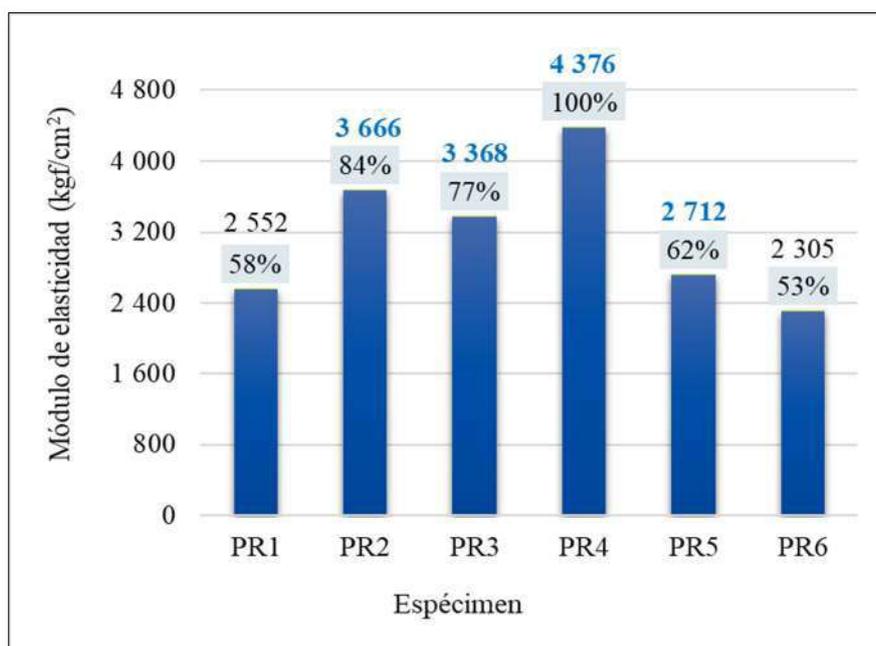
ESPÉCIMEN	CARGA MÁXIMA (kN)	P 20 % (kN)	P 50 % (kN)	D 20 % (mm)	D 50 % (mm)
PR1	88,465	17,693	44,232	0,206	0,537
PR2	88,673	17,735	44,336	0,147	0,378
PR3	85,133	17,027	42,567	0,133	0,374
PR4	76,859	15,372	38,429	0,081	0,250
PR5	55,720	11,144	27,860	0,092	0,289
PR6	85,998	17,200	42,999	0,206	0,563

Nota. P 20 % y P 50 % se refieren a la carga aplicada al 20 % y 50 % respectivamente de la carga máxima, D 20 % y D 50 % se refieren desplazamientos producidos en ese porcentaje respectivo de carga. Elaboración propia, 2021.

En la figura 131 se observan los resultados de los 6 especímenes construidos y ensayados para el módulo de elasticidad de las pilas de bloques de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax.

Figura 131

Comparación del módulo de elasticidad de pilas reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax



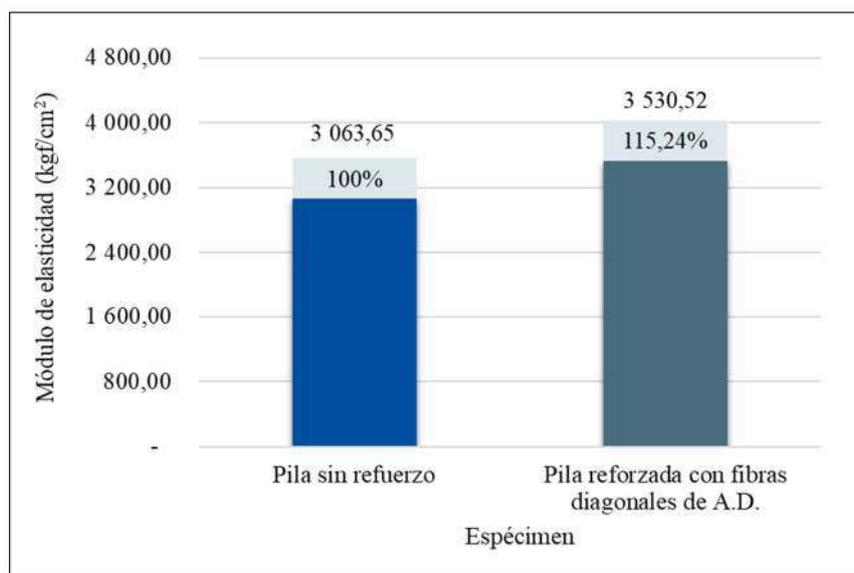
Nota. Los valores presentados en color azul representan mayor módulo de elasticidad; y los porcentajes, la incidencia respecto al módulo de mayor valor. Elaboración propia, 2021.

En la figura 131 se muestra el módulo de elasticidad de cada uno de los especímenes. En la cual, se puede observar que el espécimen PR1 tiene un valor 2 552 kgf/cm², PR2 un valor de 3 666 kgf/cm², PR3 un valor de 3 368 kgf/cm², PR4 un valor 4 376 kgf/cm², el PR5 un valor de 2 712 kgf/cm² y el PR6 un valor de 2 305 kgf/cm². El espécimen con mayor módulo de elasticidad es el PR4 con un valor 4 376 kgf/cm² y el espécimen con menor módulo de elasticidad es el PR6 con un valor de 2 305 kgf/cm². El promedio de los cuatro mejores es igual a 3 530,52 kgf/cm², el cual indica la relación del esfuerzo con la deformación del espécimen.

La comparación del promedio de los cuatro módulos con mayor valor de las pilas del bloque sin refuerzo y las pilas del bloque reforzadas con fibras de Arundo Donax se aprecia en la figura 132.

Figura 132

Comparación del módulo de elasticidad entre especímenes



Nota. Promedio de los especímenes y porcentaje de incidencia respecto al menor módulo de elasticidad. Elaboración propia, 2021.

En la figura 132 se aprecia la comparación de ambos especímenes, en donde se recalca que el promedio de las pilas sin refuerzo tiene un valor de 3 063,65 kgf/cm² y la pila reforzada con fibras diagonales de Arundo Donax igual a 3 530,52 kgf/cm², presentando un mayor módulo de elasticidad de 466,88 kgf/cm²; en otras palabras, 15,24 % más que las pilas sin refuerzo. Esto quiere decir, que presenta una mayor relación del esfuerzo con la deformación de las pilas de bloque de adobe reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax, en otras palabras, este espécimen es un elemento más rígido, ya que al aplicársele esfuerzos externos no tenderá a una gran deformación.

5.3.2.5. Resistencia a la compresión diagonal

Se planteó el objetivo específico 5 con la finalidad de comparar una de las propiedades mecánicas de los especímenes. Este objetivo específico fue comparar la resistencia a la

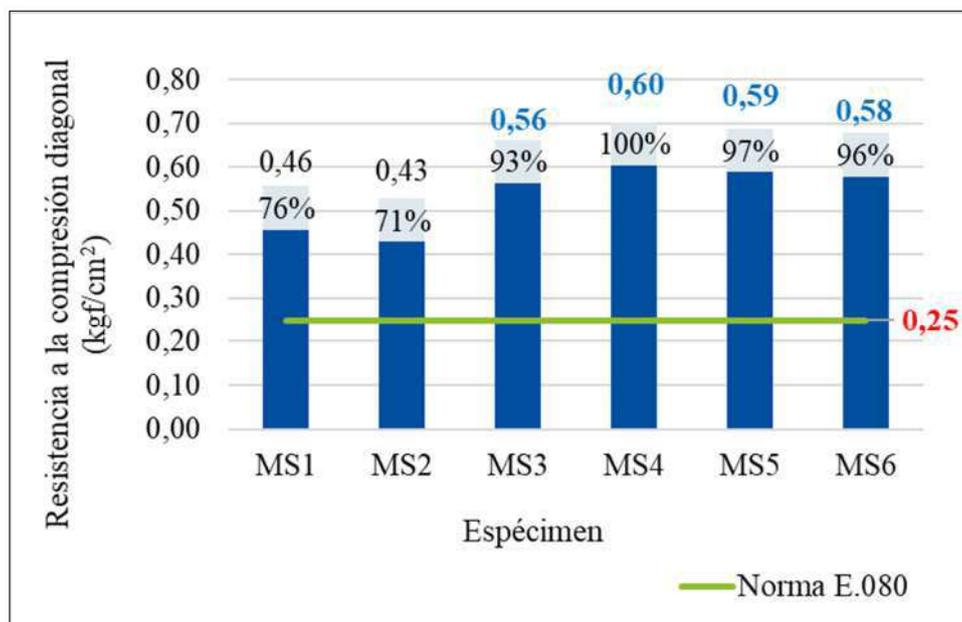
compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo.

Para cumplir con el objetivo específico señalado anteriormente se construyeron y ensayaron 12 especímenes. De los cuales 6 de estos fueron muretes de bloques de adobe sin refuerzo; y los otros 6, muretes de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax.

Los resultados de la resistencia a compresión diagonal de los 6 especímenes de muretes sin refuerzo ensayados (ver figura 133). En esta se observa que el espécimen MS4 presentó la mayor resistencia igual a $0,60 \text{ kgf/cm}^2$. Mientras que, el espécimen MS2 presentó la menor resistencia con un valor de $0,43 \text{ kgf/cm}^2$. Asimismo, se muestra que todos los especímenes ensayados cumplen y sobrepasan la resistencia última que se señala la Norma E.080, cuyo valor es igual $0,25 \text{ kgf/cm}^2$.

Figura 133

Resistencia a la compresión diagonal de muretes sin refuerzo



Nota. Los valores de color azul representan los cuatro mejores valores de resistencia a la compresión diagonal de los especímenes; y el valor de color rojo, la resistencia establecida en la Norma E.080. Además, se muestra el porcentaje de incidencia respecto a la mayor resistencia entre los especímenes ensayados. Elaboración propia, 2021.

Cabe resaltar que, el esfuerzo admisible de corte resultó igual a $0,23 \text{ kgf/cm}^2$. Este valor se determinó con la ecuación indicada en el ítem 8.5 de la Norma E.080.

$$v_m = 0,4f'_t = 0,4 \times 0,58 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 0,23 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

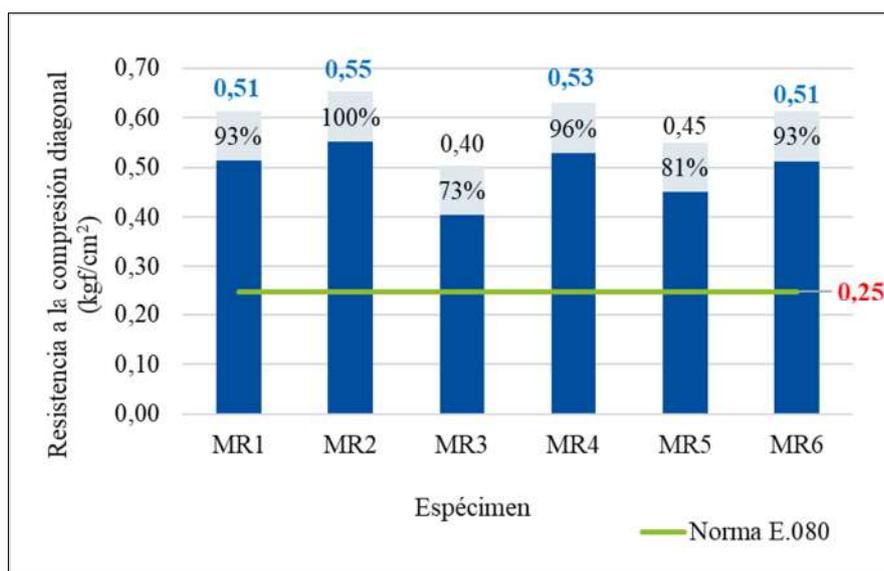
Donde:

f'_t : Esfuerzo a compresión diagonal (promedio de las cuatro mejores)

Por otro lado, en la figura 134, se muestran los resultados obtenidos del ensayo a la resistencia a compresión diagonal de los 6 especímenes de muretes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax. Se puede observar que el espécimen MR2 presenta la mayor resistencia con un valor igual a $0,55 \text{ kgf/cm}^2$; mientras que el espécimen que presenta la menor resistencia es el MR3 igual a $0,40 \text{ kgf/cm}^2$. Además, la resistencia de todos ellos sobrepasa el valor de la resistencia última que hace referencia la Norma E.080 igual a $0,25 \text{ kgf/cm}^2$. Cumpliendo de esta manera estos especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax con lo establecido en la norma.

Figura 134

Resistencia a la compresión diagonal de muretes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax



Nota. Los valores de color azul representan los cuatro mejores valores de resistencia a la compresión diagonal de los especímenes; y el valor de color rojo, la resistencia

establecida en la Norma E.080. Además, se muestra el porcentaje de incidencia respecto a la mayor resistencia entre los especímenes ensayados. Elaboración propia, 2021.

Cabe resaltar que, el esfuerzo admisible de corte resultó igual a $0,21 \text{ kgf/cm}^2$. Este valor se determinó con la ecuación indicada en el ítem 8.5 de la Norma E.080.

$$v_m = 0,4f'_t = 0,4 \times 0,53 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$v_m = 0,21 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

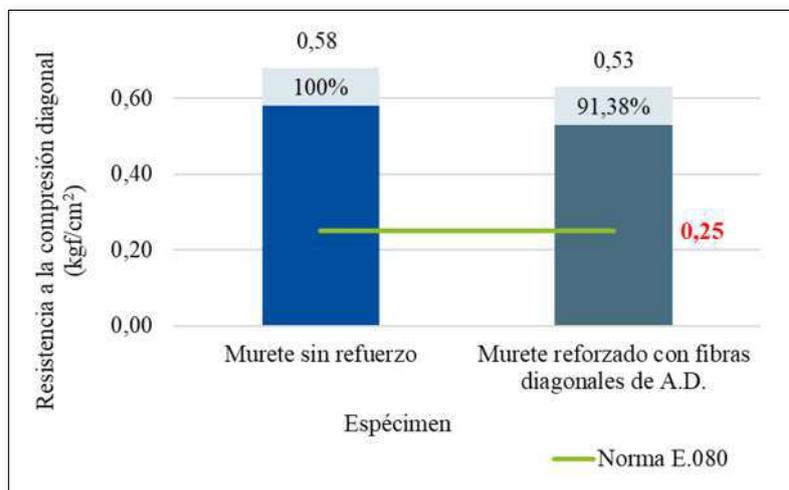
Donde:

f'_t : Esfuerzo a compresión diagonal (promedio de las cuatro mejores)

Con el promedio de los cuatro mejores resultados presentados en la figura 133 y 134, se muestra la comparación de la resistencia a compresión diagonal entre los muretes de bloques de adobe sin refuerzos y los muretes de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax (Ver figura 135).

Figura 135

Resistencia a la compresión diagonal entre especímenes



Nota. Promedio de los especímenes y porcentaje de incidencia respecto a la mayor resistencia. Elaboración propia, 2021.

Se logra observar que el promedio de las cuatro mejores resistencias de los muretes de bloques de adobe sin refuerzo es igual a $0,58 \text{ kgf/cm}^2$; mientras que, los muretes de bloques

de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax tiene un valor de 0,53 kgf/cm². Superando ambos la resistencia última que es de 0,25 kgf/cm² como se indica en la Norma E.080; sin embargo, los muretes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax presentan una menor resistencia igual a 0,05 kgf/cm². Por lo cual, tienen una resistencia en un 8,62 % menos que los muretes sin refuerzo (ver figura 135).

La diferencia de resistencia mencionada anteriormente, para el caso de los muretes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax, se deduce que fue por varios factores; como la adherencia entre la mezcla del adobe y las fibras diagonales de Arundo Donax colocadas. Pues para la construcción de los bloques, debido a las trenzas, no se tiraba de golpe la mezcla; sino que, se colocaba con las manos y se la acuñaba en toda la adobera. Sin embargo, esto pudo ocasionar que se formaran vacíos y no se tenga una buena compactación; asimismo, se debió colocar un amarre o unión perpendicular a las fibras diagonales, para que las una y no trabajen independientemente. Sin embargo, se pudo observar que el refuerzo de los bloques de adobes con las fibras diagonales de Arundo Donax permitieron que las unidades no se desmoronen inmediatamente puesto que la mayoría de las fibras quedaron unidas al bloque. Por lo que, es un buen aporte para las construcciones de las viviendas de adobe; ya que, en caso de sismos permitirá que los pobladores tengan más tiempo para evacuar (ver figura 136).

Figura 136

Fibras unidas a la unidad del bloque de adobe después de ensayo



Nota. Después de la aplicación de la carga máxima se presencié la mayoría de fibras diagonales intactas. Archivo fotográfico propio, 2021.

Por otro lado, la adherencia entre el mortero y la unidad de albañilería afectó la resistencia a compresión diagonal de los muretes, puesto que la mayoría de los especímenes presentaron fallas escalonadas; pues la falla ocurrió a través de las juntas de mortero como se detallará a continuación.

De los especímenes ensayados de los muretes de bloques de adobe sin refuerzo el MS1 y MS2 presentaron una falla mixta (ver figura 137 y 138); es decir, escalonada a través de las juntas desde la segunda hilada hasta la cuarta hilada del murete y de tracción diagonal, cortando tanto a las unidades de albañilería como al mortero.

Figura 137

Falla mixta en espécimen MS1



Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 138*Falla mixta en espécimen MS2*

Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

Para el caso de los especímenes MS3 y MS6 presentaron fallas por tracción diagonal, pues se cortaron tanto los bloques de adobe como la junta de mortero, como se puede observar en la figura 139.

Figura 139*Falla por tracción diagonal en el espécimen MS3*

Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

Por otro lado, para el espécimen MS4 se presentaron dos tipos de fallas; es decir, como se observa en la figura 140, se produjo en la zona central una falla por tracción diagonal y en el lado izquierdo una falla mixta.

Figura 140

Falla por tracción diagonal y mixta en espécimen MS4



Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

En el espécimen MS5 se presentó una falla por tracción diagonal, cortando al bloque de adobe como al mortero en la mayor parte del espécimen; sin embargo, se presentó falla en el mortero en la zona central en una unidad de adobe (ver figura 141).

Figura 141

Falla por tracción diagonal en espécimen MS5



Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

Por otro lado, las fallas que se presentaron para los especímenes ensayados de los muretes de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax fueron fallas mixtas para los especímenes MR1, MR2, MR3, de los cuales se observa en la figura 142, 143 y 144 que la falla escalonada a través de las juntas se presenta en la segunda y tercera hilada del murete; mientras que el corte tanto a los bloques como al mortero (falla por tracción diagonal) en el resto de hiladas.

Figura 142

Falla mixta en espécimen MR1



Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 143*Falla mixta en espécimen MR2*

Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

Figura 144*Falla mixta en espécimen MR3*

Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

Por otro lado, como se muestra en la figura 145, para el espécimen MR4 se presenta una falla por tracción diagonal en casi todo el murete, pues en una unidad de bloque de adobe se

presentó fisuras en el mortero. Por ello, es importante buscar otras alternativas para mejorar la adherencia entre el mortero y la unidad de albañilería.

Figura 145

Falla por tracción diagonal en espécimen MR4



Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

Asimismo, para el espécimen MR5 también se produce una falla mixta con una presencia de falla escalonada desde la segunda hilada hasta la cuarta y falla por tracción diagonal la primera, quinta y sexta hilada cortando en estas tanto al bloque de adobe como al mortero.

Figura 146

Falla mixta en espécimen MR5



Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

Por último, en el espécimen MR6 presentó una falla por tracción diagonal en la zona central del murete y fallas mixtas en los extremos que cortaron tanto al bloque como al mortero (ver figura 147).

Figura 147

Falla por tracción diagonal en espécimen MR6



Nota. Carga aplicada al espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min. Archivo fotográfico propio, 2021.

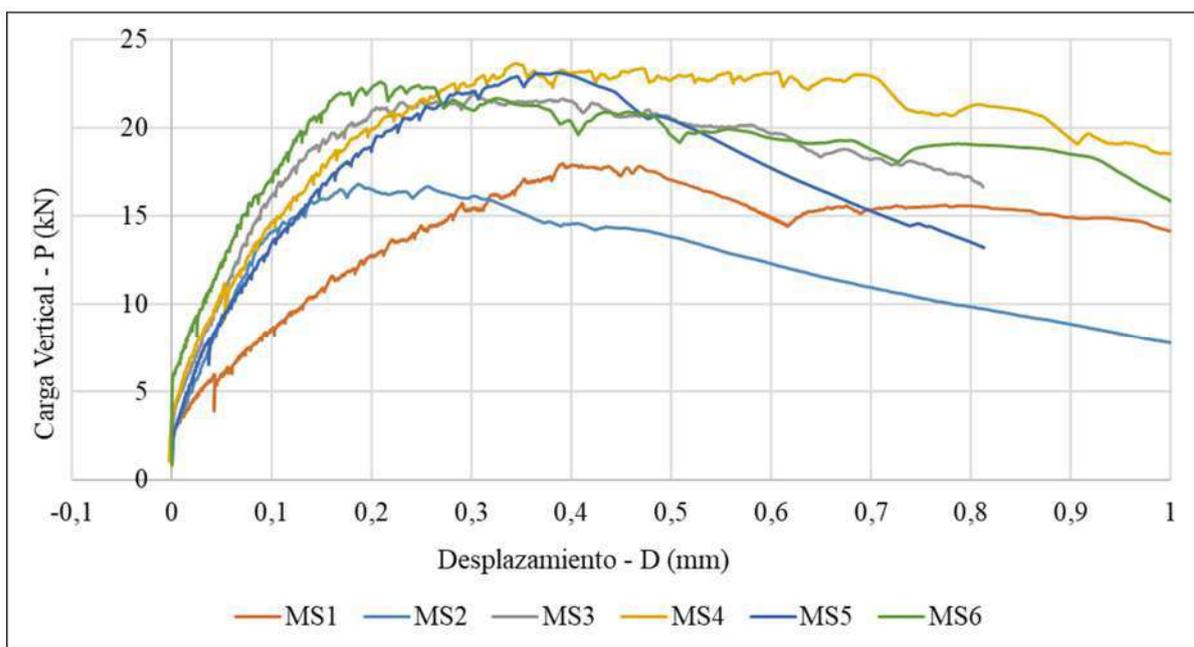
5.3.2.6. Módulo de corte “Gm”

El objetivo específico 6 planteado fue comparar el módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo.

Para cumplir con este objetivo específico se colocaron instrumentos LVDT a los 12 especímenes de muretes en el ensayo de resistencia a compresión diagonal. Los cuales permitieron registrar los desplazamientos tanto vertical como horizontal junto con la carga aplicada, tomando la parte más lineal del 20 % al 50 % de la carga máxima. Esto se aprecia en la figura 148 y 149 y en la tabla 19.

Figura 148

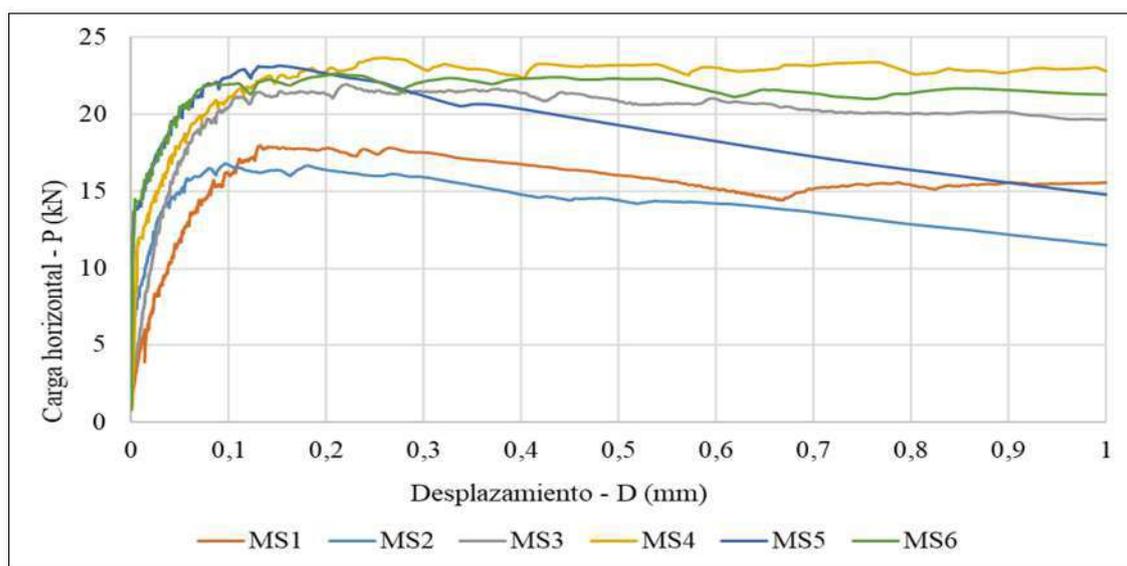
Carga vertical y desplazamiento de los especímenes sin refuerzo



Nota. La velocidad aplicada fue de 0,5 mm/min. Elaboración propia, 2021.

Figura 149

Carga horizontal y desplazamiento de los especímenes sin refuerzo



Nota. La velocidad aplicada fue de 0,5 mm/min. Elaboración propia, 2021.

Tabla 19

Desplazamientos y cargas al 20 % y 50 % de los especímenes sin refuerzo

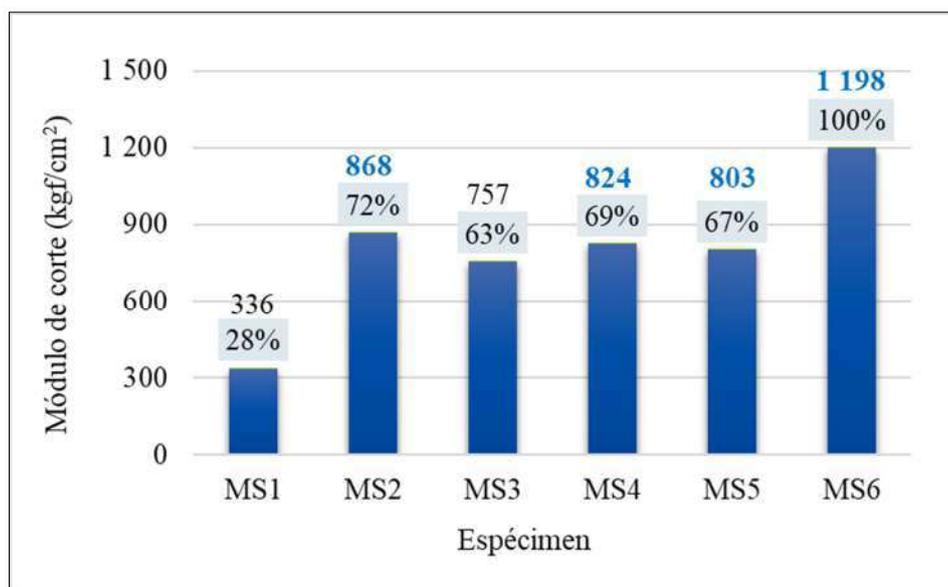
ESPÉCIMEN	CARGA MÁXIMA (kN)	P 20 % (kN)	P 50 % (kN)	DESPLAZAMIENTO ASOCIADO A LVDT - VERTICAL		DESPLAZAMIENTO ASOCIADO A LVDT - HORIZONTAL	
				D 20 % (mm)	D 50 % (mm)	D 20 % (mm)	D 50 % (mm)
MS1	17,976	3,595	8,988	0,0121	0,1095	0,0061	0,0306
MS2	16,806	3,361	8,403	0,0075	0,0451	0,0016	0,0085
MS3	21,926	4,385	10,963	0,0049	0,0543	0,0055	0,0229
MS4	23,645	4,729	11,823	0,0060	0,0675	0,0028	0,0072
MS5	23,131	4,626	11,565	0,0129	0,0773	0,0003	0,0018
MS6	22,610	4,522	11,305	0,0000	0,0418	0,0418	0,0005

Nota. P 20 % y P 50 % se refieren a la carga aplicada al 20 % y 50 % respectivamente de la carga máxima, D 20 % y D 50 % se refieren desplazamientos producidos en ese porcentaje respectivo de carga. Elaboración propia, 2021.

En la figura 150 se puede observar el módulo de corte para los 6 especímenes de muretes de bloques de adobe sin refuerzo; de cual, el espécimen MS6 presenta el módulo de corte mayor con un valor igual a 1 198 kgf/cm² y MS1 tiene el menor módulo de corte igual a 336 kgf/cm².

Figura 150

Módulo de corte de los 6 especímenes de muretes sin refuerzo

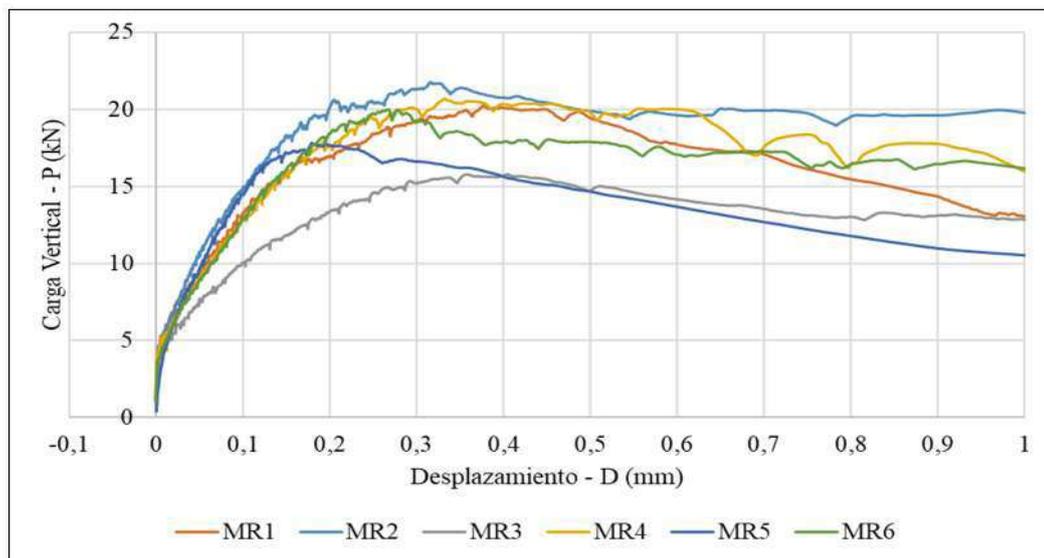


Nota. Los valores presentados en color azul representan mayor valor del módulo de corte; y los porcentajes, la incidencia respecto al módulo de corte de mayor valor. Elaboración propia, 2021.

Por otra parte, en las figuras 151 y 152 se presentan las gráficas de cargas y desplazamientos de los 6 especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax, teniendo en cuenta la parte más lineal de esta. La cual comprende del 20 % al 50 % de la carga máxima aplicada como se aprecia en la tabla 20.

Figura 151

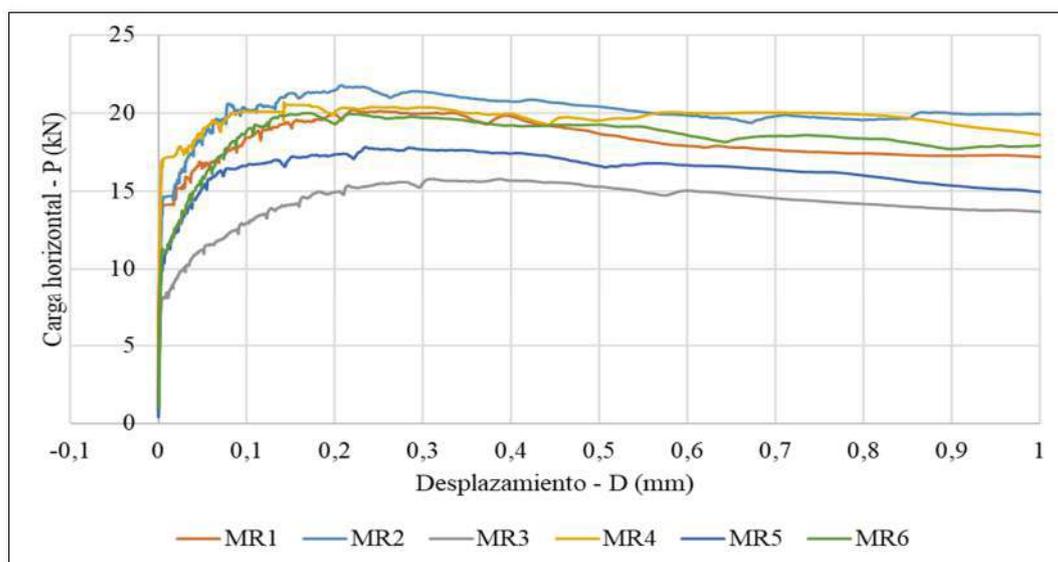
Carga vertical y desplazamiento de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax



Nota. La velocidad aplicada fue de 0,5 mm/min. Elaboración propia, 2021.

Figura 152

Carga horizontal y desplazamiento de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax



Nota. La velocidad aplicada fue de 0,5 mm/min. Elaboración propia, 2021.

Tabla 20

Desplazamientos y cargas al 20 % y 50 % de los especímenes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax

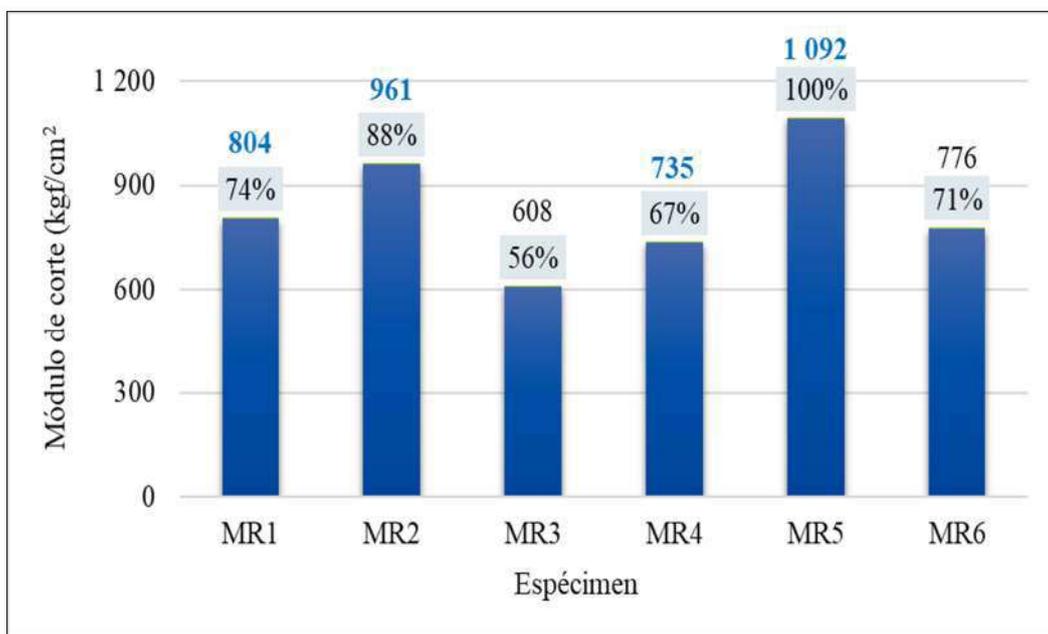
ESPÉCIMEN	CARGA MÁXIMA (kN)	P 20 % (kN)	P 50 % (kN)	DESPLAZAMIENTO ASOCIADO A LVDT - VERTICAL		DESPLAZAMIENTO ASOCIADO A LVDT - HORIZONTAL	
				D 20 % (mm)	D 50 % (mm)	D 20% (mm)	D 50% (mm)
MR1	20,228	4,046	10,114	0,00354	0,06007	0,00024	0,00116
MR2	21,770	4,354	10,885	0,00212	0,05209	0,00083	0,00257
MR3	15,787	3,157	7,893	0,00057	0,05729	0,00058	0,00361
MR4	20,694	4,139	10,347	0,00173	0,06554	0,00043	0,00142
MR5	17,830	3,566	8,915	0,00682	0,04228	0,00083	0,00243
MR6	19,997	3,999	9,999	0,00474	0,06242	0,00123	0,00297

Nota. P 20 % y P 50 % se refieren a la carga aplicada al 20 % y 50 % respectivamente de la carga máxima, D 20 % y D 50 % se refieren desplazamientos producidos en ese porcentaje respectivo de carga. Elaboración propia, 2021.

Por otro lado, en la figura 153 se encuentra el módulo de corte para los 6 especímenes de muretes de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax; de estos el espécimen MR5 presenta el módulo de corte mayor con un valor igual a 1 092 kgf/cm² y MR3 tiene el menor módulo de corte igual a 608 kgf/cm².

Figura 153

Módulo de corte de los 6 especímenes de muretes reforzados con fibras diagonales

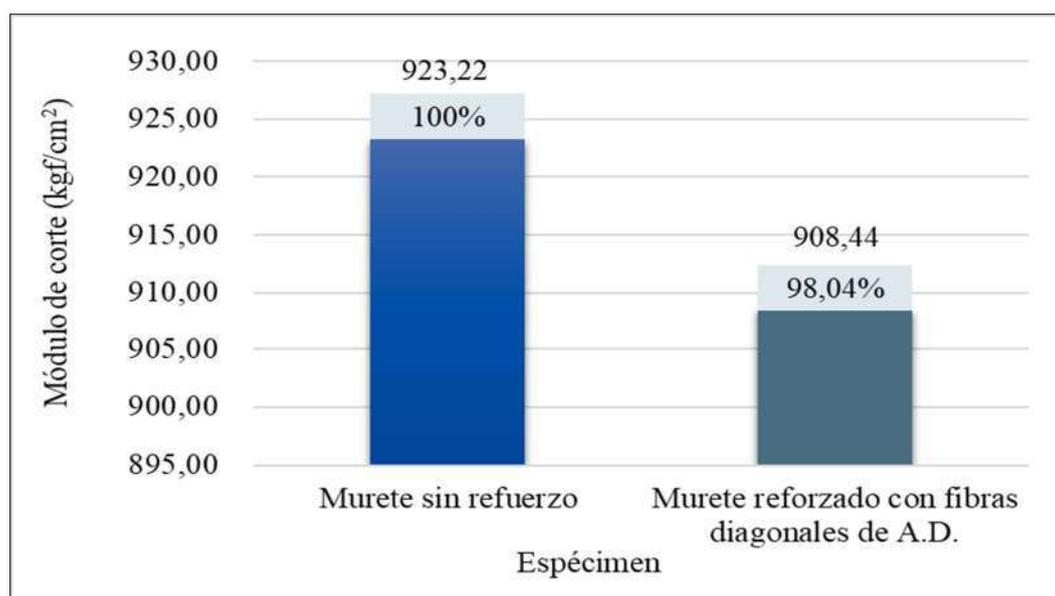


Nota. Los valores presentados en color azul representan mayor valor del módulo de corte; y los porcentajes, la incidencia respecto al módulo de corte de mayor valor. Elaboración propia, 2021.

En la figura 154 se presentan la comparación entre el promedio de los 4 mejores valores del módulo de corte según el tipo de espécimen. Para los muretes de bloques de adobe sin refuerzo se obtuvo un promedio igual a 923,22 kgf/cm²; mientras que, para los muretes reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax, un valor promedio de 908,44 kgf/cm² presentando estos una diferencia de 14,79 kgf/cm². De esta manera los especímenes reforzados tienen un 1,60 % menos que los de sin refuerzo. Es decir, que respecto a la relación entre el esfuerzo aplicado a los muretes y la deformación es menor; por lo que, este espécimen tiene una menor rigidez.

Figura 154

Comparación del módulo de corte entre especímenes



Nota. Promedio de los especímenes y porcentaje de incidencia respecto al mayor módulo de corte. Elaboración propia, 2021.

5.3.3. Resultado del costo de fabricación de los especímenes

En nuestro trabajo se planteó el siguiente objetivo específico 7 con la finalidad comparar el costo de fabricación de cada uno de los especímenes. El cual fue comparar el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.

Para cumplir con este objetivo específico se realizó un análisis del costo de fabricación de cada uno de los bloques de adobe, tomando en cuenta la mano de obra, los materiales y herramientas que se requerían para la construcción de cada espécimen.

La tabla 21 presenta el análisis de precios unitarios del bloque sin refuerzo, teniendo en cuenta el rendimiento de 135 Und./día calculado en campo al momento de construir cada bloque de adobe, cuadrilla de la mano de obra, cantidad de materiales; tales como, tierra, agua y paja; y el porcentaje de las herramientas manuales; así como, precios de cada uno de los recursos.

Tabla 21*Análisis de precios unitarios del bloque de adobe sin refuerzo*

Partida	01.01	BLOQUE DE ADOBE SIN REFUERZO DE 37 cm x 25 cm x 12 cm					
Rendimiento	Und./día	MO. 135,00	EQ. 135,00		Costo unitario directo por: Und.	1,000	
Código	Descripción recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/	
Mano de obra							
010101003	Operario	hh	1,0000	0,059259	9,000	0,533	0,533
Materiales							
0207050001	Tierra	m ³		0,012844	21,600	0,277	
02090130021	Agua	m ³		0,001284	2,400	0,003	
020705003	Paja	m ³		0,002569	62,000	0,159	0,440
Equipos							
0301010006	Herramientas manuales	% MO		5.0000	0,533	0,027	0,027

Nota. Los precios son de acuerdo lo realizado en campo. Elaboración propia, 2021.

La tabla 22 presenta el análisis de precios unitarios del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax, teniendo en cuenta el rendimiento de 110 Und. /día calculado en campo al momento de su construcción, cuadrilla de la mano de obra, cantidad de materiales; tales como, tierra, agua, paja y fibras diagonales; y el porcentaje de las herramientas manuales; así como, precios de cada uno de los recursos.

Tabla 22

Análisis de precios unitarios del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax

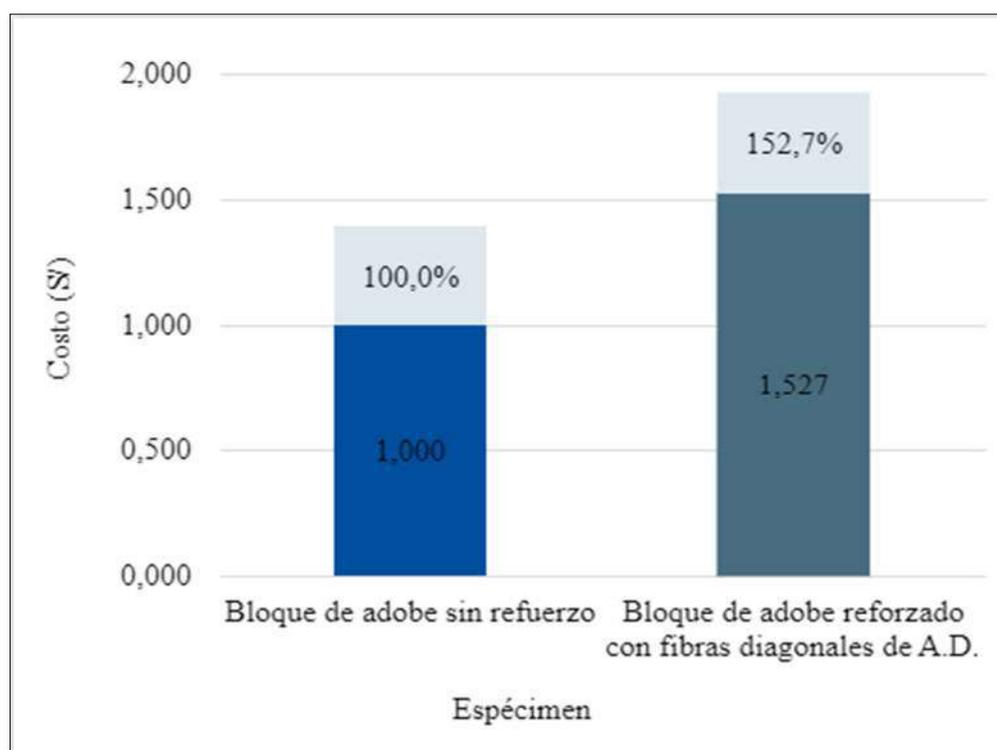
Partida	01.01	BLOQUE DE ADOBE REFORZADO CON FIBRAS DIAGONALES DE 37 cm x 25 cm x 12 cm					
Rendimiento	Und./día	MO.	110,00	EQ.	110,00	Costo unitario directo por: Und.	1,527
Código	Descripción recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de obra							
010101003	Operario		hh	1,0000	0,072727	9,000	0,655
							0,655
Materiales							
0207050001	Tierra		m ³		0,012844	21,600	0,277
02090130021	Agua		m ³		0,001284	2,400	0,003
020705003	Paja		m ³		0,002569	62,000	0,159
0207050004	Fibras diagonales de Arundo Donax		Und.		4,000000	0,100	0,400
							0,840
Equipos							
0301010006	Herramientas manuales		% MO		5,0000	0,655	0,033
							0,033

Nota. Los precios son de acuerdo lo realizado en campo. Elaboración propia, 2021.

Por otro lado, en la figura 155 se muestra el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo y del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax. El primero tiene un valor igual a S/ 1,000; mientras que, el segundo tiene un costo igual a S/ 1,527. La diferencia entre ambos es igual a S/ 0,527; en otras palabras, el costo del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax tiene un 52,7 % más que el costo del bloque sin refuerzo. El aumento de este precio se debe al refuerzo de las fibras; pues, generan un costo adicional por la obtención del recurso. Asimismo, el rendimiento es menor en comparación que los bloques tradicionales, pues al colocar cada una de las fibras en posición diagonal y después la mezcla de barro requiere un tiempo adicional que genera una menor cantidad de construcción de bloques por día. Cabe mencionar que, si se desea construir un metro cuadrado de muro de adobe se requiere 24 unidades de bloques.

Figura 155

Comparación del módulo de corte entre especímenes



Nota. Se muestra el porcentaje de incidencia respecto al menor costo de fabricación del bloque de adobe. Elaboración propia, 2021.

5.4. Comprobación de hipótesis y descripción del estadístico empleado

A continuación, se desarrollarán los cálculos estadísticos para determinar si la hipótesis alterna o la hipótesis nula son falsas o verdaderas del presente trabajo de investigación.

5.4.1. Comprobación de la hipótesis general

Para la validación de la hipótesis general se tuvo en cuenta el siguiente objetivo:

OG: Comparar las propiedades y el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Alterna Ha: El bloque de adobe reforzado con Arundo Donax presentará mejores propiedades y costo de fabricación que el bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula Ho: El bloque de adobe reforzado con Arundo Donax no presentará mejores propiedades y costo de fabricación que el bloque de adobe sin refuerzo.

Para la comprobación de la hipótesis general, se tuvo en cuenta cada una de las hipótesis específicas planteadas. Estas permitieron determinar las propiedades físicas y mecánicas; así como, el costo de fabricación de los especímenes planteados. Comparando los resultados entre estos teniendo en cuenta los valores indicados en la Norma E.080 dependiendo la propiedad a medir. Con ello se obtuvo que la hipótesis general nula se acepta; puesto que la mayoría de las propiedades evaluadas resultaron mejor para el bloque de adobe sin refuerzo; así como el costo de fabricación fue más económico para este tipo de especímenes, como se detalla en la tabla 39.

5.4.2. Comprobación de la hipótesis específica 01

Para la validación de la hipótesis específica 01 se tuvo en cuenta el siguiente objetivo específico:

OE-1: Comparar la resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe con la resistencia que establece la Norma E.080.

La hipótesis específica 01 consta de la siguiente hipótesis alterna y nula correspondiente:

Hipótesis Alterna Ha: La resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe será mayor que la resistencia que establece la Norma E.080.

Hipótesis Nula Ho: La resistencia a la compresión del material tierra del bloque de adobe no será mayor que la resistencia que establece la Norma E.080.

De lo mencionado anteriormente, se puede expresar de la siguiente manera:

$$H_o: \mu < 10,2$$

$$H_i: \mu > 10,2$$

Donde μ es el promedio de la muestra y 10,2 es la resistencia última establecida en la norma, expresada en kgf/cm^2 .

En la tabla 23 se presentan los especímenes de bloques de adobe, en el cual se muestra las dimensiones, el área en contacto, las cargas máximas expresada en kN y kgf; y la resistencia a la compresión en unidades de MPa y kgf/cm^2 . Se ensayaron seis especímenes; pero, se tomaron en cuenta las cuatro mejores resistencias. Con ello, se realizó la comprobación de hipótesis y se determinó el promedio, la desviación estándar y coeficiente de variación.

Tabla 23

Resistencia a la compresión de bloques de adobe

Especímen	Edad Días	Dimensiones				Carga máxima		RC	
		L cm	A cm	E cm	Área cm^2	kN	kgf	MPa	kgf/cm^2
C1	28	10,4	10,7	10,7	111,3	13,21	1 347	1,2	12,1
C2	28	10,9	10,8	10,8	117,7	14,04	1 432	1,2	12,2
C3	28	10,8	11,0	10,7	118,8	12,16	1 239	1,0	10,4
C4	28	10,7	10,7	10,7	114,5	13,89	1 416	1,2	12,4
C5	28	10,8	10,8	10,8	116,6	12,96	1 321	1,1	11,3
C6	28	10,6	10,9	10,9	115,5	12,10	1 233	1,0	10,7
						Promedio		1,18	11,99
						D.E		0,04	0,46
						C.V. (%)		3,82%	3,82 %

Nota. De las seis muestras se tomaron las cuatro mejores resistencias para la comprobación de hipótesis. Elaboración propia, 2021.

Se tomó un nivel de significancia del 5 %; es decir, se va a trabajar con un nivel de confianza del 95 %; así como, los grados de libertad de 3.

- Nivel de significancia

$$\alpha = 5 \%$$

- Grados de libertad

$$\text{Grados de libertad} = n - 1 = 4 - 1 = 3$$

Luego se determinó el valor crítico t_c tomando la tabla “t student”. Para ello, se tomaron los valores del nivel de confianza igual al 95 % y los grados de libertad igual a 3 obtenidos anteriormente. Cabe recalcar que se utilizó la tabla “t student” por la cantidad de datos de la muestra siendo menor a 30, de lo contrario se haría uso de la “tabla z”. Asimismo, se toman los valores de la prueba de una cola sesgada a la derecha, ya que $H_1: \mu > 10,2$.

$$t_c = 2,3534$$

Se halló el valor de prueba t_p con la ecuación indicada en el libro “Estadística descriptiva e inferencial” por Córdova (2003). Con ello, se determinará si la hipótesis nula se rechaza o se acepta.

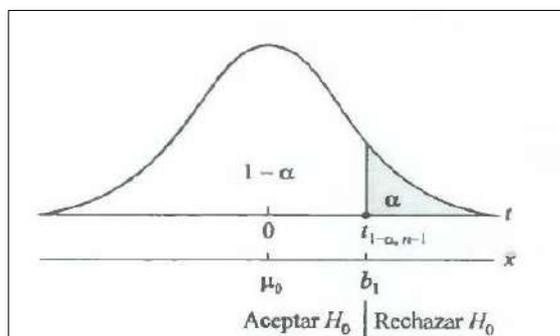
$$t_p = \frac{\bar{x} - \mu}{\hat{S}/\sqrt{n}}$$

$$t_p = \frac{11,99 - 10,2}{0,46/\sqrt{4}} = 7,7826$$

Se debe tener en cuenta que el valor de prueba t_p debe estar en la región sombreada (región crítica cola a la derecha) para rechazar la hipótesis nula, de lo contrario esta se acepta (ver figura 156).

Figura 156

Región crítica cola a la derecha



Nota. Con esta figura se ubica el valor de prueba t_p para rechazar o aceptar la hipótesis nula. Adaptado de “Estadística descriptiva e inferencial” (p.451), por Córdova, 2003.

$$t_c < t_p \text{ --- (Se rechaza la hipótesis nula)}$$

$$2,3534 < 7,7826, \therefore \text{ se rechaza la hipótesis nula}$$

Al ser el t_c menor que t_p se rechaza la hipótesis nula, obteniendo de esa manera que la resistencia del material tierra a compresión del bloque de adobe es mayor que la resistencia que establece la Norma E.080.

5.4.3. Comprobación de la hipótesis específica 02

En la validación de la hipótesis específica 2 se tuvo en cuenta el objetivo específico 2, el cual es el siguiente:

OE-2: Comparar la succión del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.

La hipótesis específica 02 consta de la siguiente hipótesis alterna y nula correspondiente:

Hipótesis Alterna H_a : La succión en el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula H_0 : La succión en el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no será mayor que el bloque de adobe sin refuerzo.

De lo mencionado anteriormente, tenemos la hipótesis nula y alterna como sigue:

$$H_0: \mu_r < \mu_s$$

$$H_i: \mu_r > \mu_s$$

De lo cual μ_r es el promedio de las muestras de la succión de los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo y μ_s es el promedio de las muestras de la succión de los bloques de adobe sin refuerzo.

En la tabla 24, y 25 se presentan los especímenes de bloques de adobe reforzados con fibras

diagonales de Arundo Donax y los sin refuerzo respectivamente. Se muestran el peso seco y húmedo de cada espécimen y su respectiva diferencia de pesos, también se presenta el área bruta y la succión en gramos de los mismos. Se tomaron cinco muestras de cada tipo de espécimen con la finalidad de determinar el promedio de estas, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Tabla 24

Succión de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax

Especimen (N°)	Peso		Área bruta (L x B) cm ²	Diferencia de peso W g	Succión S g
	P.S g	P.H (1 min) g			
BR1	22 058,1	22 058,1	937,44	0,0	0,0
BR2 (*)	22 367,1	22 350,9	956,25
BR3	22 080,0	22 086,7	944,88	6,7	1,4
BR4	22 612,1	22 614,9	951,15	2,8	0,6
BR5	22 282,3	22 285,0	962,34	2,7	0,6
			Promedio	3,1	0,7
			D.E	2,8	0,6
			C.V. (%)	88,9 %	82,1 %

Nota. (*) El espécimen se disolvió en la zona de contacto con el agua, por lo que perdió peso.

Elaboración propia, 2021.

Tabla 25

Succión de bloques de adobe sin refuerzo

Especimen (N°)	Peso		Área bruta (L x B) cm ²	Diferencia de peso W g	Succión S g
	P.S g	P.H (1 min) g			
BS1	21 185,4	21 185,6	954,88	0,2	0,0
BS2	21 701,3	21 717,6	960,00	16,3	3,4
BS3	21 716,3	21 718,7	932,50	2,4	0,5
BS4	21 472,0	21 472,4	968,66	0,4	0,1
BS5 (*)	21 347,1	21 339,4	960,00
			Promedio	4,8	1,0
			D.E	7,7	1,6
			C.V. (%)	160,7 %	161,5 %

Nota. (*) El espécimen se disolvió en la zona de contacto con el agua, por lo que perdió peso.

Elaboración propia, 2021.

A continuación, se comprobará la hipótesis específica planteada tomando en cuenta los datos de la tabla 26, teniendo en cuenta que los valores que se presentan son tomados de la tabla 24 y la tabla 25.

Tabla 26

Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 2

Espécimen	Tamaño de muestra (n1-n2)	Promedio aritmético (x1 – x2)	Desviación estándar (s1-s2)
Bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	5	0,7	0,6
Bloque de adobe sin refuerzo	5	1,0	1,6

Nota: (n1- n2) se refiere al tamaño de la muestra; (x1 – x2) al promedio aritmético; y (s1-s2) a la desviación estándar de los especímenes. Elaboración propia, 2021.

Se ha tomado un nivel de significancia del 5 %; es decir, se va a trabajar con un nivel de confianza del 95 % y con grados de libertad igual a 8.

- Nivel de significancia

$$\alpha = 5 \%$$

- Grados de libertad

$$\text{Grados de libertad} = n_1 + n_2 - 2 = 5 + 5 - 2 = 8$$

Luego se determina el valor crítico t_c tomando la tabla “t student”. Para ello, se toman los valores del nivel de confianza igual al 95 % y los grados de libertad igual a 8 obtenidos anteriormente. Cabe recalcar que, se utilizó la tabla “t student” dado que la cantidad de datos de la muestra es menor a 30, de lo contrario se haría uso de la “tabla z”. Asimismo, se toman los valores de la prueba de una cola sesgada a la derecha, ya que $H_1: \mu_r > \mu_s$.

$$t_c = 1,8595$$

Después, se halla el valor de prueba t con la ecuación indicada en el libro “Estadística

descriptiva e inferencial” por Córdova (2003). Con ello, se determinará si la hipótesis nula se rechaza o se acepta, para ello se determina la varianza común como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(n_1 - 1) * \hat{S}_1^2 + (n_2 - 1) * \hat{S}_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(5 - 1) * 0,6^2 + (5 - 1) * 1,6^2}{(5 + 5 - 2)} = 1,46$$

Finalmente, se reemplazan los valores de la varianza común \hat{S}_c en la fórmula siguiente, obteniendo así un t igual a -0,3926.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{\hat{S}_c^2}{n_1} + \frac{\hat{S}_c^2}{n_2}}}$$

$$t = \frac{(0,7 - 1,0)}{\sqrt{\frac{1,46}{5} + \frac{1,46}{5}}} = -0,3926$$

Se debe tener en cuenta que el valor de prueba t debe estar en la región sombreada como se indica en la figura 156 (región crítica cola a la derecha) para rechazar la hipótesis nula, de lo contrario esta se acepta.

$$t_c < t \text{ --- (Se rechaza la hipótesis nula)}$$

$$1,8595 > -0,3926, \therefore \text{ se acepta la hipótesis nula}$$

Por lo tanto, al ser el t_c mayor que el t se acepta la hipótesis nula, obteniendo de esa manera que la succión en el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax es menor que la del bloque de adobe sin refuerzo.

5.4.4. Comprobación de la hipótesis específica 03

En la hipótesis específica 3 se tuvo en cuenta lo siguiente:

OE-3: Comparar la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

La hipótesis específica 03 consta de la siguiente hipótesis alterna y nula correspondiente:

Hipótesis Alterna H_a : La resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax resultará mayor que la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula H_0 : La resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no resultará mayor que la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

De lo mencionado anteriormente, tenemos la hipótesis nula y alterna como sigue:

$$H_0: \mu_r < \mu_s$$

$$H_i: \mu_r > \mu_s$$

De lo cual μ_r es el promedio de las muestras de la resistencia a compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo y μ_s es el promedio de la resistencia a compresión axial de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

En la tabla 27, y 28 se presentan los especímenes de bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax y los sin refuerzo respectivamente. Se muestran las dimensiones y áreas de cada uno de los especímenes, además su carga máxima en kN y en kgf y la Resistencia a compresión axial de los mismos en unidades de MPa y en kgf/cm². Se ensayaron seis especímenes por cada tipo de espécimen; sin embargo, se tomaron las mejores cuatro resistencias a la compresión axial, siguiendo lo indicado en la Norma E.080, para la comprobación de hipótesis con la finalidad de determinar el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Tabla 27

Resistencia a la compresión axial de los bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax

Especimen N°	Edad días	Dimensiones			Área cm ²	Carga Máxima		Rc	
		L cm	W cm	H cm		kN	kgf	MPa	kgf/cm ²
PR1	28	37,20	25,80	82,10	959,76	88,46	9 020,36	0,92	9,40
PR2	28	37,10	25,80	82,10	957,18	88,67	9 041,78	0,93	9,45
PR3	28	37,20	25,80	78,80	959,76	85,13	8 680,80	0,89	9,04
PR4	28	37,20	25,70	78,60	956,04	76,86	7 837,50	0,80	8,20
PR5	28	37,30	25,70	79,00	958,61	55,72	5 681,83	0,58	5,93
PR6	28	37,20	25,80	78,50	959,76	86,00	8 769,51	0,90	9,14
Promedio								0,91	9,26
D.E.								0,02	0,20
C.V. (%)								2,12 %	2,12 %

Nota. La comprobación de hipótesis se tomó en cuenta las cuatro mejores resistencias obtenidas de los seis especímenes ensayados. Elaboración propia, 2021.

Tabla 28

Resistencia a la compresión axial de los bloques de adobe sin refuerzo

Especimen N°	Edad días	Dimensiones			Área cm ²	Carga Máxima		Rc	
		L cm	W cm	H cm		kN	kgf	MPa	kgf/cm ²
PS1	28	37,40	25,70	78,10	961,18	85,18	8 685,90	0,89	9,04
PS2	28	37,30	25,90	78,40	966,07	100,91	10 289,90	1,04	10,65
PS3	28	37,30	25,80	78,70	962,34	84,13	8 578,83	0,87	8,91
PS4	28	37,20	25,70	78,30	956,04	83,72	8 537,02	0,88	8,93
PS5	28	37,40	25,80	78,30	964,92	93,34	9 517,98	0,97	9,86
PS6	28	37,50	25,90	78,40	971,25	96,34	9 823,90	0,99	10,11
Promedio								0,97	9,92
D.E.								0,07	0,67
C.V. (%)								6,78 %	6,78 %

Nota. La comprobación de hipótesis se tomó en cuenta las cuatro mejores resistencias obtenidas de los seis especímenes ensayados. Elaboración propia, 2021.

A continuación, se comprobará la hipótesis específica planteada tomando en cuenta los datos de la tabla 29, teniendo en cuenta que los valores que se presentan son tomados de la tabla 27 y la tabla 28. Cabe resaltar que los datos tomados son respecto a la Resistencia a compresión axial en unidades de kgf/cm^2 .

Tabla 29

Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 3

Espécimen	Tamaño de muestra (n1-n2)	Promedio aritmético (x1 – x2)	Desviación estándar (s1-s2)
Bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	4	9,26	0,20
Bloque de adobe sin refuerzo	4	9,92	0,67

Nota: (n1- n2) se refiere al tamaño de la muestra; (x1 – x2) al promedio aritmético; y (s1-s2) a la desviación estándar de los especímenes. Elaboración propia, 2021.

Se ha tomado un nivel de significancia del 5 %; es decir, se va a trabajar con un nivel de confianza del 95 % y 6 grados de libertad.

- Nivel de significancia

$$\alpha = 5 \%$$

- Grados de libertad

$$\text{Grados de libertad} = n_1 + n_2 - 2 = 4 + 4 - 2 = 6$$

Luego se determina el valor crítico t_c tomando la tabla “t student”. Para ello, se toman los valores del nivel de confianza igual al 95 % y los grados de libertad igual a 6 obtenidos anteriormente. Cabe recalcar que, se utilizó la tabla “t student” dado que la cantidad de datos de la muestra es menor a 30, de lo contrario se haría uso de la “tabla z”. Asimismo, se toman los valores de la prueba de una cola sesgada a la derecha, ya que $H_1: \mu_r > \mu_s$.

$$t_c = 1,9432$$

Después, se halla el valor de prueba t con la ecuación indicada en el libro “Estadística

descriptiva e inferencial” por Córdova (2003). Con ello, se determinará si la hipótesis nula se rechaza o se acepta, para ello se determina la varianza común como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(n_1 - 1) * \hat{S}_1^2 + (n_2 - 1) * \hat{S}_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(4 - 1) * 0,20^2 + (4 - 1) * 0,67^2}{(4 + 4 - 2)} = 0,2445$$

Finalmente, se reemplazan los valores de la desviación estándar promedio \hat{S}_c en la fórmula siguiente, obteniendo así un t igual a -1,8878.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{\hat{S}_c^2}{n_1} + \frac{\hat{S}_c^2}{n_2}}}$$

$$t = \frac{(9,26 - 9,92)}{\sqrt{\frac{0,2445}{4} + \frac{0,2445}{4}}} = -1,8878$$

Si el valor de prueba t está en la región sombreada como se indica en la figura 156 (región crítica cola a la derecha) la hipótesis nula se rechaza, de lo contrario se acepta.

$$t_c < t \text{ --- (Se rechaza la hipótesis nula)}$$

$$1,9432 > -1,8878, \therefore \text{se acepta la hipótesis nula}$$

Por lo tanto, al ser el t_c mayor que t se acepta la hipótesis nula, obteniendo de esa manera que la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax es menor que la resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

5.4.5. Comprobación de la hipótesis específica 04

Se tuvo en cuenta el siguiente objetivo específico para el desarrollo de esta hipótesis.

OE-4: Comparar el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

La hipótesis específica 04 consta de la siguiente hipótesis alterna y nula correspondiente:

Hipótesis Alterna H_a : El módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula H_0 : El módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no será mayor que el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

De lo mencionado anteriormente, se puede expresar de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_r < \mu_s$$

$$H_i: \mu_r > \mu_s$$

Donde μ_r es el promedio de la muestra del módulo de elasticidad de pilas reforzadas con fibras diagonales y μ_s es el promedio de la muestra del módulo de elasticidad de pilas sin refuerzo.

En la tabla 30 y 31 se presentan los bloques de adobe según cada tipo de espécimen, en el cual se muestra la carga máxima en kN, el área de la sección transversal de cada muestra; además, la parte más lineal de la gráfica de la carga versus desplazamientos considerada del 20 % al 50 % de la carga máxima de rotura. Asimismo, se presentan los valores del esfuerzo axial (diferencia de cargas entre el área), la deformación unitaria asociada a las cargas (diferencia de cargas entre longitud LVDT) y el Módulo de elasticidad (esfuerzo axial entre la deformación unitaria) de cada uno de los especímenes. Se ensayaron seis especímenes; pero, se tomaron en cuenta cuatro mejores resistencias para determinar su promedio, la desviación estándar y coeficiente de variación; y realizar la comprobación de hipótesis.

Tabla 30

Módulo de elasticidad de pilas de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax

Especimen N°	Carga máxima	Área	P 20 %	P 50 %	Esfuerzo axial $\Delta\sigma =$ $\Delta P/A$	D 20 %	D 50 %	Longitud entre instrumentos LVDT	Deformación unitaria asociada a ΔP $\Delta\varepsilon = \Delta D/L$	Módulo de Elasticidad $E_m = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon$	
	kN	mm ²	kN	kN	kN/mm ²	mm	mm	mm		MPa	kgf/cm ²
PR1	88,46	95 976	17,69	44,23	0,00028	0,206	0,537	300	0,0011	250,3	2 552
PR2	88,67	95 718	17,73	44,34	0,00028	0,147	0,378	300	0,0008	359,5	3 666
PR3	85,13	95 976	17,03	42,57	0,00027	0,133	0,374	300	0,0008	330,3	3 368
PR4	76,86	95 604	15,37	38,43	0,00024	0,081	0,250	300	0,0006	429,1	4 376
PR5	55,72	95 861	11,14	27,86	0,00017	0,092	0,289	300	0,0007	266,0	2 712
PR6	86,00	95 976	17,20	43,00	0,00027	0,206	0,563	300	0,0012	226,1	2 305
									Promedio	346,23	3 530,52
									D.E.	67,70	690,36
									C.V. (%)	19,55 %	19,55 %

Nota. De las seis muestras se tomaron cuatro mejores para la comprobación de hipótesis. Elaboración propia, 2021.

Tabla 31

Módulo de elasticidad de pilas de bloque de adobe sin refuerzo

Espécimen N°	Carga máxima	Área	P 20 %	P 50 %	Esfuerzo axial $\Delta\sigma =$ $\Delta P/A$	D 20 %	D 50 %	Longitud entre instrumentos LVDT	Deformación unitaria asociada a ΔP $\Delta\varepsilon = \Delta D/L$	Módulo de Elasticidad $E_m = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon$	
	kN	mm ²	kN	kN	kN/mm ²	mm	mm	mm		MPa	kgf/cm ²
PS1	85,18	96 118	17,037	42,59	0,00027	0,175	0,617	300	0,0015	180,5	1 841
PS2	100,91	96 607	20,183	50,46	0,00031	0,180	0,503	300	0,0011	291,6	2 973
PS3	84,13	96 234	16,826	42,07	0,00026	0,168	0,433	300	0,0009	296,9	3 027
PS4	83,72	95 604	16,744	41,86	0,00026	0,131	0,372	300	0,0008	326,0	3 324
PS5	93,34	96 492	18,667	46,67	0,00029	0,171	0,535	300	0,0012	239,0	2 437
PS6	96,34	97 125	19,268	48,17	0,00030	0,151	0,461	300	0,0010	287,3	2 930
									Promedio	300,44	3 063,65
									D.E.	17,47	178,12
									C.V. (%)	5,81 %	5,81 %

Nota. De las seis muestras se tomaron cuatro mejores para la comprobación de hipótesis. Elaboración propia, 2021.

A continuación, se comprobará la hipótesis específica planteada tomando en cuenta los datos de la tabla 32, teniendo en cuenta que los valores que se presentan son tomados de la tabla 30 y la tabla 31. Cabe resaltar que los datos tomados son respecto al Módulo de Elasticidad en unidades de kgf/cm^2 .

Tabla 32

Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 4

Espécimen	Tamaño de muestra (n1-n2)	Promedio aritmético (x1 – x2)	Desviación estándar (s1-s2)
Bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	4	3 530,52	690,36
Bloque de adobe sin refuerzo	4	3 063,65	178,12

Nota: (n1- n2) se refiere al tamaño de la muestra; (x1 – x2) al promedio aritmético; y (s1-s2) a la desviación estándar de los especímenes. Elaboración propia, 2021.

Se tomó un nivel de significancia del 5 %; es decir, se va a trabajar con un nivel de confianza del 95 %; así como, los grados de libertad de 6.

- Nivel de significancia

$$\alpha = 5 \%$$

- Grados de libertad

$$\text{Grados de libertad} = n_1 + n_2 - 2 = 4 + 4 - 2 = 6$$

Luego se determinó el valor crítico t_c tomando la tabla “t student”. Para ello, se tomaron los valores del nivel de confianza igual al 95 % y los grados de libertad igual a 6 obtenidos anteriormente. Cabe recalcar que se utilizó la tabla “t student” dado que la cantidad de datos de la muestra es menor a 30, de lo contrario se haría uso de la “tabla z”. Asimismo, se toman los valores de la prueba de una cola sesgada a la derecha, ya que $H_1: \mu_r > \mu_s$.

$$t_c = 1,9432$$

Después, se halla el valor de prueba t con la ecuación indicada en el libro “Estadística descriptiva e inferencial” por Córdova (2003). Con ello, se determinará si la hipótesis nula se rechaza o se acepta, para ello se determina la varianza común como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(n_1 - 1) * \hat{S}_1^2 + (n_2 - 1) * \hat{S}_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(4 - 1) * 690,36^2 + (4 - 1) * 178,12^2}{(4 + 4 - 2)} = 254\ 161,83$$

Finalmente, se reemplazan los valores de la desviación estándar promedio \hat{S}_c en la fórmula siguiente, obteniendo así un t igual a 1,3097.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{\hat{S}_c^2}{n_1} + \frac{\hat{S}_c^2}{n_2}}}$$

$$t = \frac{(3\ 530,52 - 3\ 063,65)}{\sqrt{\frac{254\ 161,83}{4} + \frac{254\ 161,83}{4}}} = 1,3097$$

Si el valor de prueba t está en la región sombreada como se indica en la figura 156 (región crítica cola a la derecha) la hipótesis nula se rechaza, de lo contrario se acepta.

$$t_c < t \text{ --- (Se rechaza la hipótesis nula)}$$

$$1,9432 > 1,3097, \therefore \text{se acepta la hipótesis nula}$$

Por lo tanto, al ser el t_c mayor que el t se acepta la hipótesis nula, obteniendo de esa manera que el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax es menor que el módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe sin refuerzo. Si bien es cierto, los resultados del promedio del módulo de elasticidad se aprecian que el bloque de adobe reforzado es mayor que el bloque sin refuerzo; sin embargo, con la estadística empleada esto difiere ya que la diferencia entre ambos no es significativa, pues representa solo un 15,24 %. Se concluye que, según los resultados de la estadística empleada, el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales

de Arundo Donax presenta un menor módulo de elasticidad.

5.4.6. Comprobación de la hipótesis específica 05

Se tuvo en cuenta el siguiente objetivo específico:

OE-5: Comparar la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo.

La hipótesis específica 05 consta de la siguiente hipótesis alterna y nula correspondiente:

Hipótesis Alterna H_a : La resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax resultará mayor que la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula H_0 : La resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no resultará mayor que la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

De lo mencionado anteriormente, se puede expresar de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_r < \mu_s$$

$$H_i: \mu_r > \mu_s$$

Donde μ_r es el promedio de la muestra de la resistencia de la compresión diagonal de muretes reforzadas con fibras diagonales y μ_s es el promedio de la muestra de la resistencia de la compresión diagonal de muretes sin refuerzo.

En la tabla 33 y 34 se presentan los bloques de adobe según el tipo de espécimen, en el cual se muestra las dimensiones, área bruta de la diagonal comprimida, la carga máxima expresada en kN y kgf; y la resistencia a la compresión diagonal en unidades de MPa y kgf/cm². Se ensayaron seis especímenes; pero se tomaron en cuenta las cuatro mejores resistencias

según lo indicado en el ítem 8.5 de la Norma E.080. Con ello se realizó la comprobación de hipótesis.

Tabla 33

Resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax

Especímen N°	Edad días	Dimensiones			2at cm ²	Carga Máxima		Rc	
		a cm	t cm	d cm		kN	kgf	MPa	kgf/cm ²
MR1	28	76,70	26,20	101,00	4 019,08	20,23	2 062,88	0,05	0,51
MR2	28	76,45	26,30	100,90	4 021,27	21,77	2 219,91	0,05	0,55
MR3	28	76,40	26,10	100,90	3 988,08	15,79	1 610,12	0,04	0,40
MR4	28	76,70	26,00	101,00	3 988,40	20,69	2 109,78	0,05	0,53
MR5	28	76,85	26,30	101,00	4 042,31	17,83	1 818,14	0,04	0,45
MR6	28	76,50	26,00	100,90	3 978,00	20,00	2 039,42	0,05	0,51
						Promedio		0,05	0,53
						D.E.		0,002	0,018
						C.V. (%)		3,51 %	3,51 %

Nota. De las seis muestras se tomaron cuatro mejores para la comprobación de hipótesis.

Elaboración propia, 2021.

Tabla 34

Resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloque de adobe sin refuerzo

Especímen N°	Edad días	Dimensiones			2at cm ²	Carga Máxima		Rc	
		a cm	t cm	d cm		kN	kgf	MPa	kgf/cm ²
MS1	28	76,80	26,20	100,80	4 024,32	17,98	1 833,44	0,04	0,46
MS2	28	76,55	26,10	100,90	3 995,91	16,81	1 714,13	0,04	0,43
MS3	28	76,75	25,90	100,80	3 975,65	21,93	2 236,23	0,06	0,56
MS4	28	76,90	26,00	101,00	3 998,80	23,65	2 411,62	0,06	0,60
MS5	28	76,60	26,20	101,00	4 013,84	23,13	2 358,59	0,06	0,59
MS6	28	76,75	26,00	100,90	3 991,00	22,61	2 305,57	0,06	0,58
						Promedio		0,06	0,58
						D.E.		0,002	0,017
						C.V. (%)		2,93 %	2,93 %

Nota. De las seis muestras se tomaron cuatro mejores para la comprobación de hipótesis.

Elaboración propia, 2021.

A continuación, se comprobará la hipótesis específica planteada con los datos de la tabla

35, teniendo en cuenta que los valores que se presentan son tomados de la tabla 33 y la tabla 34. Cabe resaltar que se encuentran en unidades de kgf/cm^2

Tabla 35

Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 5

Espécimen	Tamaño de muestra (n1-n2)	Promedio aritmético (x1 – x2)	Desviación estándar (s1-s2)
Bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	4	0,53	0,018
Bloque de adobe sin refuerzo	4	0,58	0,017

Nota: (n1- n2) se refiere al tamaño de la muestra; (x1 – x2) al promedio aritmético; y (s1-s2) a la desviación estándar de los especímenes. Elaboración propia, 2021.

Se tomó un nivel de significancia del 5 %; es decir, se va a trabajar con un nivel de confianza del 95 %; así como, los grados de libertad de 6.

- Nivel de significancia

$$\alpha = 5 \%$$

- Grados de libertad

$$\text{Grados de libertad} = n_1 + n_2 - 2 = 4 + 4 - 2 = 6$$

Luego se determinó el valor crítico t_c tomando la tabla “t student”. Para ello, se tomaron los valores del nivel de confianza igual al 95 % y los grados de libertad igual a 6 obtenidos anteriormente. Cabe recalcar que se utilizó la tabla “t student” dado que la cantidad de datos de la muestra es menor a 30, de lo contrario se haría uso de la “tabla z”. Asimismo, se toman los valores de la prueba de una cola sesgada a la derecha, ya que $H_1: \mu_r > \mu_s$.

$$t_c = 1,9432$$

Después, se halla el valor de prueba t con la ecuación indicada en el libro “Estadística

descriptiva e inferencial” por Córdova (2003). Con ello, se determinará si la hipótesis nula se rechaza o se acepta, para ello se determina la varianza común como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(n_1 - 1) * \hat{S}_1^2 + (n_2 - 1) * \hat{S}_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(4 - 1) * 0,018^2 + (4 - 1) * 0,017^2}{(4 + 4 - 2)} = 0,00031$$

Finalmente, se reemplazan los valores de la desviación estándar promedio \hat{S}_c en la fórmula siguiente, obteniendo así un t igual a -4,0390.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{\hat{S}_c^2}{n_1} + \frac{\hat{S}_c^2}{n_2}}}$$

$$t = \frac{(0,53 - 0,58)}{\sqrt{\frac{0,00031}{4} + \frac{0,00031}{4}}} = -4,0390$$

Si el valor de prueba t está en la región sombreada como se indica en la figura 156 (región crítica cola a la derecha) la hipótesis nula se rechaza, de lo contrario se acepta.

$$t_c < t \text{ --- (Se rechaza la hipótesis nula)}$$

$$1,9432 > -4,0390, \therefore \text{ se acepta la hipótesis nula}$$

Por lo tanto, al ser el t_c mayor que el t se acepta la hipótesis nula, obteniendo de esa manera que la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax es menor que la resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

5.4.7. Comprobación de la hipótesis específica 06

La hipótesis específica 6 se tuvo en cuenta el objetivo específico 6, el cual es el siguiente:

OE-6: Comparar el módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el murete de bloque de adobe sin refuerzo.

La hipótesis específica 06 consta de la siguiente hipótesis alterna y nula correspondiente:

Hipótesis Alterna H_a : El módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el módulo de corte del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula H_0 : El módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no será mayor que el módulo de corte del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

De lo mencionado anteriormente, tenemos la hipótesis nula y alterna como sigue:

$$H_0: \mu_r < \mu_s$$

$$H_i: \mu_r > \mu_s$$

De lo cual μ_r es el promedio de las muestras de la resistencia a compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo y μ_s es el promedio de la resistencia a compresión axial de la pila de bloque de adobe sin refuerzo.

En la tabla 36, y 37 se presentan los especímenes de bloques de adone reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax y los bloques de adobe sin refuerzo respectivamente. Se muestran la carga máxima y el área de cada uno de los especímenes, además la parte más lineal de la carga y desplazamientos considerada del 20 % al 50 % de la carga máxima de rotura Asimismo, se presentan los valores del esfuerzo cortante (diferencia de cargas entre el área), la deformación unitaria (diferencia de desplazamientos entre la longitud del LVDT), la deformación angular (la suma de las deformaciones unitarias) y el Módulo de corte (esfuerzo cortante entre la deformación unitaria) de cada uno de los especímenes.

Se ensayaron seis especímenes por cada tipo; sin embargo, se tomaron los mejores cuatro módulos de corte para la comprobación de hipótesis con la finalidad de determinar el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de estos.

Tabla 36

Módulo de corte “Gm” de los bloques de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax

Especimen N°	Carga Máxima kN	Área mm ²	P 20 %	P 50 %	Esfuerzo cortante $\Delta\tau =$ $\Delta P/A$ kN/mm ²	Longitud entre instrumentos LVDT mm	Deformación unitaria asociada a ΔP de cada LVDT - Vertical $\Delta\varepsilon = \Delta D/L$			Deformación unitaria asociada a ΔP de cada LVDT - Horizontal $\Delta\varepsilon = \Delta D/L$			Deformación Angular $\gamma = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$	Módulo de Corte $G_m = \Delta\tau$ $/\Delta\gamma$	
							D 20 %	D 50 %	ε_1	D 20 %	D 50 %	ε_2		MPa	kgf/cm ²
							mm	mm	mm	mm					
MR1	20,23	401 908	4,05	10,11	0,000015	300	0,0036	0,0601	0,00019	0,0002	0,0012	0,000003	0,000191	78,87	804
MR2	21,77	402 127	4,35	10,89	0,000016	300	0,0021	0,0521	0,00017	0,0008	0,0026	0,000006	0,000172	94,22	961
MR3	15,79	398 808	3,16	7,89	0,000012	300	0,0006	0,0573	0,00019	0,0006	0,0036	0,000010	0,000199	59,62	608
MR4	20,69	398 840	4,14	10,35	0,000016	300	0,0017	0,0655	0,00021	0,0004	0,0014	0,000003	0,000216	72,06	735
MR5	17,83	404 231	3,57	8,91	0,000013	300	0,0068	0,0423	0,00012	0,0008	0,0024	0,000005	0,000124	107,12	1 092
MR6	20,00	397 800	4,00	10,00	0,000015	300	0,0047	0,0624	0,00019	0,0012	0,0030	0,000006	0,000198	76,14	776
													Promedio	89,09	908,44
													D.E.	14,42	147,01
													C.V. (%)	16,18 %	16,18 %

Nota. La comprobación de hipótesis se tomó en cuenta los cuatro mejores módulos de corte obtenidos de los seis especímenes ensayados.

Elaboración propia, 2021.

Tabla 37

Módulo de corte “Gm” de los bloques de adobe sin refuerzo

Especímen N°	Carga Máxima kN	Área mm ²	P 20 %	P 50 %	Esfuerzo cortante $\Delta\tau =$ $\Delta P/A$ kN/mm ²	Longitud entre instrumentos LVDT mm	Deformación unitaria asociada a ΔP de cada LVDT - Vertical $\Delta\varepsilon =$ $\Delta D/L$ $\varepsilon 1$			Deformación unitaria asociada a ΔP de cada LVDT - Horizontal $\Delta\varepsilon =$ $\Delta D/L$ $\varepsilon 2$			Deformación Angular $\gamma = \varepsilon 1 + \varepsilon 2$	Módulo de Corte $G_m = \Delta\tau / \Delta\gamma$	
							D 20 %	D 50 %		D 20 %	D 50 %			MPa	kgf/cm ²
MS1	17,98	402 432	3,595	8,99	0,000013	300	0,0121	0,1095	0,00032	0,0061	0,0306	0,00008	0,00041	32,97	336
MS2	16,81	399 591	3,361	8,40	0,000013	300	0,0075	0,0451	0,00013	0,0016	0,0085	0,00002	0,00015	85,16	868
MS3	21,93	397 565	4,385	10,96	0,000017	300	0,0049	0,0543	0,00016	0,0055	0,0229	0,00006	0,00022	74,20	757
MS4	23,65	399 880	4,729	11,82	0,000018	300	0,0060	0,0675	0,00020	0,0028	0,0072	0,00001	0,00022	80,82	824
MS5	23,13	401 384	4,626	11,57	0,000017	300	0,0129	0,0773	0,00021	0,0003	0,0018	0,00001	0,00022	78,70	803
MS6	22,61	399 100	4,522	11,30	0,000017	300	0,0000	0,0418	0,00014	0,0005	0,0022	0,00001	0,00014	117,47	1 198
													Promedio	90,54	923,22
													D.E.	1 816	185,13
													C.V. (%)	20,1 %	20,1 %

Nota. La comprobación de hipótesis se tomó en cuenta los cuatro mejores módulos de corte obtenidos de los seis especímenes ensayados.

Elaboración propia, 2021.

A continuación, se comprobará la hipótesis específica planteada con los datos de la tabla 38, teniendo en cuenta que los valores que se presentan son tomados de la tabla 36 y la tabla 37. Cabe resaltar que los datos tomados son respecto al Módulo de corte “Gm” en unidades de kgf/cm².

Tabla 38

Datos estadísticos de los especímenes para la hipótesis específica 6

Espécimen	Tamaño de muestra (n1-n2)	Promedio aritmético (x1 – x2)	Desviación estándar (s1-s2)
Bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	4	908,44	147,01
Bloque de adobe sin refuerzo	4	923,22	185,13

Nota: (n1- n2) se refiere al tamaño de la muestra; (x1 – x2) al promedio aritmético; y (s1-s2) a la desviación estándar de los especímenes. Elaboración propia, 2021.

Se ha tomado un nivel de significancia del 5 %; es decir, se va a trabajar con un nivel de confianza del 95 % y con 6 grados de libertad.

- Nivel de significancia

$$\alpha = 5$$

- Grados de libertad

$$\text{Grados de libertad} = n_1 + n_2 - 2 = 4 + 4 - 2 = 6$$

Luego se determina el valor crítico t_c tomando la tabla “t student”. Para ello, se toman los valores del nivel de confianza igual al 95 % y los grados de libertad igual a 6 obtenidos anteriormente. Cabe recalcar que, se utilizó la tabla “t student” dado que la cantidad de datos de la muestra es menor a 30, de lo contrario se haría uso de la “tabla z”. Asimismo, se toman los valores de la prueba de una cola sesgada a la derecha, ya que $H_1: \mu_r > \mu_s$.

$$t_c = 1,9432$$

Después, se halla el valor de prueba t con la ecuación indicada en el libro “Estadística descriptiva e inferencial” por Córdova (2003). Con ello, se determinará si la hipótesis nula se rechaza o se acepta, para ello se determina la varianza común como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(n_1 - 1) * \hat{S}_1^2 + (n_2 - 1) * \hat{S}_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

$$\hat{S}_c^2 = \frac{(4 - 1) * 147,01 + (4 - 1) * 185,13^2}{(4 + 4 - 2)} = 27\,942,5285$$

Finalmente, se reemplazan los valores de la desviación estándar promedio \hat{S}_c en la fórmula siguiente, obteniendo así un t igual a -0,1250.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{\hat{S}_c^2}{n_1} + \frac{\hat{S}_c^2}{n_2}}}$$

$$t = \frac{(908,44 - 923,22)}{\sqrt{\frac{27\,942,5285}{4} + \frac{27\,942,5285}{4}}} = -0,1250$$

Si el valor de prueba t está en la región sombreada como se indica en la figura 156 (región crítica cola a la derecha) la hipótesis nula se rechaza, de lo contrario se acepta.

$$t_c < t \text{ --- (Se rechaza la hipótesis nula)}$$

$$1,9432 > -0,1250, \therefore \text{se acepta la hipótesis nula}$$

Por lo tanto, al ser el t_c mayor que t se acepta la hipótesis nula, obteniendo de esa manera que el módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax es menor que el módulo de corte del murete de bloque de adobe sin refuerzo.

5.4.8. Comprobación de la hipótesis específica 07

La hipótesis específica 7 se tuvo en cuenta el objetivo específico 7, siendo este el siguiente:

OE-7: Comparar el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y el bloque de adobe sin refuerzo.

La hipótesis específica 07 consta de la siguiente hipótesis alterna y nula correspondiente:

Hipótesis Alterna Ha: El costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax será mayor que el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo.

Hipótesis Nula Ho: El costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax no será mayor que el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo.

De lo mencionado anteriormente, tenemos la hipótesis nula y alterna como sigue:

$$H_0: c_r < c_s$$

$$H_i: c_r > c_s$$

De lo cual c_r es el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y c_s es el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo.

Para la validación de esta hipótesis se realizó el análisis de precios unitarios de cada espécimen (ver tabla 21 y 22). A partir de ello, se concluye lo siguiente

$$c_r > c_s$$

$$1,527 > 1,000 \therefore \text{se rechaza la hipótesis nula}$$

Por lo tanto, al ser el c_s menor que c_r se rechaza la hipótesis nula, obteniendo de esa manera que el costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax es mayor que el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo.

5.4.9. Resultado de comprobación de prueba de hipótesis específicas para validación de hipótesis general

Tabla 39

Resultado de comprobación de prueba de hipótesis específicas

	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			Costo de fabricación	
	Acepta H_0	Rechaza H_0	Acepta H_0	Acepta H_0	Acepta H_0	Rechaza H_0	
	$u_r < u_s$	$u < u_0$	$u_r < u_s$	$u_r < u_s$	$u_r < u_s$	$c_r > c_s$	
Resultados de comprobación de hipótesis	Succión del bloque de adobe reforzado es menor que la del bloque de adobe sin refuerzo	Resistencia a la compresión del bloque de adobe reforzado es mayor que la resistencia de la Norma E.080	Resistencia a la compresión axial de la pila de bloque de adobe reforzado es menor que la de la pila de bloque de adobe sin refuerzo	Módulo de elasticidad de la pila de bloque de adobe reforzado es menor que el de la pila de bloque de adobe sin refuerzo	Resistencia a la compresión diagonal del murete de bloque de adobe reforzado es menor que la del murete de bloque de adobe sin refuerzo	Módulo de corte del murete de bloque de adobe reforzado es menor que el del murete de bloque de adobe sin refuerzo	El costo de fabricación del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax es mayor que del bloque de adobe sin refuerzo.

Nota. u_r y u_s hacen referencia al promedio muestral de los bloques reforzados y los bloques sin refuerzo respectivamente. Asimismo, u hace referencia al promedio muestral del bloque de adobe sin refuerzo y u_0 al valor de la Norma E.080. Además, c_r y c_s hacen referencia a los valores del costo de fabricación de cada espécimen. Elaboración propia, 2021.

Las pruebas de hipótesis presentadas en la tabla 39 permiten comprobar la hipótesis general. De esta se concluye que el bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax presenta mejores propiedades físicas que el bloque de adobe sin refuerzo. Mientras que, el bloque de adobe sin refuerzo presenta mejores propiedades mecánicas que el bloque reforzado. Ello se debe a lo indicado en la interpretación de los resultados.

Por otro lado, respecto al costo de fabricación se comparó el precio unitario del bloque de adobe sin refuerzo y del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax. Obteniendo como resultado que el bloque de adobe sin refuerzo tiene un menor costo.

CAPÍTULO VI

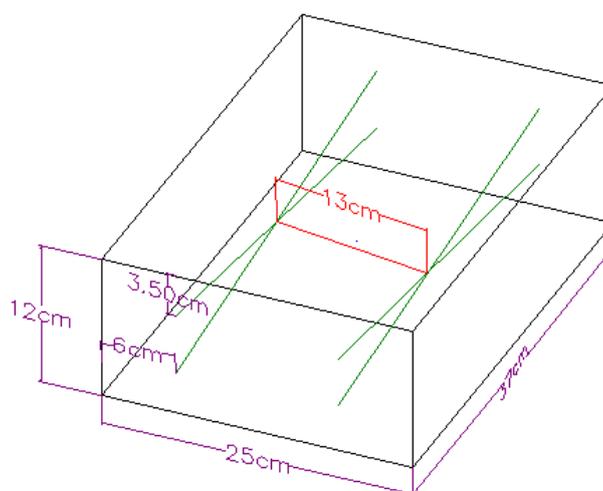
ANÁLISIS DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

6.1. Propuestas de mejora

La presente investigación plantea diferentes propuestas de mejora para las construcciones de viviendas de adobe. Una de ellas, es la colocación en la zona central de una unión perpendicular que conecte las fibras diagonales en los bloques de adobe para reducir la longitud de pandeo y aumentar la resistencia a la compresión. Esta unión se propone de fibras de Arundo Donax de una dimensión aproximada de 13,20 cm con 10 cm para los amarres y un diámetro de 1 cm, colocada desde el extremo a 6 cm en posición horizontal y 3,5 cm en vertical, teniendo un mayor recubrimiento. Además, su proceso de obtención es el mismo que las fibras diagonales de la presente investigación y su colocación es con un amarre en cada extremo de las intersecciones de las fibras diagonales. En la construcción de este bloque, la mezcla se colocará con las manos en toda la adobera compactando de tal manera que se eviten los vacíos y las fibras permanezcan en su lugar concluyendo con el enrase respectivo. Para un mayor detalle, se presenta la figura 157 en donde se observa esta unión perpendicular.

Figura 157

Propuesta de mejora de colocación de unión perpendicular en la zona central



Nota. La unión perpendicular es la línea de color rojo colocada en el bloque propuesto de 37 cm x 25 cm x 12 cm. Elaboración propia, 2021.

Otra de las propuestas es la aplicación del Arundo Donax como fibras adicionándolas en la mezcla de adobe con un largo de 5 cm aproximadamente y en diferentes porcentajes de adición reemplazando a la paja o adicionando en iguales proporciones con la misma. Estas se plantean de 5 %, 10 % y 15 % respecto al peso del bloque de adobe. De lo cual, en futuras investigaciones se puede conocer el porcentaje de adición que presente mejores propiedades físicas y mecánicas mediante pruebas y ensayos de laboratorio.

Por otro lado, como propuesta de mejora para el mortero de los muros de bloques de adobe se plantea la adición de fibras naturales como, por ejemplo, fibras de Arundo Donax o de Agave Henequén de 2 cm de longitud, adiciones de viruta, aserrín de Eucalipto, entre otros. Pues como se observó en los ensayos realizados, el uso de fibras naturales ayuda a lograr un mayor control del contenido de humedad. Permitiendo de esa manera que, el mortero tenga una mejor adherencia con las unidades de albañilería y los muros no presenten fallas escalonadas.

Finalmente, se propone el uso de los módulos de elasticidad y módulo de corte obtenidos del promedio de los cuatro mejores de los seis especímenes ensayados. Siendo estos iguales a 3 530,52 kgf/cm² y 3 063,65 kgf/cm² para el módulo de elasticidad de los bloques de adobe con y sin refuerzo; y para el módulo de corte de los bloques de adobe con refuerzo igual a 908,44 kgf/cm² y sin refuerzo igual a 923,22 kgf/cm². Estos valores pueden ser empleados en análisis estructurales y como datos para futuras investigaciones. Teniendo en cuenta que, la Norma E.080 no indica ninguno de estos valores para el adobe; por ello, los datos obtenidos en esta investigación ayudan a tener un mayor conocimiento de las propiedades del adobe.

6.2. Evaluación futura del impacto ambiental y social

Se realiza una evaluación futura del impacto ambiental y social, considerando que, si se lleva a cabo la construcción de los bloques de adobe con el refuerzo de Arundo Donax, los recursos a utilizar serían de forma masiva. Por ende, para llevar a cabo esta evaluación se analiza en base a la elaboración de fibras de Arundo Donax, construcción del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y construcción de pilas y muretes, se realizó un análisis de las Acciones del proyecto susceptibles de producir impactos (ASPI)

y a los Factores Ambientales Receptores de Impactos (FARI). Para ello se aplicó el Método Leopold, el cual consiste en realizar una matriz de interrelación entre los ASPI y los FARI. Esta interrelación permitió determinar si existe un Impacto Ambiental y/o Social negativo o positivo. Cabe resaltar que para esta evaluación se tuvieron en cuenta 3 parámetros: la clase (negativo o positivo), la magnitud (alteración baja = 1, media = 5 y alta = 10) y la importancia (insignificante = 1, media significación = 5 y máxima significación = 10), como se puede apreciar en la figura 158 (Canter, 1998).

Figura 158

Matriz de Leopold

Evaluación del impacto ambiental y social del proyecto de investigación "Estudio Técnico - Económico de Bloques de Adobe Adicionado con Arundo Donax. Lima, 2019."			Acciones del proyecto																				Síntesis																		
			Elaboración de fibras de Arundo Donax						Construcción del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax						Construcción de pilas				Construcción de muretes				Número de interrelaciones		Σ																
			Corte de plantaciones de Arundo Donax y limpieza de tallos	Corte de tallos del Arundo Donax en tiras longitudinales	Limpieza de nudos de tiras longitudinales	Sumergido en agua de tiras longitudinales	Chancado de tiras del tallo de Arundo Donax	Deshilachado de Arundo Donax en hilos de fibras y trenzado	Tamizado de la tierra para bloque de adobe	Colocación del agua en ruma de tierra y reposo de barro	Colocación y mezcla de paja con barro	Lavado y colocación de arena fina en adobera	Colocación de las fibras de Arundo Donax de manera diagonal en adoberas	Colocación de la mezcla de barro en las adoberas con las fibras diagonales	Corte de fibras sobrantes y enrase del bloque de adobe	Retiro de adobera	Secado y apliado de bloques de adobe	Preparación del mortero	Limpieza y sumergido en agua de bloques y herramientas	Asentado de bloques de adobe reforzados en pilas	Preparación del mortero	Limpieza y sumergido en agua de bloques y herramientas					Asentado y corte por la mitad de bloques de adobe reforzados en muretes	+	-	+	-										
Medios	Componentes	Factores																				+	-	+	-																
Medio físico	Atmósfera	1		-5/5	-5/5		-5/5	-5/5	-5/5		-1/1							-1/1	-1/1		-1/1	-1/1			10		-30/30														
		2						-5/5																		2		-10/10													
	Agua	3					-1/1																		4		-8/8														
	Suelo	4																							2		+20/20														
Medio biológico	5		-1/1																						1		-1/1														
	6		-10/10																						1		-10/10														
Medio socio económico y cultural	Usos del territorio	7		+5/5																					1		+5/5														
		8																							1		+10/10														
		9		+10/10																					2		+20/20														
	Paisajes	10		+1/1																						1		+1/1													
		11		-5/5	-1/1	-5/5	-5/5	-5/5	-5/5	-5/5	-1/1	-1/1		+10/10	-1/1	-1/1	-1/1		-1/1	-1/1	-5/5	-1/1	-1/1	-5/5	1	18	+10/10	-49/49													
	Servicios e infraestructura	12		+10/10																						4		+40/40													
		13		+10/10																						2		+20/20													
14		+10/10																							2		+20/20														
Síntesis	Número de interacciones		+	6						4			1			3			1			1		16																	
	Σ		-	3	2	2	2	3	2	2	1	2	1	1	1	1	2	3	1	2	3	2		36																	
			+	+46/46							+40/40						+30/30			+10/10			+10/10				+146/146														
	Promedio del proyecto		-	-16/16	-6/6	-10/10	-6/6	-15/15	-10/10	-10/10	-1/1	-2/2	-5/5		-1/1	-1/1	-1/1		-2/2	-3/3	-5/5	-2/2	-3/3	-10/10				-108/108													
		+																																					+9,1/9,1		
		-																																							-3,0/3,0

Nota. Los valores de color rojo y azul representas los impactos ambientales y sociales negativos y positivos respectivamente. Elaboración propia, 2021.

En síntesis, del análisis de los ASPI y FARI presentado en la figura 158 se obtuvo que existe un impacto ambiental y social positivo cuya magnitud es casi alta y con una importancia de máxima significación, pues la ponderación global fue igual a +9,1/9,1. Asimismo, la elaboración de fibras de Arundo Donax, construcción del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax y construcción de pilas y muretes presenta impactos ambientales y sociales negativos con una ponderación de -3,0/3,0 siguiendo los mismos parámetros mencionados anteriormente. De lo cual el número de interacciones positivas y negativas fue de 16 y 36 respectivamente. Sin embargo, se dice que el proyecto presenta un impacto ambiental y social positivo dado a la alta puntuación que se obtuvo. Esto se da gracias a que las plantaciones de Arundo Donax son invasoras, pues se propagan y crecen en grandes cantidades en las orillas del río, pudiéndose aprovechar este recurso racionalmente como un material de construcción, sin que este genere daños al ambiente; sino que, beneficia a la población.

6.3. Evaluación económica

Las fibras de Arundo Donax son fibras naturales que provienen de la planta que crece a orillas de los canales de agua y sobrevive en tiempos de sequía. En donde, las personas de bajos recursos pueden recolectar y extraer sus fibras para ser colocadas en forma diagonal en los bloques de adobe o como adición a la mezcla. Cabe destacar, que al estar al alcance de los pobladores el material no genera ningún costo sino este se da en la extracción de las plantas y su posterior proceso de elaboración. Además, el rendimiento es menor en la construcción de bloques de adobe adicionado con fibras de Arundo Donax que los bloques tradicionales, pues toma un mayor tiempo en su proceso constructivo (ver tabla 40).

Tabla 40*Resumen de las diferencias de costo*

Especimen	Costo de fabricación S/	Principales diferencias	
		Rendimiento	Materiales
Bloque de adobe sin refuerzo	1,000	135 Und./día	Tierra, agua y paja
Bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax	1,527	110 Und./día	Tierra, agua, paja y fibras de Arundo Donax

Nota. Los datos presentados se obtuvieron del análisis de precios unitarios del ítem 5.2.3 de la presente investigación. Elaboración propia, 2021.

En la tabla 40, se presenta el resumen en qué aspectos se diferencia el costo de fabricación de cada espécimen. Como se mencionó líneas arriba, las diferencias son por el rendimiento por día y la elaboración de las fibras de Arundo Donax. Por ello, los bloques adicionados con estas fibras tienen un costo mayor que los bloques tradicionales, estimando que pueden generar mayores beneficios de sus propiedades físicas y mecánicas con las propuestas de mejora antes mencionadas.

CONCLUSIONES

- Para la validación de las hipótesis planteadas, se utilizó una estadística inferencial con un nivel de confianza del 95 % y al contar con datos menores a 30 se utilizó la tabla “t student”, comprobando de esta manera la aceptación o rechazo de las hipótesis nulas.
- Se logró comparar el promedio de las 4 mejores resistencias a la compresión del material tierra de los 6 especímenes ensayados con el valor indicado en la Norma E.080 de 10,2 kgf/cm². Obteniendo que el promedio fue de 11,99 kgf/cm²; es decir, superó lo indicado en la Norma en un 17,6 %, por lo que se concluye que el bloque de adobe presenta una mejor durabilidad y es más denso, siendo la tierra utilizada adecuada para su construcción.
- Se logró obtener la comparación de la succión entre los especímenes planteados, del cual se obtuvo que el promedio de la succión de los 6 bloques de adobe sin refuerzo fue igual a 1,0 g; mientras que, el promedio de los 6 bloques de adobe reforzados con fibras diagonales de Arundo Donax tuvo un valor de 0,7 g. Es decir, de este último su cara de asiento en contacto con el agua no genera una succión excesiva, lo cual ayuda a que el bloque no absorba agua a la junta de mortero al momento del asentado.
- Se comparó las resistencias a compresión axial entre ambos especímenes, de los cuales el promedio de las cuatro mejores resistencias de las pilas de bloque de adobe sin refuerzo fue de 9,92 kgf/cm²; y de las pilas de bloque de adobe reforzado, igual a 9,26 kgf/cm², teniendo una resistencia menor en 6,65 %. Cabe destacar que, ambos especímenes superaron el valor de 6,12 kgf/cm² indicado en la Norma E.080. Además, este ensayo nos permitió saber que la colocación de las fibras en posición diagonal presentó cierta rigidez y se pandearon, ya que trabajaron a compresión deteriorando al adobe en la zona de pandeo.
- Se logró comparar el módulo de elasticidad “Em” entre las pilas de bloque de adobe sin refuerzo y las pilas de bloque de adobe reforzadas con fibras diagonales de Arundo Donax, cuyos valores fueron de 3 063,65 kgf/cm² y 3 530,52 kgf/cm². Es decir, el espécimen reforzado es más rígido, pues al aplicársele esfuerzos no presentará una gran

deformación. Asimismo, la pila reforzada presentó un 15,24 % más módulo elasticidad que la pila sin refuerzo; sin embargo, en la prueba de hipótesis se concluyó que la pila sin refuerzo presentó un mayor módulo de elasticidad que la pila reforzada. Por lo tanto, se puede decir que la diferencia del porcentaje antes mencionado no es muy significativa. Cabe resaltar, que la obtención de los resultados del módulo de elasticidad son un gran aporte para futuras investigaciones y una propuesta para la Norma E.080, la cual no indica ningún valor. Pues la muestra ensayada es la indicada en la misma y los resultados están validados por el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP.

- Se logró conocer que la resistencia a compresión diagonal del murete de bloques de adobe sin refuerzo en comparación con el murete de bloques de adobe reforzados es mayor en un 8,62 %. Estos resultados fueron igual a 0,58 kgf/cm² y 0.53 kgf/cm², siendo estos valores mayores a la resistencia última a la compresión diagonal de 0,25 kgf/cm² indicado en la Norma E.080. La diferencia entre las resistencias de los muretes sin refuerzo y reforzados presentados se dieron por el proceso constructivo y por la falta de unión perpendicular entre las fibras diagonales, trabajando estas de manera independiente. Sin embargo, el refuerzo de fibras diagonales de Arundo Donax generaron una unión con la tierra del bloque, esto permite que al momento de esfuerzos externos como los movimientos sísmicos y tras fisuras o agrietamientos de los bloques, estos no se desprendan y brinden algunos minutos para que las personas puedan evacuar de las viviendas, pues hay mayor dificultad de los bloques se destruyan completamente.
- Se logró obtener y comparar los módulos de corte “Gm”, teniendo como resultado para el murete de bloque de adobe sin refuerzo un valor de 923,22 kgf/cm²; y el murete de bloque de adobe reforzado, igual a 908,44 kgf/cm²; es decir, el módulo de corte de los especímenes reforzados es menor en un 1,60 %, presentando de esta manera una menor rigidez. Cabe resaltar, que los valores obtenidos del módulo de corte de ambos tipos de especímenes es un valioso aporte para las futuras investigaciones y sobre todo para la Norma E.080, ya que esta no muestra ningún dato sobre el módulo de corte. Y puesto que, los resultados obtenidos se realizaron para una muestra apropiada de especímenes según lo indicado en la misma norma y siendo además validados por el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Se logró identificar que, el proceso constructivo del mortero no es adecuado, pues este no aporta una correcta unión entre la unidad de albañilería y el bloque de adobe. Problema común y repetitivo que se aprecia en diversas investigaciones en los ensayos de resistencia a la compresión axial y diagonal de pilas y muretes respectivamente.
- Se comparó el costo de fabricación del bloque de adobe sin refuerzo igual a S/ 1,00 y del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax con un valor de S/ 1,53. Por lo que, el bloque de adobe sin refuerzo es el más económico, esto se debe que al emplear las fibras de Arundo Donax genera un costo adicional y el rendimiento de la construcción de los bloques en unidades por día es menor, pues este presenta un rendimiento de 110 Und./día; mientras que el bloque de adobe sin refuerzo, un valor de 135 Und./día.

RECOMENDACIONES

- Aprovechar los recursos presentes en la naturaleza; tales como, la tierra y el Arundo Donax, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población con bajos recursos económico, con viviendas de adobe con mayor resistencia y durabilidad. Así, frente a factores externas como sismos, estas personas tengan tiempo de salir de sus viviendas y no ocurran daños mayores como la pérdida de vidas humanas. Por ello, buscar nuevas alternativas de construcción, como las propuestas de mejora mencionadas de la presente investigación.
- Conocer las propiedades físicas de la tierra del adobe, ya que permite tener un control de calidad de los materiales para la construcción de los bloques de adobe. De esa manera, se tiene la certeza de realizar un adecuado proceso constructivo, con materiales y/o herramientas adecuadas, teniendo en cuenta los parámetros de la Norma E.080.
- Realizar los ensayos para conocer la resistencia a la compresión del material tierra. Pues, los resultados permitirán conocer si la tierra de la cantera es la adecuada para la construcción de bloques de adobe y posterior los muros de adobe. Teniendo en cuenta, la resistencia última de la normativa vigente.
- Conocer las propiedades físicas de los bloques de adobe, como la succión. Pues, permitirá saber si los bloques de adobe tienen una succión alta o baja; en otras palabras, conocer cómo serán las uniones y si los bloques pueden absorber agua al mortero al momento de la construcción de los muros de adobe.
- Cumplir con los parámetros mínimos indicados en la normativa vigente; tales como, ensayar el número de muestras mínimo con las dimensiones que se indican y cumplir con la resistencia última. Pues de esa manera se podrán obtener resultados confiables para realizar el respectivo análisis de la investigación. Asimismo, realizar los ensayos en laboratorios confiables que cuenten con máquinas universales calibradas y personal calificado.

- Proponer que en la Norma E.80 tome en cuenta parámetros para los módulos de elasticidad y módulo de corte del material de adobe. Y que el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (Sencico) realice mayores investigaciones en cuanto a estos temas, para mejorar las construcciones de las viviendas de los pobladores, sobre todo aquellos de bajos recursos económicos que siguen utilizando este tipo de unidades de albañilería.
- Utilizar los valores obtenidos de los módulos de elasticidad “Em” y módulos de corte “Gm” de la presente investigación, pues estos resultados obtenidos son de una muestra significativa igual a seis especímenes según cada tipo. Asimismo, fueron ejecutados y supervisados por ingenieros calificados y por una entidad autorizada para realizar dichos ensayos.
- Realizar un correcto análisis de precios unitarios tomando en cuenta la mano de obra, materiales y herramientas para la construcción de los especímenes; asimismo, el rendimiento por día de los datos obtenidos en el trabajo de campo. De esta manera, se brindará un correcto costo de la fabricación de los bloques de adobe.
- Llevar una planificación de cada una de las actividades que se van a realizar para alcanzar los objetivos planteados en la investigación, de esa manera se tiene un control de trabajo a realizar y fechas establecidas para lograr las metas propuestas. Esto permitirá que el investigador no se desvíe del proyecto y creará un enfoque más claro del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, E. y Quezada, R. (2017). *Caracterización física y mecánica del adobe en el Cantón Cuenca* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional-Universidad de Cuenca.
- Alagón, J. y Neira, R. (2020). *Estudio comparativo de la conductividad térmica y propiedades físico-mecánicas de las unidades de adobe estabilizadas con fibra de poliéster frente al adobe tradicional, de las adoberas ubicadas en el distrito de San Sebastián-Cusco*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional- Universidad Andina del Cusco.
- Ayala, M. y Chuya, E. (2018). *Comparación de parámetros mecánicos y físicos del adobe tradicional con adobe reforzado con fibra de vidrio* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional-Universidad de Cuenca.
- American Society for Testing and Materials (1998). *Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa*.
- American Society for Testing and Materials (2000). *Método de ensayo normalizado para descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)*.
- American Society for Testing and Materials (2005). *Método de ensayo estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos*.
- Baquero, D., Monsalve, J. y Sánchez, M. (2018). Caracterización experimental de paneles compuestos elaborados con fibras de Arundo Dónax y resina vegetal. *Revista Scientia et Technica*, 16(1), 119-125.
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/17041>.

- Baquero, D., Monsalve, J. y Sánchez, M. (2018). Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de paneles reforzados con fibras de caña brava. *INGE CUC*, 14(1), 66-74. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/2427>.
- Baraya, S. (2022). Adobe: el material reciclable más sostenible. *ArchDaily*. <https://www.archdaily.pe/pe/944575/adobe-el-material-reciclable-mas-sostenible>.
- Bañón, L. y Beví, J (2000). *Manual de carreteras*. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante (Vol.2). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1787>.
- Blondet, M., Vargas Neumann, J., Torrealva, D. y Rubiños, A. (2010). *Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludables y seguras*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bolaños, J. (2016). *Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional-Universidad Privada del Norte.
- Bonilla, D. y Merino, J. (2017). *Estudio de las propiedades físicas de la caña gradúa y su aplicación como refuerzo en la construcción de estructuras de adobe* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional-Escuela Politécnica Nacional.
- Canter, L. (1998). *Manual de evaluación de impacto ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto*. (2ª ed). McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES.
- Carhuanambo, J. (2016). *Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca (2016)* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional-Universidad Privada del Norte.
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres PREDES (2002). *Construyendo casas de adobe más resistentes*. PREDES.

- Comité Técnico Permanente de Geotecnia (1999). *NTP 339.134:1999 SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)*. (1ª ed). INDECOPI.
- Comité Técnico de Normalización de Unidades de Albañilería (2002). *NTP. 604:2002 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. (1ª ed). INDECOPI.
- Comité Técnico de Normalización de Unidades de Albañilería (2004). *NTP.399.621:2004 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería*. (1ª ed). INDECOPI.
- Comité Técnico de Normalización de Unidades de albañilería (2017). *NTP 339.613:2017 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillo de arcilla usados en albañilería*. (2ª ed). INACAL.
- Córdova, M. (2003). *Estadística descriptiva e inferencial Aplicaciones*. (5ª ed). MOSHERA.
- Costos (2022). Precios unitarios de partidas obras de edificación (OE) y habilitación urbana (HU). *Revista especializada para la construcción*, (317.2 ed), 8.
- Echeverry, J. y Jaramillo, C. (2017). *Elaboración de (BTC) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos* [Tesis de pregrado, Universidad Libre Seccional Pereira]. Repositorio Institucional-Universidad Libre Seccional Pereira.
- García, L., Gómez, F., Mileto, C. y Vegas, F. (2016). Procesos patológicos en muros de adobe. Panorama general de los mecanismos de degradación del adobe en la arquitectura tradicional española. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/326422397_Procesos_patologicos_en_muros_de_adobe_Panorama_general_de_los_mecanismos_de_degradacion_del_adobe_en_la_arquitectura_tradicional_espanola.

- Habran, N., Vargas, N. y Villate, J. (2021). Caracterización mecánica y determinación de la resistencia a la tracción de fibras de caña brava para uso en construcciones rurales. *Revista Inventum*, 16 (31), 78-84. <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/2793>.
- Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares Acceso a servicios Básicos*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. *Viviendas particulares según material predominante en las paredes exteriores y área de residencia*. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Juárez, E. y Rico, A. (1973). *Mecánica de suelos II: Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos*. LIMUSA.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). *Manual de ensayo de materiales*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2010). *Manual de construcción: Edificaciones antisísmicas de adobe*.
- Molina, D. (2020). La tierra como material de construcción, propiedades y estabilizantes. *Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30482>.
- Moscoso, M. (2016). *El adobe, sus características y el confort térmico*. I Congreso internacional online filosofía de la sustentabilidad de vivienda tradicional “Transformando comunidades hacia el desarrollo local”.

- Muentes, J. (2016). *Optimización en el uso de adobe sismo resistente, como material constructivo para viviendas familiares de bajo costo* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional-Universidad de Guayaquil.
- Quintana, D. y Vera, M. (2017). *Evaluación de la erosión y la resistencia a compresión de adobes con sustitución parcial y total de agua en peso por mucílago de tuna en porcentajes del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional- Universidad Andina del Cusco.
- Quispe, N. (2017). *Evaluación del esfuerzo admisible del adobe estabilizado con fibras de pet triturado en la zona de Mollepata provincia de Huamanga departamento de Ayacucho-2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional- Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, W. (2018). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería*. (2ª ed). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Sánchez, D. (2017). *Estudios de las uniones en estructuras de caña* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Catalunya]. Repositorio Institucional-Universidad Politécnica de Catalunya.
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (2020). *Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*. SENCICO.
- Torres, R. (2016). *Las fibras naturales como refuerzo sísmico en la edificación de viviendas de adobe en la costa del departamento de Ica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional-Universidad Agraria La Molina.
- Yamín, L., Phillips, C., Reyes, J. y Ruiz, D. (2007). *Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada*.

Zapata, R. (2018). *Tipo de suelos: Caracterización de suelos arcillosos y limosos*.
Universidad Nacional de Rosario.

ANEXOS

**FICHAS IN SITU “CINTA DE BARRO” Y “PRESENCIA DE ARCILLA O
RESISTENCIA SECA”**

Anexo. Fichas de pruebas in situ



UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PRUEBA IN SITU "CINTA DE BAGBY"

PROYECTO: Estudio Técnico de Estudios de Impacto de Área Afectada por Arcilla
Cercas Lima 2013.

TESTEADO: Bach. Gustavo Carlos Mayo Lora - Bach. Marina Ríos. Universidad Católica

UBICACIÓN: Santa María de Huacuja - Lurigancho-Ciudad

FECHA: 14/02/2014

PRIMERA EVALUACIÓN DE LA EXISTENCIA DE ARCILLA EN UN SUELO NORMA E.080

Tiempo de Prueba: 10 min

Diámetro de cilindro: 12 mm

Espesor de cinta formada: 4mm

Parámetros	Criterio	Rango
Suelo muy arcilloso	Cinta alcanza	20 cm - 25 cm
Suelo con poca arcilla	Cinta se corta	< 10 cm

Referencia: Norma E.080

Resultados

Se midió la cinta de 4 mm de espesor formada en campo, se presenta con registros fotográficos:



Se obtuvieron cintas con una longitud en promedio de 14 cm; por lo que, el suelo en estudio presenta un contenido de arcilla apropiado. Ya que no está dentro de los rangos de suelo muy arcilloso (20-25 cm), ni suelo con poca arcilla (< 10 cm).

Revisado por: MSc. Ing. Manuel Ismael Laurencio Luna
CIP: 140995



UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PRUEBA IN SITU "PRESENCIA DE ARCILLA" O "RESISTENCIA SECA"

LUGAR: BUEN TRUJILLO - BARRIO DE BOCAS DE ANDES, ANDES, AZUAYO
FECHA: 2021-07-21
PROYECTO: OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA DE BUEN TRUJILLO
DIRECCIÓN: SANTA MARÍA DE HUAYNA - LINGUENZA D. S. S. S. S.
FECHA: 2021-07-21

PRESENCIA DE ARCILLA O RESISTENCIA SECA, SEGUN NUESTRO
MUESTREO

Cantidad de bolitas: 4 unidades
 Tiempo de secado en horno: 24 h
 Límite de bolitas quebradas: 1 unidad
 Cantidad máxima de repetición de ensayo: 2 veces. De la cantidad, se reserva 1 muestra.

Parámetros	Resultado
Presencia de arcilla	No se detecta
Resistencia seca	Se detecta

Observaciones:

Se realizaron cuatro bolitas y dejaron secar por 24 h para luego ser presforradas, se presforra con registros fotográficos:

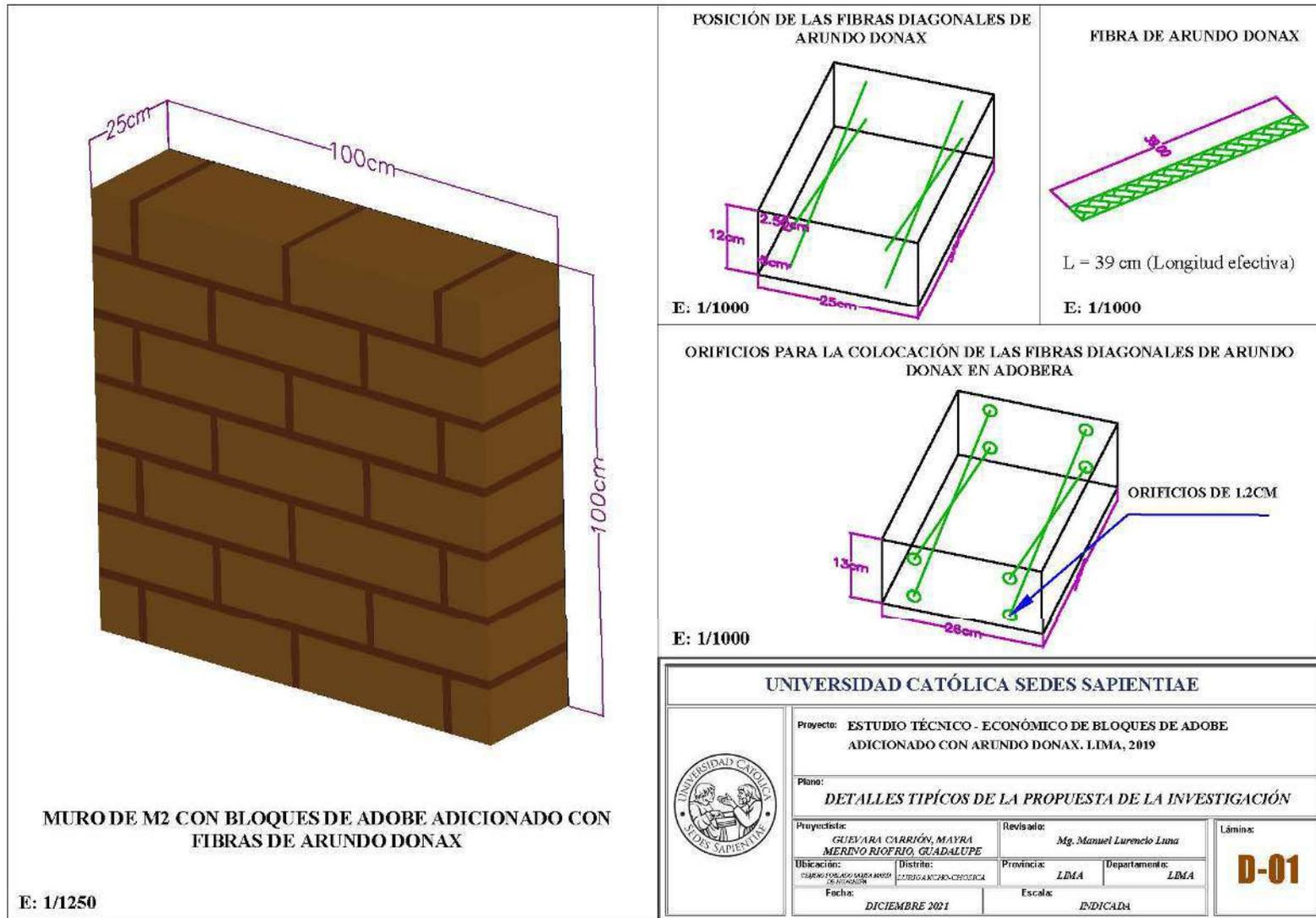


Como resultado ninguna de las cuatro bolitas sufrió fisuras ni grietas; es decir, no se rompieron. Por lo que, el suelo en estudio sí se puede emplear por tener una cantidad adecuada de arcilla.

Revisado por: MSc. Ing. Manuel Ismael Laurencio Luna
 CIP: 140995

**PLANO DE DETALLES TÍPICOS DE LA PROPUESTA DE LA
INVESTIGACIÓN**

Anexo. Plano de detalles típicos de la propuesta de la investigación



FICHAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO “ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN”, “RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN”, “SUCCIÓN”, “RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL MÁS MÓDULO DE ELASTICIDAD” Y “RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL MÁS MÓDULO DE CORTE”

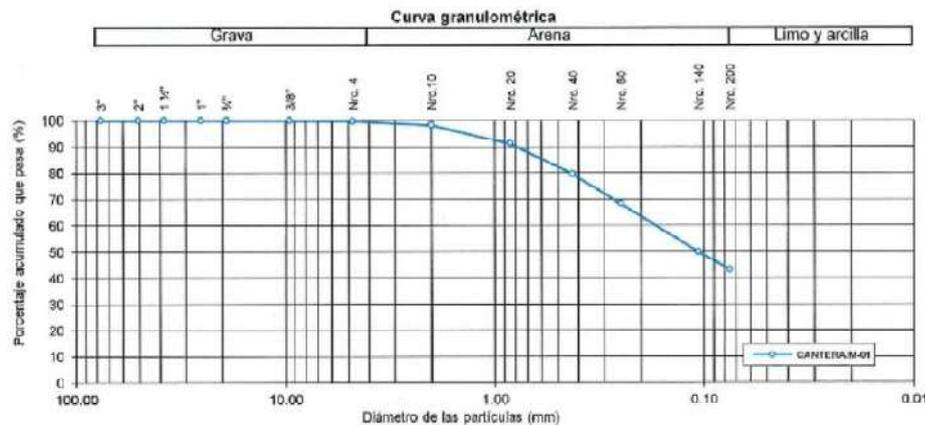
Anexo. Ensayos de laboratorio de clasificación de suelos

 LABORATORIO GEOTÉCNICO	REPORTE DE ENSAYO		
	Reporte nro.: L008-021 LAB TESIS UCSS	Fecha de Recepción: 04/02/2021	
Página: 1/1		Fecha de Emisión: 11/02/2021	

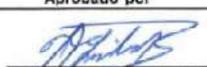
ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN

Solicitante: TESISTAS: GUEVARA CARRIÓN, MAYRA LEYSI / MERINO RIOFRIO, GUADALUPE ISABEL	Fecha de Ejecución: 09/02/2021
Proyecto: Ensayo de Laboratorio con Fines de Investigación	
Ubicación: Lima - Lima	
Sondeo: CANTERA	
Muestra: M-01	
Prof. (m): -	

Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D6913)		Contenido de humedad (ASTM D2216) Humedad: 5.7 %	Método utilizado Secado al horno																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nrc. Malla</th> <th>Abertura (mm)</th> <th>% Acum. que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>76.200</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.800</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38.100</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.400</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.100</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.520</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>Nº 4</td><td>4.760</td><td>99.7</td></tr> <tr><td>Nº 10</td><td>2.000</td><td>98.3</td></tr> <tr><td>Nº 20</td><td>0.840</td><td>91.2</td></tr> <tr><td>Nº 40</td><td>0.425</td><td>79.6</td></tr> <tr><td>Nº 60</td><td>0.250</td><td>68.2</td></tr> <tr><td>Nº 140</td><td>0.106</td><td>49.9</td></tr> <tr><td>Nº 200</td><td>0.076</td><td>43.1</td></tr> </tbody> </table>	Nrc. Malla	Abertura (mm)	% Acum. que pasa	3"	76.200	100.0	2"	50.800	100.0	1 1/2"	38.100	100.0	1"	25.400	100.0	3/4"	19.100	100.0	3/8"	9.520	100.0	Nº 4	4.760	99.7	Nº 10	2.000	98.3	Nº 20	0.840	91.2	Nº 40	0.425	79.6	Nº 60	0.250	68.2	Nº 140	0.106	49.9	Nº 200	0.076	43.1	Límites de consistencia (ASTM D4318) Límite líquido (LL): 24 Límite plástico (LP): 16 Índice plástico (IP): 8 NP: no plástico		Equipo de ensayo utilizado Límite plástico: Manual Límite líquido: Mecánico Espátula Casagrande: Plástica
Nrc. Malla	Abertura (mm)	% Acum. que pasa																																											
3"	76.200	100.0																																											
2"	50.800	100.0																																											
1 1/2"	38.100	100.0																																											
1"	25.400	100.0																																											
3/4"	19.100	100.0																																											
3/8"	9.520	100.0																																											
Nº 4	4.760	99.7																																											
Nº 10	2.000	98.3																																											
Nº 20	0.840	91.2																																											
Nº 40	0.425	79.6																																											
Nº 60	0.250	68.2																																											
Nº 140	0.106	49.9																																											
Nº 200	0.076	43.1																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Grava %</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>Arena %</td><td>56.6</td></tr> <tr><td>Finos %</td><td>43.1</td></tr> </table>		Grava %	0.3	Arena %	56.6	Finos %	43.1	Clasificación AASHTO (ASTM D3282) Grupo de clasificación: A-4 Índice de grupo: 1 Clasificación SUCS (ASTM D2487) Símbolo de grupo: SC Nombre de grupo: Arena arcillosa																																					
Grava %	0.3																																												
Arena %	56.6																																												
Finos %	43.1																																												



Observaciones:
 - El muestreo es responsabilidad del solicitante
 - El peso de la muestra cumple con lo especificado en la norma
 - - -

Elaborado por Téc. Ceilina Amaringo	Revisado por Ing. Abel Reyes D. Jefe de Laboratorio	Aprobado por  Dr. Ing. Zenón Aguilar E. CIP: 040684
---	--	--

Los resultados solo aplican a las muestras ensayadas. Este reporte no puede ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de MarJent Engineering Lab S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Solicitante está de acuerdo en limitar la responsabilidad de MarJent Engineering Lab S.A.C. de cualquier reclamo por el uso de estos datos. Este Informe no es válido sin la firma de los responsables del laboratorio.

MARJENT ENGINEERING LAB S.A.C.
 Av. Tomas Valle N° 1175 San Martín de Porres - Lima
 TEL.F:(051) 642-1650 Teléfono : 987653727 E-Mail: comercial@marjent.pe

Ficha 1. Resistencia a la compresión del material tierra

LABORATORIO DE
ESTRUCTURAS
ANTISÍSMICAS



INFORME DE ENSAYO

EXPEDIENTE :

INF-LE 116-21

SOLICITANTE :

Bach. Mayra Leysi Guevara Carrión - Bach. Guadalupe Isabel Merino Riofrio
Jr. Rio Paucartambo 5252 Urb. Villa del Norte - Los Olivos
Jr. República del Perú 220 Urb. Huaquillay - Comas

TITULO :

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE
PROBETAS CÚBICAS DE ADOBE

FECHA :

08 DE JULIO DE 2021



Ing. Daniel Torrealva D.
Jefe del Laboratorio de
Estructuras Antisismicas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
T: 51-1 626-2000 anexo 4640
F: 51-1 626 2089
ledi@pucp.pe

www.pucp.edu.pe



Solicitante: Bach. Mayra Leysi Guevara Carrión - Bach. Guadalupe Isabel Merino Riofrío
Procedencia: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - UCSS
Ensayo : RESISTENCIA A COMPRESIÓN
Norma de ensayo: ASTM C109 (Norma de referencia)
Muestra : BLOQUES DE TIERRA (ADOBE)
Probetas : SEIS CUBOS DE 10 x 10 x 10 cm. CORTADAS DE BLOQUES DE TIERRA
Expediente: INF-LE 116-21

TABLA N°1.- RESISTENCIA A COMPRESION

Probeta N°	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad días	Dimensiones			Area cm ²	Carga Máxima		Rc	
				L cm	A cm	E cm		kN	Kg	MPa	Kg/cm ²
C-1	2021-06-03	2021-07-01	28	10.4	10.7	10.7	111.3	13.22	1347	1.2	12
C-2	2021-06-03	2021-07-01	28	10.9	10.8	10.8	117.7	14.04	1432	1.2	12
C-3	2021-06-03	2021-07-01	28	10.8	11.0	10.7	118.8	12.16	1239	1.0	10
C-4	2021-06-03	2021-07-01	28	10.7	10.7	10.7	114.5	13.89	1416	1.2	12
C-5	2021-06-03	2021-07-01	28	10.8	10.8	10.8	116.6	12.96	1321	1.1	11
C-6	2021-06-03	2021-07-01	28	10.6	10.9	10.9	115.5	12.10	1233	1.0	11
Promedio										1.1	11
D.E.										0.1	0.9
C.V. (%)										7.46	7.44

donde:

Rc: Resistencia a compresión de la probeta, en MPa y kg/cm².

L, A y E : Largo, Ancho y Espesor del espécimen, en centímetros.

D.E.; C.V Desviación estándar, en MPa y kg/cm²; Coeficiente de variación, en %

Notas:

Las probetas fueron identificadas por personal del laboratorio.

Los ensayos de compresión fueron realizados con una máquina de ensayos, verificada periódicamente contra una celda de carga patrón, trazable internacionalmente.

Los resultados presentados, son válidos únicamente para los especímenes ensayados y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que los produce.

Este informe consta de dos páginas en total, incluyendo la carátula.

Está prohibida su reproducción parcial sin autorización del Laboratorio de Estructuras.

INF-LE 116-21



Ficha 2. Rapidez inicial de absorción (Succión)

LABORATORIO DE
ESTRUCTURAS
ANTISÍSMICAS



INFORME DE ENSAYO

EXPEDIENTE	INF-LE 116-21 (A)
SOLICITANTE	BACH. MAYRA LEYSI GUEVARA CARRIÓN - BACH. GUADALUPE ISABEL MERINO RIOFRIO Jr. Río Paucartambo 5252 Urb. Villa del Norte - Los Olivos Jr. República del Perú 220 Urb. Huaquillay - Comas
TITULO	PERIODO INICIAL DE ABSORCIÓN (SUCCIÓN) DE BLOQUES DE TIERRA (ADOBE)
FECHA	11 DE AGOSTO DEL 2021



[Handwritten signature]
Ing. Daniel Torrealva D.
Jefe de Laboratorio de
Estructuras Antisismicas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
T: 51-1 626-2000 anexo 4640
F: 51-1 626 2089
ledi@pucp.pe

www.pucp.edu.pe

Solicitante : BACH. MAYRA LEYSI GUEVARA CARRIÓN - BACH. GUADALUPE ISABEL MERINO RIOFRIO
 Procedencia : TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - UCSS
 Ensayos : PERIODO INICIAL DE ABSORCIÓN (SUCCIÓN)
 Muestra : BLOQUES DE TIERRA (ADOBE) DE 37 x 25 x 12 cm
 Normas de referencia : NTP 399.613
 Expediente : INF-LE 116-21 (A)
 Fecha : 30 de junio al 2 de julio de 2021

TABLA N° 1.- PERÍODO INICIAL DE ABSORCIÓN (SUCCIÓN)

Especímen (N°)	Peso		Area Bruta (L x B) (cm ²)	W (gr)	S (gr)
	P. S. (gr)	P.H.(1min) (gr)			
BS - 1	21185.4	21185.6	954.88	0.2	0.0
BS - 2	21701.3	21717.6	960.00	16.3	3.4
BS - 3	21716.3	21718.7	932.50	2.4	0.5
BS - 4	21472.0	21472.4	968.66	0.4	0.1
BS - 5 (*)	21347.1	21339.4	960.00	---	---
Promedio :				4.8	1.0
D.E.:				7.7	1.6
C.V. (%) :				160.7	161.5

TABLA N° 2.- PERÍODO INICIAL DE ABSORCIÓN (SUCCIÓN)

Especímen (N°)	Peso		Area Bruta (L x B) (cm ²)	W (gr)	S (gr)
	P. S. (gr)	P.H.(1min) (gr)			
BR - 1	22058.1	22058.1	937.44	0.0	0.0
BR - 2 (*)	22367.1	22350.9	956.25	---	---
BR - 3	22080.0	22086.7	944.88	6.7	1.4
BR - 4	22612.1	22614.9	951.15	2.8	0.6
BR - 5	22282.3	22285.0	962.34	2.7	0.6
Promedio :				3.1	0.7
D.E.:				2.8	0.6
C.V. (%) :				88.9	82.1

donde:

S: Succión de agua del espécimen en gramos, corregido sobre la base de 200cm²
 W: Diferencia de peso del espécimen en gramos, luego del minuto de contacto con agua.
 P.S. : Peso del espécimen al natural (tomado del lote usado para asentar muretes) en gramos
 P.H.(1min) : Peso de espécimen luego de 1minuto en contacto con agua, en gramos
 D.E.: Desviación estándar, en %
 C.V. : Coeficiente de variación, en %

Notas:

(*) El espécimen se disolvió en la zona de contacto con el agua, por lo que perdió peso.
 La procedencia de la muestra y la cantidad de especímenes ensayados, fue indicada por el cliente
 Los resultados presentados, son válidos únicamente para los especímenes ensayados y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que los produce.

Esta parte del informe consta de dos páginas en total, incluyendo la carátula.
 Está prohibida su reproducción parcial sin autorización del Laboratorio de Estructuras.
 INF-LE 116-21 (A)



Ficha 3. Resistencia a la compresión axial más módulo de elasticidad Em y resistencia a la compresión diagonal más módulo de corte Gm

LABORATORIO DE
ESTRUCTURAS
ANTISÍSMICAS

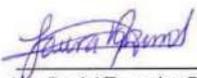


PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

INFORME DE ENSAYOS

EXPEDIENTE	INF-LE 142 - 21	PRISMAS DE ALBAÑILERÍA: PILAS + MURETES
SOLICITANTE	BACH. MAYRA LEYSI GUEVARA CARRIÓN – BACH. GUADALUPE ISABEL MERINO RIOFRIO	
TITULO	COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS DE ALBAÑILERÍA COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE ALBAÑILERÍA	
FECHA	17 DE NOVIEMBRE DE 2021	




Ing. Daniel Torrealva Dávila
Jefe de Laboratorio de
Estructuras Antisísmicas

Av. Universitaria N° 1801, San Miguel
Telf: 511 626 2000 anexo 4640, Fax: 511 626 2089
www.pucp.edu.pe / e-mail: ledi@pucp.edu.pe


ENSAYOS DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS DE ALBAÑILERÍA (DE 6 HILADAS DE BLOQUES DE ADOBE)
(Pilas elaboradas en el Laboratorio de Estructuras - PUCP por el cliente)

SOLICITANTE: BACH. MAYRA LEYS GUEVARA CARRIÓN – BACH. GUADALUPE ISABEL MERINO RICOFRIO
 PROCEDENCIA: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL – UCSS
 MUESTRA: 6 PILAS DE ALBAÑILERÍA (construidos con 6 bloques de adobe)
 Tratamiento de las Unidades antes del asentado: Limpiar y sumergir en agua
 Mortero: Proporción paja y tierra 1:1.5
 Espesor de Juntas Horizontales: 1.5 cm

ENSAYO: COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS DE ALBAÑILERÍA
 NÓRMAS ENSAYO / REF.: NTP 399.605 / ASTM C 1314 y NTE E-070
 FECHA FABRICACIÓN: 07-07-21 / 08-07-21
 FECHA ENSAYO: 04-08-21 / 05-08-21
 VELOCIDAD DE ENSAYO: 0.5mm/min

TABLA 1 - ENSAYO COMPRESIÓN AXIAL-PILA ALBAÑILERÍA (6 UNIDADES DE ADOBE)

Pila N°	Edad (días)	Dimensiones (mm)			Área (mm ²)	Esbeltez (h/w)	F. C. Esbeltez	P _{Máx.} (KN)	D1 _{Máx.} (mm)	D1 _{Rot.} (mm)	ε _{Máx.} (x10 ⁻³ mm/mm)	f _m		E	
		l	w	H								(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(Kg/cm ²)
PS-1	28	374	257	781	96118	3.039	1.00000	85.18	2.6	4.3	14	0.9	9.0	180	1830
PS-2	28	373	259	784	96607	3.027	1.00000	100.91	2.1	4.6	15	1.0	10.8	291.4	2971
PS-3	28	373	258	787	96234	3.050	1.00000	84.13	1.4	3.7	12	0.9	8.9	296.7	3025
PS-4	28	372	257	783	95604	3.047	1.00000	83.72	1.6	6.4	21	0.9	8.9	325.6	3319
PS-5	28	374	258	783	96492	3.035	1.00000	93.34	1.9	5.7	19	1.0	9.9	239.6	2442
PS-6	28	375	259	784	97125	3.027	1.00000	96.34	1.9	7.7	26	1.0	10.1	288.0	2936
Prom.												0.94	9.58	270.15	2753.82
D.E.:												0.07	0.73	52.33	533.38
C.V. (%):												7.63	7.63	19.37	19.37

TABLA 2 - ENSAYO COMPRESIÓN AXIAL-PILA ALBAÑILERÍA (6 UNIDADES DE ADOBE)

Pila N°	Edad (días)	Dimensiones (mm)			Área (mm ²)	Esbeltez (h/w)	F. C. Esbeltez	P _{Máx.} (KN)	D1 _{Máx.} (mm)	D1 _{Rot.} (mm)	ε _{Máx.} (x10 ⁻³ mm/mm)	f _m		E	
		l	w	H								(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(Kg/cm ²)
PR-1	28	372	258	821	95976	3.182	1.00000	88.46	1.7	2.5	8	0.9	9.4	253.0	2579
PR-2	28	371	258	821	95718	3.182	1.00000	88.67	1.8	2.7	9	0.9	9.4	365.8	3729
PR-3	28	372	258	788	95976	3.054	1.00000	85.13	1.8	3.5	12	0.9	9.0	334.6	3411
PR-4	28	372	257	786	95604	3.058	1.00000	76.86	1.0	1.2	4	0.6	8.2	429.3	4376
PR-5	28	373	257	790	95861	3.074	1.00000	55.72	1.2	10.1	34	0.6	5.9	265.3	2704
PR-6	28	372	258	785	95976	3.043	1.00000	86.00	2.7	5.1	17	0.9	9.1	230.6	2350
Prom.												0.84	8.52	313.09	3191.53
D.E.:												0.13	1.35	76.76	782.48
C.V. (%):												15.84	15.84	24.52	24.52

donde:

- P_l: Pila de albañilería ensayado en la dirección axial longitudinal
 H: Altura del espécimen de ensayo, incluyendo el capping
 l, w: Dimensiones mayor y menor de la sección transversal del espécimen de ensayo
 Área: Área de la sección transversal que resiste la carga axial.
 F. C. Esbel: Factor de corrección por Esbeltez, según la E.070 y Especificaciones del Proyecto
 P_{Máx.}: Carga máxima resistida por el espécimen, en el ensayo de compresión axial.
 D1_{Máx.}: Deformación axial local, asociada a la Carga máxima resistida.
 D1_{Rot.}: Deformación axial local de rotura
 ε_{Máx.}: Deformación unitaria máxima, asociada a L_o (Longitud de registro de deformación)
 f_m: Resistencia en compresión de la pila de albañilería, referida al área bruta.
 E: Módulo de Elasticidad de la Pila
 Prom.: Promedio de la muestra, en los sistemas de unidades indicados
 D.E.: Desviación estándar de la muestra, en los sistemas de unidades indicados
 C.V. (%): Coeficiente de variación de la muestra, expresado en porcentaje

Este informe contiene "Resultados de Ensayos", que corresponden y son válidos solamente para los especímenes ensayados; y no deben ser utilizados como una "Certificación de Conformidad" con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que los produce.

Este informe consta de veintinueve (29) páginas en total, incluyendo una (1) carátula y veinticuatro (24) registros gráficos locales Carga (KN) -vs- Desplazamiento Local de los ensayos de Compresión Axial y Compresión Diagonal realizados.

Se prohíbe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP



**LABORATORIO DE
ESTRUCTURAS
ANTISÍSMICAS**



PUCP

Notas: Los especímenes han sido elaborados en el Laboratorio, con personal, materiales y especificaciones del cliente.
La esbeltez de todas las Pilas es similar y ha sido definida en función del espesor de las juntas de mortero y criterio reglamentario.
Los resultados no han sido corregidos por esbeltez. Se incluye el valor de la relación de esbeltez, en caso.
El ensayo de compresión se realizó utilizando una celda de carga calibrada contra celda de carga patrón, trazable internacionalmente.
La longitud de registro de deformaciones ($L_0=300$ mm), corresponde a la longitud entre bases extremas de los sensores LVDT.

Este Informe contiene "Resultados de Ensayos", que corresponden y son válidos solamente para los especímenes ensayados; y no deben ser utilizados como una "Certificación de Conformidad" con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que los produce.

Este Informe consta de veintinueve (29) páginas en total, incluyendo una (1) carátula y veinticuatro (24) registros gráficos locales Carga (KN) -vs- Desplazamiento Local, de los ensayos de Compresión Axial y Compresión Diagonal realizados.

Se prohíbe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP




ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE ALBAÑILERÍA (DE BLOQUES DE CONCRETO)
(Muretes elaborados en el Laboratorio de Estructuras - PUCP por el cliente)

SOLICITANTE: BACH. MAYRA LEYSI GUEVARA CARRIÓN – BACH. GUADALUPE ISABEL MERINO RÍOFRÍO
 PROCEDENCIA: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL – UCSS
 MUESTRA: 6 MURETES DE BLOQUES DE ADOBE
 Tratamiento de las Unidades antes del asentado: Limpiar y sumergir en agua
 Mortero: Proporción paja y tierra 1:1,5
 Espesor de Juntas Horizontales y Verticales: 1.5 cm
 ENSAYO: COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETE DE ALBAÑILERÍA
 NORMAS ENSAYO / REF.: NTP 399.621 / ASTM E 447, ASTM E 111, ASTM E 519, UBC S 21-17, NTE E-070
 FECHA FABRICACIÓN: 12-07-21 / 13-07-21
 FECHAS DE ENSAYO: 09-08-21 / 10-08-21 (a 28 días)
 VELOCIDAD ENSAYO: 0.5mm/min

TABLA N° 3 - ENSAYOS COMPRESIÓN DIAGONAL - MURETES ALBAÑILERÍA (BLOQUES DE ADOBE)

Murete	Edad (días)	Dimens. (mm)				A. Corte (mm ²)	P máx.		v' m		G		Tipo de Falla Observado
		L _{reg}	L _{car}	t	Dm		(N)	(kg)	(M Pa)	(kg/cm ²)	(M Pa)	(kg/cm ²)	
MS-1	28	300	300	282	1008	284560	17980	1833	0.063	0.64	46.10	470	Mixta
MS-2	28	300	300	261	1009	282551	16810	1714	0.059	0.61	119.96	1223	Mixta
MS-3	28	300	300	259	1008	281118	21930	2235	0.078	0.80	104.57	1056	Traacción diagonal
MS-4	28	300	300	260	1010	282755	23550	2411	0.084	0.85	110.03	1122	Traacción diagonal
MS-5	28	300	300	262	1010	283819	23130	2358	0.081	0.83	106.69	1088	Traacción diagonal
MS-6	28	300	300	280	1008	282204	22810	2305	0.080	0.82	167.12	1704	Traacción diagonal
Prom.:							21018	2143	0.07	0.76	109.08	1111.88	
D.E.:							2888	294	0.01	0.10	38.68	394.29	
C.V.(%):							13.74	13.74	13.84	13.84	35.46	35.46	

TABLA N° 4 - ENSAYOS COMPRESIÓN DIAGONAL - MURETES ALBAÑILERÍA (BLOQUES DE ADOBE)

Murete N°	Edad (días)	Dimens. (mm)				A. Corte (mm ²)	P máx.		v' m		G		Tipo de Falla Observado
		L _{reg}	L _{car}	t	Dm		(N)	(kg)	(M Pa)	(kg/cm ²)	(M Pa)	(kg/cm ²)	
MR-1	28	300	300	282	1010	284189	20230	2062	0.071	0.73	110.43	1126	Mixta
MR-2	28	300	300	263	1009	284344	21770	2219	0.077	0.78	133.01	1356	Mixta
MR-3	28	300	300	291	1009	281997	15790	1610	0.056	0.57	84.54	862	Mixta
MR-4	28	300	300	260	1010	282020	20690	2109	0.073	0.75	98.99	1009	Traacción diagonal
MR-5	28	300	300	263	1010	285832	17830	1818	0.062	0.64	150.84	1538	Mixta
MR-6	28	300	300	280	1009	281284	20000	2039	0.071	0.72	107.70	1098	Traacción diagonal
Prom.:							19385	1976	0.07	0.70	114.25	1154.84	
D.E.:							2183	223	0.01	0.08	23.93	243.96	
C.V.(%):							11.26	11.26	11.25	11.25	20.95	20.95	

donde:

- L_{reg}, L_{car}: Longitud de registro de la deformación en dirección de diagonales principales (horizontal en tracción y vertical en compresión)
 Dm: Diagonal medida en el espécimen, incluido el capping
 A. Corte: Área que resiste Cortante. Representa el área bruta de la diagonal comprimida, calculada según las norma de ensayo / referencia
 P máx: Carga máxima aplicada
 v' m: Resistencia al Esfuerzo Cortante -referido al Área Bruta que resiste cortante-, medida a partir del Ensayo de Compresión Diagonal de un Murete de Albañilería
 Mixta: Falla escalonada a través de las juntas y de tracción diagonal
 G: Módulo de Corte del espécimen (Murete de albañilería)
 Prom.: Resistencia al Esfuerzo Cortante de la Albañilería, calculado como el valor promedio de la Muestra (al menos tres muretes), sin considerar la dispersión de resultados
 D.E.: Desviación estándar de la muestra, expresado en MPa y en kg/cm²
 C.V.: Coeficiente de variación de la muestra, expresado en porcentaje (%)

Este Informe contiene "Resultados de Ensayos", que corresponden y son válidos solamente para los especímenes ensayados; y no deben ser utilizados como una "Certificación de Conformidad" con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que los produce.

Este Informe consta de veintinueve (29) páginas en total, incluyendo una (1) carátula y veinticuatro (24) registros gráficos locales Carga (KN) -vs- Desplazamiento Local (mm) de los ensayos de Compresión Axial y Compresión Diagonal realizados.
 Se prohíbe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP



**LABORATORIO DE
ESTRUCTURAS
ANTISÍSMICAS**



PUCP

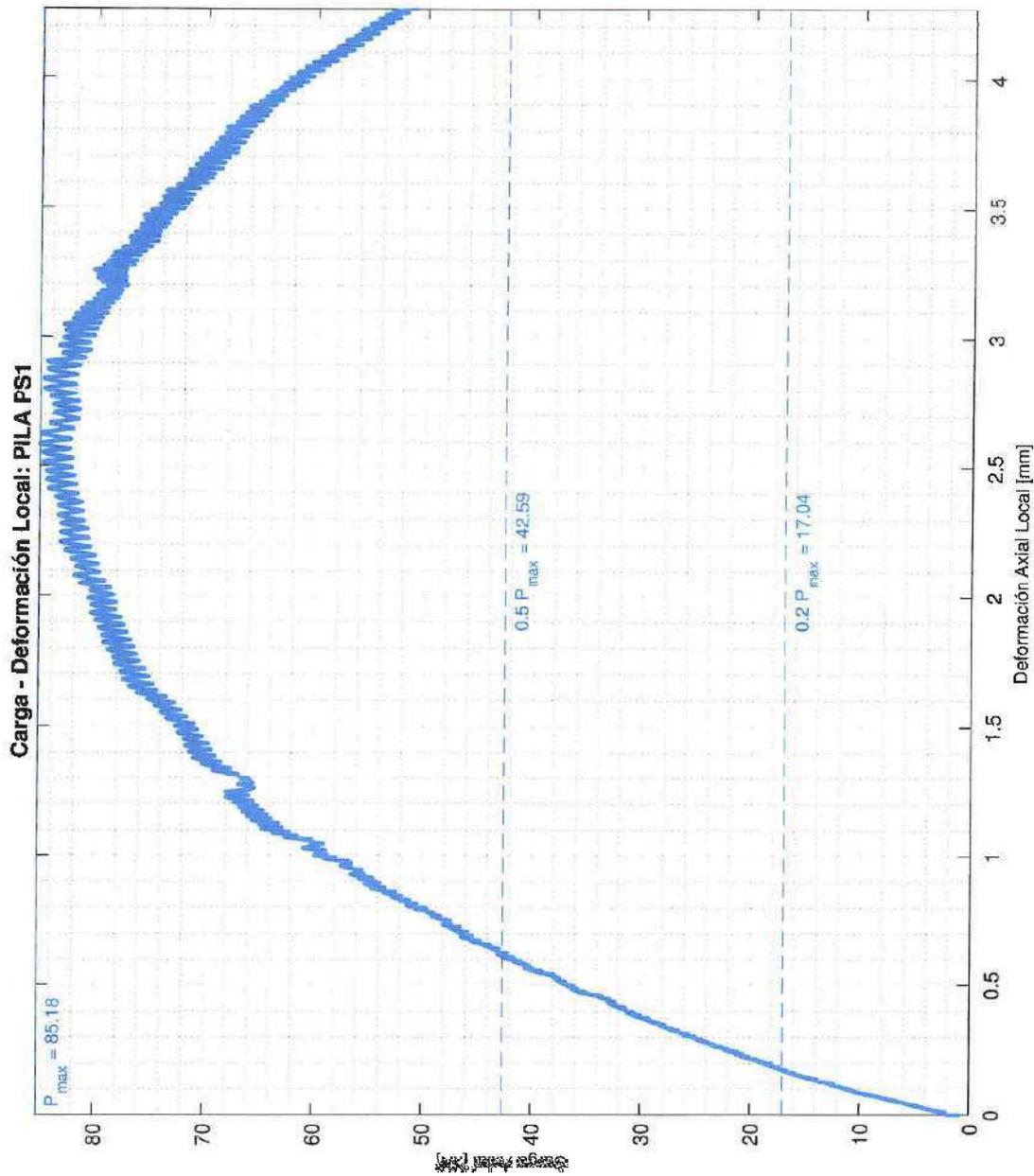
Notas: Los especímenes han sido elaborados en las instalaciones del Laboratorio de Estructuras, con personal, materiales y especificaciones del cliente.
El ensayo de Compresión Diagonal se realizó en el Laboratorio de Estructuras - PUCP.
Los ensayos de compresión se realizaron usando una celda de carga calibrada contra celda de carga Patrón, trazable internacionalmente.
El tipo de falla fue determinado por el cliente.

Este informe contiene "Resultados de Ensayos", que corresponden y son válidos solamente para los especímenes ensayados; y no deben ser utilizados como una "Certificación de Conformidad" con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que los produce.

Este Informe consta de veintinueve (29) páginas en total, incluyendo una (1) carátula y veinticuatro (24) registros gráficos locales Carga (KN) -vs- Desplazamiento Local (mm) de los ensayos de Compresión Axial y Compresión Diagonal realizados.

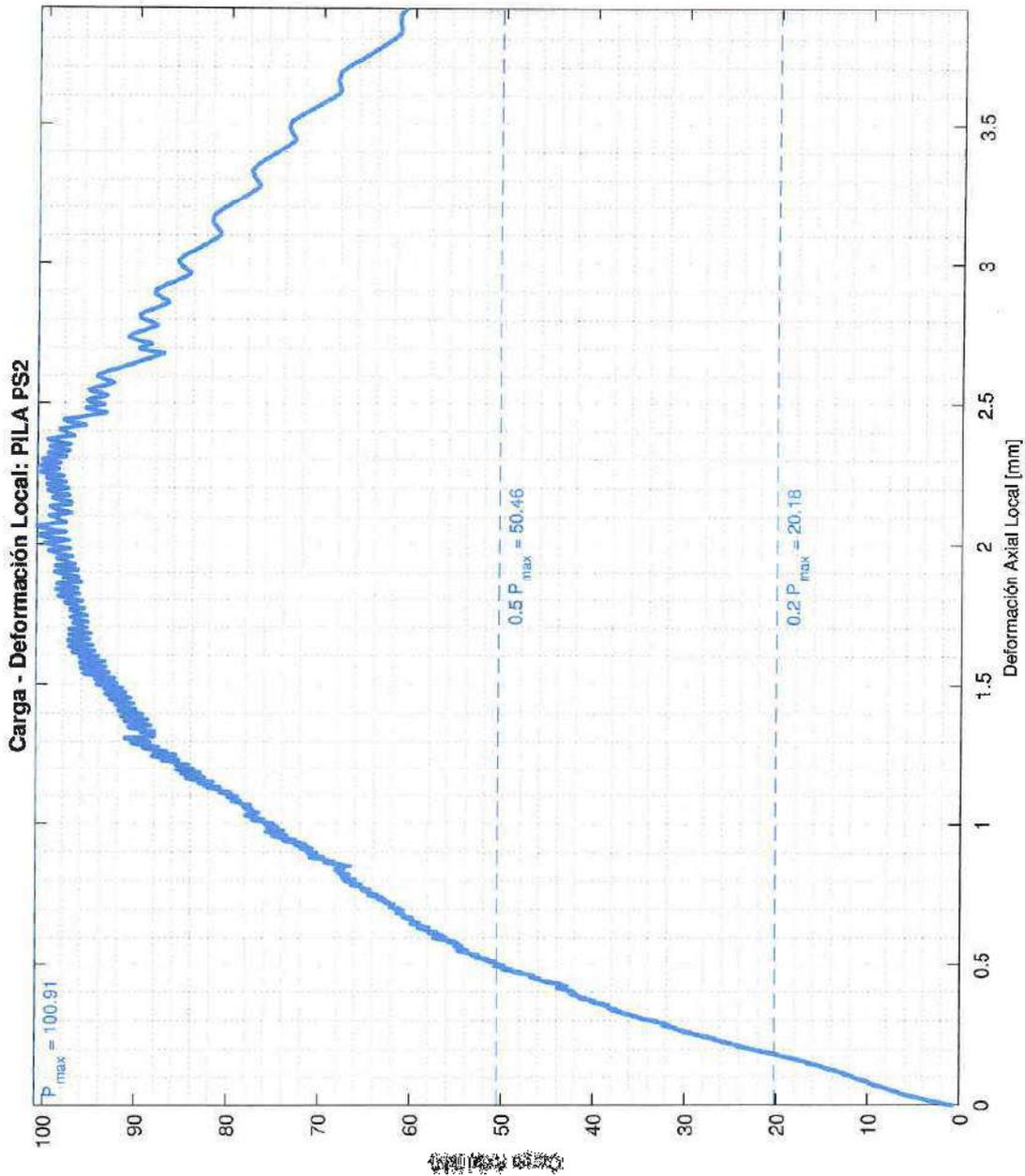
Se prohíbe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP





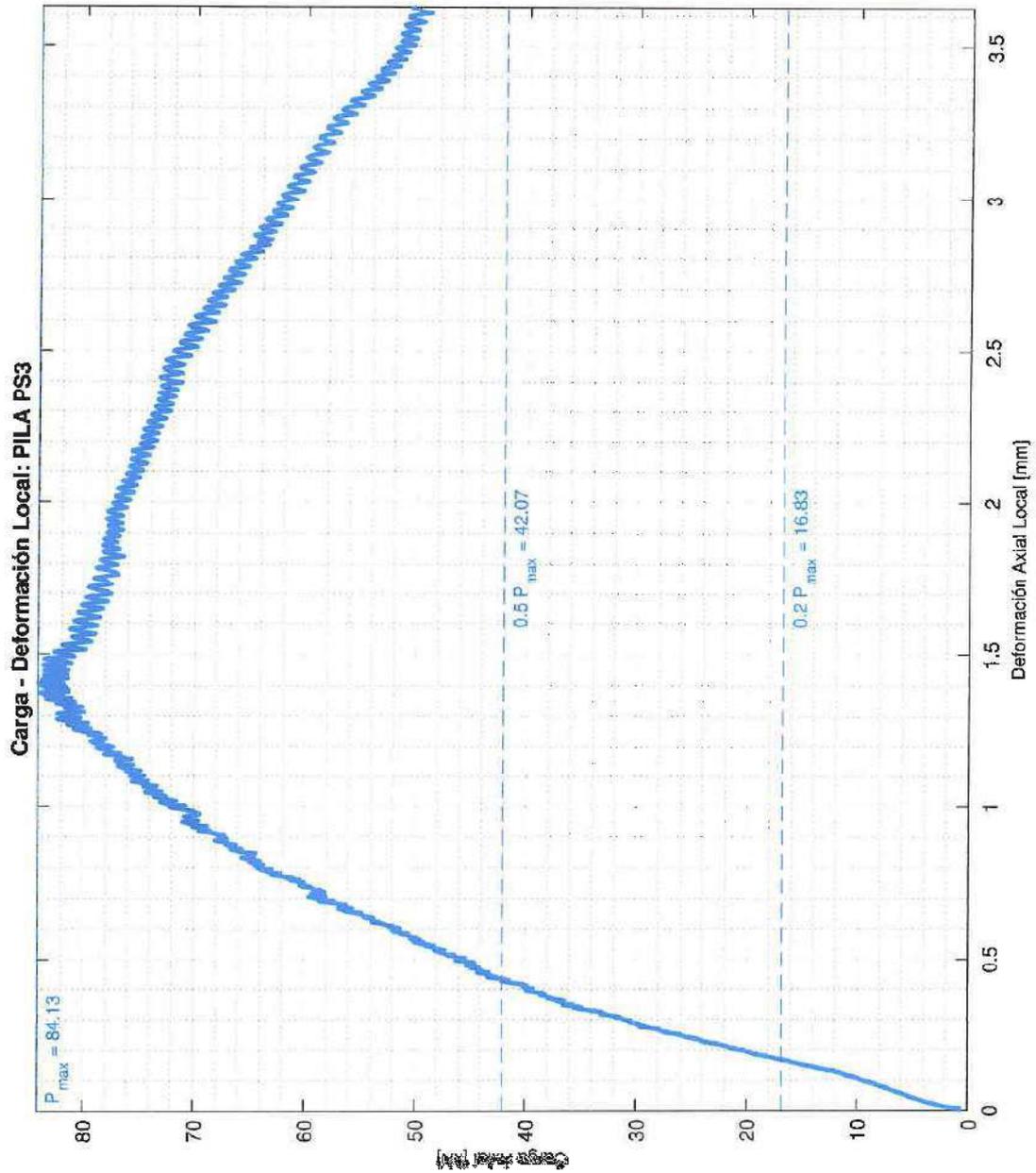
Ensayo de Resistencia a la Compresión





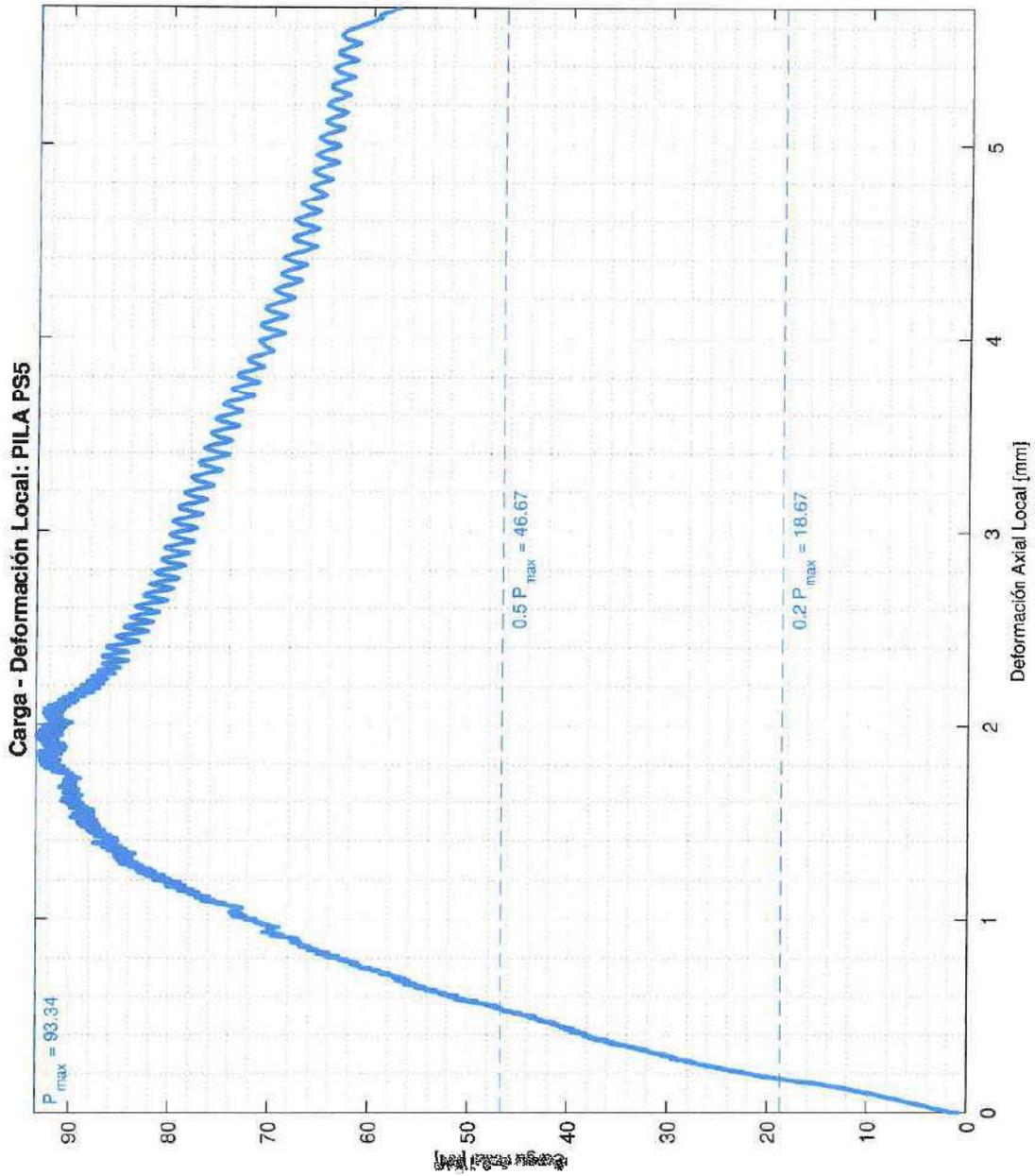
Ensayo de Resistencia a la Compresión

0.11



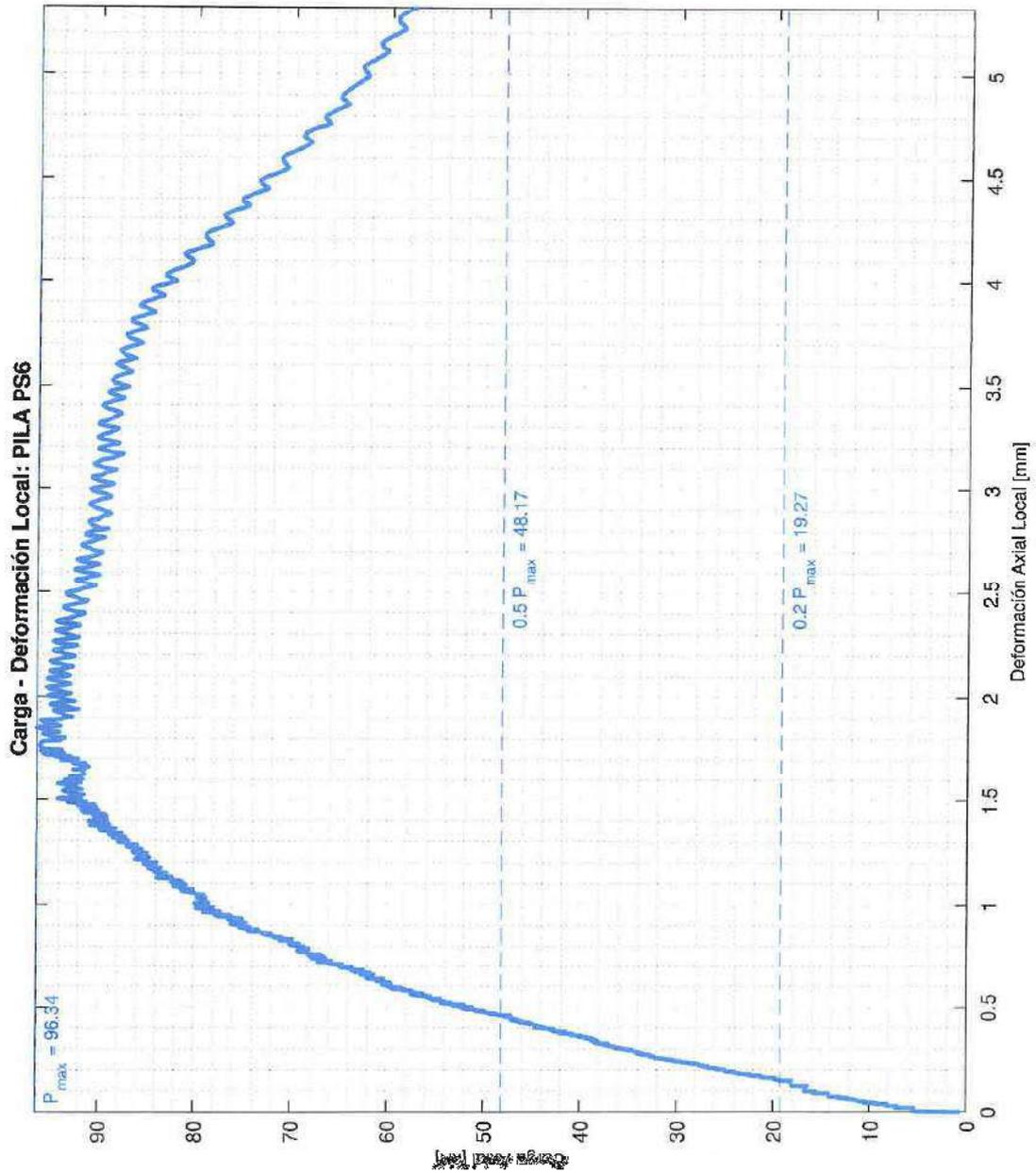
Ensayo de Resistencia a la Compresión





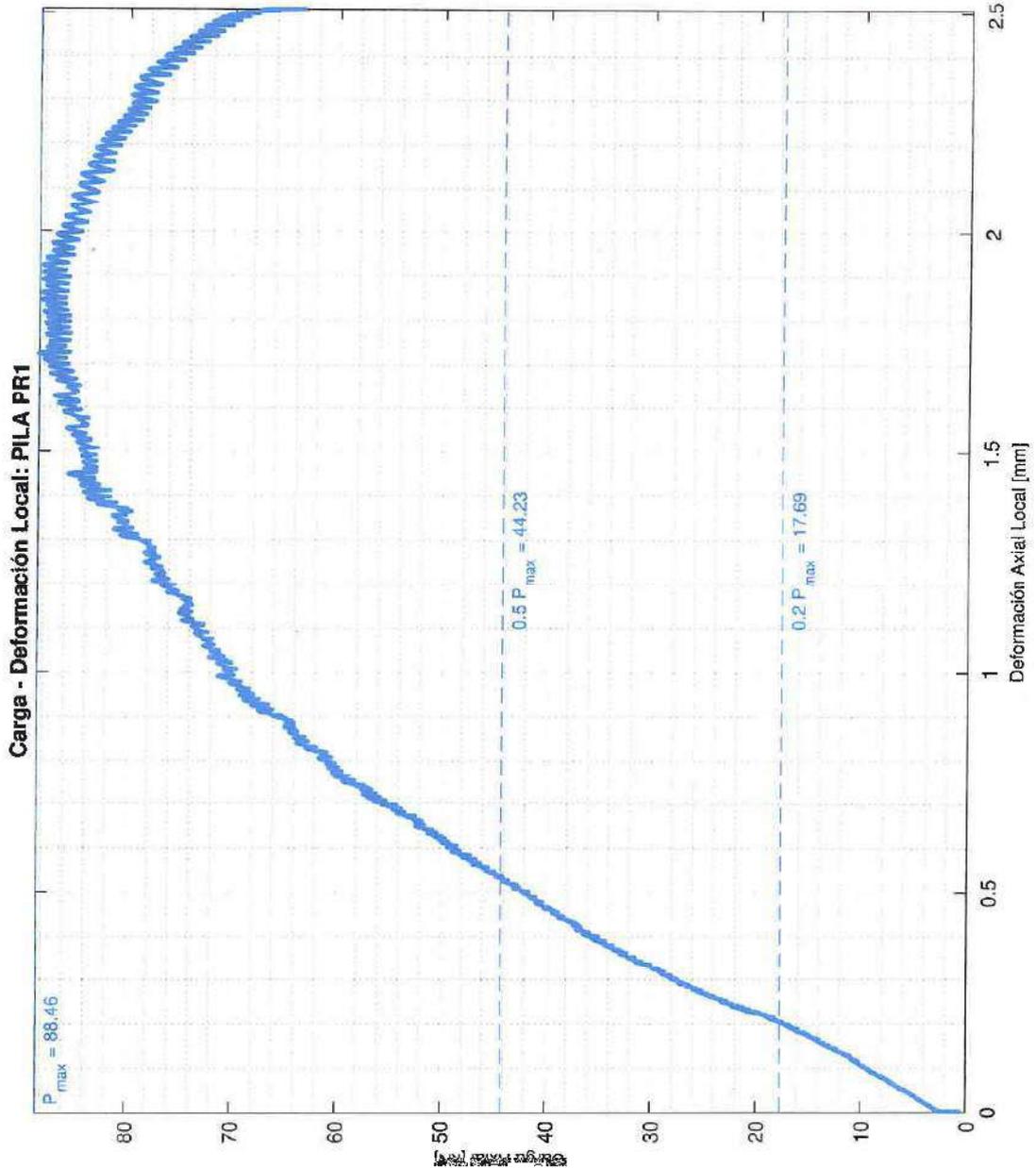
Ensayo de Resistencia a la Compresión





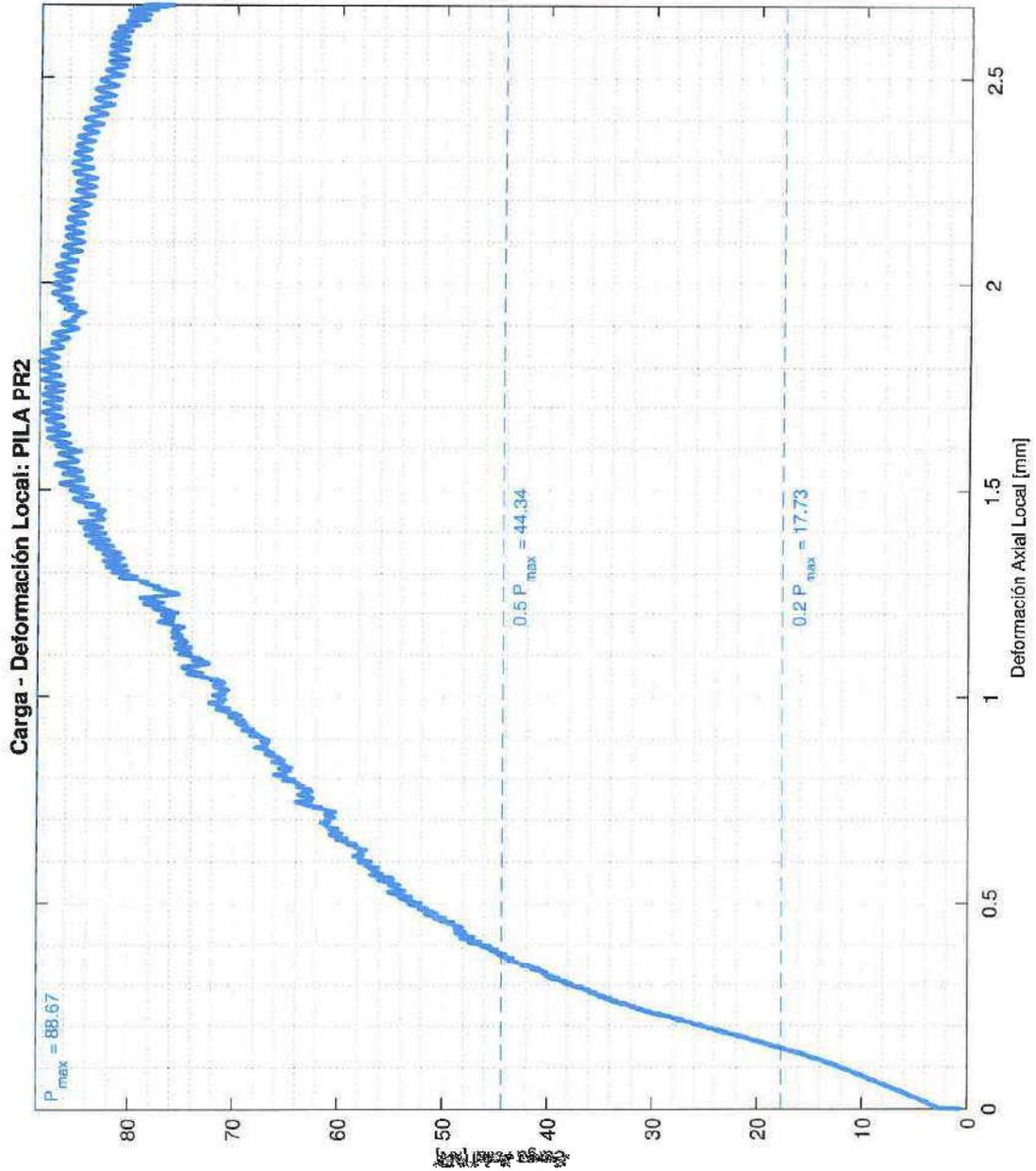
Ensayo de Resistencia a la Compresión





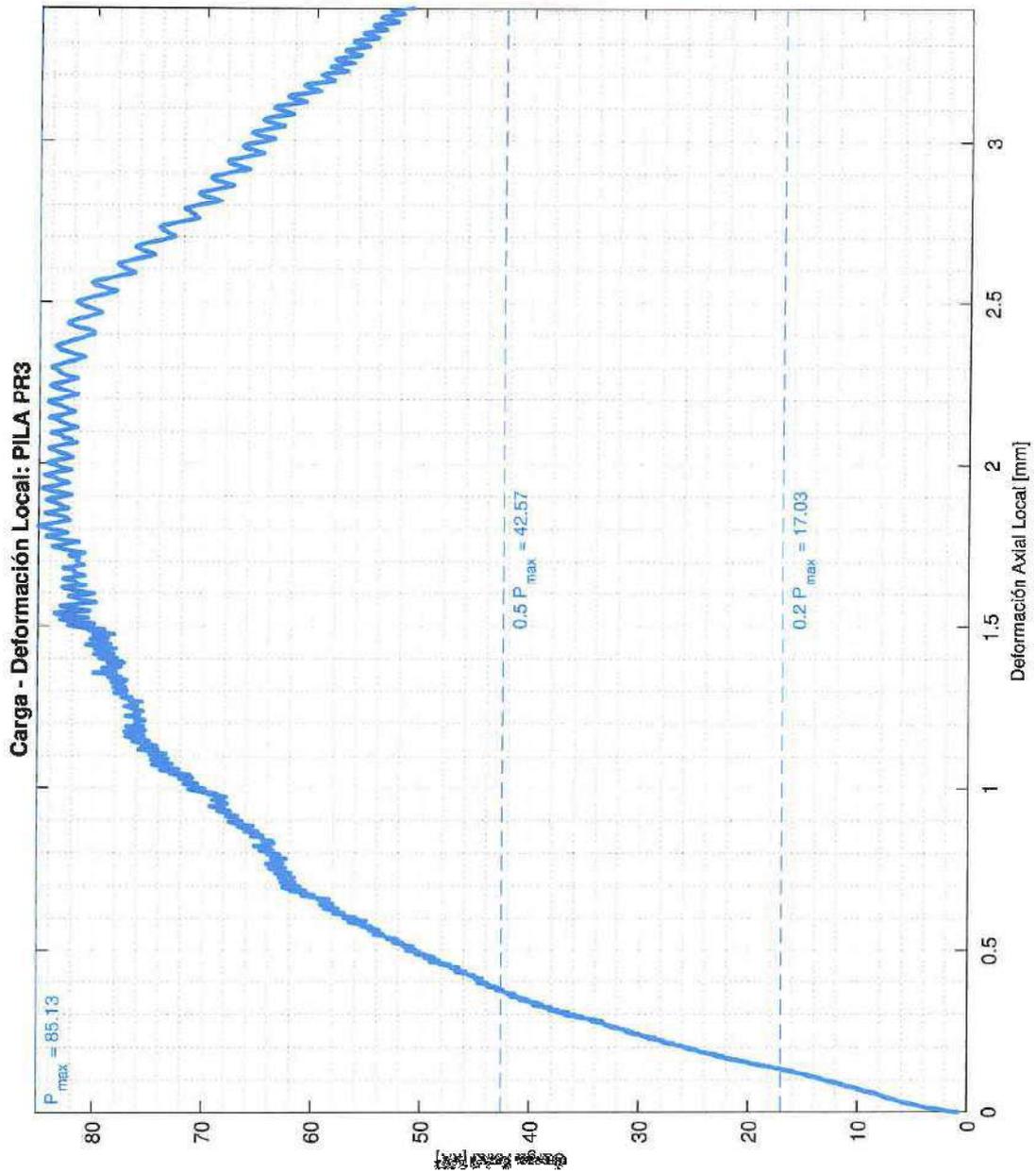
Ensayo de Resistencia a la Compresión





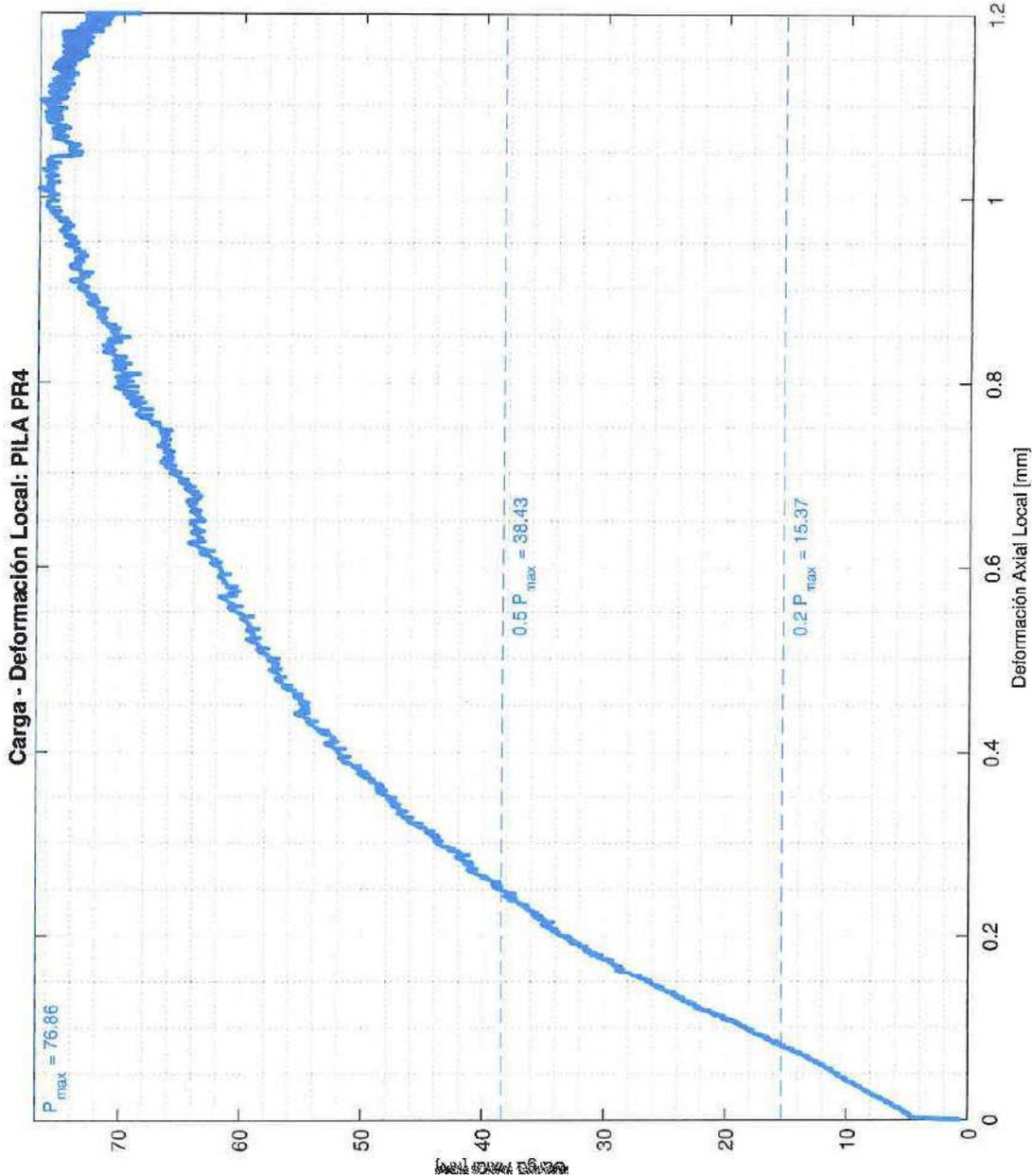
Ensayo de Resistencia a la Compresión





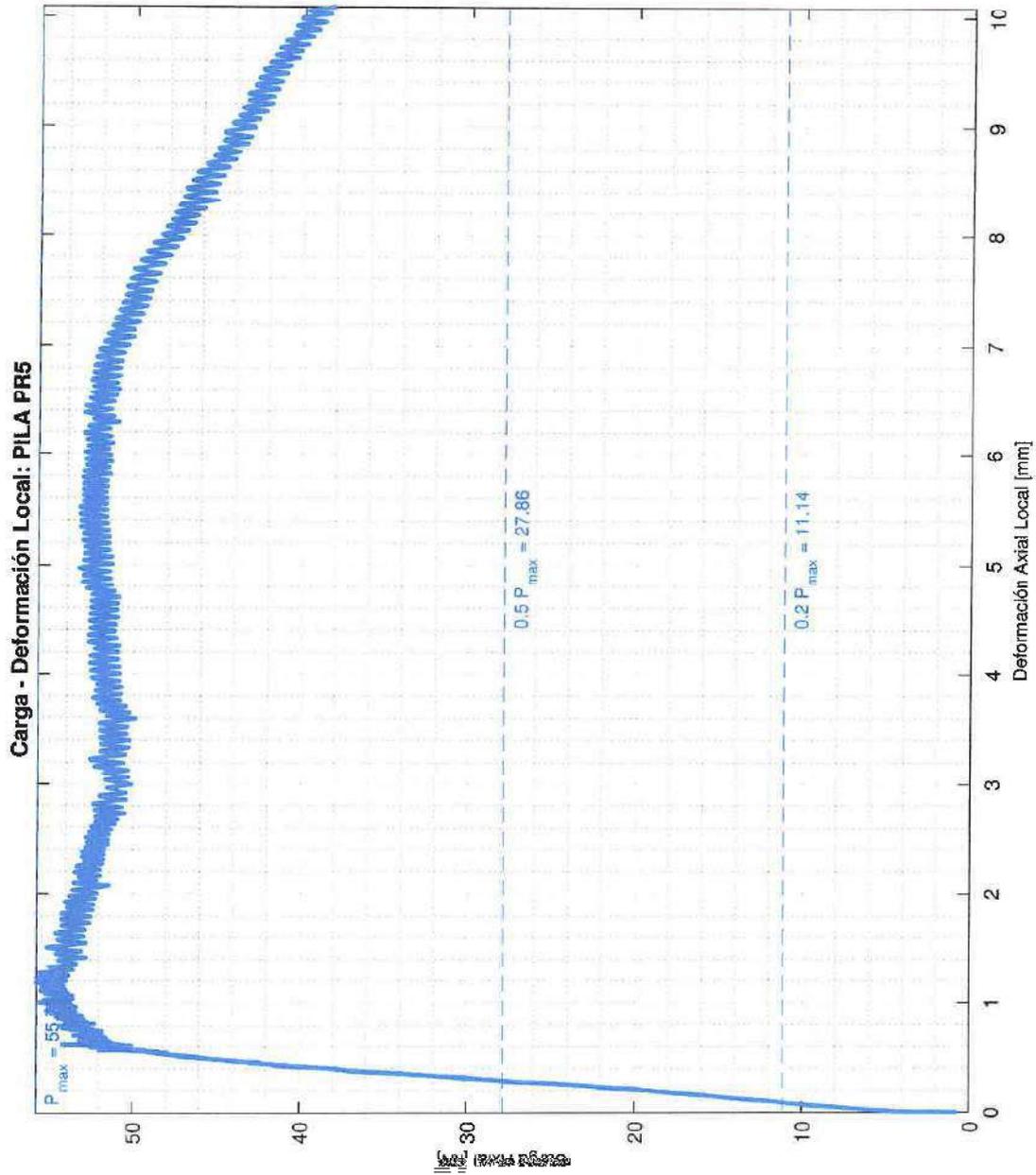
Ensayo de Resistencia a la Compresión



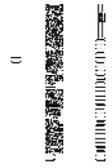


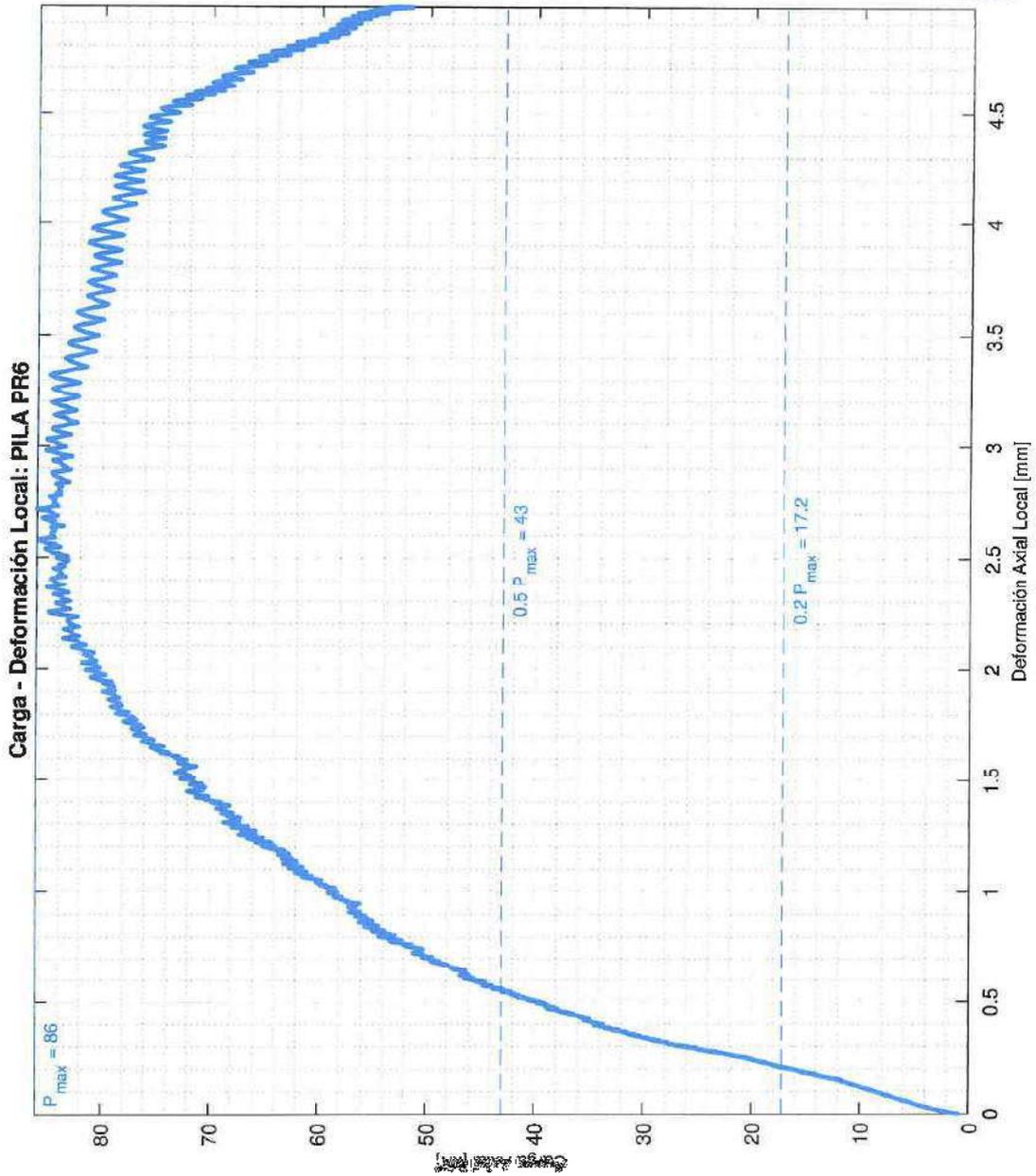
Ensayo de Resistencia a la Compresión





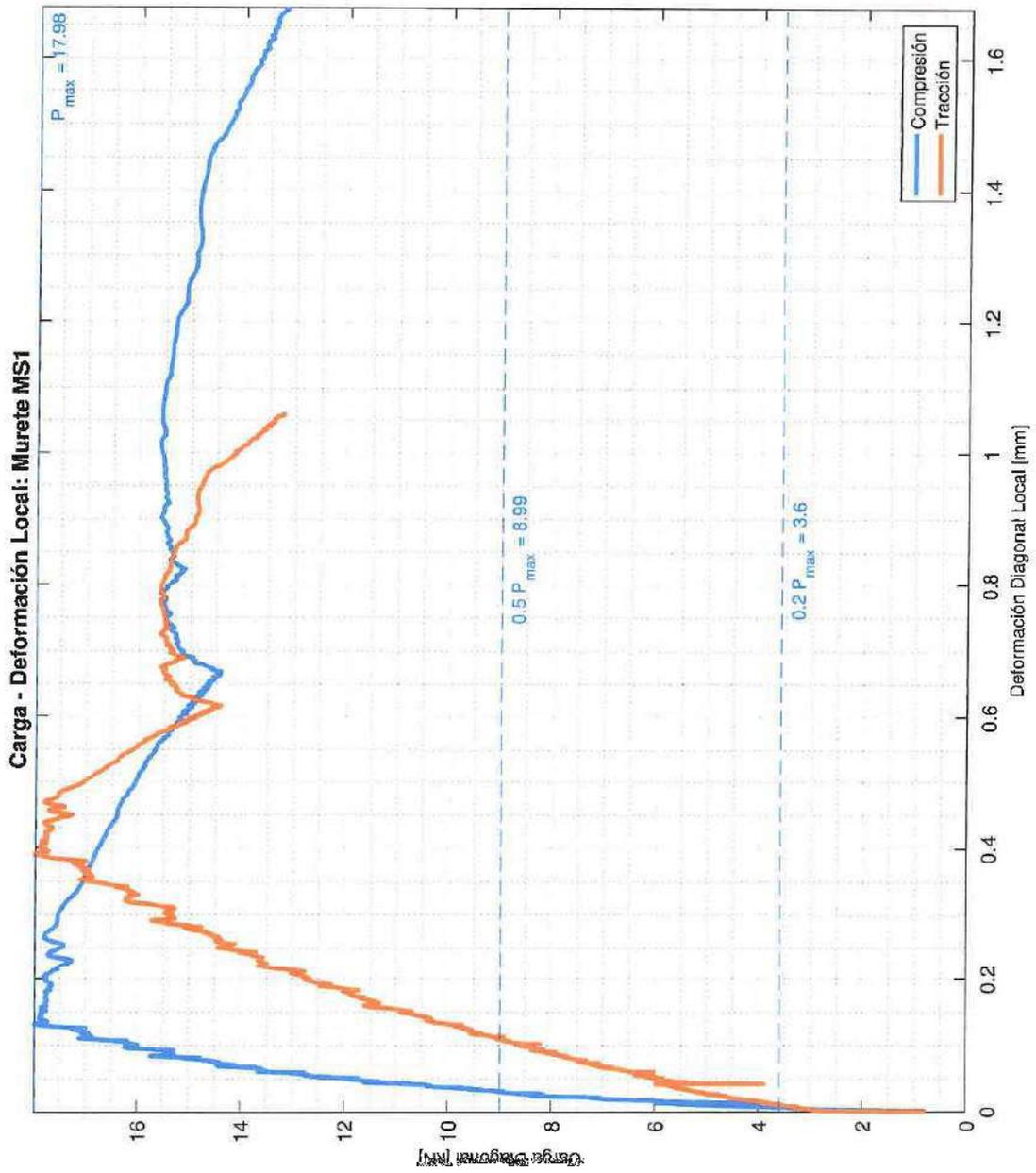
Ensayo de Resistencia a la Compresión





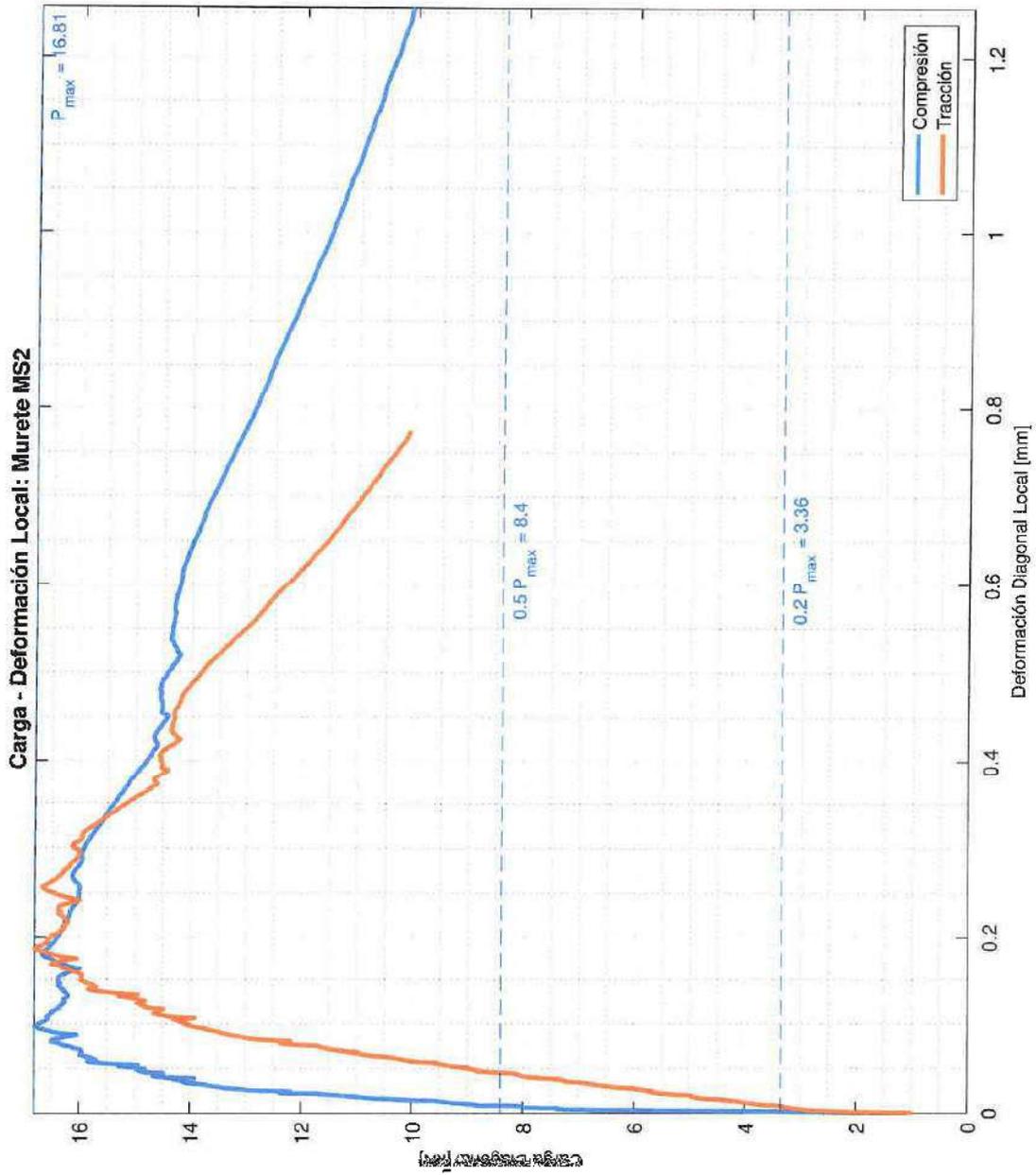
Ensayo de Resistencia a la Compresión

0 10 20 30 40 50 60 70 80



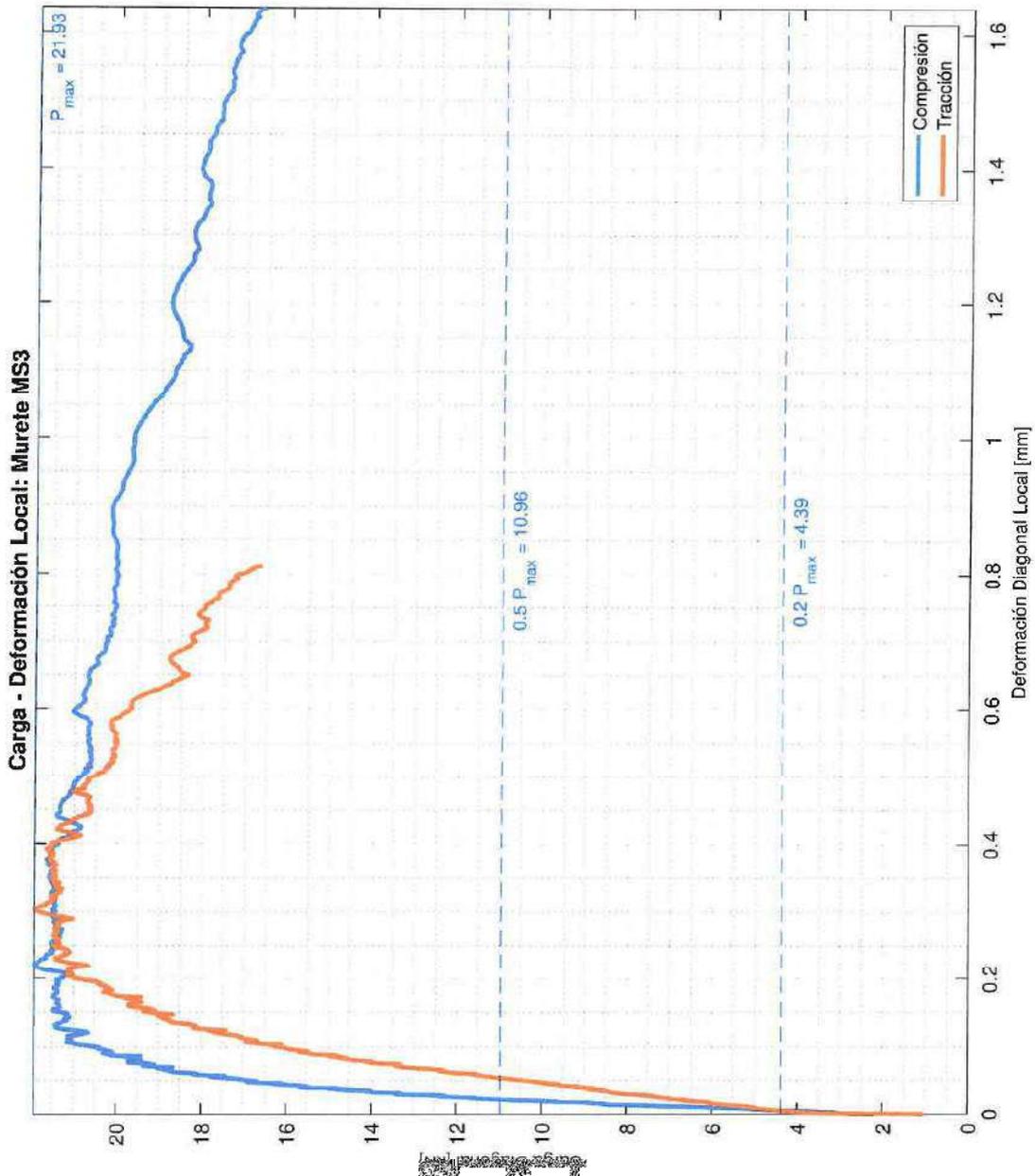
Ensayo de Resistencia a la Compresión

MS1



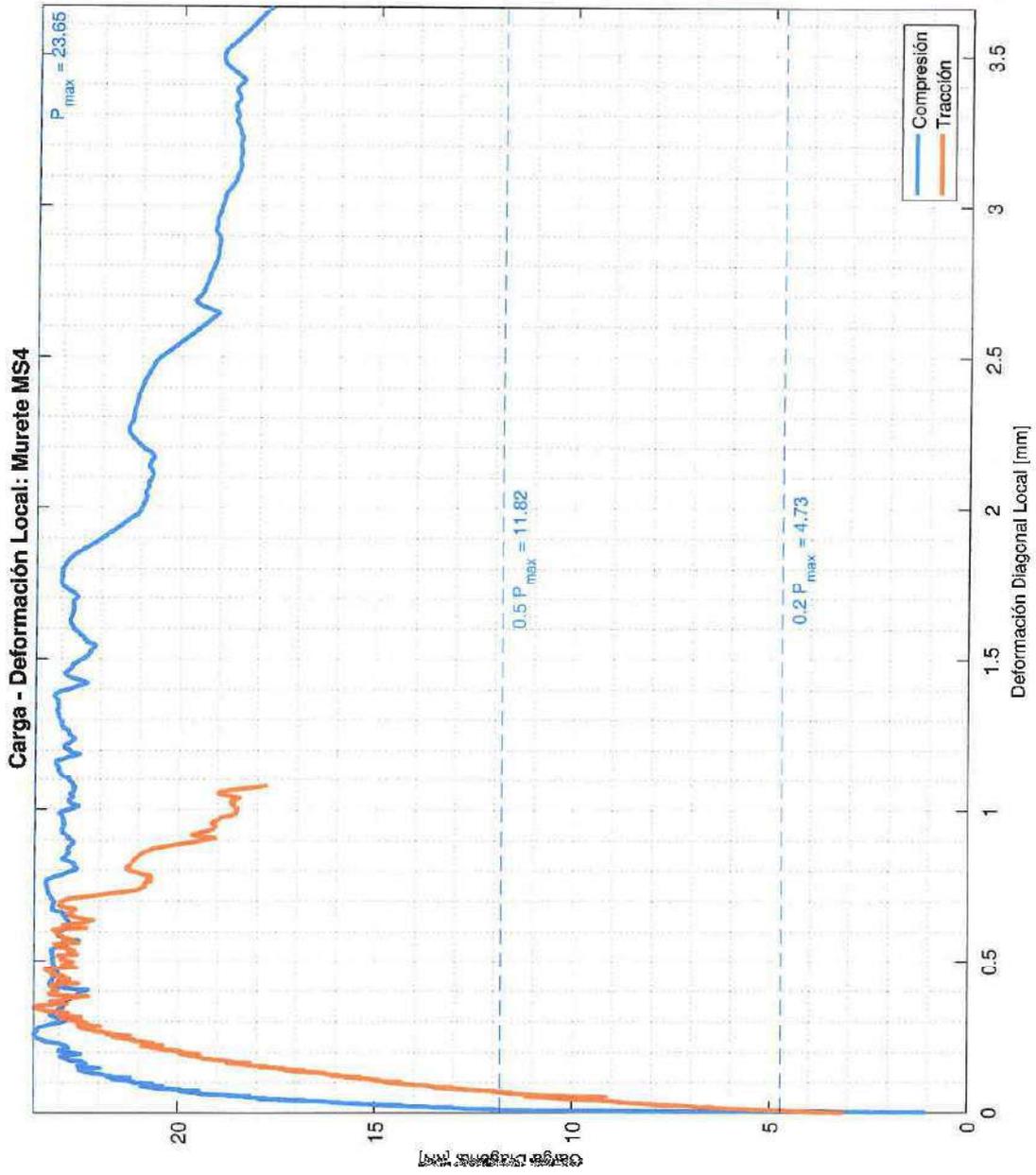
Ensayo de Resistencia a la Compresión



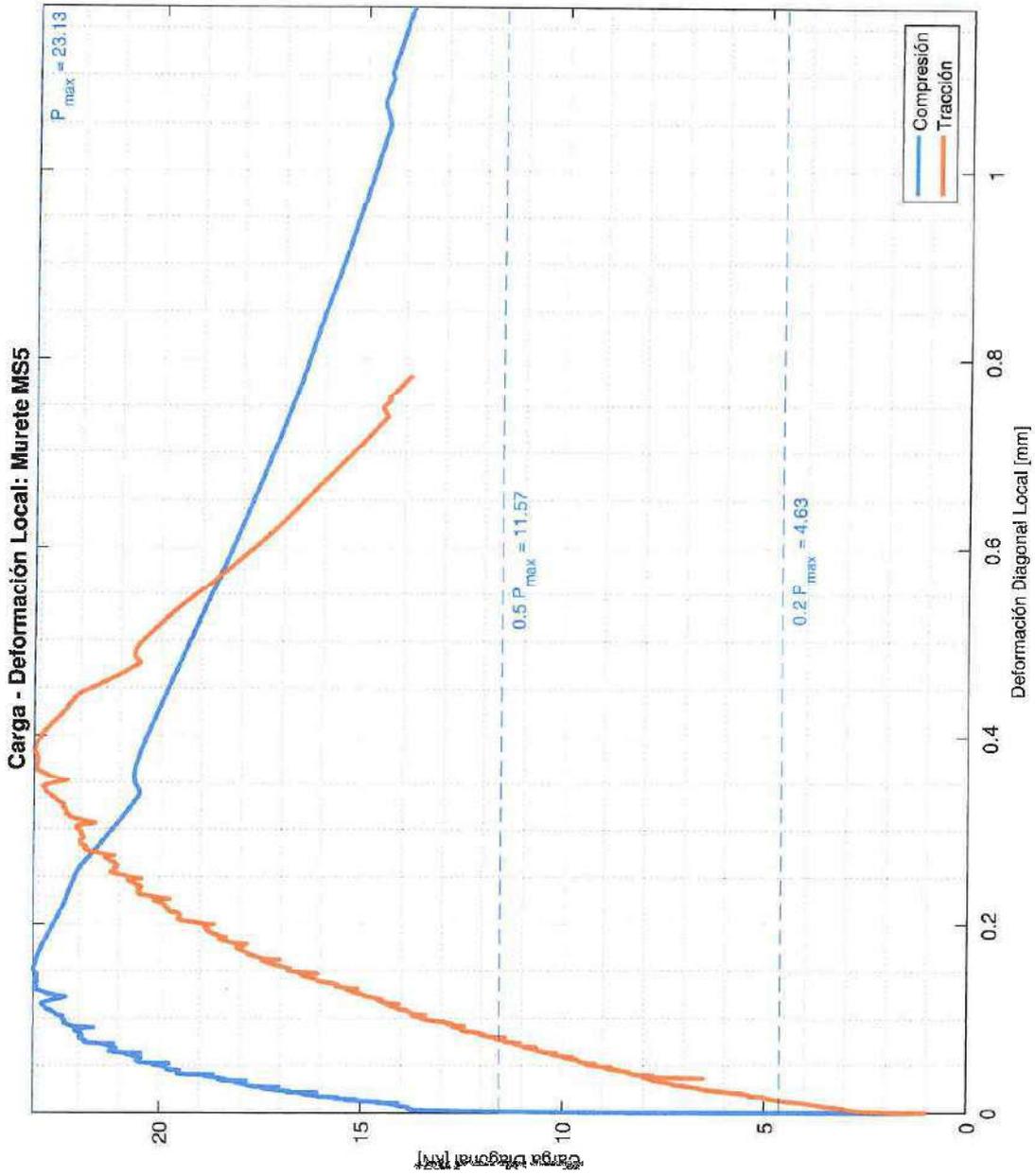


Ensayo de Resistencia a la Compresión



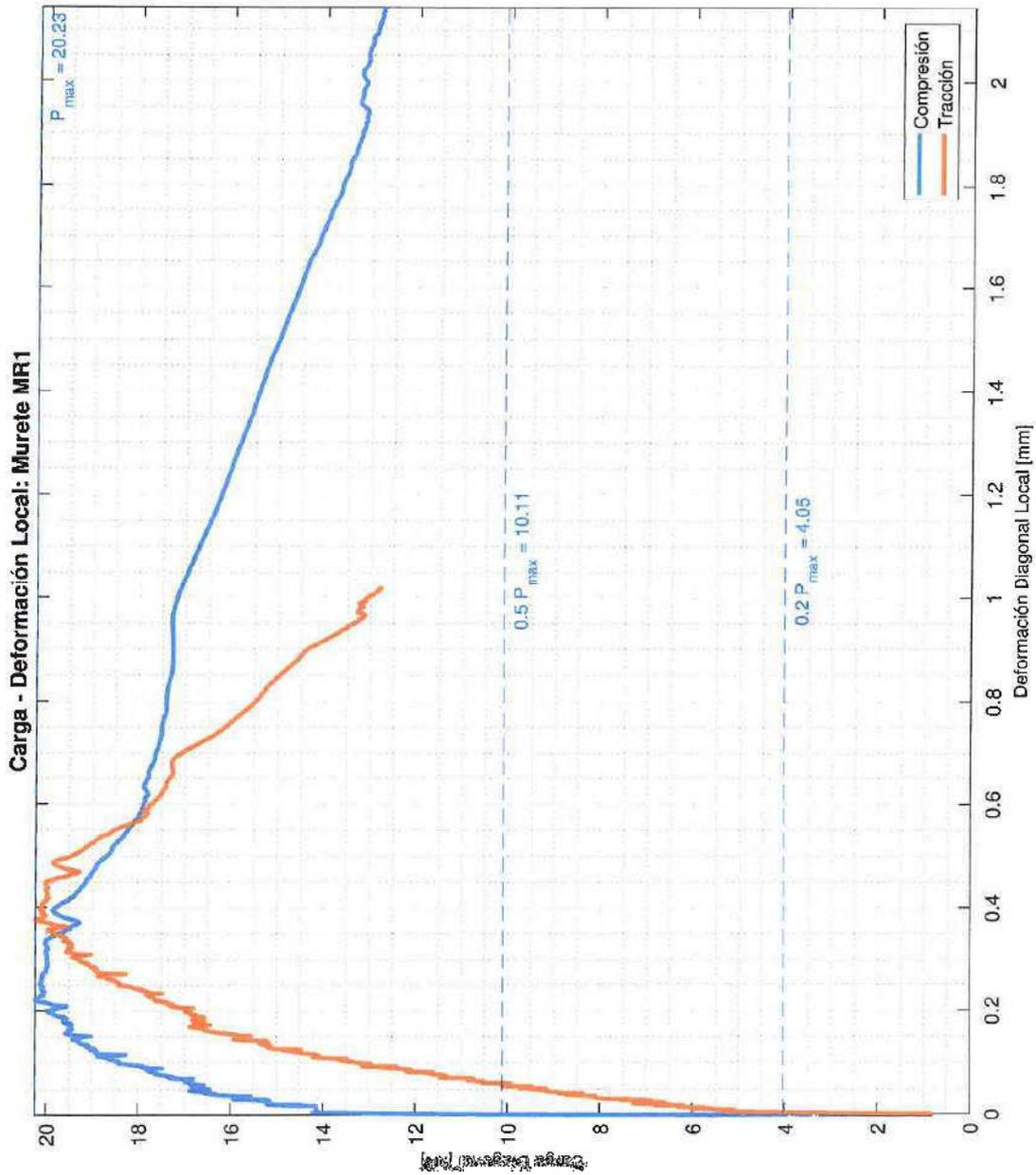


Ensayo de Resistencia a la Compresión



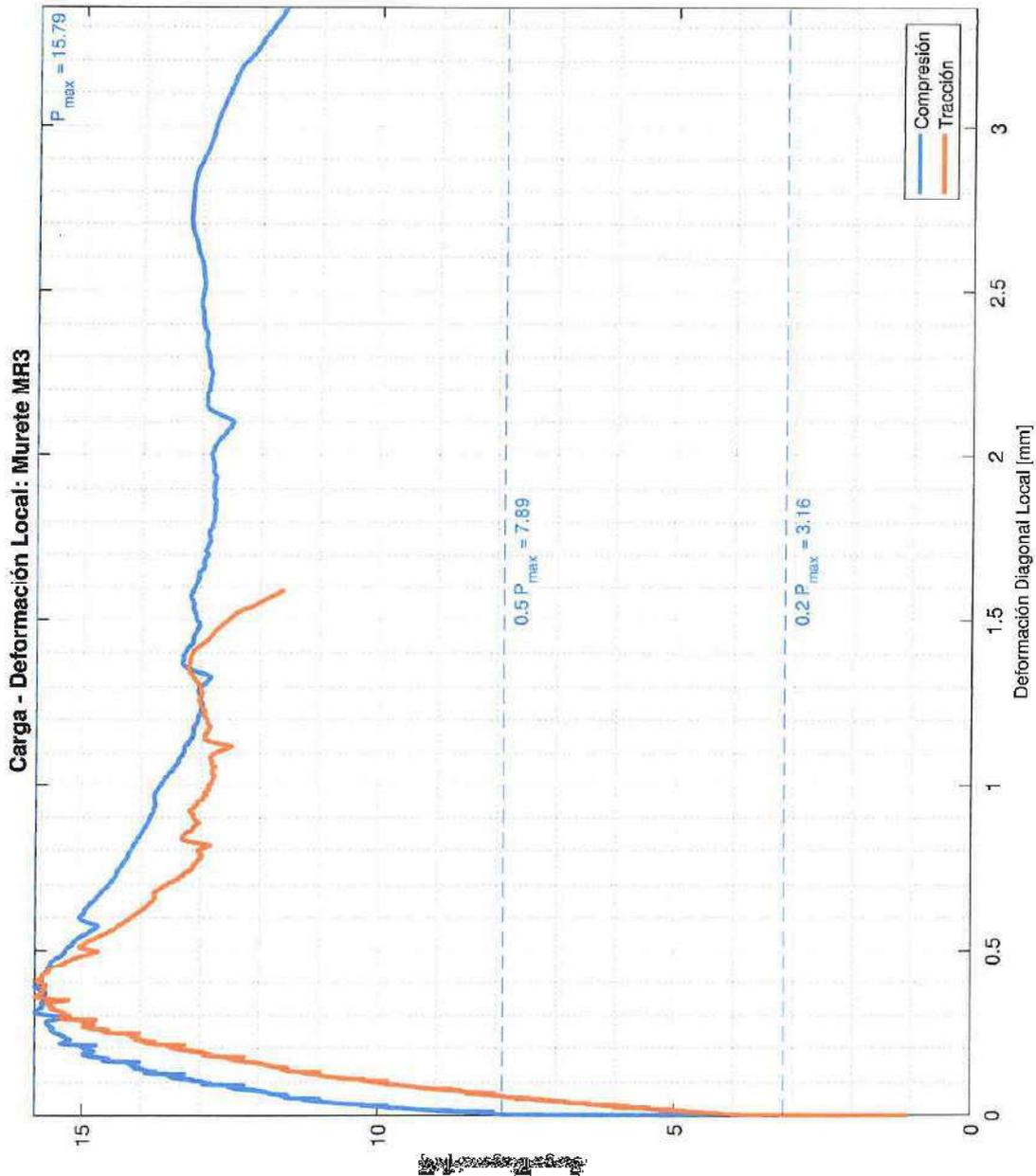
Ensayo de Resistencia a la Compresión





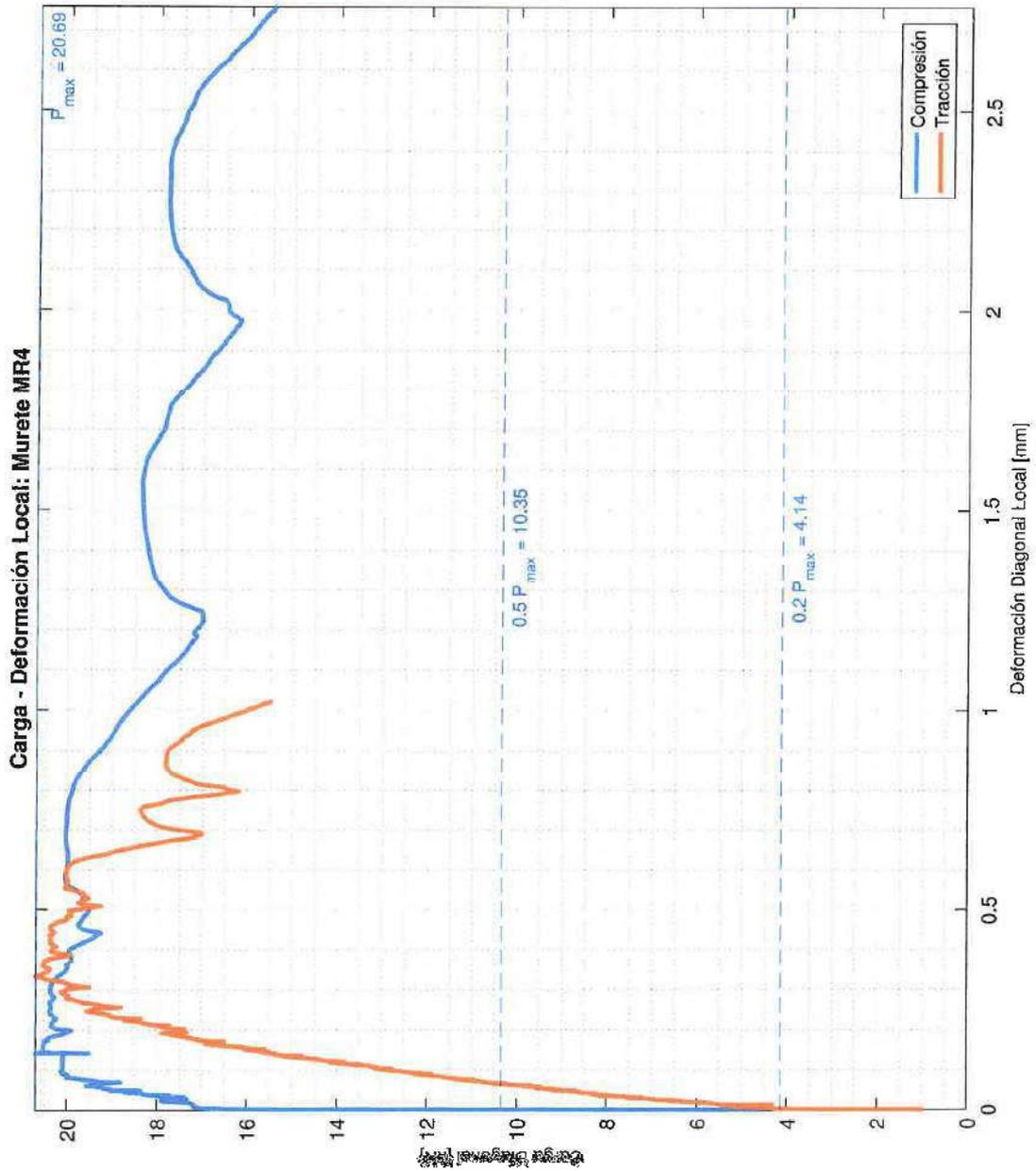
Ensayo de Resistencia a la Compresión





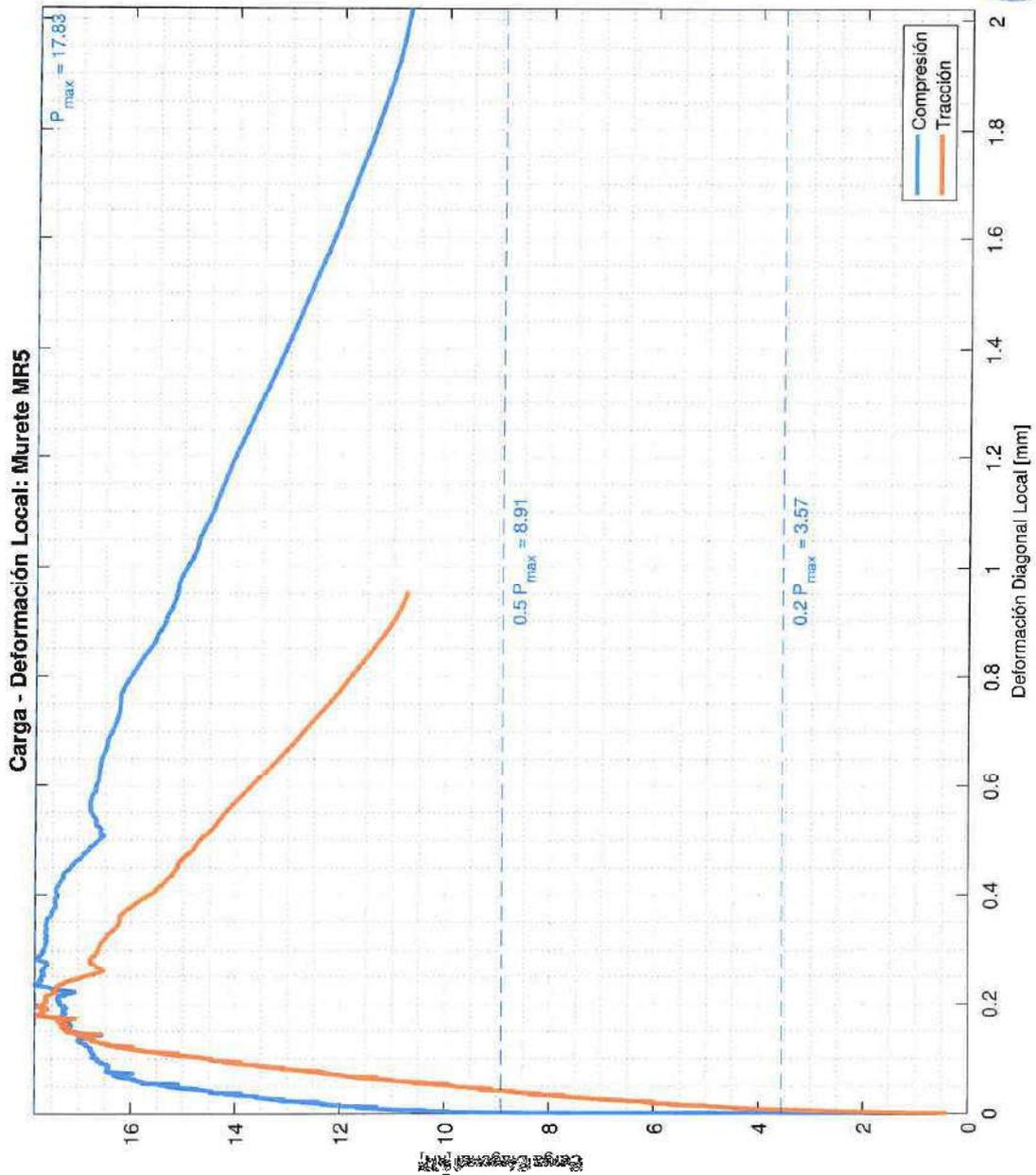
Ensayo de Resistencia a la Compresión





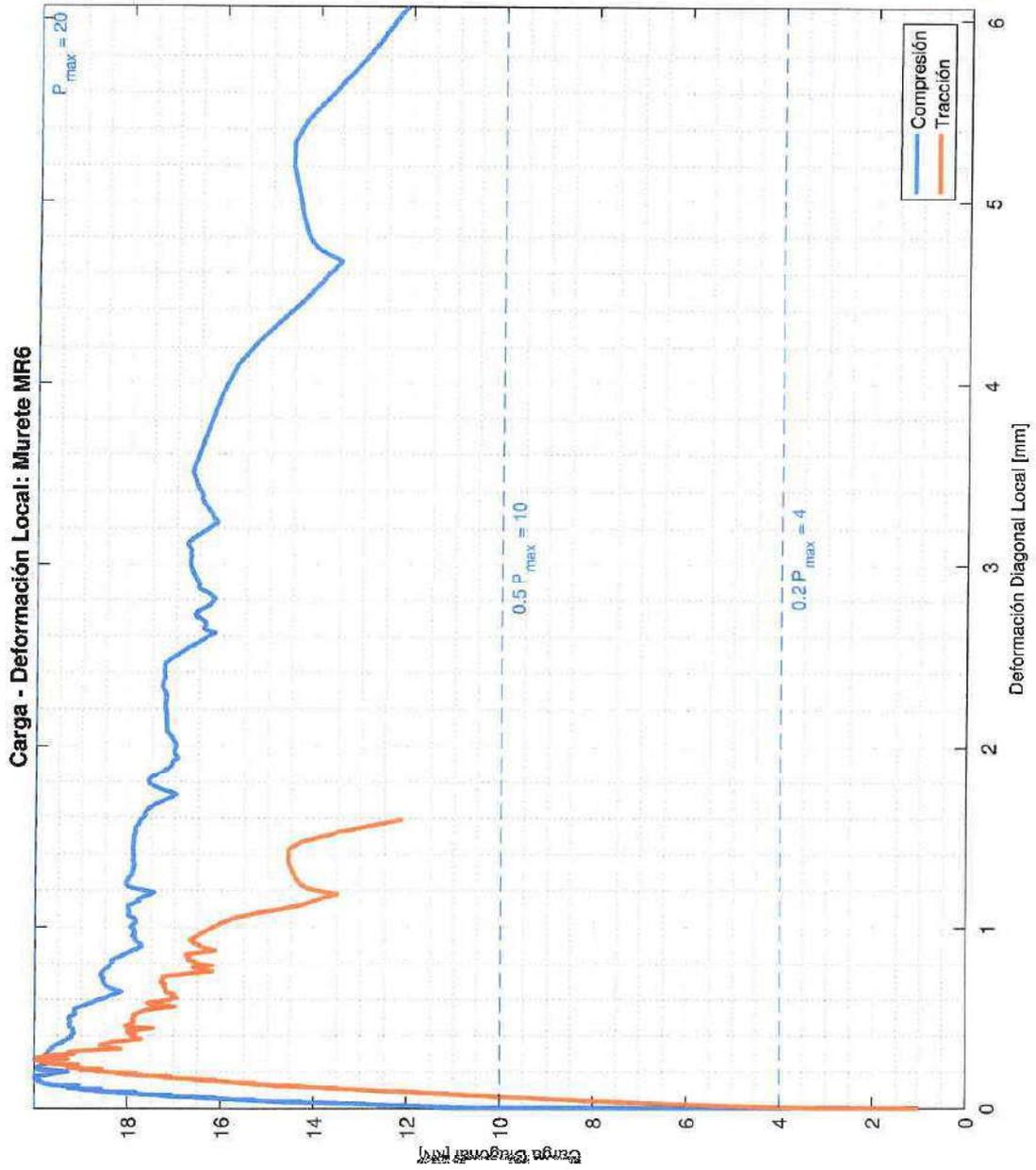
Ensayo de Resistencia a la Compresión





Ensayo de Resistencia a la Compresión





Ensayo de Resistencia a la Compresión



FICHAS DE PRESUPUESTO CON SU ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Ficha 4. Análisis de precios unitarios y presupuesto del bloque de adobe sin refuerzo

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0102010 ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE BLOQUES DE ADOBE ADICIONADO CON ARUNDO DONAX. LIMA, 2019.

Subpresupuesto 001 BLOQUE DE ADOBE SIN REFUERZO Fecha presupuesto 29/06/2021

Partida	01.01	BLOQUE DE ADOBE SIN REFUERZO DE 37 cm x 25 cm x 12 cm				
Rendimiento	Und./día	MO. 135,0000	EQ. 135,0000	Costo unitario directo por : Und.		1,000
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
010101003	Operario	hh	1,0000	0,059259	9,000	0,533
	0,533					
	Materiales					
0207050001	Tierra	m ³		0,012844	21,600	0,277
02090130021	Agua	m ³		0,001284	2,400	0,003
020705003	Paja	m ³		0,002569	62,000	0,159
	0,440					
	Equipos					
0301010006	Herramientas manuales	% MO		5,0000	0,533	0,027
	0,027					

Table 1

Year	1990	1995	2000	2005	2010
...
...
...

Ficha 5. Análisis de precios unitarios y presupuesto del bloque de adobe reforzado con fibras diagonales de Arundo Donax

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	0102010 ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE BLOQUES DE ADOBE ADICIONADO CON ARUNDO DONAX. LIMA, 2019.					
Subpresupuesto	002 BLOQUE DE ADOBE REFORZADO CON FIBRAS DIAGONALES DE ARUNDO DONAX				Fecha presupuesto	29/06/2021
Partida	01.02	BLOQUE DE ADOBE REFORZADO CON FIBRAS DIAGONALES DE 37 cm x 25 cm x 12 cm				
Rendimiento	Und./día	MO. 110,0000	EQ. 110,0000	Costo unitario directo por : Und.		1,527
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio SI.	Parcial SI.
Mano de Obra						
010101003	Operario	hh	1,0000	0,072727	9,000	0,655
0,655						
Materiales						
0207050001	Tierra	m ³		0,012844	21,600	0,277
02090130021	Agua	m ³		0,001284	2,400	0,003
020705003	Paja	m ³		0,002569	62,000	0,159
0207050004	Fibras diagonales de Arundo Donax	Und.		4,000000	0,100	0,400
0,840						
Equipos						
0301010006	Herramientas manuales	% MO		5,0000	0,655	0,033
0,033						

Presupuesto

Presupuesto **0102010** ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE BLOQUES DE ADOBE ADICIONADO CON ARUNDO DONAX. LIMA, 2019.
 Subpresupuesto **002** BLOQUE DE ADOBE REFORZADO CON FIBRAS DIAGONALES DE ARUNDO DONAX Costo al: **29/06/2021**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	BLOQUE DE ADOBE REFORZADO CON FIBRAS DIAGONALES DE ARUNDO DONAX				1,53
01.02	BLOQUE DE ADOBE REFORZADO CON FIBRAS DIAGONALES DE 37 cm x 25 cm x 12 cm	Und.	1,00	1,53	1,53
	TOTAL PRESUPUESTO				1,53

SON: UNO CON 53/100 SOLES