

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



PROGRAMA DE MAESTRÍA

MENCIÓN INGENIERÍA CIVIL

TESIS

Comparación de resistencia a inundación de muros de adobe  
con diferentes sistemas de protección.

**Para optar el Grado Académico de**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presentada por:

**ULISES ISAAC SALDAÑA ALVARADO,**

Asesor:

**M.Cs. Ing. JOSÉ LUIS MARCHENA ARAUJO.**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2018**

COPYRIGHT © 2018 by  
**ULISES ISAAC SALDAÑA ALVARADO.**  
Todos los derechos reservados.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

TESIS APROBADA:

Comparación de resistencia a inundación de muros de adobe con diferentes sistemas de protección.

**Para optar el Grado Académico de**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presentada por:

**ULISES ISAAC SALDAÑA ALVARADO**

**Comité Científico**

M.Cs. José Luis Marchena Araujo  
Asesor

Dr. Miguel Mosqueira Moreno  
Miembro de Comité Científico

M.Cs. Simón Horna Pereira  
Miembro de Comité Científico

M.Cs. Mauro Centurión Vargas  
Miembro de Comité Científico

Cajamarca - Perú

2018



# Universidad Nacional de Cajamarca

## Escuela de Posgrado

### PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

#### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 de la mañana del día 11 de octubre de Dos Mil Dieciocho, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO**, como Miembro del Jurado Evaluador, **M.Cs. JOSÉ MARCHENA ARAUJO** en calidad de Asesor, **M.Cs. SIMÓN HORNA PEREIRA**, **M.Cs. MAURO CENTURIÓN VARGAS**, como integrantes del Jurado Evaluador. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A INUNDACIÓN DE MUROS DE ADOBE CON DIFERENTES SISTEMAS DE PROTECCIÓN”**, presentada por el **Bach. en Ingeniería Civil ULISES ISAAC SALDAÑA ALVARADO**, con la finalidad de optar el Grado Académico de **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **INGENIERÍA CIVIL**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR.....con la calificación de DIECIOCHO.....la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Ingeniería Civil ULISES ISAAC SALDAÑA ALVARADO**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **INGENIERÍA CIVIL**.

Siendo las 12:50 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

  
.....  
**Dr. Miguel Mosqueira Moreno**  
**Miembro de Jurado Evaluador**

  
.....  
**M.Cs. José Marchena Araujo**  
**Asesor**

  
.....  
**M.Cs. Simón Horna Pereira**  
**Miembro de Jurado Evaluador**

  
.....  
**M.Cs. Mauro Centurión Vargas**  
**Miembro de Jurado Evaluador**

## DEDICATORIA

*El presente trabajo, está dedicado con todo mi amor y cariño a:*

- *Mis padres: **Alfonso y Ermila**, por haberme formado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros, incluido este, se los debo a ellos. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas me motivaron constantemente a poner corazón, mente y trabajo para alcanzar mis anhelos.*
- *Mis hermanos: **Mirtha, Sonia y Percy**, quiénes con sus palabras de aliento, no me dejaron caer en el desánimo para lograr el propósito trazado, a ser siempre original, perseverante y cumplir con mis ideales.*
- *Mis sobrinas: **Erika y Lupita**, porque se convirtieron en mis ayudantes durante la realización de mis experimentos, pues con sus pequeñas manos, colaboraron en este proceso y fueron fuente de motivación para que, en algún momento se les pueda brindar una expectativa profesional.*

***Ulises Isaac.***

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi gratitud a Dios y a la Virgen María, quiénes con su bendición facilitan mi día a día.*

*Mi profundo agradecimiento a mis obreros y colaboradores: Julián Dilas, Merardo Sangay, Presentación Sangay, Marco Huamán, Walter Bautista, Teresa Huaccha, Santos Terán, William Sánchez, entre otros, pues gracias a ellos se pudieron concretar las distintas etapas de esta investigación.*

*A mi amigo: Ing. Jorge Luis Cuenca Cabrera, porque sin su ayuda y entusiasmo, por querer aprender algo de Ingeniería Civil, se convirtió en mi brazo derecho, y se pudo cumplir el objetivo.*

*Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al M. Cs. Ing. José Luis Marchena Araujo, asesor del presente trabajo, quién colaboró durante todo este proceso y bajo su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió la culminación del mismo.*

*Muy agradecido.*

*El científico no tiene por objeto un resultado inmediato. Él no espera que sus ideas avanzadas sean fácilmente aceptadas. Su deber es sentar las bases para aquellos que están por venir y señalar el camino.*

**- Nikola Tesla.**

## ÍNDICE

Índice	i
Índice de Tablas	v
Índice de Figuras	viii
Índice de Fórmulas	xv
Lista de abreviaturas y siglas usadas	xvi
Glosario o definición de términos	xvii
Resumen	xviii
Abstract	xix
CAPITULO I - INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Contextualización.	1
1.1.2. Descripción del problema	3
1.1.3. Formulación del problema.	6
1.2. Justificación e importancia	6
1.2.1. Justificación científica.	6
1.2.2. Justificación técnica-práctica.	7
1.2.3. Justificación institucional y personal.	7
1.3. Delimitación de la investigación	8
1.4. Limitaciones	8
1.5. Objetivos	9
1.5.1. Objetivo general	9
1.5.2. Objetivos específicos	9
CAPITULO II - MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial	10
2.2. Marco conceptual	10
2.2.1. Adobe.	10
2.2.2. Adobe Estabilizado.	12
2.2.3. Cimentación.	12

2.2.4. Sobrecimientos	13
2.2.5. Revestimientos.	13
2.2.6. Inundación.	15
2.2.7. Resistencia a la Inundación.	15
2.3. Definición de términos básicos	16
CAPITULO III - PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES	19
3.1. Hipótesis	19
3.1.1. Hipótesis general.	19
3.2. Variables/categorías.	19
3.2.1. Variable Independiente.	19
3.2.2. Variable Dependiente.	19
3.3. Operacionalización/categorización de los componentes de las hipótesis	20
CAPITULO IV - MARCO METODOLÓGICO	21
4.1. Ubicación geográfica	21
4.2. Diseño de la investigación	21
4.2.1. Unidades de adobe.	21
4.2.2. Estimación de cargas actuantes	22
4.2.3. Pruebas de humedad en las unidades de adobe.	24
4.2.4. Prueba de inundación simulada en los muros.	25
4.2.5. Características de los Muros.	27
4.2.6. Características comunes de los muros.	37
4.3. Métodos de investigación	38
4.3.1. Pruebas de Absorción y de Succión	38
4.3.2. Ensayo de inundación simulada en muros	51
4.4. Población, muestra y unidad de análisis	64
4.4.1. Población.	64
4.4.2. Muestra.	64
4.4.3. Unidad de Análisis.	64
4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información	64

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	65
4.6.1. Elaboración de Tabulación de datos.	65
4.6.2. Elaboración de gráficas de datos.	66
4.7. Equipos, materiales, insumos, etc.	66
4.8. Matriz de consistencia metodológica	68
CAPITULO V - RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
5.1. Presentación de resultados	69
5.1.1. Pruebas de Absorción y Succión.	69
5.1.2. Ensayo de Inundación Simulada	74
5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados	99
5.2.1. De las pruebas de Absorción y Succión.	99
5.2.2. Del ascenso capilar en la prueba de succión.	100
5.2.3. De las pruebas de Inundación simulada.	101
5.2.4. Cuadro resumen de resultados	111
5.3. Contrastación de hipótesis	112
5.3.1. Resistencia a la inundación (Capilaridad y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PCI	112
5.3.2. Resistencia a la Inundación (Absorción y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PCI	113
5.3.3. Resistencia a la inundación (Capilaridad y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PPI	113
5.3.4. Resistencia a la Inundación (Absorción y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PPI	114
CAPITULO VI - PROPUESTA	116
6.1. Formulación de la propuesta para la solución del problema	116
6.1.1. Muro con sobrecimiento de ladrillos (ML).	116
6.1.2. Muro Tarrajado (MT).	117
6.1.3. Muro Estabilizado (ME).	118
6.1.4. Ventajas y desventajas de los sistemas de protección.	118

6.1.5. Costos de implementación de la propuesta	120
6.1.6. Presupuesto.	121
6.1.7. Costos Unitarios.	121
6.1.8. Comparativo de costos entre los distintos sistemas de protección.	124
6.2. Beneficios que aporta la propuesta.	125
CONCLUSIONES	126
RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXOS	131
APÉNDICE	133
Apéndice N° 01: Ubicación de cantera de donde se elaboraron los adobes	133
Apéndice N° 02: Ensayos Granulométricos del material de fabricación de los adobes.	134
Apéndice N° 03: Análisis estadístico para contrastación de hipótesis.	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01	Estimación de cargas de servicio actuantes	24
Tabla N° 02	Estimación de “h” equivalente a las cargas actuantes de servicio	24
Tabla N° 03	Características del Muro MP	27
Tabla N° 04	Características del Muro MT	29
Tabla N° 05	Características del Muro ME	33
Tabla N° 06	Características del Muro ML	36
Tabla N° 07	Densidad seca de Adobes	69
Tabla N° 08	Resultados del Ensayo de Absorción en Adobe	70
Tabla N° 09	Tiempo de Consistencia de Adobe	70
Tabla N° 10	Densidad seca de Adobes Tarrajeados.	71
Tabla N° 11	Resultados del Ensayo de Absorción en Adobes Tarrajeados	71
Tabla N° 12	Densidad seca de Adobes Estabilizados.	71
Tabla N° 13	Resultados del Ensayo de Absorción en Adobes Estabilizados	71
Tabla N° 14	Densidad seca de Ladrillo KK de arcilla industrial.	72
Tabla N° 15	Resultados del Ensayo de Absorción en ladrillo KK de arcilla industrial.	72
Tabla N° 16	Resultados del Ensayo de Succión en Adobe	72
Tabla N° 17	Altura de Succión en Adobe	72
Tabla N° 18	Resultados del Ensayo de Succión en Adobe Tarrajeados.	73
Tabla N° 19	Altura de Succión en Adobe Tarrajeados	73
Tabla N° 20	Resultados del Ensayo de Succión en Adobe Estabilizado.	73
Tabla N° 21	Altura de Succión en Adobe Estabilizado	74
Tabla N° 22	Resultados del Ensayo de Succión en Ladrillo.	74
Tabla N° 23	Altura de Succión en Ladrillo	74
Tabla N° 24	Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PCI en Muro MP.	75
Tabla N° 25	Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PCI en Muro MT.	77
Tabla N° 26	Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PPI en Muro MT.	79
Tabla N° 27	Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PCI en Muro ME.	84

Tabla N° 28	Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PPI en Muro ME.	86
Tabla N° 29	Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PCI en Muro ML.	91
Tabla N° 30	Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PPI en Muro ML.	93
Tabla N° 31	Resultados promedio de los Ensayos de Absorción y Succión.	99
Tabla N° 32	Resultados promedio del Ascenso capilar del Ensayo de Succión.	100
Tabla N° 33	Cuadro Resumen de Resultados en Unidades de Adobe y Ladrillo.	111
Tabla N° 34	Cuadro Resumen de Resultados en Muros de Adobe.	111
Tabla N° 35	Resistencia a la inundación (Capilaridad y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PCI	112
Tabla N° 36	Resistencia a la Inundación (Absorción y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PCI	113
Tabla N° 37	Resistencia a la Inundación (Capilaridad y Sistemas de Protección de los Muros de Adobe) – PPI	113
Tabla N° 38	Resistencia a la inundación (Absorción y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PPI	114
Tabla N° 39	Ventajas y desventajas de los sistemas de protección	119
Tabla N° 40	Presupuesto	121
Tabla N° 41	Costo Unitario: Partida Muro de Adobe de Tierra 30x 40 x 10 cm	122
Tabla N° 42	Costo Unitario: Tarrajeo Muros Exteriores C:A=1:5, E=1.5 CM. con Malla de Gallinero	122
Tabla N° 43	Costo Unitario: Muro de Adobe de Tierra Estabilizada 30x40x10 cm.	123
Tabla N° 44	Costo Unitario: Sobrecimiento de Ladrillo Industrial K.K. de Arcilla 18H. Mortero C:A=1:5 E=1.5 CM.	123
Tabla N° 45	Datos Generales.	134
Tabla N° 46	Análisis Granulométrico.	134
Tabla N° 47	Límites de Consistencia	135
Tabla N° 48	Peso Específico de Suelo	136
Tabla N° 49	Peso Unitario de Suelo	136
Tabla N° 50	Contenido de Humedad	136
Tabla N° 51	Clasificación del suelo por el Sistema Unificado de Suelos (SUCS) Y AASHTO	136

Tabla N° 52	Capilaridad PCI - Prueba de Bartlett.	138
Tabla N° 53	Capilaridad PCI - Análisis de Varianza	139
Tabla N° 54	Capilaridad PCI - Resumen del modelo	140
Tabla N° 55	Capilaridad PCI – Agrupamiento por el método de Tukey	141
Tabla N° 56	Capilaridad PCI - Análisis de varianza para respuesta transformada	143
Tabla N° 57	Capilaridad PCI - Resumen del modelo para respuesta transformada	143
Tabla N° 58	Absorción PCI - Prueba de Bartlett	145
Tabla N° 59	Absorción PCI - Análisis de Varianza	146
Tabla N° 60	Absorción PCI - Resumen del modelo para respuesta transformada.	147
Tabla N° 61	Absorción PCI – Agrupamiento por el método de Tukey	148
Tabla N° 62	Absorción PCI - Análisis de varianza para respuesta transformada	149
Tabla N° 63	Absorción PCI - Resumen del modelo para respuesta transformada	150
Tabla N° 64	Capilaridad PPI - Análisis de Varianza	153
Tabla N° 65	Capilaridad PPI - Resumen del modelo	154
Tabla N° 66	Capilaridad PPI - Agrupamiento por el método de Tukey	155
Tabla N° 67	Capilaridad PPI - Análisis de varianza para respuesta transformada	156
Tabla N° 68	Capilaridad PPI - Resumen del modelo para respuesta transformada	157
Tabla N° 69	Absorción PPI - Prueba de Bartlett	159
Tabla N° 70	Absorción PPI - Análisis de Varianza	160
Tabla N° 71	Absorción PPI - Resumen del modelo	161
Tabla N° 72	Absorción PPI – Agrupamiento por el método de Tukey	162
Tabla N° 73	Absorción PPI - Análisis de varianza para respuesta transformada	163
Tabla N° 74	Absorción PPI - Resumen del modelo para respuesta transformada	164

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01	Adobera “Mellizera” de madera	21
Figura N° 02	Adobes en proceso de secado y apilados para su uso.	22
Figura N° 03	Traslado de adobes.	22
Figura N° 04	Entramado de madera y cobertura para cálculo de carga actuante sobre el muro de adobe.	23
Figura N° 05	Corte A-A. Detalle de los elementos actuantes que actúan sobre el muro de adobe.	23
Figura N° 06	Distribución de Pozas para ensayo de Inundación Simulada	25
Figura N° 07	Dimensiones Muro MP	28
Figura N° 08	Malla de Gallinero anclada al muro de adobe.	28
Figura N° 09	Tarrajeo de las caras del Muro MT.	29
Figura N° 10	Dimensiones Muro Tarrajeado MT.	30
Figura N° 11	Dosificación y mezclado de material con cemento para la elaboración de adobes estabilizados.	31
Figura N° 12	Moldeado de adobes estabilizados con 5% de cemento en peso, hechos en adobera “mellizera”.	31
Figura N° 13	Visita e Inspección del Asesor a los adobes estabilizados en el proceso de secado.	32
Figura N° 14	Asentado del Muro estabilizado.	32
Figura N° 15	Dimensiones Muro Estabilizado ME	34
Figura N° 16	Distribución de ladrillos KK y mortero C:A en las hileras impares (1,3 y 5) del sobrecimiento de ladrillo del Muro ML.	35
Figura N° 17	Distribución de ladrillos KK y mortero C:A en las hileras pares (2,4 y 6) del sobrecimiento de ladrillo del Muro ML.	35
Figura N° 18	Asentado del sobrecimiento de ladrillo KK de arcilla industrial para el Muro ML.	35
Figura N° 19	Dimensiones de Muro con Sobrecimiento de Ladrillo ML.	37
Figura N° 20	Adobes identificados antes de iniciar el ensayo de Absorción	40
Figura N° 21	Adobe durante el ensayo de absorción	40
Figura N° 22	Adobes después de las 24 horas del ensayo de absorción	40
Figura N° 23	Adobes totalmente desintegrados después del ensayo de absorción	41

Figura N° 24	Adobe expuesto al factor erosivo del agua.	41
Figura N° 25	Adobe después de estar expuesto al factor erosivo del agua convertido en una masa pastosa e inconsistente después de 45 minutos	41
Figura N° 26	Adobes estabilizados identificados antes de iniciar el ensayo de absorción	42
Figura N° 27	Adobes estabilizados después de las 24 horas del ensayo de absorción	42
Figura N° 28	Pesaje de adobes estabilizados después de las 24 horas del ensayo de absorción.	43
Figura N° 29	Interior de adobes estabilizados después de las 24 horas del ensayo de absorción.	43
Figura N° 30	Adobes tarrajeados identificados, sumergidos en agua para el ensayo de absorción.	43
Figura N° 31	Pesaje de adobes tarrajeados, después de las 24 horas del ensayo de absorción.	44
Figura N° 32	Retiro de una cara de los adobes tarrajeados, después de las 24 horas del ensayo de absorción para ver la humedad al interior del adobe.	44
Figura N° 33	Núcleo de adobes normales con humedad después del retiro del tarrajeo exterior después del ensayo de absorción.	44
Figura N° 34	Ladrillos KK de arcilla industrial iniciando el ensayo de absorción.	45
Figura N° 35	Pesaje de ladrillos KK de arcilla industrial después del ensayo de absorción.	45
Figura N° 36	Adobes en el ensayo de succión.	47
Figura N° 37	Partículas de material de adobes al fondo de la bandeja al terminar el ensayo de succión.	48
Figura N° 38	Adobes estabilizados en el ensayo de succión.	48
Figura N° 39	Bandejas al finalizar el ensayo de succión en adobes estabilizados.	49
Figura N° 40	Adobes tarrajeados durante el ensayo de succión.	49
Figura N° 41	Pesaje de los adobes tarrajeados, después del ensayo de succión.	50
Figura N° 42	Ladrillos KK de arcilla Industrial en el ensayo de succión.	50
Figura N° 43	Muro Patrón (MP) después del llenado de la poza.	52
Figura N° 44	Disminución de la sección del muro en la 3ra hilera (Hora 3:15 pm.)	52
Figura N° 45	Muro MP colapsado debido a la saturación de adobes.	53
Figura N° 46	Junta de torta de barro saturado como plano de falla del Muro MP.	53
Figura N° 47	Muro Patrón MP colapsado por efecto de la inundación simulada.	54

Figura N° 48	Maestría y Asesor haciendo inspección ocular al Muro Patrón MP colapsado por efecto de la inundación simulada.	54
Figura N° 49	Llenado de la poza P2 donde se encuentra el Muro MT para el inicio del ensayo de inundación simulada bajo la inspección del Asesor.	55
Figura N° 50	Cinta métrica para las lecturas de descenso en la poza P2 del Muro MT	55
Figura N° 51	Cinta métrica para las lecturas ascenso capilar del agua en el Muro MT.	55
Figura N° 52	Agua transparente y clara sin desperdicios ni presencia de burbujas en la poza N° 02.	56
Figura N° 53	Lectura Día 02 (37.80) a las 18:45 de ascenso (Capilaridad) sobre el tarrajeo del Muro MT.	56
Figura N° 54	Lectura Día 02 (29.50) a las 18:45 de descenso de agua en la P2	56
Figura N° 55	Muro MT al terminar el Periodo corto de Inundación (Cara lateral).	57
Figura N° 56	Muro MT al terminar el Periodo corto de Inundación (Cara Frontal).	57
Figura N° 57	Presencia de eflorescencia durante el ascenso capilar.	58
Figura N° 58	Fisura en la esquina del muro MT.	58
Figura N° 59	Llenado de la Poza 03 para el ensayo de Inundación simulada del Muro Estabilizado ME.	59
Figura N° 60	“Escamas” desprendiéndose de las caras del muro que está en contacto con el agua.	59
Figura N° 61	Juntas socavadas por el contacto con el agua.	60
Figura N° 62	Lectura Día 01 (43.10) a las 20:45 de ascenso (Capilaridad) sobre el Muro ME.	60
Figura N° 63	Lectura Día 01(24.00) a las 20:45 de descenso de agua en la Poza 3.	60
Figura N° 64	Muro ME al terminar el Periodo Corto de Inundación.	61
Figura N° 65	Lectura Día 02 a las 16:30 de ascenso (Capilaridad) sobre el Muro ML (32.70).	62
Figura N° 66	Lectura Día 02 a las 16:30 de descenso de agua en la Poza N° 4 (29.70).	62
Figura N° 67	Muro ML después del Periodo Corto de Inundación.	63
Figura N° 68	Capilaridad en el Muro Patrón MP - Periodo Corto de Inundación.	76
Figura N° 69	Volumen de Agua Absorbida en el Muro Patrón MP - Periodo Corto de Inundación.	76
Figura N° 70	Capilaridad en el Muro Tarrajeado MT - Periodo Corto de Inundación.	78
Figura N° 71	Volumen de Agua Absorbida en el Muro Tarrajeado MT - Periodo Corto de Inundación	78

Figura N° 72	Capilaridad en el Muro Tarrajado MT - Periodo Prolongado de Inundación.	79
Figura N° 73	Volumen de Agua Absorbida en Muro Tarrajado MT - Periodo Prolongado de Inundación.	80
Figura N° 74	Nivel marcado en el Muro MT al finalizar el ensayo de inundación simulada para verificar asentamientos.	80
Figura N° 75	Muro MT, después de retirar el tarrajeo C:A, notándose humedad en las primeras 04 hileras del muro.	81
Figura N° 76	Muro MT colapsado después de haber retirado la capa de tarrajeo con malla de gallinero en la hilera N° 02.	82
Figura N° 77	Adobe de la Hilera N° 05, sin humedad luego de ser retirado del muro MT.	82
Figura N° 78	Adobe de la Hilera N° 04, con humedad parcial luego de ser retirado del muro MT.	83
Figura N° 79	Adobe de la Hilera N° 02, saturado totalmente luego de ser retirado del muro MT.	83
Figura N° 80	Capilaridad en el Muro Estabilizado ME - Periodo Corto de Inundación	85
Figura N° 81	Volumen de Agua Absorbida en Muro Estabilizado ME - Periodo Corto de Inundación	85
Figura N° 82	Capilaridad en el Muro Estabilizado ME - Periodo Prolongado de Inundación	86
Figura N° 83	Vol. de Agua Absorbida en el Muro Estabilizado ME - Periodo Prolongado de Inundación	87
Figura N° 84	Muro estabilizado al término del Ensayo de Inundación Simulada.	87
Figura N° 85	Nivel marcado en el Muro ME al finalizar el ensayo de inundación simulada para verificar asentamientos.	88
Figura N° 86	Muro ME después de haber caído manualmente.	88
Figura N° 87	Unidad de adobe estabilizado de la Hilera N° 06 parcialmente saturada.	89
Figura N° 88	Hilera N° 04 del muro estabilizado ME.	89
Figura N° 89	Hilera N° 01, 02 y 03 del muro estabilizado ME erosionadas por el agua.	90
Figura N° 90	Junta entre la Hilera N° 02 y 03 del muro estabilizado ME.	90
Figura N° 91	Capilaridad en el Muro con Ladrillo ML - Periodo Corto de Inundación	92
Figura N° 92	Volumen de Agua Absorbida en el Muro con Ladrillo ML - Periodo Corto de Inundación	92
Figura N° 93	Capilaridad en Muro con Sobrecimiento de Ladrillo ML - Periodo Prolongado de Inundación	93

Figura N° 94	Volumen de Agua Absorbida en el Muro con Sobrecimiento de Ladrillo ML - Periodo Prolongado de Inundación	94
Figura N° 95	Muro ML al terminar el ensayo de Inundación Simulada. Nótese la eflorescencia sobre las juntas de mortero cemento arena.	95
Figura N° 96	Nivel marcado en el Muro MT al finalizar el ensayo de inundación simulada para verificar asentamientos.	95
Figura N° 97	Junta ubicada encima del sobrecimiento de ladrillo totalmente seca	96
Figura N° 98	Hilera N° 05 del sobrecimiento, con las unidades de ladrillo y juntas de mortero totalmente secas.	96
Figura N° 99	Ladrillos y juntas de la hilera N° 04 del sobrecimiento, parcialmente húmedas.	97
Figura N° 100	Hileras N° 02 y 03 del sobrecimiento de ladrillo, totalmente saturado con los huecos llenos de agua.	98
Figura N° 101	Hilera N° 01 del sobrecimiento de ladrillo, totalmente saturado con los huecos llenos de agua.	98
Figura N° 102	Resultados comparativos de los ensayos de absorción	99
Figura N° 103	Resultados comparativos de los ensayos de succión	99
Figura N° 104	Resultados Promedio del Ascenso capilar del Ensayo de Succión	100
Figura N° 105	Gráfico comparativo de capilaridad (cm.) en Muro tarrajado (MT), Estabilizado (ME) y con Sobrecimiento de Ladrillo (ML). Periodo Corto de Inundación.	102
Figura N° 106	Gráfico comparativo de volumen de agua absorbida (Litros) en Muro tarrajado (MT), Estabilizado (ME) y con Sobrecimiento de Ladrillo (ML). Periodo Corto de Inundación.	103
Figura N° 107	Gráfico comparativo de capilaridad (cm.) en Muro tarrajado (MT), Estabilizado (ME) y con Sobrecimiento de Ladrillo (ML). Periodo Prolongado de Inundación.	104
Figura N° 108	Gráfico comparativo de volumen de agua absorbida (Litros) en Muro tarrajado (MT), Estabilizado (ME) y con Sobrecimiento de Ladrillo (ML). Periodo Prolongado de Inundación.	105
Figura N° 109	Gráfico comparativo de Ascenso capilar por hora entre el Muro MP, Muro MT, Muro ME y Muro ML en el Periodo Corto de Inundación.	106
Figura N° 110	Gráfico comparativo de Absorción de agua por hora entre el Muro MP, Muro MT, Muro ME y Muro ML en el Periodo Corto de Inundación.	107
Figura N° 111	Gráfico comparativo de Ascenso capilar por día entre el Muro MT, Muro ME y Muro ML en el Periodo Prolongado de Inundación.	108
Figura N° 112	Gráfico comparativo de Absorción de agua por día entre el Muro MP, Muro MT, Muro ME y Muro ML en el Periodo Corto de Inundación.	109

Figura Nº 113	Consistencia de hileras en los muros con sistemas de protección.	110
Figura Nº 114	Gráfico comparativo de costos (S/) y porcentaje (%) de variación entre los sistemas de protección.	124
Figura Nº 115	Ubicación de cantera de donde se elaboraron los adobes	133
Figura Nº 116	Curva de Distribución Granulométrica	135
Figura Nº 117	Límite Líquido	135
Figura Nº 118	Gráfica de Probabilidad Normal, de Capilaridad en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección.	137
Figura Nº 119	Prueba de igualdad de Varianzas de Capilaridad en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección	138
Figura Nº 120	Diferencias de las medias para capilaridad.	141
Figura Nº 121	Gráficas de Residuos para Capilaridad	142
Figura Nº 122	Gráfica de Box - Cox de Capilaridad	142
Figura Nº 123	Gráfica de residuos de Capilaridad después del ajuste Box - Cox.	142
Figura Nº 124	Gráfica de Probabilidad Normal, de absorción en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección.	144
Figura Nº 125	Prueba de igualdad de Varianzas de absorción en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección	145
Figura Nº 126	Diferencias de las medias para capilaridad.	147
Figura Nº 127	Gráficas de Residuos para Absorción	148
Figura Nº 128	Gráfica de Box - Cox de Capilaridad	149
Figura Nº 129	Gráfica de residuos de Absorción después del ajuste Box - Cox.	149
Figura Nº 130	Gráfica de Probabilidad Normal, de succión en la Resistencia a la Inundación del Periodo Prolongado de inundación de los 03 sistemas de protección.	151
Figura Nº 131	Prueba de igualdad de Varianzas de capilaridad en la Resistencia a la Inundación del Periodo Prolongado de inundación de los 03 sistemas de protección	152
Figura Nº 132	Diferencias de las medias para capilaridad.	154
Figura Nº 133	Gráficas de Residuos para Capilaridad	155
Figura Nº 134	Gráfica de Box - Cox de Capilaridad	156

Figura N° 135	Gráfica de residuos de Capilaridad después del ajuste Box - Cox.	156
Figura N° 136	Gráfica de Probabilidad Normal, de absorción en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección.	158
Figura N° 137	Prueba de igualdad de Varianzas de Absorción en la Resistencia a la Inundación del Periodo Prolongado de inundación de los 03 sistemas de protección.	159
Figura N° 138	Diferencias de las medias para absorción.	161
Figura N° 139	Gráficas de Residuos para Absorción.	162
Figura N° 140	Gráfica de Box - Cox de Absorción.	163
Figura N° 141	Gráfica de residuos de Absorción después del ajuste Box - Cox.	163

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula Nº 01	Absorción	39
Fórmula Nº 02	Succión normalizada.	47
Fórmula Nº 03	Análisis de varianza.	65

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

Alt	: Altura.
Bls	: Bolsa.
C:A	: Cemento - Arena.
Difer	: Diferencia.
Hil	: Hilera.
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
INDECI	: Instituto Nacional de Defensa Civil.
Long	: Longitud.
KK	: King Kong.
MP	: Muro Patrón.
MT	: Muro Tarrajado.
ME	: Muro Estabilizado.
ML	: Muro con Sobrecimiento de ladrillo.
NTP	: Norma Técnica Peruana.
P1	: Poza N° 1.
P2	: Poza N° 2.
P3	: Poza N° 3.
P4	: Poza N° 4.
PCI	: Periodo Corto de Inundación.
PPI	: Periodo Prolongado de Inundación.
Prom	: Promedio.
SINPAD	: Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres.
Sup	: Superficie.
Vol.	: Volumen.

## GLOSARIO O DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- Adobe. Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.
- Adobe (Técnica). Técnica de construcción que utiliza muros de albañilería de adobes secos asentados con mortero de barro.
- Adobe estabilizado: Adobe en el que se ha incorporado otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) para mejorar su resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad.
- Muro. Es un muro arriostrado cuya estabilidad lateral está confinada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales y que incluye refuerzos.
- Arcilla. Único material activo e indispensable del suelo. Tiene partículas menores a dos micras (0.002 mm).
- Arena fina. Es un componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca entre 0.08 mm y 0.50 mm.
- Arena gruesa. Es un componente inerte, estable en contacto con el agua, sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca comprendidas entre 0.6 mm y 4.75 mm.
- Mortero. Se llama mortero a la mezcla de cemento, arena y agua. Se utiliza para asentar los ladrillos y también para tarrajear paredes y cielorrasos.
- Sobrecimiento: Parte de la cimentación que se construye encima de los cimientos corridos.
- Carga: Fuerza u otras acciones que resulten del peso de los materiales de construcción, ocupantes y sus pertenencias, efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos.
- Inundación: Es el desborde lateral del agua de los ríos, lagos, mares y/o represas, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables.
- Colapso. Derrumbe súbito de muros o techos. Puede ser un derrumbe parcial o total.
- Grieta: Abertura mayor a un milímetro.
- Fisura: Abertura igual o menor de un milímetro.
- Sistema de Protección: Mejora interna o externa para evitar el deterioro del adobe ante fuerzas erosivas del agua.
- Resistencia a la Inundación: Capacidad de resistir el impacto erosivo del agua proveniente de las inundaciones, para mantener la estabilidad de la estructura.

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en el distrito de Cajamarca, teniendo como objetivo comparar la resistencia a inundación en muros de adobe con diferentes sistemas de protección, debido a que la mayor parte de la población del Perú vive en casas de tierra (adobe y tapial) siendo necesario proteger éstas estructuras ante los efectos erosivos del agua a causa de inundaciones, que producen daño estructural severo o llegando al colapso de las viviendas, causando con ello pérdidas significativas en términos de vidas humanas y daños materiales. Se realizaron ensayos de succión y absorción en unidades de adobe y ladrillo, además de un experimento de inundación simulada con muros a escala natural para comparar tres sistemas de protección: Tarrajeo con cemento, arena y malla de gallinero, Adobe estabilizado con cemento al 5% en peso, y usando un sobrecimiento de ladrillo, como alternativas de solución para minimizar los efectos de la inundación, cada uno con sus propias ventajas y desventajas, técnicas y económicas por la naturaleza propia de los materiales utilizados. Luego de realizar los ensayos, haciendo un orden de acuerdo a la resistencia a la inundación ofrecida por cada uno de los sistemas, el muro con sobrecimiento de ladrillo industrial muestra el mejor comportamiento, seguido del muro estabilizado y del muro tarrajado. A nivel de costos, el empleo de un sobrecimiento de ladrillo incrementa el costo en un 35.13%, frente al uso de adobes estabilizados o de un tarrajeo con mortero cemento, arena y malla de gallinero, aumentando en 14.75% y 17.58% del costo respectivamente, en comparación al uso de adobe sin ningún sistema de mejora o de protección. Finalmente, optar por uno de éstos sistemas de protección, para las estructuras de adobe, responde a la posibilidad económica que tienen los usuarios, para implementarlos en sus viviendas.

**Palabras clave:** muro de adobe, inundación, sistemas de protección, tarrajeo, adobe estabilizado, sobrecimiento con ladrillo.

## ABSTRACT

The present investigation was carried out in the district of Cajamarca, with the objective of comparing the resistance to flooding in adobe walls with different protection systems, due to the fact that most of the population of Peru lives in houses of earth (adobe and tapial), it is necessary to protect these structures from the erosive effects of water caused by floods, which produce severe structural damage or collapse of houses, causing significant losses in terms of human lives and property damage. Suction and absorption tests were carried out in adobe and brick units, in addition to a simulated flood experiment with natural scale walls to compare three protection systems: Tarrajeo with cement, sand and chicken coop, Adobe stabilized with 5% cement in weight, and using an overlay of brick, as alternative solutions to minimize the effects of flooding, each with its own advantages and disadvantages, technical and economic due to the nature of the materials used. After conducting the tests, making an order according to the resistance to flood offered by each of the systems, the wall with industrial brick overburden shows the best behavior, followed by the stabilized wall and the tarred wall. At the cost level, the use of a brick overlay increases the cost by 35.13%, compared to the use of stabilized adobes or a tarrajeo with mortar, cement, sand and chicken coop, increasing by 14.75% and 17.58% of the cost respectively, compared to the use of adobe without any system of improvement or protection.

Finally, opting for one of these protection systems, for adobe structures, responds to the economic possibility that users have, to implement them in their homes.

**Keywords:** adobe wall, flood, protection systems, tarrajeo, stabilized adobe, overburden with brick.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

#### 1.1.1 Contextualización.

“El adobe es uno de los materiales de construcción más antiguos y de uso más difundido. El uso de unidades de barro secadas al sol data desde 8000 a.C. y es muy común en algunas de las regiones más propensas a desastres del mundo, tradicionalmente a lo largo de América Latina, África, el subcontinente de India y otras partes de Asia, el Oriente Medio y el Sur de Europa. Además de ser una tecnología constructiva simple y de bajo costo, tiene otras ventajas tales como excelentes propiedades térmicas y acústicas. Sin embargo, las estructuras de adobe son vulnerables a los efectos de fenómenos naturales tales como terremotos, lluvias e inundaciones. La construcción tradicional de adobe tiene una respuesta muy mala ante los movimientos telúricos, sufriendo daño estructural severo o llegando al colapso, causando con ello pérdidas significativas en términos de vida humana y daño material” (Blondet, Villa y G. Brzev, 2003).

“El adobe como material de construcción para uso habitacional ha sido utilizado por miles de años por los pueblos indígenas de América, tanto en el suroeste de los Estados Unidos como en Mesoamérica y la región andina en Sudamérica. Actualmente el 50 por ciento de las casas del mundo están construidas con este material. La utilización del adobe representa una alternativa viable para resolver el problema de la falta de vivienda, a través de la propuesta de una casa autoconstruible de bajo costo. Sin embargo, una limitante para desarrollar tal alternativa consiste en que la mayoría de las técnicas constructivas tradicionales que utilizan materiales obtenidos a partir del suelo son resultado del conocimiento empírico. Dicho conocimiento generalmente es asistemático, varía en cada cultura y región y carece de una terminología interdisciplinaria. Por lo tanto, difícilmente esta opción ofrece, de modo directo, una base tecnológica universalmente válida” (Gama-Castro, et al, 2012).

“A través de la historia de la humanidad, desde la muralla de Jericó, o de la época de la gran cultura egipcia de los faraones, hebreos y Moisés; pasando por las culturas que florecieron en Asia, África y Europa, así como por el continente americano donde prosperaron notables civilizaciones como la de Chimú y las edificaciones de la inmensa ciudad de Chan Chan (Trujillo), hasta los edificios rurales en adobe de las comunidades indias en Norte América, casas de 4 a 5 pisos que aún se mantienen en pie; así como las grandes casonas e iglesias peruanas de la época colonial, el hombre ha utilizado la tierra para erigir sus edificios, y por eso, el material de construcción más antiguo sigue siendo el más popular” (Oshiro, 2010).

“Las proyecciones de la División de Población de las Naciones Unidas dejan suponer que en los próximos decenios casi todo el crecimiento de la población mundial se concentrará en las zonas urbanas de las naciones de bajos y medianos ingresos. Gran parte de este crecimiento demográfico tiene lugar actualmente en los asentamientos informales, donde las condiciones de vivienda son, por lo general, muy precarias y donde falta a menudo la infraestructura de protección más elemental. Este crecimiento urbano se produce en gran medida en ciudades expuestas a fenómenos meteorológicos extremos y a marejadas ocasionadas por tormentas cuya frecuencia e intensidad deberían aumentar a causa del cambio climático. Una ciudad puede ser uno de los lugares más seguros del mundo en caso de tormenta, inundación o terremoto. La mayoría de los fenómenos meteorológicos extremos que se producen en los países de elevados ingresos, no causan muertes. La correlación existente entre pobreza urbana y riesgos de desastres puede volverse aún más estrecha a causa del cambio climático. Dada la mayor intensidad de las tormentas, las inundaciones y las olas de calor a causa del cambio climático, decenas de millones de habitantes urbanos se ven o se verán próximamente expuestos a un peligro de muerte y al riesgo de perder los medios de subsistencia, los bienes esenciales (como su vivienda), y ver comprometidas la calidad de su entorno y la prosperidad futura”. (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 2010).

“Las inundaciones en el Perú son un problema recurrente cada año, debido a la

estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, la cual tiene una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo, sumado a los años de presencia del fenómeno del niño hacen que los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa aumenten varias veces su magnitud, desbordándose y ocasionando daños en ciudades de la costa específicamente en la región norte del país, como: Tumbes, Piura, y Lambayeque. Algunas veces estas inundaciones han llegado a la ciudad de Lima con los desbordes de los ríos Chillón y Rímac. Igualmente, inundaciones de gran importancia se han dado en la costa sur del país, en ciudades como Ica, y Pisco las cuales han dejado cuantiosos daños materiales” (Ana, s.f.).

“La mayor parte de la población del Perú vive en casas de tierra y ni siquiera puede soñar con una de ladrillos. Así, la investigación para dar solución a esta realidad reviste mucha importancia, no solamente para Perú, sino también para los países pobres del hemisferio sur, amenazados por este tipo de desastres” (Ecosur, 2008).

Este problema es preocupante para las viviendas de adobe existentes en nuestro país, pero no existen muchas investigaciones relacionados con el tema, de las pocas registradas, se tienen las que ha realizado la Pontificia Universidad Católica del Perú, que ha realizado trabajos de investigación sobre el mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada donde se han aplicado alternativas de protección de agua por efecto de inundaciones.

### **1.1.2 Descripción del problema.**

“Las inundaciones son producto de las intensas precipitaciones que se producen en formación de diversos factores meteorológicos y a causa de la acción indiscriminada del hombre en cuencas, cauces de los ríos, quebradas, cañadas y el depósito de basura que obstruye drenajes naturales, son algunas de las causas por las cuales se origina este fenómeno. Las consecuencias son terribles para aquellas poblaciones que se ven afectadas por los daños que la mismas causan, lo convierten en una de las calamidades que produce más pérdidas y deterioro social.

Existiendo en todas las regiones del Perú una gran cantidad de viviendas de adobe y habiéndose intensificado por los cambios climáticos las inundaciones, es necesario mitigar el problema descrito. Por otra parte, uno de los defectos más críticos del adobe como material de construcción ampliamente difundido en el Perú, es su alta vulnerabilidad ante la exposición o contacto con el agua proveniente de lluvias y posteriores inundaciones que azotan nuestro territorio de forma recurrente e inevitable, haciendo de este modo necesaria la investigación de soluciones técnicas, viables y económicas para la protección de las estructuras de adobe” (Cabrera y Huaynate, 2010).

Según el Censo Nacional 2007: XI de Población y VI de Vivienda, en el distrito de Cajamarca, el 47.86% de las viviendas particulares con ocupantes presentes, por materiales predominantes en las paredes exteriores, son de adobe y tapial.

Mediante Nota de Prensa N° 083 del 30 de mayo de 2014, El INEI informó que del total de viviendas que tienen como material predominante en sus paredes el adobe, tapia o quincha (2 millones 774 mil 5), los departamentos de Cajamarca y La Libertad albergan al 10.9% (303 mil 183) y al 9.9% (274 mil 630) de estas viviendas.

Además, el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD - INDECI) en su reporte acumulado de emergencias por departamento según fenómeno en el periodo 2003-2016, para Cajamarca se reportan 1239 lluvias intensas que han generado 230 inundaciones.

“Durante el año 2017, después de 20 años de la presencia del último Fenómeno el Niño de carácter extraordinario, nuevamente en el Perú se presentó el Niño Costero, con la ocurrencia de lluvias torrenciales que se inició en la cuarta semana del mes de diciembre de 2016 y se prolongó hasta el 31 de mayo de 2017, las cuales causaron huaicos, inundaciones, deslizamientos, derrumbes, tormentas, así como la ocurrencia de otros eventos propios de la emergencia como plagas y epidemias, las lluvias y los eventos asociados causaron diversos daños tanto a la vida y salud como daños materiales que afectó a la infraestructura pública. El llamado Niño Costero, por la ubicación donde se desarrolló el evento (Costa Peruana), causó graves daños en muchos departamentos del

Perú, por lo que el gobierno central declaró en emergencia 13 de los 24 departamentos y a la Provincia Constitucional del Callao” (Indeci, 2017).

En el departamento de Cajamarca, “desde inicios del mes de enero 2017 se registraron precipitaciones pluviales de moderada a fuerte intensidad generando deslizamientos, huaycos, derrumbes e inundaciones, afectando la vida y salud de las personas, viviendas, áreas de cultivo, locales públicos y vías de comunicación en las provincias del departamento. Se registraron intensas lluvias en las provincias de Jaén con los distritos de Colasay, Pomahuaca, San José del Alto, Pucará, Huabal, Chontali, Sallique y Jaén; en la provincia de San Ignacio en los distritos de Namballe, en la provincia de Santa Cruz, en los distritos de Catache y Santa Cruz; en la provincia de San Miguel fueron afectados los distritos de Niepos, Nanchoc y Bolívar” (Indeci, 2017).

“Durante el mes de febrero las lluvias se intensificaron afectando las 13 provincias de la región de Cajamarca, en diversas magnitudes, aquellas en donde se encuentran cercanas a provincias de la costa, como son la provincia de Contumazá con sus distritos Yonan, Chilete, San Benito, Cupisnique, Guzmango, Catan y Santa Cruz de Toledo, teniendo zonas aisladas por los deslizamientos y huaycos en las carreteras” (Indeci, 2017).

“En la provincia de Jaén, específicamente en los distritos de Sallique y San Felipe, se encontraban aislados por los deslizamientos en la ciudad. La provincia de Chota se encontraba afectada en los distritos de Miracosta, Tocomoche, Licupis. Estas zonas también quedaron aisladas, tomando acciones inmediatas con la población de los caseríos y centros poblados para rehabilitar las zonas afectadas. De gran consideración se tuvo el distrito de San Gregorio de donde por el incremento de las aguas del río, se quedaron aisladas los caseríos de Mirador, Miradorcito y Casa Blanca. Durante el mes de marzo las emergencias persistieron ya teniendo reportes de un 30% de carreteras afectadas por los deslizamientos en la provincia de Cajamarca como se presentó en el distrito de Asunción teniendo 2.5 kilómetros afectados” (Indeci, 2017).

“Han sido afectados en total 13 provincias y 114 distritos, los daños registrados por las

intensas lluvias como consecuencia del Fenómeno El Niño Costero en el periodo de enero hasta fines del mes de abril de la Región Cajamarca se observa en viviendas, instituciones educativas y establecimientos de salud destruidas, inhabitables y afectadas, carreteras, canales de riego destruidas y afectadas, hectáreas de cultivo perdidos y afectados, dejando un saldo de 13 mil 123 personas entre afectadas y damnificadas” (Indeci, 2017). Los daños en viviendas, se han reportado un total de 2 mil 843 viviendas entre afectadas y destruidas que representa el 0.72% del total de viviendas que registra el departamento de Cajamarca” (Indeci, 2017).

De esta forma y respaldados por estas cifras, resaltamos la importancia e impacto que tendrá la presente investigación, en la que se consideró la construcción de muros a escala natural, en donde se aplicaron cargas por gravedad para simular los efectos ante una inundación prolongada, y se determinó cuál de los sistemas propuestos: adobe estabilizado, adobe tarrajado, y ladrillo de arcilla industrial, brindó una mejor protección ante inundación prolongada para mantener la resistencia de los muros de adobe.

### **1.1.3 Formulación del problema.**

¿Cuál de los sistemas de protección propuestos en los muros, brinda la mejor resistencia a la inundación bajo cargas de gravedad?

## **1.2 Justificación e importancia**

### **1.2.1 Justificación científica.**

La presente investigación se realizó con el propósito de incrementar conocimiento sobre el comportamiento de diferentes alternativas de protección para muros de adobe ante el efecto erosivo del agua generado por inundaciones con el objetivo de minimizar los daños estructurales en las edificaciones de tierra (adobe y tapial) que podrían encontrarse expuestas ante este fenómeno natural, ya que se tiene en el mundo un sin fin de construcciones que han sufrido diversos daños por este desastre.

En nuestro país la preocupación ante estos sucesos naturales también es alarmante, basándonos en los datos del Censo Nacional realizado el año 2007, llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), se cuantificó que el 34.8% de las viviendas en el Perú (2,229,715 viviendas) son hechas de adobe o tapial y que en las zonas rurales este porcentaje se incrementa a 68.5% (1,102,798 viviendas), todavía es muy habitual encontrarlas especialmente en las zonas urbano-marginales, en la zona rural, o incluso en la zona monumental del Centro histórico en la ciudad de Cajamarca.

### **1.2.2 Justificación técnica - práctica.**

Esta investigación analiza el comportamiento de diferentes sistemas de protección de muros de adobe ante inundaciones prolongadas y su utilidad radica en determinar el sistema más apropiado a utilizar en zonas de riesgo, tomando en cuenta el costo - beneficio en favor de la población que construye sus viviendas, debido a su fácil y rápida construcción.

Además de existir la necesidad de proteger las construcciones de tierra que son propensas a deteriorarse ante la exposición severa del agua como agente agresor, por lo que es necesario mejorar el desempeño de los muros con diferentes alternativas de protección, extender la vida útil de las edificaciones de adobe y predecir el tiempo que le tomará a la estructura alcanzar un estado crítico, asimismo de tomar medidas correctivas, o en su defecto, el tiempo pertinente para evacuar la estructura y poder brindar alternativas de solución, para minimizar los efectos de posibles inundaciones en la ciudad de Cajamarca, ya que estamos expuestos a fuertes precipitaciones en épocas de lluvia.

Cabe mencionar que también se podría usar para nutrir el contenido de la actual norma técnica peruana E.080 - Diseño y construcción en tierra reforzada, que no contempla la protección de adobes ante los efectos de inundación.

### **1.2.3 Justificación institucional y personal.**

La Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, quien tiene como finalidad primordial fortalecer capacidades para la generación, difusión y aplicación de conocimiento científico, tecnológico y humanístico aportando conocimiento a través de la

capacitación en las diferentes áreas y especialidades por intermedio de la investigación científica, la cual a través de sus resultados pueda brindar respuestas y soluciones a las exigencias del desarrollo integral de la región y del país.

La investigación a nivel personal permite al maestrista, ganar experiencia y asumir nuevos retos en su desarrollo profesional, adquirir conocimiento teórico y práctico que contribuya con su formación académica, para aplicarlo ante situaciones similares que puedan presentarse y contribuir con el desarrollo de nuestra población.

### **1.3 Delimitación de la investigación**

Debido a las características infinitas e individuales de los adobes, como sus propiedades mecánicas y comportamientos diferentes, no se puede generalizar para cualquier lugar y tipo de adobe, el presente estudio consideró:

- La realización de ensayos a nivel de laboratorio con especímenes a escala real.
- La utilización de adobes fabricados en el distrito de Cajamarca de 30 x 40 x 10 cm.
- Los ensayos de inundación se hicieron considerando que las estructuras son viviendas de un (01) nivel.
- Las cargas muertas se estimaron de acuerdo a lo indicado en la norma E.020 y se considerando una sobrecarga de 100 Kg/cm<sup>2</sup> por servicio en los techos.
- Se utilizaron tres sistemas de protección para mejorar la resistencia de los muros de adobe. (Tarrajeo con mortero cemento: arena y malla de gallinero, adobe estabilizado, y un sobrecimiento de ladrillo de arcilla de uso industrial).
- Se realizó un ensayo de inundación simulada, considerando únicamente las cargas provenientes del techo.

### **1.4 Limitaciones**

En la región Cajamarca no se cuenta con Laboratorios especializados para desarrollar estos ensayos a escala natural.

La falta de espacio y equipamiento en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, no ha permitido desarrollar los

ensayos en nuestra primera casa superior de estudios, por lo que se ha tenido que acondicionar un espacio en el domicilio del maestrista para desarrollar los ensayos planteados en la Investigación, que han sido validados por el monitoreo constante del Coordinador de la Unidad de Ingeniería Civil de la Escuela de Posgrado y los jurados designados, quiénes han opinado favorablemente durante el desarrollo de la investigación.

Además, que los ensayos realizados no han necesitado del uso de equipos o maquinaria especializada con los que cuenta la Universidad Nacional de Cajamarca.

Por la gran magnitud de la carga que se necesitaba representar realmente, se ha realizado el reajuste necesario para simular las cargas de servicio actuantes considerando una cobertura con las siguientes características: planchas de calamina sobre entramado de madera sin cielo raso por ser una edificación de un solo nivel.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Comparar la resistencia a inundación de muros de adobe con diferentes sistemas de protección.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Analizar el comportamiento de muros de adobe sin protección ante inundación.
- Analizar el comportamiento de muros de adobe con cargas de gravedad protegidos con tarrajeo ante inundación.
- Analizar el comportamiento de muros de adobe estabilizado con cargas de gravedad ante inundación.
- Analizar el comportamiento de muros de adobe con sobrecimiento de ladrillo con cargas de gravedad industrial ante inundación.
- Brindar alternativas de solución para la protección de muros de adobe a utilizar en el distrito de Cajamarca bajo el criterio de costo - beneficio.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación o marco referencial**

“En el año 1977 la Oficina de Investigación y Normalización (OIN), bajo el patrocinio del Ministerio de Vivienda y Construcción del Perú y la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID), llevaron a cabo el programa de investigación COBE (Construcción con Bloques Estabilizados), cuyo principal aporte fue el mejoramiento de la calidad del adobe en relación a su resistencia, durabilidad y sobre todo protección ante la acción erosiva del agua utilizando como elemento estabilizador al asfalto RC2 o RC-250, comúnmente usado como asfalto de caminos, obteniendo resultados satisfactorios” (Cabrera y Huaynate, 2010).

Teniendo en consideración el precedente del Programa COBE, la Pontificia Universidad Católica del Perú, a través del ingeniero Ángel San Bartolomé, ha orientado investigaciones para el Mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones en una primera parte con los bachilleres: Daniel Cabrera Arias y Walter Huaynate Granados y en una segunda parte con los Bachilleres: Ibrahin Antonio Romero Bolívar y Javier Roberto Pereyra Marín, usando distintas alternativas de protección para los muros de adobe.

Cabe mencionar que, desde la concepción de la presente investigación, la Norma E.080 “Adobe”, aprobada con D.S. N° 011–2006–VIVIENDA de fecha 05 de mayo de 2006 como parte del Reglamento Nacional de Edificaciones, ha sido modificada mediante Resolución Ministerial N° 121-2017-VIVIENDA de fecha 07 de abril 2017, en su denominación y contenido como Norma Técnica E.080 “Diseño y Construcción con Tierra Reforzada”.

#### **2.2 Marco conceptual**

##### **2.2.1. Adobe.**

Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos.

La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara. El adobe deberá estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad (Vivienda, 2006).

“Aparte de sus ventajas altamente conocidas como su baja conductividad térmica que vuelve las construcciones de adobe tan acogedoras se tienen otras igualmente prácticas, como el hecho que la materia prima está siempre presente en el lugar de construcción con el ahorro consiguiente en su transporte. Ventaja apreciable dado el alto volumen de material necesario para construir las. Las cualidades en desventaja como material de construcción también son harto conocidas. El adobe es higrófilo, tiende a absorber la humedad atmosférica cuando el aire está saturado de manera que por ello pierde su resistencia a los esfuerzos, aun los de su propio peso. En los trópicos después de una lluvia prolongada por varios días, algunas paredes se desploman sin intervención de ninguna otra fuerza, debido a la humedad del ambiente” (Pons, s.f.).

“Se tiene que su resistencia a la compresión es baja (de 3 a 5 Kg/cm<sup>2</sup>) cuando está seco y pueden considerarse nulas a los esfuerzos de tracción. Por esas mismas características su manipulación se vuelve más difícil, los adobes se quiebran al no haber sido “curados” de manera que puedan resistir su manejo para colocación en su lugar. Pero no conviene ser negativo por esas cualidades tan pobres; la arquitectura es el arte de construir para que dure y el tratamiento a los materiales para resistir la intemperie es la base de todo diseño arquitectónico; la baja resistencia a la compresión se puede mejorar con facilidad lo mismo que la poca resistencia a la humedad” (Pons, s.f.).

“Los métodos ancestrales para seleccionar la tierra como materia prima, su adición de arena, arcilla, o hierba son precisamente para mejorar sus cualidades de modo que resista mejor la intemperie, aumente su resistencia y facilite el manejo de los adobes;

pero además los diseños de las viviendas con amplios aleros, o con corredores exteriores, protegiendo las paredes; con fundaciones de piedra para impedir que suba por capilaridad la humedad del suelo son otras maneras, ya clásicas, de proteger y mejorar las construcciones de adobe. La resistencia a los esfuerzos ha sido automáticamente mejorada con estos tratamientos, pero seguiría siendo muy baja de no haber otro tratamiento adicional. Una de las características de la tierra, es su nula o poca elasticidad, las deformaciones por esfuerzos no se recobran, y los esfuerzos para deformarla son muy bajos. Sin embargo, una vez construidas las paredes y cuando se ha tenido el cuidado de no sobrepasar las resistencias normales del adobe a los esfuerzos, toda la construcción marcha a la perfección. Por supuesto se han tenido que hacer muros muy anchos para que los esfuerzos sean bajos. Esto trae ventajas adicionales: La poca conductividad térmica se encuentra mejorada por el espesor de las paredes, y la seguridad a daños por golpes externos a las paredes también aumenta; pues las paredes de adobe trabajan bien por su masividad. Esta debe ser la condición y característica principal de su diseño” (Pons, s.f.).

### **2.2.2. Adobe Estabilizado.**

“Adobe en el que se ha incorporado otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad” (Vivienda, 2006).

### **2.2.3. Cimentación.**

“Corresponde a esta parte de la edificación, la función principal de relacionar el volumen formado por los muros y cerramientos superiores con el suelo de sustentación, transmitiendo a él, las cargas generales por la estructura y las sobrecargas de uso del inmueble. Su forma, dimensiones y profundidad, dependen del peso que soporta, de las características generales de la estructura y de la formación del suelo de sustentación. De su eficiencia depende principalmente la estabilidad y durabilidad de la edificación, una

solución homogénea del conjunto y la adecuada utilización de los materiales que lo componen determinará el grado de seguridad y conservación de la construcción. En las edificaciones a base de adobe, es fundamental la utilización de una adecuada cimentación, la baja resistencia a la compresión de los elementos de tierra, la poca adherencia entre bloques que proporciona el tipo de mortero utilizado y los factores ambientales que deterioran este sistema constructivo determinan un mayor análisis en la selección del tipo de fundación a utilizar (González, 1995).

Para la selección y dimensionamiento de las fundaciones se deberá precisar claramente las características sísmicas y climatológicas de la región en que se ubica la edificación. Y deberá contarse con la mayor cantidad de antecedentes, sobre la calidad y constitución del suelo de sustentación, con esta información se podrá establecer una primera aproximación sobre los tipos de cimientos más adecuados, procediéndose luego al análisis de las consideraciones económicas, recursos de materiales y características de la estructura, influyendo en el dimensionamiento de la cimentación, la altura y peso de la edificación, la posible influencia de construcciones aledañas, los esfuerzos horizontales generados por acción sísmica o vientos y la necesidad de dar rigidez a la estructura. En ningún caso la profundidad de la cimentación deberá ser menor a treinta y cinco centímetros y un ancho no menor a una vez y medio el ancho del muro” (González, 1995).

#### **2.2.4. Sobrecimientos**

“Los sobrecimientos son elementos estructurales que se encuentran encima de los cimientos, y sirven de nexo entre el muro y el cimiento, cuya función es la de transmitir a estos las cargas debidas al peso propio de la estructura. (Ávalos, s.f.).

#### **2.2.5. Revestimientos.**

“La protección de los elementos de tierra, especialmente los muros, se puede realizar por procedimientos de estabilización o por revestimientos externos. Estos últimos pueden realizarse por recubrimiento de mortero y por pinturas o emulsiones.

Los revestimientos deben cumplir las siguientes condiciones:

- Proteger el muro de la acción del agua, especialmente de la lluvia.
- Proteger el muro de la erosión por efectos mecánicos.
- Proteger el muro de la acción de animales que pueden atacar el material.
- Brindar una superficie aparente que cumpla ciertos requisitos estéticos.

Para proteger el muro de la humedad el revestimiento debe tener capacidad suficiente de absorción y evacuación del agua de acuerdo a las condiciones climatológicas donde se encuentra la construcción; por ejemplo, los revestimientos porosos serán favorables en regiones donde se presenten cortos períodos de lluvias y largos períodos secos.

Los incrementos de temperatura, la humedad relativa del ambiente, la acción eventual de los rayos solares y la acción del viento, independientemente o combinados, aceleran el proceso de secado del revestimiento y por ende la contracción y aparición de fisuras.

Cuando el revestimiento se contrae se producen tensiones que son absorbidas por la deformación plástica del mortero. Cuando el valor de la contracción aumenta, llega un momento en que las tensiones son mayores que la resistencia del revestimiento, produciéndose entonces la fisuración del mismo.

La velocidad de secado del revestimiento y por consiguiente el fenómeno de la contracción y la aparición de fisuras, es función de las variaciones de temperatura, de la humedad relativa del ambiente, de la acción eventual de los rayos solares y de la acción del viento.

Los revestimientos exteriores sometidos a la acción de la lluvia, toman agua por absorción capilar. De presentarse vacíos o fisuras superficiales o porosidad abierta, el agua penetra por acción del viento. Es preciso así, sumar la acción del viento a la tensión capilar.

En la mayoría de los casos el revestimiento está compuesto por un mortero de tierra, en el cual la arcilla es el material ligante. Este sistema tiene la ventaja de que el revestimiento está constituido por el mismo material que conforma el soporte, sin embargo, es muy deteriorable por la acción de la lluvia.

El mal comportamiento de los revestimientos se debe a causas físicas. La porosidad del revestimiento deja pasar cierta cantidad de agua, de esta manera, una delgada capa superficial del soporte (de barro) es sometida a ciclos alternados de humidificación y

secado, con variaciones dimensionales de hinchazón y contracción, que ocasionan un desprendimiento que se produce en el muro de barro” (González, 1995).

#### **2.2.6. Inundación.**

“Un desastre es una interrupción severa del funcionamiento de una comunidad causada por un peligro, de origen natural o inducido por la actividad del hombre, ocasionando pérdidas de vidas humanas, considerables pérdidas de bienes materiales, daños a los medios de producción, al ambiente y a los bienes culturales. La comunidad afectada no puede dar una respuesta adecuada con sus propios medios a los efectos del desastre, siendo necesaria la ayuda externa ya sea a nivel nacional y/o internacional. Un peligro natural, es generado por un fenómeno natural, como terremoto, maremoto, inundación, deslizamiento, aluviones y sequía entre otros: mientras que un peligro tecnológico es generado por la actividad humana, tales como incendios urbanos o forestales, explosión y contaminación ambiental, entre otros. Una inundación está tipificada como un peligro de origen natural, generado por proceso en el interior de la tierra, de carácter hidrológico, meteorológico u oceanográfico” (Indeci,2007).

#### **2.2.7. Resistencia a la Inundación.**

No existe una definición propia para la Resistencia a la inundación, pero se asocia dichos términos con la erosión del suelo que es “el proceso que se da por la presencia del agua en las formas: pluvial (lluvias) o de escorrentía (escurrimiento), que en contacto con el suelo (las primeras con impacto y las segundas con fuerzas tractivas), vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose el proceso de erosión” (Duque, 2016).

En tal sentido, la Resistencia a la Inundación la defino como: “La capacidad de resistir el impacto erosivo del agua proveniente de las inundaciones, para mantener la estabilidad de la estructura mientras dura dicho fenómeno, sin tener una unidad de medida específica, limitándose a describir si un muro es estable o inestable”.

### 2.3 Definición de términos básicos

- Adobe. Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad. (Vivienda, 2017).
- Adobe (Técnica). Técnica de construcción que utiliza muros de albañilería de adobes secos asentados con mortero de barro. (Vivienda, 2017)
- Técnica mixta. Utiliza además de la tierra uno o más materiales de construcción. (Vivienda, 2017).
- Muro. Es un muro arriostrado cuya estabilidad lateral está confinada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales y que incluye refuerzos. (Vivienda, 2017).
- Arcilla. Único material activo e indispensable del suelo. En contacto con el agua permite su amasado, se comporta plásticamente y puede cohesionar el resto de partículas inertes del suelo formando el barro, que al secarse adquiere una resistencia seca que lo convierte en material constructivo. Tiene partículas menores a dos micras (0.002 mm). (Vivienda, 2017).
- Limo. Es un material componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendidos entre 0.002 mm y 0.08 mm. (Vivienda, 2017).
- Arena fina. Es un componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendido entre 0.08 mm y 0.50 mm. Como el limo puede contribuir a lograr una mayor compacidad del suelo, en ciertas circunstancias. (Vivienda, 2017).
- Arena gruesa. Es un componente inerte, estable en contacto con el agua, sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca comprendidas entre 0.6 mm y 4.75 mm (según Normas Técnicas Peruanas y/o las mallas N° 30 y N° 4 ASTM) que conforman la estructura granular resistente del barro en su proceso de secado. La adición de arena gruesa a suelos arcillosos, disminuye el número y espesor de las fisuras creadas en el proceso de secado, lo que significa un aumento de la resistencia del barro seco según se ha comprobado en el laboratorio. (Vivienda, 2017).

- Adobe estabilizado: Adobe en el que se ha incorporado otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad. (Vivienda, 2006).
- Mortero. Se llama mortero a la mezcla de cemento, arena y agua. Se utiliza para asentar los ladrillos y también para tarrajear paredes y cielorrasos. Para asentar ladrillos, utilizaremos arena gruesa, y para tarrajear paredes y cielorrasos, emplearemos arena fina. (Medina y Blanco, s.f.)
- Mortero. Material de unión de los adobes en una albañilería. Debe ser de barro mezclado con paja o con arena gruesa y eventualmente con otras sustancias naturales espesas para controlar las fisuras del proceso de secado (cal, mucílagos de cactus, y otros comprobados). (Vivienda, 2017).
- Sobrecimiento: Parte de la cimentación que se construye encima de los cimientos corridos y que sobresale de la superficie del terreno natural para recibir los muros de albañilería (Ávalos, s.f.).
- Secado. Proceso de evaporación del agua que existe en la tierra húmeda. El proceso debe controlarse para producir una evaporación muy lenta del agua, mientras la arcilla y barro se contraen y adquieren resistencia. Si la contracción es muy rápida, se producen fisuras. (Vivienda, 2017).
- Carga: Fuerza u otras acciones que resulten del peso de los materiales de construcción, ocupantes y sus pertenencias, efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos. (Vivienda, 2006).
- Carga muerta: Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo. (Vivienda, 2006).
- Carga viva: Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación. (Vivienda, 2006).

- Inundación: Es el desborde lateral del agua de los ríos, lagos, mares y/o represas, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. Suelen ocurrir en épocas de grandes precipitaciones, marejadas y maremotos (tsunami). (Indeci, 2012).
- Colapso. Derrumbe súbito de muros o techos. Puede ser un derrumbe parcial o total. (Vivienda, 2017).
- Fisura o grieta estructural. Rajadura que se presenta en los muros de tierra producidas por cargas mayores a las que puede resistir el material, por gravedad, terremotos, accidentes u otros. Atraviesan los muros de lado a lado y pueden ser de espesores variables o invisibles al ojo humano. (Vivienda, 2017).
- Grieta: Abertura mayor a un milímetro. (Vivienda, 2017).
- Fisura: Abertura igual o menor de un milímetro. (Vivienda, 2017).

## **CAPITULO III**

### **PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1 Hipótesis**

##### **3.1.1 Hipótesis general.**

Los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad protegidos con ladrillo industrial en su base, presentan mayor resistencia a inundación frente a los que son tarrajados y estabilizados.

#### **3.2 Variables/categorías**

##### **3.2.1 Variable Independiente.**

- Sistema de protección.

##### **3.2.2 Variable Dependiente.**

- Resistencia a la Inundación.

### 3.3 Operacionalización / categorización de los componentes de las hipótesis

Hipótesis	Definición conceptual de las variables/ categorías	Definición operacional de la investigación			
		Variables/ categorías	Dimensiones/ factores	Indicadores/ cualidades	Fuente o instrumento de recolección de datos
Los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad protegidos con ladrillo industrial en su base, presentan mayor resistencia a inundación frente a los que son tarrajeados y estabilizados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Tarrajeo:</u> Revestimiento de paredes y cielorrasos con mortero, que es la mezcla de cemento, arena y agua.</li> <li>• <u>Adobe estabilizado:</u> Adobe en el que se ha incorporado otros materiales con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad.</li> <li>• <u>Sobrecimiento:</u> Parte de la cimentación que se construye encima de los cimientos corridos y que sobresale de la superficie del terreno natural para recibir los muros de albañilería.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Variable Independiente:</u> - Sistema de Protección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tarrajeo mortero cemento: arena y malla de gallinero.</li> <li>- Adobe estabilizado</li> <li>- Sobrecimiento de ladrillo industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosificación C:A=1:5, espesor 1.5 cm. Malla alambre galvanizado hexagonal de 3/4".</li> <li>- 5% de cemento en peso.</li> <li>- Ladrillo KK a una altura de 60 cm.</li> </ul>	Hojas de registro de datos.
	La capacidad de resistir el impacto erosivo del agua proveniente de las inundaciones, para mantener la estabilidad de la estructura mientras dura dicho fenómeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Variable dependiente:</u> Resistencia a la Inundación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo</li> <li>- Estabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capilaridad (cm).</li> <li>- Absorción (L).</li> </ul>	Ensayos en laboratorio.

## CAPITULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

#### 4.1 Ubicación geográfica

La investigación se realizó en:

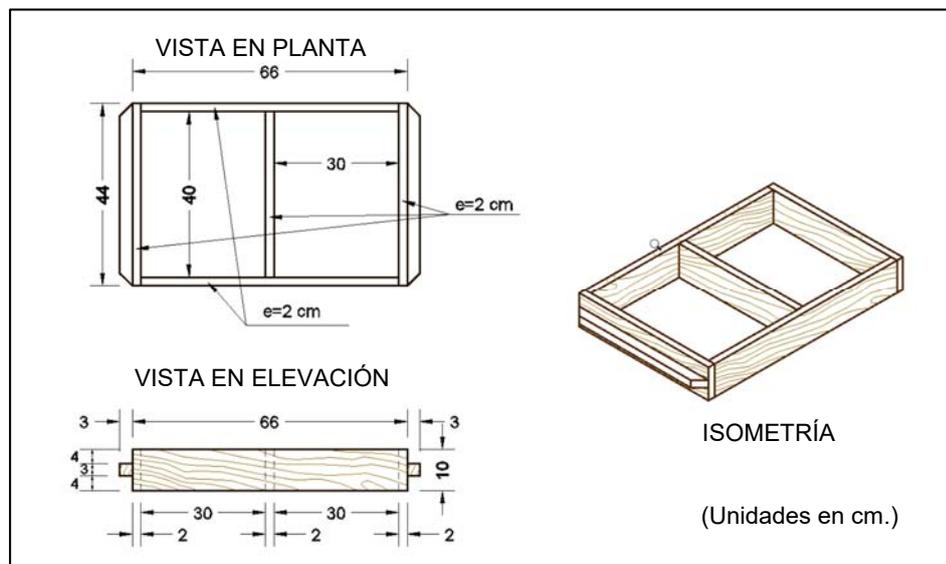
- Región : Cajamarca.
- Provincia : Cajamarca.
- Distrito : Cajamarca.

#### 4.2 Diseño de la investigación

##### 4.2.1 Unidades de Adobe.

Se utilizaron adobes artesanales fabricados en la ciudad de Cajamarca, procedentes de la zona de Aylambo, del uso cotidiano, que se elaboraron con una adobera “mellizera” de madera para obtener adobes de 30x 40x 10 cm.

**Figura N° 1:** Adobera “Mellizera” de madera.



*Fuente:* Elaboración propia.

Los adobes elaborados en la zona de Aylambo se fabrican de manera artesanal, bajo ningún criterio técnico y de manera empírica, se ubica la veta de donde se extrae el material, se prepara la torta de barro, se agrega la paja walte, y se amolda con adoberas de acuerdo a las dimensiones solicitadas en áreas libres a la intemperie. Luego de 5 a 7 días se voltean para iniciar el proceso de secado. Al décimo día (en promedio) se apilan quedando listos para su respectivo uso.

**Figura N° 2:** Adobes en proceso de secado y apilados para su uso.



Los adobes mayormente son cargados y transportados sin ningún tipo de cuidado, por lo que, en dicha fase se observó que se desprendieron algunos trozos pequeños y/o partículas de las esquinas, aristas o incluso algunas unidades se partieron.

**Figura N° 3:** Traslado de adobes.



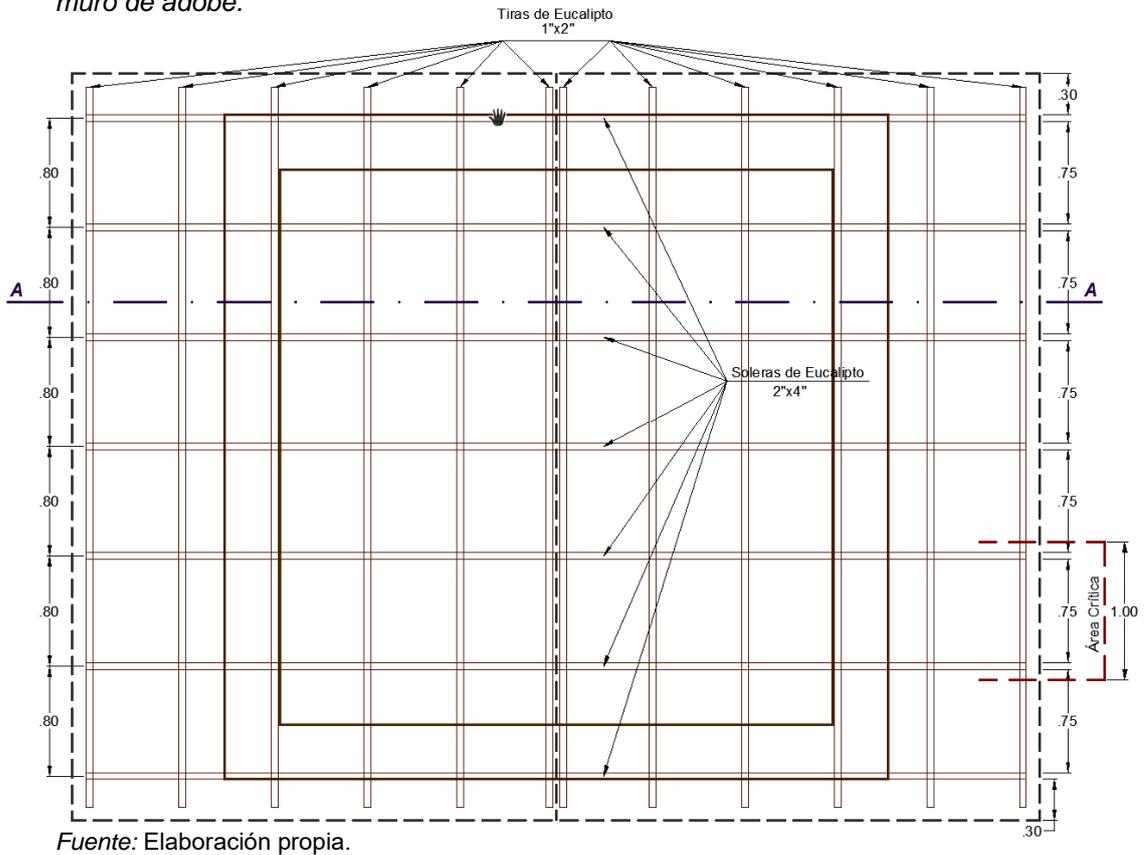
#### **4.2.2 Estimación de cargas actuantes.**

La aplicación de cargas, se hizo mediante la construcción de una viga de concreto simple, sobre la cabecera del muro que se dimensionó en altura de acuerdo a los cálculos realizados que son representativos de acuerdo a las cargas de servicio estimadas.

Para hacer la estimación de las cargas actuantes que va a soportar nuestro muro a escala real en el ensayo de inundación simulada, se ha determinado las cargas actuantes de acuerdo a un modelo típico que representará el entramado de madera

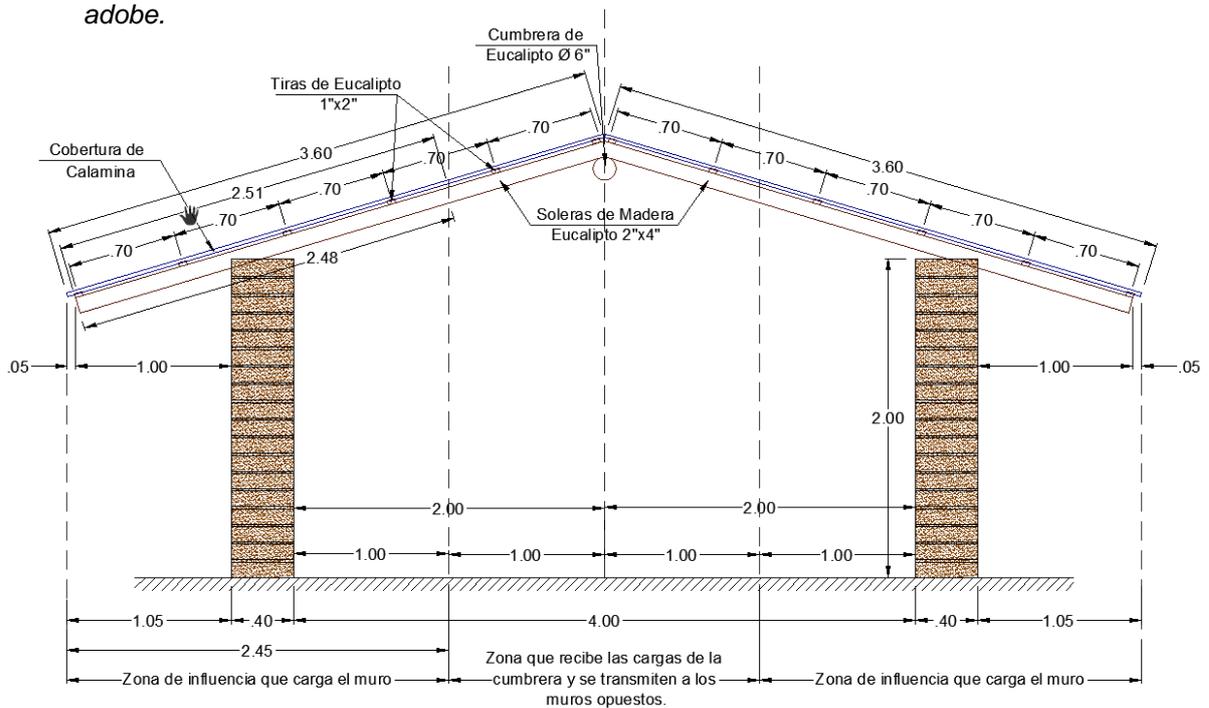
y la cobertura (calamina) que se usa comúnmente en este tipo de edificaciones, tal como se muestra a continuación:

**Figura N° 4:** *Entramado de madera y cobertura para cálculo de carga actuante sobre el muro de adobe.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 5:** *Corte A-A. Detalle de los elementos actuantes que actúan sobre el muro de adobe.*



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las zonas de influencia que se tiene en el modelo propuesto que soporta el muro, se han estimado las siguientes cargas:

**Tabla N° 1: Estimación de cargas de servicio actuantes**

Carga	Elemento	P. Unit	Cant.	Long. (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Subtotal (Kg)
Muerta	Cobertura (Calamina)	1.2 <sup>(*)</sup>	1.00	1.00	2.510	-	3.01
	Correa Eucalipto 1"x2"	1,200 <sup>(**)</sup>	4.00	1.00	0.050	0.025	6.00
	Soleras Eucalipto 3"x4"	1,200 <sup>(**)</sup>	2.00	2.48	0.075	0.10	44.64
Sobre carga	Techo	100 <sup>(*)</sup>	1.00	1.00	2.510	-	251.00
<b>TOTAL</b>							<b>304.65</b>

(\*) Unidades en Kg/cm<sup>2</sup> (\*\*) Unidades en Kg/cm<sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que al hacer el cálculo para determinar la altura "h" de la viga de concreto que representa el peso de las cargas actuantes, para nuestro caso, visto en las Figuras N° 4 y 5, se obtiene una altura de 0.33 m.

**Tabla N° 2: Estimación de "h" equivalente a las cargas actuantes de servicio**

Elemento	P. Unit (Kg/m <sup>3</sup> )	Cant.	Long. (m)	Ancho (m)	Peso (Kg-m)	h <sub>calculado</sub> (m)
Viga de concreto simple	2,300	1.00	1.00	0.40	920.00	<b>0.33</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3 Pruebas de humedad en las unidades de adobe.

Con la finalidad de analizar en la unidad de adobe el grado de impermeabilización de las distintas soluciones planteadas, se realizaron pruebas de succión en un minuto y absorción en 24 horas, siguiendo la NTP 399.613 para ladrillos de arcilla cocida.

Estas pruebas se ejecutaron sobre:

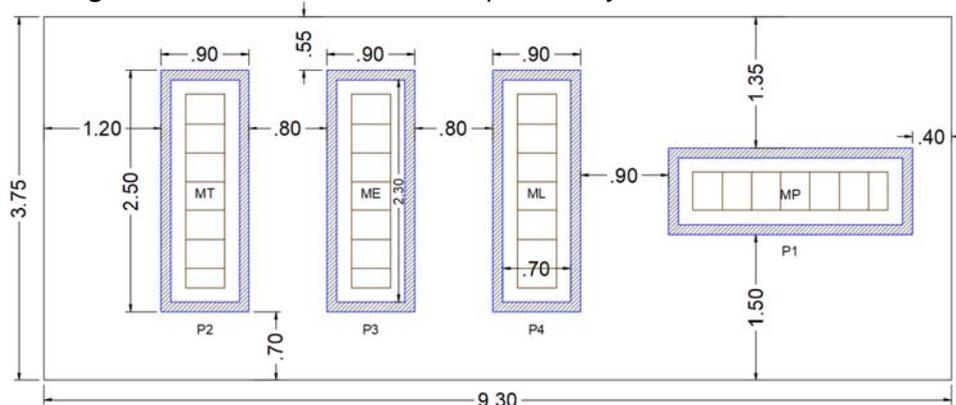
- 03 especímenes de adobe,
- 03 especímenes de adobe estabilizado con 5% de cemento en peso,
- 03 especímenes de adobe tarrajado totalmente con mortero de cemento,
- 03 especímenes de ladrillo King Kong de arcilla Industrial.

#### 4.2.4 Prueba de Inundación Simulada en los Muros.

Los estanques en donde se construyeron los muros de adobe para los diferentes tipos de protección para la inundación simulada fueron estructuras, que se adecuaron para cumplir con los requisitos de impermeabilidad y estanqueidad.

Se construyó una losa de concreto simple con una cobertura liviana (calamina), tratando de imitar la exposición al ambiente de los muros de adobe, que de acuerdo a la distribución se dimensionó de 9.30 x 3.75 m.

**Figura N° 6:** Distribución de Pozas para ensayo de Inundación Simulada.



Fuente: Elaboración propia.

Sobre el espacio habilitado, se construyeron 04 pozas de albañilería que fueron tarrajeadas con mortero cemento: arena en una proporción 1:5, y recubiertas con impermeabilizante superficial del concreto (Chema Seal), y de esta forma se analizaron las variables de absorción, succión, el comportamiento y desempeño a lo largo del tiempo de cada muro.

Se realizó la construcción de 04 muros:

- 01 muro patrón sin protección.
- 01 muro tarrajado a una altura de 60 cm.
- 01 muro con adobe estabilizado en toda su altura.
- 01 muro con sobrecimiento de ladrillo industrial de arcilla.

Luego de haberse logrado la altura aproximada de 2.40 m., se procedió a hacer el encofrado y vaciado de una viga de concreto simple con una altura "h" de 0.33 cm., que simuló las cargas de gravedad transmitidas por un techo. Para que no haya absorción de agua en la parte superior que provenga del concreto fresco, se aisló con plástico la cabecera del muro.

Después de 28 días de haberse construido y cargado los cuatro muros, fueron sometidos a una inundación simulada mediante el siguiente protocolo:

- A. Para medir la cantidad de agua absorbida por cada muro, se usó una cinta métrica en cada sector de la poza, con divisiones cada centímetro y con una altura total de 30 centímetros.
- B. Para medir la cantidad de agua que ascendió a través de cada muro por capilaridad, se usó también una cinta métrica en cada muro.
- C. Para observar si existen asentamientos en los muros, se colocó un marcador, sobre un nivel fijo de las cintas métricas colocadas en una cara de los muros.
- D. Se inundaron las pozas por separado hasta un nivel de 30 centímetros, el cual, nos permitió estimar el volumen de agua y calcular la cantidad de agua que se reponía en las diversas etapas del ensayo.
- E. Desde el momento inicial de inundación se definieron dos periodos:
  - a. Periodo Corto de Inundación (PCI): desde que se inició el llenado de las pozas para el ensayo, hasta cumplir las 72 horas de inundación (03 días).
  - b. Periodo Prolongado de Inundación (PPI): que incluye el PCI, hasta cumplir 15 días de inundación o hasta que el muro de adobe falle.
- F. Durante el periodo corto de inundación la base del muro pasa de un estado de humedad natural a un estado de saturación. De no soportar este período se considera que el muro no resiste la inundación. Este periodo intentó representar una inundación por crecida de ríos en la cual, la reposición de agua es constante.
- G. Durante el periodo prolongado de inundación, se entiende que la base del muro se encuentra saturada y que soportó al ambiente agresivo. De no colapsar un muro durante este periodo se consideró que es resistente a la inundación, pero como producto de ésta, sufre daños irreparables por erosión que conllevan a descartar la solución empleada. Este periodo intentó representar la evaporación paulatina del agua y el desaguado de la inundación. Cualquier muro que se mantenga en pie luego de este periodo, se consideró como exitoso en cuanto a la mejora empleada.
- H. Durante el periodo corto de inundación se realizaron mediciones de absorción y capilaridad cada hora y cada 24 horas se repuso el volumen de agua perdida por absorción de los muros y evaporación.

- I. Durante el periodo prolongado de inundación se realizaron mediciones de absorción y capilaridad cada 24 horas. Cada semana se repuso el volumen de agua perdida por absorción de los muros y evaporación.
- J. Concluido el ensayo se desmontaron los muros desde la hilera superior, llevando un registro fotográfico de una unidad por cada hilera, con lo cual se documentó su consistencia al tacto y observar cuán húmedo se encontró su núcleo al partirla en dos.

#### 4.2.5 Características de los Muros.

##### A. Muro Patrón (MP).

El muro MP se construyó totalmente de adobe y fue asentado con torta de barro del mismo material con el cual se fabricaron los adobes. Este muro no tuvo ningún sistema de protección, ni ninguna mejora.

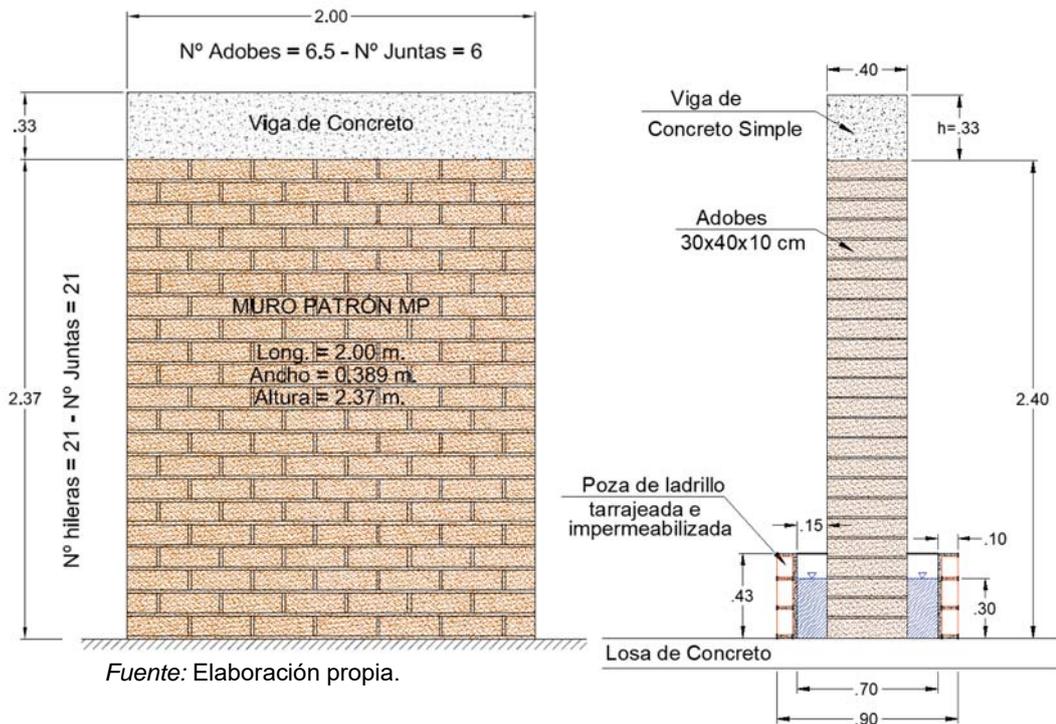
El muro después de su construcción en aparejo de sogá ha tenido las siguientes características:

**Tabla N° 3: Características del Muro MP**

Dimensiones Adobe de MP	
- Largo:	0.389 m.
- Ancho:	0.291 m.
- Altura:	0.097 m.
- Volumen:	0.011 m <sup>3</sup> .
- Peso Promedio:	19.85 Kg.
N° Adobes x hilera	6.50 und.
N° Hileras	21.00
Total de Adobes en MP	136.50 und.
Volumen de Mortero	
N° Juntas Horizontales	21.00
Espesor Junta Horizontal	1.60 cm.
Volumen Junta Horizontal	0.2614 m <sup>3</sup> .
N° Juntas Verticales x Hilera	6.00
N° Total Juntas Verticales	126.00
Espesor Junta Vertical	1.60 cm.
Volumen Junta Horizontal	0.0761 m <sup>3</sup>
Volumen Juntas	0.3375 m <sup>3</sup>
Equivalente en Adobes	31.00 und.
<b>TOTAL DE ADOBES</b>	<b>167.50 und</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura N° 7: Dimensiones Muro Patrón MP.**



### **B. Muro Tarrajado (MT).**

El muro MT también se construyó totalmente de adobe y fue asentado con torta de barro del mismo material con el cual se fabricaron los adobes bajo los mismos lineamientos del Muro Patrón (MP).

Antes de realizar el tarrajeo, se colocó malla de gallinero (alambre galvanizado hexagonal de 3/4") en las caras del muro, para que cuando el adobe entre en contacto con el agua, tratará de expandirse y expulsaría a la capa de tarrajeo. Este anclaje se hizo usando clavos de 2".

**Figura N° 8: Malla de Gallinero anclada al muro de adobe.**



Se procedió a hacer el tarrajeo de las caras del muro, dándole un acabado frotachado pulido.

**Figura N° 9:** Tarrajeo de las caras del Muro MT.



Luego se tarrajeó con mortero cemento: arena fina (C:A=1:5), las cuatro caras del muro hasta una altura de 60 cm. con un espesor de 1.5 cm., para que la altura que estaría en contacto con el agua fuera de 30 cm.

Se hizo el curado correspondiente con agua durante 07 días y se dejó secar el tarrajeo por 28 días antes de someterlo al ensayo de inundación simulada.

El muro después de su construcción en aparejo de soga y considerando las mismas dimensiones y pesos del muro MP, de la Tabla N° 3, ha tenido las siguientes características:

**Tabla N° 4:** Características del Muro MT

N° Adobes x hilera	6.50 und.
N° Hileras	21.00
Total de Adobes en MP	136.50 und.
Volumen de Mortero	
N° Juntas Horizontales	21.00
Espesor Junta Horizontal	1.60 cm.
Volumen Junta Horizontal	0.2621 m <sup>3</sup> .
N° Juntas Verticales x Hilera	6.00
N° Total Juntas Verticales	126.00
Espesor Junta Vertical	1.60 cm.
Volumen Junta Horizontal	0.0763 m <sup>3</sup>
Volumen Juntas	0.3383 m <sup>3</sup>



### **C. Muro con Adobe Estabilizado (ME).**

La fabricación de adobes estabilizados para el Muro ME, se realizó in situ añadiendo el 5% de cemento en peso, para lo cual se hizo el cálculo siguiente:

- Peso promedio de adobe: 19.85 Kg.
- 5% del peso:  $19.85 \text{ Kg} \times 5\% = 0.9925 \text{ Kg}$ .

Lo que nos conllevó a proporcionar que por cada 20 Kg. de material seco, se tenía que añadir 01 Kg. de cemento.

Para la fabricación de estos adobes, se usó Cemento Pacasmayo Portland Tipo I (NTP 334. 009 - ASTM C-150).

**Figura N° 11:** *Dosificación y mezclado de material con cemento para la elaboración de adobes estabilizados.*



**Figura N° 12:** *Moldeado de adobes estabilizados con 5% de cemento en peso, hechos en adobera "mellizera".*



**Figura N° 13:** *Visita e Inspección del Asesor a los adobes estabilizados en el proceso de secado.*



El muro ME fue construido íntegramente con adobes estabilizados, asentados con mortero preparado con el mismo material con la proporción del 5% en peso de cemento portland Tipo I. Se dejó secar el muro por 28 días antes de someterlo al ensayo de inundación.

**Figura N° 14:** *Asentado del Muro estabilizado.*



Durante el asentado del muro ME, el traslado de las unidades de adobe se hizo con bastante cuidado, ya que las esquinas y las aristas de los adobes estabilizados se desmoronaban fácilmente, incluso cuando se golpeaba para

dividirlos en mitades o para poder ubicarlos sobre las juntas verticales llegaban a partirse con facilidad, por lo que el personal obrero llegó a compararlos como si estos fueran de “pan de maíz” (alfajor cajamarquino típico).

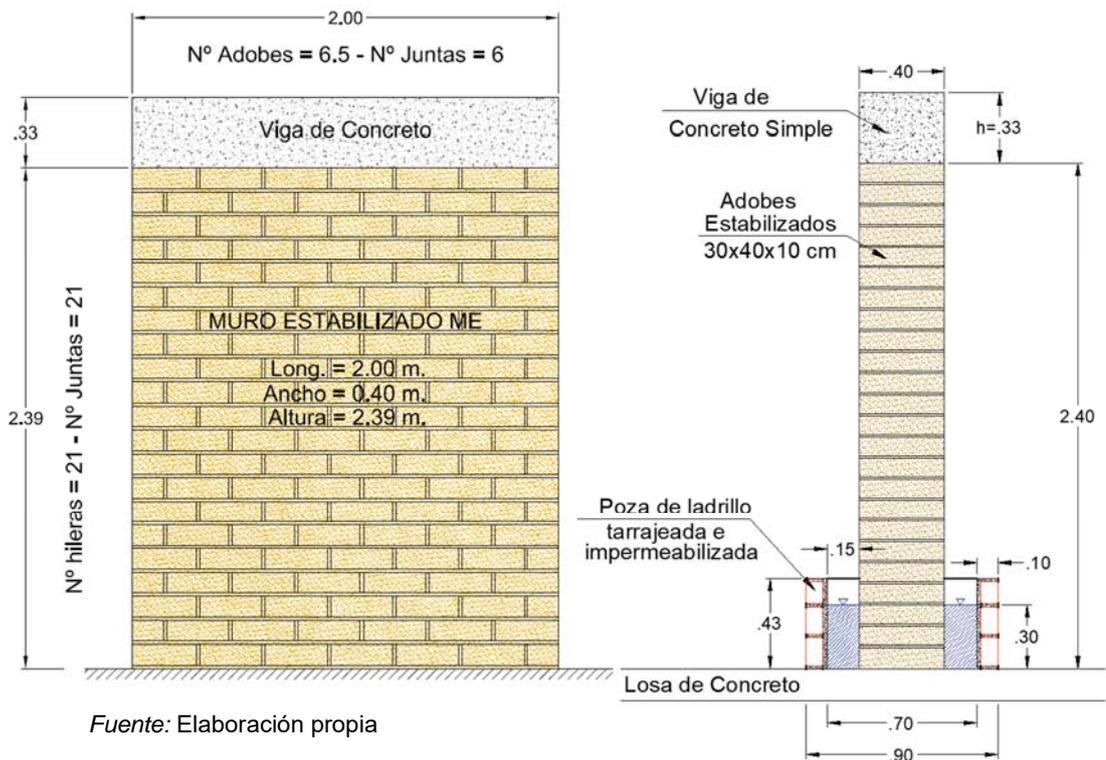
El muro después de su construcción en aparejo de sogá ha tenido las siguientes características:

**Tabla N° 5: Características del Muro ME.**

Dimensiones Adobe Estabilizado de ME		
- Largo:	0.400 m.	
- Ancho:	0.296 m.	
- Altura:	0.098 m.	
- Volumen	0.012 m <sup>3</sup> .	
- Peso Promedio	19.25 Kg.	
N° Adobes x hilera	6.50	und.
N° Hileras	21.00	
Total de Adobes en ME	136.50	und.
Volumen de Mortero		
N° Juntas Horizontales	21.00	
Espesor Junta Horizontal	1.60	cm.
Volumen Junta Horizontal	0.2688	m <sup>3</sup> .
N° Juntas Verticales x Hil.	6.00	
N° Total Juntas Verticales	126.00	
Espesor Junta Vertical	1.60	cm.
Volumen Junta Horizontal	0.0790	m <sup>3</sup>
Volumen Juntas	0.3478	m <sup>3</sup>
Equivalente en Adobes	30.0	und.
<b>TOTAL DE ADOBES</b>	<b>166.50</b>	<b>und</b>
Total de Adobes	166.50	und.
Peso total	3,204.68	Kg
Peso cemento (5%)	160.23	Kg
Volumen ME	1.912	m <sup>3</sup>
Total de bolsas	3.77	bls.

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura N° 15: Dimensiones Muro Estabilizado ME.**



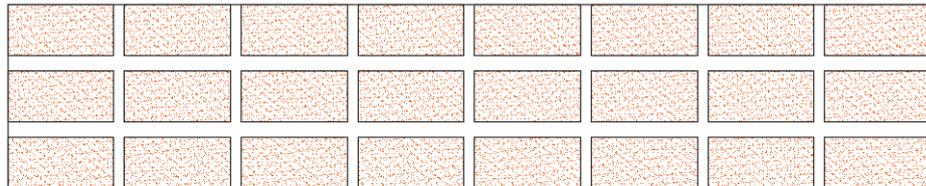
**D. Muro con Sobrecimiento de Ladrillo (ML).**

Para la construcción del sobrecimiento con ladrillo King Kong de arcilla industrial, asentado con mortero cemento: arena gruesa (C:A=1:5), y que tuvo una altura total de 0.60 m. (6 hileras) correspondiente al doble de la zona en contacto directo con el agua. Las hileras siguientes se construyeron con adobes similares al Muro Patrón (MP). Este sistema de protección alcanzó una altura de 30 cm. por encima del nivel del agua y tuvo un espesor igual al del muro.

El muro ML fue construido de manera mixta con dos tipos de material. Las primeras 6 hileras, que hacen la función de sobrecimiento, fueron hechas con ladrillo de arcilla industrial. Las 16 hileras siguientes se construyeron con adobes, similares al Muro Patrón MP.

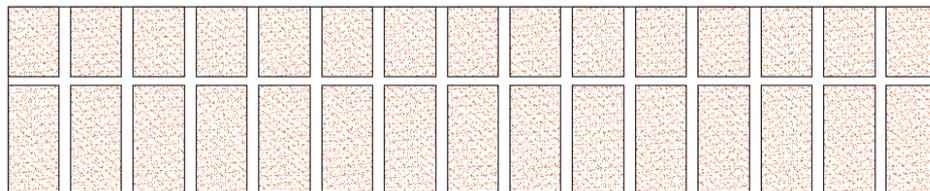
Para la zona del sobrecimiento de ladrillo, se diseñó dos aparejos tratando de optimizar las unidades de ladrillo KK de arcilla industrial, y asegurar el “trabe” correspondiente, obteniendo los siguientes aparejos para las hileras pares e impares tal como se muestra en las figuras N° 16 y N° 17.

**Figura N° 16:** Distribución de ladrillos KK y mortero C:A en las hileras impares (1,3 y 5) del sobrecimiento de ladrillo del Muro ML.



*Fuente:* Elaboración propia

**Figura N° 17:** Distribución de ladrillos KK y mortero C:A en las hileras pares (2,4 y 6) del sobrecimiento de ladrillo del Muro ML.



*Fuente:* Elaboración propia

**Figura N° 18:** Asentado del sobrecimiento de ladrillo KK de arcilla industrial para el Muro ML.



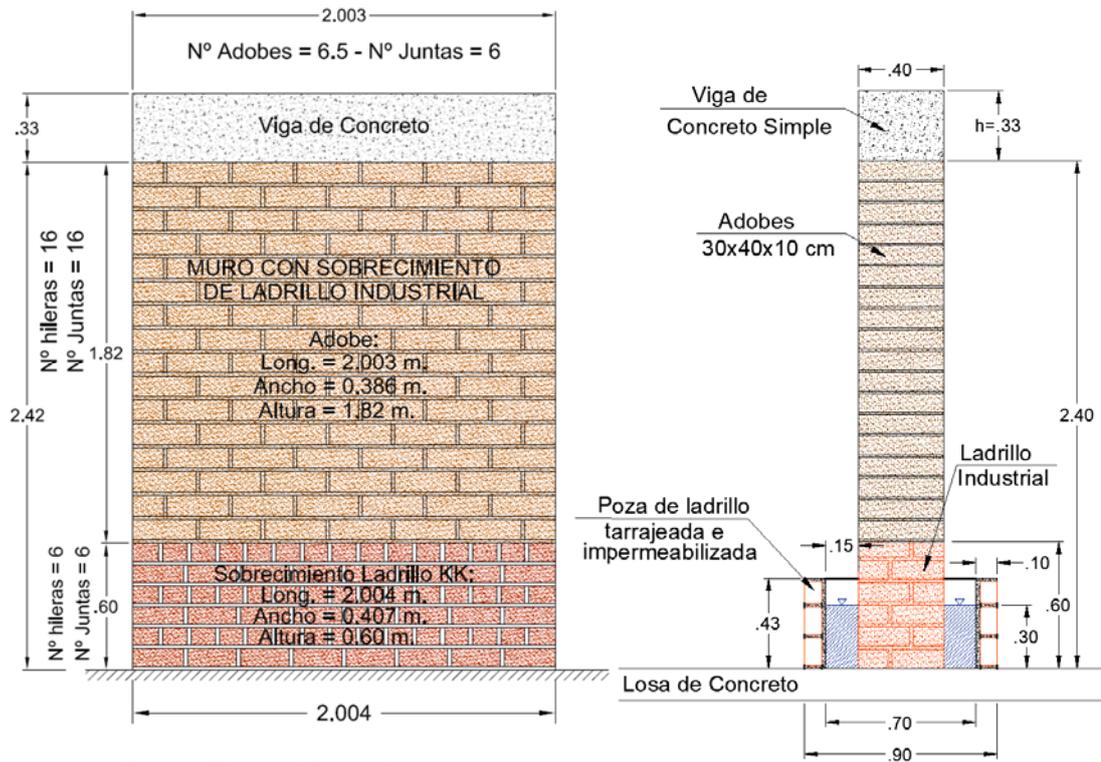
Después del sobrecimiento, se asentaron los adobes en aparejo de soga. El muro ML después de su construcción ha tenido las siguientes características:

**Tabla N° 6: Características del Muro ML**

<b>Metrado de Materiales</b>		
N° Adobes x hilera		6.50 und.
N° Hileras		16.00
Total de Adobes en MP		104.00 und.
<b>Volumen de Mortero</b>		
N° Juntas Horizontales		16.00
Espesor Junta Horizontal		1.60 cm.
Volumen Junta Horizontal		0.1979 m <sup>3</sup> .
N° Juntas Verticales x Hil		6.00
N° Total Juntas Verticales		96.00
Espesor Junta Vertical		1.60 cm.
Volumen Junta Horizontal		0.0575 m <sup>3</sup>
Volumen Juntas		0.2554 m <sup>3</sup>
Equivalente en Adobes		24 und.
<b>Sobrecimiento de Ladrillo</b>		
N° Hileras 1, 3, 5		3.00
N° Ladrillos en Hil. 1, 3, 5		24.00
N° Hileras 2, 4, 6		3.00
N° Ladrillos en Hil. 2, 4, 6		30.00
Total Ladrillos.		162.00
<b>Mortero C:A=1:5</b>		
N° Juntas Horizontales		6.00
Espesor Junta Horizontal		1.60 cm.
Volumen Junta Horizontal		0.0783 m <sup>3</sup> .
Área Juntas vert. Hil. 1,3,5		0.1928 m <sup>2</sup>
Área Juntas vert. Hil. 2,4,6		0.1729 m <sup>2</sup>
Volumen Junta Vertical		0.0987 m <sup>3</sup>
Cantidad de Materiales		0.1770 m <sup>3</sup>
Cemento 7.4 bls x m <sup>3</sup>		1.3101 bls
Ar. gruesa 1.05 m <sup>3</sup>		0.1859 m <sup>3</sup>

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura N° 19: Dimensiones de Muro con Sobrecimiento de Ladrillo ML.**



#### 4.2.6 Características comunes de los Muros.

- Con excepción del muro MT cuyo espesor se incrementó por el tarrajeo colocado alrededor de su base, se trató que todos los muros tuvieran las mismas dimensiones en promedio: 2.40 m de alto, 2.00 m de largo y 0.40 m de ancho.
- Se utilizó el mismo tipo de aparejo o amarre para el asentado de los adobes en los muros.
- Todos los muros se construyeron por el mismo personal para eliminar el factor de incertidumbre por variación en mano de obra.
- Las juntas verticales y horizontales de los muros tuvieron un espesor de 1.6 cm. y el mortero fue hecho con el mismo material utilizado en los adobes, a excepción del muro ME.

## **4.3 Métodos de investigación**

### **4.3.1 Pruebas de Absorción y de Succión.**

Las pruebas constituyen índices que nos permiten comprender y comparar el comportamiento de las unidades ante la exposición de agua. Para tal fin nos basamos en las pruebas de Succión y de Absorción descritas en la NTP 399.613, la cual detalla los métodos de muestreo y ensayos en ladrillos de arcilla.

Cabe destacar y advertir que estos procedimientos fueron concebidos para ladrillos de arcilla consolidadas por medios físicos en materiales de características muy diferentes a las unidades de adobe. Esto debido a que la Norma Técnica Peruana no especifica procedimientos para el ensayo y muestreo de unidades de adobe para las pruebas citadas, por lo que se tuvo que adaptar dichos ensayos observando sus alcances en las unidades de adobe.

#### ***A. Prueba de absorción.***

La Prueba de Absorción se basó en la NTP 399.613 y tiene por objetivo conocer la capacidad de absorción de las muestras a ser ensayadas cuando alcanzan un estado de saturación, en otras palabras, obtendremos un índice que refleje la capacidad de absorción de agua de los especímenes ante 24 horas de inmersión en agua.

Las unidades designadas para la prueba serán sometidas a un secado uniforme en un horno estándar por un lapso de 24 horas a una temperatura de 110 °C.

Este procedimiento se realiza con la finalidad de eliminar la humedad natural contenida en dichos especímenes para obtener un resultado basado únicamente en la absorción de agua producto de la inmersión de las muestras.

A continuación, se procede a pesar las muestras con una aproximación de 0.5 gr. Se preparan los recipientes en los cuales se sumergirán los especímenes.

Se sumerge el espécimen en agua limpia (potable, destilada o agua de lluvia) que se encuentre a una temperatura entre 15.5 a 30 °C, por un periodo de 24 horas.

Pasado este lapso de tiempo, se retira el espécimen, limpiando el agua superficial

con un paño para posteriormente pesar el espécimen con una aproximación de 0.5 gr. Las muestras se pesan dentro de los 5 minutos siguientes de ser retirados del agua.

Cabe advertir que la NTP 399.613 requiere que la prueba de absorción se realice con medias unidades como especímenes de prueba, ya que como mencionamos estas pruebas están destinadas a unidades de arcilla las cuales fácilmente pueden ser divididas en medias unidades. Esto se tornó imposible en el caso de las muestras de adobe ya que al intentar dividir las en medias unidades, éstas se desintegraban estropeando el propósito del experimento, por esta razón se optó por utilizar unidades enteras.

Se calculó la absorción de cada espécimen con la siguiente expresión:

$$\text{Absorción \%} = 100 \frac{(W_s - W_d)}{W_d} \quad (1)$$

Donde:

$W_d$  = Peso seco del espécimen.

$W_s$  = Peso del espécimen saturado, después de la inmersión en agua fría durante 24 horas.

Finalmente se calcula el promedio de la absorción de todos los especímenes ensayados, con aproximación a 0.1 %.

#### a. *Adobe.*

Se procedió a dimensionar, pesar y realizar la identificación correspondiente de los especímenes de adobe a ensayar.

Se llenó con agua los recipientes, sin hacerlo directamente a las unidades de adobe, observándose la presencia de burbujas y que de manera instantánea se inicia el proceso de disgregación de los adobes desde el primer contacto con el agua.

**Figura N° 20:** Adobes identificados antes de iniciar el ensayo de Absorción.



Debido a la desintegración masiva de los especímenes durante los primeros minutos de inmersión, hubo partículas que quedaron en suspensión dificultando la inspección visual de las unidades, por lo cual se dejó las muestras 24 horas para observar su condición al finalizar la prueba de absorción.

**Figura N° 21:** Adobe durante el ensayo de absorción.



Finalizada las 24 horas de inmersión los especímenes de adobe, se observan que el adobe ha perdido su forma original, convirtiéndose en una masa pastosa sin consistencia ni resistencia además de observarse en el fondo de los depósitos las partículas de material y de la paja.

**Figura N° 22:** Adobes después de las 24 horas del ensayo de absorción.



Las unidades de adobe terminaron por desintegrarse en su totalidad haciendo imposible su extracción para la medición de sus pesos en estado saturado.

**Figura N° 23:** *Adobes totalmente desintegrados después del ensayo de absorción.*



Para determinar el tiempo en que una unidad de adobe mantiene su consistencia por efectos del agua, se realizó una prueba sumergiendo adobes en agua, para describir las condiciones en las que resulta las unidades de adobe ensayadas cada 15 minutos.

**Figura N° 24:** *Adobe expuesto al factor erosivo del agua.*



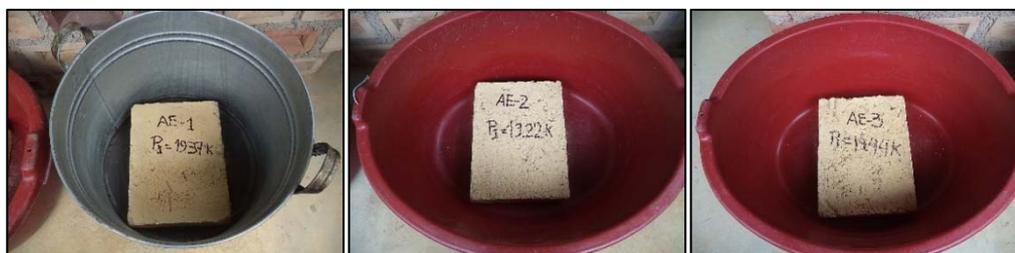
**Figura N° 25:** *Adobe después de estar expuesto al factor erosivo del agua convertido en una masa pastosa e inconsistente después de 45 minutos.*



*b. Adobe Estabilizado.*

Se procedió a dimensionar, pesar y realizar la identificación correspondiente de los especímenes de adobe estabilizado a ensayar.

**Figura N° 26:** Adobes estabilizados identificados antes de iniciar el ensayo de absorción.



Se llenaron con agua los recipientes sin hacer contacto con las unidades de adobe estabilizado, observando la presencia de burbujas y desprendimiento de algunas partículas de las esquinas y aristas de las unidades ensayadas.

No existieron partículas que quedaron en suspensión por lo que se realizó una inspección visual de las unidades, dejando las muestras por 24 horas para ver su condición al finalizar la prueba de absorción.

Se observó que no hubo deterioro progresivo en los especímenes los cuales fueron encontrados en las mismas condiciones del día anterior, por lo cual se concluye que la prueba de absorción es válida para los adobes estabilizados con 5% de cemento en peso.

**Figura N° 27:** Adobes estabilizados después de las 24 horas del ensayo de absorción.



Al retirar los especímenes de los recipientes, se observó la presencia de pocas partículas y pequeñísimos restos desprendidos por la acción erosiva del agua, los cuales constituyen una pérdida menor de masa que no altera de manera significativa los pesos finales de las muestras en su estado saturado.

Se evidenció el buen estado y la estabilidad de las muestras lo que permitió su manipulación y posterior traslado, para el pesaje correspondiente.

**Figura N° 28:** Pesaje de adobes estabilizados después de las 24 horas del ensayo de absorción.



Se dividió en dos cada unidad ensayada para ver el interior, observándose de que se han saturado completamente los especímenes, pero sigue siendo una masa consistente y estable.

**Figura N° 29:** Interior de adobes estabilizados después de las 24 horas del ensayo de absorción.

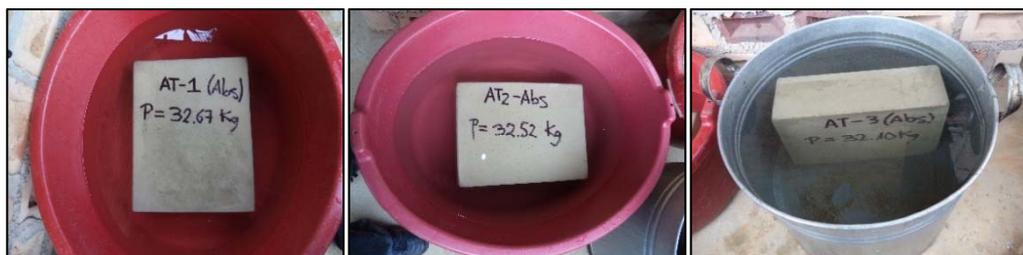


c. *Adobe Tarrajado.*

Se procedió a dimensionar, pesar y realizar la identificación correspondiente de los especímenes de adobe tarrajado a ensayar.

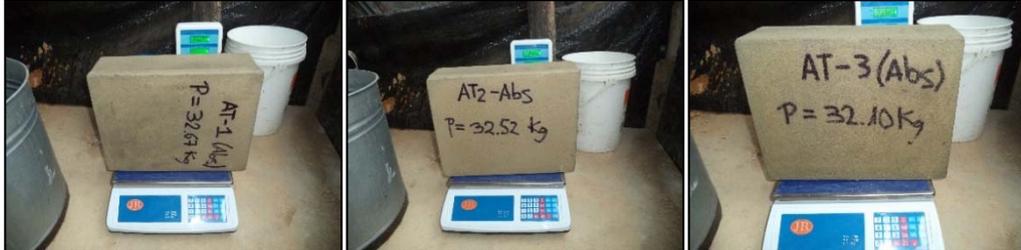
Se llenaron con agua los recipientes con las unidades de adobe tarrajado, no se evidenció la salida de burbujas de aire lo cual nos indicó que el proceso de saturación se dio de manera progresiva, llevándole al agua un mayor tiempo en penetrar el recubrimiento de tarrajeo hasta llegar al núcleo de adobe.

**Figura N° 30:** Adobes tarrajados identificados, sumergidos en agua para el ensayo de absorción.



Después de las 24 horas de estar sumergidos en agua, al finalizar la prueba de absorción, se observó que no hubo fisuras ni desprendimiento del tarrajeo por lo que los especímenes no sufrieron cambios considerables con respecto al día anterior.

**Figura N° 31:** *Pesaje de adobes tarrajeados, después de las 24 horas del ensayo de absorción.*



Se procedió a retirar el tarrajeo para ver el estado del adobe en su interior observando, que existe la presencia de humedad y saturación en partes del adobe, debido a la existencia de poros o pequeñísimas fisuras que permiten el ingreso de agua hacia el interior del tarrajeo afectando al adobe.

**Figura N° 32:** *Retiro de una cara de los adobes tarrajeados, después de las 24 horas del ensayo de absorción para ver la humedad al interior del adobe.*



**Figura N° 33:** *Núcleo de adobes con humedad después del retiro del tarrajeo exterior después del ensayo de absorción.*



Nótese que los adobes tarrajeados presentaron un mejor comportamiento al ser comparados con los adobes, ya que se mantuvieron estables por más tiempo, aunque después de retirar el tarrajeo se puede observar claramente la saturación de algunas zonas de los adobes.

Si bien el tarrajeo, ofrece una protección al adobe, este sistema de protección puede ser vulnerable ante filtraciones por la existencia de poros o fisuras, imperceptibles al ojo humano, que podrían poner en riesgo la integridad de la capa protectora de tarrajeo, debido al esponjamiento del adobe.

*d. Ladrillo Industrial.*

Se procedió a dimensionar, pesar y realizar la identificación correspondiente de los especímenes de ladrillo King Kong de arcilla industrial a ensayar.

Se llenó con agua el recipiente con las unidades de ladrillo, en el cual no se evidenció la salida de burbujas de aire lo cual nos indicó que el proceso de saturación se dio de manera progresiva, llevándole al agua un mayor tiempo en penetrar al interior del ladrillo.

**Figura N° 34:** Ladrillos KK de arcilla industrial iniciando el ensayo de absorción.



Después de las 24 horas que se mantuvo a las unidades de ladrillo dentro del agua, al finalizar la prueba de absorción, se observó que las unidades no han sufrido ningún tipo de desmoronamiento, o fisuración por lo que los especímenes fueron encontrados en las mismas condiciones del día anterior.

**Figura N° 35:** Pesaje de ladrillos KK de arcilla industrial después del ensayo de absorción.



### ***B. Prueba de Succión.***

La prueba de periodo inicial de succión, se basa en la NTP 399.613 acápite 11 y tiene por objetivo obtener el índice de absorción temprana del espécimen ensayado; es decir, la cantidad de agua que la unidad de adobe puede absorber en un periodo normado de  $1 \text{ min} \pm 1 \text{ s}$ . En primer lugar, se somete a los especímenes a un secado uniforme en horno estándar por un tiempo de 24 horas a una temperatura de  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ . Este procedimiento se realiza con la finalidad de eliminar la humedad natural contenida en dichos especímenes con la finalidad de que los resultados estén determinados únicamente por el agua absorbida de la bandeja, eliminando el factor de humedad natural del espécimen.

Se procede a medir las dimensiones de los especímenes para determinar el área que estará en contacto con el agua, que en este caso corresponde a una base rectangular uniforme.

Luego, se pesan los especímenes en una balanza electrónica con una aproximación de 0.5 gr para registrar el peso seco del espécimen.

Los aparatos utilizados en esta prueba serán una bandeja modificada para contener el agua de la prueba y los soportes para las unidades de adobe. La bandeja debe contar con una profundidad no menor de 25 mm., y de largo y ancho tales que la superficie de agua no sea menor de  $2000 \text{ cm}^2$ . La base de la bandeja debe ser plana; los soportes de las unidades son dos barras de acero no corrosible, de sección transversal circular hueca de espesor aproximado de 2 mm. La finalidad de estos soportes es evitar el contacto directo del espécimen con la bandeja.

Se ajusta la posición de la bandeja, de manera que el fondo esté nivelado y se colocan los soportes metálicos. Se agrega agua hasta que el nivel de la misma sea de  $3 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$  sobre los soportes. Después se coloca el espécimen sobre los soportes. Durante el periodo de contacto, el cual será de  $1 \text{ min} \pm 1 \text{ s}$ , se mantendrá el nivel de agua constante gracias al dispositivo de rebalse de la bandeja.

Luego se retira el espécimen y se seca el agua superficial con un paño húmedo

para volver a pesar el espécimen, obteniendo el peso final de la muestra, el cual incluye el peso del agua absorbida en un minuto. El secado del agua superficial de las muestras se hará dentro de los 10 segundos siguientes de retirado el espécimen y deberá pesarse dentro de los siguientes 2 minutos.

Finalmente, la succión se calcula como la diferencia de peso, en gramos, entre el peso inicial y el peso final del espécimen, es decir será el peso del agua absorbida por la muestra durante el minuto de contacto con el agua. Si el área del espécimen difiere en más de  $\pm 2.5\%$  de  $200 \text{ cm}^2$ , se corrige el peso mediante la ecuación que se indica a continuación:

$$S = \frac{200 W}{L*B} \quad (2)$$

Donde:

S = Succión normalizada.

W = Diferencia de pesos del espécimen entre los estados húmedo y seco (gr).

L = Longitud del espécimen (cm).

B = Ancho del espécimen (cm).

Por último, calculamos y reportamos el promedio de succión de todos los especímenes ensayados, con aproximación a  $0.1 \text{ gr/min}/200 \text{ cm}^2$ .

a. *Adobe.*

Se procedió a dimensionar, pesar y realizar la identificación correspondiente de los especímenes de adobe a ensayar.

**Figura N° 36:** *Adobes en el ensayo de succión.*



Se apreció que trascurrido el minuto de contacto del adobe con el agua hubo un importante ascenso del agua por capilaridad del orden de  $2.70 \text{ cm}$ .

Se observó que los tres especímenes de adobe sufrieron una avanzada degradación y posterior desprendimiento de partículas de la cara inferior que estaba en contacto con el agua, dichas partículas fueron a dar al fondo de la bandeja, por lo cual se infiere que los especímenes perdieron una cantidad considerable de peso que podría exceder al peso del agua absorbida.

**Figura N° 37:** Partículas de material de adobes al fondo de la bandeja al terminar el ensayo de succión.



Se confirma esta suposición al registrar los pesos de los especímenes tras un minuto de exposición al agua a través de un área normalizada en 200 cm<sup>2</sup>.

*b. Adobe Estabilizado.*

Se procedió a dimensionar, pesar y realizar la identificación correspondiente de los especímenes de adobe estabilizado a ensayar.

**Figura N° 38:** Adobes estabilizados en el ensayo de succión.



Los tres especímenes de adobe estabilizado presentaron un comportamiento superior a los adobes en cuanto a resistencia y ascenso capilar. Se observa el desprendimiento de una pequeñísima cantidad de partículas al contacto con el agua conservando la integridad y las mismas dimensiones.

**Figura N° 39:** Bandejas al finalizar el ensayo de succión en adobes estabilizados.



Adicionalmente, se pudo notar un menor ascenso capilar de agua del orden de 1.90 cm, lo cual indica a priori que la cantidad de vacíos del adobe estabilizado es menor que la del adobe.

*c. Adobe Tarrajado.*

Se procedió a dimensionar, pesar y realizar la identificación correspondiente de los especímenes de adobe tarrajado a ensayar.

**Figura N° 40:** Adobes tarrajados durante el ensayo de succión.



Para esta prueba, se utilizó especímenes que simulen las condiciones del muro tarrajado MT, el cual fue ideado para ser construido con adobes sobre los cuales se aplicaría una capa uniforme de tarrajeo de 1.50 cm de espesor.

Para tal fin se fabricaron tres especímenes que consistían en adobes en los cuales se aplicó una capa de tarrajeo sobre todas sus caras.

El tarrajeo aplicado tiene las mismas características del muro MT, construido con mortero C:A=1:5. Se curó por 07 días y se esperó que el tarrajeo cumpliera 28 días de edad para realizar la prueba.

**Figura N° 41:** Pesaje de los adobes tarrajeados, después del ensayo de succión.



Los tres especímenes de adobe tarrajeados presentaron un comportamiento superior a los adobes y un comportamiento similar a los adobes estabilizados en cuanto a resistencia y ascenso capilar.

En primer lugar, no se generó ningún desprendimiento ni pérdida del material en contacto con el agua conservando la integridad y mismas dimensiones. Adicionalmente se observó un ascenso capilar de agua del orden de 1.40 cm, debido a que la capa de tarrajeo presenta una estructura interna con una menor cantidad de vacíos.

d. *Ladrillo Industrial.*

Se procedió a dimensionar, pesar y realizar la identificación correspondiente de los especímenes de ladrillo King Kong de arcilla industrial a ensayar.

**Figura N° 42:** Ladrillos KK de arcilla Industrial en el ensayo de succión.



Los ladrillos presentaron un comportamiento superior a los adobes, adobes estabilizados y adobes tarrajeados, en cuanto a resistencia al agua, mostrando un ascenso capilar de 0.90 cm.

No se produjo ningún desprendimiento de partículas al contacto con el agua, conservándose la integridad y las mismas dimensiones.

#### 4.3.2 Ensayo de inundación simulada en muros

Dado que no se tiene normativa acerca del presente ensayo, el Ing. Ángel San Bartolomé, diseñó un procedimiento de ensayo para simular la inundación prolongada sobre los muros de adobe.

Debido a que el ensayo se realizó con adobes y muros en su tamaño real, se implementaron recomendaciones dadas por el asesor de la presente investigación: M.Cs. Ing. José Marchena, para lograr los objetivos trazados.

Se recurrió a la experimentación, basado en métodos de ensayos comparativos en los cuales se comprobó la eficiencia de los especímenes mejorados en relación a un espécimen representativo de los sistemas normales llamado Muro Patrón (MP). Para ello se realizaron los ensayos, en donde los muros de adobe a escala real construidos con diferentes sistemas de protección, fueron sometidos a cargas de gravedad y a una inundación simulada, para así hacer la comparación correspondiente entre ellos, determinando cual es el que mantiene la resistencia a la inundación de los muros de adobe.

##### a. *Muro Patrón (MP).*

- Periodo Corto de Inundación (PCI).

El ensayo se inició el 16/01/2018 a las 10:30 am, concluyendo con el colapso del muro MP a las 1:38 am del día siguiente 17/01/2018, durando un total de 15 horas con 28 minutos, desmoronándose la base y produciéndose el volteo del muro súbitamente en el sentido perpendicular a su plano.

Al comenzar el proceso de inundación, se vertió el agua contenida en los baldes contra las paredes de la poza, con el fin de evitar que las partículas del muro no se desprendan rápidamente debido a la fuerza del flujo. A pesar de ello, ciertas partículas se fueron desprendiendo a medida que avanzaba el llenado de la poza, debido al factor erosivo del flujo de agua, que ocasionaba la pérdida de cohesión en las partículas de las caras del muro MP.

Terminado el llenado de la poza, de manera inmediata se apreció la succión del agua de los adobes superiores al nivel de inundación. A la vez, se pudo observar la formación de una espuma alrededor de muro inundado, debido a la liberación del aire y de las partículas sucias existentes en los vacíos de las hileras inundadas.

**Figura N° 43:** Muro Patrón (MP) después del llenado de la poza.



El desmoronamiento de partículas se da durante todo el tiempo de inundación en las caras del muro, debido a la pérdida de adherencia por el proceso de saturación; reduciéndose la sección transversal del muro, lo cual debilitó su estabilidad.

**Figura N° 44:** Disminución de la sección del muro MP - 3ra hilera (Hora 3:15 pm).



Se observó que la acción erosiva del agua ha saturado las unidades de adobe haciendo que pierdan su resistencia, volviéndose una masa pastosa sin consistencia además de observarse como las partículas de material y de la paja que estuvieron en contacto con las caras del muro van a parar en el fondo de la poza.

**Figura N° 45:** Muro MP colapsado debido a la saturación de adobes.



Además, se visualizó que las juntas son más vulnerables, pues éstas se han separado de las hileras de los adobes por acción de la humedad.

**Figura N° 46:** Junta de torta de barro saturado como plano de falla del Muro MP.



El peso del muro patrón MP, al cual se le ha sumado las cargas que soporta representado por una viga de concreto, muestra una falla frágil con volteo súbito, además de ver que se ha tenido un asentamiento antes del colapso de 6 mm.

**Figura N° 47:** Muro Patrón MP colapsado por efecto de la inundación simulada.



**Figura N° 48:** Maestría y Asesor haciendo inspección ocular al Muro Patrón MP colapsado por efecto de la inundación simulada.



*b. Muro Tarrajado (MT).*

- Periodo Corto de Inundación (PCI)

El ensayo se inició el 17/01/2018 a las 10:45 am, soportando las 72 horas de este periodo concluyendo el día 20/01/2018 a la misma hora.

**Figura N° 49:** Llenado de la poza P2 donde se encuentra el Muro MT para el inicio del ensayo de inundación simulada bajo la inspección del Asesor.



Se registraron las lecturas del descenso de agua en la cinta métrica ubicada en la pared de la poza y del ascenso por capilaridad en la cinta métrica colocada sobre el muro tarrajado.

**Figura N° 50:** Cinta métrica para las lecturas de descenso en la poza P2 del Muro MT.



**Figura N° 51:** Cinta métrica para las lecturas ascenso capilar del agua en el Muro MT.



Durante las primeras horas de inundación, se observó que el muro no expulsó burbujas debido a que el tarrajeo impidió el flujo de entrada de agua al muro. Por otra parte, el agua empleada permaneció clara y transparente sin partículas sueltas que demostrarían el deterioro del tarrajeo.

**Figura N° 52:** Agua transparente y clara sin desperdicios ni presencia de burbujas en la poza N° 02.

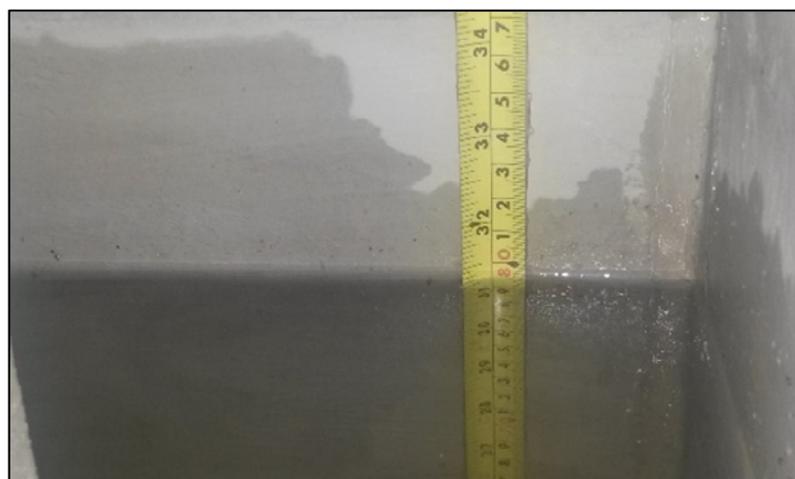


Para determinar la absorción de agua en volumen, se calculó que para aumentar 1.00 cm de altura de la poza P2, era necesario verter 7.60 litros.

**Figura N° 53:** Lectura Día 02 (37.80) a las 18:45 de ascenso (Capilaridad) sobre el tarrajeo del Muro MT.



**Figura N° 54:** Lectura Día 02 (29.50) a las 18:45 de descenso de agua en la P2



El muro MT se mantuvo en pie durante el periodo corto de inundación que duró 72 horas.

**Figura N° 55:** Muro MT al terminar el Periodo Corto de Inundación (Cara lateral).



**Figura N° 56:** Muro MT al terminar el Periodo corto de Inundación (Cara Frontal).



- Periodo Prolongado de Inundación (PPI)

El periodo prolongado de inundación, se ha iniciado el día 17/01/2018 a las 10:45 am. y ha tenido una duración de 18 días, concluyendo el día 04/02/2018. Los tres primeros días corresponden al PCI.

En el día 04 del ensayo se apreció la formación de sales a la altura del nivel del ascenso capilar, debido a que la arena fina con la que se ha tarrajado el muro MT, contiene sulfatos y/o carbonatos. Este suceso se le puede atribuir mayormente al conocido efecto de eflorescencia salina, propio de materiales que

no cuentan con una protección a la intemperie. A partir de esto podemos entender que dichos sucesos no representan un riesgo determinante a la estabilidad inmediata del muro, más solo una afectación a la estética del mismo.

**Figura N° 57:** *Presencia de eflorescencia durante el ascenso capilar.*



Durante este periodo, también se observó, que el ascenso capilar ha tenido un punto máximo en el día 07 del ensayo llegando a un nivel de 10.70 cm. Luego se ha nota un descenso debido a que en el día 08 del ensayo ha aparecido una fisura en una esquina, que coincide con la unión de los tarrajeos adyacentes de las caras del muro que ha sido necesaria para la construcción, que tiene un espesor máximo de 0.5 mm, que inicia en la parte inferior y recorre hacia arriba, por donde ha ingresado agua hacia el interior del muro.

**Figura N° 58:** *Fisura en la esquina del muro MT.*



c. *Muro Estabilizado (ME).*

- **Periodo Corto de Inundación (PCI)**

El ensayo se inició el 17/01/2018 a las 10:45 am, soportando las 72 horas de este periodo concluyendo el día 20/01/2018 a la misma hora.

**Figura N° 59:** *Llenado de la Poza 03 para el ensayo de Inundación simulada del Muro Estabilizado ME.*



Durante el PCI, en las primeras 24 horas de inundación, el muro expulsó burbujas propias del proceso de saturación de poros hasta estabilizarse después del segundo día de ensayo.

Durante este tiempo se notó que las caras y las esquinas en contacto directo con el agua se iban desmoronando, pero no como partículas sueltas sino como escamas que fueron a parar al fondo de la poza.

**Figura N° 60:** *“Escamas” desprendiéndose de las caras del muro que está en contacto con el agua.*



Los adobes estabilizados se mantenían firmes, no se deformaron y mantuvieron su consistencia. En las juntas que estaban en contacto con el agua, se vio mayor cantidad de material que se desmoronaba y que se habían profundizado entre 1.00 y 2.50 cm.

**Figura N° 61:** Juntas socavadas por el contacto con el agua.



Para determinar la absorción de agua en volumen, se calculó que para aumentar 1.00 cm de altura de la poza P3, era necesario verter 7.52 litros.

**Figura N° 62:** Lectura Día 01 (43.10) a las 20:45 de ascenso (Capilaridad) sobre el Muro ME.



**Figura N° 63:** Lectura Día 01 (24.00) a las 20:45 de descenso de agua en la Poza 3.



El muro se mantuvo en pie durante el periodo corto de inundación que duró 72 horas.

**Figura N° 64:** Muro ME al terminar el Periodo Corto de Inundación.



- Periodo Prolongado de Inundación (PPI).

El periodo prolongado de inundación, se ha iniciado el día 17/01/2018 a las 10:45 am. y ha tenido una duración de 18 días, concluyendo el día 04/02/2018.

Durante todo el tiempo de exposición al agua del muro ME, se ve el ascenso capilar constante sobre las unidades de adobe y la absorción del agua.

*d. Muro con Sobrecimiento de Ladrillo (ML).*

- Periodo Corto de Inundación PCI

El ensayo se inició el 17/01/2018 a las 11:30 am, soportando las 72 horas de este periodo concluyendo el día 20/01/2018 a la misma hora.

Se tuvo facilidad para verter el agua sin la preocupación de la desintegración de los ladrillos. Se tuvo cuidado de no mojar las partes superiores al nivel señalado para el agua, para que la lectura de los niveles de capilaridad sea adecuada.

En este caso se pudo apreciar que ninguna partícula llegó a desprenderse, observándose que el agua se ha mantenido limpia sin partículas en suspensión, permitiendo una mayor visión de las partes inferiores inundadas.

El ascenso del agua por capilaridad no se dio de manera paralela al nivel del agua, fue muy variada, tanto en las juntas de mortero y en las mismas unidades de los ladrillos, lo que implicó la necesidad de tomar diversas medidas en la sección del muro que luego fueron promediadas para efectuar las gráficas del presente ensayo.

**Figura N° 65:** Lectura Día 02 a las 16:30 de ascenso (Capilaridad) sobre el Muro ML (32.70).



**Figura N° 66:** Lectura Día 02 a las 16:30 de descenso de agua en la Poza N° 4 (29.70).



Durante el segundo día del PCI se notó que ha obtenido un ascenso máximo que llegó a los 5.20 cm de capilaridad, notando que al finalizar el PCI, se observa un nivel constante de humedad en las caras del sobrecimiento de ladrillo que llegó a 3.00 cm.

Para determinar la absorción de agua en volumen, se calculó que para aumentar 1.00 cm de altura de la poza P4, era necesario verter 8.00 litros. El muro se mantuvo en pie durante el periodo corto de inundación que duró 72 horas.

**Figura N° 67:** Muro ML después del Periodo Corto de Inundación.



- Periodo Prolongado de Inundación (PPI)

El periodo prolongado de inundación, se ha iniciado el día 17/01/2018 a las 11:30 am. y ha tenido una duración de 18 días, concluyendo el día 04/02/2018. Los tres primeros días corresponden al PCI.

Durante todo el tiempo de exposición al agua del muro ML, se ve que el agua ha mantenido un nivel constante sobre el sobrecimiento de ladrillo por debajo del nivel de los adobes, el cual no ha permitido el ascenso capilar que afecte a los adobes.

#### **4.4 Población, muestra y unidad de análisis**

##### **4.4.1 Población.**

Muros construidos con unidades de adobe fabricados en el distrito de Cajamarca.

##### **4.4.2 Muestra.**

Los muros para el ensayo de inundación simulada se han construido a escala real de 2.00 m de largo, por 2.40 m de alto, por 0.40 m de ancho, donde se aplicaron cargas provenientes únicamente de un techo.

Se ensayaron:

- 01 muro de adobe sin protección.
- 01 muro con adobe estabilizado.
- 01 muro de adobe tarrajado.
- 01 muro de adobe con sobrecimiento de ladrillo industrial.

Las unidades de adobe tienen la dimensión de 30 x 40 x 10 cm., fabricados con material proveniente de la zona de Aylambo.

##### **4.4.3 Unidad de Análisis.**

Las unidades de análisis corresponden a los adobes fabricados en la zona de Aylambo del distrito de Cajamarca y adobes estabilizados.

Se ensayaron:

- 03 adobes para ensayo de succión.
- 03 adobes estabilizados para ensayo de succión.
- 03 adobes tarrajados con mortero de cemento para ensayo de succión
- 03 adobes para ensayo de absorción.
- 03 adobes estabilizados para ensayo de absorción.
- 03 adobes tarrajados con mortero de cemento para ensayo de absorción

#### **4.5 Técnicas e instrumentos de recopilación de información**

La técnica de recopilación utilizada en esta investigación fue la experimentación, que es un estudio en el cual se manipula intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes) y se analizan las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes).

Los experimentos constituyen el modo de recolección de datos más característico y

clásico de la investigación científica. En ciencias de la construcción la situación no es muy distinta. La única diferencia está en que, en la gran mayoría de los casos, los experimentos resultarían tan costosos, que sencillamente es imposible realizarlos. En la presente investigación, se ha tenido las condiciones y los recursos necesarios para la realización de los experimentos.

Se usaron los formatos apropiados para la recolección de datos que nos permitieron procesar la información y obtener los resultados parciales y totales.

## **4.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

### **4.6.1 Elaboración de Tabulación de datos.**

Para el procesamiento de datos se ha usado el software Microsoft Excel 2016 y Minitab 18, usando el análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

El Modelo Estadístico en función del problema, se define:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + e_i ; \quad i: 1, 2, \dots, t \quad (3)$$

Donde:

$Y_i$ : Resistencia a inundación de muros de adobe para el tratamiento  $i$ .

$\mu$  : Resistencia a inundación promedio de muros de adobe.

$\alpha_i$  : Efecto debido al tratamiento  $i$ .

$e_i$  : error aleatorio asociado a la observación  $Y_i$ .

Seguidamente se corre un análisis de varianza, mismo que necesita probar las siguientes hipótesis del modelo estadístico:

- $H_0$ : *no hay un efecto de los sistemas de protección de los muros de adobe en la resistencia a la inundación.*
- $H_1$ : *al menos hay un efecto de los sistemas de protección de los muros de adobe en la resistencia a la inundación.*

Lo principal para empezar el desarrollo es tener claramente identificadas las variables y factores que intervienen en el diseño, por tanto, se tiene:

- *Variable Respuesta:* Resistencia a inundación (Succión-Capilaridad y absorción).
- *Factor de Interés:* *Sistemas de protección de los muros de adobe* (Tratamientos).

#### **4.6.2 Elaboración de gráficas de datos.**

Para el procesamiento de datos se ha usado el software Microsoft Excel 2016 y Minitab 18.

#### **4.7 Equipos, materiales e insumos.**

- Equipos:
  - Balanza electrónica.
  - Horno.
  - Adobera.
  - Cronómetro.
  - Cámara fotográfica.
  - Cámara filmadora.
  
- Materiales e Insumos:
  - Adobes de 30 x 40 x 10 cm.
  - Cemento Tipo I.
  - Arena gruesa de cerro.
  - Arena Fina de cerro.
  - Clavos de 1" y 2".
  - Malla de Gallinero.
  - Ladrillo KK de arcilla industrial.

- Agua.
- Impermeabilizante de mortero.
- Impermeabilizante para techos y reservorios.
- Tubos PVC 1/2" para agua.
- Tablas de madera de 1" x 8" x 4 m.
- Plástico.

#### 4.8 Matriz de consistencia metodológica

TÍTULO: "COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A INUNDACIÓN DE MUROS DE ADOBE CON DIFERENTES SISTEMAS DE PROTECCIÓN"								
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables/ categorías	Dimensiones/ factores	Indicadores/ cualidades	Fuente o instrumento de recolección de datos	Metodología	Población, muestra y unidad de análisis.
¿Cuál de los sistemas de protección propuestos en los muros, brinda la mejor resistencia a la inundación bajo cargas de gravedad?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Objetivo general</u> Comparar la resistencia a inundación de muros de adobe con diferentes sistemas de protección.</li> <li>• <u>Objetivos específicos</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar el comportamiento de muros de adobe sin protección ante inundación.</li> <li>- Analizar el comportamiento de muros de adobe con cargas de gravedad protegidos con tarrajeo ante inundación.</li> <li>- Analizar el comportamiento de muros de adobe estabilizado con cargas de gravedad ante inundación.</li> <li>- Analizar el comportamiento de muros de adobe con sobrecimiento de ladrillo con cargas de gravedad industrial ante inundación.</li> <li>- Brindar alternativas de solución para la protección de muros de adobe a utilizar en el distrito de Cajamarca bajo el criterio de costo - beneficio.</li> </ul> </li> </ul>	Los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad protegidos con ladrillo industrial en su base, presentan mayor resistencia a inundación frente a los que son tarrajeados y estabilizados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Variable Independiente:</u> Sistema de Protección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tarrajeo mortero cemento: arena y malla de gallinero.</li> <li>- Adobe estabilizado</li> <li>- Sobrecimiento de ladrillo industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosificación C:A=1:5, espesor 1.5 cm. Malla alambre galvanizado hexagonal de 3/4".</li> <li>- 5% de cemento en peso.</li> <li>- Ladrillo KK a una altura de 60 cm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las técnicas para la recolección de datos son de tipo experimental.</li> <li>- Ensayos en laboratorio</li> <li>- Formato para recolección de datos de succión.</li> <li>- Formato para recolección de datos de absorción.</li> <li>- Formato para recolección de datos de inundación simulada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayos de succión, absorción e inundación simulada, experimentales, en las cuales se verá la estabilidad de los muros con cargas de gravedad en construcciones de adobe ante exposición prolongada por inundación con diferentes sistemas de protección.</li> <li>- Comparación de resultados obtenidos en los ensayos de succión, absorción e inundación simulada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Población:</u> - Unidades de Adobe. - Muros de adobe.</li> <li>- <u>Muestra.</u> -01 muro de adobe sin protección. -01 muro de adobe tarrajado. -01 muro con adobe estabilizado. -01 muro de adobe con sobrecimiento de ladrillo industrial.</li> <li>- <u>Unidad de Análisis.</u> -03 adobes para ensayo de succión. -03 adobes estabilizados para ensayo de succión. -03 adobes tarrajeados con mortero de cemento para ensayo de succión -03 adobes para ensayo de absorción. -03 adobes estabilizados para ensayo de absorción. -03 adobes tarrajeados con mortero de cemento para ensayo de absorción.</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Variable dependiente:</u> Resistencia a la Inundación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo.</li> <li>- Estabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capilaridad (cm).</li> <li>- Absorción (L)..</li> </ul>			

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Presentación de resultados

A continuación, se presentan los resultados de las diversas pruebas realizadas durante la investigación, en base a lo observado y a los datos registrados, contrastados con las bases teóricas existentes sobre el tema y los antecedentes de otros estudios similares.

##### 5.1.1 Pruebas de Absorción y Succión.

Se seleccionaron 03 unidades enteras correspondientes a cada una de las diferentes soluciones que se plantean la investigación. Para tal fin, se ensayaron adobes como muestras del Muro Patrón MP, adobes estabilizados con 5% de cemento en peso como muestras del Muro Estabilizado ME, unidades de adobe tarrajeadas en su contorno con mortero C:A = 1:5 un espesor de 1.50 cm, como muestras del Muro Tarrajeadado MT, y unidades de ladrillo KK de arcilla industrial.

#### A. Pruebas de Absorción.

##### a. Adobe.

En las Tablas N° 7 y 8 se resumen los resultados de la prueba de absorción en las muestras de adobe.

**Tabla N° 7:** *Densidad seca de Adobes.*

N° de Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso seco (gr)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )
AN-1	38.20	29.10	9.60	10,671.55	20,500.00	1.92	
AN-2	38.50	29.00	9.80	10,941.70	21,080.00	1.93	1.86
AN-3	38.40	29.40	9.70	10,950.91	18,860.00	1.72	

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Tabla N° 8: Resultados del Ensayo de Absorción en Adobe.**

N° de Muestra	Peso seco (gr)	Peso saturado (gr)	Absorción %	% Absorción Promedio
AN-1	20,500.00			
AN-2	21,080.00			Desintegración total
AN-3	18,860.00			

*Fuente:* Elaboración Propia.

Del ensayo de consistencia por efectos del agua, que se realizó paralelamente, se describen las siguientes observaciones en la Tabla N° 9.

**Tabla N° 9: Tiempo de Consistencia de Adobe.**

Tiempo (hh:mm)	Muestra AN-1A	Muestra AN-2A	Muestra AN-3A
00:00	– Estable	– Estable	– Estable
	– Desintegración parcial en caras laterales		
	– Presencia de burbujas		
00:15	– Partículas en suspensión		
	– Formación de espuma		
	– Manipulable		
	– Desintegración parcial en caras laterales		
	– Presencia de burbujas		
00:30	– Partículas en suspensión		
	– Difícil de manipular		
	– Unidad sin consistencia		
00:45	– Masa Pastosa difícil de manipular		

*Fuente:* Elaboración Propia.

El adobe al saturarse por el agua, disminuye los esfuerzos internos de cohesión y altera el ángulo de fricción del suelo, lo que conlleva a su degradación, ya sea como unidad de albañilería o formando parte de un muro.

b. Adobe Tarrajado

En las Tablas N° 10 y 11 se resumen los resultados de la prueba de absorción en las muestras de adobe tarrajado.

**Tabla N° 10:** Densidad seca de Adobes Tarrajados.

N° de Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso seco (gr)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )
AT-1	42.50	31.80	13.50	18,245.25	32,670.00	1.79	
AT-2	41.90	31.90	13.30	17,776.91	32,520.00	1.83	1.80
AT-3	41.50	32.20	13.60	18,173.68	32,100.00	1.77	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 11:** Resultados del Ensayo de Absorción en Adobes Tarrajados.

N° de Muestra	Peso seco (gr)	Peso saturado (gr)	Absorción %	% Absorción Promedio
AT-1	32,670.00	33,690.00	3.12	
AT-2	32,520.00	32,950.00	1.32	3.33
AT-3	32,100.00	33,880.00	5.55	

Fuente: Elaboración Propia.

c. Adobe Estabilizado

En las Tablas N° 12 y 13 se resumen los resultados de la prueba de absorción en las muestras de adobe estabilizado.

**Tabla N° 12:** Densidad seca de Adobes Estabilizados.

N° de Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso seco (gr)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )
AE-1	39.60	29.70	9.80	11,525.98	19,370.00	1.68	
AE-2	39.50	29.60	9.70	11,341.24	19,220.00	1.69	1.68
AE-3	39.80	29.90	9.80	11,662.20	19,440.00	1.67	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 13:** Resultados del Ensayo de Absorción en Adobes Estabilizados

N° de Muestra	Peso seco (gr)	Peso saturado (gr)	Absorción %	% Absorción Promedio
AE-1	19,370.00	23,140.00	19.46	
AE-2	19,220.00	23,060.00	19.98	18.53
AE-3	19,440.00	22,580.00	16.15	

Fuente: Elaboración Propia.

d. Ladrillo Industrial

En las Tablas N° 14 y 15 se resumen los resultados de la prueba de absorción en las muestras de ladrillo KK de arcilla industrial.

**Tabla N° 14:** Densidad seca de Ladrillo KK de arcilla industrial.

N° de Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso seco (gr)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
L1	23.10	11.40	9.01	2,372.69	2550	1.075	
L2	22.70	11.40	8.90	2,303.14	2520	1.094	1.06
L3	23.00	11.60	9.00	2,401.20	2440	1.016	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 15:** Resultados del Ensayo de Absorción en ladrillo KK de arcilla industrial.

N° de Muestra	Peso seco (gr)	Peso con agua (gr)	Absorción %	% Absorción Promedio
L1	2550	2880	12.94	
L2	2520	2820	11.90	12.65
L3	2440	2760	13.11	

Fuente: Elaboración Propia.

**B. Pruebas de Succión.**

a. Adobe

En las Tablas N° 16 y 17 se resumen los resultados de la prueba de succión en las muestras de adobe.

**Tabla N° 16:** Resultados del Ensayo de Succión en Adobe.

N° de Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área de Sup. (cm <sup>2</sup> )	Peso seco (gr)	Peso con agua (gr)	Difer. peso (gr)	Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )	Succión Prom. (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )
AN-4	39.5	29.0	9.7	1,145.5	19,180.0	19,140.0	-40	-	
AN-5	38.9	28.7	9.6	1,116.4	19,830.0	19,730.0	-100	-	No aplicable
AN-6	38.5	29.0	9.6	1,116.5	20,290.0	20,220.0	-70	-	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 17:** Altura de Succión en Adobe

N° de Muestra	Altura succión (cm)	Altura de succión Prom. (cm)
AN-4	2.70	
AN-5	2.60	2.70
AN-6	2.80	

Fuente: Elaboración Propia.

Los tres especímenes de adobe presentan un peso seco superior al peso con agua absorbida, lo que significa que la pérdida de peso por el desprendimiento de las partículas de la muestra al entrar en contacto con agua, supera al peso del agua absorbida, durante un minuto.

Por lo tanto, al ser la succión negativa, se concluye que esta prueba no es aplicable al adobe.

b. Adobe Tarrajado

En las Tablas N° 18 y 19 se resumen los resultados de la prueba de succión en las muestras de adobe tarrajado.

**Tabla N° 18: Resultados del Ensayo de Succión en Adobe Tarrajado.**

N° de Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área de Sup. (cm <sup>2</sup> )	Peso seco (gr)	Peso con agua (gr)	Diferencia de pesos (gr)	Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )	Succión Prom. (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )
AT-4	41.6	31.3	13.4	1,302.1	32,420.0	32,460.0	40.0	6.1	
AT-5	41.3	31.6	13.3	1,305.1	32,330.0	32,370.0	40.0	6.1	5.6
AT-6	41.9	31.7	13.2	1,328.2	32,640.0	32,670.0	30.0	4.5	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 19: Altura de Succión en Adobe Tarrajado.**

N° de Muestra	Altura de succión (cm)	Altura de succión promedio (cm)
AT-4	1.40	
AT-5	1.60	1.40
AT-6	1.30	

Fuente: Elaboración Propia.

c. Adobe Estabilizado

En las Tablas N° 20 y 21 se resumen los resultados de la prueba de succión en las muestras de adobe estabilizado.

**Tabla N° 20: Resultados del Ensayo de Succión en Adobe Estabilizado.**

N° Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área de Sup. (cm <sup>2</sup> )	Peso seco (gr)	Peso con agua (gr)	Diferencia de pesos (gr)	Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )	Succión Prom. (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )
AN-4	40.0	29.9	9.8	1,196.0	18,860.0	19,290.0	430	71.9	
AN-5	39.9	30.0	9.4	1,197.0	18,900.0	19,240.0	340	56.8	66.1
AN-6	39.6	29.8	10.1	1,180.1	19,570.0	19,980.0	410	69.5	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 21: Altura de Succión en Adobe Estabilizado**

N° Muestra	Altura de succión (cm)	Altura de succión promedio (cm)
AN-4	1.90	
AN-5	2.00	1.90
AN-6	1.80	

Fuente: Elaboración propia.

d. Ladrillo industrial

En las Tablas N° 22 y 23 se resumen los resultados de la prueba de succión en las muestras de ladrillo.

**Tabla N° 22: Resultados del Ensayo de Succión en Ladrillo.**

N° de Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área de Sup. (cm <sup>2</sup> )	Peso seco (Kg)	Peso con agua (Kg)	Diferencia de pesos (Kg)	Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )	Succión Prom. (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )
L-4	23.2	11.2	8.9	259.8	2440.0	2470.0	30.0	23.1	
L-5	23.1	11.1	8.9	256.4	2420.0	2450.0	30.0	23.4	22.9
L-6	23.2	11.6	9.0	269.1	2540.0	2570.0	30.0	22.3	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 23: Altura de Succión en Ladrillo**

N° de Muestra	Altura de succión (cm)	Altura de succión promedio (cm)
L-4	0.90	
L-5	0.90	0.90
L-6	0.80	

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2 Ensayo de Inundación Simulada

A. Muro Patrón (MP)

a. Datos y Resultados del PCI.

La información recolectada y procesada durante el ensayo se muestra en el Tabla N° 24.

**Tabla N° 24: Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PCI en Muro MP.**

Muro: **PATRON (MP)**

Características: **Muro con adobes de tierra sin protección contra la inundación asentado con torta de barro elaborada con el mismo material.**

Dimensiones Poza P1	
Ancho (m)	0.702
Largo (m)	2.290
Altura (m)	0.415
Alt. con agua (m)	0.30

Dim. Muro MP en contacto	
Ancho Prom. (m)	0.390
Largo Prom. (m)	2.000
Altura Prom.(m)	2.370
Alt. Concreto (m)	0.33

Volumen de Agua Poza	
Área (P1-MP) m2	0.828
Alt. agua (m)	0.30
M3	0.248
Litros	248.27

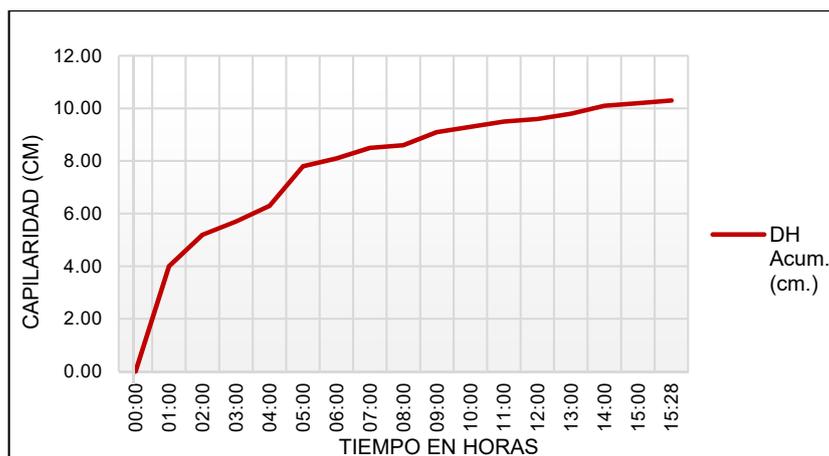
Día	Fecha	Hora	Tiempo Transc. (Hr)	Capilaridad			Absorción de agua				Asentamiento (mm)	
				Lect. Asc. (cm)	ΔH (cm.)	ΔH Acum. (cm.)	Lect. Desc. (cm)	ΔH (cm.)	Vol. Agua Absorb. (m3)	Vol. Agua Absorb. (L)		Vol. Agua Abs. Acum. (L)
1	16/01/17	10:00	00:00	30.0	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.0
1	16/01/17	10:15	00:15	32.8	2.80	2.80	29.30	0.70	0.00579	5.79	5.79	0.0
1	16/01/17	10:30	00:30	33.8	1.00	3.80	28.90	0.40	0.00331	3.31	9.10	0.0
1	16/01/17	10:45	00:45	33.9	0.10	3.90	28.50	0.40	0.00331	3.31	12.41	0.0
1	16/01/17	11:00	01:00	34.0	0.10	4.00	28.00	0.50	0.00414	4.14	16.55	0.0
1	16/01/17	11:15	01:15	34.5	0.50	4.50	27.60	0.40	0.00331	3.31	19.86	0.0
1	16/01/17	11:30	01:30	34.6	0.10	4.60	27.50	0.10	0.00083	0.83	20.69	0.0
1	16/01/17	11:45	01:45	35.0	0.40	5.00	27.30	0.20	0.00166	1.66	22.34	0.0
1	16/01/17	12:00	02:00	35.2	0.20	5.20	27.00	0.30	0.00248	2.48	24.83	0.0
1	16/01/17	12:15	02:15	35.3	0.10	5.30	26.80	0.20	0.00166	1.66	26.48	0.0
1	16/01/17	12:30	02:30	35.4	0.10	5.40	26.60	0.20	0.00166	1.66	28.14	0.0
1	16/01/17	12:45	02:45	35.5	0.10	5.50	26.50	0.10	0.00083	0.83	28.97	0.0
1	16/01/17	13:00	03:00	35.7	0.20	5.70	26.40	0.10	0.00083	0.83	29.79	0.0
1	16/01/17	13:15	03:15	35.8	0.10	5.80	26.30	0.10	0.00083	0.83	30.62	0.0
1	16/01/17	13:30	03:30	36.0	0.20	6.00	26.20	0.10	0.00083	0.83	31.45	0.0
1	16/01/17	13:45	03:45	36.1	0.10	6.10	26.10	0.10	0.00083	0.83	32.28	0.0
1	16/01/17	14:00	04:00	36.3	0.20	6.30	26.00	0.10	0.00083	0.83	33.10	0.0
1	16/01/17	14:15	04:15	36.4	0.10	6.40	25.90	0.10	0.00083	0.83	33.93	0.0
1	16/01/17	14:30	04:30	36.5	0.10	6.50	25.80	0.10	0.00083	0.83	34.76	0.0
1	16/01/17	14:45	04:45	37.7	1.20	7.70	25.60	0.20	0.00166	1.66	36.41	0.0
1	16/01/17	15:00	05:00	37.8	0.10	7.80	25.50	0.10	0.00083	0.83	37.24	0.0
1	16/01/17	15:15	05:15	37.9	0.10	7.90	25.50	0.00	0.00000	0.00	37.24	0.0
1	16/01/17	15:30	05:30	38.0	0.10	8.00	25.40	0.10	0.00083	0.83	38.07	0.0
1	16/01/17	15:45	05:45	38.0	0.00	8.00	25.40	0.00	0.00000	0.00	38.07	0.0
1	16/01/17	16:00	06:00	38.1	0.10	8.10	25.30	0.10	0.00083	0.83	38.90	0.0
1	16/01/17	16:15	06:15	38.2	0.10	8.20	25.20	0.10	0.00083	0.83	39.72	0.0
1	16/01/17	16:30	06:30	38.3	0.10	8.30	25.10	0.10	0.00083	0.83	40.55	0.0
1	16/01/17	16:45	06:45	38.4	0.10	8.40	25.00	0.10	0.00083	0.83	41.38	0.0
1	16/01/17	17:00	07:00	38.5	0.10	8.50	24.90	0.10	0.00083	0.83	42.21	0.0
1	16/01/17	17:15	07:15	38.6	0.10	8.60	24.80	0.10	0.00083	0.83	43.03	0.0
1	16/01/17	17:30	07:30	38.6	0.00	8.60	24.70	0.10	0.00083	0.83	43.86	0.0
1	16/01/17	17:45	07:45	38.6	0.00	8.60	24.60	0.10	0.00083	0.83	44.69	0.0
1	16/01/17	18:00	08:00	38.6	0.00	8.60	24.50	0.10	0.00083	0.83	45.52	0.0
1	16/01/17	18:15	08:15	38.6	0.00	8.60	24.50	0.00	0.00000	0.00	45.52	0.0
1	16/01/17	18:30	08:30	38.7	0.10	8.70	24.50	0.00	0.00000	0.00	45.52	0.0
1	16/01/17	18:45	08:45	39.7	1.00	9.70	24.50	0.00	0.00000	0.00	45.52	0.0
1	16/01/17	19:00	09:00	39.1	-0.60	9.10	24.40	0.10	0.00083	0.83	46.34	0.0
1	16/01/17	19:15	09:15	39.2	0.10	9.20	24.40	0.00	0.00000	0.00	46.34	0.0
1	16/01/17	19:30	09:30	39.3	0.10	9.30	24.30	0.10	0.00083	0.83	47.17	0.0
1	16/01/17	19:45	09:45	39.3	0.00	9.30	24.20	0.10	0.00083	0.83	48.00	0.0
1	16/01/17	20:00	10:00	39.3	0.00	9.30	24.20	0.00	0.00000	0.00	48.00	0.0
1	16/01/17	21:00	11:00	39.5	0.20	9.50	24.00	0.20	0.00166	1.66	49.65	1.0
1	16/01/17	22:00	12:00	39.6	0.10	9.60	23.70	0.30	0.00248	2.48	52.14	1.0
1	16/01/17	23:00	13:00	39.8	0.20	9.80	23.40	0.30	0.00248	2.48	54.62	1.0
1	17/01/17	00:00	14:00	40.1	0.30	10.10	23.10	0.30	0.00248	2.48	57.10	1.0
1	17/01/17	01:00	15:00	40.2	0.10	10.20	22.70	0.40	0.00331	3.31	60.41	1.0
1	17/01/17	01:28	15:28	40.3	0.10	10.30	22.50	0.20	0.00166	1.66	62.07	6.0

Fuente: Elaboración propia.

- Capilaridad y Volumen de Absorción del PCI.

El muro MP no soportó el Periodo Corto de Inundación. Del ensayo correspondiente se ha obtenido el registro de ascenso del agua por capilaridad (Tabla N° 24), el cual se muestra en la Figura N° 68.

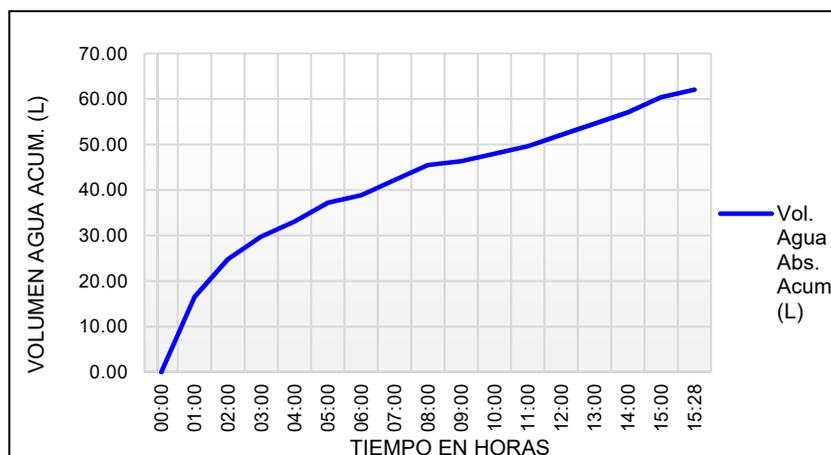
**Figura N° 68:** Capilaridad en el Muro Patrón MP - Periodo Corto de Inundación.



Fuente: Elaboración propia

La absorción de agua por parte del muro MP, fue medida mediante el cambio del nivel superficial del agua en la poza, cuyo descenso fue registrado con una cinta métrica (Tabla N° 24). Este descenso se presenta en la Figura N° 69.

**Figura N° 69:** Volumen de Agua Absorbida en el Muro Patrón MP - Periodo Corto de Inundación.



Fuente: Elaboración propia.

El ascenso del agua es de 10.30 cm., ocasionado por la absorción de 62.07 litros de agua en su interior.

b. Periodo Prolongado de Inundación (PPI).

Debido a que el muro MP no ha soportado el PPI, no se puede determinar ni obtener resultados para este periodo.

B. Muro Tarrajado (MT)

a. Datos y Resultados del PCI.

La información recolectada y procesada durante el ensayo se muestra en la Tabla N° 25.

**Tabla N° 25: Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PCI en Muro MT**

Muro: TARRAJEADO (MT)				Características: Muro con adobes de tierra asentados con torta de barro elaborada con el mismo material, protegido con Tarrajeo C:A=1:5, espesor 1.5 cm y malla de gallinero, a una altura de 0.60 m.								
<b>Dimensiones Poza P2</b>				<b>Dimensiones Muro MT en contacto</b>				<b>Volumen de Agua Poza</b>				
Ancho (m)	0.704	Ancho Prom. (m)	0.421	Área (P2-MT) M2	0.760			Alt. agua (m)	0.30			
Largo (m)	2.302	Largo Prom. (m)	2.044	M3	0.228			Litros	228.03			
Altura (m)	0.420	Altura Prom(m)	2.370									
Alt. con agua (m)	0.30	Alt. Concreto (m)	0.33									

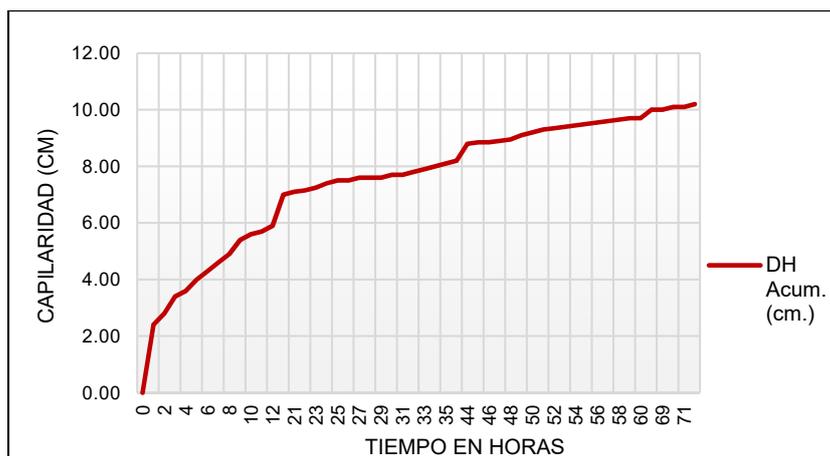
Día	Fecha	Hora	Tiempo Transc. (Hr)	Capilaridad			Absorción de agua					Asentamiento (mm)	
				Lect. Asc. (cm)	ΔH (cm.)	ΔH Acum. (cm.)	Lect. Desc. (cm)	ΔH (cm.)	Vol. Agua Absorb. (m3)	Vol. Agua Absorb. (L)	Vol. Agua Abs. Acum. (L)		
1	17/01/18	10:45	0.00	30.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.00	
1	17/01/18	11:45	1.00	32.40	2.40	2.40	29.30	0.70	0.00532	5.32	5.32	0.00	
1	17/01/18	12:45	2.00	32.80	0.40	2.80	28.90	0.40	0.00304	3.04	8.36	0.00	
1	17/01/18	13:45	3.00	33.40	0.60	3.40	28.55	0.35	0.00266	2.66	11.02	0.00	
1	17/01/18	14:45	4.00	33.60	0.20	3.60	28.30	0.25	0.00190	1.90	12.92	0.00	
1	17/01/18	15:45	5.00	34.00	0.40	4.00	28.10	0.20	0.00152	1.52	14.44	0.00	
1	17/01/18	16:45	6.00	34.30	0.30	4.30	27.95	0.15	0.00114	1.14	15.58	0.00	
1	17/01/18	17:45	7.00	34.60	0.30	4.60	27.80	0.15	0.00114	1.14	16.72	0.00	
1	17/01/18	18:45	8.00	34.90	0.30	4.90	27.70	0.10	0.00076	0.76	17.48	0.00	
1	17/01/18	19:45	9.00	35.40	0.50	5.40	27.60	0.10	0.00076	0.76	18.24	0.00	
1	17/01/18	20:45	10.00	35.60	0.20	5.60	27.40	0.20	0.00152	1.52	19.76	0.00	
1	17/01/18	21:45	11.00	35.70	0.10	5.70	27.30	0.10	0.00076	0.76	20.52	0.00	
1	17/01/18	22:45	12.00	35.90	0.20	5.90	27.20	0.10	0.00076	0.76	21.28	0.00	
1	18/01/18	06:45	20.00	37.00	1.10	7.00	26.60	0.60	0.00456	4.56	25.84	0.00	
1	18/01/18	07:45	21.00	37.10	0.10	7.10	26.45	0.15	0.00114	1.14	26.98	0.00	
1	18/01/18	08:45	22.00	37.15	0.05	7.15	26.40	0.05	0.00038	0.38	27.36	0.00	
1	18/01/18	09:45	23.00	37.25	0.10	7.25	26.30	0.10	0.00076	0.76	28.12	0.00	
1	18/01/18	10:45	24.00	37.40	0.15	7.40	26.20	0.10	0.00076	0.76	28.88	0.00	
Agua repuesta										0.02888	28.88		
2	18/01/18	10:45	24.00	37.40	0.00	7.40	30.00	0.00	0.00000	0.00	28.88	0.00	
2	18/01/18	11:45	25.00	37.50	0.10	7.50	29.95	0.05	0.00038	0.38	29.26	0.00	
2	18/01/18	12:45	26.00	37.50	0.00	7.50	29.90	0.05	0.00038	0.38	29.64	0.00	
2	18/01/18	13:45	27.00	37.60	0.10	7.60	29.90	0.00	0.00000	0.00	29.64	0.00	
2	18/01/18	14:45	28.00	37.60	0.00	7.60	29.80	0.10	0.00076	0.76	30.40	0.00	
2	18/01/18	15:45	29.00	37.60	0.00	7.60	29.70	0.10	0.00076	0.76	31.16	0.00	
2	18/01/18	16:45	30.00	37.70	0.10	7.70	29.60	0.10	0.00076	0.76	31.92	0.00	
2	18/01/18	17:45	31.00	37.70	0.00	7.70	29.60	0.00	0.00000	0.00	31.92	0.00	
2	18/01/18	18:45	32.00	37.80	0.10	7.80	29.50	0.10	0.00076	0.76	32.68	0.00	
2	18/01/18	19:45	33.00	37.90	0.10	7.90	29.40	0.10	0.00076	0.76	33.44	0.00	
2	18/01/18	20:45	34.00	38.00	0.10	8.00	29.30	0.10	0.00076	0.76	34.20	0.00	
2	18/01/18	21:45	35.00	38.10	0.10	8.10	29.20	0.10	0.00076	0.76	34.96	0.00	
2	18/01/18	22:45	36.00	38.20	0.10	8.20	29.10	0.10	0.00076	0.76	35.72	0.00	
2	19/01/18	06:45	44.00	38.80	0.60	8.80	28.70	0.40	0.00304	3.04	38.76	0.00	
2	19/01/18	07:45	45.00	38.85	0.05	8.85	28.60	0.10	0.00076	0.76	39.52	0.00	
2	19/01/18	08:45	46.00	38.85	0.00	8.85	28.50	0.10	0.00076	0.76	40.28	0.00	
2	19/01/18	09:45	47.00	38.90	0.05	8.90	28.46	0.04	0.00030	0.30	40.59	0.00	
2	19/01/18	10:45	48.00	38.95	0.05	8.95	28.35	0.11	0.00084	0.84	41.42	0.00	
Agua repuesta										0.01254	12.54		
3	19/01/18	10:45	48.00	38.95	0.00	8.95	30.00	0.00	0.00000	0.00	41.42	0.00	
3	19/01/18	11:45	49.00	39.10	0.15	9.10	29.95	0.05	0.00038	0.38	41.80	0.00	
3	19/01/18	12:45	50.00	39.20	0.10	9.20	29.95	0.00	0.00000	0.00	41.80	0.00	
3	19/01/18	13:45	51.00	39.30	0.10	9.30	29.90	0.05	0.00038	0.38	42.18	0.00	
3	19/01/18	14:45	52.00	39.35	0.05	9.35	29.85	0.05	0.00038	0.38	42.56	0.00	
3	19/01/18	15:45	53.00	39.40	0.05	9.40	29.80	0.05	0.00038	0.38	42.94	0.00	
3	19/01/18	16:45	54.00	39.45	0.05	9.45	29.70	0.10	0.00076	0.76	43.70	0.00	
3	19/01/18	17:45	55.00	39.50	0.05	9.50	29.65	0.05	0.00038	0.38	44.08	0.00	
3	19/01/18	18:45	56.00	39.55	0.05	9.55	29.55	0.10	0.00076	0.76	44.84	0.00	
3	19/01/18	19:45	57.00	39.60	0.05	9.60	29.50	0.05	0.00038	0.38	45.22	0.00	
3	19/01/18	20:45	58.00	39.65	0.05	9.65	29.40	0.10	0.00076	0.76	45.99	0.00	
3	19/01/18	21:45	59.00	39.70	0.05	9.70	29.40	0.00	0.00000	0.00	45.99	0.00	
3	19/01/18	22:45	60.00	39.70	0.00	9.70	29.10	0.30	0.00228	2.28	48.27	0.00	
3	20/01/18	06:45	68.00	40.00	0.30	10.00	28.65	0.45	0.00342	3.42	51.69	0.00	
3	20/01/18	07:45	69.00	40.00	0.00	10.00	28.60	0.05	0.00038	0.38	52.07	0.00	
3	20/01/18	08:45	70.00	40.10	0.10	10.10	28.55	0.05	0.00038	0.38	52.45	0.00	
3	20/01/18	09:45	71.00	40.10	0.00	10.10	28.50	0.05	0.00038	0.38	52.83	0.00	
3	20/01/18	10:45	72.00	40.20	0.10	10.20	28.40	0.10	0.00076	0.76	53.59	0.00	

Fuente: Elaboración propia.

• Capilaridad y Volumen de Absorción del PCI

El muro MT soportó las 72 horas del Periodo Corto de Inundación, obteniendo el registro de ascenso del agua por capilaridad (Tabla N° 25), el cual se muestra en la Figura N° 70.

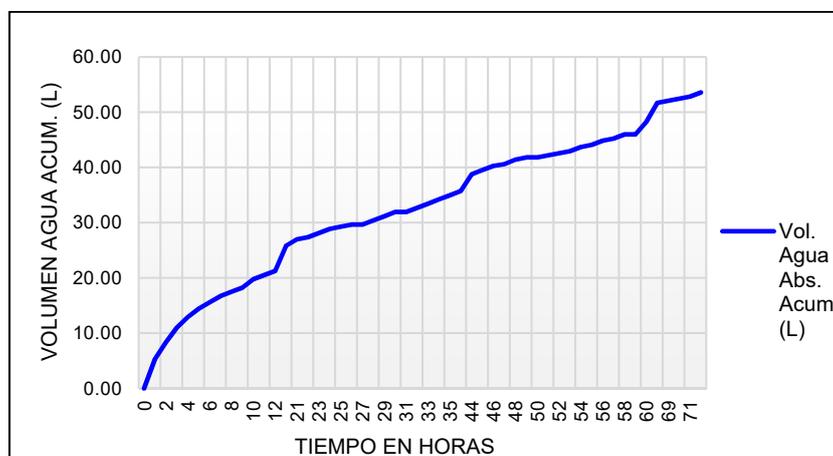
**Figura N° 70:** Capilaridad en el Muro Tarrajado MT - Periodo Corto de Inundación.



Fuente: Elaboración propia.

La absorción de agua por parte del muro MT, fue medida mediante el cambio del nivel superficial del agua en la poza, cuyo descenso fue registrado con una cinta métrica (Tabla N° 25). Este descenso se presenta en la Figura N° 71.

**Figura N° 71:** Volumen de Agua Absorbida en el Muro Tarrajado MT - Periodo Corto de Inundación.



Fuente: Elaboración propia.

El ascenso del agua es de 10.20 cm., ocasionado por la absorción de 53.59 litros de agua en su interior y no tuvo ningún asentamiento.

b. Datos y resultados del PPI

La información recolectada y procesada durante el ensayo se muestra en la Tabla N° 26.

**Tabla N° 26: Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PPI en Muro MT**

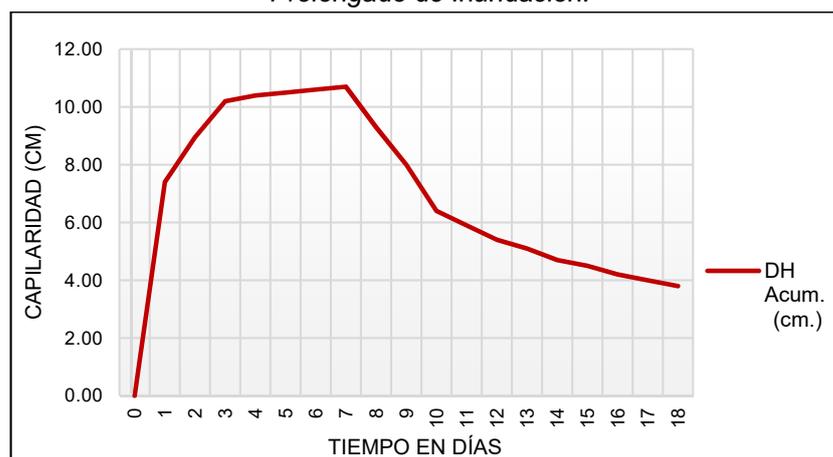
Día	Fecha	Hora	Tiempo Transc. (Días)	Capilaridad			Absorción de agua					Asentamiento (mm)
				Lect. Asc. (cm)	$\Delta H$ (cm.)	$\Delta H$ Acum. (cm.)	Lect. Desc. (cm)	$\Delta H$ (cm.)	Vol. Agua Absorb. (m3)	Vol. Agua Absorb. (L)	Vol. Agua Abs. Acum. (L)	
0	17/01/18	10:45	0.00	30.00	0.00	0.00	-	-	-	-	0.00	0.0
1	18/01/18	10:45	1.00	37.40	7.40	7.40	-	-	-	-	28.88	0.0
2	19/01/18	10:45	2.00	38.95	1.55	8.95	-	-	-	-	41.42	0.0
3	20/01/18	10:45	3.00	40.20	1.25	10.20	28.40	-	-	-	53.59	0.0
4	21/01/18	10:45	4.00	40.40	0.20	10.40	27.95	0.45	0.00342	3.42	57.01	0.0
5	22/01/18	10:45	5.00	40.50	0.10	10.50	27.60	0.35	0.00266	2.66	59.67	0.0
6	23/01/18	10:45	6.00	40.60	0.10	10.60	27.30	0.30	0.00228	2.28	61.95	0.0
7	24/01/18	10:45	7.00	40.70	0.10	10.70	26.40	0.90	0.00684	6.84	68.79	0.0
8	25/01/18	10:45	8.00	39.30	-1.40	9.30	25.30	1.10	0.00836	8.36	77.15	0.0
9	26/01/18	10:45	9.00	38.00	-1.30	8.00	24.00	1.30	0.00988	9.88	87.03	0.0
10	27/01/18	10:45	10.00	36.40	-1.60	6.40	23.10	0.90	0.00684	6.84	93.87	0.0
							Agua repuesta		0.05245	52.45		0.0
10	27/01/18	10:45	10.00	36.40	0.00	6.40	30.00	0.00	0.00000	0.00	93.87	0.0
11	28/01/18	10:45	11.00	35.90	-0.50	5.90	29.00	1.00	0.00760	7.60	101.48	0.0
12	29/01/18	10:45	12.00	35.40	-0.50	5.40	28.00	1.00	0.00760	7.60	109.08	0.0
13	30/01/18	10:45	13.00	35.10	-0.30	5.10	26.90	1.10	0.00836	8.36	117.44	0.0
14	31/01/18	10:45	14.00	34.70	-0.40	4.70	26.70	0.20	0.00152	1.52	118.96	0.0
15	01/02/18	10:45	15.00	34.50	-0.20	4.50	25.90	0.80	0.00608	6.08	125.04	0.0
16	02/02/18	10:45	16.00	34.20	-0.30	4.20	25.40	0.50	0.00380	3.80	128.84	0.0
17	03/02/18	10:45	17.00	34.00	-0.20	4.00	25.00	0.40	0.00304	3.04	131.88	0.0
18	04/02/18	10:45	18.00	33.80	-0.20	3.80	24.30	0.70	0.00532	5.32	137.20	0.0

Fuente: Elaboración propia.

- Capilaridad y Volumen de Absorción del PPI

El muro MT soportó 18 días del periodo prolongado de inundación, obteniendo el registro de ascenso del agua por capilaridad (Tabla N° 26), el cual se muestra en la Figura N° 72.

**Figura N° 72: Capilaridad en el Muro Tarrajado MT - Periodo Prolongado de Inundación.**

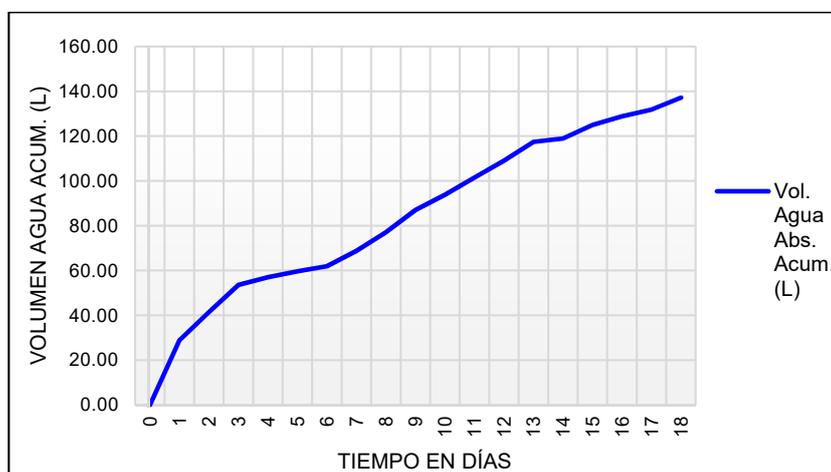


Fuente: Elaboración Propia.

Durante el periodo prolongado de inundación, se pudo observar que durante los primeros 07 días de ensayo, se tuvo ascenso capilar, para luego ir descendiendo, a causa de que el agua ha ingresado hacia el interior del muro por la aparición de una fisura.

La absorción de agua por parte del muro MT, fue medida mediante el cambio del nivel superficial del agua en la poza, cuyo descenso fue registrado con una cinta métrica (Tabla N° 26). Este descenso se presenta en la Figura N° 73.

**Figura N° 73:** *Volumen de Agua Absorbida en Muro Tarrajado MT - Periodo Prolongado de Inundación*



Fuente: Elaboración Propia.

Esto ocasiona que el muro MT, al ser vulnerado por el agua, el adobe tenga mayor absorción, pero al estar confinado por la malla de gallinero y el tarrajeo, ha mantenido su estabilidad.

El último registro del ascenso capilar en el día 18 es de 3.80 cm., y el volumen de agua absorbida es de 137.20 litros.

#### c. Asentamientos

El muro MT, durante el PCI y el PPI, no ha registrado asentamientos

**Figura 74:** *Nivel marcado en el Muro MT al finalizar el ensayo de inundación simulada para verificar asentamientos.*



d. Desmontaje del Muro MT.

Luego de haber culminado el ensayo de inundación simulada, se procedió a desmontar el muro tomando las debidas medidas de seguridad para evitar cualquier accidente o incidente.

Se procedió a drenar la poza P2, para luego retirar el tarrajeo con malla de gallinero que protegía al muro MT, notando la presencia de humedad en las 04 primeras hileras, que estuvieron en contacto con el agua al interior del muro, que no era visible por el tarrajeo.

Se ha dejado el muro por un espacio de 30 minutos, para observar si podrían darse asentamientos, después de haber retirado el tarrajeo y la malla de gallinero. Pasados 08 minutos, el muro se desplomó súbitamente al igual que el muro patrón MP.

**Figura N° 75:** Muro MT, después de retirar el tarrajeo C:A y la malla de gallinero, notándose humedad en las primeras 04 hileras del muro.



La protección del adobe con tarrajeo cemento: arena y malla de gallinero, ha hecho que soporte el ensayo de inundación simulada por 18 días, porque ha confinado la base del muro, y ha minimizado el factor erosivo del agua en las unidades de adobe.

**Figura N° 76:** Muro MT colapsado después de haber retirado la capa de tarrajeo con malla de gallinero en la hilera N° 02.



Se procedió a hacer el retiro de los adobes por hileras, encontrando que, de la hilera N° 05 hacia la N° 21, no muestra humedad y los adobes han mantenido sus características iniciales.

**Figura N° 77:** Adobe de la Hilera N° 05, sin humedad luego de ser retirado del muro MT.



En la hilera N° 04, las unidades de adobe muestran humedad a la mitad y en sus caras laterales mientras que las unidades de los extremos están húmedas casi en su totalidad, haciendo que pierdan su resistencia.

**Figura N° 78:** Adobe de la Hilera N° 04, con humedad parcial luego de ser retirado del muro MT.



En las hileras N° 01, 02 y 03 las unidades de adobe, se notan que están saturadas, volviéndose una masa inestable que no ofrece resistencia por lo que se aplasta fácilmente, lo que ocasionó el colapso del muro.

Las juntas también están saturadas, por lo que, en el momento del desplome del muro, no han ofrecido resistencia, despegándose, y mostrándose como una masa pastosa al igual que los adobes.

**Figura N° 79:** Adobe de la Hilera N° 02, saturado totalmente luego de ser retirado del muro MT.



### C. Muro Estabilizado (ME)

#### a. Datos y Resultados para el PCI.

La información recolectada y procesada durante el ensayo se muestra en la

Tabla N° 27.

**Tabla N° 27: Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PCI en Muro ME.**

Muro: ESTABILIZADO (ME)				Características: Muro con adobes de tierra estabilizados con cemento en una proporción de 5% en peso asentados con tierra estabilizada en igual proporción.							
Dimensiones Poza P3		Dimensiones Muro ME en contacto			Volumen de Agua Poza						
Ancho (m)	0.702	Ancho Prom. (m)	0.421	Área (P3-ME) M2	0.752						
Largo (m)	2.297	Largo Prom. (m)	2.044	Alt. agua (m)	0.30						
Altura (m)	0.421	Altura Prom. (m)	2.370	M3	0.226						
Alt. con agua (m)	0.30	Alt. Concreto (m)	0.33	Litros	225.59						

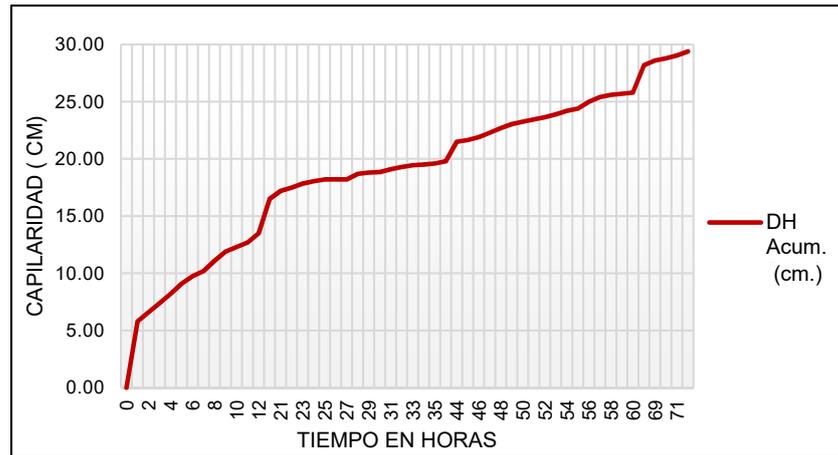
Dia	Fecha	Hora	Tiempo Transc. (Hr)	Capilaridad			Absorción de agua					Asentamiento (mm)	
				Lect. Asc. (cm)	ΔH (cm.)	ΔH Acum. (cm.)	Lect. Desc. (cm)	ΔH (cm.)	Vol. Agua Absorb. (m3)	Vol. Agua Absorb. (L)	Vol. Agua Abs. Acum. (L)		
1	17/01/18	10:45	0.00	30.80	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.0	
1	17/01/18	11:45	1.00	36.60	5.80	5.80	26.60	3.40	0.02557	25.57	25.57	0.0	
1	17/01/18	12:45	2.00	37.40	0.80	6.60	25.90	0.70	0.00526	5.26	30.83	0.0	
1	17/01/18	13:45	3.00	38.20	0.80	7.40	25.50	0.40	0.00301	3.01	33.84	0.0	
1	17/01/18	14:45	4.00	39.00	0.80	8.20	25.15	0.35	0.00263	2.63	36.47	0.0	
1	17/01/18	15:45	5.00	39.90	0.90	9.10	24.90	0.25	0.00188	1.88	38.35	0.0	
1	17/01/18	16:45	6.00	40.55	0.65	9.75	24.65	0.25	0.00188	1.88	40.23	0.0	
1	17/01/18	17:45	7.00	41.00	0.45	10.20	24.48	0.17	0.00128	1.28	41.51	0.0	
1	17/01/18	18:45	8.00	41.90	0.90	11.10	24.35	0.13	0.00098	0.98	42.49	0.0	
1	17/01/18	19:45	9.00	42.70	0.80	11.90	24.10	0.25	0.00188	1.88	44.37	0.0	
1	17/01/18	20:45	10.00	43.10	0.40	12.30	24.00	0.10	0.00075	0.75	45.12	0.0	
1	17/01/18	21:45	11.00	43.50	0.40	12.70	23.90	0.10	0.00075	0.75	45.87	0.0	
1	17/01/18	22:45	12.00	44.30	0.80	13.50	23.70	0.20	0.00150	1.50	47.37	0.0	
1	18/01/18	06:45	20.00	47.30	3.00	16.50	23.00	0.70	0.00526	5.26	52.64	0.0	
1	18/01/18	07:45	21.00	48.00	0.70	17.20	22.90	0.10	0.00075	0.75	53.39	0.0	
1	18/01/18	08:45	22.00	48.30	0.30	17.50	22.77	0.13	0.00098	0.98	54.37	0.0	
1	18/01/18	09:45	23.00	48.65	0.35	17.85	22.66	0.11	0.00083	0.83	55.19	0.0	
1	18/01/18	10:45	24.00	48.85	0.20	18.05	22.55	0.11	0.00083	0.83	56.02	0.0	
				Agua repuesta				0.05602	56.02				
2	18/01/18	10:45	24.00	48.85	0.00	18.05	30.00	0.00	0.00000	0.00	56.02	0.0	
2	18/01/18	11:45	25.00	49.00	0.15	18.20	29.90	0.10	0.00075	0.75	56.77	0.0	
2	18/01/18	12:45	26.00	49.00	0.00	18.20	29.80	0.10	0.00075	0.75	57.53	0.0	
2	18/01/18	13:45	27.00	49.00	0.00	18.20	29.80	0.00	0.00000	0.00	57.53	0.0	
2	18/01/18	14:45	28.00	49.50	0.50	18.70	29.60	0.20	0.00150	1.50	59.03	0.0	
2	18/01/18	15:45	29.00	49.60	0.10	18.80	29.50	0.10	0.00075	0.75	59.78	0.0	
2	18/01/18	16:45	30.00	49.65	0.05	18.85	29.45	0.05	0.00038	0.38	60.16	0.0	
2	18/01/18	17:45	31.00	49.90	0.25	19.10	29.35	0.10	0.00075	0.75	60.91	0.0	
2	18/01/18	18:45	32.00	50.10	0.20	19.30	29.20	0.15	0.00113	1.13	62.04	0.0	
2	18/01/18	19:45	33.00	50.25	0.15	19.45	29.10	0.10	0.00075	0.75	62.79	0.0	
2	18/01/18	20:45	34.00	50.30	0.05	19.50	29.00	0.10	0.00075	0.75	63.54	0.0	
2	18/01/18	21:45	35.00	50.40	0.10	19.60	29.00	0.00	0.00000	0.00	63.54	0.0	
2	18/01/18	22:45	36.00	50.60	0.20	19.80	28.80	0.20	0.00150	1.50	65.05	0.0	
2	19/01/18	06:45	44.00	52.30	1.70	21.50	28.40	0.40	0.00301	3.01	68.05	0.0	
2	19/01/18	07:45	45.00	52.45	0.15	21.65	28.33	0.07	0.00053	0.53	68.58	0.0	
2	19/01/18	08:45	46.00	52.70	0.25	21.90	28.15	0.18	0.00135	1.35	69.93	0.0	
2	19/01/18	09:45	47.00	53.10	0.40	22.30	27.97	0.18	0.00135	1.35	71.29	0.0	
2	19/01/18	10:45	48.00	53.50	0.40	22.70	27.85	0.12	0.00090	0.90	72.19	0.0	
				Agua repuesta				0.01617	16.17				
3	19/01/18	10:45	48.00	53.50	0.00	22.70	30.00	0.00	0.00000	0.00	72.19	0.0	
3	19/01/18	11:45	49.00	53.85	0.35	23.05	29.95	0.05	0.00038	0.38	72.57	0.0	
3	19/01/18	12:45	50.00	54.05	0.20	23.25	29.95	0.00	0.00000	0.00	72.57	0.0	
3	19/01/18	13:45	51.00	54.25	0.20	23.45	29.90	0.05	0.00038	0.38	72.94	0.0	
3	19/01/18	14:45	52.00	54.45	0.20	23.65	29.90	0.00	0.00000	0.00	72.94	0.0	
3	19/01/18	15:45	53.00	54.70	0.25	23.90	29.80	0.10	0.00075	0.75	73.69	0.0	
3	19/01/18	16:45	54.00	55.00	0.30	24.20	29.80	0.00	0.00000	0.00	73.69	0.0	
3	19/01/18	17:45	55.00	55.20	0.20	24.40	29.70	0.10	0.00075	0.75	74.45	0.0	
3	19/01/18	18:45	56.00	55.80	0.60	25.00	29.70	0.00	0.00000	0.00	74.45	0.0	
3	19/01/18	19:45	57.00	56.20	0.40	25.40	29.60	0.10	0.00075	0.75	75.20	0.0	
3	19/01/18	20:45	58.00	56.40	0.20	25.60	29.50	0.10	0.00075	0.75	75.95	0.0	
3	19/01/18	21:45	59.00	56.50	0.10	25.70	29.45	0.05	0.00038	0.38	76.32	0.0	
3	19/01/18	22:45	60.00	56.60	0.10	25.80	29.40	0.05	0.00038	0.38	76.70	0.0	
3	20/01/18	06:45	68.00	59.00	2.40	28.20	29.10	0.30	0.00226	2.26	78.96	0.0	
3	20/01/18	07:45	69.00	59.40	0.40	28.60	28.80	0.30	0.00226	2.26	81.21	0.0	
3	20/01/18	08:45	70.00	59.60	0.20	28.80	28.70	0.10	0.00075	0.75	81.96	0.0	
3	20/01/18	09:45	71.00	59.85	0.25	29.05	28.60	0.10	0.00075	0.75	82.72	0.0	
3	20/01/18	10:45	72.00	60.20	0.35	29.40	28.50	0.10	0.00075	0.75	83.47	0.0	

Fuente: Elaboración Propia.

- Capilaridad y Volumen de Absorción del PCI.

El muro ME soportó las 72 horas del Periodo Corto de Inundación, obteniendo el registro de ascenso del agua por capilaridad (Tabla N° 27), el cual se muestra en la Figura N° 80.

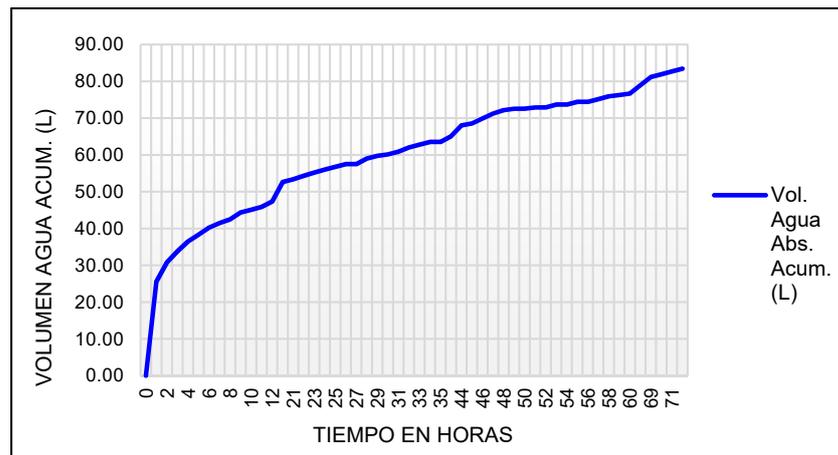
**Figura N° 80:** Capilaridad en el Muro Estabilizado ME - Periodo Corto de Inundación



Fuente: Elaboración Propia

La absorción de agua por parte del muro ME, fue medida mediante el cambio del nivel superficial del agua en la poza, cuyo descenso fue registrado con una cinta métrica (Tabla N° 27). Este descenso se presenta en la Figura N° 81.

**Figura N° 81:** Volumen de Agua Absorbida en Muro Estabilizado ME - Periodo Corto de Inundación.



Fuente: Elaboración Propia.

El ascenso del agua es de 29.40 cm., ocasionado por la absorción de 83.47 litros de agua en su interior y no tuvo ningún asentamiento.

b. Datos y resultados del PPI.

La información recolectada y procesada durante el ensayo se muestra en la Tabla N° 28.

**Tabla N° 28: Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PPI en Muro ME.**

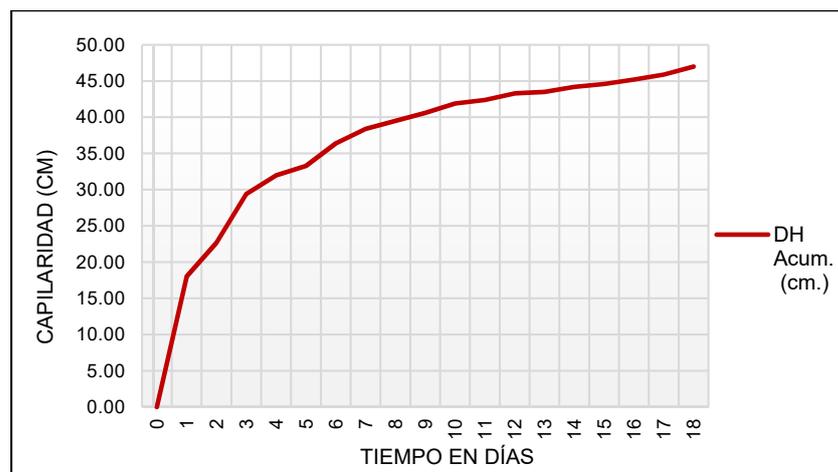
Día	Fecha	Hora	Tiempo Transc. (Días)	Capilaridad			Absorción de agua				Asentamiento (mm)	
				Lect. Asc. (cm)	$\Delta H$ (cm.)	$\Delta H$ Acum. (cm.)	Lect. Desc. (cm)	$\Delta H$ (cm.)	Vol. Agua Absorb. (m3)	Vol. Agua Absorb. (L)		Vol. Agua Abs. Acum. (L)
0	17/01/18	10:45	0.00	30.80	0.00	0.00	-	-	-	-	0.00	0.0
1	18/01/18	10:45	1.00	48.85	18.05	18.05	-	-	-	-	56.02	0.0
2	19/01/18	10:45	2.00	53.50	4.65	22.70	-	-	-	-	72.19	0.0
3	20/01/18	10:45	3.00	60.20	6.70	29.40	28.50	-	-	-	83.47	0.0
1	21/01/18	10:45	4.00	62.80	2.60	32.00	28.00	0.50	0.00376	3.76	87.23	0.0
2	22/01/18	10:45	5.00	64.10	1.30	33.30	27.10	0.90	0.00677	6.77	94.00	0.0
3	23/01/18	10:45	6.00	67.20	3.10	36.40	26.20	0.90	0.00677	6.77	100.77	0.0
4	24/01/18	10:45	7.00	69.20	2.00	38.40	25.40	0.80	0.00602	6.02	106.78	0.0
5	25/01/18	10:45	8.00	70.30	1.10	39.50	24.30	1.10	0.00827	8.27	115.05	0.0
6	26/01/18	10:45	9.00	71.40	1.10	40.60	22.90	1.40	0.01053	10.53	125.58	0.0
7	27/01/18	10:45	10.00	72.70	1.30	41.90	22.10	0.80	0.00602	6.02	131.60	0.0
Agua repuesta										0.05941	59.41	0.0
7	27/01/18	10:45	10.00	72.70	0.00	41.90	30.00	0.00	0.00000	0.00	131.60	0.0
8	28/01/18	10:45	11.00	73.20	0.50	42.40	29.10	0.90	0.00677	6.77	138.36	0.0
9	29/01/18	10:45	12.00	74.10	0.90	43.30	28.30	0.80	0.00602	6.02	144.38	0.0
10	30/01/18	10:45	13.00	74.30	0.20	43.50	27.60	0.70	0.00526	5.26	149.64	0.0
11	31/01/18	10:45	14.00	75.00	0.70	44.20	26.80	0.80	0.00602	6.02	155.66	0.0
12	01/02/18	10:45	15.00	75.40	0.40	44.60	26.00	0.80	0.00602	6.02	161.67	0.0
13	02/02/18	10:45	16.00	76.00	0.60	45.20	25.30	0.70	0.00526	5.26	166.94	0.0
14	03/02/18	10:45	17.00	76.70	0.70	45.90	24.80	0.50	0.00376	3.76	170.70	0.0
15	04/02/18	10:45	18.00	77.80	1.10	47.00	24.00	0.80	0.00602	6.02	176.71	0.0

Fuente: Elaboración Propia.

• Capilaridad y Volumen de Absorción del PPI

El muro ME soportó 18 días del periodo prolongado de inundación, obteniendo el registro de ascenso del agua por capilaridad (Tabla N° 28), el cual se muestra en la Figura N° 82.

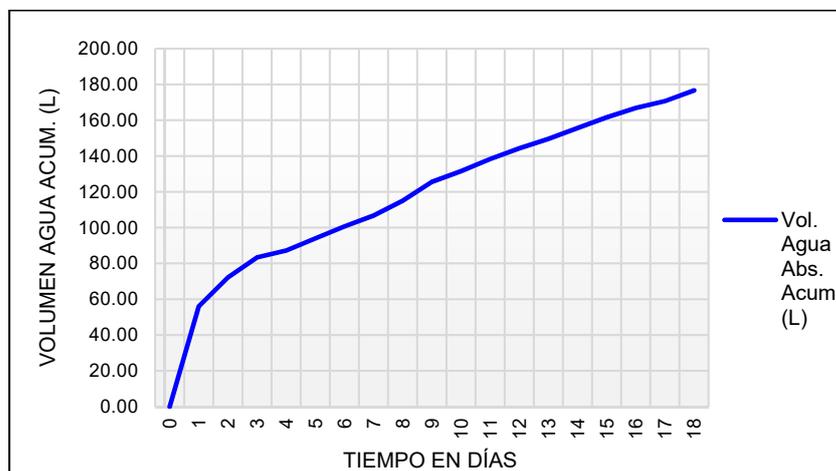
**Figura N° 82: Capilaridad en el Muro Estabilizado ME - Periodo Prolongado de Inundación.**



Fuente: Elaboración Propia

La absorción de agua por parte del muro ME, fue medida mediante el cambio del nivel superficial del agua en la poza, cuyo descenso fue registrado con una cinta métrica (Tabla N° 28). Este descenso se presenta en la Figura N° 83.

**Figura N° 83:** *Volumen de Agua Absorbida en el Muro Estabilizado ME - Periodo Prolongado de Inundación*



Fuente: Elaboración Propia.

Durante el periodo prolongado de inundación se puede apreciar que la absorción de agua es constante y asciende de manera uniforme sobre el muro ME.

El último registro del ascenso capilar en el día 18 es de 47.00 cm., y el volumen de agua absorbida es de 176.71 litros.

**Figura N° 84:** *Muro estabilizado al término del Ensayo de Inundación Simulada.*



c. Asentamientos.

El muro ME, durante el PCI y el PPI, no ha registrado asentamientos.

**Figura N° 85:** Nivel marcado en el Muro ME al finalizar el ensayo de inundación simulada para verificar asentamientos.



d. Desmontaje del Muro ME.

Luego de haber culminado el ensayo de inundación simulada, se procedió a desmontar manualmente el muro tomando las debidas medidas de seguridad para evitar cualquier accidente o incidente.

Se procedió a drenar la poza P3 y se ha dejado el muro por un espacio de 30 minutos, para observar si podrían darse asentamientos. El muro se mantuvo estable durante este tiempo.

Mientras se hacia el retiro del bloque de concreto con la ayuda de sogas, este cayó conjuntamente con todo el muro desprendiéndose en la zona húmeda.

**Figura N° 86:** Muro ME después de haber caído manualmente.



Se hizo el retiro de las hileras correspondientes, notando que de la hilera N° 07 a la hilera N° 21, las unidades se encuentran secas sin la presencia de humedad manteniendo sus características iniciales.

En la hilera N° 06, se puede observar que las unidades de adobe estabilizado se encuentran parcialmente saturadas en sus caras laterales, más no en el interior, manteniendo su forma, resistencia y estabilidad.

**Figura N° 87:** *Unidad de adobe estabilizado de la Hilera N° 06 parcialmente saturada.*



En las hileras N° 04 y 05, se puede observar que las unidades de adobe estabilizado se encuentran totalmente saturadas, pero han mantenido su forma, resistencia y estabilidad. Han mantenido su forma y sus dimensiones, incluso hasta después de hacer el retiro correspondiente.

**Figura N° 88:** *Hilera N° 04 del muro estabilizado ME.*



En las hileras N° 01, 02 y 03, se pudo observar que las unidades de adobe estabilizado se encuentran totalmente saturadas. Estas hileras al estar en contacto directo con el agua, han sufrido una mayor acción erosiva, por lo que en las caras expuestas se ha visto la disminución de la sección entre 1.00 ó 2.50 cm, pero han manteniendo su forma, resistencia y estabilidad.

**Figura N° 89:** *Hilera N° 01, 02 y 03 del muro estabilizado ME erosionadas por el agua.*



Las juntas de los adobes que fueron asentadas con material en la misma proporción del 5% de cemento en peso, al momento de hacer el retiro de los adobes de sus respectivas hileras, dicho material aparece en pequeños bloques compactos, que no se disgregan fácilmente.

**Figura N° 90:** *Junta entre la Hilera N° 02 y 03 del muro estabilizado ME.*



D. Muro con sobrecimiento de Ladrillo (ML):

a. Datos y Resultados para el PCI.

La información recolectada y procesada durante el ensayo se muestra en el  
Tabla N° 29.

**Tabla N° 29: Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PCI en Muro ML.**

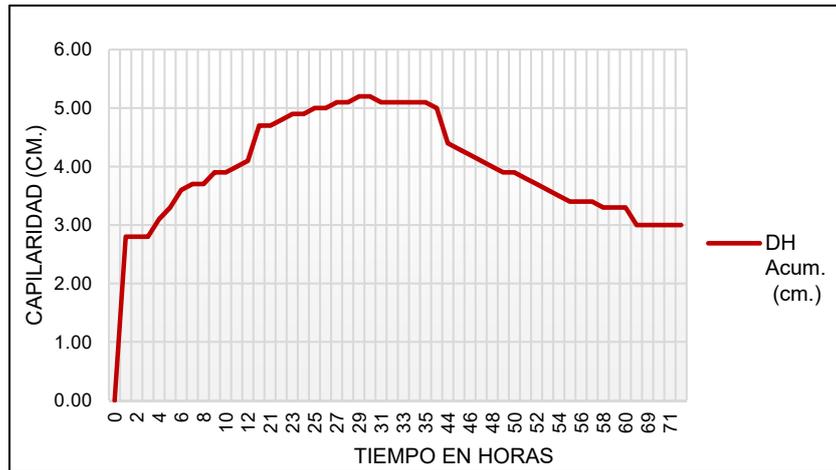
Muro: CON LADRILLO (ML)				Características: Muro con adobes de tierra asentado con torta de barro elaborada con el mismo material, sobre un murete de ladrillo KK industrial, asentado con mortero C:A=1:5, e=1.5 cm.										
Dimensiones Poza P4		Dimensiones Muro ML en contacto				Volumen de Agua Poza								
Ancho (m)	0.703	Ancho Prom. (m)	0.407			Área (P4-ML)M2	0.800							
Largo (m)	2.299	Largo Prom. (m)	2.005			Alt. agua (m)	0.30							
Altura (m)	0.425	Altura Prom(m)	2.370			M3	0.240							
Alt. con agua (m)	0.30	Alt. Concreto (m)	0.33			Litros	240.05							
Dia	Fecha	Hora	Tiempo Transc. (Hr)	Capilaridad			Absorción de agua					Asentamiento (mm)		
				Lect. Asc. (mm)	ΔH (mm.)	ΔH Acum. (mm.)	Lect. Desc. (cm)	ΔH (cm.)	Vol. Agua Absorb. (m3)	Vol. Agua Absorb. (L)	Vol. Agua Abs. Acum. (L)			
1	17/01/18	11:30	0.00	29.40	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.0		
1	17/01/18	12:30	1.00	32.20	2.80	2.80	27.00	3.00	0.02400	24.00	24.00	0.0		
1	17/01/18	13:30	2.00	32.20	0.00	2.80	26.60	0.40	0.00320	3.20	27.21	0.0		
1	17/01/18	14:30	3.00	32.20	0.00	2.80	26.35	0.25	0.00200	2.00	29.21	0.0		
1	17/01/18	15:30	4.00	32.50	0.30	3.10	26.15	0.20	0.00160	1.60	30.81	0.0		
1	17/01/18	16:30	5.00	32.70	0.20	3.30	26.00	0.15	0.00120	1.20	32.01	0.0		
1	17/01/18	17:30	6.00	33.00	0.30	3.60	25.85	0.15	0.00120	1.20	33.21	0.0		
1	17/01/18	18:30	7.00	33.10	0.10	3.70	25.70	0.15	0.00120	1.20	34.41	0.0		
1	17/01/18	19:30	8.00	33.10	0.00	3.70	25.67	0.03	0.00024	0.24	34.65	0.0		
1	17/01/18	20:30	9.00	33.30	0.20	3.90	25.50	0.17	0.00136	1.36	36.01	0.0		
1	17/01/18	21:30	10.00	33.30	0.00	3.90	25.40	0.10	0.00080	0.80	36.81	0.0		
1	17/01/18	22:30	11.00	33.40	0.10	4.00	25.30	0.10	0.00080	0.80	37.61	0.0		
1	17/01/18	23:30	12.00	33.50	0.10	4.10	25.25	0.05	0.00040	0.40	38.01	0.0		
1	18/01/18	07:30	20.00	34.10	0.60	4.70	24.67	0.58	0.00464	4.64	42.65	0.0		
1	18/01/18	08:30	21.00	34.10	0.00	4.70	24.60	0.07	0.00056	0.56	43.21	0.0		
1	18/01/18	09:30	22.00	34.20	0.10	4.80	24.50	0.10	0.00080	0.80	44.01	0.0		
1	18/01/18	10:30	23.00	34.30	0.10	4.90	24.43	0.07	0.00056	0.56	44.57	0.0		
1	18/01/18	11:30	24.00	34.30	0.00	4.90	23.50	0.93	0.00744	7.44	52.01	0.0		
									Agua repuesta		0.05201	52.01		
2	18/01/18	11:30	24.00	34.30	0.00	4.90	30.00	0.00	0.00000	0.00	52.01	0.0		
2	18/01/18	12:30	25.00	34.40	0.10	5.00	29.60	0.40	0.00320	3.20	55.21	0.0		
2	18/01/18	13:30	26.00	34.40	0.00	5.00	29.50	0.10	0.00080	0.80	56.01	0.0		
2	18/01/18	14:30	27.00	34.50	0.10	5.10	29.50	0.00	0.00000	0.00	56.01	0.0		
2	18/01/18	15:30	28.00	34.50	0.00	5.10	29.40	0.10	0.00080	0.80	56.81	0.0		
2	18/01/18	16:30	29.00	34.60	0.10	5.20	29.30	0.10	0.00080	0.80	57.61	0.0		
2	18/01/18	17:30	30.00	34.60	0.00	5.20	29.25	0.05	0.00040	0.40	58.01	0.0		
2	18/01/18	18:30	31.00	34.50	-0.10	5.10	29.20	0.05	0.00040	0.40	58.41	0.0		
2	18/01/18	19:30	32.00	34.50	0.00	5.10	29.10	0.10	0.00080	0.80	59.21	0.0		
2	18/01/18	20:30	33.00	34.50	0.00	5.10	29.10	0.00	0.00000	0.00	59.21	0.0		
2	18/01/18	21:30	34.00	34.50	0.00	5.10	29.00	0.10	0.00080	0.80	60.01	0.0		
2	18/01/18	22:30	35.00	34.50	0.00	5.10	29.00	0.00	0.00000	0.00	60.01	0.0		
2	18/01/18	23:30	36.00	34.40	-0.10	5.00	29.00	0.00	0.00000	0.00	60.01	0.0		
2	19/01/18	07:30	44.00	33.80	-0.60	4.40	28.50	0.50	0.00400	4.00	64.01	0.0		
2	19/01/18	08:30	45.00	33.70	-0.10	4.30	28.50	0.00	0.00000	0.00	64.01	0.0		
2	19/01/18	09:30	46.00	33.60	-0.10	4.20	28.45	0.05	0.00040	0.40	64.41	0.0		
2	19/01/18	10:30	47.00	33.50	-0.10	4.10	28.40	0.05	0.00040	0.40	64.81	0.0		
2	19/01/18	11:30	48.00	33.40	-0.10	4.00	28.30	0.10	0.00080	0.80	65.61	0.0		
									Agua repuesta		0.01360	13.60		
3	19/01/18	11:30	48.00	33.40	0.00	4.00	30.00	0.00	0.00000	0.00	65.61	0.0		
3	19/01/18	12:30	49.00	33.30	-0.10	3.90	30.00	0.00	0.00000	0.00	65.61	0.0		
3	19/01/18	13:30	50.00	33.30	0.00	3.90	30.00	0.00	0.00000	0.00	65.61	0.0		
3	19/01/18	14:30	51.00	33.20	-0.10	3.80	30.00	0.00	0.00000	0.00	65.61	0.0		
3	19/01/18	15:30	52.00	33.10	-0.10	3.70	29.90	0.10	0.00080	0.80	66.41	0.0		
3	19/01/18	16:30	53.00	33.00	-0.10	3.60	29.90	0.00	0.00000	0.00	66.41	0.0		
3	19/01/18	17:30	54.00	32.90	-0.10	3.50	29.90	0.00	0.00000	0.00	66.41	0.0		
3	19/01/18	18:30	55.00	32.80	-0.10	3.40	29.80	0.10	0.00080	0.80	67.21	0.0		
3	19/01/18	19:30	56.00	32.80	0.00	3.40	29.80	0.00	0.00000	0.00	67.21	0.0		
3	19/01/18	20:30	57.00	32.80	0.00	3.40	29.80	0.00	0.00000	0.00	67.21	0.0		
3	19/01/18	21:30	58.00	32.70	-0.10	3.30	29.70	0.10	0.00080	0.80	68.01	0.0		
3	19/01/18	22:30	59.00	32.70	0.00	3.30	29.70	0.00	0.00000	0.00	68.01	0.0		
3	19/01/18	23:30	60.00	32.70	0.00	3.30	29.50	0.20	0.00160	1.60	69.61	0.0		
3	20/01/18	07:30	68.00	32.40	-0.30	3.00	29.40	0.10	0.00080	0.80	70.41	0.0		
3	20/01/18	08:30	69.00	32.40	0.00	3.00	29.30	0.10	0.00080	0.80	71.21	0.0		
3	20/01/18	09:30	70.00	32.40	0.00	3.00	29.20	0.10	0.00080	0.80	72.01	0.0		
3	20/01/18	10:30	71.00	32.40	0.00	3.00	29.10	0.10	0.00080	0.80	72.81	0.0		
3	20/01/18	11:30	72.00	32.40	0.00	3.00	29.00	0.10	0.00080	0.80	73.61	0.0		

Fuente: Elaboración propia.

- Capilaridad y Volumen de Absorción del PCI.

El muro ML soportó las 72 horas del periodo corto de inundación, obteniendo el registro de ascenso del agua por capilaridad (Tabla N° 29), el cual se muestra en la Figura N° 91.

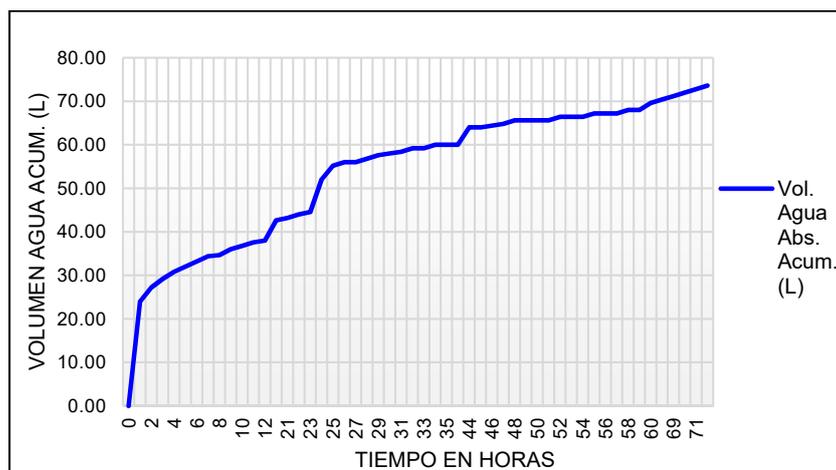
**Figura N° 91:** *Capilaridad en el Muro con Ladrillo ML - Periodo Corto de Inundación.*



Fuente: Elaboración propia.

La absorción de agua por parte del muro ML, fue medida mediante el cambio del nivel superficial del agua en la poza, cuyo descenso fue registrado con una cinta métrica (Tabla N° 29). Este descenso se presenta en la Figura N° 92.

**Figura N° 92:** *Vol. de Agua Absorbida en el Muro con Ladrillo ML - Periodo Corto de Inundación.*



Fuente: Elaboración propia

El ascenso del agua es de 3.00 cm., ocasionado por la absorción de 73.61 litros de agua en su interior.

b. Datos y resultados del PPI.

La información recolectada y procesada durante el ensayo se muestra en la Tabla N° 30.

**Tabla N° 30: Datos de Capilaridad y Absorción de Agua para PPI en Muro ML.**

Día	Fecha	Hora	Tiempo Transc. (Días)	Capilaridad			Absorción de agua				Asentamiento (mm)	
				Lect. Asc. (cm)	$\Delta H$ (cm.)	$\Delta H$ Acum. (cm.)	Lect. Desc. (cm)	$\Delta H$ (cm.)	Vol. Agua Absorb. (m3)	Vol. Agua Absorb. (L)		Vol. Agua Abs. Acum. (L)
0	17/01/18	11:30	0.00	29.40	0.00	0.00	-	-	-	-	0.00	0.0
1	18/01/18	11:30	1.00	34.30	4.90	4.90	-	-	-	-	52.01	0.0
2	19/01/18	11:30	2.00	33.40	-0.90	4.00	-	-	-	-	65.61	0.0
3	20/01/18	11:30	3.00	32.40	-1.00	3.00	29.00	-	-	-	73.61	0.0
1	21/01/18	11:30	4.00	32.40	0.00	3.00	28.80	0.20	0.00160	1.60	75.21	0.0
2	22/01/18	11:30	5.00	32.40	0.00	3.00	28.60	0.20	0.00160	1.60	76.81	0.0
3	23/01/18	11:30	6.00	32.40	0.00	3.00	28.40	0.20	0.00160	1.60	78.41	0.0
4	24/01/18	11:30	7.00	32.40	0.00	3.00	28.30	0.10	0.00080	0.80	79.21	0.0
5	25/01/18	11:30	8.00	32.40	0.00	3.00	28.00	0.30	0.00240	2.40	81.61	0.0
6	26/01/18	11:30	9.00	32.40	0.00	3.00	27.70	0.30	0.00240	2.40	84.01	0.0
7	27/01/18	11:30	10.00	32.40	0.00	3.00	27.40	0.30	0.00240	2.40	86.41	0.0
							Agua repuesta		0.02080	20.80		0.0
7	27/01/18	11:30	10.00	32.40	0.00	3.00	30.00	0.00	0.00000	0.00	86.41	0.0
8	28/01/18	11:30	11.00	32.40	0.00	3.00	29.70	0.30	0.00240	2.40	88.81	0.0
9	29/01/18	11:30	12.00	32.40	0.00	3.00	29.50	0.20	0.00160	1.60	90.41	0.0
10	30/01/18	11:30	13.00	32.40	0.00	3.00	29.30	0.20	0.00160	1.60	92.01	0.0
11	31/01/18	11:30	14.00	32.40	0.00	3.00	29.10	0.20	0.00160	1.60	93.61	0.0
12	01/02/18	11:30	15.00	32.40	0.00	3.00	28.90	0.20	0.00160	1.60	95.21	0.0
13	02/02/18	11:30	16.00	32.40	0.00	3.00	28.60	0.30	0.00240	2.40	97.61	0.0
14	03/02/18	11:30	17.00	32.40	0.00	3.00	28.50	0.10	0.00080	0.80	98.42	0.0
15	04/02/18	11:30	18.00	32.40	0.00	3.00	28.40	0.10	0.00080	0.80	99.22	0.0

Fuente: Elaboración Propia.

- Capilaridad y Volumen de Absorción del PPI

El muro ML soportó 18 días del periodo prolongado de inundación, obteniendo el registro de ascenso del agua por capilaridad (Tabla N° 30), el cual se muestra en la Figura N° 93.

**Figura N° 93: Capilaridad en Muro con Sobrecimiento de Ladrillo ML - Periodo Prolongado de Inundación.**

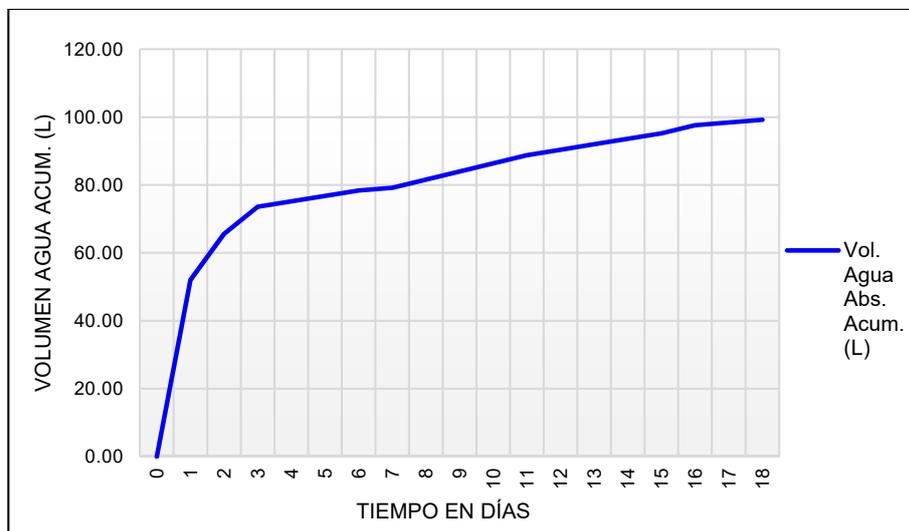


Fuente: Elaboración Propia.

Durante el periodo prolongado de inundación se puede apreciar que el sobrecimiento de ladrillo, después del tercer día, ha seguido absorbiendo agua, debido a que las unidades de ladrillo se han ido saturando y a la vez han ido llenando los huecos interiores del ladrillo KK de arcilla industrial, ya que el agua se ha ido infiltrando por los poros del mortero cemento arena.

La absorción de agua por parte del muro ML, fue medida mediante el cambio del nivel superficial del agua en la poza, cuyo descenso fue registrado con una cinta métrica (Tabla N° 30). Este descenso se presenta en la Figura N° 94.

**Figura N° 94:** *Volumen de Agua Absorbida en el Muro con Sobrecimiento de Ladrillo ML - Periodo Prolongado de Inundación.*



Fuente: Elaboración Propia.

El ascenso capilar registrado en el día 18 es de 3.00 cm., y el volumen de agua absorbida es de 99.22 litros.

En el día 07 del ensayo, se ve nuevamente la presencia de eflorescencia salina sobre los bordes del mortero de la Hilera de ladrillo N° 04, debido a la presencia de sulfatos y carbonatos en pocas proporciones que tiene la arena gruesa y que, al estar en un prolongado tiempo de exposición al agua, hace que se exterioricen.

**Figura N° 95:** Muro ML al terminar el ensayo de Inundación Simulada.  
*Nótese la eflorescencia sobre las juntas de mortero cemento arena.*



c. Asentamientos

El muro ML, durante el PCI y el PPI, no ha registrado asentamientos.

**Figura N° 96:** Nivel marcado en el Muro MT al finalizar el ensayo de inundación simulada para verificar asentamientos.



d. Desmontaje del Muro ML.

Luego de haber culminado el ensayo de inundación simulada, se procedió a realizar el desmontaje del muro tomando las debidas medidas de seguridad para evitar cualquier accidente o incidente.

Vista la estabilidad del muro, se procedió a drenar la poza P4, y desmontarlo manualmente. Se hizo el retiro del bloque de concreto con la ayuda de sogas, este cayó manteniéndose firme el muro de adobe que se ubicaba sobre el sobrecimiento de ladrillo.

El muro de adobe no ha tenido contacto con la humedad proveniente del ascenso capilar de la poza, por lo que las 16 hileras del muro ML están secas y han mantenido sus características iniciales.

**Figura N° 97:** *Junta ubicada encima del sobrecimiento de ladrillo totalmente seca.*



Luego de hacer el retiro de las hileras de adobe, se procedió a hacer el retiro de las 06 hileras del sobrecimiento de ladrillo KK de arcilla industrial, con la ayuda de una comba y un cincel.

**Figura N° 98:** *Hilera N° 05 del sobrecimiento, con las unidades de ladrillo y juntas de mortero totalmente secas.*



Las hileras N° 05 y 06, están totalmente secas, no hay indicios de humedad en las juntas de mortero. La hilera N° 04 muestra ladrillos parcialmente saturados en la parte inferior conjuntamente con las juntas de mortero que también muestran humedad. Las unidades de ladrillo mantienen sus características iniciales.

**Figura N° 99:** *Ladrillos y juntas de la hilera N° 04 del sobrecimiento, parcialmente húmedas.*



Las hileras N° 01, 02 y 03, muestran ladrillos y juntas totalmente saturadas. Además, se muestra la existencia de agua en los huecos de los ladrillos del sobrecimiento, por lo que se afirma que el agua que sigue absorbiendo el sobrecimiento en lugar de ascender por los ladrillos y juntas, se va acumulando al interior del mismo, llenando los espacios libres que ingresan por los espacios entre ladrillos y juntas, además de ingresar por los poros del mortero manteniendo un nivel constante. Aunque las unidades se encuentren saturadas han mantenido sus características y propiedades iniciales. Conforme se hace el picado de las hileras el agua de los agujeros va discurriendo y drenando lentamente, hacia los costados del sobrecimiento.

**Figura N° 100:** *Hileras N° 02 y 03 del sobrecimiento de ladrillo, totalmente saturado con los huecos llenos de agua.*



**Figura N° 101:** *Hilera N° 01 del sobrecimiento de ladrillo, totalmente saturado con los huecos llenos de agua.*



## 5.2 Análisis, interpretación y discusión de resultados

### 5.2.1 De las pruebas de Absorción y Succión.

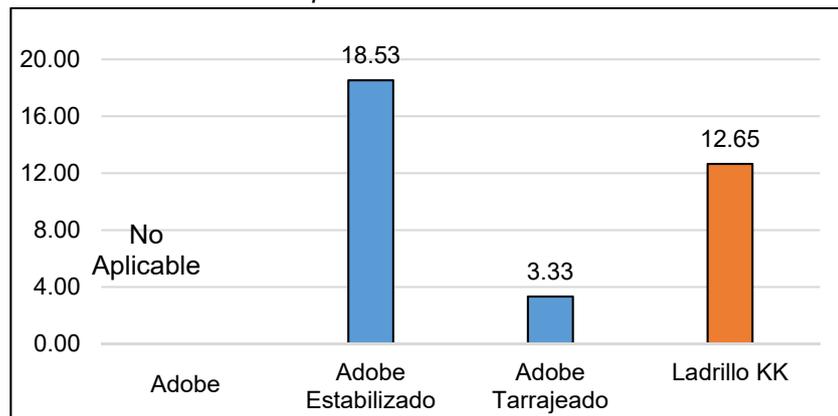
En la Tabla N° 31 y en las Figuras N° 102 y 103, se presenta los resultados promedios de las pruebas de succión y absorción para los tres tipos de especímenes ensayados.

**Tabla N° 31:** Resultados promedio de los Ensayos de Absorción y Succión.

Adobe o Ladrillo	% Absorción Promedio en 24 Horas	Succión Promedio (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )
Adobe	No aplicable Desintegración total.	No aplicable Desintegración parcial en la zona en contacto con el agua.
Adobe Estabilizado	18.53	66.1
Adobe Tarrajado	3.33	5.6
Ladrillo KK	12.65	22.9

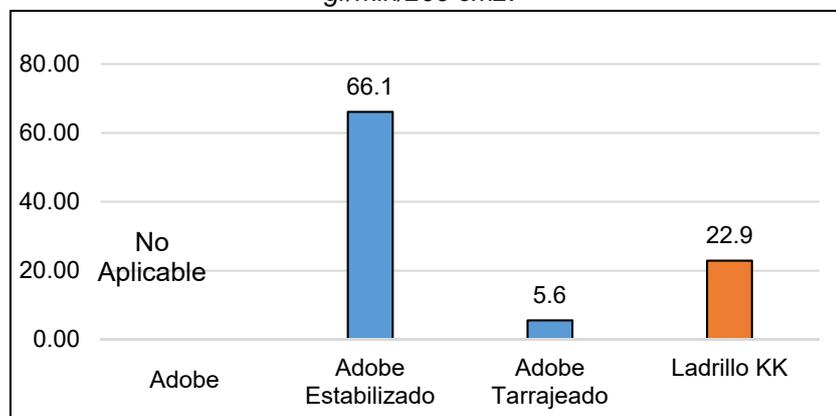
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 102:** Resultados comparativos del % de Absorción promedio en 24 Horas.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 103:** Resultados comparativos de Succión Promedio en gr/min/200 cm<sup>2</sup>.



Fuente: Elaboración Propia.

En ambas pruebas podemos notar de que el adobe tarrajado superó ampliamente al adobe estabilizado al succionar y absorber menor cantidad de agua, requisito indispensable para mejorar su comportamiento ante la exposición prolongada de agua, en tanto que el adobe no aprobó ninguno de estos ensayos y terminó desintegrándose parcial o totalmente.

El ladrillo KK de arcilla industrial, tiene valores intermedios entre el adobe tarrajado y estabilizado, pero como se verifica con el ensayo de inundación simulada, este tiene un comportamiento superior comparado con los sistemas de protección planteados para el adobe como son el tarrajeo con mortero cemento arena y la estabilización con cemento.

### 5.2.2 Del ascenso capilar en la prueba de succión.

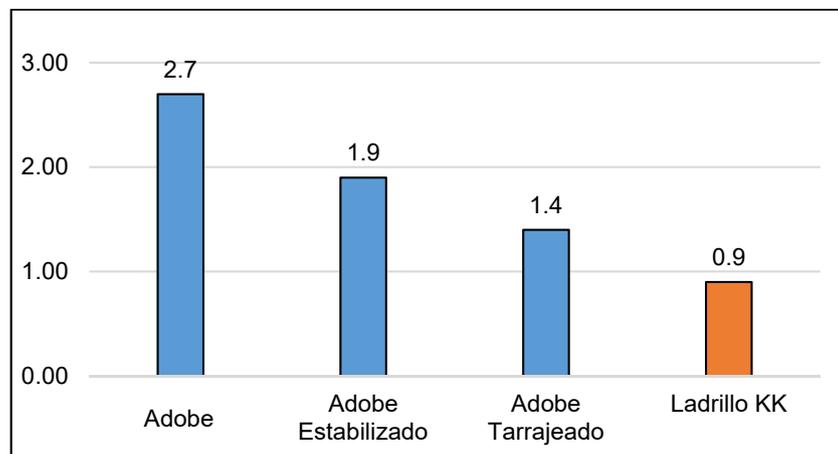
Para un tiempo de exposición al agua de un minuto, en la Tabla N° 32 y Figura N° 104 observamos que los adobes registraron el mayor ascenso capilar, siguiendo los adobes estabilizados y finalmente los adobes tarrajados con apenas 0.90 cm.

**Tabla N° 32:** Resultados promedio del Ascenso capilar del Ensayo de Succión.

Adobe o Ladrillo	Altura de succión promedio (cm)
Adobe	2.70
Adobe Estabilizado	1.90
Adobe Tarrajado	1.40
Ladrillo KK	0.90

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 104:** Resultados de Altura de Succión promedio (cm).



Fuente: Elaboración Propia

Los datos de ascenso capilar obtenidos en la prueba de succión permitieron obtener información para predecir el comportamiento del ascenso de agua durante la prueba de inundación simulada en los muros y también permitirá definir la zona del muro a proteger.

Finalmente, podemos concluir que, entre los adobes los que fueron tarrajeados tuvieron un mejor desempeño al presentar el menor ascenso capilar en comparación con los adobes y adobes estabilizados. Además, que los ladrillos KK de arcilla industrial al tener menor cantidad de vacíos, tiene un menor ascenso capilar.

### **5.2.3 De las pruebas de Inundación simulada.**

#### ***A. Comparación de resultados del ensayo de inundación para muros.***

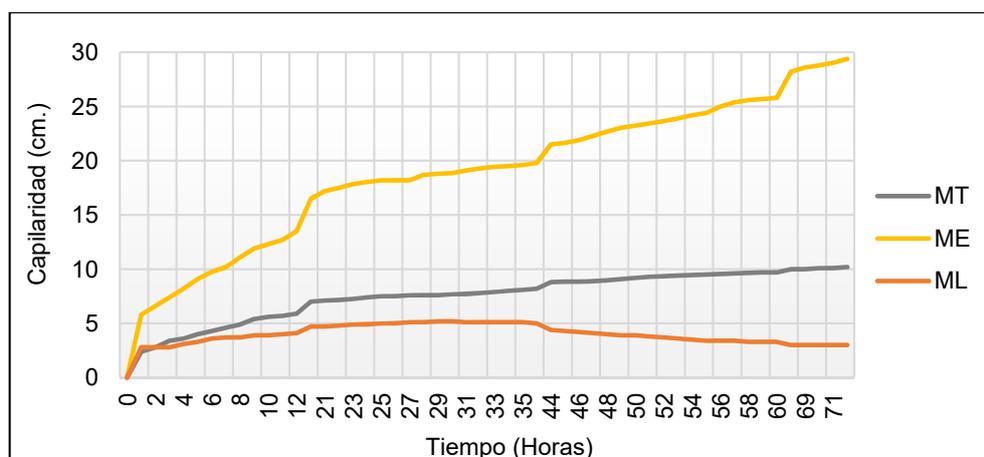
Dado que el Muro Patrón MP no resistió el ensayo de inundación simulada, sólo se compararon los 03 sistemas de protección de los muros restantes.

Para esto se elaborarán las siguientes gráficas en función de las gráficas presentadas en el ítem 5.1.2. para cada muro:

##### *a. Análisis comparativo de gráficas de capilaridad durante el Periodo Corto de Inundación.*

Como se aprecia en la Figura N° 105, durante las primeras 72 horas de inundación las alturas de capilaridad son diferentes entre los 3 muros, van desde formas lineales hasta curvas por lo que no se ha realizado aproximaciones a líneas de tendencias conocidas.

**Figura N° 105:** Gráfico comparativo de capilaridad (cm.) en Muro Tarrajado (MT), Estabilizado (ME) y con Sobrecimiento de Ladrillo (ML). Periodo Corto de Inundación.



Fuente: Elaboración Propia.

Sin embargo, puede apreciarse que la solución sobrecimiento con ladrillo KK de arcilla industrial supera a la de tarrajeo y ésta a su vez a la de adobe estabilizado.

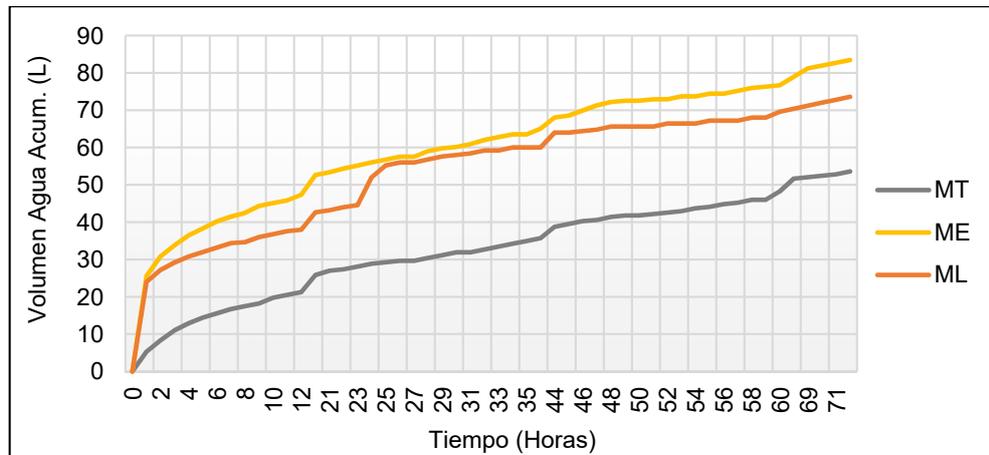
Mientras que el muro tarrajado MT y el muro con adobes estabilizados ME, tienen una tendencia a ir incrementando la capilaridad en diferentes tiempos, el muro con sobrecimiento de ladrillo, obtiene un punto más alto al segundo día, para luego descender y mantenerse estable.

Para comparar los ascensos capilares durante el periodo corto de inundación se usó el resultado final a 72 horas, obteniendo que la altura de ascenso en los muros Tarrajado y Estabilizado, son de 10.20 cm y 29.4 cm respectivamente, a diferencia del muro con sobrecimiento de ladrillo que ha obtenido un valor máximo de 5.20 cm y manteniéndose a una altura de 3.00 cm., durante el periodo corto de inundación.

*b. Análisis comparativo de gráficas de absorción acumulada durante el Periodo Corto de Inundación.*

Al igual que en las gráficas de capilaridad, los volúmenes de absorción de agua difieren entre los 3 muros, como se puede apreciar en la figura N° 106.

**Figura N° 106:** Gráfico comparativo de volumen de agua absorbida (Litros) en Muro tarrajado (MT), Estabilizado (ME) y con Sobrecimiento de Ladrillo (ML).  
Periodo Corto de Inundación.



Fuente: Elaboración Propia

Los datos obtenidos poseen tendencias lineales y curvas por lo que no se realizó aproximaciones a líneas de tendencias conocidas.

Llama la atención que el muro tarrajado tenga un mejor comportamiento de absorción ante el ladrillo y el adobe estabilizado. Esto se debe a que las juntas del mortero cemento: arena, tienen mucha porosidad, por donde ingresa el agua hacia el interior del ladrillo, el cual, al ser hueco congrega mayor cantidad de agua en su interior.

Para comparar las absorciones durante el periodo corto de inundación se usó el resultado final a 72 horas, obteniendo que las absorciones de los muros Tarrajado, Estabilizado y con Sobrecimiento de ladrillo son de 53.59, 83.47 y 73.61 litros respectivamente, además estos valores se elevan con respecto a otros estudios debido a que el área del muro es de 0.80 m<sup>2</sup> (Largo x Ancho: 2.00 x 0.40 m).

c. *Análisis comparativo de gráficas de capilaridad durante el Periodo Prolongado de Inundación.*

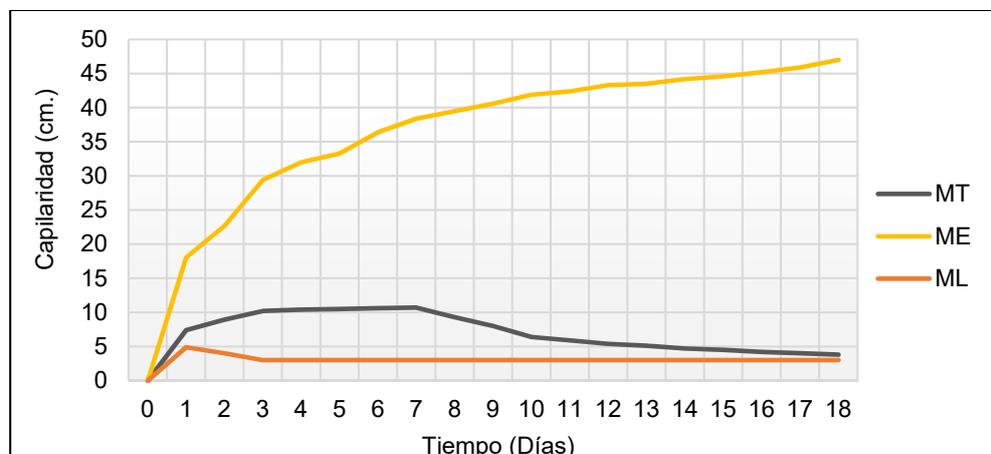
Como se aprecia en la Figura N° 107, durante los 18 días que ha durado el ensayo de inundación las alturas de capilaridad son diferentes entre los 3 muros al igual que en el PCI.

Las soluciones de los muros MT y ML, son los que muestran un bajo ascenso capilar. El muro MT debido a la fisura que apareció en el día 08 ha humedecido la base del muro, ocasionando que se humedezcan las 03 primeras hileras de adobe pero que se ha mantenido estable por la presencia de la malla de gallinero y el tarrajeo cemento: arena que ha confinado el muro. Los adobes han absorbido el agua del tarrajeo que se ha saturado, motivo por el cual se ve un descenso capilar en los días siguientes llegando a un valor de 3.80 cm.

El muro ML, después del tercer día, ha mantenido el nivel del ascenso capilar, posicionándose en la junta horizontal de mortero ubicada entre la hilera N° 03 y N° 04 llegando a una altura de 3.00 cm. Se ha visto la presencia de la eflorescencia salina en la junta horizontal y en las juntas verticales de mortero ubicadas entre la hilera N° 4 y N° 5 porque la arena gruesa de cerro haya contenido algunos sulfatos y/o carbonatos en su composición.

El muro ME, si ha tenido un ascenso capilar considerable con respecto a los otros dos muros, llegando a ubicarse a 47 cm por encima del nivel inicial, ya que tanto los adobes como las juntas, son casi homogéneos en su composición, además de tener contacto directo con el agua.

**Figura N° 107:** Gráfico comparativo de capilaridad (cm.) en Muro tarrajeado (MT), Estabilizado (ME) y con Sobrecimiento de Ladrillo (ML). Periodo Prolongado de Inundación.

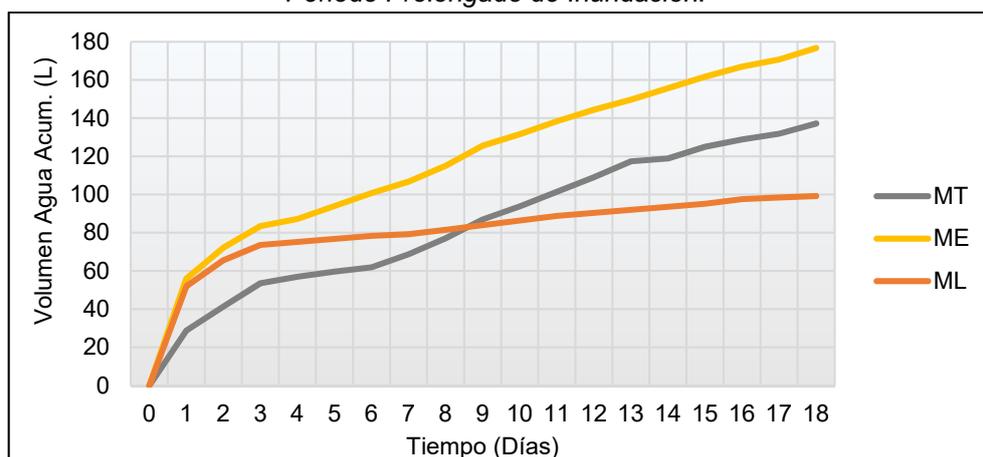


Fuente: Elaboración Propia.

d. *Análisis comparativo de gráficas de absorción acumulada durante en el Periodo Prolongado de Inundación.*

De acuerdo a la Figura N° 108 al igual que en el PCI, los datos obtenidos no tienen tendencias conocidas.

**Figura N° 108:** Gráfico comparativo de volumen de agua absorbida (Litros) en Muro tarrajado (MT), Estabilizado (ME) y con Sobrecimiento de Ladrillo (ML). Periodo Prolongado de Inundación.



Fuente: Elaboración Propia

El muro MT después del día 08, incrementa la absorción del agua debido a que el agua está infiltrándose al interior del muro por la presencia de la fisura, y va saturando progresivamente los adobes con los que fueron construidos. Durante el ensayo, el muro absorbió 137.20 litros de agua.

El Muro ME, ha tenido una mayor absorción y se ha mantenido el incremento del agua durante el ensayo de inundación, absorbiendo un total de 176.71 litros durante los 18 días del ensayo.

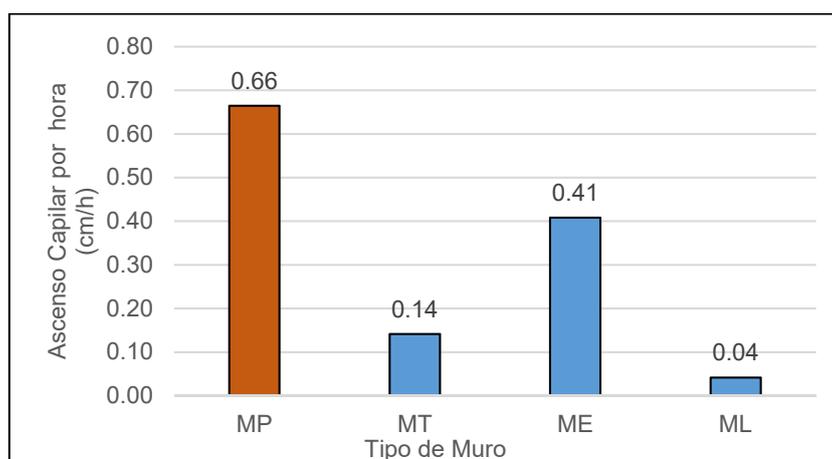
El Muro ML, tiene una absorción rápida en los tres primeros días para luego hacer un incremento leve constante, hasta el día 18, término del ensayo, absorbiendo un total de 99.22 litros.

e. *Análisis comparativo de ascenso capilar por hora en muros con diferentes sistemas de protección durante el Periodo Corto de Inundación.*

Realizando un análisis del ascenso capilar alcanzado por unidad de tiempo después de haber terminado el periodo corto de inundación que tuvo una

duración de 72 horas, se puede apreciar que en el Muro Patrón MP, que no presenta ninguna mejora, ni ningún sistema de protección muestra una mayor altura de ascenso capilar de 0.66 cm/h, en comparación con los muros que han sido mejorados mediante un sistema de protección. Los resultados se muestran en la Figura N° 109.

**Figura N° 109:** Gráfico comparativo de Ascenso capilar por hora entre el Muro MP, Muro MT, Muro ME y Muro ML en el Periodo Corto de Inundación.



Fuente: Elaboración Propia.

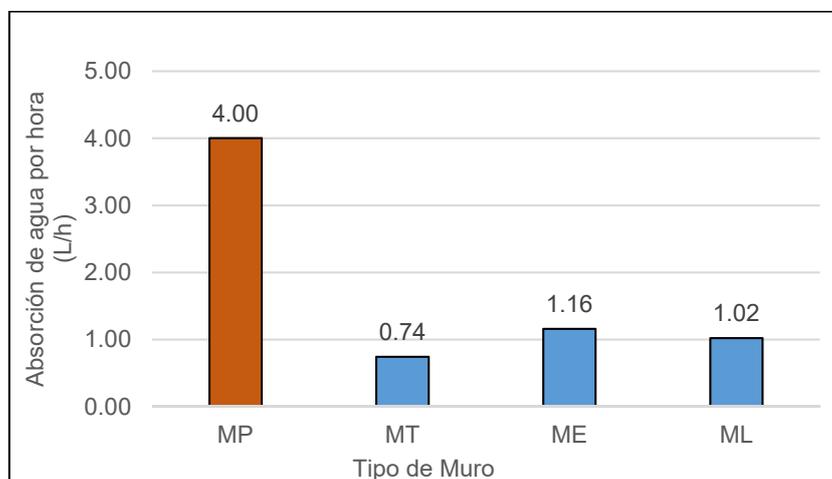
De los 03 sistemas de protección, el muro que menor ascenso presentó fue el muro con sobrecimiento de ladrillo ML, con 0.04 cm/h. seguido del muro tarrajado MT con 0.14 cm/h, y siendo el muro estabilizado ME, el que tuvo un mayor ascenso capilar de 0.41 cm/h. Esto se debe a que el ladrillo industrial tiene una composición y diferente material al adobe. El ascenso capilar en el muro estabilizado se debe a que la arcilla y el cemento al ser hidrófilos son más afines con el agua.

En tal sentido, los sistemas de protección en los muros de adobe disminuyen el ascenso capilar si es sometido a inundación durante las primeras 72 horas.

- f. *Análisis comparativo de absorción de agua por hora en muros con diferentes sistemas de protección durante el Periodo Corto de Inundación.*

Realizando un análisis de absorción de agua por unidad de tiempo después de haber terminado el periodo corto de inundación que tuvo una duración de 72 horas, se puede apreciar que en el Muro Patrón MP, que no presenta ninguna mejora, ni ningún sistema de protección muestra una mayor cantidad de agua absorbida 4.00 L/h, en comparación con los muros que han sido mejorados mediante un sistema de protección. Los resultados se muestran en la Figura N° 110.

**Figura N° 110:** Gráfico comparativo de Absorción de agua por hora entre el Muro MP, Muro MT, Muro ME y Muro ML en el Periodo Corto de Inundación.



Fuente: Elaboración Propia.

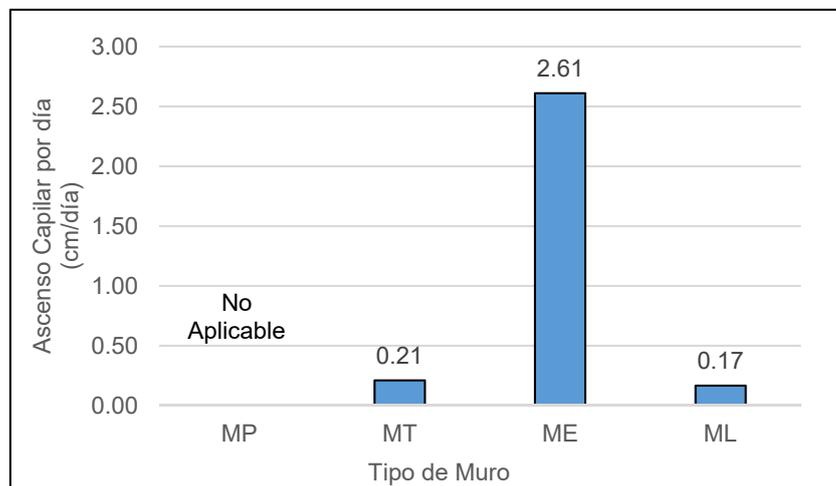
De los 03 sistemas de protección, el muro que menor agua absorbió fue el muro tarrajado MT, con 0.74 L/h., seguido del muro son sobrecimiento de ladrillo con 1.02 L/h, y siendo el muro estabilizado ME, el que tuvo una mayor absorción con 1.16 L/h.

Haciendo una comparación de la cantidad de agua absorbida por unidad de tiempo, en los muros de adobe ensayados se aprecia que los sistemas de protección disminuyen la absorción de agua al interior de los muros, si son sometidos a inundación durante las primeras 72 horas.

*g. Análisis comparativo de ascenso capilar por día en muros con diferentes sistemas de protección durante el Periodo Prolongado de Inundación.*

En vista de que el muro patrón MP no resistió el ensayo de inundación simulada en su periodo corto de inundación, no se cuenta con datos para hacer la respectiva comparación, se realizó el análisis del ascenso capilar alcanzado por unidad de tiempo después de haber terminado el periodo prolongado de inundación que tuvo una duración de 18 días. Los resultados se muestran en la Figura N° 111.

**Figura N° 111:** *Gráfico comparativo de Ascenso capilar por día entre el Muro MT, Muro ME y Muro ML en el Periodo Prolongado de Inundación.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

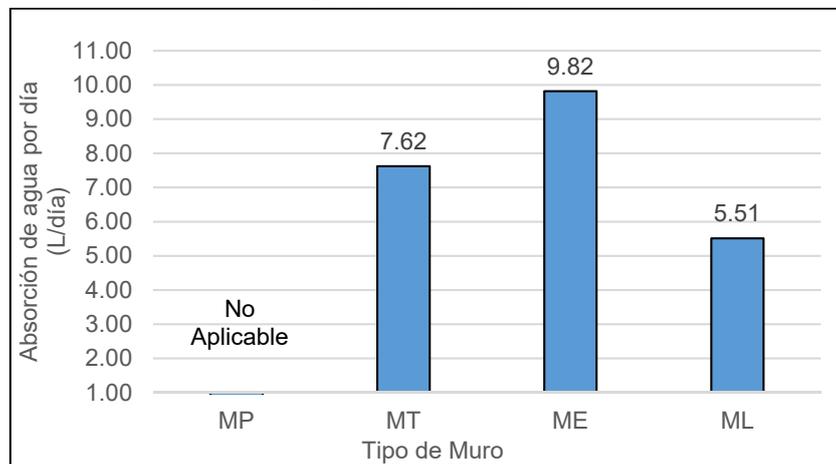
De los 03 sistemas de protección, el muro que menor ascenso presentó fue el muro con sobrecimiento de ladrillo ML, con 0.17 cm/día, seguido del muro tarrajado MT con 0.21 cm/día, y siendo el muro estabilizado ME, el que tuvo un mayor ascenso capilar de 2.61 cm/día.

En tal sentido, los sistemas de protección en los muros de adobe al igual que en el periodo corto de inundación disminuyen el ascenso capilar al interior del muro y que es visible en las caras laterales del muro.

h. *Análisis comparativo de absorción de agua por día en muros con diferentes sistemas de protección durante el Periodo Prolongado de Inundación.*

Se realizó el análisis de absorción de agua alcanzado por unidad de tiempo después de haber terminado el periodo prolongado de inundación, que tuvo una duración de 18 días. De igual manera que en el caso anterior, el muro patrón MP, no resistió en ensayo de inundación simulada en su periodo corto de inundación, y no se cuenta con datos para hacer la respectiva comparación. Los resultados se muestran en la Figura N° 112.

**Figura N° 112:** *Gráfico comparativo de Absorción de agua por día entre el Muro MP, Muro MT, Muro ME y Muro ML en el Periodo Corto de Inundación.*



Fuente: Elaboración Propia.

De los 03 sistemas de protección, el muro que menor agua absorbió fue el muro con sobrecimiento de ladrillo ML con 5.51 L/día, seguido del muro tarrajado MT con 7.62 L/día, y siendo el muro estabilizado ME, el que tuvo una mayor absorción con 9.82 L/día.

i. *Comparativo de los asentamientos.*

Las tres alternativas de solución propuestas, no han presentado asentamientos durante el tiempo de duración del ensayo.

Cabe mencionar que el Muro MT, después de hacer el retiro de la malla de gallinero y el tarrajeo cemento arena, se vuelve vulnerable por la humedad, si bien, no sufrió asentamientos, éste se volteó súbitamente.



## 5.2.4 Cuadro resumen de resultados.

### A. Unidades de Adobe y Ladrillo.

**Tabla N° 33:** Cuadro Resumen de Resultados en Unidades de Adobes y Ladrillo.

Resultado	Und.	Adobe	Adobe Tarrajado	Adobe Estabilizado	Ladrillo KK
Densidad Seca Promedio	gr/cm <sup>3</sup> .	1.86	1.80	1.68	1.06
Absorción Promedio	%	Desintegración Total	3.33	18.53	12.65
Succión Promedio	gr/min/200cm <sup>2</sup> .	No aplica	5.60	66.10	22.90
Altura de Succión Promedio	cm.	2.70	1.40	1.90	0.90

Fuente: Elaboración propia.

### B. Muros con sistemas de Protección

**Tabla N° 34:** Cuadro Resumen de Resultados en Muros de Adobe.

Resultado	Und.	Muro Patrón (MP)	Muro Tarrajado (MT)	Muro Estabilizado (ME)	Muro con Sobrecimiento de Ladrillo (ML)
Tiempo de Duración del PCI	HH:mm	15:28	72:00	72:00	72:00
Tiempo de Duración del PPI	Días	-	18.00	18.00	18.00
Acenso Capilar - PCI	cm.	10.30	10.20	29.40	3.00
Volumen agua absorbida - PCI	L.	62.07	53.59	83.47	73.61
Acenso Capilar - PPI	cm.	-	3.80	47.00	3.00
Volumen agua absorbida - PPI	L.	-	137.20	176.71	99.22
Asentamientos	cm.	0.60	0.00	0.00	0.00
Tipo de falla	-	Frágil	-	-	-
Ascenso capilar por hora - PCI	cm/h.	0.66	0.14	0.41	0.04
Volumen agua absorbida por hora - PCI	L/h.	4.00	0.74	1.16	1.02
Ascenso capilar por día - PPI	cm/día.	-	0.21	2.61	0.17
Volumen agua absorbida por día - PPI	L/día.	-	7.62	9.82	5.51

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 Contrastación de hipótesis

Para la contrastación de hipótesis, en donde se ha utilizado el análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. Luego de hacer el respectivo análisis estadístico que se encuentra detallado en el Apéndice N° 03 para los 03 sistemas de protección propuestos: Muro tarrajado (MT), Muro estabilizado (ME) y Muro con sobrecimiento de ladrillo (ML), de los datos obtenidos en las Tablas N° 25, 27 y 29 para el periodo corto de inundación (PCI) y en las Tablas N° 26, 28 y 30 para el periodo prolongado de inundación (PPI) donde se han registrado los datos de capilaridad y volumen de agua absorbida, se concluye con lo siguiente:

#### 5.3.1 Resistencia a la inundación (Capilaridad y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PCI:

Tabla N° 35

Muros	N	Media	Agrupación
ME	51	19.2324	A
MT	51	7.6461	B
ML	51	4.0255	C

*Fuente:* Elaboración propia

- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, se concluye que el sistema de protección ML es que produce la mayor resistencia a la inundación con un promedio de 4.0255 (Capilaridad) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad durante las primeras 72 horas.

**5.3.2 Resistencia a la Inundación (Absorción y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PCI:**

**Tabla N° 36**

Muros	N	Media	Agrupación
ME	51	61.2177	A
ML	51	54.9649	A
MT	51	33.2634	B

*Fuente:* Elaboración propia.

- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, se concluye que el sistema de protección MT es que produce la mayor resistencia a la inundación (Absorción) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad durante las primeras 72 horas.

**5.3.3 Resistencia a la Inundación (Capilaridad y Sistemas de Protección de los Muros de Adobe) – PPI:**

**Tabla N° 37**

Muros	N	Media	Agrupación
ME	18	38.2417	A
MT	18	7.2250	B
ML	18	3.1611	C

*Fuente:* Elaboración propia

- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, se concluye que el sistema de protección ML es que produce la mayor resistencia a la inundación (Capilaridad) los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad durante 18 días.

### 5.3.4 Resistencia a la inundación (Absorción y Sistemas de Protección de los muros de adobe) – PPI.

Tabla N° 38

Muros	N	Media	Agrupación
ME	18	124.264	A
MT	18	88.849	B
ML	18	83.790	B

Fuente: Elaboración propia.

- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, se concluye que el sistema de protección MT y ML, son los que producen la mayor resistencia a la inundación (Absorción) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad durante 18 días.

Vistos los resultados del análisis estadístico, de los datos obtenidos para los periodos corto (PCI) y prolongado (PPI) de inundación para los muros de adobe con cargas de gravedad, se puede afirmar lo siguiente:

- El muro con sobrecimiento de ladrillo industrial ML, ha presentado mejores resultados ante la capilaridad y absorción de agua en sendos periodos de inundación, tal como se muestra en las Tablas N° 35, 36, 37 y 38, se corrobora lo planteado en la hipótesis: que los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad protegidos con ladrillo industrial en su base, presentan mayor resistencia a inundación frente a los que son tarrajados y estabilizados.
- Si bien la protección de barrera ofrecida por el sistema de tarrajeo en el muro MT, tiene sus bondades para evitar la absorción de agua durante los tres primeros días, este se vuelve vulnerable por diversos factores como puede ser la calidad de los materiales (arena fina), la mano de obra o proceso constructivo. Este al ser retirado conlleva a que el muro colapse.

- El muro estabilizado ME es el que presenta mayor absorción y mayor ascenso capilar, pero al contar con un agente estabilizante como es el cemento, brinda un mejor comportamiento a nivel de resistencia, que el muro tarrajado MT.

Por lo que haciendo un orden de acuerdo a la resistencia a la inundación ofrecida por los sistemas se tendría lo siguiente:

1. Muro con sobrecimiento de ladrillo industrial.
2. Muro estabilizado.
3. Muro tarrajado.

## **CAPITULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 Formulación de la propuesta para la solución del problema**

El adobe se vuelve endeble, al estar expuesto al factor erosivo del agua, motivo por el cual, hay que pensar en proteger mediante algún sistema de barrera o mejorando sus propiedades con algún material estabilizante.

##### **6.1.1 Muro con sobrecimiento de ladrillos (ML).**

En la construcción del sobrecimiento de ladrillo industrial, se utilizaron ladrillos K.K. de 18 huecos marca ITAL Perú.

Durante el ensayo de inundación simulada, este sistema de protección fue el que presentó menor nivel de ascenso capilar, alcanzando una elevación no mayor a 5.20 cm. durante las primeras 72 horas (3 días) de exposición al agua, para luego estabilizarse en 3.00 cm. durante los 18 días que se realizó el ensayo en su totalidad, sin llegar a hacer contacto con los adobes.

El mortero cemento: arena de las juntas, es un material que influye mucho en la infiltración de agua al interior del sobrecimiento de ladrillo, debido a la porosidad del mortero y los espacios entre el mortero y las unidades de ladrillo que se dan durante el proceso constructivo, pero que por las características del ladrillo este únicamente mantiene estable el nivel de ascenso capilar, conservando seca la zona de los adobes.

Por otro lado, si se desea construir bajo esta alternativa de usar un sobrecimiento de ladrillo, se debería utilizar unidades macizas o con menor cantidad de huecos, de material cocido en horno y de composición arcillosa.

Se podría tomar la opción de proteger los muros de adobe, con un sobrecimiento de ladrillo asentados con mortero cemento: arena, hasta una altura de 60 cm., dejando a la vez un gran espacio libre de seguridad en caso que la inundación supere el nivel de agua esperado.

La opción de usar este sistema de protección a comparación de los otros dos, si bien es el que mejores resultados ha mostrado durante los ensayos realizados, pero queda a decisión del usuario optar por su uso debido al costo que éste representa.

### **6.1.2 Muro Tarrajeado (MT).**

El sistema de barrera del tarrajeo para proteger los muros ante inundación, es una alternativa económica, fácil de construir, cuyos materiales son accesibles, que ofrece un buen comportamiento para proteger el muro de adobe durante las primeras 72 horas (3 días), retardando el proceso de infiltración de agua en la parte sumergida del muro y minimizando la acción erosiva del agua; pudiendo utilizarse para estructuras nuevas o en las que se encuentran construidas.

El principal problema encontrado en la propuesta del muro tarrajeado, a largo plazo, es la aparición de fisuras o grietas al contacto con el agua, que permite su ingreso hacia el interior del muro, lo que hace que los adobes se humedezcan, volviéndolo vulnerable.

Es absolutamente necesario usar malla de alambre, para que proporcionen confinamiento al adobe y atenúe la expansión del adobe al humedecerse. El contacto interno entre el adobe y el tarrajeo, presentaban diferente velocidad y nivel máximo de capilaridad.

Si bien este sistema de protección se ve afectado influenciado por dos factores como es la mano de obra y la calidad de los agregados, éstos debe ser tener un espesor uniforme (mínimo de 1.50 cm) en toda la superficie aplicada, por lo cual se recomienda en lo posible que durante el proceso constructivo se utilicen las herramientas apropiadas con las dosificaciones recomendadas.

El uso de este sistema para la protección de adobes no incrementa significativamente el costo de construcción.

### **6.1.3 Muro Estabilizado (ME).**

El uso de la técnica del adobe estabilizado, no es muy conocida en la ciudad ni en el distrito de Cajamarca, debido a que se piensa que el cemento no va a trabajar conjuntamente con la tierra seleccionada para la fabricación de los adobes.

El cemento y la arcilla, al ser dos materiales higrófilos, tienden a absorber agua motivo por el cual, se ha observado un elevado nivel capilar en el muro ME y volumen absorbido de agua, pero esto no quita que es una muy buena alternativa para la construcción de muros que se protegen desde su elaboración ante la acción erosiva del agua.

El uso de cemento Tipo Portland Tipo I, en una proporción del 5% en peso, nos ha brindado una dosificación que para 01 m<sup>3</sup> de material seleccionado, se deberán usar 02 bolsas, tanto para la fabricación de las unidades de adobe, así como para el mortero en las juntas del muro.

Esta es una opción, económica para proteger internamente los adobes ante posibles inundaciones, ya que estos no se desintegran totalmente, además de mantener su forma, dimensiones y resistencia.

### **6.1.4 Ventajas y desventajas de los sistemas de protección.**

De acuerdo a las observaciones realizadas y comparando los tres sistemas de protección propuestos en la presente investigación, se puede determinar las ventajas y desventajas de cada uno, tal como se muestra en la Tabla N° 39.

**Tabla N° 39: Ventajas y desventajas de los sistemas de protección.**

<b>Muro</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
MT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El adobe confinado por el tarrajeo, conserva su resistencia, aún húmedo.</li> <li>• Rápido en construir.</li> <li>• Materiales de fácil disponibilidad y adquisición.</li> <li>• Fácil transporte de materiales</li> <li>• Demora en infiltrar el agua al adobe.</li> <li>• Aplicable a muros ya construidos.</li> <li>• Mano de obra accesible para la realización de los trabajos.</li> <li>• Se usa en construcciones existentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más barato.</li> <li>• Presencia de agua retenida que puede influir en la apariencia externa del acabado del muro (Eflorescencia)</li> <li>• Puede presentar fisuras o grietas, que vuelve vulnerable al muro de adobe, que podría llevarlo al colapso después de su retiro.</li> </ul>
ME	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El adobe estabilizado con cemento mantiene su resistencia, aunque se encuentre saturado.</li> <li>• Rápido en construir.</li> <li>• Materiales de fácil disponibilidad y adquisición.</li> <li>• Fácil transporte de materiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los adobes son vulnerables en su manipulación.</li> <li>• No se conoce esta técnica en el distrito de Cajamarca.</li> <li>• No se cuenta con información para hacer una dosificación apropiada.</li> <li>• Máxima capilaridad</li> <li>• Máxima absorción de agua</li> </ul>
ML	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínima capilaridad</li> <li>• Mínima absorción de agua</li> <li>• No permite el contacto del agua con el adobe.</li> <li>• El ladrillo mantiene sus propiedades después del drenaje y/o secado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternativa más costosa</li> <li>• Capilaridad dispareja</li> <li>• Presencia de agua retenida que puede influir en la apariencia externa del acabado del muro (Eflorescencia)</li> </ul>

*Fuente:* Elaboración propia.

### 6.1.5 Costos de implementación de la propuesta

Para el análisis de costos unitarios se ha tenido en cuenta los precios y condiciones del mercado actual de los adobes provenientes de la zona de Aylambo:

- Costo del millar de adobes de 30x 40x 10 cm.	S/ 1,200.00
- Costo del flete para el traslado de los adobes a la ciudad de Cajamarca	S/ 300.00
	Costo total S/ 1,500.00
- Costo del adobe por unidad	S/ 1.50

El costo de la mano de obra del personal contratado para la elaboración de los muros, de acuerdo a los precios que se manejan en el mercado, se ha considerado:

- Operario	S/. 45.00
- Peón	S/. 30.00

Para la estimación del costo de un adobe estabilizado se ha considerado el costo de la unidad de un adobe más el costo de la adición de cemento que es 01 Kg. No se ha considerado flete, porque se han fabricado in situ.

- Costo de la unidad de adobe	S/ 1.20
- Costo de 01 Kg de Cemento	S/ 0.60
- Costo por unidad	S/ 1.80

La estimación de la cantidad e incidencias de los materiales se ha realizado de acuerdo a las Tablas N° 3, 4, 5 y 6, características de los muros MP, MT, ME y ML respectivamente.

### 6.1.6 Presupuesto.

El presupuesto estimado para los muros, de acuerdo a las características propias de cada uno y los costos unitarios correspondientes a los 04 muros (MP, MT, ME y ML), se muestra en el Tabla N° 40.

**Tabla N° 40: Presupuesto**

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
<b>01</b>	<b>MURO PATRÓN - MP</b>				<b>339.32</b>
01.01	Muro de adobe de tierra 30x40x10 cm	m2	4.00	84.83	339.32
<b>02</b>	<b>MURO TARRAJEADO – MT</b>				<b>389.37</b>
02.01	Muro de adobe de tierra 30x40x10 cm	m2	4.00	84.83	339.32
02.02	Tarrajeo muros exteriores C:A=1:5, E=1.5 cm. con malla de gallinero	m2	2.88	17.38	50.05
<b>03</b>	<b>MURO ESTABILIZADO – ME</b>				<b>398.96</b>
03.01	Muro de adobe de tierra estabilizada 30x40x10 cm	m2	4.00	99.74	398.96
<b>04</b>	<b>MURO CON SOBRECIMIENTO DE LADRILLO – ML</b>				<b>458.51</b>
04.01	Sobrecimiento de ladrillo industrial K.K. de arcilla 18H. Mortero C:A=1:5 E=1.5 CM.	m2	1.20	184.16	220.99
04.02	Muro de adobe de tierra 30x40x10 cm	m2	2.80	84.83	237.52

*Fuente:* Elaboración Propia.

### 6.1.7 Costos Unitarios.

Con la finalidad de poder comparar los costos del muro patrón MP, con los costos de los 03 sistemas de protección ensayados bajo la inundación simulada en muros, se realizó el análisis de costos unitarios para todas las partidas implicadas en cada técnica.

Los precios unitarios utilizados en cada una de las partidas se detallan en las Tablas N° 41, 42, 43 y 44.

**Tabla N° 41: Costo Unitario: Partida Muro de Adobe de Tierra 30x 40 x 10 cm.**

**(01.01) (02.01) (04.02) MURO DE ADOBE DE TIERRA 30x40x10 cm.**

Rendimiento 2.67 m2/DIA		Costo unitario directo por : m2			<b>84.83</b>
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	0.1250	0.3745	45.00	16.85
PEON	hh	0.1250	0.3745	30.00	11.24
					<b>28.09</b>
<b>Materiales</b>					
TIERRA PARA TORTA DE BARRO	m3		0.0970	35.00	3.40
ADOBE DE TIERRA 30X40X10 CM.	und		35.0000	1.50	52.50
					<b>55.90</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	28.09	0.84
					<b>0.84</b>

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 42: Costo Unitario: Tarrajeo Muros Exteriores C:A=1:5, E=1.5 CM. con Malla de Gallinero**

**02.02 TARRAJEO MUROS EXTERIORES C:A=1:5, E=1.5 CM. CON MALLA DE GALLINERO**

Rendimiento 8.00 m2/DIA		Costo unitario directo por : m2			<b>17.38</b>
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	0.1250	0.1250	45.00	5.63
PEON	hh	0.1250	0.1250	30.00	3.75
					<b>9.38</b>
<b>Materiales</b>					
MALLA ALAMBRE GALV. HEXAGONAL 3/4"	m		1.6700	2.50	4.18
ARENA FINA DE CERRO	m3		0.0160	50.00	0.80
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.1120	24.50	2.74
					<b>7.72</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	9.38	0.28
					<b>0.28</b>

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 43: Costo Unitario: Muro de Adobe de Tierra Estabilizada 30x40x10 cm.**

03.01		MURO DE ADOBE DE TIERRA ESTABILIZADA 30x40x10 cm.				
<b>Rendimiento</b>		2.67 m2/DIA		Costo unitario directo por : m2		<b>99.74</b>
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>						
OPERARIO	hh	0.1250	0.3745	45.00	16.85	
PEON	hh	0.1250	0.3745	30.00	11.24	
					<b>28.09</b>	
<b>Materiales</b>						
TIERRA PARA TORTA DE BARRO	m3		0.0970	35.00	3.40	
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.1800	24.50	4.41	
ADOBE DE TIERRA ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND TIPO I 30X40X10 CM.	und		35.0000	1.80	63.00	
					<b>70.81</b>	
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	28.09	0.84	
					<b>0.84</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 44: Costo Unitario: Sobrecimiento de Ladrillo Industrial K.K. de Arcilla 18H.**

Mortero C:A=1:5 E=1.5 CM.

04.02		SOBRECIMIENTO DE LADRILLO INDUSTRIAL K.K. DE ARCILLA 18H. MORTERO C:A=1:5 E=1.5 CM.				
<b>Rendimiento</b>		2.67 m2/DIA		Costo unitario directo por : m2		<b>184.16</b>
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>						
OPERARIO	hh	0.1250	0.3745	45.00	16.85	
PEON	hh	0.1250	0.3745	30.00	11.24	
					<b>28.09</b>	
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA DE CERRO	m3		0.1550	45.00	6.98	
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		1.0920	24.50	26.75	
	und		135.0000	0.90	121.50	
					<b>155.23</b>	
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	28.09	0.84	
					<b>0.84</b>	

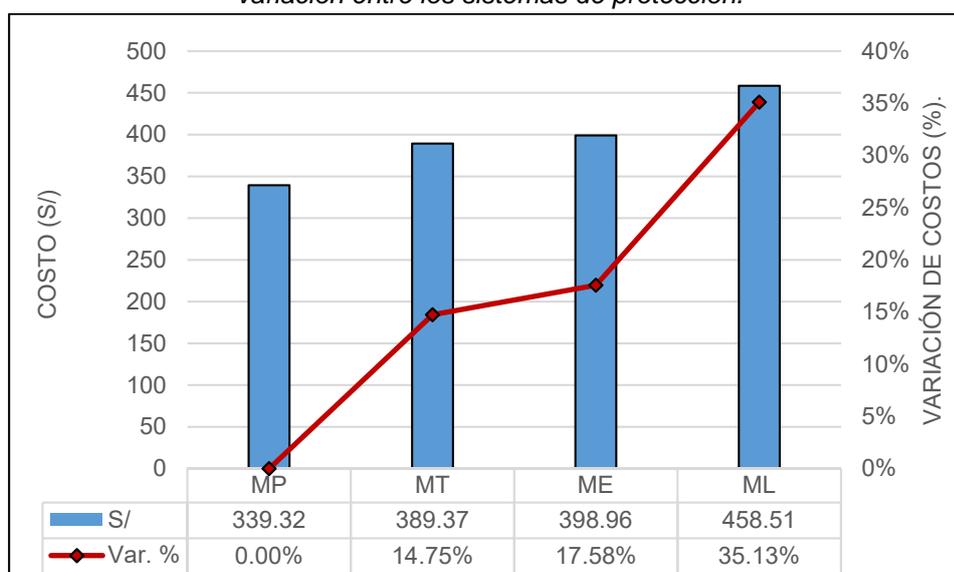
Fuente: Elaboración Propia.

### 6.1.8 Comparativo de costos entre los distintos sistemas de protección.

La Figura 114, nos muestra los costos entre los distintos sistemas de protección, el cual el empleo de un sobrecimiento de ladrillo que representa un incremento del 35.13% con respecto al muro MP siendo el costo más elevado entre los 03 sistemas propuestos y que es casi el doble de las otras dos alternativas propuestas.

El uso de un tarrajeo con mortero cemento arena conjuntamente con el uso de adobes estabilizados muestran un incremento del 14.75% y 17.58% del costo en comparación con el MP, siendo el más recomendable el uso de los adobes estabilizados, pues mostraron un mejor comportamiento ante la inundación, además de mantenerse estable después del ensayo de inundación.

**Figura N° 114:** Gráfico comparativo de costos (S/) y porcentaje (%) de variación entre los sistemas de protección.



Fuente: Elaboración propia.

## **6.2 Beneficios que aporta la propuesta.**

El uso de los sistemas de protección ante la inundación propuestos en la presente investigación, es que el muro patrón MP, sin ningún sistema de protección siempre va a ser vulnerable al estar expuesto al factor erosivo del agua proveniente de las precipitaciones que pueden ocasionar inundaciones, debido a que es un material que se fabrica artesanalmente sin ningún control de calidad y ningún criterio técnico.

El uso de un tarrajeo con mortero cemento arena es el sistema que se usa constantemente, pero que no garantiza una protección total, puesto que, ante la acción prolongada, se pueden generar filtraciones hacia el interior del muro debido a malas prácticas constructivas o baja calidad de los materiales utilizados.

El uso de adobe estabilizado, que no es una práctica muy conocida, ofrece mayores ventajas que el tarrajeo, ya que, sin tener una capa de barrera, mantiene la estabilidad y la resistencia del muro, por lo que debe ser la alternativa que debe difundirse hacia la población, que podría optar por usar este sistema constructivo y que no demanda mayor criterio técnico, que hacer una buena dosificación del material a emplear.

Usar un sobrecimiento de ladrillo industrial en un muro de adobe, si bien es la alternativa que mejor comportamiento ha tenido, para proteger del agente erosivo del agua, pero por el factor económico no se implementaría en construcciones nuevas a pesar de las ventajas que ésta ofrece.

## CONCLUSIONES

1. Los ensayos demostraron que los adobes son altamente vulnerables, por la acción erosiva del agua ocasionada por inundaciones, que pueden llegar al colapso, con un tipo de falla frágil ya que no soporto el periodo corto de inundación de 72 horas. El adobe al saturarse por el agua, disminuye los esfuerzos internos de cohesión y altera el ángulo de fricción del suelo, lo que conlleva a su degradación, ya sea como unidad de albañilería o formando parte de un muro, por lo que debe ser imprescindible su protección para minimizar los efectos erosivos.
2. El sistema de protección de barrera usando mortero cemento: arena y malla de gallinero en los muros de adobe ofrece buenos resultados de protección a la inundación durante los primeros días a la exposición al agua, pero no deja de ser vulnerable ante la prolongada exposición al agua, por el factor del proceso constructivo y calidad de los agregados utilizados, pero es la alternativa más económica.
3. El sistema de protección usando un material estabilizante como el cemento en la fabricación de adobes y en las juntas, es una alternativa que no registró un deterioro masivo al no existir variaciones importantes en sus dimensiones al término de los ensayos, volviéndose una muy buena alternativa para la fabricación de adobes y la construcción de muros, con los cuales se podrían minimizar los efectos dañinos del agua, a pesar de que éste sea muy absorbente, no influye considerablemente en su resistencia ante inundación .
4. El sistema de protección con mejores resultados contra la inundación fue la utilización de un sobrecimiento de ladrillo industrial en la base del muro de adobe, debido a que los materiales utilizados tienen mejores propiedades físicas y mecánicas para resistir los efectos erosivos del agua ante inundación, manteniendo estable el nivel del agua por debajo de la altura, siendo muy efectivo.

5. Viendo la necesidad que existe de proteger el adobe con un sistema de protección, optar por uno de éstos, muchas veces obedece a la posibilidad de ver el tema económico por parte del usuario para implementarlos en las construcciones de tierra y en comparación con el muro patrón, el tarrajeo es el más económico con un incremento del 14.75%, el muro con adobe estabilizado tiene un incremento de 17.58% y el sobrecimiento de ladrillo si tiene un incremento de 35.13%. De los sistemas propuestos, cada uno con sus ventajas y desventajas técnicas y económicas, se debería usar el adobe estabilizado para proteger las estructuras de adobe ante inundaciones.

## RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

1. Se recomienda que la Norma Técnica Peruana E.080 “Diseño y Construcción en Tierra Reforzada”, debe contemplar e implementar los sistemas de protección ante inundaciones que es uno de los fenómenos que se presentan con mayor frecuencia dentro de nuestro territorio y no solo darle importancia al diseño ante cargas sísmicas.
2. Se recomienda que la Universidad Nacional de Cajamarca, deba implementar un centro de investigación para estructuras o edificaciones de tierra, para aprovechar las bondades de este sistema constructivo denominado “No convencional” y ofrecer alternativas seguras y económicas a la población de Cajamarca.
3. Se sugiere profundizar la investigación en el tema del adobe estabilizado, ya sea con otras proporciones de cemento en peso y/o volumen o con otro material estabilizante como el asfalto, debido a que tiene un comportamiento más resistente ante el fenómeno de inundación que puedan ocurrir a lo largo del territorio nacional y promover su difusión porque es una alternativa económica y que no requiere de mayor conocimiento técnico.
4. Se sugiere ampliar la investigación haciendo un muestreo más detallado de las canteras de donde se extrae el material para hacer o elaborar adobes para determinar sus características y ver el comportamiento de los mismos con un material estabilizante.
5. Se sugiere realizar investigación en el uso de alternativas económicas para que sea usados como sobrecimiento con materiales propios de la zona de la ciudad de Cajamarca diferentes al concreto o al ladrillo industrial.
6. Se sugiere hacer una difusión del uso de la técnica del adobe estabilizado con cemento, pues muestra un comportamiento aceptable ante efectos de inundación y que a la vez es económica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLONDET, M. VILLA GARCÍA, G. BRZEV, Svetlana. *Construcciones de Adobe Resistentes a los terremotos: Tutor*. Oakland, California, 2003.
- GAMA-CASTRO, J. et al, Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 2012, Volumen 64, núm. 2, p. 177-188.
- OSHIRO, F. *Construcción de vivienda económica en adobe estabilizado*. Lima. PREDES, 2010.
- Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. *Informe Mundial sobre Desastres 2010*. Suiza, 2010. ISBN 978-92-9139-158-5.
- Autoridad Nacional del Agua, *Inundaciones en el Perú* [En línea], [Fecha de consulta 08 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.rimd.org/advf/documentos/4962879bcbe32.pdf>
- ECOSUR. *Cuatro décadas de investigación: normas de adobe en Perú* [en línea][25 julio 2017]. Disponible en: <http://www.ecosur.org/ediciones-anteriores/90/376-cuatro-decadas-de-investigacion-normas-de-adobe-en-peru>
- CABRERA,D. y HUAYNATE, W. *Mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones*. Tesis Pregrado inédita, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010.
- ROMERO, I. y PEREYRA, J. *Mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones*. Tesis Pregrado inédita, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Norma E.020. CARGAS*. Lima, 2006.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Norma E.070. ALBAÑILERÍA*. Lima, 2006.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Norma E.080. ADOBE*. Lima, 2006.

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Norma E.080. Diseño y Construcción con Tierra Reforzada*. Lima, 2017.
- ECOSUR. *Cuatro décadas de investigación: normas de adobe en Perú* [en línea][19 junio 2017]. Disponible en: <http://www.ecosur.org/index.php/ediciones-anteriores/60-edicion-9-enero-2005/43-caracteristicas-generales-del-adobe-como-material-de-construccion>
- GONZÁLES, M. *Construcciones de adobe*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 1995.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. *Manual Básico para la estimación de Riesgo*. Lima, 2006.

## ANEXOS



**Productos (<http://chiclayo.ladrillositalperu.com/productos.html>)**

**Contáctenos (<http://chiclayo.ladrillositalperu.com/contactenos.html>)**

(<http://chiclayo.ladrillositalperu.com/>)

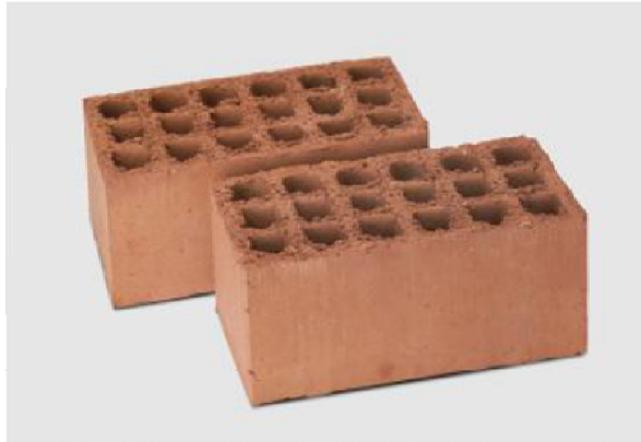
**INICIO ([HTTP://CHICLAYO.LADRILLOSITALPERU.COM/](http://chiclayo.ladrillositalperu.com/))**

**LA EMPRESA ([HTTP://CHICLAYO.LADRILLOSITALPERU.COM/LA-EMPRESA.HTML](http://chiclayo.ladrillositalperu.com/la-empresa.html))**

**ZONAS DE DISTRIBUCIÓN ([HTTP://CHICLAYO.LADRILLOSITALPERU.COM/ZONAS.HTML](http://chiclayo.ladrillositalperu.com/zonas.html))**

**PLANTA LIMA ([HTTP://LIMA.LADRILLOSITALPERU.COM/](http://lima.ladrillositalperu.com/))**





## King Kong 18 huecos

El King Kong 18 huecos es el ladrillo portante por excelencia. Sus dimensiones en el Perú son casi estándar y es uno de los materiales cuyas características técnicas son constantemente monitoreadas dada su importancia dentro de cualquier edificación.

R. COMPRES. daN/M <sup>2</sup>	DENSIDAD G/CM <sup>3</sup>	ABS. MAX. EN %	COEF. SATUR. < 1.00	EFLORESC.	ALABEO EN%	ALTO	ANCHO	LARGO	PESO EN KG	UNID. POR M <sup>2</sup>	UNID. (DE CANTO) POR M <sup>2</sup>
126	1.99	12.00	0.9	Sin Eflor.	2.00	9	13	24	3.30	38	65

(<http://www.ladrillositalperu.com/>)

PERÚ

**Libro de Reclamaciones (<http://chiclayo.ladrillositalperu.com/libro-reclamaciones.html>)**

Av. La Capitana Mz. L Lote g Huachipa - Lima - **(511) 356 2424 - 356 1888** - [ventas@ladrillositalperu.com](mailto:ventas@ladrillositalperu.com)  
(<mailto:ventas@ladrillositalperu.com>)

Alianza estratégica con **REDIGAL CHICLAYO**

alcuta Km. 1 Sector Chacupe, La Victoria - Chiclayo - **(074) 600 349**

© ITAL Perú LADRILLOS

## APÉNDICES

### Apéndice N° 01:

#### UBICACIÓN DE CANTERA DE DONDE SE ELABORARON LOS ADOBES

Figura N° 115



Fuente: *Google Earth.*

 Cantera.

- **UBICACIÓN:** Caserío Aylambo
- **Coordenadas UTM:**
  - Este : 774,607.5038
  - Norte : 9'204,312.9054
- **PROFUNDIDAD:** 0.30 - 1.40 m.
- **MUESTRA:** Cantera 1

## Apéndice N° 02

### ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS DEL MATERIAL DE FABRICACIÓN DE LOS ADOBES.

#### 1. Datos Generales.

**Tabla N° 45**

Tesis	: "Comparación de resistencia a inundación de muros de adobe con diferentes sistemas de protección".		
Ubicación	- Región : Cajamarca. - Provincia : Cajamarca. - Distrito : Cajamarca. - Caserío : Aylambo	Coordenadas UTM	E: 774,607.5038 N: 9'204,312.9054
Muestra	: Cantera 1		
Profundidad	: 0.30 - 1.40 m.		
Elaborado por	: Ing. Ulises Isaac Saldaña Alvarado.		
Ciudad y Fecha	: Cajamarca, octubre 2017		

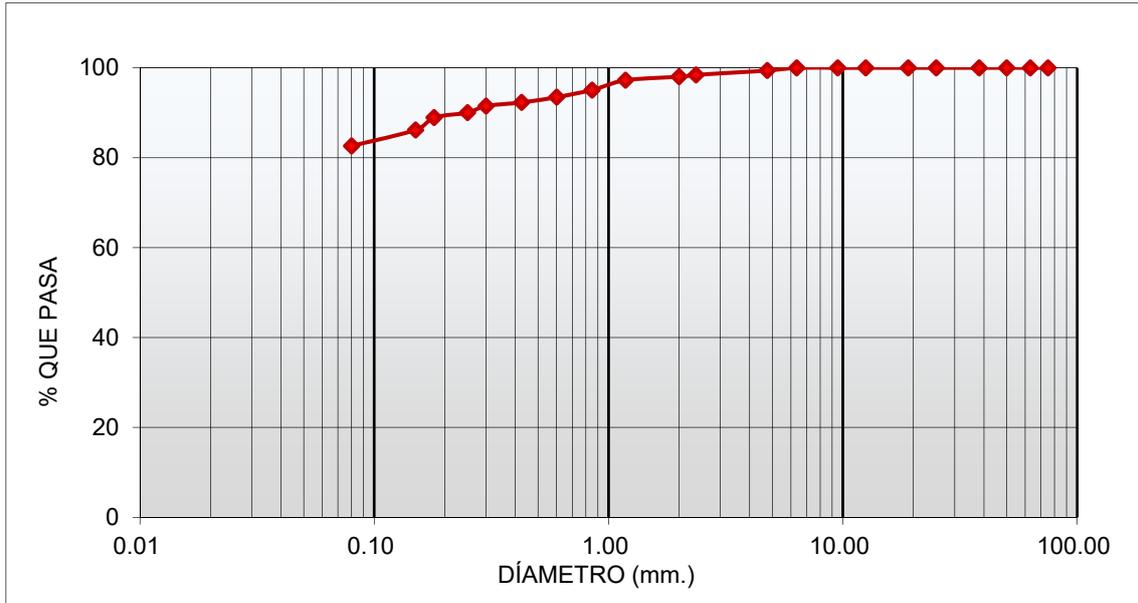
#### 2. Análisis Granulométrico. (Norma ASTM D 422/C136 / AASHTO T 88-70)

**Tabla N° 46**

TAMIZ		PRP (gr)	% Parcial	% Reten. Acumulado	% QUE PASA
N°	ABER (mm.)				
Peso Seco Inicial :		1014.00 gr.			
3"	75.00	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00
2"	50.00	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.35	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	<b>6.00</b>	0.59	0.59	99.41
N°8	2.36	<b>10.00</b>	0.99	1.58	98.42
N°10	2.00	<b>4.00</b>	0.39	1.97	98.03
N°16	1.18	<b>8.00</b>	0.79	2.76	97.24
N°20	0.85	<b>22.00</b>	2.17	4.93	95.07
N°30	0.60	<b>16.00</b>	1.58	6.51	93.49
N°40	0.43	<b>12.00</b>	1.18	7.69	92.31
N°50	0.30	<b>8.00</b>	0.79	8.48	91.52
N°60	0.25	<b>15.00</b>	1.48	9.96	90.04
N°80	0.18	<b>11.00</b>	1.08	11.05	88.95
N°100	0.15	<b>28.00</b>	2.76	13.81	86.19
N°200	0.08	<b>36.00</b>	3.55	17.36	82.64
CAZOLETA	-	<b>838.00</b>	82.64	100.00	0.00
TOTAL		<b>1014.00</b>			

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 116: Curva de Distribución Granulométrica**



Fuente: Elaboración Propia.

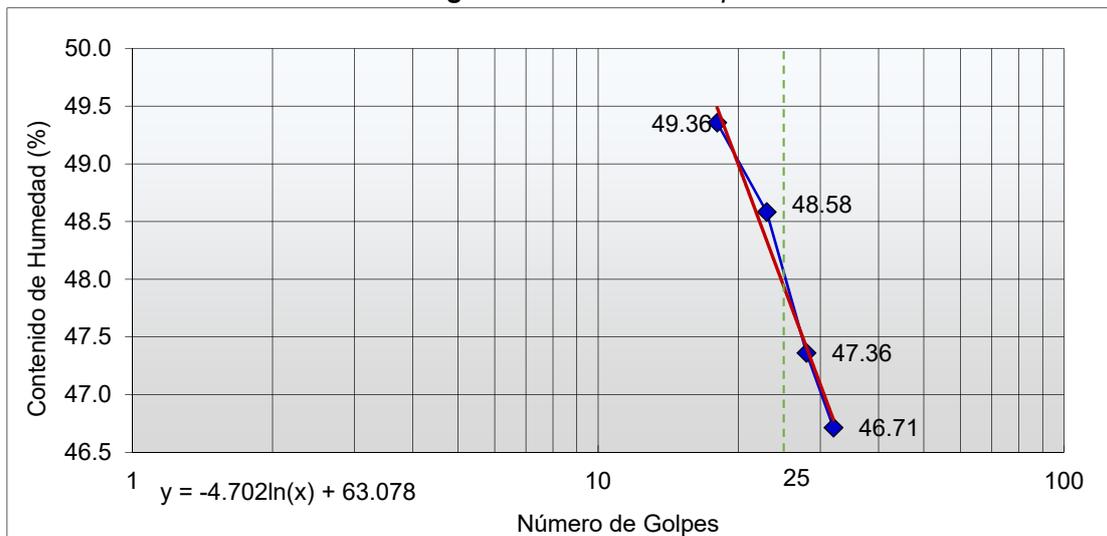
**3. Límites de Consistencia (Norma ASTM D 4318-93/AASHTO T 89-68/T 90-70)**

**Tabla N° 47**

ENSAYO N°	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	4	1	2
Peso suelo hum. + tara (gr)	42.70	46.50	44.84	43.93	23.36	23.07
Peso suelo seco + tara (gr)	34.88	37.43	36.10	35.48	22.47	22.24
Peso del Agua (gr)	7.82	9.07	8.74	8.45	0.89	0.83
Peso Tara (gr)	18.14	18.28	18.11	18.36	18.15	18.16
Peso del suelo (gr)	16.74	19.15	17.99	17.12	4.32	4.08
Cont. humedad (%)	46.71	47.36	48.58	49.36	20.60	20.34
Número de golpes	32.00	28.00	23.00	18.00	-	
<b>Límite Líquido</b>	<b>47.94</b>				<b>20.47</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 117: Límite Líquido**



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4. Peso Específico de Suelo (NORMA ASTM D854)

Tabla N° 48

Peso material seco (gr)	P(fr+ag) (gr.)	P(fr+ag+su) (gr.)	P (frasco) (gr.)	Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )
300.00	672.91	846.00	174.87	2.36

Fuente: Elaboración Propia.

#### 5. Peso Unitario de Suelo (Norma BS 1377)

Tabla N° 49

MUESTRA	Cantera 1			
	1	2	3	4
TARA N°				
Peso mat. + molde (gr)	8932	8898	8924	8928
Peso molde (gr)	6374	6374	6374	6374
Peso material (gr)	2558	2524	2550	2554
Volumen molde (cm <sup>3</sup> )	2105	2105	2105	2105
Peso Unit. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.22	1.20	1.21	1.21
P. Unit. Prom (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.21</b>			

Fuente: Elaboración Propia.

#### 6. Contenido de Humedad (Norma ASTM D 2216/D 4643)

Tabla N° 50

MUESTRA	CALICATA 01		
	ÚNICO		
TARA N°	1	2	3
Peso Humedo + tara(gr)	145.23	155.58	142.45
Peso Seco + tara (gr)	122.47	130.76	120.53
Peso del Agua	22.76	24.82	21.92
Peso Tara	40.92	40.91	39.87
Peso del Suelo	81.55	89.85	80.66
Contenido Humedad	27.91%	27.62%	27.18%
W % Promedio	27.57%		

Fuente: Elaboración Propia.

#### 7. Clasificación del suelo por el Sistema Unificado de Suelos (SUCS) Y AASHTO (Norma ASTM D2487-94 / AASHTO M 145-66)

Tabla N° 51

N°4	99.41	% GRAVA	0.00	L.L.=	47.94%	W (%)	27.57%
N°10	98.03	% ARENA	17.36	L.P.=	20.47%	<b>AASHTO</b>	<b>A-7-6</b>
N°40	92.31	% FINOS	82.64	I.P.=	27.47%	<b>S.U.C.S</b>	<b>CL</b>
N°200	82.64	ÍNDICE DE LIQUIDEZ			0.26		

Fuente: Elaboración Propia.

## Apéndice N° 03

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.

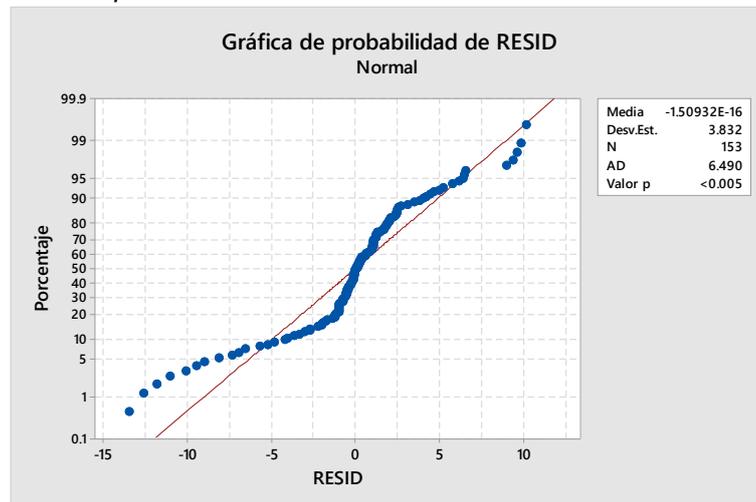
#### 1. Resistencia a la inundación - Capilaridad y sistemas de protección de los muros de adobe – PCI: A un nivel de significancia del 0.05

##### A. Verifique los supuestos del modelo

##### a. Normalidad de los errores:

Al ver la gráfica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente no yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

**Figura N° 118:** Gráfica de Probabilidad Normal, de Capilaridad en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Hipótesis:**

$H_0$ : Los errores se distribuyen normalmente

$H_1$ : Los errores no se distribuyen normalmente

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba (Anderson Darling):** AD = 6.490

- **p-valor:** Valor p < 0.005

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

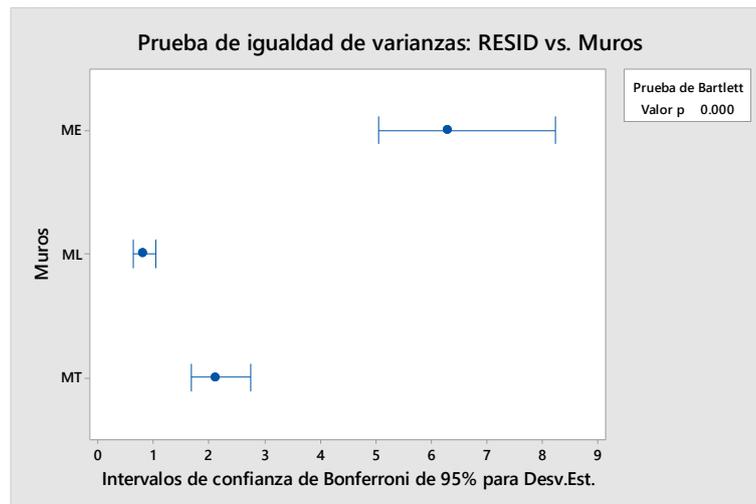
- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, no se cumple el supuesto de normalidad.

Como el valor del estadístico de AD de 6.490 tiene una probabilidad asociada Valor p < 0.005 al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: “Que la distribución normal de los residuos brinda un buen ajuste para la distribución de la resistencia a la inundación (Capilaridad) en relación a los sistemas de protección de muros de adobe sometidos a cargas de gravedad”.

**b. Homogeneidad de varianzas:**

**Figura N° 119:** Prueba de igualdad de Varianzas de Capilaridad en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección.



Fuente: Elaboración Propia.

Al ver la gráfica de homocedasticidad es evidente que las posiciones traslapadas de los intervalos de confianza indican la presencia de variabilidad constante en los datos por cada grupo.

- **Pruebas**

**Tabla N° 52**

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	167.54	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

- **Hipótesis:**

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$$

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba:** Bartlett = 167.54

- **p - valor:**  $p = 0.000$

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

- **Conclusión:** Con una significancia del 5%, no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas. Al ser el Estadístico Bartlett de 167.54, con un p-valor menor a 5%, se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: Que las varianzas no son homogéneas para la resistencia a la inundación (Capilaridad) en relación a los sistemas de protección de muros de adobe.

**B. ¿Al menos un Sistema de protección es diferente al evaluar la resistencia a la inundación (Capilaridad) de los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?**

**a. Análisis de Varianza**

**Tabla N° 53**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muros	2	6436	3218.09	216.23	0.000
Error	150	2232	14.88		
Total	152	8669			

*Fuente:* Elaboración Propia.

- **Hipótesis:**

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (El sistema de protección que se use en los muros de adobe no afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas)

$H_1$ : Al menos un  $\mu_i$  es diferente (Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de éstas).

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$
- **Estadístico de prueba:**  $F = 216.23$
- **p-valor:**  $p = 0.000$
- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$
- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, al menos un promedio es diferente, por lo tanto, el Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas.

Al comparar el valor p de los Sistemas de protección con el nivel de significancia de 0.05 podemos decir que se rechaza la hipótesis nula para los tratamientos (Sistemas de protección) y se concluye que existe una diferencia significativa en cuanto a sistemas de protección, es decir los Sistemas de protección si influyen en la resistencia a la inundación con muros de adobe.

#### b. Resumen del modelo

**Tabla N° 54**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3.85780	74.25%	73.90%	73.21%

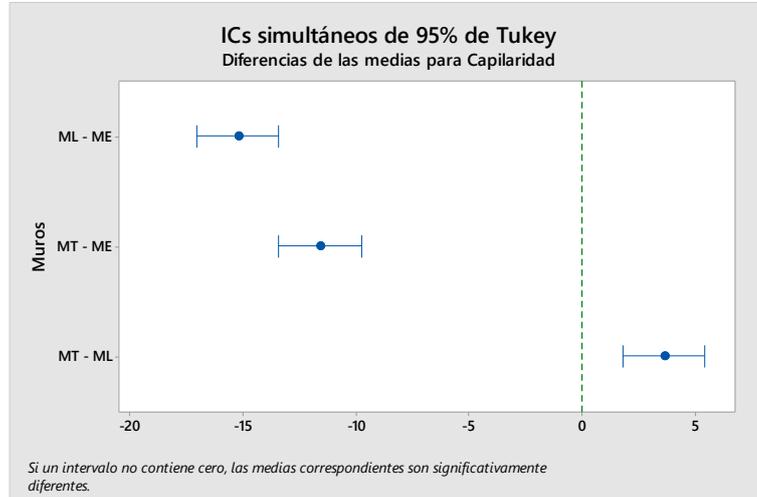
*Fuente:* Elaboración Propia.

#### c. Conclusión:

Para determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos, se examinó los estadísticos de bondad de ajuste en el Resumen del modelo (Tabla N° 35), se observa que la variable resistencia a la inundación (Capilaridad) de los muros de adobe se explica en un 74.25% por el sistema de protección ( $R^2=74.25$ ).

C. ¿Cuál(es) de los sistemas de protección produce una mayor resistencia a la inundación (Capilaridad) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?

Figura N° 120: Diferencias de las medias para capilaridad.



Fuente: Elaboración Propia.

a. Prueba de Tukey:

- **Hipótesis:**

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad i \neq j, \text{ para todo } i=1,2,3,4 / j=1,2,3,4$$

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla N° 55

Muros	N	Media	Agrupación
ME	51	19.2324	A
MT	51	7.6461	B
ML	51	4.0255	C

Fuente: Elaboración propia

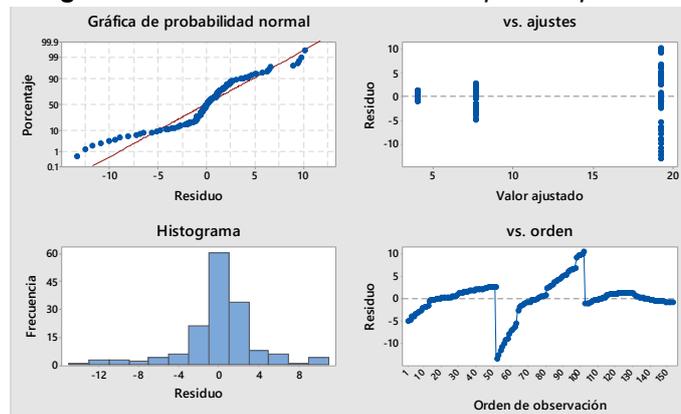
- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, se concluye que el sistema de protección ML es que produce la mayor resistencia a la inundación con un promedio de 4.0255 (Capilaridad) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad.

## D. Transformación de BOX - COX para identificación de distribución individual

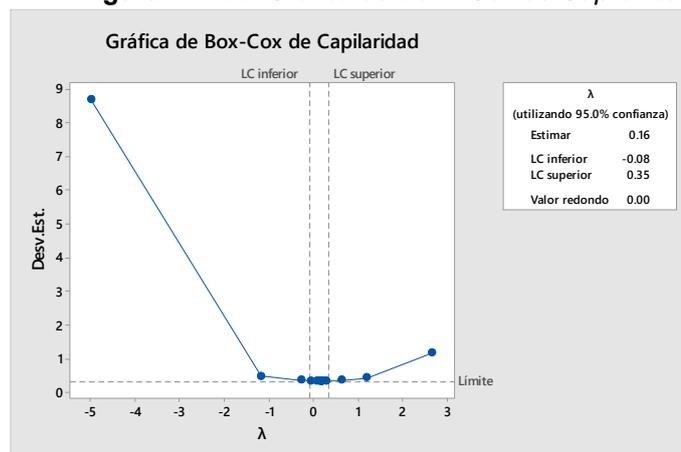
Al no cumplirse los supuestos de normalidad y homocedasticidad se procede a determinar la estimación puntual e intervalo de confianza para  $\lambda$  de la transformación de Box-Cox para identificación de distribución individual ( $\lambda=0.16$ )

**Figura N° 121: Gráficas de Residuos para Capilaridad.**



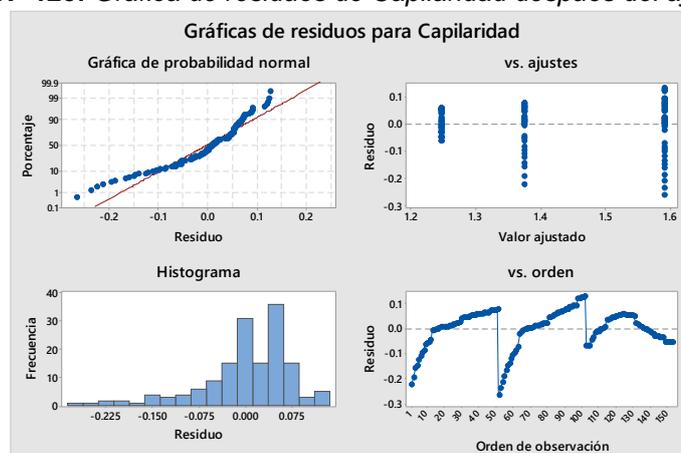
Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 122: Gráfica de Box - Cox de Capilaridad.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 123: Gráfica de residuos de Capilaridad después del ajuste Box - Cox.**



Fuente: Elaboración propia

E. ¿Al menos un Sistema de protección es diferente al evaluar la resistencia a la inundación (Capilaridad) de los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?

a. Análisis de varianza para respuesta transformada

Tabla N° 56

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muros	2	3.0854	1.54269	274.95	0.000
Error	150	0.8416	0.00561		
Total	152	3.9270			

Fuente: Elaboración propia.

• **Hipótesis:**

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (El sistema de protección que se use en los muros de adobe no afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas)

$H_1$ : Al menos un  $\mu_i$  es diferente (Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas).

• **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

• **Estadístico de prueba:**  $F = 274.95$

• **p-valor:**  $p = 0.000$

• **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

• **Conclusión:** Con una significancia del 5%, al menos un promedio es diferente, por lo tanto, el Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas.

b. Resumen del modelo para respuesta transformada

Tabla N° 57

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0749059	78.57%	78.28%	77.70%

Fuente: Elaboración propia.

La varianza explicada de la capilaridad es del 78.57% por el Sistema de protección que se use en los muros de adobe.

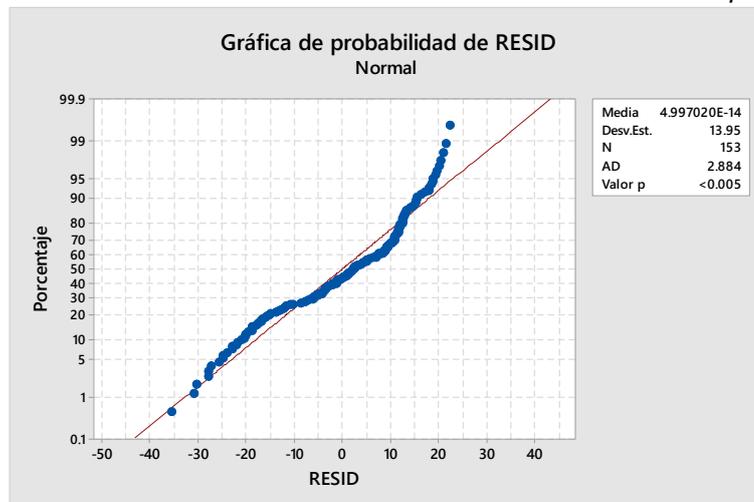
## 2. Resistencia a la Inundación - Absorción y Sistemas de protección de los muros de adobe PCI: A un nivel de significancia del 0.05

### A. Verifique los supuestos del modelo

#### a. Normalidad de los errores:

Al ver la gráfica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente no yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

**Figura N° 124:** Gráfica de Probabilidad Normal, de absorción en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Hipótesis:**

$H_0$ : Los errores se distribuyen normalmente

$H_1$ : Los errores no se distribuyen normalmente

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba (Anderson Darling):** AD = 2.884

- **p-valor:** Valor p < 0.005

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

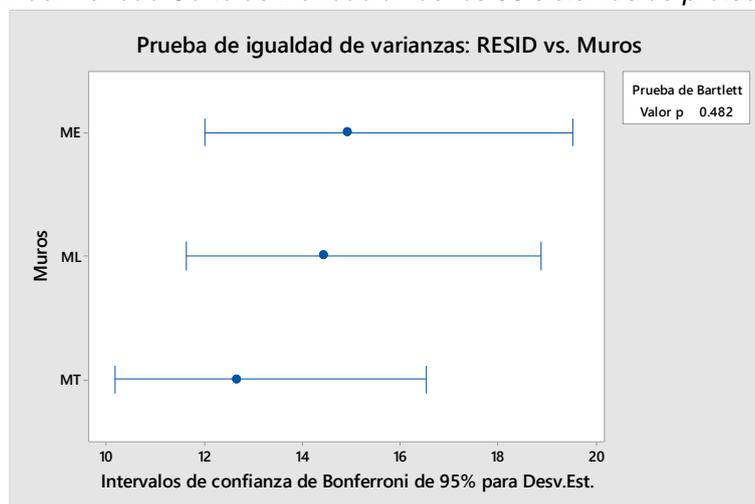
- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, no se cumple el supuesto de normalidad. Como el valor del estadístico de AD de 2.884 tiene una probabilidad asociada Valor p < 0.005 al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: Que la distribución normal de los residuos brinda un buen ajuste para la distribución de la resistencia a la

inundación (Absorción) en relación a los sistemas de protección de muros de adobe sometidos a cargas de gravedad.

**b. Homogeneidad de varianzas:**

**Figura N° 125:** Prueba de igualdad de Varianzas de absorción en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección.



Fuente: Elaboración Propia.

Al ver la gráfica de homocedasticidad es evidente que las posiciones traslapadas de los intervalos de confianza indican la presencia de variabilidad constante en los datos por cada grupo.

• **Pruebas**

**Tabla N° 58**

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	1.46	0.482

Fuente: Elaboración Propia.

• **Hipótesis:**

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$$

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente

• **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

• **Estadístico de prueba:** Bartlett = 1.46

• **p-valor:**  $p = 0.482$

• **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

• **Conclusión:** Con una significancia del 5%, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas. Al ser el Estadístico Bartlett de 1.46, con un

p-valor mayor a 5%, se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: Que las varianzas son homogéneas para la resistencia a la inundación (Absorción) en relación a los sistemas de protección de muros de adobe.

**B. ¿Al menos un Sistema de protección es diferente al evaluar la resistencia a la inundación (Absorción) de los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?**

**a. Análisis de Varianza**

**Tabla N° 59**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muros	2	21955	10977.7	55.69	0.000
Error	150	29568	197.1		
Total	152	51523			

*Fuente:* Elaboración propia.

- **Hipótesis:**

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (El sistema de protección que se use en los muros de adobe no afectan la resistencia a la inundación - Absorción - de estas)

- $H_1$ : Al menos un  $\mu_i$  es diferente (Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - Absorción - de estas).

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba:**  $F = 55.69$

- **p- valor:**  $p = 0.000$

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, al menos un promedio es diferente, por lo tanto, el Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - absorción - de éstas.

Al comparar el valor p de los Sistemas de protección con el nivel de significancia de 0.05 podemos decir que se rechaza la hipótesis nula para los tratamientos (Sistemas de protección) y se concluye que existe una diferencia significativa en cuanto a sistemas de protección, es decir los Sistemas de protección si influyen en la resistencia a la inundación de muros de adobe con cargas de gravedad.

**b. Resumen del modelo**

**Tabla N° 60**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
14.0399	42.61%	41.85%	40.29%

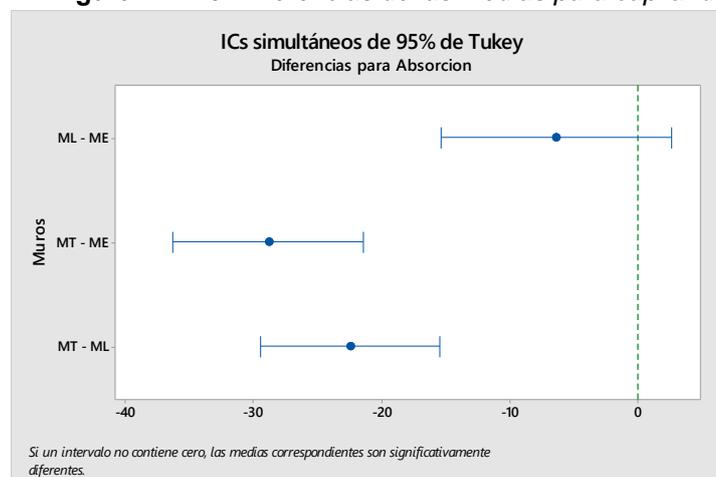
*Fuente:* Elaboración propia.

**c. Conclusión:**

Para determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos, se examinó los estadísticos de bondad de ajuste en el Resumen del modelo (Tabla N° 41), se observa que la variable resistencia a la inundación (Absorción) de los muros de adobe se explica en un 42.61% por el sistema de protección ( $R^2=42.61$ ).

**C. ¿Cuál(es) de los sistemas de protección produce una mayor resistencia a la inundación (Absorción) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?**

**Figura N° 126:** *Diferencias de las medias para capilaridad.*



*Fuente:* Elaboración propia.

a. **Prueba de Tukey:**

- **Hipótesis:**

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad i \neq j, \text{ para todo } i=1,2,3,4 / j=1,2,3,4$$

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Tabla N° 61**

Muros	N	Media	Agrupación
ME	51	61.2177	A
ML	51	54.9649	A
MT	51	33.2634	B

*Fuente:* Elaboración propia.

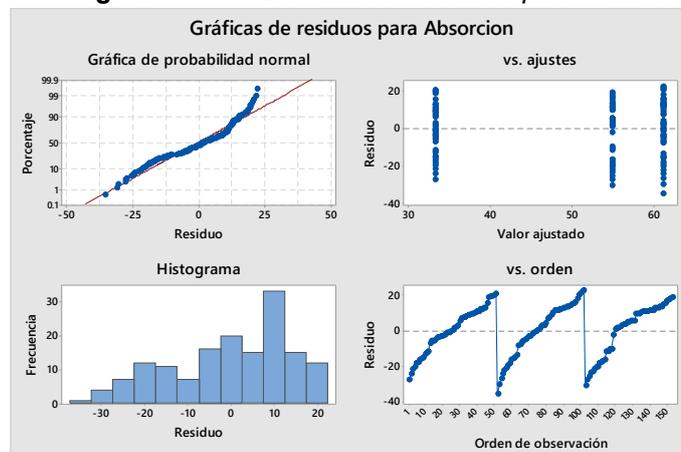
- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, se concluye que el sistema de protección MT es que produce la mayor resistencia a la inundación (Absorción) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad

**D. Transformación de BOX-COX Para Identificación de Distribución Individual**

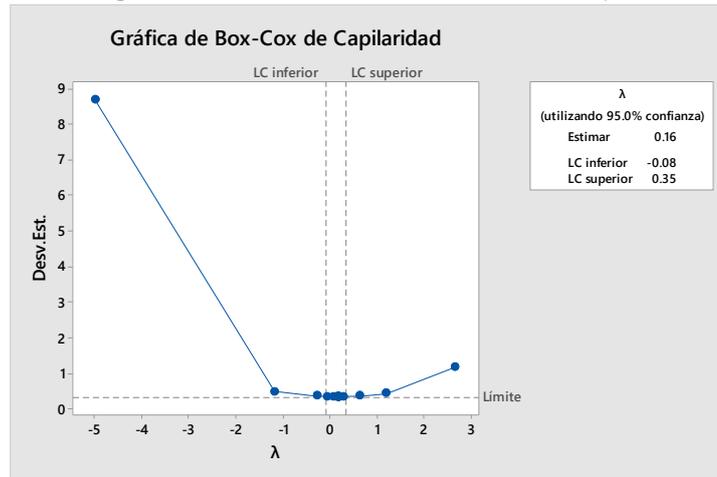
Al no cumplirse los supuestos de normalidad se procede a determinar la estimación puntual e intervalo de confianza para  $\lambda$  de la transformación de Box-Cox para identificación de distribución individual ( $\lambda=0.16$ )

**Figura N° 127: Gráficas de Residuos para Absorción.**



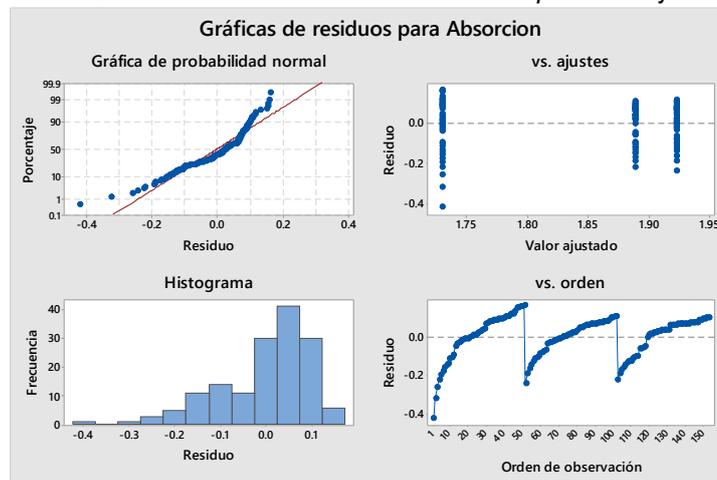
*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura N° 128: Gráfica de Box - Cox de Capilaridad.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 129: Gráfica de residuos de Absorción después del ajuste Box - Cox**



Fuente: Elaboración propia.

**E. ¿Al menos un Sistema de protección es diferente al evaluar la resistencia a la inundación (Absorción) de los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?**

**a. Análisis de varianza para respuesta transformada**

**Tabla N° 62**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muros	2	1.083	0.54135	50.09	0.000
Error	150	1.621	0.01081		
Total	152	2.704			

Fuente: Elaboración propia.

- **Hipótesis:**

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (El sistema de protección que se use en los muros de adobe no afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas)

$H_1$ : Al menos un  $\mu_i$  es diferente (Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas).

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba:**  $F = 50.09$

- **p-valor:**  $p = 0.000$

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

- **Conclusión:** Con una significancia del 5%, al menos un promedio es diferente, por lo tanto, el Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - Absorción - de muros de adobe con cargas de gravedad.

**b. Resumen del modelo para respuesta transformada.**

**Tabla N° 63**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.103956	40.04%	39.25%	37.62%

*Fuente:* Elaboración propia.

La varianza explicada de la absorción es del 40.04% por el Sistema de protección que se use en los muros de adobe.

**3. Resistencia a la Inundación - Capilaridad y Sistemas de Protección de los Muros de**

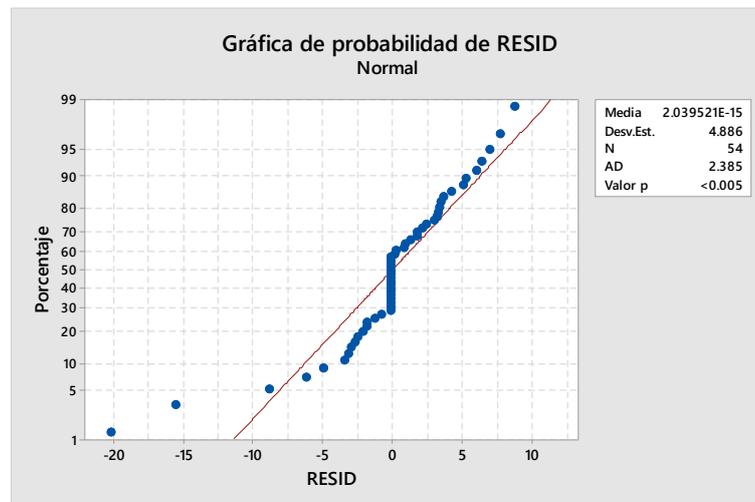
**Adobe – PPI:** A un nivel de significancia del 0.05

**A. Verifique los supuestos del modelo**

**a. Normalidad de los errores:**

Al ver la gráfica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente no yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

**Figura N° 130:** Gráfica de Probabilidad Normal, de succión en la Resistencia a la Inundación del Periodo Prolongado de inundación de los 03 sistemas de protección.



Fuente: Elaboración propia.

- **Hipótesis:**

$H_0$ : Los errores se distribuyen normalmente.

$H_1$ : Los errores no se distribuyen normalmente

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba (Anderson Darling):** AD = 2.385

- **p- valor:** Valor p < 0.005

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

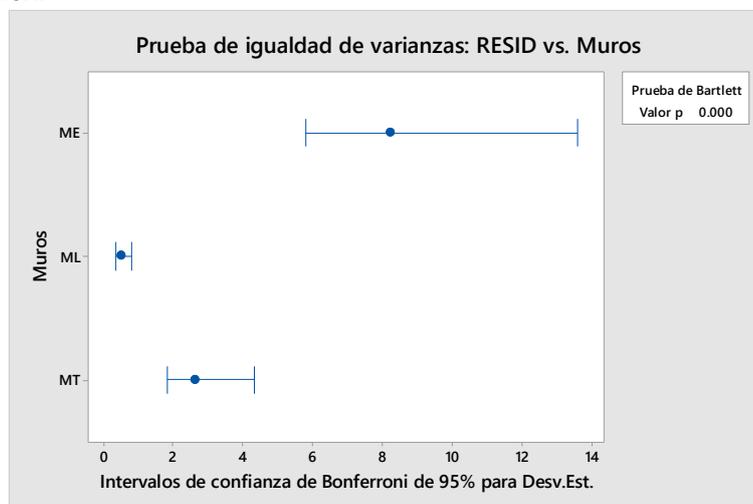
- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, no se cumple el supuesto de normalidad.

Como el valor del estadístico de AD de 2.884 tiene una probabilidad asociada Valor p < 0.005 al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: Que la distribución normal de los residuos brinda un buen ajuste para la distribución de la resistencia a la inundación (Capilaridad) en relación a los sistemas de protección de muros de adobe sometidos a cargas de gravedad.

## b. Homogeneidad de varianzas:

**Figura N° 131:** Prueba de igualdad de Varianzas de capilaridad en la Resistencia a la Inundación del Periodo Prolongado de inundación de los 03 sistemas de protección.



Fuente: Elaboración propia.

- **Hipótesis:**

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$$

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba:** Bartlett = 81.38

- **p- valor:**  $p = 0.000$

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

- **Conclusión:** Con una significancia del 5%, no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas. Al ser el Estadístico Bartlett de 167.54, con un p-valor menor a 5%, se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: Que las varianzas no son homogéneas para la resistencia a la inundación (capilaridad) en relación a los sistemas de protección de muros de adobe.

**B. ¿Al menos un Sistema de protección es diferente al evaluar la resistencia a la inundación (Capilaridad) de los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?**

**a. Análisis de Varianza**

**Tabla N° 64**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muros	2	13255	6627.58	267.09	0.000
Error	51	1266	24.81		
Total	53	14521			

*Fuente:* Elaboración propia.

- **Hipótesis:**

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (El sistema de protección que se use en los muros de adobe no afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas)

$H_1:$  Al menos un  $\mu_i$  es diferente (Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas).

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba:**  $F = 267.09$

- **p- valor:**  $p = 0.000$

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

- **Conclusión:** Con una significancia del 5%, al menos un promedio es diferente, por lo tanto, el Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas.

Al comparar el valor p de los Sistemas de protección con el nivel de significancia de 0.05 podemos decir que se rechaza la hipótesis nula para los tratamientos (Sistemas de protección) y se concluye que existe una diferencia significativa en cuanto a sistemas de protección, es decir los Sistemas de protección si influyen en la resistencia a la inundación con muros de adobe.

## b. Resumen del modelo

Tabla N° 65

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4.98139	91.28%	90.94%	90.23%

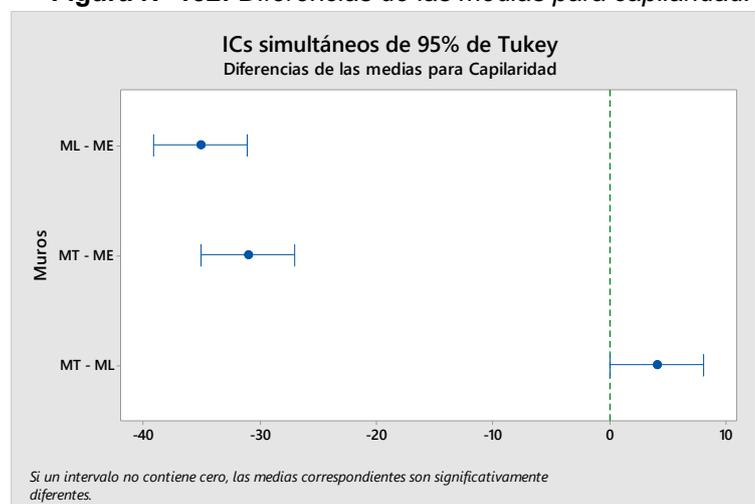
Fuente: Elaboración propia.

## c. Conclusión:

Para determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos, se examinó los estadísticos de bondad de ajuste en el Resumen del modelo (Tabla N° 46), se observa que la variable resistencia a la inundación (Capilaridad) de los muros de adobe se explica en un 91.28% por el sistema de protección ( $R^2=91.28$ ).

## C. ¿Cuál(es) de los sistemas de protección produce una mayor resistencia a la inundación (Capilaridad) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?

Figura N° 132: Diferencias de las medias para capilaridad.



Fuente: Elaboración propia.

## a. Prueba de Tukey:

- Hipótesis:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad i \neq j, \text{ para todo } i=1,2,3,4 / j=1,2,3,4$$

- **Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$**

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Tabla N° 66**

Muros	N	Media	Agrupación
ME	18	38.2417	A
MT	18	7.2250	B
ML	18	3.1611	C

*Fuente: Elaboración propia*

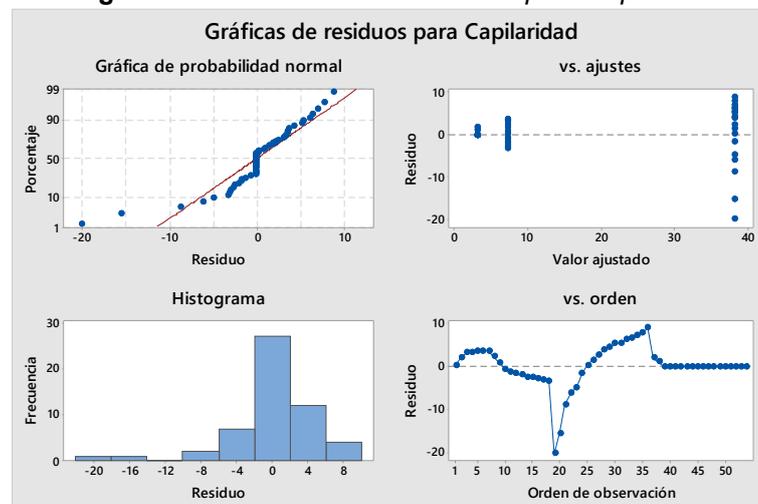
- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, se concluye que el sistema de protección ML es que produce la mayor resistencia a la inundación (Capilaridad) los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad.

#### D. Transformación de BOX-COX para identificación de distribución individual

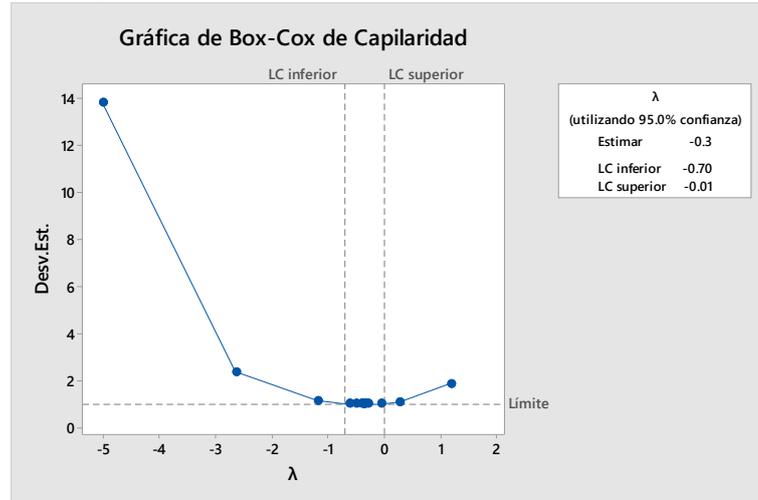
Al no cumplirse los supuestos de normalidad y homocedasticidad se procede a determinar la estimación puntual e intervalo de confianza para  $\lambda$  de la transformación de Box-Cox para identificación de distribución individual ( $\lambda=0.16$ )

**Figura N° 133: Gráficas de Residuos para Capilaridad.**



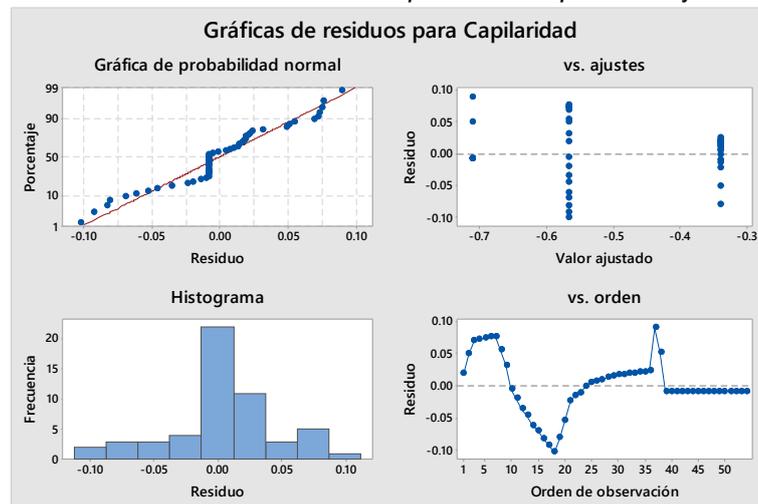
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N° 134:** Gráfica de Box - Cox de Capilaridad.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 135:** Gráfica de residuos de Capilaridad después del ajuste Box - Cox.



Fuente: Elaboración propia.

**E. ¿Al menos un Sistema de protección es diferente al evaluar la resistencia a la inundación (Capilaridad) de los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?**

**a. Análisis de varianza para respuesta transformada**

**Tabla N° 67**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muros	2	1.26346	0.631729	331.61	0.000
Error	51	0.09716	0.001905		
Total	53	1.36061			

Fuente: Elaboración propia.

- **Hipótesis:**

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (El sistema de protección que se use en los muros de adobe no afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas)

$H_1$ : Al menos un  $\mu_i$  es diferente (Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas).

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba:**  $F = 331.61$

- **p- valor:**  $p = 0.000$

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

- **Conclusión:** Con una significancia del 5%, al menos un promedio es diferente, por lo tanto, el Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas.

**b. Resumen del modelo para respuesta transformada**

**Tabla N° 68**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0436465	92.86%	92.58%	91.99%

*Fuente:* Elaboración propia.

La varianza explicada de la capilaridad es del 92.86% por el Sistema de protección que se use en los muros de adobe.

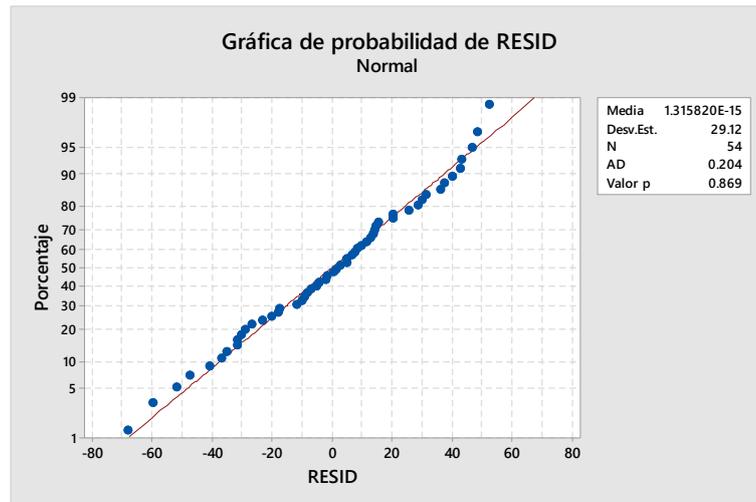
**4. Resistencia a la inundación - Absorción y sistemas de protección de los muros de adobe – PPI. A un nivel de significancia del 0.05**

**A. Verifique los supuestos del modelo**

**a. Normalidad de los errores:**

Al ver la gráfica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente no yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

**Figura N° 136:** Gráfica de Probabilidad Normal, de absorción en la Resistencia a la Inundación del Periodo Corto de inundación de los 03 sistemas de protección.



Fuente: Elaboración propia.

- **Hipótesis:**

$H_0$ : Los errores se distribuyen normalmente

$H_1$ : Los errores no se distribuyen normalmente

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba (Anderson Darling):** AD = 0.204

- **p-valor:** Valor p = 0.869

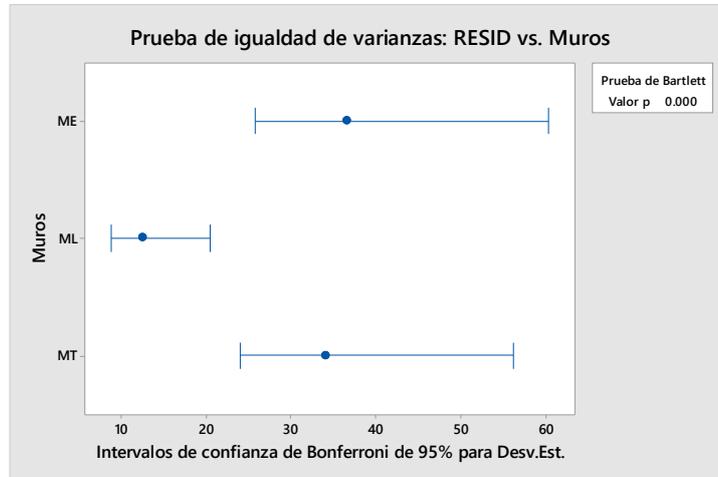
- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, se cumple el supuesto de normalidad. Como el valor del estadístico de AD de 0.204 tiene una probabilidad asociada Valor p < 0.005 al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: Que la distribución normal de los residuos brinda un buen ajuste para la distribución de la resistencia a la inundación (Absorción) en relación a los sistemas de protección de muros de adobe sometidos a cargas de gravedad.

**b. Homogeneidad de varianzas:**

**Figura N° 137:** Prueba de igualdad de Varianzas de Absorción en la Resistencia a la Inundación del Periodo Prolongado de inundación de los 03 sistemas de protección.



Fuente: Elaboración propia.

Al ver la gráfica de homocedasticidad es evidente que las posiciones traslapadas de los intervalos de confianza indican la presencia de variabilidad constante en los datos por cada grupo.

• **Pruebas**

**Tabla N° 69**

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	17.45	0.000

Fuente: Elaboración propia.

• **Hipótesis:**

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$$

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente

• **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

• **Estadístico de prueba:** Bartlett = 17.45

• **p-valor:**  $p = 0.000$

• **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

• **Conclusión:** Con una significancia del 5%, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas Al ser el Estadístico Bartlett de 17.45, con un p-valor menor a 5%, se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: Que las varianzas no son homogéneas para la resistencia a

la inundación (Absorción) en relación a los sistemas de protección de muros de adobe.

**B. ¿Al menos un Sistema de protección es diferente al evaluar la resistencia a la inundación (Absorción) de los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?**

**a. Análisis de Varianza**

**Tabla N° 70**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muros	2	17508	8754.0	9.93	0.000
Error	51	44950	881.4		
Total	53	62458			

*Fuente:* Elaboración propia.

• **Hipótesis:**

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (El sistema de protección que se use en los muros de adobe no afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas)

$H_1:$  Al menos un  $\mu_i$  es diferente (Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas).

• **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

• **Estadístico de prueba:**  $F = 9.93$

• **p-valor:**  $p = 0.000$

• **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

• **Conclusión:** Con una significancia del 5%, al menos un promedio es diferente, por lo tanto, el Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas. Al comparar el valor p de los Sistemas de protección con el nivel de significancia de 0.05 podemos decir que se rechaza la hipótesis nula para los tratamientos (Sistemas de protección) y se concluye que existe una diferencia significativa en cuanto a sistemas de protección, es decir los Sistemas de protección si influyen en la resistencia a la inundación de muros de adobe con cargas de gravedad.

## b. Resumen del modelo

Tabla N° 71

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
29.6880	28.03%	25.21%	19.32%

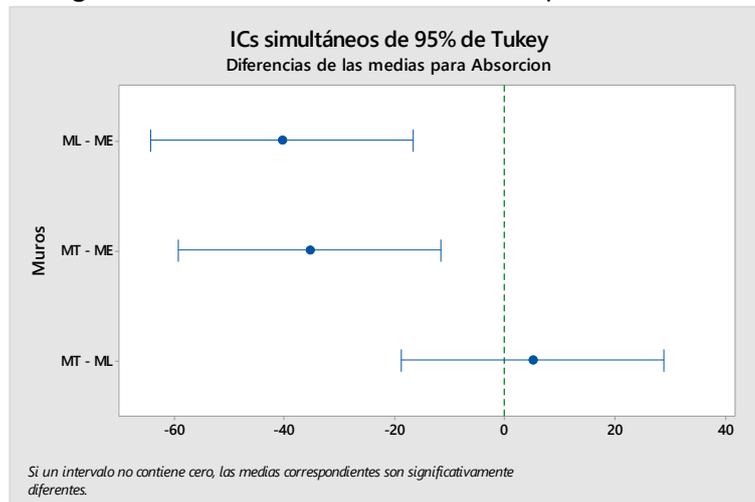
Fuente: Elaboración propia.

## c. Conclusión:

Para determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos, se examinó los estadísticos de bondad de ajuste en el Resumen del modelo (Tabla N° 52), se observa que la variable resistencia a la inundación (Absorción en mm) de los muros de adobe se explica en un 28.03% por el sistema de protección ( $R^2=28.03$ ).

## C. ¿Cuál(es) de los sistemas de protección produce una mayor resistencia a la inundación (Absorción) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?

Figura N° 138: Diferencias de las medias para absorción.



Fuente: Elaboración propia.

## a. Prueba de Tukey:

- Hipótesis:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad i \neq j, \text{ para todo } i=1,2,3,4 / j=1,2,3,4$$

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Tabla N° 72**

Muros	N	Media	Agrupación
ME	18	124.264	A
MT	18	88.849	B
ML	18	83.790	B

*Fuente:* Elaboración propia.

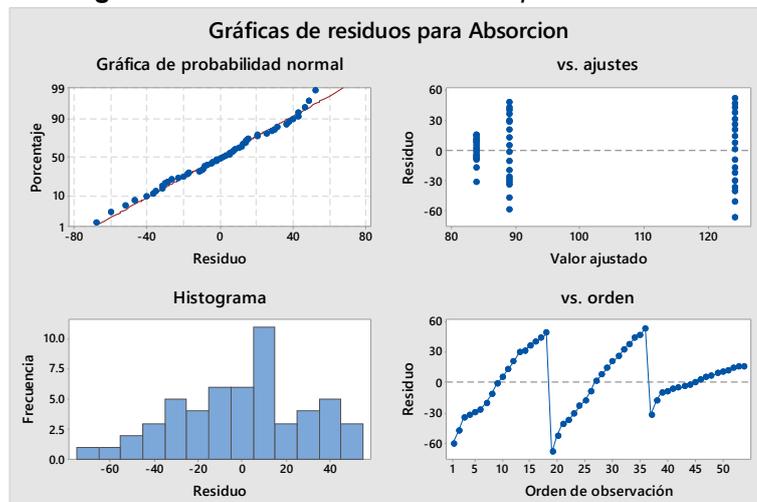
- **Conclusión:**

Con una significancia del 5%, se concluye que el sistema de protección MT y ML, son los que producen la mayor resistencia a la inundación (Absorción) en los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad

#### D. Transformación de BOX-COX para identificación de distribución individual

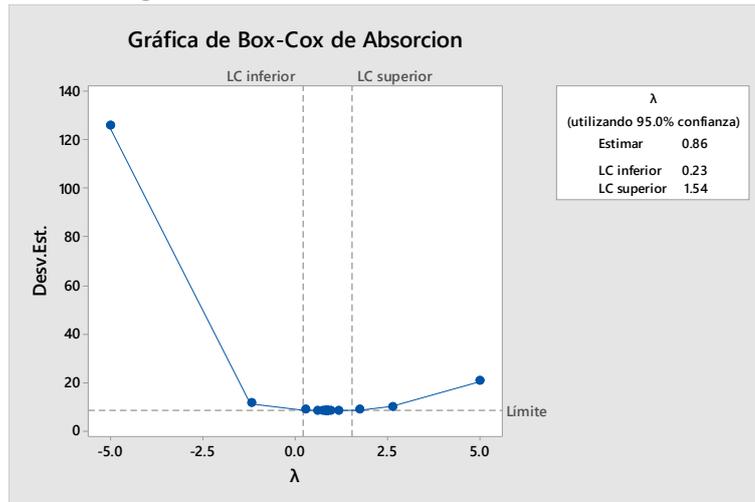
Al no cumplirse los supuestos de normalidad se procede a determinar la estimación puntual e intervalo de confianza para  $\lambda$  de la transformación de Box-Cox para identificación de distribución individual ( $\lambda=0.16$ )

**Figura N° 139: Gráficas de Residuos para Absorción.**



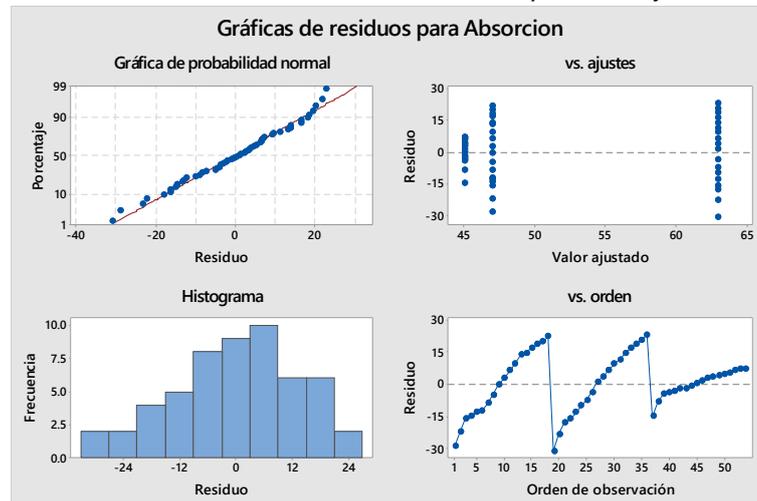
*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura N° 140: Gráfica de Box - Cox de Absorción.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 141: Gráfica de residuos de Absorción después del ajuste Box - Cox.**



Fuente: Elaboración propia.

**E. ¿Al menos un Sistema de protección es diferente al evaluar la resistencia a la inundación (Absorción) de los muros de adobe sometidos a cargas de gravedad?**

**a. Análisis de varianza para respuesta transformada**

**Tabla N° 73**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muros	2	3475	1737.6	9.59	0.000
Error	51	9242	181.2		
Total	53	12717			

Fuente: Elaboración propia.

- **Hipótesis:**

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (El sistema de protección que se use en los muros de adobe no afectan la resistencia a la inundación - capilaridad - de estas)

$H_1$ : Al menos un  $\mu_i$  es diferente (Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - Absorción - de estas).

- **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de prueba:**  $F = 9.59$

- **p-valor:**  $p = 0.000$

- **Decisión estadística:** Se rechaza  $H_0$

- **Conclusión:** Con una significancia del 5%, al menos un promedio es diferente, por lo tanto, el Sistema de protección que se use en los muros de adobe afectan la resistencia a la inundación - Absorción - de muros de adobe con cargas de gravedad.

**b. Resumen del modelo para respuesta transformada**

**Tabla N° 74**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
13.4615	27.33%	24.48%	18.53%

*Fuente:* Elaboración propia.

La varianza explicada de la capilaridad es del 27.33% por el Sistema de protección que se use en los muros de adobe

