

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**MEJORAMIENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE  
ADOBE ANTE UNA EXPOSICIÓN PROLONGADA DE  
AGUA POR EFECTO DE INUNDACIONES**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los  
bachilleres:

**Daniel Cabrera Arias**

**Walter Huaynate Granados**

**Asesor:** Ing. Ángel San Bartolomé

Lima, Diciembre del 2010

## Resumen

La presente tesis de investigación tiene como objetivo principal contribuir al diseño de viviendas de adobe con la capacidad de resistir el impacto erosivo de inundaciones que tienen una alta ocurrencia estacional en nuestro país. Con tal fin se elaboraron tres soluciones para mitigar la alta vulnerabilidad de los adobes convencionales ante la exposición al agua.

La primera solución (MC), se basó en el reemplazo del elemento vulnerable o adobe tradicional por un sobrecimiento de concreto simple, el cual es un material probadamente resistente al agua.

La segunda solución (ME), fue un mejoramiento de la estructura interna del material vulnerable utilizando adiciones de cemento para fabricar unidades de adobe estabilizado.

Por último, la tercera solución (MT), plantea una capa de tarrajeo en base a cemento Portland Tipo I como elemento protector, con la finalidad de aislar el contacto directo del agua sobre la estructura de adobe convencional.

Se elaboraron pruebas de laboratorio consistentes en ensayos de succión y absorción de especímenes individuales y una prueba de inmersión de muros con la finalidad de simular las condiciones de una inundación controlada y recopilar datos del desempeño de las diversas variables ante periodos tempranos y prolongados de exposición al agua.

La información obtenida fue usada para cuantificar el deterioro que sufren las estructuras de adobe ante la exposición del agua y, además, realizar un análisis de las soluciones planteadas en la presente tesis, comparando la efectividad y viabilidad de estos sistemas para que sean aplicados como soluciones prácticas al problema de la vulnerabilidad de las construcciones de adobe ante inundaciones en el Perú.

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

- Área de Estructuras-  
Investigación

ALUMNOS: Daniel Segundo Cabrera Arias y Walter Huaynate Granados  
CÓDIGOS: 2003.4117.2.412 y 2003.0225.9.412  
ASESOR: Ángel San Bartolomé  
TEMA N°:

TÍTULO: Mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones

**DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:**

Al igual que las acciones sísmicas, el enemigo de las edificaciones de adobe es la humedad, principalmente cuando quedan expuestas prolongadamente a inundaciones. El agua desintegra la unión que existe entre las partículas que conforman al adobe, convirtiéndolo en barro, lo que produce el colapso de estas edificaciones. 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.

**OBJETIVO:**

El proyecto tiene dos objetivos: 1) cuantificar el deterioro que sufren las construcciones de adobe ante la exposición prolongada de agua producto de inundaciones; y, 2) analizar tres sistemas prácticos que permitan mitigar el deterioro del adobe, comparando su efectividad y la factibilidad de aplicar estas soluciones en el Perú.

**PLAN DE TRABAJO:**

Se construirán cuatro muros de adobe de 1.50 x 1.50 m ubicados en cada uno de los lados de un anillo de cimentación, proporcionado por el LEDI, cuya sección transversal tiene una forma de “U”, que permite someter a los muros a los efectos de una inundación simulada afectando sus bases. Cada uno de los especímenes tendrá características diferentes en sus bases, como se indica a continuación.

1. Muro 1 Patrón (Tradicional). Este espécimen servirá como elemento comparativo entre las 3 soluciones planteadas y será construido sin ninguna protección contra inundaciones.
2. Muro 2, con zócalo de cemento pulido. En este muro se construirá un zócalo de cemento pulido de altura 30cm, aplicado sobre una malla anclada al muro. Este zócalo proporcionará una barrera hidráulica con lo cual se espera aminorar el porcentaje de absorción de agua del adobe.
3. Muro 3, con sobrecimiento de concreto ciclópeo. Este sobrecimiento, que abarcará una altura de 30cm por encima del nivel de agua, aminorará el agua que suba por capilaridad hacia el adobe.

4. Muro 4, con adobes estabilizados con cemento. Estos adobes serán utilizados en la base del muro 4 hasta alcanzar una altura de 30cm por encima del nivel del agua.

Una vez culminada la construcción de los cuatro especímenes, se procederá a inundar con agua los espacios vacíos de la cimentación, reponiéndose el agua que haya sido succionada por los muros, lo cual simulará la exposición prolongada de agua en una inundación. Una vez iniciado el proceso de inundación, se dejará reposar los muros, realizando observaciones periódicas para documentar la evolución del deterioro de los especímenes en el tiempo.

En paralelo se efectuarán pruebas de absorción en 24 horas en 3 unidades de adobe tradicional, estabilizado y tarrajado con cemento pulido.

Se procesará la información y, finalmente, se elaborará la memoria descriptiva y un artículo con fines de difusión.

Tanto la construcción como el procesamiento de resultados serán conducidos por los tesisistas, bajo la responsabilidad del asesor. Los materiales de construcción y la mano de obra serán proporcionados por los tesisistas. Los ensayos respectivos, serán efectuados con los equipos y el personal del Laboratorio de Estructuras.

Lima, 18 de marzo del 2010

V°B° .....  
Ing. Ángel San Bartolomé  
Coordinador de Investigación

NOTA  
Extensión máxima: 100 páginas.



## Agradecimientos

Un especial agradecimiento a nuestro asesor, Ing. Ángel San Bartolomé, por el tiempo dedicado al desarrollo de esta tesis, ya que sin su invaluable aporte y experiencia esta investigación no hubiera sido posible.

Agradecemos a la Ing. Gladys Villa García por el apoyo y la confianza brindada en el desarrollo de esta investigación. Al personal del Laboratorio de Estructuras por su ayuda y cooperación durante el proceso de experimentación.

Finalmente, agradecemos a nuestros amigos y familiares por su apoyo incondicional.



## ÍNDICE

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>IV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Metodología aplicada	3
<b>2. Características de los Materiales</b>	<b>5</b>
2.1. Adobe	5
2.2. Adobe estabilizado	6
2.3. Mezcla para tarrajeo en muros	8
2.4. Concreto para sobrecimiento	9
2.5. Mezcla para reparación de fisuras y mantenimiento de la base de concreto	10
2.6. Impermeabilizante Plasticoat	11
<b>3. Diseño y Construcción de los Muros</b>	<b>13</b>
3.1. Características del canal U impermeabilizado	13
3.2. Características comunes de los 4 muros	17
3.3. Características del Muro Patrón (MP)	18
3.4. Características del Muro con Sobrecimiento (MC)	20
3.5. Características del Muro Estabilizado (ME)	21
3.6. Características del Muro Tarrajeado (MT)	24
<b>4. Técnicas de Ensayos</b>	<b>27</b>
4.1. Introducción	27
4.2. Pruebas en unidades de adobe	27
4.2.1. Prueba de succión en unidades	27
4.2.2. Prueba de absorción en unidades	30
4.3. Ensayo de inundación simulada en muros	33
<b>5. Ensayos de Unidades de Adobe y Resultados</b>	<b>36</b>
5.1. Prueba de Succión	36
5.1.1. Succión en muestras del Muro Patrón	36
5.1.2. Succión en muestras del Muro Estabilizado	38

5.1.3. Succión en muestras del Muro Tarrajado	39
5.2. Prueba de Absorción	42
5.2.1. Absorción en muestras del Muro Patrón	43
5.2.2. Absorción en muestras del Muro Estabilizado	45
5.2.3. Absorción en muestras del Muro Tarrajado	48
5.2.4. Absorción en unidades impermeabilizadas con Plasticoat	52
5.3. Comparación y discusión de resultados	54
<b>6. Ensayos de Inundación en Muros y Resultados</b>	<b>59</b>
6.1. Ensayo de Inundación	59
6.2. Inundación en muro Patrón (MP)	59
6.2.1. <i>Gráficas de Capilaridad</i>	61
6.2.2. <i>Gráficas de Absorción</i>	61
6.3. Inundación en muro Estabilizado (ME)	61
6.3.1. <i>Gráficas de Capilaridad</i>	68
6.3.2. <i>Gráficas de Absorción</i>	68
6.4. Inundación en muro Tarrajado (MT)	69
6.4.1. <i>Gráficas de Capilaridad</i>	75
6.4.2. <i>Gráficas de Absorción</i>	76
6.5. Inundación en muro con Sobrecimiento (MC)	77
6.5.1. <i>Gráficas de Capilaridad</i>	83
6.5.2. <i>Gráficas de Absorción</i>	83
<b>7. Interpretación de Resultados y Análisis de Costos</b>	<b>85</b>
7.1. Comparación de resultados del Ensayo de Inundación para los 4 muros	85
7.2. Comparación de Costo/Resultado entre los 4 métodos usados	89
<b>8. Conclusiones y Recomendaciones Constructivas</b>	<b>95</b>
8.1. Conclusiones	95
8.2. Recomendaciones constructivas	96
8.3. Propuestas de investigación a futuro	98
<b>Referencias y Bibliografía</b>	<b>101</b>
<b>Anexos</b>	
<b>Anexo A – Análisis de Precios Unitarios</b>	

# 1. Introducción

## 1.1. Descripción del problema

El Perú, como parte de una gran cadena de países subtropicales, posee un variado y complejo sistema climatológico el cual se encuentra influenciado principalmente por los siguientes fenómenos geológicos y climáticos:

- La Cordillera de los Andes
- La corriente Oceánica de Humbolt
- El Anticiclón del Pacífico Sur
- La Corriente del Niño u Oscilación del Sur El Niño (ENSO)

Como resultado de esta vasta diversidad climática, el Perú se ve afectado de manera periódica por un sistema de lluvias que de propiciarse de manera intensiva, generan las inundaciones del tipo fluvial, que es la principal causa de inundaciones en nuestro país.

FENOMENO	TOTAL	NUMERO DE EMERGENCIAS POR AÑO				
		2003	2004	2005	2006	2007
INUNDACIÓN	1,458	470	234	134	348	272
LLUVIA INTENSA	2,465	388	426	391	738	522

\*Fuente: Dirección Nacional de Operaciones del INDECI - SINPAD

**Tabla 1.1. Serie cronológica de ocurrencia de inundaciones y lluvias intensas a nivel nacional 2003 – 2007.**

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.

Según los registros de la Dirección Nacional de Operaciones del INDECI durante el año 2007 se presentaron 272 emergencias por inundación y 522 por lluvias intensas en nuestro territorio, lo cual tuvo un recuento de 7,836 y 645 viviendas de

adobe afectadas y destruidas respectivamente, además de un número cuantioso de daños humanos que ascendió a 241,112 afectados y 6,881 damnificados.

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).

De esta forma y respaldados por estas cifras, resaltamos la importancia e impacto que tendrían las soluciones que desarrollaremos en la presente investigación, debido a que su alcance abarcaría a 2/3 de la población rural de escasos recursos que posee viviendas hechas de adobes y que por su ubicación geográfica están principalmente afectadas por inundaciones del tipo fluvial en el Perú.

## 1.2. Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es contribuir al diseño de viviendas de adobe para que sean capaces de resistir el impacto de una inundación.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Cuantificar el deterioro que sufren las construcciones de adobe ante la exposición prolongada de agua producto de inundaciones; es decir, determinar el nivel de deterioro que sufrirán los especímenes en el tiempo.
- Analizar tres sistemas alternativos que permitan mitigar el deterioro del adobe, y de esta forma comparar la efectividad y viabilidad de estos sistemas para que sean aplicados como soluciones prácticas al problema de las inundaciones y las construcciones de adobe en el Perú.

### 1.3. Metodología aplicada

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<sup>1</sup> (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.

Teniendo en consideración el precedente del Programa COBE, la presente tesis prosigue esta línea de investigación en el área de mejoramiento de las características físicas y mecánicas del adobe para incrementar su resistencia al agua. En relación a la metodología aplicada, se encontró cierta similitud en las pruebas de inmersión llevadas a cabo en los especímenes estabilizados, siendo el tiempo de inmersión la variable en este caso. Por lo demás, la presente investigación propone metodologías encaminadas a la cuantificación de daños estructurales en viviendas de adobe y posteriormente el análisis del costo – beneficio de la aplicación de las tres soluciones propuestas.

Se recurrirá al método de ensayos comparativos, basado en comparaciones experimentales en las cuales se comprobará la eficiencia de los especímenes mejorados en relación a un espécimen representativo de los sistemas convencionales llamado espécimen patrón (MP).

Para ello se someterá a las mismas pruebas a cada uno de los 4 especímenes comparando entre si los resultados parciales y finales, para así cuantificar el grado de mejora de los 3 especímenes con características distintas a las comunes.

De acuerdo a lo expuesto, y siendo nuestro objetivo principal la mejora de la resistencia a una inundación prolongada en viviendas de adobe, se idearon 3 posibilidades de mejora para la construcción de dichas viviendas:

---

<sup>1</sup> Programa COBE – Adobe Estabilizado, por la Oficina de Investigación y Normalización con la participación de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, bajo el asesoramiento de la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID) – Lima 1977.



-La utilización de un sobrecimiento de concreto simple previa a la construcción de los muros (MC)

-La utilización de *adobes estabilizados con 5% de su peso en cemento*, en la base de los muros (ME).

-La protección de la base de los muros con un tarrajeo de mezcla cementicia (MT).

El espécimen patrón será llamado *adobe patrón* (cuando se trate de una unidad de adobe convencional) o *muro patrón* (cuando se trate de un conjunto de unidades asentadas), según sea el caso, y los que tengan características distintivas se les cambiará la nomenclatura de acuerdo al aspecto más relevante de dicha característica, de manera tal que:

-A los especímenes en los cuales se intente mejorarlos con adobes estabilizados se les llamará *adobe estabilizado* o *muro estabilizado* (ME).

-A los especímenes en los cuales se intente mejorarlos con un tarrajeo de mezcla cementicia, se les denominará *adobe tarrajado* o *muro tarrajado* (MT).

-A los muros en los cuales se trate de mejorarlos con un sobrecimiento de concreto simple en la base del muro de adobe se les llamará MC. En este caso no se utilizará la nomenclatura “*Adobe Sobrecimiento*” pues este espécimen fue construido con adobes convencionales.

Específicamente se harán los siguientes ensayos:

- Prueba de succión en unidades.
- Prueba de absorción en unidades.
- Ensayo de inundación en muros.

La descripción de dichos ensayos se detalla en el Capítulo 4 *Técnicas de Ensayo*.

## 2. Características de los Materiales

### 2.1. Adobe

La Norma Técnica E.080 define al 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. Junto a esta definición, la Norma presenta los requisitos generales para el tipo de tierra a usarse en la fabricación de adobes considerando que la gradación del suelo debe acercarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Seguir este lineamiento de gradación es importante, puesto que de incrementar el porcentaje de arcillas se generarían grietas internas por contracción de secado, de incrementar el porcentaje de arena se perdería cohesión y de utilizar suelos orgánicos se perdería resistencia a la compresión y a la humedad.

En nuestro caso particular, hemos tratado de ser fieles a la norma como a la realidad peruana, por lo que mandamos fabricar las unidades macizas materia de esta investigación a una adobera con más de 3 generaciones de experiencia en la fabricación de adobes, cuya cantera queda en Huachipa y tiene más de 36 hectáreas de extensión (*Fotos 2.1*).



Foto 2.1 Adobera escogida para la fabricación de las unidades.

Bajo la restricción de tener para la prueba de inundación un canal de concreto armado con sección “U” con un ancho interior de 29 cm (*Foto 3.1*), en cuyo interior serán construidos los muros a ensayar, y necesitando un mínimo de 8 cm a cada lado del muro por materia de visibilidad de la base y toma de medidas durante el ensayo, se tuvo que definir el ancho de las unidades en 13 cm.

Con este ancho de 13 cm se procedió a definir las otras 2 dimensiones de las unidades de adobe, de acuerdo al acápite 4.2 *Formas y Dimensiones*, de la Norma E.080:

-Para adobes rectangulares el largo será aproximadamente el doble del ancho, lo que definió un largo de 25.5 cm.

-La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1, y en lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm, se definió una altura de 7.5 cm.

Todas las unidades fueron rectangulares, con ángulos de 90° y para su elaboración se retiró de la tierra las partículas mayores a 5 mm. Se mantuvo el suelo húmedo en reposo 24 horas y se secaron los adobes bajo sombra siguiendo los lineamientos del acápite 4.3 de la Norma E 080 *Recomendaciones para su fabricación* (Foto 2.2).



Foto 2.2. Comparación entre las dimensiones de los adobes mandados a fabricar y los encontrados de otro lote regular marcados con las siglas LM.

Finalmente, todas las unidades pasaron por una inspección visual corroborando que el adobe esté libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

## 2.2. Adobe Estabilizado

La Norma Técnica E.080 define al Adobe Estabilizado como aquel 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.

La Norma especifica que para el caso de la fabricación de adobes estabilizados la gradación del suelo puede variar en relación a la especificada para la fabricación de adobes comunes; sin embargo, en esta investigación se mantuvieron los

porcentajes de arcilla (10-20%) limo (15-25%) y arena (55-70%) en la tierra a usarse.

Los adobes estabilizados de la presente investigación fueron hechos en la misma adobera especificada en el acápite 2.1, bajo la supervisión de los tesisistas.

Las medidas de los adobes estabilizados fueron las mismas que las especificadas en el acápite 2.1 para los adobes no estabilizados:

- Ancho de 13 cm.
- Largo de 25.5 cm.
- Altura de 7.5 cm.

Para esta investigación se determinó fabricar adobes estabilizados que tuvieran en peso un 5% de cemento. Para el cálculo de la cantidad de cemento a usarse, se solicitó una muestra de un adobe tradicional fabricado en la misma adobera, que tuviera las mismas medidas a utilizar (13 x 25.5 x 7.5 cm). Pesando esta unidad se obtiene una referencia de la densidad de los adobes y el peso porcentual de cemento que se debía incluir (*Foto 2.3*).



**Foto 2.3. Pesado del adobe de muestra.**

El adobe de muestra pesó 5 kg, con dicho valor, definimos que nuestros adobes estabilizados al 5% del peso debían tener 250 gr de cemento. En adelante siempre que nos refiramos a los adobes estabilizados estaremos hablando de adobes a los que durante su manufacturación se les agregó 250 gr de cemento Portland Tipo 1 marca Sol.

Debido al color gris del cemento, los adobes estabilizados fueron fácilmente reconocibles durante los ensayos y pruebas concernientes a la presente investigación.

De la misma manera que en el acápite 2.1, para la fabricación de las unidades de adobes estabilizados se siguieron los lineamientos del acápite 4.3 de la Norma E.080 *Recomendaciones para su fabricación* y se realizaron inspecciones visuales descartando aquellos con daños que puedan mermar su resistencia y durabilidad.

### 2.3. Mezcla para tarrajeos de muros

Para el tarrajeo de protección utilizado en el Muro MT, se utilizó el producto TARRAJEOLISTO de QUIKRETE® el cual es una combinación uniforme de arena fina y cemento Portland tipo I, requiriéndose la adición de agua para obtener la mezcla en cuestión. El cemento utilizado es el producto CEMENTO SOL de la fábrica Cementos Lima y la arena fina está tamizada y libre de impurezas teniendo una dosificación en volumen de 1:4. Cabe destacar que este producto basa su diseño para cumplir con las Normas Americanas ASTM C144 y ASTM C270.



Foto 2.4. Bolsa de 40 Kg de Tarrajeolisto de Quikrete® usado en el tarrajeo del Muro MT.

A continuación se presenta las características técnicas más relevantes del producto

Tarrajeolisto:

Presentación	= Bolsa 40 kg
Cemento	= Portland tipo I
Rendimiento	= 0.02 m <sup>3</sup> /bolsa
Dosificación en volumen	= 1:4 (cemento : arena fina)
Agua requerida	= 11.50 litros/bolsa



## 2.4. Concreto para sobrecimiento

Para el sobrecimiento del muro MC se planificó la utilización de concreto simple, es decir, carente de armadura de acero la cual era innecesaria para los fines de esta investigación, en la que se busca una estructura que soporte tanto la acción del agua como la acción de la carga de gravedad proveniente del muro.

El producto utilizado en el sobrecimiento del muro MC fue Concrelito - 210 kg/cm<sup>2</sup> de Quikrete®, el cual es la combinación uniforme de piedra ¼", arena gruesa y cemento SOL categoría Portland Tipo I. El diseño de este producto esta enfocado en cumplir la Norma Americana ASTM C387 y la Norma Técnica Peruana NTP 339.114, que establecen los principales criterios y ensayos para la aceptación del concreto.



Foto 2.5. Bolsa de 40 Kg de Concrelito de Quikrete® usado en el muro MC.

A continuación se presentan las principales características técnicas del producto:

Producto	:	CONCRELISTO – 210 kg/cm <sup>2</sup>
Fabricante	:	QUIKRETE®
f'c (28 días)	:	≥ 210 kg/cm <sup>2</sup>
Presentación	:	Bolsa 40 kg
Rendimiento	:	0.018 m <sup>3</sup> /bolsa
Dosificación	:	1:2:3 (cemento : arena : piedra)
Relación a/c	:	0.5
Agua requerida	:	4.50 litros/bolsa



## 2.5 Mezcla para reparación de fisuras y mantenimiento del anillo base de concreto con canal en “U”

En el proceso de adecuación y mantenimiento de la estructura de concreto armado que serviría como base para la construcción y posterior inundación de los muros de adobe, se observó la presencia de fisuras que comprometían la estanqueidad e impermeabilidad de la estructura. Tras identificar las zonas a reparar, se utilizó el producto Supermortero de Quikrete®, el cual es una combinación uniforme de arena gruesa y cemento SOL categoría Portland tipo I que requiere la adición de agua para obtener un mortero de fragua rápida, con la cual se procedió a reparar las imperfecciones que presentaba la estructura. Cabe destacar que este producto basa su diseño para cumplir con las Normas Americanas ASTM C144 y ASTM C270.



Foto 2.6. Bolsa de 40 Kg de Supermortero de Quikrete® usado en la reparación de fisuras del anillo base.

A continuación se presenta las características técnicas más relevantes del producto Supermortero:

Presentación	= Bolsa 40 kg
Cemento	= Portland tipo I
Rendimiento	= 0.025 m <sup>3</sup> /bolsa
Dosificación en volumen	= 1:5 (cemento - arena gruesa)
Agua requerida	= 6.5 litros/bolsa

## 2.6 Impermeabilizante Plasticoat

El producto llamado Plasticoat (*Foto 2.8*) es una dispersión acuosa de polímeros acrílicos, que al secar forma una membrana impermeable de gran elasticidad y gran adhesión a una variedad de superficies.



Foto 2.8. Presentación de Plasticoat en envases de 5 galones.

Su principal uso radica en impermeabilizar superficies de concreto como jardineras, techos, cimientos, etc.

Las ventajas de usar un impermeabilizante de este tipo son las siguientes:

- Aplicación en frío con brocha, rodillo o spray.
- Al secar la capa es impermeable al agua.
- Una vez seca la capa es flexible y elástica.
- Puede usarse un geotextil o filtro para aumentar su resistencia al hacer capas de mayor grosor a 2 mm.
- Sella rajaduras en el concreto hasta de 1.5 mm de espesor.
- En color blanco refleja los rayos U.V. reduciendo la absorción de calor.
- Resistente a inmersión en agua dulce, agua residual, salada, ácidas y alcalinas.
- Resistente al tráfico peatonal.
- Forma una barrera de vapor en las superficies de concreto y puede usarse como curador del concreto recién vaciado.
- Resistente a cambios de temperatura.
- Resistente a hongos e insectos.

Para poder trabajar con el producto primero se debe limpiar la superficie de polvo, grasa, materiales sueltos o pinturas; luego se aplica la primera capa utilizando como máximo una solución del material de 1:2 (Plasticoat : agua) para luego de 4 horas colocar la segunda mano utilizando como máximo una solución del material de 2:1 (Plasticoat : agua).

El material seca en 24 horas, pero los fabricantes recomiendan que si se va a usar para inmersión que se deje secar por el doble del tiempo, 48 horas.

Según la solución que se use, su rendimiento varía entre 4 a 8 m<sup>2</sup>/galón.



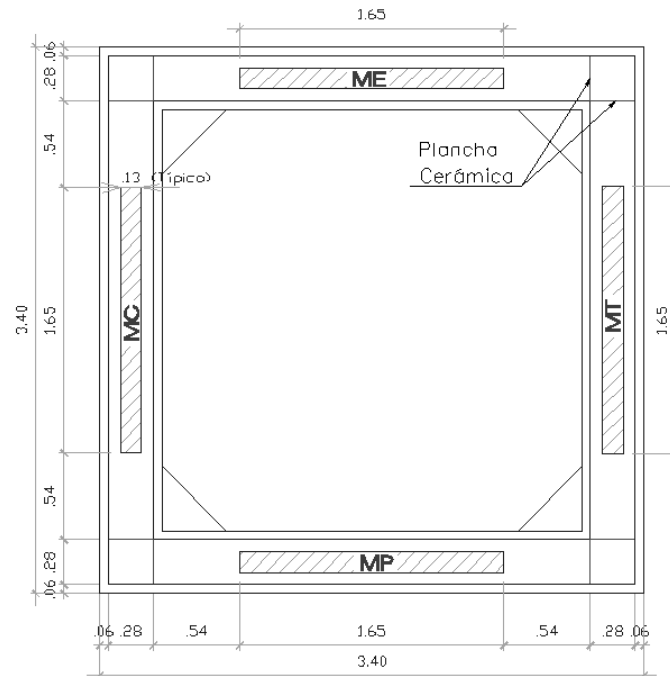
### 3. Diseño y Construcción de los Muros

#### 3.1. Características del canal U impermeabilizado.

Las características geométricas de canal de concreto armado con sección interior en U (Foto 3.1) utilizado en el ensayo de inundación simulada de muros de adobe, se detalla en la Figura 3.1.



Foto 3.1. Canal U de concreto armado



PLANTA

Figura 3.1. Planta del canal de concreto armado con sección interior en U. Medidas en metros.

El canal en U es una estructura de concreto armado utilizada en un proyecto de investigación anterior y posteriormente reparado para cumplir con los requisitos de impermeabilidad y estanqueidad necesarios en la presente tesis.

El procedimiento de adecuación comenzó por el retiro del material acumulado al interior del canal, compuesto principalmente por tierra y canto rodado (*Foto 3.2*).



**Foto 3.2. Proceso de limpieza del interior de la estructura acanalada.**

Luego, se procedió a segmentar el canal en “U” en cuatro secciones de iguales dimensiones con la finalidad de obtener canales independientes y de esta forma analizar las variables de absorción, capilaridad y desempeño a lo largo del tiempo en cada muro. Se optó por utilizar piezas de cerámico de uso general para enchapes debido a su alta impermeabilidad y resistencia suficiente a la presión ejercida por el agua. Las cuatro piezas fueron cortadas a la medida del ancho del canal y fijadas en los vértices del canal usando el producto Supermortero de Quikrete® (*ver acápite 2.5*), el cual proporcionó un mortero de fragua rápida y alta resistencia para la colocación de los cerámicos (*Foto 3.3*).



**Foto 3.3. Detalle de segmentación del canal en U con piezas cerámicas.**



Después, se procedió con la impermeabilización del canal. Este procedimiento consistió de cuatro pruebas de estanqueidad, dos reparaciones de fisuras y puntos de filtración y el impermeabilizado final con dos capas de la base polímera acrílica Plasticoat.

Las pruebas de estanqueidad consistieron en inundar el canal en su totalidad con la finalidad de detectar fisuras que representasen puntos de filtración, los cuales debían ser reparados.

Una vez inundada la estructura se detectó e identificó rotulando con un marcador los puntos de filtración encontrados (*Foto 3.4*).



**Foto 3.4 Primera prueba de estanqueidad.**

Tras desalojar el agua de la primera prueba de estanqueidad se procedió a resanar los puntos de filtración previamente identificados utilizando el mortero de fragua rápida Supermortero de Quikrete®. Una vez finalizado el proceso de reparación de fisuras, se procedió a sellar los poros del concreto que estarían en contacto directo con el agua, usando el producto Plasticoat en una proporción disuelta en agua de 1:10 aplicada con brocha a lo largo de todo el canal interior como se muestra en la *Foto 3.5*. Cabe destacar esta primera imprimación sirvió únicamente para sellar los poros del concreto. El tratamiento completo, es decir con una proporción más consistente de 2:1 (Plasticoat : agua); se aplicó después de corroborar que no exista punto de filtración alguno.





**Foto 3.5. Reparación de fisuras con el producto Supermortero de Quikrete® y posterior sellado de poros del concreto con el impermeabilizante Plasticoat.**

Concluido el proceso de reparación, se verificó la integridad de la estructura repitiendo las pruebas de estanqueidad y reparaciones que sean necesarias hasta no evidenciar puntos de filtración. En total se realizaron cuatro pruebas de estanqueidad y tres reparaciones sucesivas para proceder con el proceso de impermeabilizado con Plasticoat.

El procedimiento de impermeabilizado consistió en la aplicación de dos capas uniformes de Plasticoat disuelto en agua; la primera capa fue disuelta en agua en una proporción 1:2 (una parte de Plasticoat por dos partes de agua) y aplicada en las paredes internas del canal que estarán en contacto directo con el agua, utilizando brochas de cerdas sintéticas. Terminada la aplicación de la primera capa se deja secar por espacio de 24 horas y se procede con la aplicación de la segunda capa impermeabilizante, esta vez con una proporción doblemente consistente de dos partes de Plasticoat por una parte de agua. Por último se deja secar la segunda capa por espacio de 24 horas para terminar con la consolidación de la membrana impermeabilizante del canal.

Finalizadas las 24 horas de secado de la segunda capa final del impermeabilizante aplicado, se procede con la última prueba de estanqueidad con la finalidad de corroborar la efectividad de la membrana impermeabilizante y poner a prueba la estanqueidad de la estructura. Se inundó cada una de las secciones del canal y se verificó que el proceso de impermeabilizado resultó exitoso al no presenciar puntos de filtración alguno, dando por concluido el proceso de adecuación e impermeabilizado del canal de concreto armado (*Foto 3.6*).



Foto 3.6. Prueba final de estanqueidad tras la aplicación del impermeabilizante Plasticoat.

### 3.2. Características comunes de los 4 muros

Los muros o especímenes presentaron las siguientes características en común (Foto 3.7 y Figura 3.1):



Foto 3.7. Vista superior de los cuatro muros de adobe construidos sobre el canal de concreto armado para la prueba de inundación.

- Las unidades de adobe utilizadas en los muros fueron elaboradas con materiales provenientes de la misma cantera como se detalla en el acápite 2.1, para de esta forma contribuir a la homogeneidad del material.
- A excepción del muro tarrajado cuyo espesor se incrementó por la mezcla colocada alrededor de su base, todos los muros contaron con las mismas dimensiones: 1.50 m de alto, 1.65 m de largo y 0.13 m de espesor.

- Se utilizó el mismo aparejo o amarre de “soga” para el asentado de los muros.
- Cada hilada estuvo compuesta de manera intercalada por 6 unidades enteras y 5 unidades enteras y dos medías unidades del adobe correspondiente a cada muro.
- Todos los muros fueron construidos por el mismo personal para eliminar el factor de incertidumbre por variación en la mano de obra.
- Las juntas verticales y horizontales de los muros tuvieron como promedio 1.50 cm de espesor y el mortero fue hecho con el mismo material de los adobes.
- Fueron ensayados en canales geoméricamente iguales los cuales albergarán el mismo volumen de agua.
- Todos los muros fueron afectados por los mismos factores atmosféricos, tales como temperatura, presión y humedad.
- Se utilizó agua potable sin impurezas proveniente de la misma fuente la cual registró una temperatura de 23 °C.

### 3.3. Características del Muro Patrón MP

El muro MP (*Foto 3.8 y Figura 3.2*) fue hecho íntegramente de adobes convencionales sin refuerzos horizontales ni verticales de ningún tipo. El muro posee juntas horizontales y verticales de 1.50 cm de espesor la cuales están hechas con un mortero del Tipo II, según la clasificación de morteros estipulada en la NTP E.080 acápite 7.2; la cual detalla que el mortero de este tipo estará compuesto por el mismo material que las unidades de adobe y que de ninguna forma tendrá una calidad menor para lograr la homogeneidad del material en el muro en cuestión, además acota que las juntas horizontales y verticales no deberán exceder de 2.00 cm de espesor y deberán ser llenadas completamente, cumpliendo de esta forma dicho requisito. Por último, el muro MP fue construido en dos tiempos, en un periodo de dos jornadas por un operario obteniendo como rendimiento promedio de la mano de obra 2.20 m<sup>2</sup>/día(\*)

(\*)*Jornal de 08 horas.*



Foto 3.8. Muro Patrón MP.

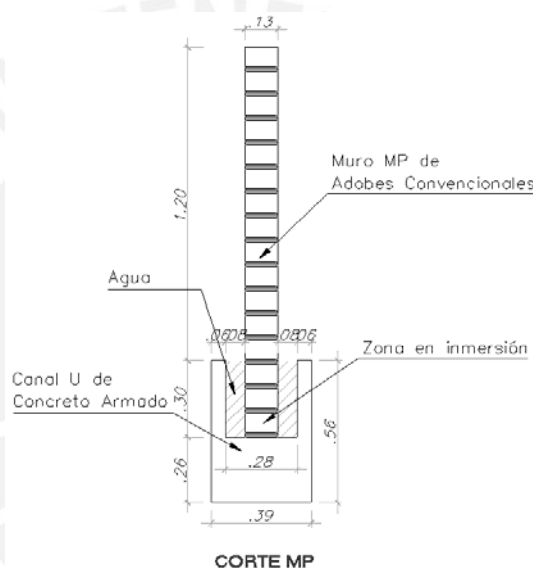


Figura 3.2. Sección transversal Muro Patrón MP.

### 3.3.1. Metrado de materiales Muro Patrón MP

- Unidades de Adobe convencional:  
 6 und / hilada x 16 hiladas = 96 und.
- Mortero:  
 Juntas horizontales : 0.015 m x 1.65 m x 0.13 m = 0.0032 m<sup>3</sup>/junta horz.  
 Juntas verticales : 0.015 m x 0.075 m x 0.13 m = 0.00015 m<sup>3</sup>/junta vert.  
 N° juntas horizontales: 16 juntas horizontales  
 N° juntas verticales : 88 juntas verticales  
 TOTAL : 0.0032 x 15 + 0.0015 x 88  
 : **0.0644 m<sup>3</sup> de mortero simple Tipo II.**  
 (Equivalente a 26 unidades adobe convencional)



### 3.4. Características del Muro con Sobrecimiento MC

El muro con sobrecimiento de concreto simple MC (Foto 3.9 y Figura 3.3) es la primera solución que se plantea en la presente investigación para tratar el problema de la acción del agua sobre las estructuras de adobe. Se planificó un muro mixto, el cual contará con un sobrecimiento de concreto simple abarcando una altura igual al doble de la altura que alcance el nivel de agua producto de la inundación simulada, con la finalidad de que la base de concreto sea la que esté en contacto directo con el agua. Para tal fin se utilizó el producto CONCRELISTO 210  $\text{kg}/\text{cm}^2$  de QUIKRETE® para la fabricación del sobrecimiento en cuestión, cuyas características se encuentran descritas en el acápite 2.4. El resto del muro será construido con adobes convencionales que abarcarán una altura total de 0.90 m compuesta por 10 hiladas, las cuales tendrán las mismas características del Muro Patrón MP (unidades de adobe convencionales, tipo de mortero, espesor de juntas, tipo de amarre y mano de obra).



Foto 3.9. Muro con Sobrecimiento MC.

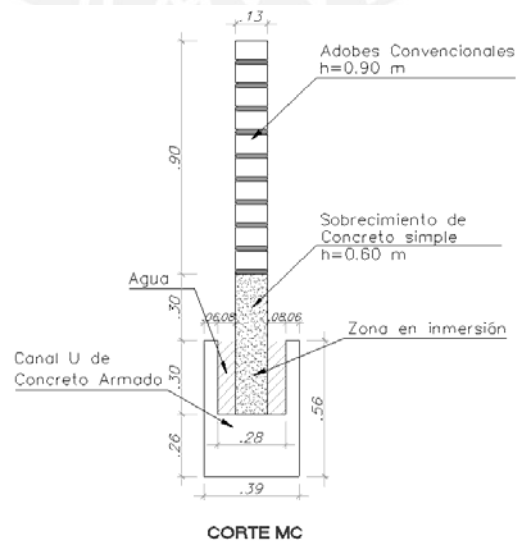


Figura 3.3. Sección transversal Muro con Sobrecimiento MC.

### 3.4.1. Metrado de materiales Muro MC:

- Concreto simple de Sobrecimiento:

Volumen de concreto : 1.65 m x 0.60 m x 0.13 m  
= 0.1287 m<sup>3</sup>

CONCRELISTO 210 kg/cm<sup>2</sup> de QUIKRETE®

Presentación : Bolsa 40 kg

Rendimiento : 0.018 m<sup>3</sup>/bolsa

Diseño de Mezcla : 1 bolsas (40 kg) x 4.5 lts agua

: 0.018 m<sup>3</sup>

Volumen de concreto : 0.1287 m<sup>3</sup>

= 7.15 bolsas

= **7.50 bolsas de CONCRELISTO 210 kg/cm<sup>2</sup>.**

- Unidades de Adobe convencional:

6 und/hilada x 10 hiladas = 60 und.

- Mortero Tipo II:

Juntas horizontales : 0.015 m x 1.65 m x 0.13 m = 0.0032 m<sup>3</sup>/junta horizontal

Juntas verticales : 0.015 m x 0.075 m x 0.13 m = 0.00015 m<sup>3</sup>/junta vertical

N° juntas horizontales: 10 juntas horizontales

N° juntas verticales : 55 juntas verticales

TOTAL : 0.0032 x 10 + 0.00015 x 55

: **0.04025 m<sup>3</sup> de mortero simple Tipo II.**

(Equivalente a 16 unidades adobe convencional)

### 3.5. Características del Muro Estabilizado ME

El muro ME (*Foto 3.10 y Figura 3.4*) fue construido de manera mixta con dos tipos de adobes. Las primeras 6 hiladas, con una altura total de 0.60 m correspondiente al doble de la zona en contacto directo con el agua, se construyeron con unidades de adobes estabilizados descritas en el acápite 2.2 (5% del peso con cemento), las 10 hiladas siguientes se construyeron con adobes convencionales siguiendo los mismos lineamientos del Muro Patrón MP (unidades de adobe convencional, tipo de mortero, espesor de juntas, tipo de amarre y mano de obra).





Foto 3.10. Muro Estabilizado ME.

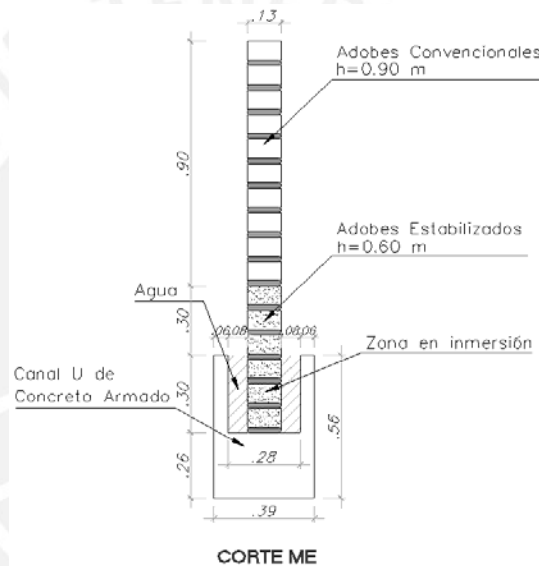


Figura 3.4. Sección transversal Muro Estabilizado ME.

El mortero utilizado en las juntas verticales y horizontales corresponde al tipo de adobe utilizado en cada hilada, por lo cual, para las 6 primeras hiladas de adobes estabilizados se utilizó un mortero *estabilizado* de clasificación Tipo I, estipulado en por la NTP E.080 acápite 7.1 como un mortero conformado por tierra y un aglomerante que en este caso es el cemento Portland Tipo I en una proporción de 5% del peso. De esta forma se calculó que para el volumen metrado de  $0.0242 \text{ m}^3$  de mortero a utilizarse en las juntas estabilizadas, se requería agregar 2.50 kg de cemento SOL tipo I a la mezcla del mortero convencional.

Las 10 hiladas siguientes, hechas con adobes convencionales, estuvieron conformadas por un mortero del Tipo II. De esta forma planteamos como segunda

solución la utilización de adobes y mortero estabilizado para las zonas que se encuentren en contacto directo con el agua.

### 3.5.1. Metrado de materiales del Muro ME:

- Unidades de Adobe Estabilizado:  
06 und/hilada x 06 hiladas = 36 und.
- Unidades de Adobe Convencional:  
06 und/hilada x 10 hiladas = 60 und.
- Mortero Tipo I:
  - Juntas horizontales :  $0.015 \text{ m} \times 1.65 \text{ m} \times 0.13 \text{ m} = 0.0032 \text{ m}^3/\text{junta}$   
horizontal
  - Juntas verticales :  $0.015 \text{ m} \times 0.075 \text{ m} \times 0.13 \text{ m} = 0.00015 \text{ m}^3/\text{junta}$   
vertical
  - N° juntas horizontales: 06 juntas horizontales
  - N° juntas verticales : 33 juntas verticales
  - TOTAL :  $0.0032 \times 06 + 0.0015 \times 33$   
:  **$0.0242 \text{ m}^3$  de mortero estabilizado Tipo I.**  
(Equivalente a 10 unidades adobe estabilizado)
  - Cemento Sol tipo I : 5% peso de 10 unidades de adobe  
: **2.50 kg de Cemento SOL tipo I.**
- Mortero Tipo II:
  - Juntas horizontales :  $0.015 \text{ m} \times 1.65 \text{ m} \times 0.13 \text{ m} = 0.0032 \text{ m}^3/\text{junta}$   
horizontal
  - Juntas verticales :  $0.015 \text{ m} \times 0.075 \text{ m} \times 0.13 \text{ m} = 0.00015 \text{ m}^3/\text{junta}$   
vertical
  - N° juntas horizontales: 10 juntas horizontales
  - N° juntas verticales : 55 juntas verticales
  - TOTAL :  $0.0032 \times 10 + 0.0015 \times 55$   
:  **$0.04025 \text{ m}^3$  de mortero estabilizado Tipo II.**  
(Equivalente a 17 unidades adobe estabilizado)

### 3.6. Características del Muro Tarrajado MT

El muro MT (*Foto 3.11 y Figura 3.5*) fue construido íntegramente con adobes convencionales bajo los mismos lineamientos del Muro Patrón MP.

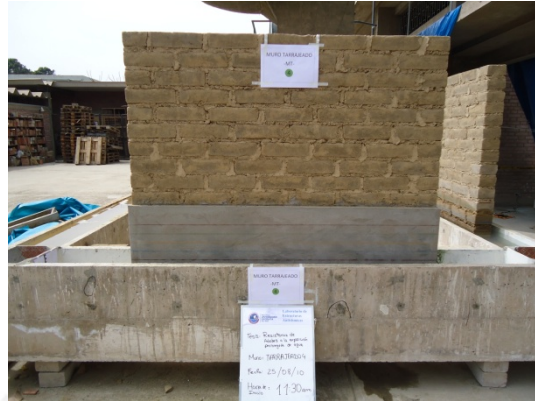


Foto 3.11. Muro Tarrajado MT

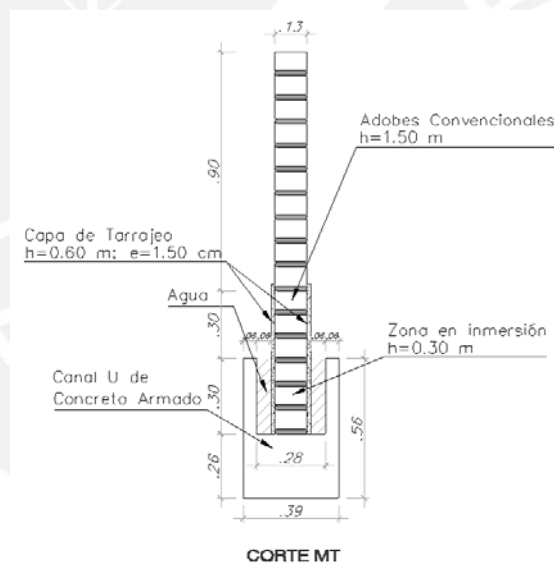


Figura 3.5. Sección transversal Muro Tarrajado MT.

Este muro plantea como tercera solución una barrera que evite el contacto del agua sobre los adobes convencionales. Dicha barrera está compuesta por una zona tarrajada de 0.60 m de altura y 1.50 cm de espesor en todo el perímetro del muro, de tal forma que proteja el área en contacto directo con el agua, la cual abarca una altura igual al doble del nivel de agua producto de la inundación simulada. El tarrajeo fue aplicado sobre una malla de alambre, estipulada en la NTP E0.80 acápite 6.4.2, la cual determina que la malla de alambre se puede usar como un refuerzo exterior aplicado sobre la superficie del muro anclado adecuadamente a él

y que deberá estar protegido por una capa de mortero de cemento. Es importante que la malla esté anclada al muro, puesto que el adobe al entrar en contacto con el agua trata de expandirse y expulsaría a la capa de tarrajeo. Este anclaje se hizo interconectando la malla de ambas caras con alambre #8 (Foto 3.12).



Foto 3.12. Fijación de malla de alambre. Nótese los elementos de anclaje de alambre #8.

Finalmente, como se expresa en el acápite 2.3, se utilizó el producto Tarrajeolisto de Quikrete® el cual es una combinación uniforme de arena fina y cemento Portland tipo I que requirió la adición de agua para obtener la mezcla en cuestión.

### 3.6.1. Metrado de materiales Muro MT:

- Unidades de Adobe Convencional:  
6 und/hilada x 16 hiladas = 96 und.
- Mortero Tipo II  
 Juntas horizontales : 0.015 m x 1.65 m x 0.13 m = 0.0032 m<sup>3</sup>/junta horz.  
 Juntas verticales : 0.015 m x 0.075 m x 0.13 m = 0.00015 m<sup>3</sup>/junta vert.  
 N° juntas horizontales: 16 juntas horizontales  
 N° juntas verticales : 88 juntas verticales  
 Total : 0.0032 x 16 + 0.0015 x 88  
 : **0.0644 m<sup>3</sup> de mortero simple Tipo II.**  
 (Equivalente a 26 unidades adobe convencional)
- Tarrajeo  
 Área a Tarrajar : 2 x 0.13 x 0.60 + 2 x 1.67 x 0.60  
 : 2.16 m<sup>2</sup>  
 Espesor Tarrajeo : 0.015 m  
 Volumen tarrajeo : 2.16 m<sup>2</sup> x 0.015 m = 0.0324 m<sup>3</sup>

*TARRAJEO LISTO de QUIKRETE®*

Presentación	: Bolsa 40 kg.
Rendimiento	: 0.020 m <sup>3</sup> /bolsa
Dosificación	: 1:4 (cemento: arena fina)
Diseño de Mezcla	: 1 bolsas (40 kg) x 11.50 lts agua
Bolsas a usar	: 0.0324 m <sup>3</sup> / 0.02 m <sup>3</sup> /bolsa = 1.62 bolsas <b>= 2.00 bolsas de TARRAJEOLISTO.</b>



## 4. Técnicas de Ensayos

### 4.1. Introducción

Tal como se mencionó en el acápite 1.3, las siguientes técnicas de ensayo fueron ejecutadas para comparar el comportamiento ante una inundación simulada de un espécimen construido de la manera tradicional contra las soluciones planteadas para mejorar este comportamiento ante la exposición prolongada de agua.

Para ello se realizarán pruebas sobre unidades y sobre el conjunto de unidades edificadas a manera de muros.

### 4.2. Pruebas en unidades de adobe

Las pruebas realizadas 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 fue debido a que la Norma Técnica Peruana E.080 no especifica procedimientos para el ensayo y muestreo de unidades de adobe para las pruebas citadas, por lo cual tuvimos que adaptar dichos ensayos observando sus alcances y limitaciones en unidades de adobe.

#### 4.2.1. Prueba de Succión

La Prueba de Periodo Inicial de Absorción, o 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.



**Foto 4.1. Horno marca Memmect para el secado de los especímenes durante 24 horas.  
Temperatura de secado: 110°C.**

A continuación 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.



**Foto 4.2. Registro del peso seco de los especímenes.**

Los aparatos utilizados en esta prueba serán una bandeja modificada para contener el agua de la prueba y los soportes para los ladrillos 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 cm<sup>2</sup>. La base de la bandeja deberá ser

plana; los soportes de las unidades son dos barras de acero no corrosible, de 120 mm a 150 mm de longitud (*Foto 4.3*), de sección transversal cuadrada, de espesor aproximado de 6 mm. La finalidad de estos soportes es evitar el contacto directo del espécimen con la bandeja.



**Foto 4.3. Bandeja para pruebas de succión. Los soportes se encuentran dispuestos para recibir al espécimen.**

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 (*Foto 4.4*). 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.



**Foto 4.4. Especimen sometido a la prueba de succión.**

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.



Foto 4.5. Pesado del espécimen al concluir la Prueba de Succión.

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:

$$S = \frac{200W}{LB}$$

Donde:

- S : Succión normalizada a un área de  $200\text{ cm}^2$ .
- 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  $0,1\text{ gr/min}/200\text{ cm}^2$ .

#### 4.2.2. 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.



**Foto 4.6. Especímenes rotulados para la prueba de absorción.**

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 (*Foto 4.1*). 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 (*Foto 4.2*). Se preparan los recipientes en los cuales se sumergirán los especímenes, colocando elementos que separen el adobe de la base del recipiente con la finalidad de que todas las caras del espécimen estén en contacto directo con el agua. Para tal fin se usaron dados de concreto.

Antes de sumergir los especímenes, se procede a tomar un registro de la temperatura del agua potable contenida en las bateas. Como resultado general se registró una temperatura de 23 °C (*Foto 4.7*).





Foto 4.7. Registro de la temperatura del agua usada en la prueba de absorción.

Se sumerge el espécimen en agua limpia (potable, destilada o agua de lluvia) que se encuentre a una temperatura entre 15.5 °C a 30 °C, por un periodo de 24 horas (Foto 4.8). Pasado este lapso, 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 (Foto 4.9).



Foto 4.8. Especímenes sometido a la prueba de absorción.



Foto 4.9. Registro del peso del adobe al finalizar la prueba.

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 se desintegran estropeando el propósito del experimento, por esta razón se optó por utilizar unidades enteras.

Calculamos la absorción de cada espécimen con la siguiente expresión:



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

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 %.

### 4.3. Ensayo de inundación simulada en muros

Dado que no se tiene normativa acerca del presente ensayo, se diseñó junto al asesor de los tesisistas, Ing. Ángel San Bartolomé, un procedimiento de ensayo:

- 1) Se utilizará un canal con sección interior en forma de U (*ver acápite 3.1*).
- 2) Se sectorizará en sus 4 lados colocando barreras en las esquinas que impidan el paso del agua entre sectores y se impermeabilizará cada sector por separado (*ver acápite 3.1*).
- 3) Se edificarán 4 muros por separado (uno en cada sector). Uno del tipo tradicional (patrón) y los otros con las tres propuestas distintas de mejora (*ver el Capítulo 3*).
- 4) Una vez edificados los cuatro muros se dejarán secar a humedad ambiental por un periodo no menor de 3 semanas.
- 5) Para medir la cantidad de agua absorbida por cada muro, se colocará una mira a manera de cartilla de medición inversa en cada sector del canal U, con divisiones cada centímetro y con una altura total de 30 centímetros, con colores y contrastes que sean fáciles de identificar y medir (*Foto 4.1*).
- 6) Para medir la cantidad de agua que sube a través de cada muro por capilaridad, se colocarán niveles topográficos en cada muro, el primero a una altura de 30 centímetros de la base del muro y el último a una altura de 50 centímetros con separaciones cada 5 cm y con colores fáciles de identificar y medir (*Foto 4.2*).
- 7) Se inundarán los muros en los cuatro sectores del canal U por separado con un volumen conocido de agua. Se intentará que el llenado de agua sea lo más rápido y constante posible.

- 8) Desde el momento inicial de inundación se definirán 2 periodos:
  - a. Periodo Corto de Inundación (PCI): Hasta cumplir las 72 horas de inundación.
  - b. Periodo Prolongado de Inundación (PPI): Desde el final del PCI hasta cumplir dos semanas de inundación.
- 9) Durante el Periodo Corto de Inundación se entiende que la base del muro pasará de un estado de humedad natural a un estado de saturación, tanto las unidades como los morteros sufrirán un ambiente, agresivo de absorción continua de agua. De no soportar este tipo de ambiente se considerará que el muro no es resistente al ensayo de inundación y que es necesaria una mejora considerable al sistema usado. Este periodo intenta representar una inundación por crecida de ríos en la cual la reposición de agua es constante.
- 10) Durante el Periodo Prolongado de Inundación se entiende que la base del muro se encuentra saturada y que ya sobrevivió al ambiente agresivo. De colapsar un muro durante este periodo se considerará que es resistente al ensayo de inundación pero como producto de esta, sufre daños irreparables por desgaste que conllevan a descartar la solución empleada. Este periodo intenta representar la evaporación paulatina del agua y el desaguado de la inundación. Cualquier muro que se mantenga en pie luego de este periodo, se considerará como exitoso en cuanto a la mejora empleada.
- 11) Durante el Periodo Corto de Inundación se realizarán mediciones de absorción y capilaridad cada hora (salvando las limitaciones que se tenga para realizar mediciones nocturnas casos en los cuales se interpolarán las mediciones) y cada 24 horas se repondrá el volumen de agua perdida por absorción de los muros. Durante todo este periodo se tendrá una filmadora de manera continua de modo tal que se puedan apreciar las pequeñas variaciones horarias y se documente el momento exacto de la caída del muro de darse durante este periodo.
- 12) Durante el Periodo Prolongado de Inundación se realizarán mediciones de absorción y capilaridad cada 24 horas y al cabo de cada semana se repondrá el volumen de agua perdida por absorción de los muros para no cortar el ascenso por capilaridad. Durante este periodo se dilatan los tiempos de medición y reposición de agua por lo que no es necesario una grabación continua durante el transcurso de las 2 semanas, sólo se documentará mediante fotografías diarias.
- 13) De este ensayo se obtendrá:
  - a. Tiempo de resistencia de cada muro a la inundación.

- b. Gráficas Tiempo vs. Altura de capilaridad.
  - c. Gráficas Tiempo vs. Altura de agua absorbida.
- 14) Concluido el ensayo se derrumbarán los muros uno por uno e hilada por hilada, llevando un registro fotográfico de una unidad por cada 2 hiladas, revisando su consistencia al tacto y cuán húmedo se encuentra su núcleo al partirla en dos.

Todos los resultados y las gráficas se obtendrán con el fin de realizar comparaciones cualitativas y cuantitativas entre los 4 muros.



Foto 4.1. Mira colocada en canal U para observar la absorción de agua de todos los muros durante el ensayo de inundación. Se le denomina mira invertida puesto que la medición se realizará desde el tope superior hacia la base.



Foto 4.2. Niveles para medir el ascenso de agua por capilaridad en muros durante el ensayo de inundación.

## 5. Ensayos de Unidades de Adobe y Resultados

### 5.1. Prueba de Succión

Esta prueba se realizó siguiendo las especificaciones indicadas en el acápite 4.2.1. Se seleccionaron 3 unidades enteras correspondientes a cada una de las diferentes soluciones que se plantea en esta investigación. Para tal fin, se ensayaron adobes convencionales como muestras del Muro Patrón MP, adobes estabilizados con cemento al 5% del peso como muestras del Muro Estabilizado ME, y unidades de adobe convencional tarrajeadas en su contorno con el producto Tarrajeolisto y con un espesor de 1.50 cm, como muestras del Muro Tarrajado MT.

#### 5.1.1. Succión en muestras del Muro Patrón

Se etiquetaron las muestras de la siguiente forma:

P1	Patrón 1
P2	Patrón 2
P3	Patrón 3

Como se aprecia en la *Foto 5.1*, trascurrido el minuto de contacto del adobe convencional con el agua hubo un importante ascenso del agua por capilaridad del orden de 2.00 cm.

Se observó que los tres especímenes de adobe convencional sufrieron una avanzada degradación y posterior desprendimiento de partículas de la cara en contacto con el agua (*Foto 5.2*), 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. Esta hipótesis fue corroborada 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>, como se detalla en la *Tabla 5.1*.





Foto 5.1 Ascenso capilar de agua de 2.00 cm en espécimen Patrón



Foto 5.2. Material desprendido producto de la degradación del espécimen patrón durante la prueba de succión.



Foto 5.3. Especimen de adobe convencional pesado al final la prueba de succión.

	Peso Seco (gr.)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Peso con agua absorbida (gr.)	Agua Absorbida (gr.)	Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )	Succión Promedio (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )
P1	4846.0	25.8	13.4	7.5	193.5	4826.6	-19.40	-	-
P2	4855.5	26.0	13.7	7.4	192.4	4842.2	-13.30	-	
P3	4850.3	25.8	13.1	7.3	188.34	4841.2	-9.10	-	

Tabla 5.1. Resultados de la prueba de succión en adobes del Muro Patrón MP.

Como se observa en la Tabla 5.1; los tres especímenes de adobe convencional 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 convencional.

Como consecuencia a lo descrito líneas arriba, podemos afirmar que los adobes convencionales poseen escasa o nula resistencia al contacto directo con el agua, debido a que en la prueba de succión el proceso de degradación de los especímenes se dio casi de manera instantánea al entrar en contacto con el agua haciéndolo altamente vulnerables a la acción prolongada del agua, restringiendo drásticamente sus usos y aplicaciones a condiciones en las que no se encuentren en contacto con el agua.

### 5.1.2. Succión en muestras del Adobe Estabilizado

Se etiquetaron las muestras de la siguiente forma:

E1	Estabilizado 1
E2	Estabilizado 2
E3	Estabilizado 3

Como se observa en la *Foto 5.4*, los tres especímenes de adobe estabilizado presentaron un comportamiento superior a los adobes convencionales en cuanto a resistencia y ascenso capilar. En primer lugar no se suscitó ningún desprendimiento ni pérdida del material en contacto con el agua conservando la integridad y las mismas dimensiones. Adicionalmente se observó un menor ascenso capilar de agua del orden de 1.00 cm, lo cual indica a priori que la cantidad de vacíos del adobe estabilizado es menor que la del adobe convencional.



**Foto 5.4** Prueba de succión en espécimen de adobe estabilizado. Nótese el ascenso capilar de agua del orden de 1.00 cm.



Foto 5.5 Espécimen de adobe estabilizado pesado al finalizar la exposición de agua.

	Peso Seco (gr.)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Peso con agua absorbida (gr.)	Agua Absorbida (gr.)	Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )	Succión Promedio (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )
E1	4666.0	26.1	13.6	7.7	200.97	4740.5	74.50	74.14	80.0
E2	4758.5	26.4	13.5	7.5	198.00	4835.9	77.40	78.18	
E3	4683.1	26.2	13.8	7.7	201.74	4771.0	87.90	87.14	

Tabla 5.2. Resultados de la prueba de succión en adobes del Muro Estabilizado ME.

De lo descrito preliminarmente podemos inferir que la adición de 5% en peso de cemento para estabilizar las muestras ensayadas, contribuyó en el aumento de la resistencia a la acción erosiva del agua, no produciéndose deterioro ante una exposición en un periodo inicial de un minuto. Por otra parte, la propagación de agua por ascenso capilar fue del orden de 1.00 cm, lo cual representa la mitad de lo observado en los adobes convencionales, esto evidencia que la estructura interna del material estabilizado posee una menor cantidad de vacíos que es el medio por el cual se propaga el agua al interior y, por tanto, menor espacio para que el agua ingrese y deteriore la estructura interna. Finalmente se determinó como succión promedio para adobes estabilizados el valor de 80 gr/min/200cm<sup>2</sup>.

### 5.1.3. Succión en muestras del Muro Tarrajeado

Se etiquetaron las muestras de la siguiente forma:

T1	Tarrajeado 1
T2	Tarrajeado 2
T3	Tarrajeado 3

Para esta prueba se utilizó especímenes que simulen las condiciones del muro tarrajeado MT, el cual fue planificado para ser construido con adobes

convencionales 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 convencionales en los cuales se aplicó una capa de tarrajeo sobre todas sus caras. El tarrajeo aplicado guardaba las mismas características del muro MT en relación al mismo espesor de capa de 1.50 cm y el mismo producto Tarrajeolisto (ver acápite 2.3). Cabe mencionar que no se usó malla de alambre en los especímenes ensayados y que se esperó que el tarrajeo cumpliera 28 días de edad para realizar la prueba.



**Foto 5.6** Espécimen de adobe tarrajeado preparados para la prueba de succión.

Como se observa en la *Foto 5.7*, los tres especímenes de adobe tarrajeado presentaron un comportamiento superior a los adobes convencionales 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 menor ascenso capilar de agua del orden de 0.5 cm, menor al caso de adobes estabilizados (1.00 cm), debido a que la cobertura de tarrajeo presenta una estructura interna con una menor cantidad de vacíos.



Foto 5.7. Espécimen de adobe tarrajado tras un minuto de exposición al agua. Nótase el ascenso capilar de agua del orden de 0.50 cm.



Foto 5.8. Registro del peso al finalizar la prueba de succión.

Los resultados de la prueba de succión en adobes tarrajados se resumen en la *Tabla 5.3.*

	Peso Seco (gr.)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Peso con agua absorbida (gr.)	Agua Absorbida (gr.)	Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )	Succión Promedio (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )
T1	8926.1	28.0	15.9	10.3	288.4	8952.0	25.90	17.96	16.0
T2	8691.4	28.4	16.0	9.9	281.16	8712.0	20.60	14.65	
T3	8752.0	27.9	16.2	9.9	279	8773.8	21.80	15.63	

Tabla 5.3. Resultados de la prueba de succión en adobes del Muro Tarrajado MT.

De los resultados obtenidos podemos afirmar que los adobes tarrajados tuvieron el mejor comportamiento entre los tres tipos de especímenes ensayados a succión, debido a que la cobertura de tarrajeo de 1.50 cm le otorgó al adobe convencional mayor protección ante el contacto directo con el agua. Finalmente se determinó como succión promedio para adobes tarrajados el valor de 16 gr/min/200cm<sup>2</sup>, que representa 1/5 de la capacidad de succión de los adobes estabilizados.

## 5.2. Prueba de Absorción

Esta prueba se realizó siguiendo las especificaciones indicadas en el acápite 4.2.2. Se seleccionaron tres unidades enteras correspondientes a cada una de las diferentes soluciones que se plantea en la presente investigación.

### 5.2.1. Absorción en muestras del Muro Patrón

Se etiquetaron las muestras de la siguiente forma:

P1	Patrón 1
P2	Patrón 2
P3	Patrón 3

Como se observa en la *Foto 5.9*, el proceso de degradación en adobes convencionales se dio de manera instantánea al contacto con el agua, iniciándose la desintegración en el primer minuto de inmersión en agua.

Pasados cinco minutos de inmersión, la desintegración en los adobes convencionales paso a un estado crítico perdiendo su forma original y convirtiéndose en una masa pastosa sin consistencia ni capacidad portante (*Foto 5.10*).



**Foto 5.9. Primer minuto de inmersión en agua de adobes convencionales.**





**Foto 5.10.** Cinco primeros minutos de la prueba de absorción, se observa una desintegración casi total de las tres muestras de adobe convencional.

Debido a la desintegración masiva de los especímenes durante los primeros cinco minutos de inmersión, hubieron partículas que quedaron en suspensión haciendo imposible la inspección visual de los especímenes, por lo cual se dejó las muestras 24 horas para observar su condición al finalizar la prueba de absorción (Foto 5.11).



**Foto 5.11.** Estado final de los especímenes de adobe convencional tras concluida la prueba de absorción.

Finalizada las 24 horas de inmersión los especímenes de adobe convencional terminaron por desintegrarse en su totalidad haciendo imposible su extracción para la medición de sus pesos en estado saturado.

Como índices preliminares se calculan la densidad húmeda, densidad seca y porcentaje de humedad contenida de cada uno de los adobes patrón.

En las *Tablas 5.4, 5.5 y 5.6* se resumen los resultados de la prueba de absorción en las muestras de adobe convencional.

	Peso húmedo (gr.)	Peso Seco Wd (gr.)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Densidad húmeda $\gamma_h$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)
P1	4826.6	4770.4	25.7	7.3	13.3	1.93	1.91	1.18
P2	4845.7	4790.4	25.7	7.3	13.2	1.96	1.93	1.15
P3	4853.8	4797.5	26.0	7.3	12.8	2.00	1.97	1.17

Densidad húmeda $\gamma_h$ Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca $\gamma_d$ Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad Promedio (%)
1.96	1.94	1.17

**Tabla 5.4. Índices preliminares de adobes convencionales.**

	Dimensiones antes de la prueba			Dimensiones después de la Prueba		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
P1	25.7	13.3	7.3	Desintegración total		
P2	25.7	13.2	7.3			
P3	26.0	12.8	7.3			

**Tabla 5.5. Variación de dimensiones en los especímenes patrón antes y después de la prueba de absorción.**

	Peso Seco Wd (gr.)	Peso Saturado Ws (gr.)	%Absorción	%Absorción Promedio
P1	4770.4	Desintegración total		
P2	4790.4			
P3	4797.5			

**Tabla 5.6. Porcentajes de Absorción.**

Como se observa en las *Tabla 5.5* y *5.6* no se presentan datos de las dimensiones de los especímenes ya que al término de la prueba de absorción los adobes convencionales se desintegraron haciendo imposible la medición de sus dimensiones y peso saturado. Por lo tanto, se concluye que la prueba de absorción no es aplicable en adobes convencionales.

### 5.2.2. Absorción en muestras del Muro Estabilizado

Se etiquetaron las muestras de la siguiente forma:

E1	Estabilizado 1
E2	Estabilizado 2
E3	Estabilizado 3

Como se observa en la *Foto 5.12*, se evidenció burbujas de aire lo cual indicó que el agua tomaba el lugar de los vacíos contenidos en la estructura interna de los adobes, propio del proceso de saturación. Se observó un buen comportamiento inicial durante el primer minuto de exposición debido a que no se produjeron signos de deterioro o desintegración en las unidades marcando una ventaja ante los adobes convencionales, los cuales iniciaron su proceso de desintegración instantáneamente.



**Foto 5.12 Primer minuto de inmersión en agua de adobes estabilizados.**

Trascurridos cinco minutos de inmersión, se observó un ligero desmoronamiento de una porción de las esquinas como se evidencia en la *Foto 5.13*, mas no hubo alteración de la forma inicial de los especímenes ni signos de deterioro progresivo o desintegración parcial, con lo cual podemos afirmar que los especímenes estabilizados soportaron satisfactoriamente la inmersión temprana en agua.

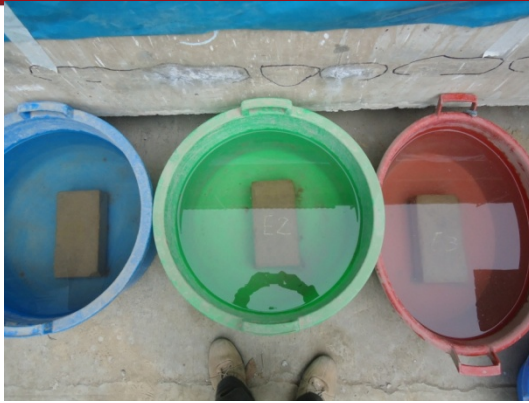


Foto 5.13. Cinco primeros minutos de la prueba de absorción en muestras de adobe estabilizado. Nótese el ligero desprendimiento de partículas en las esquinas de las muestras.

Trascurridas 24 horas de inmersión en agua se dio por finalizada la prueba de absorción (Foto 5.14). 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 en adobes estabilizados con 5% de cemento.



Foto 5.14. Estado final de los especímenes de adobe estabilizado tras concluida la prueba de absorción.

Al retirar los especímenes de las bateas se observó los 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. Así mismo, se evidenció el buen estado y la estabilidad de las muestras lo que permitió su manipulación y posterior traslado, con lo cual podemos afirmar que su capacidad portante no se vio afectada de manera significativa.

En las *Tablas 5.7, 5.8 y 5.9* se resumen los resultados de la prueba de absorción en las muestras de adobe estabilizado.

	Peso húmedo (gr.)	Peso Seco Wd (gr.)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Densidad húmeda $\gamma_h$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)
E1	4694.1	4644.0	26.2	7.7	12.7	1.83	1.81	1.08
E2	4785.5	4733.5	26.2	7.7	12.7	1.87	1.85	1.10
E3	4711.2	4655.7	26.4	7.4	13.5	1.79	1.77	1.19

Densidad húmeda $\gamma_h$ Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca $\gamma_d$ Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad Promedio (%)
1.83	1.81	1.12

**Tabla 5.7. Índices preliminares de muestras estabilizadas.**

	Dimensiones antes de la prueba			Dimensiones después de la Prueba		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
E1	26.2	12.7	7.7	26.1	12.7	7.6
E2	26.2	12.7	7.7	26.1	12.7	7.7
E3	26.4	13.5	7.4	26.4	13.4	7.4

**Tabla 5.8. Variación de dimensiones en los especímenes estabilizados antes y después de la prueba de absorción.**

	Peso Seco Wd (gr.)	Peso Saturado Ws (gr.)	%Absorción	% Absorción Promedio
	E1	4644.0	5393.5	16.14
E2	4733.5	5492.4	16.03	
E3	4655.7	5397.5	15.93	

**Tabla 5.9. Resumen de Porcentajes de Absorción.**

Finalmente, se obtuvo un valor de absorción promedio para adobes estabilizados de 16%. Se concluye que los adobes estabilizados presentaron un comportamiento ampliamente superior al de los adobes convencionales, ya que no se evidenciaron signos de deterioro durante su inmersión por 24 horas; no obstante serán necesarias pruebas en muros a escala real para corroborar la efectividad de la solución planteada.



### 5.2.3. Absorción en muestras del Muro Tarrajado

Para esta prueba se fabricaron muestras bajo las mismas especificaciones de la prueba de succión (ver *acápite 5.1.3*).

Se etiquetaron las muestras de la siguiente forma:

T1	Tarrajado 1
T2	Tarrajado 2
T3	Tarrajado 3

Como se observa en la *Foto 5.15*, los adobes tarrajado presentaron un comportamiento inicial satisfactorio durante el primer minuto de exposición al agua, debido a que no se evidenciaron signos de deterioro, desintegración o aparición de fisuras en las muestras.

Así mismo, 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 tradicional.



**Foto 5.15. Primer minuto de la prueba de absorción en adobes tarrajados.**

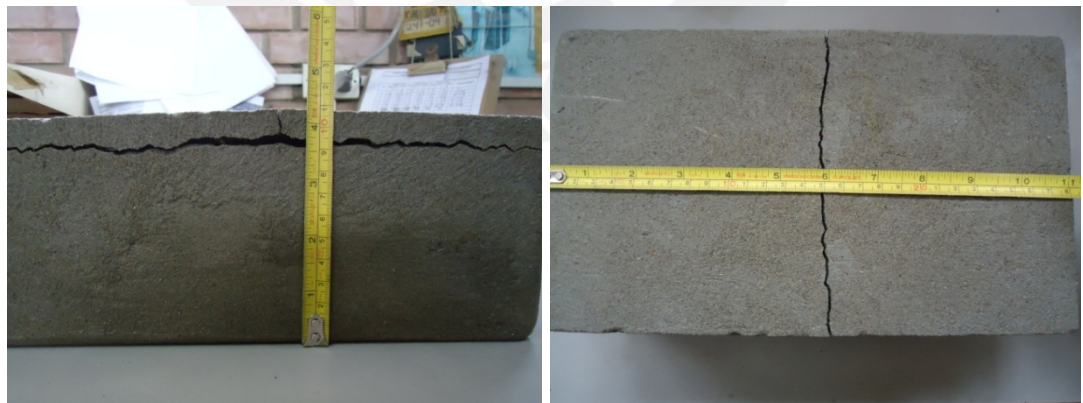
Trascurridos cinco minutos de inmersión, los especímenes permanecieron en las mismas condiciones, sin signos de deterioro a excepción del espécimen T1 el cual evidenció fisuras transversales menores a 1 mm, atribuibles a contracciones de fragua en el tarrajeo, lo cual podría representar un posible punto de filtración posteriormente.

Tras 24 horas de inmersión en agua, se observó que el espécimen T1 presentaba una fisura de hasta 2 mm que se extendió por el contorno y la parte media de la cara superior de la capa de tarrajeo. Estas fisuras terminaron por convertirse en puntos de filtración que generan el humedecimiento del adobe y su expansión, produciendo esfuerzos internos que terminaron incrementando el grosor de la fisura en la cobertura de tarrajeo (*Foto 5.16*).



**Foto 5.16.** Adobes tarrajeados al concluida la prueba de absorción. Nótese la fisuración en el contorno y parte media de la cara superior del espécimen T1.

Al analizar detenidamente el espécimen T1 se observó que la capa superior de tarrajeo que cubría la cara superior del ladrillo mostraba fisuras que abarcaban todo el contorno de la misma y adicionalmente dividían por la mitad al tarrajeo de protección (*Foto 5.17*).



**Foto 5.17.** Detalles de fisuras en el espécimen T1. Se registraron espesores de fisuras de 1 mm a 2 mm.

Se procedió a sacar la capa de tarrajeo fisurada, la cual se encontraba completamente desprendida de la unidad de adobe. Como se observa en la *Foto 5.18*, el espécimen quedo parcialmente expuesto al agua que se filtraba por las

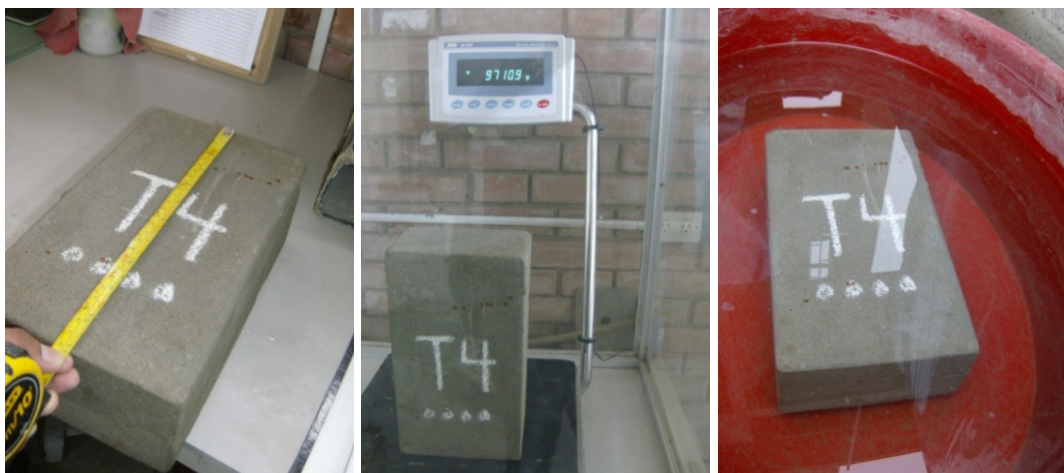
fisuras, ocasionando que el adobe convencional se saturara por completo y perdiera de manera parcial su capacidad portante mas no su forma, la cual se encontraba restringida o confinada por la cobertura de tarrajeo de 1.50 cm. Cabe remarcar que estos especímenes carecieron de la malla de gallinero existente en el muro MT. Esta malla hubiese controlado de mejor manera la fisuración por contracción de secado del tarrajeo y también la expansión del adobe convencional.



**Foto 5.18 Estado interno del espécimen T1. Nótese el estado de saturación del adobe convencional contenido en el armazón de tarrajeo.**

Al ser el espécimen T1 el único que presentó fisuras y saturación interna se optó por descartarlo para el promedio del porcentaje de absorción de adobes tarrajeados; por este motivo, se preparó un cuarto espécimen denominado T4 en reemplazo de la muestra T1.

El espécimen T4 fue preparado bajo los mismos estándares en cuanto al tipo de adobe convencional usado, calidad de mortero y espesor del tarrajeo.



**Foto 5.19. Especimen T4 de reemplazo sometido a la prueba de absorción.**



El espécimen T4 no presentó fisuras ni puntos de filtración en la capa de tarrajeo al finalizar la prueba de absorción, por lo cual se le considera como válido.

En las *Tablas 5.10, 5.11 y 5.12* se resumen los resultados de la prueba de absorción en las muestras de adobes tarrajeados.

	W húmedo (gr.)	Wd (gr.)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Densidad húmeda $\gamma_h$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Densidad húmeda $\gamma_h$ Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca $\gamma_d$ Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad Promedio (%)
T1	8925.0	8876.5	28.0	16.0	10.2	1.95	1.94	0.55	1.93	1.92	0.56
T2	8689.2	8641.3	28.0	16.2	10.2	1.88	1.87	0.55			
T3	8759.4	8710.6	27.8	16.0	10.1	1.95	1.94	0.56			
T4	8917.5	8867.2	28.0	15.8	10.3	1.96	1.95	0.57			

**Tabla 5.10. Índices preliminares de adobes tarrajeados.**

	Dimensiones antes de la prueba			Dimensiones después de la Prueba		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
T1	28.0	16.0	10.2	Descartado		
T2	28.0	16.2	10.2	28.0	16.2	10.2
T3	27.8	16.0	10.1	27.8	16.0	10.1
T4	28.0	15.8	10.3	28.0	15.8	10.3

**Tabla 5.11. Variación de dimensiones en adobes tarrajeados antes y después de la prueba de absorción.**

	Peso Seco Wd (gr.)	Peso Saturado Ws (gr.)	%Absorción	% Absorción Promedio
T1	8876.5	Descartado		10
T2	8641.3	9509.9	10.05	
T3	8710.6	9663.6	10.94	
T4	8867.2	9710.9	9.51	

**Tabla 5.12. Porcentajes de absorción en adobes tarrajeados.**

Finalmente, se obtuvo un valor de absorción promedio para adobes tarrajeados de 10%. Podemos concluir, que los adobes tarrajeados presentaron una amplia superioridad al ser comparados con los adobes convencionales, ya que no evidenciaron signos de deterioro ni pérdida de capacidad portante a pesar de haber sido afectados por la agresión erosiva del agua durante un periodo de 24 horas. No obstante, debido a las fisuras observadas en el espécimen T1, afirmamos que el

sistema puede ser vulnerable ante filtraciones que podrían poner en riesgo la integridad de la cobertura protectora de tarrajeo, debido al esponjamiento del adobe convencional contenido en el tarrajeo, aunque esta vulnerabilidad podría reducirse aplicando el tarrajeo sobre una malla de gallinero anclada al muro, tal como se hizo en el muro MT.

#### 5.2.4. Absorción en unidades impermeabilizadas con Plasticoat

En la fase final de los ensayos de inundación simulada de los muros se observó que la estructura de concreto armado con canal en U se encontraba en perfecto estado de estanqueidad sin presentar filtraciones; recordemos que dicha estructura fue tratada con el impermeabilizante Plasticoat.

Como resultado de esta observación, surgió la interrogante de conocer el alcance de este impermeabilizante sobre los muros de adobe, por este motivo se realizó una prueba de absorción para observar el comportamiento del impermeabilizante sobre unidades de adobe convencional.

Una vez finalizado el proceso de secado al horno y habiendo eliminado la humedad natural de los especímenes, se procedió a aplicar el impermeabilizante sobre la superficie de los adobes convencionales en dos capas uniformes; la primera en una proporción 1:2 (una parte de Plasticoat por 2 partes de agua) y la segunda en una proporción de 2:1. El tiempo de secado de aplicación entre capas fue de 24 horas, definido por el fabricante.



**Foto 5.20. Aplicación de 2 capas de Plasticoat sobre adobes convencionales. Tiempo de secado entre capas: 24 horas.**



Durante los primeros 10 minutos de inmersión en el agua, los adobes convencionales impermeabilizados presentaron un buen desempeño al no evidenciarse signos de deterioro o desintegración de las muestras (*Foto 5.21*).



**Foto 5.21. 10 minutos iniciales de la prueba de absorción en adobes convencionales impermeabilizados.**

Pasadas las 24 horas de inmersión en agua, se registraron los daños presentados en la *Foto 5.22*. Como se observa, la protección otorgada por el producto impermeabilizante resultó ser ineficiente ante la exposición prolongada de agua en unidades de adobe convencional.

Podemos afirmar que ante la existencia de puntos de filtración se inicia el proceso de degradación y desintegración del adobe convencional contenido al interior de la película impermeabilizante. La expansión del adobe humedecido produjo esfuerzos internos que terminaron por romper la delgada película que proporcionaba la única protección de las muestras.



**Foto 5.22. Adobes impermeabilizados al finalizar la prueba de absorción. Nótese la desintegración de los tres especímenes y la rotura de la película impermeabilizante en cada caso.**

Finalmente, concluimos que la utilización de esta clase de aditivos o productos impermeabilizantes es inefectiva para mitigar los efectos erosivos del agua sobre las estructuras de adobe.

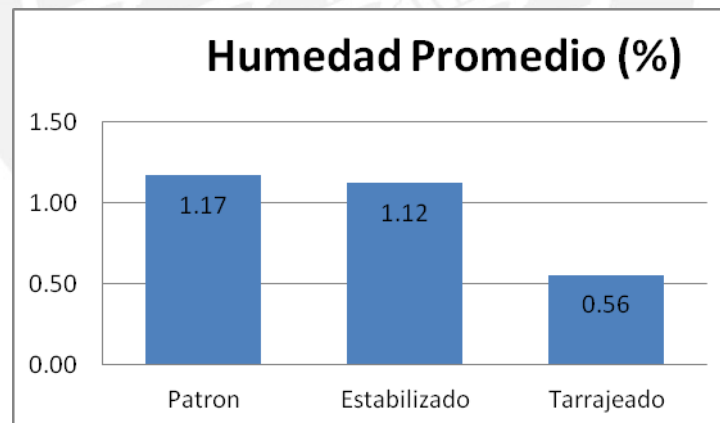
### 5.3. Comparación y discusión de resultados

#### 5.3.1. Comparación de los índices de densidad y porcentajes de humedad natural.

Utilizando los especímenes de la prueba de absorción, se realizó la comparación de los índices de densidad y humedad que tuvieron los tres tipos de especímenes ensayados. Los resultados aparecen en la *Tabla 5.13* y en los *Gráficos 5.1* y *5.2*.

	Densidad húmeda $\gamma_h$ Promedio ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Densidad seca $\gamma_d$ Promedio ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Humedad Promedio (%)
A. Patrón	1.96	1.94	1.17
A. Estabilizado	1.83	1.81	1.12
A. Tarrajeado	1.93	1.92	0.56

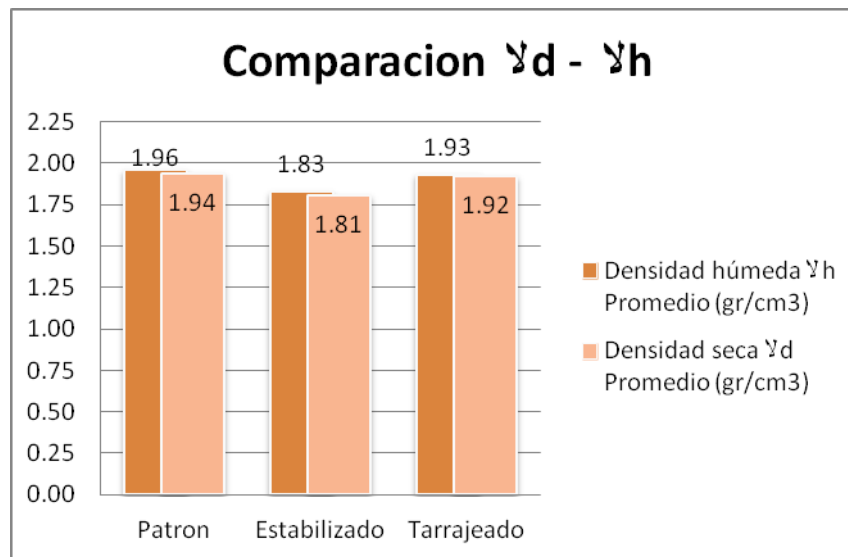
**Tabla 5.13 Índices preliminares promedio.**



**Gráfico 5.1. Porcentaje de Humedad Promedio.**

Como observamos en el *Gráfico 5.1*, existe una similitud entre porcentajes de humedad promedio de los especímenes de adobe convencional y estabilizado. En contraste, los especímenes tarrajeados presentan un porcentaje de humedad promedio de 0.6% que representa la mitad del valor observado en adobes convencionales y estabilizados, lo cual indica que tienen un mejor comportamiento en condiciones normales albergando la mitad de agua en su estructura interna; esto se debió a que la cobertura de tarrajeo fue menos susceptible a la absorción de

humedad del medio ambiente, protegiendo de la misma al núcleo de adobe convencional, el cual es doblemente vulnerable en su estado natural.



**Gráfico 5.2. Comparación entre Densidades Humedad y Secas Promedio**

En el *Gráfico 5.2* no se aprecia mayor diferencia entre las densidades, por lo que se concluye que las mejoras introducidas a los adobes convencionales no incidieron sobre la densidad tanto en estado natural como en estado seco.

### 5.3.2. Análisis de resultados de la Prueba de Succión y Absorción

En la *Tabla 5.14* y en las *Gráficas 5.3* y *5.4* se presenta los resultados promedios de las pruebas de succión y absorción para los tres tipos de especímenes ensayados.

	Succión Promedio (gr/min/200 cm <sup>2</sup> )	% Absorción Promedio en 24 Horas
Patrón	No Aplicable(*)	No Aplicable(**)
Estabilizado	80	16
Tarrajado	16	10

**Tabla 5.14 Resultados promedio de la pruebas de Succión y Absorción**

(\*) Desintegración parcial en la zona en contacto con el agua.

(\*\*) Desintegración total.

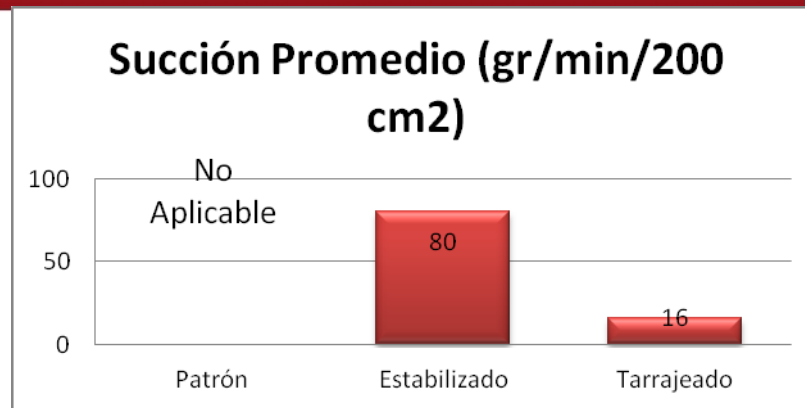


Gráfico 5.3. Succión Promedio

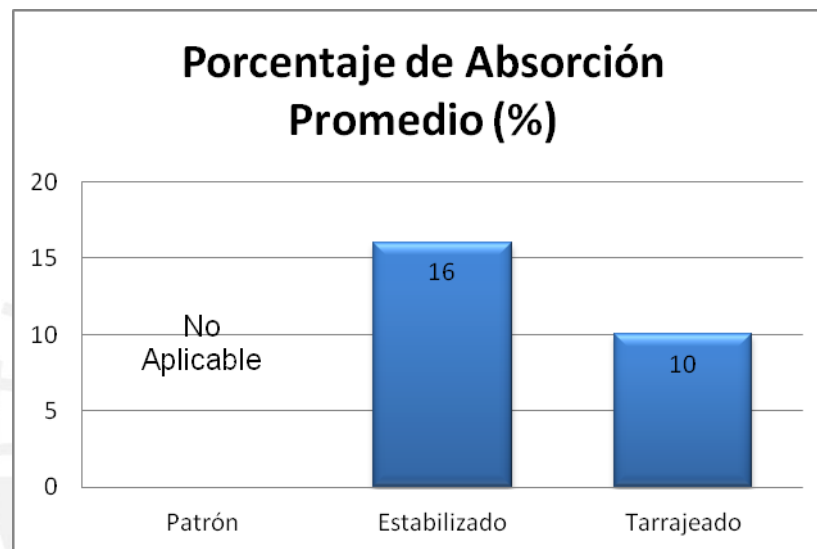
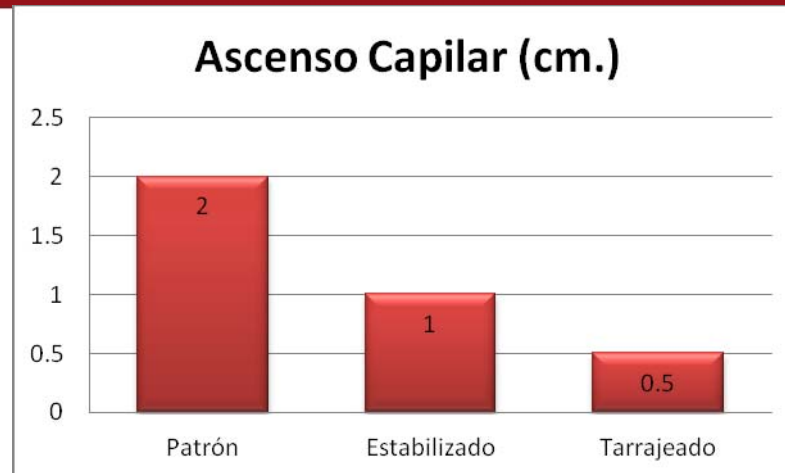


Gráfico 5.4. Porcentaje de Absorción Promedio

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 convencional no aprobó ninguno de estos ensayos y terminó desintegrándose.

### 5.3.3. Ascenso capilar en la Prueba de Succión

La capacidad de ascenso capilar de agua durante la prueba de succión para cada una de las muestras se resume en el *Gráfico 5.5* y en la *Foto 5.23*.



**Gráfico 5.5. Ascenso capilar de agua durante la prueba de succión**



**Foto 5.23. Detalle de ascenso capilar en los diferentes especímenes.**

Para un tiempo de exposición al agua de un minuto, en el *Gráfico 5.5* observamos que los adobes convencionales registraron el mayor ascenso capilar de 2 cm, siguiendo los adobes estabilizados con 1 cm de ascenso y finalmente los adobes tarrajados con apenas 0.5 cm, obteniendo una proporción de 4:2:1.

Los datos de ascenso capilar obtenidos en la prueba de succión permitirán obtener información para predecir el comportamiento de ascenso de agua durante la prueba de inundación simulada en los muros y verificar si la proporción obtenida 4:2:1 continúa o varía. En adición, permitirá definir la zona del muro a proteger.

Finalmente, podemos concluir que los adobes tarrajados presentaron un mejor desempeño al presentar el menor ascenso capilar.



### 5.3.4. Variación de las dimensiones en la Prueba de Absorción

Aproximaremos el nivel de deterioro comparando la variación de las dimensiones registradas antes y después de la prueba de absorción (*Tabla 5.15*).

	Dimensiones antes de la prueba			Dimensiones después de la Prueba		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
P1	25.7	13.3	7.3	0.0	0.0	0.0
P2	25.7	13.2	7.3	0.0	0.0	0.0
P3	26.0	12.8	7.3	0.0	0.0	0.0
E1	26.2	12.7	7.7	26.1	12.7	7.6
E2	26.2	12.7	7.7	26.1	12.7	7.7
E3	26.4	13.5	7.4	26.4	13.4	7.4
T1	28.0	16.0	10.2	Descartado		
T2	28.0	16.2	10.2	28.0	16.2	10.2
T3	27.8	16.0	10.1	27.8	16.0	10.1
T4	28.0	15.8	10.3	28.0	15.8	10.3

**Tabla 5.15. Dimensiones de los especímenes registrados antes y después de la prueba de absorción.**

Los adobes convencionales no superaron esta prueba ya que al término de la misma presentaron una desintegración total, por lo cual no se consideran en el análisis comparativo.

Los especímenes estabilizados no registraron un deterioro masivo al no existir variaciones importantes en sus dimensiones al término de la prueba. Como se observa en la *Tabla 5.15* los datos resaltados en rojo representan una variación en las dimensiones del orden de 0.1 cm, por lo cual podemos afirmar que superaron satisfactoriamente la prueba de absorción.

Los adobes tarrajeados presentaron un buen desempeño al no registrarse variación en sus dimensiones.

## 6. Ensayos de Inundación Simulada en Muros y Resultados

### 6.1. Ensayo de Inundación Simulada en Muros

Se siguieron los lineamientos estipulados en el acápite 4.3. para obtener la capilaridad y absorción de cada muro, así como su desempeño ante la inundación simulada.

### 6.2. Inundación Simulada en el Muro Patrón MP

El ensayo se inició el 23/08/2010 a las 2:30 pm (*Fotos 6.1 y 6.2*) y concluyó con el colapso del muro MP a las 2:50 pm del mismo día, durando un total de 20 minutos, desmoronándose la base y produciéndose el volteo del muro en el sentido perpendicular a su plano.

El muro MP no resistió el Periodo Corto de Inundación (PCI), estipulado en este proyecto en 72 horas, por lo que se considera que el muro MP no resistió al ensayo de inundación.



Foto 6.1. Preparación del Ensayo de Inundación en Muro Patrón, nótase que se usaron baldes para verter un volumen conocido.



Foto 6.2. Inicio del Ensayo de Inundación en Muro Patrón, 2:30 pm del 23/08/2010.

Iniciada la inundación, se observó una turbidez en el agua atribuible a la pronta desintegración de los adobes convencionales y juntas del muro (*Foto 6.3*). Para cuando el canal ya se encontraba lleno de agua, se formó una capa de espuma alrededor del perímetro del muro debido a la gran cantidad de aire que se encontraba en los poros de las unidades y que fue liberado instantáneamente por la desintegración del muro MP.



**Foto 6.3.** Primeros 5 minutos del Ensayo de Inundación del Muro Patrón MP, se aprecia una densa turbidez y espuma en el agua.

Transcurridos 20 minutos de iniciada la prueba de inundación simulada, el muro de adobes convencionales MP, no resistió la acción erosiva del agua, desintegrándose por completo en una altura de 30 cm desde la base, produciéndose el volteo perpendicular a su plano en una forma frágil de falla. Se recogieron los restos del muro al interior del canal en U evidenciando su avanzado estado de desintegración y nula capacidad portante (*Foto 6.4*).



**Foto 6.4.** Volcadura del muro patrón ante el ensayo de inundación. Nótese el estado de los adobes luego de 20 minutos de someterse a inundación.



Los datos que se tomaron en el ensayo del Muro Patrón fueron los siguientes:

**Muro Patrón MP**

**Fecha de inicio: 23/08/2010**

Fecha	Hora	Nº horas transcurridas	Niveles Topográficos Ascenso por capilaridad (cm)	Mira Invertida Descenso por Absorción (cm)
23/08/2010	14:30	0.00	0	0
23/08/2010	14:50	0.33	1	2

**Tabla 6.1. Datos tomados durante el ensayo de inundación del Muro Patrón.**

### 6.2.1. Gráficas de capilaridad en el Muro Patrón.

En el acápite 4.3, se especificó que durante el PCI se graficarían las mediciones tomadas cada hora y puesto que el ensayo de inundación en el Muro Patrón duró 20 minutos no se realizó ninguna gráfica que presente el ascenso de agua por capilaridad.

### 6.2.2. Gráficas de absorción en el Muro Patrón

Puesto que el ensayo de inundación en el Muro Patrón MP duró 20 minutos no se realizó ninguna gráfica que presente la absorción.

### 6.3. Inundación simulada en el Muro Estabilizado ME

El ensayo se inició el 24/08/2010 a las 9:00 am (*Fotos 6.5 y 6.6*) y concluyó con el muro en pie transcurridos 17 días el 10/09/2010, para luego proceder a su demolición manualmente el 13/09/2010.



**Foto 6.5. Preparación del ensayo de inundación en Muro Estabilizado ME, nótese las primeras 6 hiladas hechas de adobe estabilizado fácilmente reconocible por su color más claro.**



Foto 6.6. Inicio del ensayo de inundación en Muro Estabilizado ME, 09:00 am del 24/08/2010.

Durante las primeras 24 horas de inundación, el muro expulsó burbujas propias del proceso de saturación de poros hasta estabilizarse el segundo día de ensayo (Foto 6.7). Durante este tiempo se notó como algunos bordes de las primeras hiladas de adobe se desmoronaban, sin embargo esto no incidió en la estabilidad general del muro.



Foto 6.7. Primeros 5 minutos del Ensayo de Inundación del Muro Estabilizado ME.

El muro ME se mantuvo en pie durante el Periodo Corto (PCI) y Prolongado de Inundación (PPI), por lo que se considera que resistió satisfactoriamente el ensayo de inundación simulada (Fotos 6.8 y 6.9).



Foto 6.8. Día 3 del ensayo de inundación del Muro Estabilizado ME; se aprecia un ascenso por capilaridad de 2 1/2 hiladas.





**Foto 6.9.** Día 16 del ensayo de inundación en Muro Estabilizado ME; se aprecia ascenso por capilaridad por encima del nivel de 6 hiladas, 3 de las cuales son de adobes convencionales.

Culminado el ensayo se procedió a desaguar el canal para la demolición del muro. Durante la demolición se fue avanzando desde la parte superior del muro picando las juntas y retirando las unidades manualmente. Se numeraron las hiladas de abajo hacia arriba y cada 2 hiladas se tomó una muestra representativa para partirlas por la mitad y analizar su consistencia y nivel de saturación del núcleo (*Foto 6.10*). Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Desde la hilada 16 hasta la hilada 10 se encontraron adobes convencionales muy estables y con núcleo seco (*Foto 6.11*).
- La hilada 9 tenía adobes convencionales muy estables pero con el núcleo parcialmente saturado (*Foto 6.12*).
- Desde la hilada 8 hasta la hilada 6 (adobes convencionales) y desde la hilada 6 hasta la hilada 3 (adobes estabilizados con 5% de cemento) se encontraron adobes parcialmente estables y saturados (*Foto 6.13*).
- Las primeras 3 hiladas tenían adobes estabilizados parcialmente estables y con núcleos saturados (*Foto 6.14*).



**Foto 6.10.** Fin del Ensayo de Inundación para el Muro Estabilizado ME, demolición manual.



Foto 6.11. Hilada 11 ME. Núcleo estable sin presencia de humedad.



Foto 6.12. Hilada 09 ME núcleo con evidencia inicial de humedad.



Foto 6.13. Hilada 03 ME. Núcleo parcialmente saturado.



Foto 6.14. Base del Muro Estabilizado terminado el ensayo de inundación. A pesar de que se apreció desgaste en algunas juntas, los adobes estaban parcialmente estables y se podían extraer manualmente sin que se fracturen.

Los datos recolectados de la prueba de inundación simulada del Muro Estabilizado ME, se presentan en la *Tabla 6.2*.

### Periodo Corto de Inundación (PCI) en el muro ME:

Muro Estabilizado ME

Fecha de inicio: 24/08/2010

Fecha de fin: 27/08/2010

Fecha	Hora	Nº horas transcurridas	Niveles Topográficos Ascenso por capilaridad (cm)	Mira Invertida Descenso por Absorción (cm)	Observación
24/08/2010	09:00	0.00	0.0	3.5	<i>Inicio</i>
24/08/2010	10:00	1.00	5.0	6.5	
24/08/2010	11:00	2.00	6.3	6.8	
24/08/2010	12:00	3.00	7.5	7.0	
24/08/2010	13:00	4.00	8.5	7.1	
24/08/2010	14:00	5.00	9.5	7.2	
24/08/2010	15:00	6.00	10.5	7.3	
24/08/2010	16:00	7.00	11.5	7.4	
24/08/2010	17:00	8.00	12.5	7.5	
25/08/2010	09:00	24.00	20.5	8.0	<i>Transcurridas 24 horas se repusieron 25 litros.</i>
25/08/2010	09:00	24.00	20.5	4.0	
25/08/2010	10:00	25.00	21.0	4.0	
25/08/2010	11:00	26.00	21.5	4.1	
25/08/2010	12:00	27.00	22.0	4.2	
25/08/2010	13:00	28.00	22.5	4.3	
25/08/2010	14:00	29.00	23.0	4.4	
25/08/2010	15:00	30.00	23.5	4.5	
25/08/2010	16:00	31.00	23.8	4.6	
25/08/2010	17:00	32.00	24.0	4.7	
26/08/2010	09:00	48.00	28.5	5.5	<i>Transcurridas 48 horas se repusieron 10 litros</i>
26/08/2010	09:00	48.00	28.5	3.8	
26/08/2010	10:00	49.00	28.5	3.8	
26/08/2010	11:00	50.00	29.5	3.8	
26/08/2010	12:00	51.00	30.5	3.8	
26/08/2010	13:00	52.00	31.5	3.9	
26/08/2010	14:00	53.00	32.0	3.9	
26/08/2010	15:00	54.00	32.5	4.0	
26/08/2010	16:00	55.00	32.5	4.0	
26/08/2010	17:00	56.00	32.5	4.0	
27/08/2010	09:00	72.00	36.0	4.6	<i>Transcurridas 72 horas se repusieron 5 litros.</i>
27/08/2010	09:00	72.00	36.0	3.8	

Tabla 6.2. Datos tomados durante el PCI del Ensayo de Inundación del Muro Estabilizado ME.

Para determinar la absorción de agua en volumen, se calculó que para aumentar 1 cm de altura del canal era necesario verter 5.88 litros. En base a los datos tomados en la *Tabla 6.2* se calcularon los datos de la *Tabla 6.3*:

Tiempo transcurrido (horas)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
0.00		0.00	0.00
1.00	3.00	17.65	17.65
2.00	0.30	1.76	19.41
3.00	0.20	1.18	20.59
4.00	0.10	0.59	21.18
5.00	0.10	0.59	21.76
6.00	0.10	0.59	22.35
7.00	0.10	0.59	22.94
8.00	0.10	0.59	23.53
9.00	0.03	0.18	23.71
10.00	0.03	0.18	23.90
11.00	0.03	0.18	24.08
12.00	0.03	0.18	24.26
13.00	0.03	0.18	24.45
14.00	0.03	0.18	24.63
15.00	0.03	0.18	24.82
16.00	0.03	0.18	25.00
17.00	0.03	0.18	25.18
18.00	0.03	0.18	25.37
19.00	0.03	0.18	25.55
20.00	0.03	0.18	25.74
21.00	0.03	0.18	25.92
22.00	0.03	0.18	26.10
23.00	0.03	0.18	26.29
24.00	0.03	0.18	26.47

Tiempo transcurrido (horas)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
25.00	0.00	0.00	26.47
26.00	0.10	0.59	27.06
27.00	0.10	0.59	27.65
28.00	0.10	0.59	28.24
29.00	0.10	0.59	28.82
30.00	0.10	0.59	29.41
31.00	0.10	0.59	30.00
32.00	0.10	0.59	30.59
33.00	0.05	0.29	30.88
34.00	0.05	0.29	31.18
35.00	0.05	0.29	31.47
36.00	0.05	0.29	31.76
37.00	0.05	0.29	32.06
38.00	0.05	0.29	32.35
39.00	0.05	0.29	32.65
40.00	0.05	0.29	32.94
41.00	0.05	0.29	33.24
42.00	0.05	0.29	33.53
43.00	0.05	0.29	33.82
44.00	0.05	0.29	34.12
45.00	0.05	0.29	34.41
46.00	0.05	0.29	34.71
47.00	0.05	0.29	35.00
48.00	0.05	0.29	35.29
49.00	0.00	0.00	35.29

Tiempo transcurrido (horas)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
50.00	0.00	0.00	35.29
51.00	0.00	0.00	35.29
52.00	0.10	0.59	35.88
53.00	0.00	0.00	35.88
54.00	0.10	0.59	36.47
55.00	0.00	0.00	36.47
56.00	0.00	0.00	36.47
57.00	0.04	0.22	36.69
58.00	0.04	0.22	36.91
59.00	0.04	0.22	37.13
60.00	0.04	0.22	37.35
61.00	0.04	0.22	37.57
62.00	0.04	0.22	37.79
63.00	0.04	0.22	38.01
64.00	0.04	0.22	38.24
65.00	0.04	0.22	38.46
66.00	0.04	0.22	38.68
67.00	0.04	0.22	38.90
68.00	0.04	0.22	39.12
69.00	0.04	0.22	39.34
70.00	0.04	0.22	39.56
71.00	0.04	0.22	39.78
72.00	0.04	0.22	40.00

**Tabla 6.3. Datos calculados para el PCI del Ensayo de Inundación de Muro Estabilizado ME.**

**Periodo Prolongado de Inundación (PPI) en el muro ME:**

**Muro Estabilizado ME**

**Fecha de inicio: 27/08/2010**

**Fecha de inicio: 10/09/2010**

Fecha	Hora	Días transcurridos	Niveles Topográficos Ascenso por capilaridad (cm)	Mira Invertida Descenso por Absorción (cm)	Observación
27/08/2010	12:30	3.00	36.0	4.6	<i>Transcurridas 72 horas se repusieron 5 litros.</i>
27/08/2010	12:30	3.00	36.0	3.8	
28/08/2010	12:30	4.00	38.2	4.4	
29/08/2010	12:30	5.00	40.4	5.0	
30/08/2010	12:30	6.00	42.6	5.6	
31/08/2010	12:30	7.00	44.9	6.3	
01/09/2010	12:30	8.00	47.1	6.9	
02/09/2010	12:30	9.00	49.3	7.5	
03/09/2010	12:30	10.00	51.5	8.1	<i>Transcurrida 1 semana se repusieron 25 litros.</i>
03/09/2010	12:30	10.00	51.5	3.5	
04/09/2010	12:30	11.00	52.2	4.3	
05/09/2010	12:30	12.00	52.8	5.2	
06/09/2010	12:30	13.00	53.5	6.0	
07/09/2010	12:30	14.00	55.5	6.4	
08/09/2010	12:30	15.00	57.5	6.8	
09/09/2010	12:30	16.00	58.5	7.3	
10/09/2010	12:30	17.00	58.5	8.2	<i>Fin del ensayo</i>

**Tabla 6.4 Datos tomados para el PPI del Ensayo de Inundación del Muro Estabilizado ME.**

De la misma manera que para el PCI, se calcularon los datos en función del volumen presentados en la *Tabla 6.5*.

Tiempo transcurrido (días)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)	Tiempo transcurrido (días)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
0.00	0	0.00	0.00	9.00	0.61	3.61	61.68
1.00	4.50	26.47	26.47	10.00	0.61	3.61	65.29
2.00	1.50	8.82	35.29	11.00	0.83	4.90	70.20
3.00	0.80	4.71	40.00	12.00	0.83	4.90	75.10
4.00	0.61	3.61	43.61	13.00	0.83	4.90	80.00
5.00	0.61	3.61	47.23	14.00	0.40	2.35	82.35
6.00	0.61	3.61	50.84	15.00	0.40	2.35	84.71
7.00	0.61	3.61	54.45	16.00	0.50	2.94	87.65
8.00	0.61	3.61	58.07	17.00	0.90	5.29	92.94

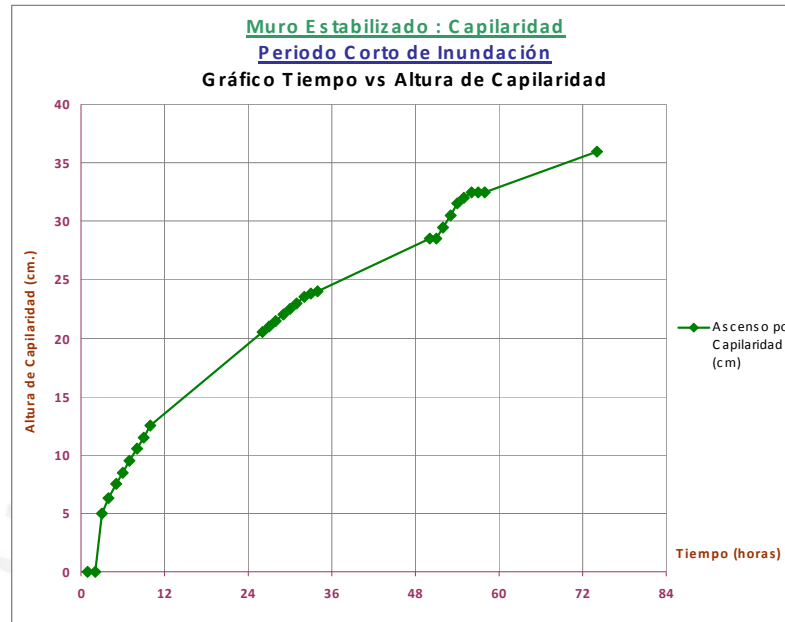
**Tabla 6.5. Datos calculados para el PPI del Ensayo de Inundación del Muro Estabilizado ME.**



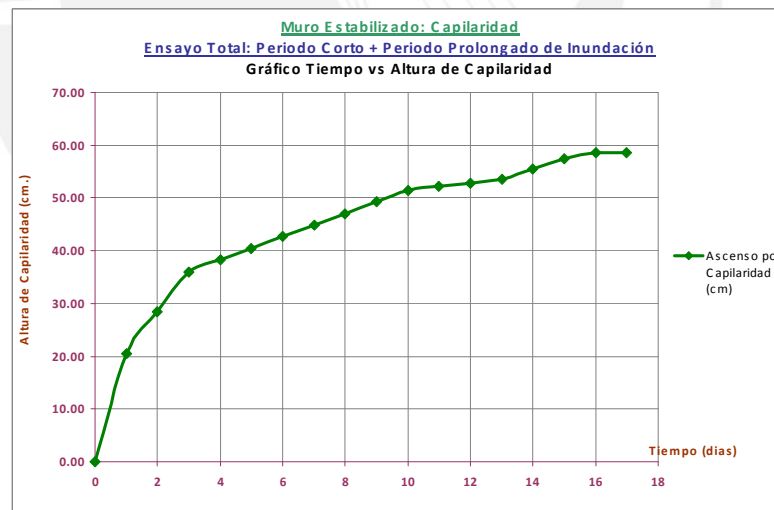
### 6.3.1. Gráficas de Capilaridad en el Muro Estabilizado ME

Para presentar las gráficas de capilaridad se seguirá el siguiente orden:

- Gráfica del Periodo Corto de Inundación.
- Gráfica del Ensayo Completo.



Gráfica 6.1. Capilaridad durante el PCI para el Muro Estabilizado ME.

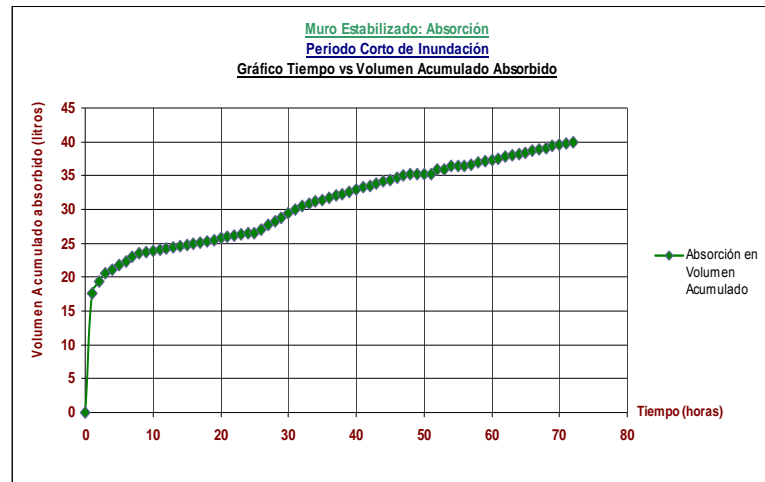


Gráfica 6.2. Capilaridad durante el Ensayo Completo para el Muro Estabilizado ME.

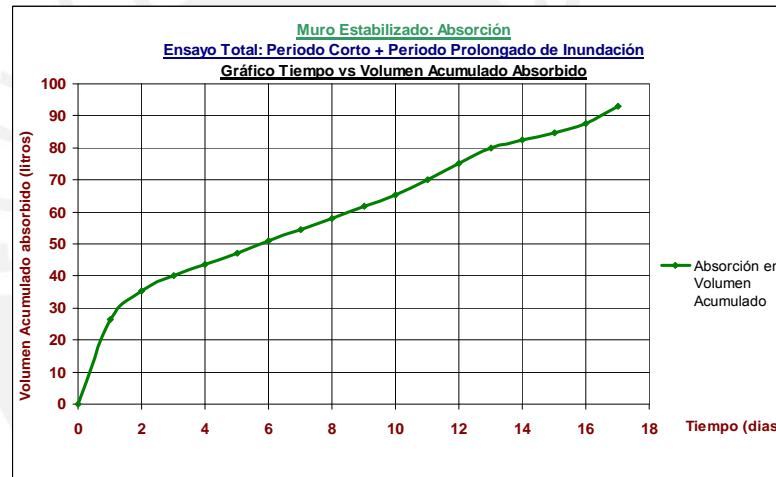
### 6.3.2 Gráficas de Absorción en el Muro Estabilizado ME

Para presentar las gráficas de Absorción se seguirá el siguiente orden:

- Gráfica del Periodo Corto en Volumen Acumulado.
- Gráfica del Ensayo Completo en Volumen Acumulado.



Gráfica 6.3. Volumen de agua Acumulada Absorbida durante el PCI para el Ensayo de Inundación en el Muro Estabilizado ME.



Gráfica 6.4. Volumen de agua Acumulada Absorbida durante el Ensayo Completo de Inundación del Muro Estabilizado ME.

### 6.4. Inundación en el Muro Tarrajado MT

El ensayo se inició el 25/08/2010 a las 11:30 am (Foto 6.15) y concluyó el 11/09/2010, 17 días después con el muro en pie para luego ser demolido manualmente el día 13/09/2010.



Foto 6.15. Inicio del Ensayo de Inundación en Muro Tarrajado MT, 11:30 am del 25/08/2010.

Durante las primeras horas de inundado, 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 desperdicios que evidenciarían el deterioro del tarrajeo (Fotos 6.16).



Foto 6.16. Ensayo de Inundación en Muro Tarrajado MT, se aprecia la claridad y transparencia del agua.

El muro se mantuvo en pie durante el Periodo Corto y Prolongado de Inundación por lo que se considera que resistió satisfactoriamente el ensayo de inundación simulada (Fotos 6.17 y 6.18).



Foto 6.17. Día 3 del Ensayo de Inundación en Muro Tarrajado, se aprecia que por encima del nivel de agua, la capilaridad ha ascendido hasta 18 cm.



**Foto 6.18.** Día 16 del Ensayo de Inundación en Muro Tarrajado MT, se aprecia el muro en pie y con un ascenso por capilaridad por encima del nivel del tarrajeo, humedeciendo adobes convencionales.

Culminado el ensayo se procedió a desaguar el canal para la demolición del muro. Durante la demolición se fue avanzando desde la parte superior del muro picando las juntas y retirando las unidades manualmente se numeraron las hiladas de abajo hacia arriba (de las cuales las 6 primeras hiladas eran tarrajeadas). Cada 2 hiladas se tomó una muestra representativa para partirlas por la mitad y analizar su consistencia y nivel de saturación del núcleo (*Foto 6.19*). Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Desde la hilada 16 hasta la hilada 8 se encontraron adobes convencionales muy estables y con núcleo seco (*Foto 6.20*).
- La hilada 7 tenía adobes convencionales muy estables pero con el núcleo parcialmente saturado (*Foto 6.21*).
- Desde la hilada 6 hasta la hilada 3 (zona tarrajada pero no inundada) los adobes convencionales se encontraron parcialmente estables y resistieron el manipuleo (*Foto 6.22*).
- Desde la hilada 3 hasta la primera hilada (zona inundada), a pesar de la rigidez aparente de la cubierta de tarrajeo, se encontraron adobes inconsistentes que se desmoronaban al manipuleo y que tenían la consistencia de un bloque de tierra compactada (*Foto 6.23*). Sin embargo, debido a la capa de tarrajeo, se consideró que el conjunto era parcialmente estable.





Foto 6.19. Fin del ensayo de Inundación para el Muro Tarrajeado MT, demolición manual.



Foto 6.20. Hilada 09 MT. Núcleo estable sin presencia de humedad.



Foto 6.21. Hilada 07 MT. Núcleo parcialmente saturado.



Foto 6.22. Hilada 05 MT. Núcleo con saturación total.



Foto 6.23. Base del Muro Tarrajeado MT terminado el ensayo de inundación. La malla fue removida.

Los datos que se tomaron en el ensayo del Muro Tarrajeado aparecen en las *Tablas 6.6* y *6.8*, mientras que la información procesada aparece en las *Tablas 6.7* y *6.9*.



**Periodo Corto de Inundación (PCI) en muro MT:**

Muro Tarrajado MT

Fecha de inicio: 25/08/2010

Fecha de fin: 25/08/9

Fecha	Hora	Nº horas transcurridas	Niveles Topográficos Ascenso por capilaridad (cm)	Mira Invertida Descenso por Absorción (cm)	Observación
25/08/2010	11:30	0.00	0.0	3.8	<i>Inicio</i>
25/08/2010	12:30	1.00	6.0	4.0	
25/08/2010	13:30	2.00	6.3	4.4	
25/08/2010	14:30	3.00	6.5	4.6	
25/08/2010	15:30	4.00	6.5	4.7	
25/08/2010	16:30	5.00	6.5	4.8	
25/08/2010	17:30	6.00	6.5	4.9	
26/08/2010	08:30	21.00	13.0	6.0	
26/08/2010	09:30	22.00	13.0	6.0	
26/08/2010	10:30	23.00	13.0	6.0	
26/08/2010	11:30	24.00	13.0	6.1	<i>Transcurridas 24 horas se repusieron 15 litros</i>
26/08/2010	11:30	24.00	13.0	3.7	
26/08/2010	12:30	25.00	13.0	3.7	
26/08/2010	13:30	26.00	13.0	3.7	
26/08/2010	14:30	27.00	13.0	3.7	
26/08/2010	15:30	28.00	13.0	3.7	
26/08/2010	16:30	29.00	13.0	3.7	
26/08/2010	17:30	30.00	13.0	3.7	
27/08/2010	08:30	45.00	18.0	4.3	
27/08/2010	09:30	46.00	18.0	4.3	
27/08/2010	10:30	47.00	18.0	4.4	
27/08/2010	11:30	48.00	18.0	4.5	<i>Transcurridas 48 horas se repusieron 5 litros</i>
27/08/2010	11:30	48.00	18.0	3.7	
27/08/2010	12:30	49.00	18.0	3.7	
27/08/2010	13:30	50.00	18.0	3.7	
27/08/2010	14:30	51.00	18.0	3.8	
27/08/2010	15:30	52.00	18.0	3.8	
27/08/2010	16:30	53.00	18.0	3.8	
27/08/2010	17:30	54.00	18.0	3.8	
28/08/2010	08:30	69.00	21.0	4.2	
28/08/2010	09:30	70.00	21.0	4.2	
28/08/2010	10:30	71.00	21.0	4.2	
28/08/2010	11:30	72.00	21.0	4.2	<i>Transcurridas 72 horas se repusieron 2 litros</i>
28/08/2010	11:30	72.00	21.0	3.8	

**Tabla 6.6. Datos tomados durante el PCI del Ensayo de Inundación del Muro Tarrajado MT.**

Para determinar la absorción de agua en volumen, se calculó que para aumentar 1 cm de altura del canal era necesario verter 6.25 litros. En base a los datos tomados en la *Tabla 6.6* se calcularon los datos de la *Tabla 6.7*.

Tiempo transcurrido (horas)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
0.00			
1.00	0.20	1.25	1.25
2.00	0.40	2.50	3.75
3.00	0.20	1.25	5.00
4.00	0.10	0.63	5.63
5.00	0.10	0.62	6.25
6.00	0.10	0.63	6.88
7.00	0.07	0.46	7.33
8.00	0.07	0.46	7.79
9.00	0.07	0.46	8.25
10.00	0.07	0.46	8.71
11.00	0.07	0.46	9.17
12.00	0.07	0.46	9.63
13.00	0.07	0.46	10.08
14.00	0.07	0.46	10.54
15.00	0.07	0.46	11.00
16.00	0.07	0.46	11.46
17.00	0.07	0.46	11.92
18.00	0.07	0.46	12.38
19.00	0.07	0.46	12.83
20.00	0.07	0.46	13.29
21.00	0.07	0.46	13.75
22.00	0.00	0.00	13.75
23.00	0.00	0.00	13.75
24.00	0.10	0.62	14.38

Tiempo transcurrido (horas)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
25.00	0.00	0.00	14.38
26.00	0.00	0.00	14.38
27.00	0.00	0.00	14.38
28.00	0.00	0.00	14.38
29.00	0.00	0.00	14.38
30.00	0.00	0.00	14.38
31.00	0.04	0.25	14.63
32.00	0.04	0.25	14.88
33.00	0.04	0.25	15.13
34.00	0.04	0.25	15.38
35.00	0.04	0.25	15.63
36.00	0.04	0.25	15.88
37.00	0.04	0.25	16.13
38.00	0.04	0.25	16.38
39.00	0.04	0.25	16.63
40.00	0.04	0.25	16.88
41.00	0.04	0.25	17.13
42.00	0.04	0.25	17.38
43.00	0.04	0.25	17.63
44.00	0.04	0.25	17.88
45.00	0.04	0.25	18.13
46.00	0.00	0.00	18.13
47.00	0.10	0.63	18.75
48.00	0.10	0.62	19.38
49.00	0.00	0.00	19.38

Tiempo transcurrido (horas)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
50.00	0.00	0.00	19.38
51.00	0.10	0.62	20.00
52.00	0.00	0.00	20.00
53.00	0.00	0.00	20.00
54.00	0.00	0.00	20.00
55.00	0.03	0.17	20.17
56.00	0.03	0.17	20.33
57.00	0.03	0.17	20.50
58.00	0.03	0.17	20.67
59.00	0.03	0.17	20.83
60.00	0.03	0.17	21.00
61.00	0.03	0.17	21.17
62.00	0.03	0.17	21.33
63.00	0.03	0.17	21.50
64.00	0.03	0.17	21.67
65.00	0.03	0.17	21.83
66.00	0.03	0.17	22.00
67.00	0.03	0.17	22.17
68.00	0.03	0.17	22.33
69.00	0.03	0.17	22.50
70.00	0.00	0.00	22.50
71.00	0.00	0.00	22.50
72.00	0.00	0.00	22.50

**Tabla 6.7. Datos calculados para el PCI del Ensayo de Inundación de Muro Tarrajado MT.**

**Periodo Prolongado de Inundación (PPI) en el muro MT:**

**Muro Tarrajeado MT**

**Fecha de inicio: 28/08/2010**

**Fecha de fin: 10/09/2010**

Fecha	Hora	Días transcurridos	Niveles Topográficos Ascenso por capilaridad (cm)	Mira Invertida Descenso por Absorción (cm)	Observación
28/08/2010	11:30	3.00	21.0	4.2	<i>Transcurridas 72 horas se repusieron 2 litros.</i>
28/08/2010	11:30	3.00	21.0	3.8	
30/08/2010	11:30	5.00	24.3	4.8	
31/08/2010	11:30	6.00	26.0	5.3	
01/09/2010	11:30	7.00	27.7	5.8	
02/09/2010	11:30	8.00	29.3	6.3	
03/09/2010	11:30	9.00	31.0	6.8	<i>Transcurrida 1 semana se repusieron 20 litros</i>
03/09/2010	11:30	9.00	31.0	3.7	
06/09/2010	11:30	12.00	35.0	5	
07/09/2010	11:30	13.00	37.0	5.1	
08/09/2010	11:30	14.00	38.0	5.3	
09/09/2010	11:30	15.00	38.0	5.8	
10/09/2010	11:30	16.00	38.0	6.2	<i>Fin del ensayo</i>

**Tabla 6.8. Datos tomados para el PPI del Ensayo de Inundación del Muro Tarrajeado MT.**

De la misma manera que para el PCI, se calcularon los datos en función del volumen (*Tabla 6.9*).

Tiempo transcurrido (días)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
0.00	0	0	0
1.00	2.30	14.38	14.38
2.00	0.80	5.00	19.38
3.00	0.50	3.13	22.50
4.00	0.50	3.13	25.63
5.00	0.50	3.13	28.75
6.00	0.50	3.13	31.88
7.00	0.50	3.13	35.00
8.00	0.50	3.13	38.13

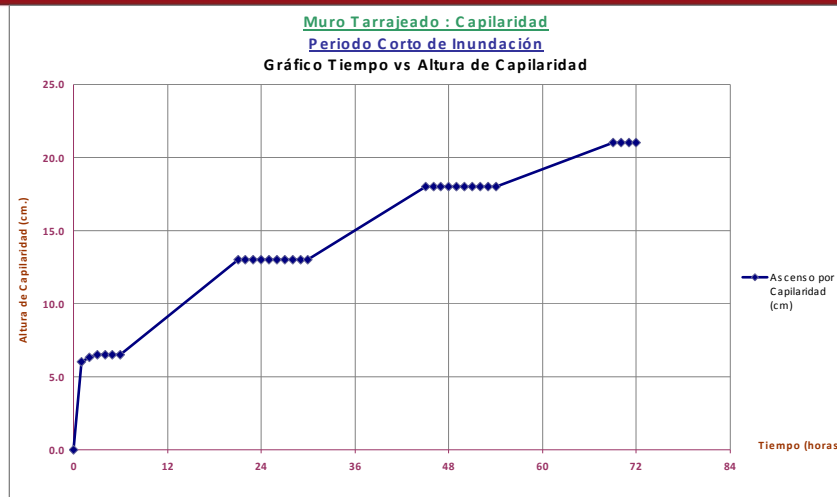
Tiempo transcurrido (días)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
9.00	0.50	3.13	41.25
10.00	0.43	2.71	43.96
11.00	0.43	2.71	46.67
12.00	0.43	2.71	49.38
13.00	0.10	0.62	50.00
14.00	0.20	1.25	51.25
15.00	0.50	3.13	54.38
16.00	0.40	2.50	56.88

**Tabla 6.9. Datos calculados para el PPI del Ensayo de Inundación del Muro Tarrajeado MT.**

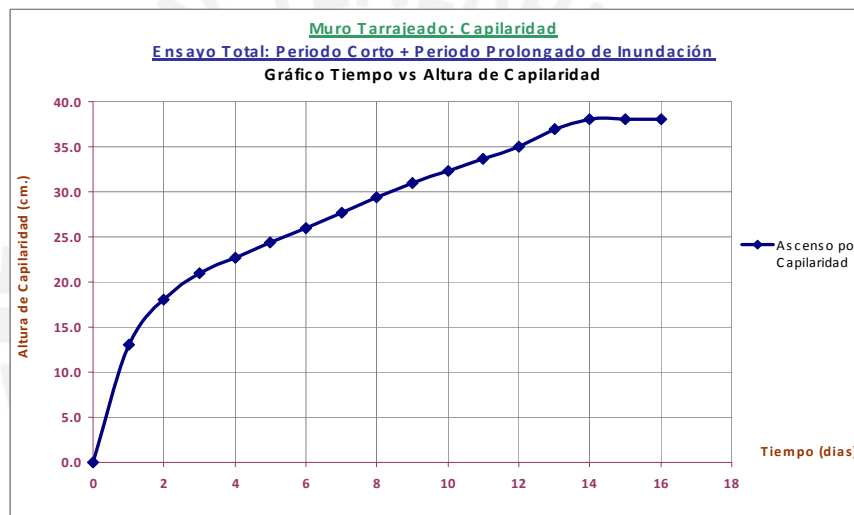
**6.4.1. Gráficas de Capilaridad en el Muro Tarrajeado MT**

Para presentar las gráficas de Capilaridad se seguirá el siguiente orden:

- Gráfica del Periodo Corto de Inundación.
- Gráfica del Ensayo Completo.



Gráfica 6.5. Capilaridad durante el PCI para el Muro Tarrajeado MT.

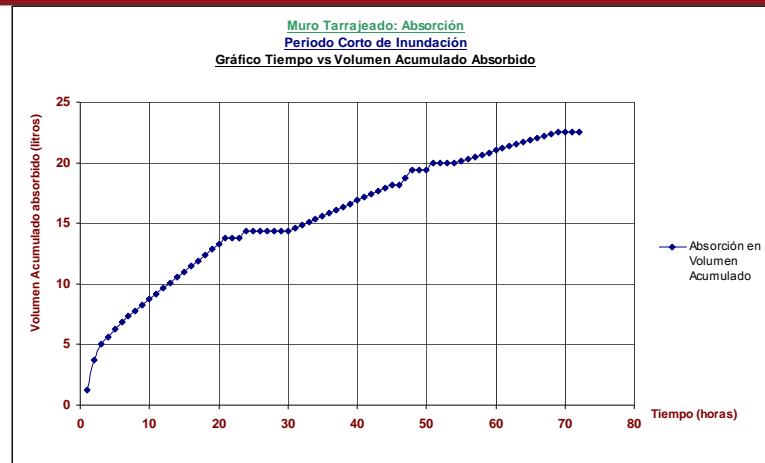


Gráfica 6.6. Capilaridad durante el Ensayo Completo para el Muro Tarrajeado MT.

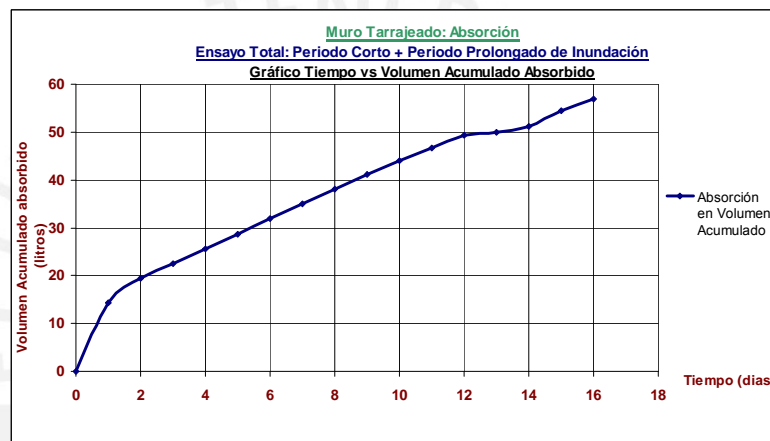
### 6.4.2 Gráficas de Absorción en el Muro Tarrajeado MT

Para presentar las gráficas de Absorción se seguirá el siguiente orden:

- Gráfica del Periodo Corto en Volumen Acumulado.
- Gráfica del Ensayo Completo en Volumen Acumulado.



Gráfica 6.7. Absorción acumulada de agua en volumen durante el PCI para el Ensayo de Inundación del Muro Tarrajado MT.



Gráfica 6.8. Volumen de agua Acumulada Absorbida durante el Ensayo Completo de Inundación del Muro Tarrajado MT.

## 6.5. Inundación Simulada en el Muro con Sobrecimiento MC

El ensayo se inició el 25/08/2010 a las 12:00 p.m (Foto 6.24) y concluyó con el muro en pie transcurridos 17 días el 11/09/2010, para luego el 13/09/2010 proceder a su demolición manual.



Foto 6.24. Preparación del Ensayo de Inundación en Muro con Sobrecimiento MC.





**Foto 6.25.** Inicio del Ensayo de Inundación en Muro con Sobrecimiento MC, 11:30 p.m. del 25/08/2010.

Durante los primeros minutos de la prueba no se apreciaron burbujas de aire, el sobrecimiento de concreto se notó menos permeable que los muros tarrajeados y estabilizados (*Foto 6.26*). Por otra parte, durante el ensayo no se notó desgaste alguno en la base de muro.



**Foto 6.26.** Ensayo de Inundación en Muro con Sobrecimiento MC.

El muro se mantuvo en pie durante el periodo corto y prolongado de inundación por lo que se considera que resistió satisfactoriamente el ensayo de inundación simulada (*Fotos 6.27 y 6.28*).



**Foto 6.27:** Día 3 del Ensayo de Inundación en Muro con Sobrecimiento MC, se aprecia un ascenso por capilaridad de unos 9 cm en el concreto.



**Foto 6.28.** Día 16 del Ensayo de Inundación en Muro con Sobrecimiento MC, se aprecia que el ascenso de agua por capilaridad se detuvo en unos 9 cm.

Culminado el ensayo se procedió a desaguar el canal para la demolición del muro. Dado que por la altura del sobrecimiento la capilaridad nunca llegó a afectar el muro, se procedió a volcar el muro completo puesto que se entiende que todos los adobes se mantuvieron secos y sin daño alguno (*Foto 6.29*).

Al inspeccionar la base de concreto se verificó su rigidez, estabilidad y la no ocurrencia de daños en la estructura de concreto simple (*Foto 6.30*).



**Foto 6.29.** Fin del Ensayo de Inundación para el Muro con Sobrecimiento MC, volteo a mano del muro de adobe.



**Foto 6.30.** Base del Muro con Sobrecimiento MC. Se aprecia que además de la coloración blanca característica de las sales del agua, el sobrecimiento se encuentra rígido, estable y sin daños.

Los datos que se tomaron en el ensayo del muro MC fueron los siguientes:

### Periodo Corto de Inundación (PCI) en el muro MC:

#### Muro Sobrecimiento MC

Fecha de inicio: 25/08/2010

Fecha de fin: 28/08/2010

Fecha	Hora	Nº horas transcurridas	Niveles Topográficos Ascenso por capilaridad (cm)	Mira Invertida Descenso por Absorción (cm)	Observación
25/08/2010	12:00	0.00	0.0	5.0	<i>Inicio</i>
25/08/2010	13:00	1.00	2.0	5.0	
25/08/2010	14:00	2.00	4.0	5.0	
25/08/2010	15:00	3.00	6.0	5.0	
25/08/2010	16:00	4.00	6.2	5.1	
25/08/2010	17:00	5.00	6.5	5.2	
26/08/2010	08:00	20.00	7.8	5.8	
26/08/2010	09:00	21.00	8.0	5.8	
26/08/2010	10:00	22.00	8.0	5.8	
26/08/2010	11:00	23.00	8.0	5.8	
26/08/2010	12:00	24.00	8.0	5.8	<i>Transcurridas 24 horas se repusieron 5 litros</i>
26/08/2010	12:00	24.00	8.0	5.0	
26/08/2010	13:00	25.00	8.0	5.0	
26/08/2010	14:00	26.00	8.0	5.0	
26/08/2010	15:00	27.00	8.0	5.0	
26/08/2010	16:00	28.00	8.0	5.0	
26/08/2010	17:00	29.00	8.0	5.0	
27/08/2010	08:00	44.00	9.0	5.4	
27/08/2010	09:00	45.00	9.0	5.4	
27/08/2010	10:00	46.00	9.0	5.4	
27/08/2010	11:00	47.00	9.0	5.4	
27/08/2010	12:00	48.00	9.0	5.4	<i>Transcurridas 48 horas se repusieron 2 litros</i>
27/08/2010	12:00	48.00	9.0	5.0	
27/08/2010	13:00	49.00	9.0	5.0	
27/08/2010	14:00	50.00	9.0	5.0	
27/08/2010	15:00	51.00	9.0	5.0	
27/08/2010	16:00	52.00	9.0	5.0	
27/08/2010	17:00	53.00	9.0	5.0	
28/08/2010	08:00	68.00	9.0	5.2	
28/08/2010	09:00	69.00	9.0	5.2	
28/08/2010	10:00	70.00	9.0	5.2	
28/08/2010	11:00	71.00	9.0	5.2	
28/08/2010	12:00	72.00	9.0	5.2	<i>Transcurridas 72 horas se repuso 1 litro</i>
28/08/2010	13:00	72.00	9.0	5.0	

Tabla 6.10. Datos tomados durante el PCI del Ensayo de Inundación del Muro con Sobrecimiento MC

Para determinar la absorción de agua en volumen, se calculó que para aumentar 1 cm de altura del canal era necesario verter 5 litros. En base a los datos tomados en la *Tabla 6.10* se calcularon los datos de la *Tabla 6.11*.

Tiempo transcurrido (horas)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
0.00	-	-	-
1.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.00	0.00	0.00
4.00	0.10	0.50	0.50
5.00	0.10	0.50	1.00
6.00	0.04	0.20	1.20
7.00	0.04	0.20	1.40
8.00	0.04	0.20	1.60
9.00	0.04	0.20	1.80
10.00	0.04	0.20	2.00
11.00	0.04	0.20	2.20
12.00	0.04	0.20	2.40
13.00	0.04	0.20	2.60
14.00	0.04	0.20	2.80
15.00	0.04	0.20	3.00
16.00	0.04	0.20	3.20
17.00	0.04	0.20	3.40
18.00	0.04	0.20	3.60
19.00	0.04	0.20	3.80
20.00	0.04	0.20	4.00
21.00	0.00	0.00	4.00
22.00	0.00	0.00	4.00
23.00	0.00	0.00	4.00
24.00	0.00	0.00	4.00
24.00	0.00	0.00	4.00

Tiempo transcurrido (horas)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
25.00	0.00	0.00	4.00
26.00	0.00	0.00	4.00
27.00	0.00	0.00	4.00
28.00	0.00	0.00	4.00
29.00	0.00	0.00	4.00
30.00	0.03	0.13	4.13
31.00	0.03	0.13	4.27
32.00	0.03	0.13	4.40
33.00	0.03	0.13	4.53
34.00	0.03	0.13	4.67
35.00	0.03	0.13	4.80
36.00	0.03	0.13	4.93
37.00	0.03	0.13	5.07
38.00	0.03	0.13	5.20
39.00	0.03	0.13	5.33
40.00	0.03	0.13	5.47
41.00	0.03	0.13	5.60
42.00	0.03	0.13	5.73
43.00	0.03	0.13	5.87
44.00	0.03	0.13	6.00
45.00	0.00	0.00	6.00
46.00	0.00	0.00	6.00
47.00	0.00	0.00	6.00
48.00	0.00	0.00	6.00
48.00	0.00	0.00	6.00
49.00	0.00	0.00	6.00

Tiempo transcurrido (horas)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
50.00	0.00	0.00	6.00
51.00	0.00	0.00	6.00
52.00	0.00	0.00	6.00
53.00	0.00	0.00	6.00
54.00	0.01	0.07	6.07
55.00	0.01	0.07	6.13
56.00	0.01	0.07	6.20
57.00	0.01	0.07	6.27
58.00	0.01	0.07	6.33
59.00	0.01	0.07	6.40
60.00	0.01	0.07	6.47
61.00	0.01	0.07	6.53
62.00	0.01	0.07	6.60
63.00	0.01	0.07	6.67
64.00	0.01	0.07	6.73
65.00	0.01	0.07	6.80
66.00	0.01	0.07	6.87
67.00	0.01	0.07	6.93
68.00	0.01	0.07	7.00
69.00	0.00	0.00	7.00
70.00	0.00	0.00	7.00
71.00	0.00	0.00	7.00
72.00	0.00	0.00	7.00

**Tabla 6.11. Datos calculados para el PCI del Ensayo de Inundación del Muro con Sobrecimiento MC.**



**Periodo Prolongado de Inundación (PPI) en el muro MC**

**Muro Sobrecimiento MC**

**Fecha de inicio: 28/08/2010**

**Fecha de inicio: 11/09/2010**

Fecha	Hora	Días transcurridos	Niveles Topográficos Ascenso por capilaridad (cm)	Mira Invertida Descenso por Absorción (cm)	Observación
28/08/2010	12:00	3.00	9	5.2	Transcurridas 72 horas se repuso 1 litro
28/08/2010	12:00	3.00	9	5.0	
31/08/2010	12:00	6.00	9	5.9	
01/09/2010	12:00	7.00	9	6.2	
02/09/2010	12:00	8.00	9	6.5	
03/09/2010	12:00	9.00	9	6.8	Transcurrida 1 semana se repusieron 10 litros
03/09/2010	12:00	9.00	9	5	
06/09/2010	12:00	12.00	9	5.5	
07/09/2010	12:00	13.00	9	5.6	
08/09/2010	12:00	14.00	9	5.7	
09/09/2010	12:00	15.00	9	6	
10/09/2010	12:00	16.00	9	6.5	Fin del ensayo

**Tabla 6.12. Datos tomados para el PPI del Ensayo de Inundación del Muro con Sobrecimiento MC.**

De la misma manera que para el PCI se calcularon los datos para tenerlos en función del volumen:

Tiempo transcurrido (días)	Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)	Incremento de Absorción en Volumen (litros)	Volumen Absorbido Acumulado (litros)
0.00	0	0	0
1.00	0.80	4.00	4.00
2.00	0.40	2.00	6.00
3.00	0.20	1.00	7.00
4.00	0.30	1.50	8.50
5.00	0.30	1.50	10.00
6.00	0.30	1.50	11.50
7.00	0.30	1.50	13.00
8.00	0.30	1.50	14.50
9.00	0.30	1.50	16.00
10.00	0.17	0.83	16.83
11.00	0.17	0.83	17.67
12.00	0.17	0.83	18.50
13.00	0.10	0.50	19.00
14.00	0.10	0.50	19.50
15.00	0.30	1.50	21.00
16.00	0.50	2.50	23.50

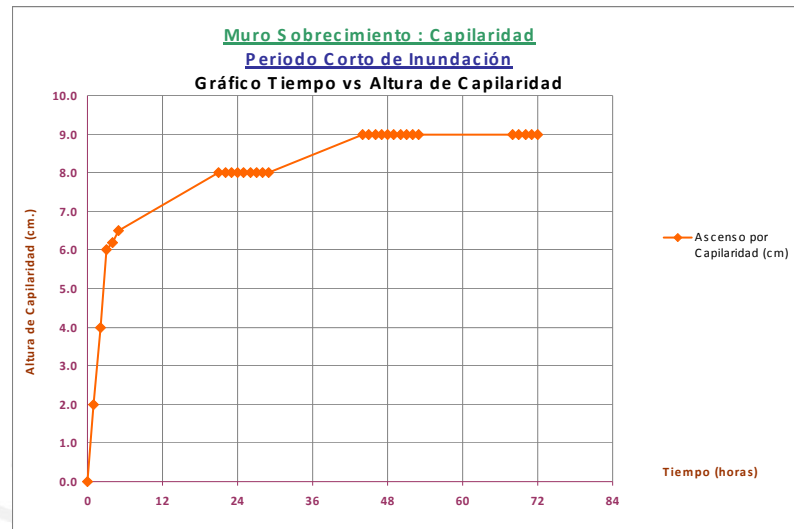
**Tabla 6.13. Datos calculados para el PPI del Ensayo de Inundación del Muro con Sobrecimiento MC.**



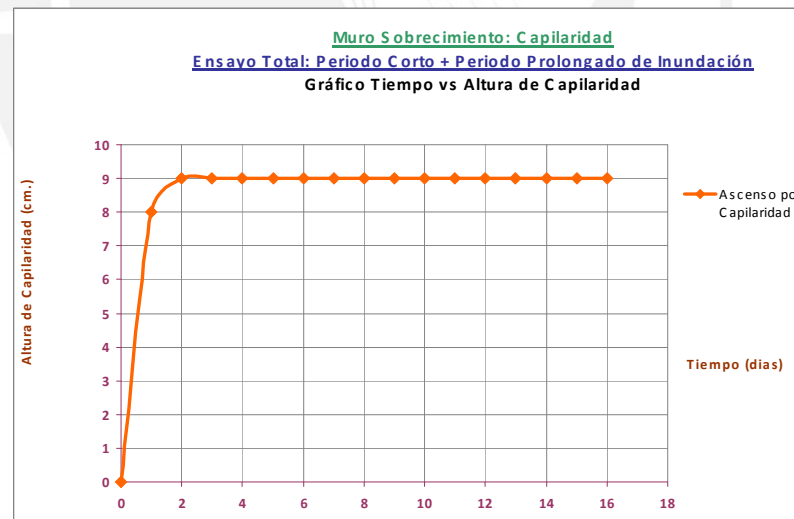
### 6.5.1. Gráficas de Capilaridad en el Muro con Sobrecimiento MC

Para presentar las gráficas de capilaridad se seguirá el siguiente orden:

- Gráfica del Periodo Corto de Inundación.
- Gráfica del Ensayo Completo.



Gráfica 6.9. Capilaridad durante el PCI para el Muro con Sobrecimiento MC.

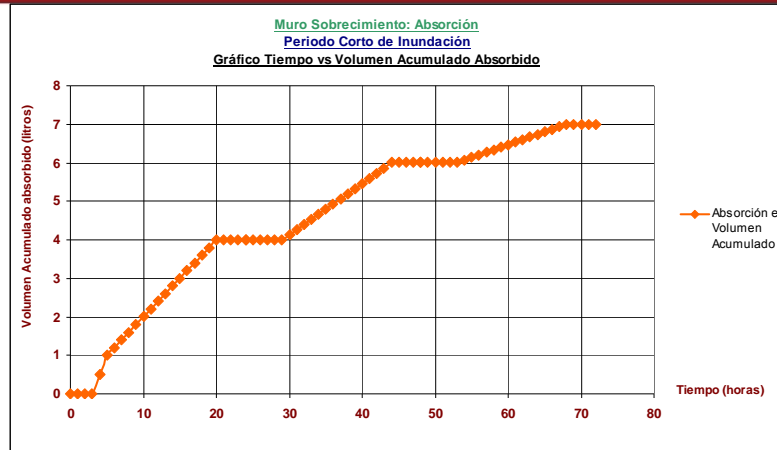


Gráfica 6.10. Capilaridad durante el Ensayo Completo para el Muro con Sobrecimiento MC.

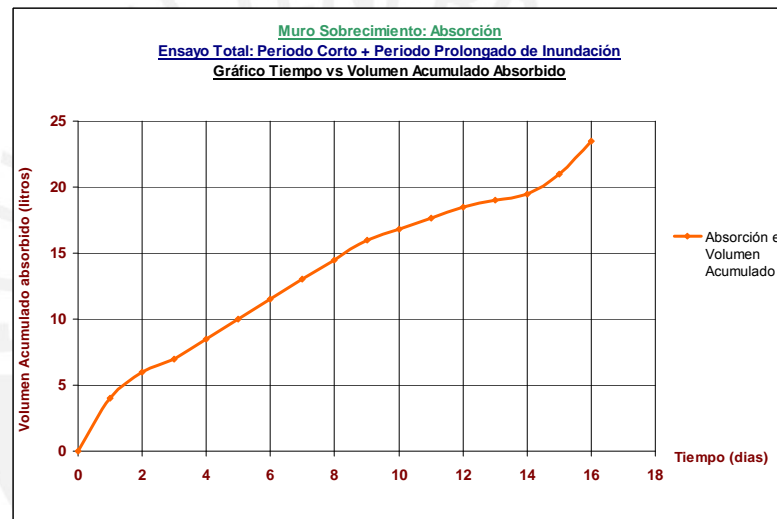
### 6.5.2 Gráficas de Absorción en el Muro con Sobrecimiento MC

Para presentar las gráficas de absorción se seguirá el siguiente orden:

- Gráfica del Periodo Corto en Volumen Acumulado.
- Gráfica del Ensayo Completo en Volumen Acumulado.



Gráfica 6.11. Volumen Absorbido Acumulado para el PCI del Ensayo de Inundación del Muro con Sobrecimiento MC.



Gráfica 6.12. Volumen Acumulado Absorbido durante el Ensayo Completo de Inundación del Muro con Sobrecimiento MC.

## 7. Interpretación de Resultados y Análisis de Costos

### 7.1. Comparación de resultados del ensayo de inundación para los 4 muros

Dado que el Muro Patrón MP no resistió el ensayo de inundación simulada, solo se compararán los 3 muros restantes. Para esto se elaborarán las siguientes gráficas en función de las gráficas presentadas en el *Capítulo 6* para cada muro:

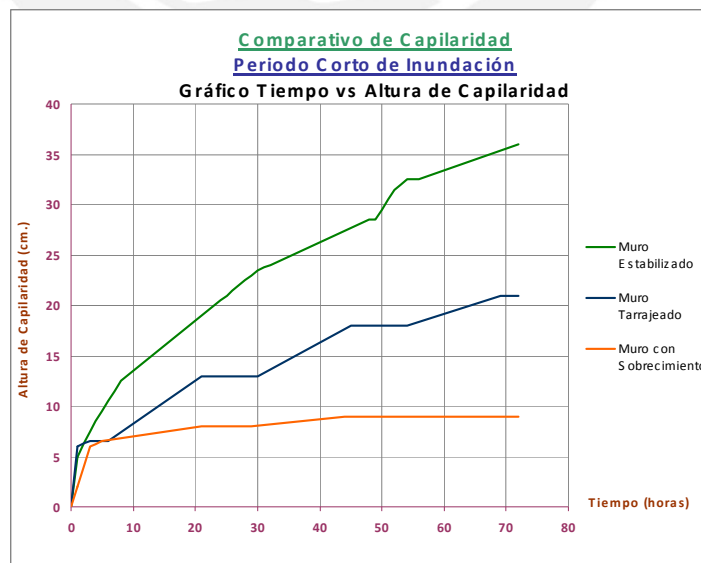
- Comparativo de gráficas de capilaridad durante el Periodo Corto de Inundación.
- Comparativo de gráficas de capilaridad durante el Ensayo Total.
- Comparativo de gráficas de absorción acumulada durante el Periodo Corto de Inundación.
- Comparativo de gráficas de absorción acumulada durante el Ensayo Total.

Para cuantificar la integridad de los muros, se realizará una comparación usando los siguientes criterios:

- Estabilidad de los muros durante el ensayo.
- Solidez de las bases inundadas al terminar el ensayo.

A continuación se comparan las gráficas para los tres métodos de mejora:

#### 7.1.1. Comparativo de gráficas de capilaridad durante el Periodo Corto de Inundación (PCI)

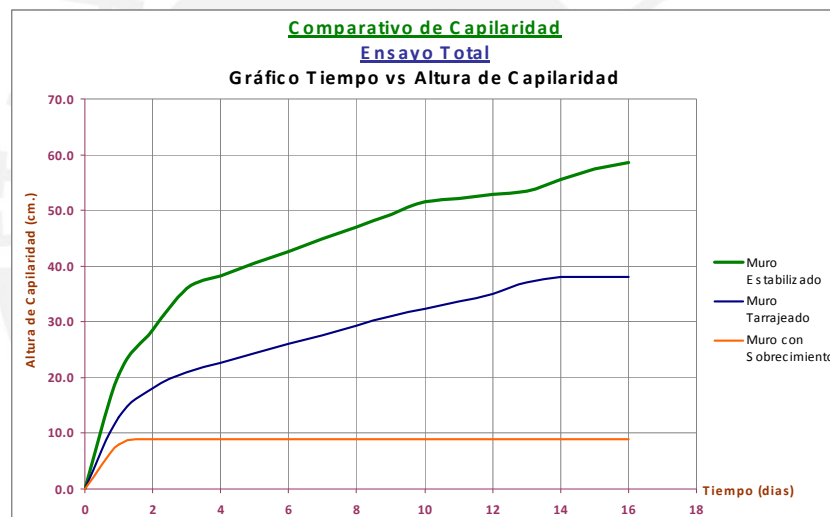


Gráfica 7.1: Comparativo entre capilaridades durante las primeras 72 horas.

Como se aprecia en la *Gráfica 7.1*, 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. Sin embargo, puede apreciarse que la solución sobrecimiento de concreto simple supera a la de tarrajeo y ésta a su vez a la de adobe estabilizado.

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 Estabilizado, Tarrajeado y con Sobrecimiento son: 38, 21 y 9 cm respectivamente, por lo que estarían en relación de 4:2:1 (Estabilizado: Tarrajeado: Sobrecimiento).

### 7.1.2. Comparativo de gráficas de capilaridad durante el Ensayo Total (PPI)



**Gráfica 7.2. Comparativo entre capilaridades durante los 16 días de Ensayo.**

Para comparar las capilaridades durante el Ensayo Total se usó el resultado final a 16 días, obteniendo que las capilaridades de los muros Estabilizado, Tarrajeado y con Sobrecimiento son: 58.5, 38 y 9 cm, respectivamente, por lo que estarían en relación de 6.5:4:1 (Estabilizado: Tarrajeado: Sobrecimiento).

A pesar de que las proporciones han crecido (debido a que la capilaridad en el Muro con Sobrecimiento se detuvo luego de las primeras 48 horas), se aprecia que la diferencia entre el Muro Estabilizado y el Muro Tarrajeado se ha mantenido a lo largo del periodo prolongado de inundación, por lo que la relación de la capilaridad

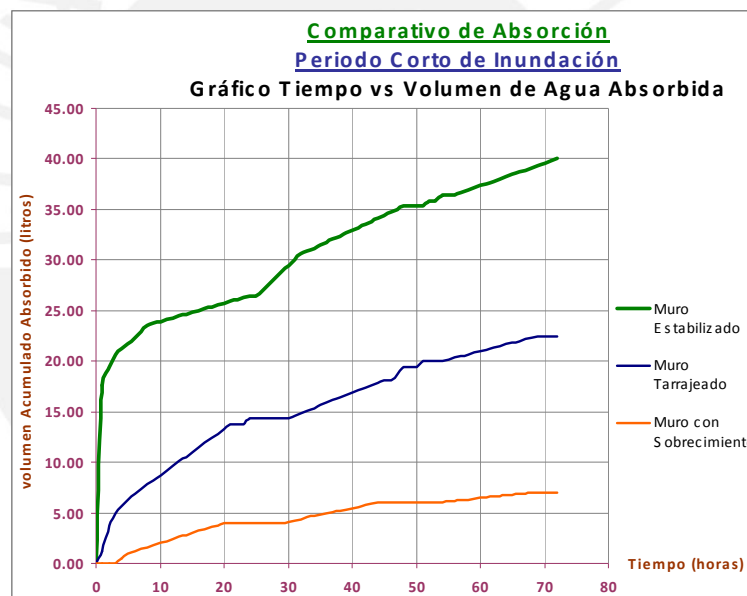
entre el Muro Estabilizado y el Muro Tarrajeado es casi constante oscilando entre 1.5 y 1.8, siempre a favor del muro tarrajeado.

Como resultado de las gráficas de capilaridad concluimos lo siguiente:

-La diferencia entre la capilaridad del Muro Estabilizado y del Muro Tarrajeado se mantiene constante, a lo largo del ensayo. Se obtuvo que el Muro Estabilizado sufre 1.65 veces más ascenso capilar que el Muro Tarrajeado.

-La capilaridad en el Muro con Sobrecimiento se detuvo a las 48 horas y al final del ensayo terminó siendo 6.5 y 4 veces menor que la de los Muros Estabilizado y Tarrajeado, respectivamente.

### 7.1.3. Comparativo de gráficas de absorción acumulada durante el Periodo Corto de Inundación (PCI)



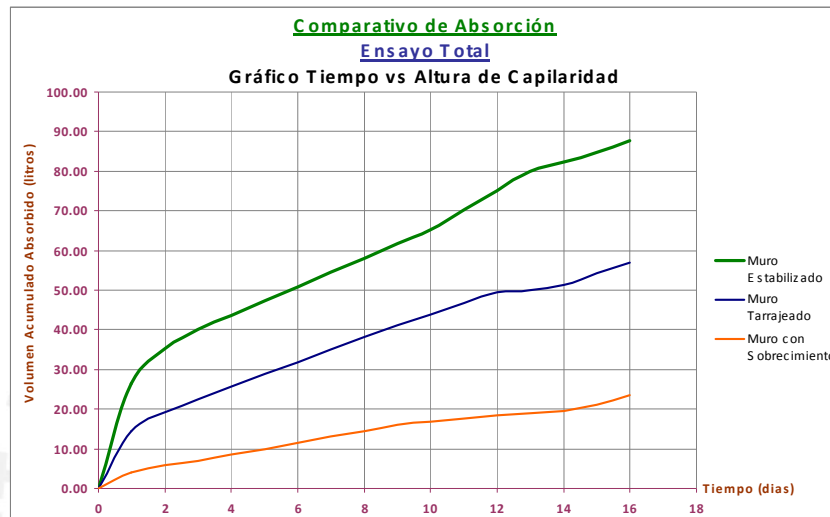
**Gráfica 7.3. Comparativo entre absorción durante las primeras 72 horas.**

Al igual que en las gráficas de capilaridad, los volúmenes de absorción difieren entre los 3 muros. Los datos obtenidos poseen tendencias lineales y curvas por lo que no se realizó aproximaciones a líneas de tendencias conocidas, sin embargo, se observó que el muro con sobrecimiento superó al muro tarrajeado y este a su vez fue mejor que el muro estabilizado.



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 Estabilizado, Tarrajeado y con Sobrecimiento son de 40, 22.5 y 7 litros respectivamente, por lo que estarían en relación de 6:3:1 (Estabilizado: Tarrajeado: Sobrecimiento).

#### 7.1.4. Comparativo de gráficas de absorción acumulada durante el Ensayo Total (PPI)



Gráfica 7.4. Comparativo entre absorción durante los 16 días de Ensayo.

El resultado final en 16 días de inundación, registró una absorción en los muros Estabilizado, Tarrajeado y con Sobrecimiento de 92.9, 56.8 y 23.5 litros, respectivamente.

Revisando la *Gráfica 7.4* se visualiza que el fenómeno de absorción no se detiene para ninguno de los muros, sino que las diferencias entre los 3 muros se van acrecentando, con tendencias a una pendiente lineal.

Si sólo nos enfocamos en el Periodo Prolongado de Inundación, y basándonos en los puntos de inicio y final, las pendientes lineales de las 3 gráficas son:

- Muro Estabilizado:  $(92.94-40)/(16-3) = 4.07$  litros/día
- Muro Tarrajeado:  $(56.88-22.5)/(16-3) = 2.64$  litros/día
- Muro con Sobrecimiento:  $(23.5-7)/(16-3) = 1.27$  litros/día

Por lo que las pendientes en dicho periodo estarían en relación de 3:2:1 (Estabilizado: Tarrajeado: Sobrecimiento).

Como resultado de las gráficas de absorción concluimos lo siguiente:

-Durante las primeras 72 horas de inundación (PCI), las absorciones de los 3 muros crecen de manera distinta hasta llegar a un punto de inflexión; donde, en la exposición prolongada (PPI), los 3 trazos presentan pendientes lineales, favorables al muro con sobrecimiento, luego al muro tarrajeado y finalmente al muro estabilizado.

-Desde el día 3 al día 16 se pueden apreciar pendientes lineales, por lo que se puede inferir que las absorciones estarían en la relación de 3:2:1 para los Muros Estabilizado, Tarrajeado y con Sobrecimiento, respectivamente.

## 7.2. Comparación de Costo - Resultado entre los 4 métodos usados

### 7.2.1 Análisis de Costos Unitarios

Con la finalidad de poder comparar los costos de los 4 métodos empleados en los ensayos de inundación simulada en muros, se realizó el análisis de costos unitarios para todas las partidas implicadas en cada método. Los precios unitarios utilizados en cada una de las partidas se detallan en el *Anexo 1 – Análisis de Precios Unitarios*. Los resultados se muestran a continuación:

**Tabla 7.1 Análisis de Costo unitario del Muro Patrón MP**

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (S/.)	Parcial (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
1.00.00	Muro Patrón MP					77.65
1.01.00	Adobes Convencionales	m2	2.48	31.37	77.65	
<b>Costo Directo</b>					<b>S/.</b>	<b>77.65</b>
<b>Área del muro MP</b>					<b>m<sup>2</sup></b>	<b>2.48</b>
<b>Costo Unitario muro MP</b>					<b>Soles/m<sup>2</sup></b>	<b>31.37</b>

Tabla 7.2 Análisis de Costo unitario del Muro Estabilizado ME

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (S/.)	Parcial (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
<b>1.00.00</b>	<b>Muro Estabilizado ME</b>					<b>89.16</b>
1.01.00	Adobes Convencionales	m2	1.49	31.37	46.59	
1.01.01	Adobes Estabilizados	m2	0.99	43.04	42.57	
<b>Costo Directo</b>					<b>S/.</b>	<b>89.16</b>
<b>Área del muro MT</b>					<b>m<sup>2</sup></b>	<b>2.48</b>
<b>Costo Unitario muro MT</b>					<b>Soles/m<sup>2</sup></b>	<b>36.02</b>

Tabla 7.3 Análisis de Costo unitario del Muro Tarrajado MT

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (S/.)	Parcial (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
<b>1.00.00</b>	<b>Muro Tarrajado MT</b>					<b>109.46</b>
1.01.00	Adobes Convencionales	m2	2.48	31.37	77.65	
1.01.01	Tarrajeo	m2	2.14	14.89	31.81	
<b>Costo Directo</b>					<b>S/.</b>	<b>109.46</b>
<b>Área del muro MT</b>					<b>m<sup>2</sup></b>	<b>2.48</b>
<b>Costo Unitario muro MT</b>					<b>Soles/m<sup>2</sup></b>	<b>44.23</b>

Tabla 7.4 Análisis de Costo unitario del Muro con Sobrecimiento MC

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (S/.)	Parcial (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
<b>1.00.00</b>	<b>Muro con Sobrecimiento MC</b>					<b>145.26</b>
1.01.00	Adobes Convencionales	m2	1.49	31.37	77.65	
1.01.01	Encofrado	m2	2.14	26.39	56.37	
1.01.02	Concreto simple	m3	0.13	328.65	42.30	
<b>Costo Directo</b>					<b>S/.</b>	<b>145.26</b>
<b>Área del muro MC</b>					<b>m2</b>	<b>2.48</b>
<b>Costo Unitario muro MC</b>					<b>Soles/ m2</b>	<b>58.69</b>

Con estos resultados se realizó un gráfico comparativo, el cual se muestra a continuación:

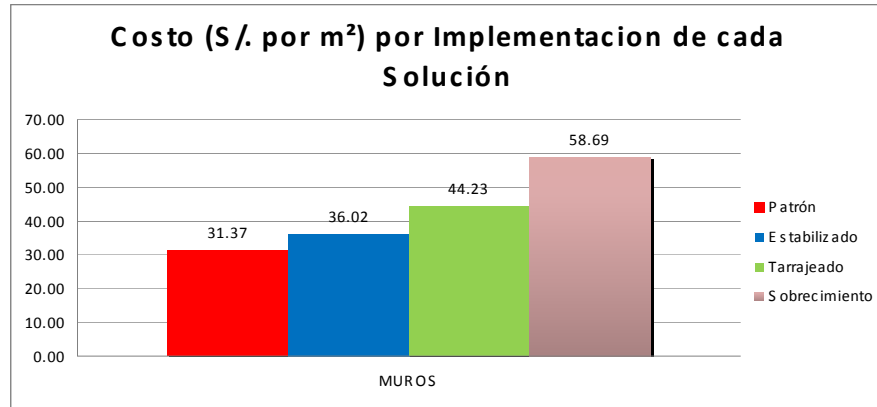


Gráfico 7.2. Costo por implementación de cada solución.

### 7.2.2 Cuantificación de resultados

Con la finalidad de poder comparar los resultados de los 3 métodos que tuvieron comportamiento satisfactorio durante el Ensayo de Inundación se considerará los siguientes factores:

- Capilaridad durante las pruebas en unidades y el ensayo de inundación simulada de los muros.
- Absorción durante las pruebas en unidades y el ensayo de inundación simulada de los muros
- Grado de humedad de los muros durante el ensayo de inundación simulada.
- Falta de consistencia de la base al terminar el ensayo de inundación

Se cuantificará de acuerdo a proporciones al mejor de los métodos, en la proporción 0 (si es que no sufre daño alguno) y los demás métodos se les asignará un peso respecto al mejor. Luego se colocarán dichas proporciones en una matriz comparativa, se les asignarán porcentajes de incidencia a cada uno de los aspectos y de la multiplicación del daño comparativo por el peso asignado se obtendrá un Índice Comparativo de Daño ante Inundaciones. Mientras más bajo sea el Índice de Daño, mejor será el método de mejora.

### Capilaridad durante las Pruebas en unidades y el Ensayo de los muros

Al comparar las gráficas de capilaridad durante el periodo corto de inundación (*Gráfico 7.1*) obtenemos que la relación de capilaridades durante las primeras 72

horas es de 4:2 para los muros estabilizado y tarrajado. Al compararlo los resultados de prueba de succión, obtenemos el mismo resultado (*Gráfico 5.8*). De este modo el ascenso capilar en adobes estabilizados es dos veces la registrada en adobe tarrajados. Por lo tanto, se afirma que la prueba de succión valida la proporción de ascenso capilar de 2:1 entre un espécimen estabilizado y uno tarrajado.

Sin embargo, habiendo validado la tendencia, y enfocándonos en los resultados a largo plazo, se escogen los resultados del ensayo total para cuantificar la capilaridad y se concluye lo siguiente:

- El ascenso capilar del muro estabilizado ME es 1.65 veces la del muro tarrajado MT.
- El ascenso capilar del muro con sobrecimiento MC es despreciable pues se detiene tras el primer día de exposición al agua y no llegó al área construida con adobes convencionales.

De estas 2 premisas la cuantificación de los pesos por capilaridad en los 3 métodos vendría expresada por la siguiente relación:

Estabilizado: Tarrajado: Sobrecimiento = 1.65:1:0.

### **Absorción en las Pruebas de unidades y en el Ensayo de Inundación simulada en muros**

Al comparar las gráficas de absorción durante el ensayo total de inundación (*Gráfico 7.4*) obtenemos que la relación de absorciones al cabo de 16 días es de 3:2:1 para los muros estabilizado, tarrajado y con sobrecimiento.

Por otra parte, los resultados obtenidos en la prueba de absorción de unidades (ver *Gráfica 5.9*) señalan un registro de la capacidad de absorción del 16% en el caso de adobes estabilizados y del 10% para adobes tarrajados, con lo cual obtendríamos la relación 1.6:1 o de 3.2 a 2, la cual es aproximadamente la misma relación 3:2 observada en la prueba de inundación simulada en muros.

Por lo tanto, concluimos que los pesos asignados por absorción en los tres métodos es: Estabilizado: Tarrajado: Sobrecimiento = 3:2:1.



### Grado de humedad de los muros durante el Ensayo de Inundación

Para cuantificar los pesos por humedad de los muros, nos basaremos en la inestabilidad de los adobes que lo conforman. Para ello utilizaremos la inspección visual y táctil realizada en las unidades de adobe al momento de la demolición manual de los muros ensayados, los resultados se muestran en la *Tabla 7.5*:

Hilada	Estabilizado	Tarrajeado	Sobrecimiento
15	Estable	Estable	Estable
14	Estable	Estable	Estable
13	Estable	Estable	Estable
12	Estable	Estable	Estable
11	Estable	Estable	Estable
10	Estable	Estable	Estable
9	Estable	Estable	Estable
8	Parcialmente Estable	Estable	Estable
7	Parcialmente Estable	Estable	Estable
6	Parcialmente Estable	Parcialmente Estable	Estable
5	Parcialmente Estable	Parcialmente Estable	Estable
4	Parcialmente Estable	Parcialmente Estable	Estable
3	Parcialmente Estable	Parcialmente Estable	Estable
2	Parcialmente Estable	Parcialmente Estable	Estable
1	Parcialmente Estable	Parcialmente Estable	Estable

**Tabla 7.5. Resumen de Estabilidad de las unidades en los muros durante los Ensayos de Inundación.**

De acuerdo a los resultados mostrados en la *Tabla 7.5* se puede inferir la siguiente relación de pesos:

Estabilizado: Tarrajeado: Sobrecimiento = 4:3:0.

### Falta de consistencia de la base al terminar el Ensayo de Inundación

Para cuantificar los pesos por el estado de la base del muro (hilada 1), nos basaremos en la inconsistencia de los adobes que la conforman. Para ello utilizaremos la inspección visual y táctil realizada en las unidades de adobe al momento de la demolición manual de los muros (*Tabla 7.6*).

Hiladas de la Base	Estabilizado	Tarrajeado	Sobrecimiento
1	Parcialmente Inconsistente	Parcialmente Inconsistente	Consistente

**Tabla 7.6 Resumen del Grado de Consistencia de las unidades en los muros durante los Ensayos de Inundación.**

De acuerdo a los resultados mostrados en la *Tabla 7.6* se puede inferir la siguiente relación:

Estabilizado: Tarrajeado: Sobrecimiento = 1:1:0.

Con estos cuatro parámetros y asignándole porcentajes de incidencia de acuerdo a un consenso a criterio de los tesisistas, se tabuló la siguiente matriz:

	Capilaridad	Absorción	Humedad del Muro	Inconsistencia de la Base	Índice Comparativo de Daño ante Inundaciones
<b>Pesos</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Estabilizado</b>	1.65	3	4	1	196.5
<b>Tarrajeado</b>	1	2	3	1	150
<b>Sobrecimiento</b>	0	1	0	0	30

Tabla 7.7: Matriz de Cuantificación del Daño ante Inundaciones.

Obteniendo como resultado que la relación de los daños sufridos entre los 3 muros que pasaron exitosamente el Ensayo de Inundación es:

Estabilizado: Tarrajeado: Sobrecimiento = 6.6: 5: 1.

Si relacionamos el Índice Comparativo de Daño con el costo incurrido por la mejora, obtenemos los índices mostrados en la *Tabla 7.8*.

	Índice Comparativo de Daño ante Inundaciones	Costo (S/. /m2)
<b>Patrón</b>	Colapsó	31.37
<b>Estabilizado</b>	196.5	36.02
<b>Tarrajeado</b>	150	44.23
<b>Sobrecimiento</b>	30	58.69

Tabla 7.8 Porcentaje de Daño Comparativo por Costo.

La *Tabla 7.8* indica que duplicando el costo del muro patrón, mediante una solución con sobrecimiento de concreto, el daño por inundación prácticamente es nulo, mientras que aumentando el costo del muro patrón en 15% y 40%, mediante las soluciones de adobe estabilizado y tarrajeo de la base respectivamente, se logra evitar el colapso del adobe convencional ante las inundaciones.

## 8. Conclusiones y Recomendaciones Constructivas

### 8.1. Conclusiones

- Los ensayos demostraron la alta vulnerabilidad de los adobes convencionales ante la acción erosiva del agua, registrándose un tiempo estimado de colapso de la estructura de 20 minutos, con un tipo de falla frágil. Obviamente el tiempo señalado dependerá del grosor y de la consistencia del adobe. Por lo tanto, se recomienda evitar el uso del adobe convencional en zonas donde la probabilidad de ocurrencia de inundaciones sea elevada.
- El método con mejores resultados contra el colapso por inundación prolongada fue la utilización de un sobrecimiento de concreto simple en la base de los muros de adobe convencional, con un peralte que sea 30 cm mayor que la altura de agua esperada. En esta técnica sólo se observó un ascenso de agua por capilaridad de 5 cm en el concreto que no llegó a afectar ningún adobe. Para abaratar costos, es necesario estudiar esta solución utilizando un sobrecimiento de concreto ciclópeo o de albañilería de arcilla industrial.
- Si nos enfocamos en una solución acorde con la realidad peruana y considerando que el construir un muro con sobrecimiento de concreto simple representa una inversión 1.87 veces mayor en relación al costo de un muro sin refuerzos, concluimos que de las dos propuestas restantes (adobes estabilizados y tarrajeo de protección en la base del muro de adobe convencional), la solución tarrajeo de la base proporcionó mejores resultados al presentarse menor ascenso de agua por capilaridad y menor agua de absorción. Incluso la solución tarrajeo, a pesar de que su costo sea 23% mayor a la solución de adobe estabilizado, podría aplicarse a viviendas existentes. Esta solución podría haberse mejorado de haber empleado un tarrajeo de cemento pulido.
- Hubo problemas en la fabricación de los adobes estabilizados con 5% de cemento al secarse rápidamente la mezcla, por lo que en su reemplazo se recomienda investigar la misma solución, pero utilizando ladrillos de arcilla industrial.

## 8.2. Recomendaciones constructivas

De lo observado a lo largo de la presente investigación se presentan las siguientes recomendaciones constructivas para cada uno de los muros ensayados.

### 8.2.1. Muros de Adobe Convencional

Tras corroborar su alta vulnerabilidad al agua ante condiciones de exposición a corto plazo, se recomienda que las viviendas de adobe convencional que no cuenten con un adecuado sistema de protección contra la erosión del agua, no sean construidas en lugares con alta probabilidad de inundaciones tales como las riveras de ríos, ya que el menor desembalse de los mismos producto de lluvias excesivas, se producirían daños graves o el colapso de la estructura. Se recomienda como medida mitigadora y preventiva de inundaciones, proteger la base perimetral de los muros que podrían entrar en contacto con el agua mediante un tarrajeo de cemento pulido, aplicado sobre una malla anclada al muro, que tenga por lo menos una altura igual a la altura de agua esperada más 30 cm adicionales.

### 8.2.2. Muros con Sobrecimiento

Este resultó ser el mejor método a implementar en viviendas nuevas en cuanto a capacidad de resistencia ante los daños causados por una inundación. Si bien su costo es alto, se podría abaratar, sin comprometer la resistencia ante la agresión de agua, si se usa concreto con menor contenido de cemento, siendo una recomendación no exceder el límite inferior de  $f'c=80 \text{ kg/cm}^2$  por ser la mínima resistencia con dosificación comúnmente empleada. En su defecto, debería analizarse tanto la utilización de una cimentación de concreto ciclópeo como un sobrecimiento de piedra (pirca) o de albañilería con ladrillos industriales.

### 8.2.3. Muros de Adobe Estabilizado

En relación a la solución de adobes estabilizados se recomienda lo siguiente:

- Como requisito para la fabricación de adobes estabilizados con 5% de cemento, la tierra seleccionada debe estar libre de humedad al momento de ser mezclada con el cemento, debido a que el proceso de hidratación del cemento se da de forma instantánea al entrar en contacto directo con el

agua; por este motivo y para evitar que se endurezca rápidamente la mezcla, se recomienda dejar secar la tierra hasta que no se evidencie humedad aparente.

- El mortero utilizado en las juntas verticales y horizontales debe corresponder al tipo de adobe utilizado, por lo cual, es obligatorio el uso del mortero *estabilizado* de clasificación Tipo I, estipulado en por la NTP E.080 acápite 7.1 como un mortero conformado por tierra y un aglomerante que en este caso es el cemento Portland Tipo I, en una proporción del 5% del peso para de esta forma no alterar la homogeneidad de la estructura y tratar de impermeabilizar las juntas.

#### 8.2.4. Muros de Adobe Convencional Tarrajeados

En el caso de optarse por el sistema de protección mediante una capa protectora de tarrajeo en base a cemento Portland Tipo I y arena fina, se recomiendan dos puntos importantes:

- Es absolutamente necesario anclar la malla de alambre e interconectarla con la malla de la cara opuesta, para que proporcionen confinamiento al adobe y atenúe la expansión del adobe al humedecerse. Esta malla está estipulada en la NTP E.0.80 acápite 6.4.2 y es usada como refuerzo exterior aplicado sobre la superficie del muro. Como se aprecia en la *Foto 8.1*, el procedimiento de tendido de malla de alambre consistió en su fijación al muro con clavos de 2", interconectar las mallas de ambas caras con alambre #8 embedido en las juntas verticales y posteriormente afianzarla con porciones localizadas de mortero simple previas a la aplicación de la capa de tarrajeo.



Foto 8.1. Colocación y fijación de la malla de alambre base para la aplicación de tarrajeo en el muro MT.



- La capa de tarrajeo debe poseer un espesor uniforme en toda la superficie aplicada, por lo cual se recomienda la utilización de reglas de aluminio para lograr la uniformidad en el tarrajeo. El espesor de 1.50 cm de la capa de tarrajeo demostró tener un resultado óptimo para la protección contra la agresión erosiva del agua, por lo cual es el espesor mínimo recomendado para esta solución, aunque podría reducirse si se emplease un tarrajeo de cemento pulido.



**Foto 8.2. Aparejo de reglas de aluminio para uniformizar el espesor del tarrajeo.**

### 8.3. Propuestas de investigación a futuro

- El anillo de concreto con canal interior en forma de U utilizado en la presente tesis representa una valiosa herramienta para proseguir con una línea de investigación relacionada al comportamiento de los materiales sometidos a una exposición prolongada al agua. Por lo tanto, esta estructura puede ser reutilizada para probar una diversa gama de soluciones al problema de la vulnerabilidad del adobe a la exposición de agua que no fueron tocados en la presente investigación. Se proponen por ejemplo:
  - Aplicación de productos barrera o bases sintéticas en los muros de adobe convencional.
  - Albañilería tradicional de ladrillos de arcilla industrial en la zona de exposición al agua.
  - Adobes estabilizados con diferentes porcentajes de cemento (mayores al 5%) o de asfalto.
  - Uso de un sobrecimiento de concreto ciclópeo en la zona expuesta al agua.
  - Uso de un sobrecimiento de piedra (pirca) en la zona expuesta al agua.

- Profundizar la investigación de adobes estabilizados. La actual NTP E.0.80 no proporciona alcances acerca de las propiedades físicas de los adobes estabilizados, las cuales serían útiles con fines de diseño estructural. Se propone investigar el efecto de la proporción de cemento como elemento estabilizador, para de esta forma establecer una relación entre estabilidad, resistencia y costo.
- Investigar la influencia del espesor del muro en relación a su resistencia al contacto directo con el agua. La presente investigación utilizó un ancho de 13 cm, el cual nos permitió trabajar al interior del canal de concreto, no obstante las construcciones tradicionales presentan muros de 40 cm de espesor promedio, con lo cual podemos inferir que éstos presentarán un mejor desempeño ante la agresión del agua desconociéndose la magnitud de éste.
- En vista que el Ensayo de Inundación de Muros presentó la limitante de considerar únicamente el peso propio del muro, se propone realizar una investigación que cuantifique la resistencia de los muros inundados simulando una carga real proveniente de los elementos que comúnmente soportan este tipo de estructuras (techos, losas, cargas vivas, etc.). Lógicamente al debilitarse los adobes expuestos al agua, su resistencia a compresión decrecerá y serán menos estables cuanto mayor peso exista.
- Cuantificar la capacidad de recuperación de la estructura después de concluida la inundación, para determinar si es posible que la estructura recupere sus características físicas iniciales.
- Finalmente creemos que el complemento ideal a la presente investigación sería el estudio en detalle de la capacidad portante de las estructuras de adobe tras haber sido expuestas al agua en intervalos de tiempo definidos, con la finalidad de establecer una relación directa entre el porcentaje de agua contenida o niveles de saturación con la variación de su resistencia a compresión, para de esta forma predecir el tiempo que le tomará a la estructura alcanzar una capacidad portante crítica y de esta forma definir rango de tiempo para tomar medidas contra el agente agresor (agua de inundaciones), o en su defecto, el tiempo pertinente para evacuar la estructura.

- Cuantificar la proporción del peso que aporta la capa protectora de tarrajeo (muros MT) al peso total del muro con la finalidad de controlar las características estructurales del muro y evitar que las capas de tarrajeo oculten espesores de muro menores inferiores a los limitados por la NTP E.080.



## Referencias y Bibliografía

1. Reglamento Nacional de Edificaciones (2000). “*Norma Técnica de Edificación E.080 Adobe*”. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima, Perú.
2. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2007. “*Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda*”. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú.
3. Instituto Nacional de Defensa Civil (Perú). 2009. “*Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres 2007*”. INDECI. Lima, Perú.
4. Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayos en ladrillos de arcilla usados en albañilería. Comisión de Reglamentos Técnicos y comerciales. INDECOPI. Lima, Perú.
5. San Bartolomé, A. (1994). “*Construcciones de Albañilería - Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural -*”. Fondo Editorial PUCP 1994 Lima, Perú.
6. Programa COBE – Adobe Estabilizado (1977), por la Oficina de Investigación y Normalización con la participación de la Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, bajo el asesoramiento de la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID) – Lima, Perú.
7. Urbano Tejada Schmidt (2001). “*Buena Tierra – Apuntes para el diseño y construcción con Adobe*”. Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional. Lima, Perú.
8. Univision Videos. Reportaje “Inundación en la ciudad de Ica (flooding of the city of Ica) - <http://www.univision.com/uv/video/Inundaci%F3n-de-la-Ciudad-de-Ica---floodin/id/1988345202>
9. America TV. Reportaje: “Lluvias e inundaciones en Cusco – Enero 2010” - <http://www.youtube.com/watch?v=zbPpW5vORu4>





## ANEXO A – Análisis de Precios Unitarios

Se presenta el análisis de precios unitarios (APU) de las partidas involucradas en la construcción de los muros de adobe para los ensayos de simulación de inundación.

MURO ADOBE CONVENCIONAL					
UNIDAD:	m <sup>2</sup>		Costo		m <sup>2</sup>
Aparejo:	Soga		Por:		
Rendimiento:	2.24	m <sup>2</sup> / día			
Descripción	UN	Cantidad	P.U.	Parcial	TOTAL
<b>Mano de Obra</b>					<b>20.64</b>
Operario	HH	1.33	12.23	16.31	
Peón	HH	0.44	9.85	4.33	
<b>Equipo</b>					<b>1.03</b>
Herramientas Manuales (% Mano de Obra)	5%			1.03	
<b>Materiales</b>					<b>9.70</b>
Adobe Convencional	UNID	38.78	0.25	9.70	
<b>TOTAL (S/.)</b>					<b>31.37</b>

Tabla A.1. APU la partida *muros de adobe convencional*.

MURO ADOBE ESTABILIZADO					
UNIDAD :	m <sup>2</sup>		Costo		m <sup>2</sup>
Aparejo:	Soga		Por:		
Rendimiento:	2.24	m <sup>2</sup> /día			
Descripción	UN	Cantidad	P.U.	Parcial	TOTAL
<b>Mano de Obra</b>					<b>20.68</b>
Operario	HH	1.33	12.23	16.31	
Peón	HH	0.44	9.85	4.37	
<b>Equipo</b>					<b>1.03</b>
Herramientas Manuales (% Mano de Obra)	5%			1.03	
<b>Materiales</b>					<b>21.33</b>
Adobe Estabilizado	UNID	38.78	0.55	21.33	
<b>TOTAL (S/.)</b>					<b>43.04</b>

Tabla A.2. APU de la partida *muros de adobe estabilizado*.

TARRAJEO EN MUROS DE ADOBE					
UNIDAD :	m <sup>2</sup>		Costo	Por:	m <sup>2</sup>
Rendimiento:	4.44	m <sup>2</sup> /día			
Descripción	UN	Cantidad	P.U.	Parcial	TOTAL
<b>Mano de Obra</b>					<b>9.24</b>
Operario	HH	0.57	12.23	6.99	
Peón	HH	0.23	9.85	2.25	
<b>Equipo</b>					<b>0.46</b>
Herramientas Manuales (% Mano de Obra)	5%	0.50		0.46	
<b>Materiales</b>					<b>5.18</b>
Agua	m <sup>3</sup>	0.01	1.83	0.03	
Cemento Portland Tip. I (B. 42.5 Kg)	BL	0.24	17.50	4.12	
Arena Fina	m <sup>3</sup>	0.03	37.67	1.04	
<b>TOTAL (S./.)</b>					<b>14.89</b>

Tabla A.3. APU de la partida *tarrajeo en muros de adobe*.

ENCOFRADO PARA SOBRECIMIENTO					
Unidad	m <sup>2</sup>		Costo	Por:	m <sup>2</sup>
Rendimiento:	8.54	m <sup>2</sup> /día			
Descripción	UN	Cantidad	P.U.	Parcial	TOTAL
<b>Mano de Obra</b>					<b>15.93</b>
Operario	HH	0.47	12.23	5.73	
Oficial	HH	0.94	10.89	10.20	
<b>Equipo</b>					<b>0.80</b>
Herramientas Manuales (% Mano de Obra)	5%	0.50		0.80	
<b>Materiales</b>					<b>9.66</b>
Alambre Negro # 8	KG	0.30	4.96	1.49	
Clavos de 2" a 4"	KG	0.33	4.96	1.64	
Madera Tornillo Larga	p <sup>2</sup>	2.18	3.00	6.54	
<b>TOTAL (S./.)</b>					<b>26.39</b>

Tabla A.4. APU de la partida *encofrado para sobrecimiento*.

CONCRETO PARA SOBRECIMIENTO 210 Kg/cm <sup>2</sup>					
UNIDAD =	m <sup>3</sup>		Costo Por:		m <sup>3</sup>
Rendimiento	1.03	m <sup>3</sup> /día			
Descripción	UN	Cantidad	P.U.	Parcial	TOTAL
<b>Mano de Obra</b>					<b>124.05</b>
Operario	HH	3.89	12.23	47.51	
Peón	HH	7.77	9.85	76.53	
<b>Equipo</b>					<b>6.2</b>
Herramientas Manuales (% Mano de Obra)	5%	0.5		6.2	
<b>Materiales</b>					<b>198.43</b>
Agua	m <sup>3</sup>	0.25	1.83	0.46	
Cemento Portland Tip. I (B. 42.5 Kg)	BL	8.72	17.5	152.6	
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.51	40.17	20.53	
Piedra 1/4"	m <sup>3</sup>	0.46	53.67	24.85	
<b>TOTAL (S/.)</b>					<b>328.68</b>

Tabla A.5. APU de la partida *concreto simple para sobrecimiento 210 kg/cm<sup>2</sup>*.