

**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 - PARTE 2**

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

**Ibrahin Antonio Romero Bolívar**

**Javier Roberto Pereyra Marín**

**Asesor:** Ing. Ángel San Bartolomé

Lima, Julio del 2012

## RESUMEN

Esta tesis viene a ser la segunda parte del proyecto “Mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones”, conservándose la idea de evaluar experimentalmente mediante ensayos de inundación simulada a 3 propuestas que brinden resultados positivos para la resistencia del adobe ante el efecto erosivo del agua, pero que a su vez sean económicas y sencillas de aplicar.

La primera propuesta (“ML”), se basó en la construcción de un sobrecimiento hecho con ladrillos de arcilla industrial, teniendo así un material altamente resistente al agua en comparación con el adobe tradicional.

La segunda propuesta (“MT”), repite la propuesta de tarrajeo con mortero de cemento, analizada en la primera parte de esta investigación, pero esta vez dándole un acabado pulido, con una superficie lisa que trate de evitar la filtración del agua, principalmente en la parte sumergida del muro.

La tercera propuesta (“MC”), se basa en el empleo de un sobrecimiento construido con concreto ciclópeo de baja calidad, usando piedras de tres pulgadas de tamaño máximo que conforman la tercera parte del volumen del sobrecimiento, con el fin de obtener ahorro económico en la construcción.

Adicionalmente, se sometieron a pruebas de absorción y succión unidades de adobe representativas de las alternativas señaladas, fabricadas con los mismos materiales; 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.


Los resultados que se obtuvieron ante el ensayo de inundación simulada sirvieron para analizar de manera cuantitativa la capilaridad y la capacidad de absorción de cada muro, para finalmente realizar un estudio de factibilidad que fue comparado con el realizado para las propuestas de la primera parte de esta investigación.

FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA

 PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

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

Título : "Mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones. Parte 2".  
 Área : Estructuras -Investigación-  
 Asesor : Ing. Ángel San Bartolomé  
 Alumno : JAVIER ROBERTO PEREYRA MARIN  
 Código : 2001.2213.0.412  
 Alumno : IBRAHIN ANTONIO ROMERO BOLIVAR  
 Código : 2003.0563.5.412  
 Tema N° : 248  
 Fecha : Lima, 16 de febrero de 2011



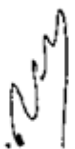
## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

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.

En ese contexto se desarrolló una tesis PUCP (Parte 1 del Proyecto), donde se aplicaron 3 alternativas de solución lográndose buenos resultados; sin embargo, es necesario continuar el trabajo de tal modo de perfeccionar y abaratar las alternativas de solución.

## OBJETIVOS

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 25cm por encima del nivel de agua, 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 ladrillos industriales asentados con mortero de cemento. Este sobrecimiento, que abarcará una altura de 25cm por encima del nivel de agua, aminorará el agua que suba por capilaridad hacia el adobe.
4. Muro 4, con sobrecimiento de concreto ciclópeo. Este sobrecimiento abarcará una altura de 25cm por encima del nivel de agua y estará compuesto por una mezcla cemento-hormigón 1:10 más 30% de piedra mediana.

Es necesario indicar que las 3 alternativas de solución estudiadas previamente en la Parte 1 del proyecto fueron: zócalo de cemento sin pulir; adobes de la base del muro estabilizados con cemento y sobrecimiento de concreto simple.

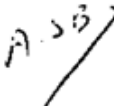

Una vez culminada la construcción de los cuatro especímenes, se procederá a inundar con agua los espacios vacíos de la cimentación, reponiéndose el agua que haya sido succionada por los muros, lo cual simulará la exposición prolongada de agua en una inundación. Una vez iniciado el proceso de inundación, 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 5 unidades de adobe tradicional y otras 5 tarrajeadas con cemento pulido.

Se procesará la información y, finalmente, se elaborará la memoria descriptiva con un máximo de 100 páginas y un artículo técnico con fines de difusión.

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

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

NOTA  
Extensión máxima: 100 páginas.



## AGRADECIMIENTOS

Nuestra gratitud al Ing. Ángel San Bartolomé, asesor de Tesis, por su profesional y considerable aporte, a la Ing. Gladys Villa García y colegas del laboratorio de estructuras por su apreciable y desinteresado apoyo al desarrollo de la tesis.

A nuestros señores padres por su amor, cariño, apoyo y comprensión en el desarrollo de la tesis y en la formación de nuestras personalidades.



## Índice

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN.....  | I  |
| AGRADECIMIENTOS.....  | V  |
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 4  |
| 1.1. Descripción del problema .....   | 4  |
| 1.2. Objetivos .....  | 6  |
| 1.3. Metodología aplicada .....   | 6  |
| 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES .....                                    | 8  |
| 2.1. Adobe.....   | 8  |
| 2.2. Mortero para asentar los ladrillos.....                                  | 10 |
| 2.3. Mezcla para tarrajeo en muros .....                                      | 10 |
| 2.4. Concreto para sobrecimiento ciclópeo.....                                | 11 |
| 3. CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS.....   | 12 |
| 3.1. Proceso de fabricación de los adobes .....                               | 12 |
| 3.2. Características del canal U impermeabilizado.....                        | 12 |
| 3.3. Características comunes de los 4 muros.....                              | 14 |
| 3.4. Características del Muro Patrón MP.....                                  | 15 |
| 3.5. Características del muro ML con ladrillos en el sobrecimiento .....      | 16 |
| 3.6. Características del muro tarrajeado MT .....                             | 18 |
| 3.7. Características del muro MC con sobrecimiento de concreto ciclópeo ..... | 20 |
| 4. TÉCNICAS DE ENSAYO .....   | 23 |
| 4.1. Introducción.....  | 23 |
| 4.2. Pruebas en unidades .....  | 23 |
| 4.2.1. Prueba de Succión .....  | 23 |
| 4.2.2. Prueba de absorción.....   | 26 |
| 4.3. Ensayo de inundación simulada de los muros .....                         | 29 |
| 5. ENSAYOS DE UNIDADES Y RESULTADOS .....                                     | 32 |

|  |    |
|--|----|
| 5.1. Prueba de Succión .....   | 32 |
| 5.1.1. Succión en unidades del Muro Patrón MP.....                               | 32 |
| 5.1.2. Succión de los ladrillos industriales de arcilla del muro ML .....        | 34 |
| 5.1.3. Succión en muestras del Muro Tarrajeado MT .....                          | 36 |
| 5.2. Prueba de Absorción .....   | 37 |
| 5.2.1. Absorción en muestras del Muro Patrón MP.....                             | 37 |
| 5.2.2. Absorción en muestras del Muro con Ladrillos en el sobrecimiento ML ..... | 38 |
| 5.2.3. Absorción en muestras del Muro Tarrajeado MT .....                        | 40 |
| 5.3. Comparación y discusión de resultados .....                                 | 41 |
| 5.3.1. Análisis de resultados de la Prueba de Succión y Absorción .....          | 41 |
| 5.3.2. Ascenso capilar en la Prueba de Succión .....                             | 42 |
| 5.3.3. Saturación del adobe tarrajeado después de la prueba de absorción .....   | 43 |
| 6. ENSAYOS DE INUNDACIÓN EN MUROS Y RESULTADOS .....                             | 44 |
| 6.1. Ensayo de Inundación Simulada.....  | 44 |
| 6.2. Inundación en el Muro Patrón (MP).....                                      | 44 |
| 6.2.1. Gráficas de Capilaridad en MP .....                                       | 48 |
| 6.2.2. Gráficas de Absorción en MP .....   | 48 |
| 6.3. Inundación en muro con sobrecimiento de ladrillos (ML).....                 | 49 |
| 6.3.1. Gráficas de Capilaridad en ML.....  | 54 |
| 6.3.2. Gráficas de Absorción en ML .....   | 55 |
| 6.4. Inundación en muro Tarrajeado (MT) .....                                    | 56 |
| 6.4.1. Gráficas de Capilaridad .....   | 63 |
| 6.4.2. Gráficas de Absorción.....  | 64 |
| 6.5. Inundación en muro con Sobrecimiento ciclópeo (MC).....                     | 65 |
| 6.5.1. Gráficas de Capilaridad.....  | 71 |
| 6.5.2. Gráficas de Absorción.....  | 72 |
| 7. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE COSTOS .....                       | 73 |
| 7.1. Comparación de resultados del Ensayo de Inundación.....                     | 74 |

|  |     |
|--|-----|
| 7.1.1. Comparativo de Gráficas de capilaridad durante el Periodo Corto de Inundación (PCI) . | 74  |
| 7.1.2. Comparativo de Gráficas de Capilaridad durante el Periodo Largo de Inundación (PLI) . | 75  |
| 7.1.3. Comparativo de Gráficas de Desnivel durante el Periodo Corto de Inundación (PLI)..... | 75  |
| 7.1.4. Comparativo de Gráficas de Desnivel durante el Periodo Largo de Inundación (PLI)..... | 76  |
| 7.2. Comparación de Costo/Resultado entre los 4 métodos usados .....                         | 78  |
| 7.2.1. Análisis de Costos Unitarios .....  | 78  |
| 7.2.2. Cuantificación de Resultados .....  | 81  |
| 8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 84  |
| 8.1. Observaciones .....   | 85  |
| 8.2. Recomendaciones y Propuestas.....   | 97  |
| 8.2.1. Muro con sobrecimiento de ladrillos (ML).....   | 97  |
| 8.2.2. Muro Tarrajado (MT) .....   | 97  |
| 8.2.3. Muro de concreto ciclópeo (MC) .....  | 98  |
| 9. CONCLUSIONES .....  | 99  |
| 10. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA .....   | 101 |



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Descripción del problema

Las inundaciones y el deterioro que ocasiona el agua en las construcciones de adobe, constituye el motivo principal de esta investigación. Las inundaciones son el tipo más común de desastre en el mundo y pueden clasificarse como repentinas (súbitas) o lentas (progresivas); siendo la principal diferencia la energía liberada por el empuje de las corrientes.

La fuerza del agua y los elementos que arrastra (huaycos) pueden arrasar con todo lo que encuentra a su paso, pero preparar a las edificaciones para resistir el impacto de las corrientes no es motivo de esta investigación. El proyecto se centra en inundaciones lentas y progresivas, donde se libera poca energía.

Las inundaciones lentas o progresivas son parte incluso del comportamiento normal de los ríos, es decir, de su régimen de aguas, ya que es habitual que en invierno aumente la cantidad de agua e inunde los terrenos cercanos a la orilla saturándolos. Además, en las ciudades las inundaciones lentas como súbitas causan diferentes efectos sobre las poblaciones, según la topografía de estas localidades. Por ejemplo, las poblaciones ubicadas en superficies planas o cóncavas (como un valle u hondonada) pueden sufrir inundaciones como efecto directo del cambio temporal de lluvias, independientemente de las inundaciones fluviales producidas por el desbordamiento de ríos y quebradas, para los cuales ciertas comunidades no estarían preparadas.

La Cordillera de los Andes, la corriente oceánica de Humboldt, el anticiclón del Pacífico Sur y la corriente de El Niño son algunos de los principales fenómenos geológicos y climáticos que afectan el territorio peruano. Dichos eventos generan sistemas de lluvias eventuales que, al presentarse en gran medida, ocasionan las inundaciones pluviales de mayores consecuencias en el país. Dichas inundaciones causan graves estragos en la población, tanto de la sierra como de la costa, tal como lo indican los datos estadísticos de emergencias por inundaciones y lluvias intensas publicadas por INDECI desde 2003 (Tabla 1). Ahí se ilustra la magnitud del daño que ocasionan las inundaciones en el Perú y, la necesidad de plantear alternativas de protección de las estructuras de adobe ante una exposición prolongada del agua.

Tabla 1: Datos de emergencias en el Perú en los últimos nueve años

| FENÓMENO       | TOTAL | AÑOS |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                |       | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| INUNDACIÓN     | 2,135 | 470  | 234  | 134  | 348  | 272  | 242  | 219  | 216  |
| LLUVIA INTENSA | 5,327 | 388  | 426  | 391  | 738  | 522  | 899  | 827  | 1136 |

Fuente: Dirección Nacional de Operaciones del INDECI – SINPAD

El censo del 1993 colocó al adobe o tapia como el material predominante en las paredes exteriores de las viviendas en el Perú con 43.3%. En el año 2010, en los departamentos de “La Libertad, Piura y San Martín” las inundaciones destruyeron 1750 viviendas por inundaciones y 4348 por lluvias intensas, generándose un aproximado de 718 viviendas destruidas. Se presume que son mayormente hechas sin el uso de fibras o paja, tal como se elaboran los adobes en esta segunda parte de la investigación.

En la primera parte de esta investigación, Huaynate y Cabrera (2010) propusieron tres alternativas de solución:

- La utilización de un sobrecimiento de concreto simple previa a la construcción de los muros.
- La utilización de adobes estabilizados con 5% de su peso en cemento, en la base de los muros.
- La protección de la base de los muros con un tarrajeo de mezcla cementicia aplicado sobre una malla de gallinero conectada al muro.

De las tres propuestas, la que les trajo mejores resultados, pero a la vez fue la más costosa (33% de diferencia respecto a la propuesta cementicia), fue la alternativa de sobrecimiento de concreto simple en la base de los muros de adobe, con un peralte 30cm mayor que la altura de agua esperada. Segundo estuvo la propuesta de tarrajeo de mezcla cementicia, 23% más costosa que la de adobes estabilizados.

Teniendo como referencia las propuestas realizadas en la primera parte de esta investigación, en este trabajo se procede con la misma metodología a evaluar tres nuevas alternativas más económicas que las anteriores. Estos son: el reemplazo del sobrecimiento de concreto por otro de concreto ciclópeo y otro hecho con ladrillo de arcilla industrial, mientras que en la tercera alternativa se busca mejorar la solución de tarrajar la base, puliéndola en su superficie.

## 1.2. Objetivos

En esta segunda parte del proyecto, se trató de mejorar buscando economía, a las soluciones encontradas en la primera parte de la investigación, buscándose además:

- Establecer niveles de deterioro de los especímenes de adobe inundados con agua, analizando las fortalezas y debilidades de las alternativas planteadas.
- Analizar la factibilidad económica y constructiva de las 3 alternativas para aportar soluciones a las construcciones de adobe frente a las inundaciones.
- Comparar las alternativas del presente trabajo con las de la primera parte de esta investigación y analizar posibles mejoras.

## 1.3. Metodología aplicada

El método de análisis utilizado está basado en comparaciones experimentales que buscan comprobar la eficiencia de los especímenes mejorados, teniendo como referencia un espécimen convencional o muro patrón (MP).

Se sometió a 4 especímenes a la misma prueba de inundación simulada, para cuantificar el grado de mejora mediante la comparación de los resultados parciales y finales. Además, se realizaron comparaciones de los resultados con las tres alternativas ensayadas en la primera parte de este proyecto.

Siguiendo con el objetivo principal de mejorar la resistencia ante una inundación prolongada en viviendas de adobe, se decidió evaluar las siguientes alternativas:

- La utilización de un sobrecimiento de concreto ciclópeo previo a la construcción del adobe (muro MC)
- La utilización de 6 hiladas de ladrillos de arcilla industrial tipo King Kong de 18 huecos, en la base de los muros de adobe (muro ML).
- La protección de la base de los muros de adobe con un enlucido o tarrajeo de cemento pulido aplicado sobre una malla de alambre electrosoldada galvanizada conectada a la base(muro MT).

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

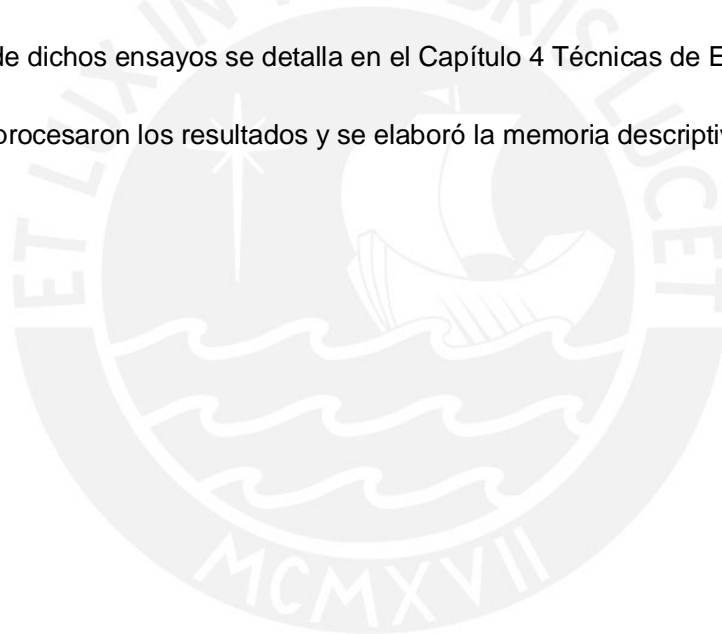
- A los muros que se intente mejorarlos con sobrecimiento de ladrillos de King Kong 18h, se les llamará ME.
- A los especímenes en los cuales se intente mejorarlos con un tarrajeo pulido, se les denominará adobe tarrajado o muro tarrajado (MT).
- A los muros en los cuales se trate de mejorarlos con un sobrecimiento de concreto ciclópeo en la base del muro de adobe se les llamará MC.

Específicamente se realizaron los siguientes ensayos:

- Prueba de succión en unidades.
- Prueba de absorción en unidades.
- Ensayo de inundación simulada en los muros MP, MC, ML y MT.

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

Finalmente, se procesaron los resultados y se elaboró la memoria descriptiva.



## 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. Por otro lado, existen muchas casas de la zona costera del país donde el adobe que utilizan no tiene paja, también existe la idea de que esta particularidad haga al adobe más vulnerable ante el agua, debido a que la paja controla las fisuras por contracción de secado del suelo, que son zonas de filtración. Tomando en cuenta eso, se realizó el proyecto usando adobes sin paja, para tener una situación más real. Estos adobes fueron elaborados, en las instalaciones del Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú (Fig.1), tratando de respetar las especificaciones de la Norma E.080, considerando también la realidad peruana.



Fig. 1: Fabricación de unidades de adobe

En relación al suelo, su composición se basa en una mezcla de limo, arena y arcilla que al combinarse con el agua producen barro, pero aún existe el problema de que el material no se encuentre apto para preparar la mezcla.

Existen diferentes métodos para verificar la factibilidad de dicho material para su uso en la fabricación de los adobes. La norma E.080 solamente indica que su gradación debe aproximarse a un porcentaje de arcilla del orden de 10 a 20%, limo con 15 a 25% y arena con 55 a 70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos.

Por otro lado, existen otros métodos para establecer si un suelo es apto para fabricar adobes, basado en ensayos de campo que permiten finalmente determinar su nivel de calidad (Tabla 2).

Tabla 2: Métodos para establecer si un suelo es apto para fabricar adobes

| TIPO                                    | PROCEDIMIENTO   | INDICADORES PRINCIPALES   | RESULTADO  |
|---|---|---|--|
| Prueba de color                         | Observación del color del suelo   | -Negro: suelos orgánicos<br>-Claros y brillantes: inorgánicos<br>-Gris claro: limosos, con carbonato cálcico, suelos poco cohesivos   | Claros y brillantes (Aprobado)   |
| Prueba dental                           | Se muele ligeramente una pizca de suelo entre los dientes   | -Arenosos: partículas duras, rechinan entre los dientes, sensación desagradable.<br>-Limosos: partículas más pequeñas, rechinan sólo ligeramente, más suaves que los arenosos.<br>-Arcillosos: no rechinan, suaves y quebradizos.   | Limosos (Aprobado)   |
| Prueba olfativa                         | Se aprecia el olor del suelo  | Olor rancio: Suelos orgánicos   | Sin olor rancio (Aprobado)   |
| Prueba de brillo                        | Se corta una muestra de suelo al estado de masilla  | -Opacos: suelos arenosos<br>-Mates: limosos con poca arcilla<br>-Brillantes: arcillosos   | Mates (Aprobado)   |
| Prueba del enrollado                    | Se forma un rollo de suelo hidratado de 5 a 10cm y se lo desplaza entre el índice y el pulgar.  | Si la muestra se rompe entre los 5 a 10 cm. el contenido de arena será el adecuado. Si soporta una longitud mayor, el contenido de arcilla será muy alto; si se rompe antes de los 5 cm. se trazará de un suelo arenoso   | La muestra se rompió a 8 cm. (Aprobado)  |
| Prueba de resistencia seca de la bolita | Se preparan tres o más bolitas de suelo hidratado de 2 cm de diámetro y se deja secar 24 horas. Luego se presionan entre el pulgar y el índice                                | Si las bolitas no se rompen, significará que el contenido de arcilla conferirá adecuada resistencia a los adobes. Si se rompe el suelo será de baja resistencia.  | Las bolitas no se llegaron romper de ningún modo usando solo los dedos. (Aprobado) |
| Prueba de la botella                    | Se utiliza una botella o tubo de ensayo de ½ litro de capacidad. Llenar ¼ de parte con suelo y ¾ partes con agua. Se agita la suspensión y se deja reposar 5 horas.           | Permite establecer los porcentajes de finos y arenas. Las arenas reposan inmediatamente. Los limos reposan a los pocos minutos. Las arcillas requieren para reposar 5 horas. Luego de ese tiempo se puede establecer los porcentajes aproximados de los componentes.<br><b>Los rangos deben estar dentro de los indicados en la NORMA</b>   | 60% de arena<br>20% de limos<br>20% de arcilla (Aprobado)                          |
| Prueba de agua para el barro            | Se separa una pequeña porción de la masa de barro para la fabricación de los adobes. Se la tira de golpe contra el piso. Se la trata de levantar con el uso de una sola mano. | Permite establecer si la cantidad de agua es aceptable para la fabricación de los adobes.<br>- Si la masa no conserva su figura y solides, teniendo finalmente dificultad de levantarse, tiene demasiada agua<br>- Si la masa conserva su figura y material al levantarlo, cantidad de agua aceptable.<br>- Si la masa se esparce al momento de la colisión con el piso o si llega a dejar materia pegada al piso al momento de levantar el material, entonces indica escasa cantidad de agua | Conserva su figura y material al levantar la masa. (Aprobado)                      |
| Adobes de Prueba                        | Antes de la fabricación en cantidad, se producen unos adobes previos aparte.  | Proporciona más seguridad para la fabricación de los bloques.<br>- Si los adobes se rajan al secarse, entonces el suelo contiene mucha arcilla.<br>- Si los adobes no se rajan, entonces el suelo es aceptable.   | No se observaron rajaduras (Aprobado)  |

Referencia: Tejada Schmidt, U. (2001) "Buena Tierra – Apuntes para el diseño y construcción con Adobe".

## 2.2. Mortero para asentar los ladrillos

En el proceso de la fabricación del muro ML (base de ladrillos) se planificó la utilización de mortero con cemento Portland tipo I y arena gruesa tamizada libre de impurezas, con una dosificación en volumen cemento-arena 1:4. Dicha combinación es comúnmente usada para la fabricación de muros de albañilería simple.

## 2.3. Mezcla para tarrajeo en muros

Para el tarrajeo de protección del Muro MT, se utilizó una combinación uniforme de arena fina y cemento Portland tipo I, requiriéndose la adición de agua para obtener la mezcla en cuestión. La arena fina fue tamizada y estuvo libre de impurezas. La dosificación volumétrica cemento-arena utilizada fue 1:4 (Fig.2).



**Fig. 2: Mezcla de cemento, arena fina y agua para formar el tarrajeo del muro MT.**

Para mejorar la función impermeabilizante de dicho tarrajeo, se pulió su superficie, echándole cemento puro a discreción con un poco de agua. Asimismo, para evitar que el tarrajeo se separe del muro (al humedecerse el adobe se expande expulsando al tarrajeo), este tarrajeo se aplicó sobre una malla de alambre electrosoldado galvanizado de 1mm de espesor de filamento, con cocada de 1cm, anclada en el muro mediante alambre #8.

#### 2.4. Concreto para sobrecimiento ciclópeo

Para el sobrecimiento del muro MC se utilizó concreto ciclópeo. La mezcla tuvo una dosificación volumétrica cemento-hormigón 1:10, más un 30% de piedra mediana de hasta 3", la cual fue lavada previamente (Fig.3).



**Fig. 3:** Selección y lavado de piedras de 3" antes de aplicarlas en la mezcla del ciclópeo.

El hormigón natural también es conocido como ripio y consiste en una combinación de arena gruesa y piedra mediana.



### 3. CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS

#### 3.1. Proceso de fabricación de los adobes

La fabricación de adobes se realizó en el laboratorio por personal contratado, supervisado por los tesisistas.

La Norma E.080 especifica retirar del suelo las piedras mayores de 5mm y otros elementos extraños, lo cual se hizo tamizando la tierra. Posteriormente se remojó la tierra (sin paja), manteniéndola en reposo (“dormido”) durante 24 horas.

Se trató de usar medidas acordes con el canal de concreto empleado en la simulación de la inundación (Fig.4). La Norma indica que las dimensiones de los adobes rectangulares, el largo es aproximadamente el doble del ancho y la relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4. Su altura en lo posible no debe ser mayor a 8 cm. En síntesis, las dimensiones nominales del adobe fueron 12.5x25x8cm.

- a) Primero se sumergió la gavera en agua y posteriormente se le pasó arena fina a las caras para evitar que el barro se pegue al molde
- b) Con el barro dormido, se formó una bola y se la tiró con fuerza hacia el molde.
- c) Se rellenaron las partes faltantes, enrasándolo con una regla de madera mojada.
- d) Luego se volteó el molde sobre un tendal, retirándolo con cuidado.
- e) Los adobes se ordenaron en filas y se dejaron secar sobre el tendal (suelo limpio y plano en una zona con sombra y ventilación).
- f) A los 4 días se procedió a voltearlos de canto para que continúe el secado.
- g) Después de 28 días, se procedió a emplear los adobes

No se produjeron grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

#### 3.2. Características del canal U impermeabilizado.

Canal de concreto armado empleado para simular la inundación, tuvo una sección interior en forma de un canal U, con paredes de 30 cm de altura, 28 cm de ancho interior y 8 cm de espesor (Fig.4).



Fig. 4: Canal usado para el ensayo de inundación de muros

El canal fue segmentado en 4 secciones independientes que permiten el ensayo de los 4 muros con un control separado de absorción de agua. Para seccionar el canal, se utilizaron piezas cerámicas cerrando la sección U, localizadas en los vértices interiores (Fig.5).

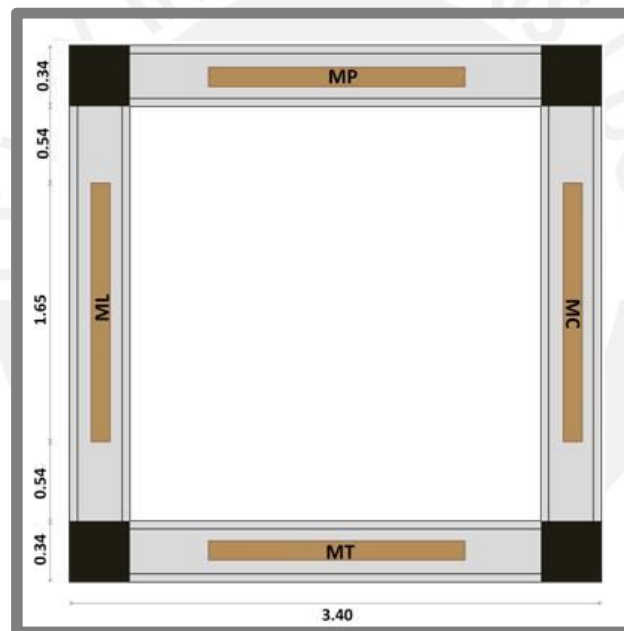


Fig. 5: Vista en planta del canal

La construcción del canal de concreto armado fue realizada en un proyecto de investigación anterior, y en la primera parte de esta investigación, el canal fue reparado e impermeabilizado.

En este proyecto (segunda parte de la investigación) no se realizaron mayores modificaciones en el canal. Solo se realizó una prueba de filtración, inundando las cuatro secciones hasta su tope por 24 horas. En este tiempo, no se notó filtraciones, por lo cual, se consideró innecesario hacer alguna modificación o resane adicional.

### 3.3. Características comunes de los 4 muros

Los muros o especímenes presentaron las siguientes características en común:

- La materia prima necesaria para elaborar los adobes (tierra), provino de un solo lugar.
- Los adobes fueron elaborados siguiéndose una única técnica descrita (ver 3.1).
- La dimensión base de todos los muros de adobe fue: 1.50 m de alto, 1.65m de largo y 0.13m de espesor. Solo en el caso del muro tarrajado se modificó el espesor en su base(2cm adicionales en cada cara).
- En la construcción de los muros se usó un amarre de sogá. En el sobrecimiento del muro ML también se usó un amarre de sogá para los ladrillos King Kong.
- Cada hilada estuvo compuesta de manera intercalada por 6 unidades enteras y 5 unidades enteras y dos medias unidades de adobe.
- Los adobes y muros fueron hechos con mano de obra uniforme, con la finalidad de descartar el factor de incertidumbre por variación de personal obrero.
- 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.
- El ensayo de los muros se dio en canales geoméricamente iguales (Fig.6), bajo un mismo nivel de agua.
- Los muros estuvieron expuestos a los mismos factores atmosféricos, tales como temperatura, presión atmosférica y humedad.
- El agua utilizada tanto para la elaboración de los adobes y para la inundación, fue potable, sin impurezas, proveniente de una misma fuente y registraron una temperatura de aproximadamente 23 °C.



Fig. 6: Vista superior de los distintos muros construidos sobre el canal.

### 3.4. Características del Muro Patrón MP

El muro patrón MP no tuvo ninguna mejora contra la acción del agua. El método constructivo utilizado fue completamente tradicional. Además, las juntas verticales y horizontales fueron hechas con mortero de barro tipo II, según la NTP E.080, acápite 7.2. Este muro (figuras 7 y 8) fue construido en dos jornadas de trabajo, permitiendo el secado de las primeras filas por un día antes de continuar asentando los adobes superiores. En la Tabla 3 se muestra el metrado de materiales correspondiente.



Fig. 7: Vista del muro patrón antes del ensayo de inundación.

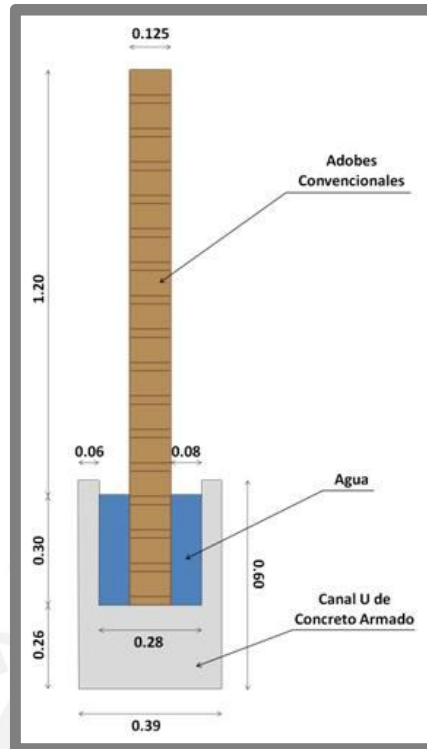


Fig. 8: Corte del Muro Patrón (MP)

Tabla 3: Medrado de los materiales usados en la elaboración del Muro Patrón MP

| MP                              |                         |                                  |                               |
|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Unidades de Adobe convencional: |                         |                                  |                               |
| 6 uni/hil                       | x 16 hil                | = 96 unid                        |                               |
| 125 mm                          | x 253 mm                | x 70 mm                          | x 96 = 212520 cm <sup>3</sup> |
| Juntas verticales               |                         |                                  |                               |
| 15 mm                           | x 125 mm                | x 70 mm                          | x 88 = 11550 cm <sup>3</sup>  |
| Juntas horizontales             |                         |                                  |                               |
| 15 mm                           | x 125 mm                | x 253 mm                         | x 96 = 45540 cm <sup>3</sup>  |
| Juntas de intersección          |                         |                                  |                               |
| 15 mm                           | x 15 mm                 | x 125 mm                         | x 88 = 2475 cm <sup>3</sup>   |
| TOTAL                           | : 0.2721 m <sup>3</sup> | <i>de mortero simple Tipo II</i> |                               |

### 3.5. Características del muro ML con ladrillos en el sobrecimiento

El muro ML (figuras 9 y 10) fue construido de manera mixta con dos tipos de material. Las primeras 6 hiladas (sobrecimiento) fueron hechas con ladrillo de arcilla industrial King Kong, asentados con mortero 1:4, en una altura total de 0.60m, correspondiente al doble

de la zona en contacto directo con el agua. Las 10 hiladas siguientes se construyeron con adobes convencionales, similares al Muro Patrón MP. El metrado de materiales correspondiente, aparece en la Tabla 4.



Fig. 9: Muro de adobe con sobrecimiento de ladrillos King Kong (ML)

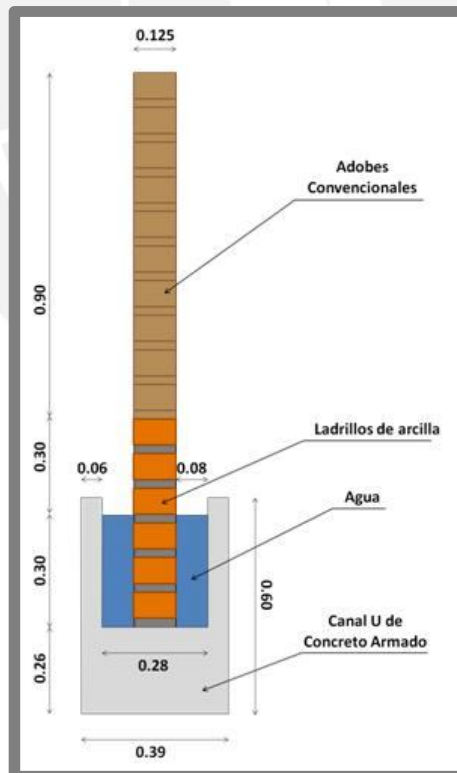


Fig. 10: Corte del Muro con sobrecimiento de ladrillos (ML)

Tabla 4: Metrado de materiales usados para construir el Muro con sobrecimiento de ladrillos (ML)

| ML                                 |   |                            |                                 |  |
|------------------------------------|---|----------------------------|---------------------------------|--|
| Unidades de Adobe convencional:    |   |                            |                                 |  |
| 6 uni/hil                          | x | 9 hil                      | =                               | 54 unid                                |
| 125 mm                             | x | 253 mm                     | x                               | 70 mm x 54 = 119543 cm <sup>3</sup>    |
| Juntas verticales                  |   |                            |                                 |  |
| 15 mm                              | x | 125 mm                     | x                               | 70 mm x 49 = 6431 cm <sup>3</sup>      |
| Juntas horizontales                |   |                            |                                 |  |
| 15 mm                              | x | 125 mm                     | x                               | 253 mm x 54 = 25616 cm <sup>3</sup>    |
| Juntas de intersección             |   |                            |                                 |  |
| 15 mm                              | x | 15 mm                      | x                               | 125 mm x 49 = 1378 cm <sup>3</sup>     |
| Unidades de Ladrillo King Kong 18h |   |                            |                                 |  |
| 7 uni/hil                          | x | 6 hil                      | =                               | 42 unid                                |
| 126 mm                             | x | 231 mm                     | x                               | 91 mm x 42 = 111243.13 cm <sup>3</sup> |
| Juntas verticales                  |   |                            |                                 |  |
| 15 mm                              | x | 126 mm                     | x                               | 70 mm x 36 = 4762.80 cm <sup>3</sup>   |
| Juntas horizontales                |   |                            |                                 |  |
| 15 mm                              | x | 126 mm                     | x                               | 231 mm x 42 = 18336.78 cm <sup>3</sup> |
| Juntas de intersección             |   |                            |                                 |  |
| 15 mm                              | x | 15 mm                      | x                               | 126 mm x 36 = 1020.60 cm <sup>3</sup>  |
| TOTAL                              | : | 0.1530 m <sup>3</sup>      | de mortero simple Tipo II       |  |
|                                    |   | 0.033425625 m <sup>3</sup> | de mortero cementicio           |  |
|                                    |   | 42 unid                    | de ladrillo King Kong 18 huecos |  |

### 3.6. Características del muro tarrajeado MT

El muro MT fue construido íntegramente con adobes convencionales, bajo los mismos lineamientos del Muro Patrón MP.

Este muro plantea como tercera solución una barrera que controle la penetración del agua sobre los adobes convencionales. Dicha barrera está compuesta por una zona tarrajeada de 0.60m de altura y 2cm de espesor en todo el perímetro del muro (figuras 11 y 12). El tarrajeo se aplicó sobre una malla de alambre electrosoldada, estipulada en la NTP E0.80, acápite 6.4.2, la cual determina que la malla puede ser usada como refuerzo exterior sobre la superficie del muro, anclada adecuadamente y recubierta por la capa de mortero de cemento.

La malla se colocó en ambas caras del muro, interconectándolas con alambre #8 (Fig.13), dejados en las juntas verticales cada 25cm. Estas mallas fueron protegidas mediante un tarrajeo cemento-arena fina 1:4, el mismo que fue pulido en su superficie,

espolvoreando cemento con agua. Cabe resaltar la importancia de que la malla esté anclada al muro, puesto que el adobe al entrar en contacto con el agua tiende a expandirse y expulsar a la capa de tarrajeo. El metrado de materiales correspondiente, aparece en la Tabla 5.



Fig. 11: Muro de adobe con sobrecimiento tarrajeado (MT)

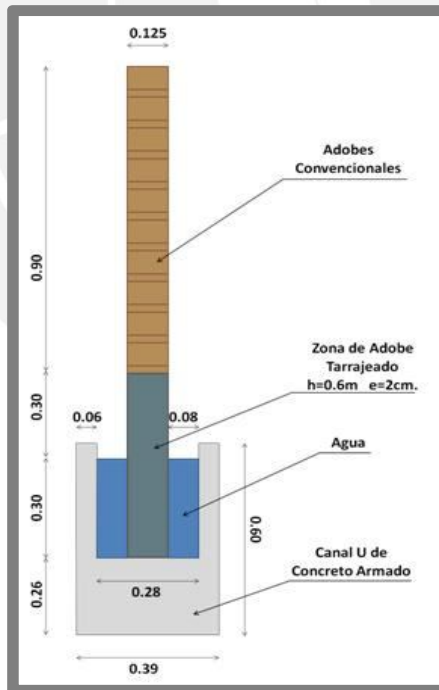


Fig. 12: Corte del Muro Tarrajeado (MT)





Fig. 13: Malla electrosoldada fijada por ambas caras por el alambre #8 pasante.

Tabla 5: Metrado de materiales usados para construir el Muro Tarrajeado (MT)

| MT                              |   |                         |                                  |  |
|---------------------------------|---|-------------------------|----------------------------------|--|
| Unidades de Adobe convencional: |   |                         |                                  |  |
| 6 uni/hil                       | x | 16 hil                  | =                                | 96 unid                                |
| 125 mm                          | x | 253 mm                  | x                                | 70 mm x 96 = 212520.00 cm <sup>3</sup> |
| Juntas verticales               |   |                         |                                  |  |
| 15 mm                           | x | 125 mm                  | x                                | 70 mm x 88 = 11550.00 cm <sup>3</sup>  |
| Juntas horizontales             |   |                         |                                  |  |
| 15 mm                           | x | 125 mm                  | x                                | 253 mm x 96 = 45540.00 cm <sup>3</sup> |
| Juntas de intersección          |   |                         |                                  |  |
| 15 mm                           | x | 15 mm                   | x                                | 125 mm x 88 = 2475.00 cm <sup>3</sup>  |
| Tarrajeo de Sobrecimiento       |   |                         |                                  |  |
| Laterales                       |   |                         |                                  |  |
| 20 mm                           | x | 1,593 mm                | x                                | 600 mm x 2 = 38232.00 cm <sup>3</sup>  |
| Transversales                   |   |                         |                                  |  |
| 20 mm                           | x | 165 mm                  | x                                | 600 mm x 2 = 3960.00 cm <sup>3</sup>   |
| Malla electrosoldada            |   |                         |                                  |  |
| Laterales                       |   |                         |                                  |  |
|                                 |   | 1,633 mm                | x                                | 600 mm x 2 = 19596.00 cm <sup>2</sup>  |
| Transversales                   |   |                         |                                  |  |
|                                 |   | 165 mm                  | x                                | 600 mm x 2 = 1980.00 cm <sup>2</sup>   |
| TOTAL                           | : | 0.2721 m <sup>3</sup>   | <i>de mortero simple Tipo II</i> |  |
|                                 |   | 0.042192 m <sup>3</sup> | <i>de tarrajeo pulido</i>        |  |
|                                 |   | 2.1576 m <sup>2</sup>   | <i>de malla electrosoldada</i>   |  |

### 3.7. Características del muro MC con sobrecimiento de concreto ciclópeo

El muro con sobrecimiento de concreto ciclópeo MC es una solución que se plantea en la presente investigación para tratar el problema de la acción del agua sobre la base de las

estructuras de adobe. Se planificó un muro mixto, el cual constó de un sobrecimiento de concreto ciclópeo que abarcó una altura de 60cm, igual al doble de la altura que alcance el nivel de agua producto de la inundación simulada. Este concreto fue encofrado (Fig.14) y vaciado por capas, colocando en cada capa las piedras medianas de 3” previamente lavadas (Fig.3).



Fig. 14 Elaboración del sobrecimiento de concreto ciclópeo.

El resto del muro fue construido con adobes convencionales que abarcaron una altura total de 0.90m, compuesta por 10 hiladas, con las mismas características del Muro Patrón MP (figuras 15 y 16). En la Tabla 6 se presenta el metrado de materiales correspondiente a este muro.



Fig. 15 Muro de adobe con sobrecimiento de concreto ciclópeo (MC)

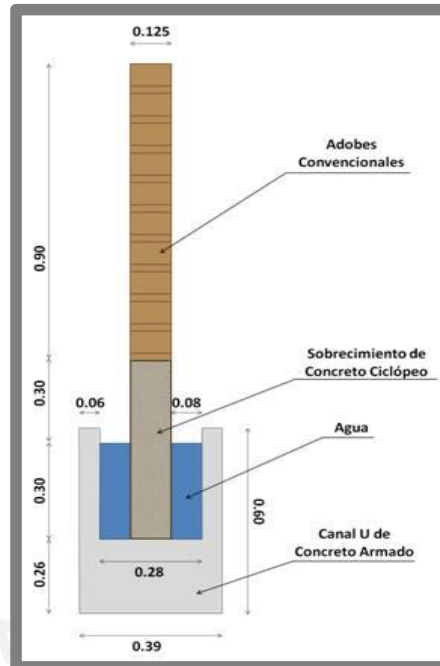


Fig. 16: Corte del Muro con sobrecimiento Ciclópico (MC)

Tabla 6: Medrado de materiales usados en la construcción del muro con concreto ciclópico.

| MC   |   |                          |                                  |  |
|--|---|--------------------------|----------------------------------|--|
| <b>Unidades de Adobe convencional:</b>     |   |                          |                                  |  |
| 6 uni/hil                                  | x | 9 hil                    | =                                | 54 unid                                |
| 125 mm                                     | x | 253 mm                   | x                                | 70 mm x 54 = 119542.50 cm <sup>3</sup> |
| Juntas verticales                          |   |                          |                                  |  |
| 15 mm                                      | x | 125 mm                   | x                                | 70 mm x 49 = 6431.25 cm <sup>3</sup>   |
| Juntas horizontales                        |   |                          |                                  |  |
| 15 mm                                      | x | 125 mm                   | x                                | 253 mm x 54 = 25616.25 cm <sup>3</sup> |
| juntas de intersección                     |   |                          |                                  |  |
| 15 mm                                      | x | 15 mm                    | x                                | 125 mm x 49 = 1378.13 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Sobrecimiento de Concreto Ciclópico</b> |   |                          |                                  |  |
| Concreto ciclópico                         |   |                          |                                  |  |
| 125 mm                                     | x | 1,593 mm                 | x                                | 600 mm x 1 = 119475.00 cm <sup>3</sup> |
| Encofrado                                  |   |                          |                                  |  |
| Paneles de Triplex                         |   |                          |                                  |  |
|  |   | 60 mm                    | x                                | 600 mm x 1 = 360.00 cm <sup>2</sup>    |
| Puntales de madera                         |   |                          |                                  |  |
|  |   |                          |                                  | 1,700 mm x 12 = 2040.00 cm             |
| TOTAL                                      | : | 0.1530 m <sup>3</sup>    | <i>de mortero simple Tipo II</i> |  |
|  |   | 0.1194750 m <sup>3</sup> | <i>de concreto ciclópico</i>     |  |
|  |   | 0.03600 m <sup>2</sup>   | <i>de madera - triplex</i>       |  |
|  |   | 20 m                     | <i>de tacos de madera</i>        |  |

## 4. TÉCNICAS DE ENSAYO

### 4.1. Introducción

Las técnicas de ensayo empleadas son las mismas a las utilizadas en la primera parte de esta investigación, para dar continuidad al objetivo de comparar el comportamiento de un espécimen tradicional contra soluciones planteadas para mejorar la respuesta de los muros de adobe ante la exposición prolongada de agua.

En la búsqueda de datos comparativos que ayuden a obtener el comportamiento del adobe ante la presencia del agua, se plantean ensayos tanto sobre la unidad de adobe como del conjunto, teniendo en cuenta las propuestas.

### 4.2. Pruebas en unidades

La Norma Técnica Peruana E.080 no especifica procedimientos para el ensayo de Succión, Absorción y muestreo de unidades de adobe, por lo cual se adoptó a la NTP 399.613 que describe los procedimientos de muestreo y ensayo en ladrillos de arcilla, a pesar de sus marcadas diferencias físicas respecto a las unidades de adobe.

#### 4.2.1. Prueba de Succión

La prueba de Succión, se adapta del acápite 11 de la NTP 399.613 para los especímenes de la presente investigación.

La prueba de succión busca determinar el índice de absorción temprana del espécimen analizado, lo que viene a ser la cantidad de agua que  $200\text{cm}^2$  de la unidad de adobe puede absorber en un periodo normado en 1 minuto  $\pm$  1 segundo.

Primeramente las unidades se secan en un horno a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas (Fig.17).



Fig. 17: Secado de las muestras en horno a 110°C

Luego, se toma las dimensiones de la cara del espécimen que estará en contacto con el agua para determinar el área de succión, para después obtener los pesos secos de cada muestra haciendo uso de una balanza electrónica con una precisión de 0.5 gr (Fig.18).



Fig. 18: Registro del peso seco de los especímenes representativos de cada alternativa.

Los aparatos utilizados para la prueba de succión (Fig.19) y sus funciones son los siguientes:

- Una bandeja para contener el agua. Se requiere de una bandeja completamente plana, con una profundidad no menor de 25mm, y un área mayor que 2000 cm<sup>2</sup>. Esta bandeja debe contar con agujeros en los bordes para mantener el nivel de agua suministrada, en otras palabras por más agua que se vierta el nivel de agua no subirá.

- Soportes para los adobes. Consisten en barras de acero no corrosivo, de 120mm x 150mm x 6mm. El propósito es mantener un nivel de contacto entre el espécimen y el agua.

El ensayo de succión se realiza de la siguiente manera:

- Se ubica la bandeja sobre una superficie limpia y nivelada
- Los soportes metálicos son colocados sobre la bandeja
- Se agrega agua continuamente para que el nivel de la bandeja sea siempre de 3 mm  $\pm$  0.25 mm sobre los soportes.
- Se coloca el espécimen sobre los soportes, durante 1 min  $\pm$  1 s.
- Durante el periodo de contacto se mantiene el nivel de agua constante, gracias al dispositivo de rebalse de la bandeja.
- Luego se retira al espécimen y se seca el agua superficial con un paño húmedo para volver a pesar el espécimen, este peso incluye al agua succionada durante un minuto. El secado del agua superficial de los especímenes se hace dentro de los 10 segundos siguientes de retirado el espécimen y deberá pesarse dentro de los siguientes 2 minutos.

Finalmente, la succión se calcula como la diferencia de pesos ( $W$ , en gramos) entre el estado inicial y el estado final del espécimen, es decir será el peso del agua absorbida por el espécimen durante el minuto de contacto con el agua. Si el área del espécimen ( $L$   $B$ ) difiere en más de  $\pm 2,5$  % de 200 cm<sup>2</sup>, se corrige el peso mediante la ecuación que se indica a continuación:

$$S = \frac{200 W}{L B}$$

Donde:

- $S$  = Succión normalizada a un área de 200 cm<sup>2</sup>.  
 $W$  = Diferencia de pesos del espécimen entre el estado húmedo y seco (gr).  
 $L$  = Longitud del espécimen (cm).  
 $B$  = Ancho del espécimen (cm).

Por último, se calcula y reporta el promedio de succión de toda la muestra ensayada, con aproximación a 0,1 gr/min/200 cm<sup>2</sup>.



Fig. 19: Ensayo de succión realizado a las muestras de los muros.

#### 4.2.2. Prueba de absorción

Tal como se explicó para la prueba de succión, no existe un método establecido por la Norma Técnica Peruana E.080 para el ensayo de unidades de adobe; por lo tanto, se adoptó la prueba de absorción de los ladrillos enunciada en la NTP 399.613.

El objetivo del ensayo, es conocer la capacidad de absorción del adobe durante 24 horas de inmersión en agua a una temperatura de  $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$ . Los instrumentos utilizados fueron:

- Una balanza con capacidad no menor que 2000g y una aproximación de 0.5g (Fig.18).
- Un horno ventilado (Fig.17).
- Bateas de saturación (Fig.21).
- Un termómetro digital (Fig.20) para medir la temperatura del agua.



**Fig. 20: Registro de la temperatura del agua para el ensayo de absorción.**

Se emplearon 3 especímenes en vez de los 5 que señala la NTP. 399.613 por motivos de obtener datos, no de un comportamiento generalizado, sino del desempeño puntual de los materiales utilizados en cada muro ensayado. Los pasos a seguir en el ensayo de absorción fueron los siguientes:

- Primero, se elimina la humedad natural contenida en los especímenes para obtener solo la cantidad de agua absorbida producto de la inmersión de las muestras. Para ello se colocó las piezas representativas en un horno estándar por un lapso de 24 horas a una temperatura de 110 °C.
- Se ubican, en sectores protegidos de la intemperie, los recipientes (bateas) que mantendrán sumergidos individualmente cada espécimen.
- Antes de sumergir los especímenes, se tomó un registro de la temperatura del agua potable contenida en las bateas. Como resultado general se registró una temperatura de 21°C.
- Transcurrido el tiempo de secado, se extrajeron del horno las muestras, para luego pesarlas con una aproximación de 0.5gr y proceder a colocar a cada espécimen su respectiva batea.
- Posteriormente, transcurridas 24 horas de inmersión, se extrajo el espécimen secando ligeramente con un paño húmedo su superficie, para enseguida volverlos a pesar.



El agua que se utiliza para sumergir las muestras puede ser agua potable, destilada o incluso agua de lluvia, debiendo ser esencialmente agua limpia y a temperatura entre 15.5 °C a 30 °C.

Con los datos de los pesos a determinados tiempos de inmersión, se procede a calcular 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 según sea el caso.

La absorción porcentual de la muestra es el promedio de la absorción de todos los especímenes, con aproximación a 0,1 %.

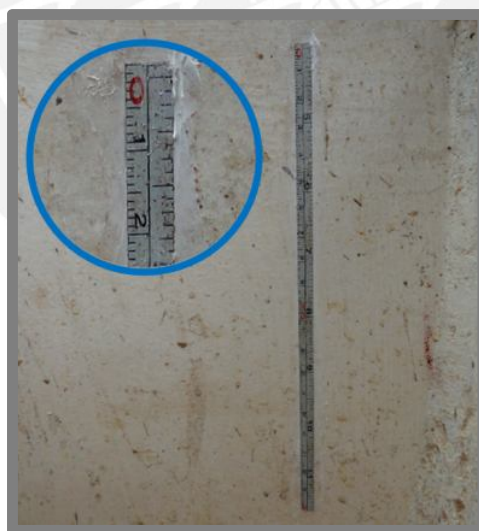


Fig. 21: Ensayo de absorción.

#### 4.3. Ensayo de inundación simulada de los muros

Con fines comparativos tanto entre los especímenes ensayados en esta segunda parte de la investigación, como con las propuestas de la primera parte del proyecto, se hizo uso del mismo protocolo de ensayo empleado por Huaynate y Cabrera (2010) para la presente investigación:

- a) Se utilizó un canal con sección interior en forma de U (*ver acápite 3.2*).
- b) El canal fue seccionado en cuatro segmentos impermeabilizados, los cuales permitan analizar por separado cada espécimen ante una prolongada inundación.
- c) Se construyeron 4 muros por separado, uno en cada sector del canal. Uno del tipo tradicional (patrón) y los otros con las tres propuestas distintas de mejora (*ver el Capítulo 3*).
- d) Una vez construidos los cuatro muros se dejaron secar a humedad ambiental durante un tiempo de 3 semanas.
- e) Para medir la cantidad de agua absorbida por cada muro, se colocaran reglas metálicas graduadas en cada uno de los cuatro segmentos del canal (*Fig.22*).



**Fig. 22: Regla fijada en el canal para medir las diferencias del nivel del agua**

- f) Se colocaron 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, con la finalidad de visualizar mejor los cambios de nivel del agua.

- g) La inundación de los cuatro segmentos del canal se realizó de manera simultánea, cuidando que el llenado con agua sea rápido y constante.
- h) Desde el momento inicial de inundación se definieron 2 periodos:
- Periodo Corto de Inundación (PCI). Hasta cumplir las 72 horas de inundación.
  - Periodo Prolongado de Inundación (PPI). Desde el final del PCI hasta cumplir dos semanas de exposición a la inundación.
- i) 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 el mortero se someten a 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.
- j) 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 ésta, sufre daños irreparables por desgaste que podrían conllevar a descartar la solución empleada. Este periodo intenta representar la evaporación paulatina del agua y la evacuación posterior de la inundación. Cualquier muro que se mantenga en pie luego de este periodo, se considerará como exitoso en cuanto a la mejora empleada.
- k) Durante el Periodo Corto de Inundación se realizaron mediciones de absorción y ascenso de agua por capilaridad cada hora (salvando las limitaciones que se tenga para realizar mediciones nocturnas casos en los cuales se interpolaron las mediciones).Cada 24 horas se repuso el volumen de agua perdida por absorción de los muros. Durante todo este periodo se filmó el proceso de manera continua, para determinar el momento exacto del posible colapso del muro.
- l) Durante el Periodo Prolongado de Inundación se realizaron mediciones de absorción y capilaridad cada 24 horas y al cabo de cada semana se repuso el volumen de agua perdida por absorción de los muros, para no cortar el ascenso de agua 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, el estado de los muros sólo se documentó mediante fotografías diarias.

m) De este ensayo se obtuvieron:

- Tiempo de resistencia de cada muro a la inundación.
- Gráficas Tiempo vs. Altura de ascenso de agua.
- Gráficas Tiempo vs. Altura de agua absorbida.

n) Concluido el ensayo se derrumbaron los muros uno por uno e hilada por hilada, llevando un registro fotográfico de una unidad por cada 2 hiladas, y revisando su consistencia al tacto, habiéndose detectado cuán húmedo se encuentra su núcleo al partirla en dos.

Los resultados recabados y gráficos realizados, tuvieron la intención de comparar cualitativa y cuantitativamente las 3 soluciones propuestas para mejorar el comportamiento del adobe ante inundaciones.



## 5. ENSAYOS DE UNIDADES Y RESULTADOS

### 5.1. Prueba de Succión

Para este ensayo se seleccionaron muestras de los diferentes tipos de muros ensayados. Se separó seis unidades enteras de adobes como muestra del Muro Patrón (MP), tres ladrillos enteros King Kong utilizados en el Muro ML con sobrecimiento de ladrillos, y cuatro unidades de adobe tarrajeadas en su contorno con cemento pulido con un espesor de 2 cm, como muestra del Muro Tarrajeadado (MT). Posteriormente, se procedió a realizar la prueba de succión siguiendo las especificaciones indicadas en el acápite 4.2.1.

#### 5.1.1. Succión en unidades del Muro Patrón MP

A las unidades de este ensayo se le asignaron los siguientes nombres:

|    |               |
|----|---------------|
| A1 | adobe 1 de MP |
| A2 | adobe 2 de MP |
| A3 | adobe 3 de MP |
| A4 | adobe 4 de MP |
| A5 | adobe 5 de MP |
| A6 | adobe 6 de MP |

Luego de haber realizado la prueba de succión a todas los adobes, se pudo observar que el agua tuvo un alto ascenso capilar, alcanzando en promedio 1.7cm (Fig. 23).



Fig. 23: Capilaridad en adobe MP producto del ensayo de succión.

En general los seis especímenes sufrieron desprendimiento de partículas en la cara en contacto con el agua, dichas partículas fueron a dar al fondo de la bandeja (Fig.24).

Los datos que se registran en la Tabla 7 presentan todas las medidas tomadas antes y después de ejecutada la prueba, desde las dimensiones hasta los pesos de los especímenes, tras un minuto de exposición al agua.

**Tabla 7: Resultados de la prueba de succión en adobes del Muro Patrón**

| Nº de Muestra | Base (cm) | Largo (cm) | Área Superficie (cm <sup>2</sup> ) | Peso inicial (gr) | Peso seco (gr) | Peso con agua (gr) | Peso agua succionada (gr) | Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> ) | Succión Promedio (gr/min/200 cm <sup>2</sup> ) |
|---------------|-----------|------------|------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|
| A-1           | 12,8      | 25         | 320                                | 4460,7            | 4346,8         | 4366,2             | -                         | -                                     | No pudo evaluarse                              |
| A-2           | 12,6      | 25,2       | 317,52                             | 4419,3            | 4365,7         | 4387,8             | -                         | -                                     |  |
| A-3           | 12,6      | 25,1       | 316,26                             | 4407,2            | 4295,1         | 4316,2             | -                         | -                                     |  |
| A-4           | 12,6      | 25,2       | 317,52                             | 4419,8            | 4306,9         | 4327,9             | -                         | -                                     |  |
| A-5           | 12,6      | 24,9       | 313,74                             | 4476,9            | 4356,8         | 4378,3             | -                         | -                                     |  |
| A-6           | 12,5      | 25,1       | 313,75                             | 4434,1            | 4322,4         | 4345,6             | -                         | -                                     |  |

A pesar que los seis especímenes presentaron un peso seco menor que el peso con agua succionada, la succión fue imposible determinarla, debido a que en el peso final no se contabiliza al peso de las partículas que se desprendieron (desintegraron) en la cara en contacto con el agua (Fig.25).

Por otro lado, en la primera parte de este proyecto, Huaynate y Cabrera (2010) obtuvieron succión negativa para los adobes de su muro patrón, debido al desprendimiento de partículas de la muestra al entrar en contacto con el agua, concluyendo que esta prueba no es aplicable para los adobes convencionales. En esta segunda parte de la investigación, se tuvo un comportamiento similar, pero el desprendimiento de partículas fue menor (succión positiva), por lo que se puede afirmar que los adobes del presente proyecto tuvieron más resistencia al contacto con el agua. Sin embargo, el desprendimiento casi inmediato de partículas en ambas partes del proyecto demuestra la alta vulnerabilidad a la acción del agua que tienen los adobes convencionales, restringiendo drásticamente su uso a condiciones en las que no se encuentren en contacto con el líquido.



Fig. 24: Prueba de Succión en adobes del muro MP



Fig. 25: Perdida de material del adobe que descalifica los resultados obtenidos.

### 5.1.2. Succión de los ladrillos industriales de arcilla del muro ML

A las unidades empleadas en este ensayo (Fig.27) se le asignaron los siguientes nombres:

|    |            |
|----|------------|
| L1 | Ladrillo 1 |
| L2 | Ladrillo 2 |
| L3 | Ladrillo 3 |

Los ladrillos presentaron un comportamiento superior a los adobes convencionales en cuanto a resistencia al agua, a pesar que el ascenso capilar fue del orden de 2.2cm (Fig.26), mayor al registrado en el adobe (1.7cm). En este caso no se produjo ningún desprendimiento de partículas al contacto con el agua, conservándose la integridad y las mismas dimensiones.



Fig. 26: Capilaridad en la muestra de ladrillo producto del ensayo de succión.

En la Tabla 8 aparecen los resultados obtenidos. Se determinó como succión promedio para los ladrillos una succión igual a 43 gr/min/200cm<sup>2</sup>.

Tabla 8: Resultados de la prueba de succión en ladrillos del muro ML.

| Nº de Muestra | Base (cm) | Largo (cm) | Área de Sup. (cm <sup>2</sup> ) | Peso normal (gr) | Peso seco (gr) | Peso con agua (gr) | Diferencia de pesos (gr) | Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> ) | Succión Promedio (gr/min/200 cm <sup>2</sup> ) |
|---------------|-----------|------------|---------------------------------|------------------|----------------|--------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|
| L-1           | 12,4      | 22,9       | 283,96                          | 2793,9           | 2792,2         | 2852,4             | 60,2                     | 42,4                                  | 43   |
| L-2           | 12,4      | 23         | 285,2                           | 2780,1           | 2777,8         | 2846,4             | 68,6                     | 48,1                                  |  |
| L-3           | 12,3      | 22,6       | 277,98                          | 2703,9           | 2700,6         | 2755               | 54,4                     | 39,1                                  |  |



Fig. 27: Ensayo de succión de la muestra de ladrillo.



### 5.1.3. Succión en muestras del Muro Tarrajado MT

A los especímenes de este ensayo se le asignaron los siguientes nombres:

|    |             |
|----|-------------|
| T1 | Tarrajado 1 |
| T2 | Tarrajado 2 |
| T3 | Tarrajado 3 |

Estos especímenes simulaban las condiciones del muro tarrajado (MT). Es decir, consistieron en adobes convencionales envueltos con una malla electrosoldada clavada al adobe, recubierta con una capa de tarrajeo cemento-arena fina 1:4 en todas sus caras, de 2cm de espesor, y al igual que en el muro MT, el tarrajeo fue pulido.

La prueba de succión (Fig.29) se realizó después que el tarrajeo cumpliera 28 días de edad. Los tres especímenes de adobe tarrajado presentaron un comportamiento similar a los ladrillos de arcilla y muy distinta al de los adobes convencionales. No se presentaron desprendimiento de partículas en la cara en contacto con el agua, conservaron su integridad y las mismas dimensiones. El ascenso capilar fue 1.5cm (Fig.28), ligeramente menor a los ladrillos (2.2cm). Este buen comportamiento se debe a que la cobertura de tarrajeo presenta una estructura interna con un baja cantidad de vacíos para que ingrese agua.



**Fig. 28** Capilaridad en la muestra de adobe tarrajado producto del ensayo de succión.

Los resultados de la prueba de succión en los adobes tarrajados se resumen en la Tabla 9. La succión promedio resultó 17 gr/min/200cm<sup>2</sup>, menor al valor correspondiente a los ladrillos, por lo que se puede afirmar que la cobertura de tarrajeo proporciona una protección adecuada ante el contacto directo con el agua.

Tabla 9: Resultados de la prueba de succión en adobes tarrajeados (MT).

| Nº de Muestra | Base (cm) | Largo (cm) | Área de Sup. (cm <sup>2</sup> ) | Peso normal (gr) | Peso seco (gr) | Peso con agua (gr) | Diferencia de pesos (gr) | Succión (gr/min/200 cm <sup>2</sup> ) | Succión Promedio (gr/min/200 cm <sup>2</sup> ) |
|---------------|-----------|------------|---------------------------------|------------------|----------------|--------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|
| C-1           | 16,1      | 30         | 483                             | 11371,1          | 9905           | 9947               | 41,7                     | 17,3                                  | 17   |
| C-2           | 17,2      | 29,4       | 505,68                          | 11016,6          | 10473          | 10508              | 35,8                     | 14,2                                  |  |
| C-3           | 16,85     | 29,7       | 500,44                          | 11270            | 10713          | 10763              | 49,9                     | 19,9                                  |  |
| C-4           | 16        | 28         | 448                             | 9904,2           | 9423           | 9463               | 40                       | 17,9                                  |  |

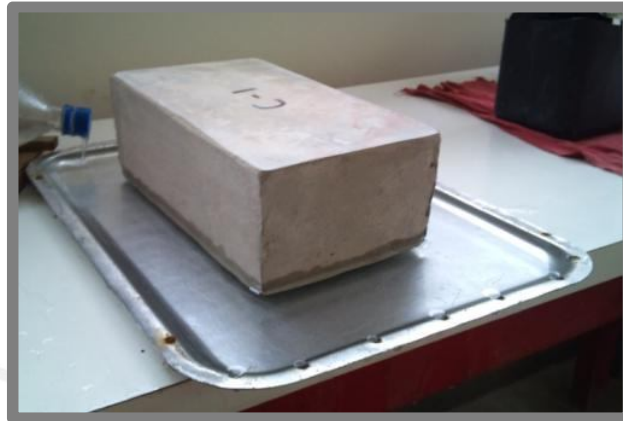


Fig. 29: Ensayo de succión de la muestra de adobe tarrajado.

## 5.2. Prueba de Absorción

Para este ensayo se han seleccionado muestras relacionadas a los diferentes tipos de muros ensayados. Se seleccionaron tres unidades enteras de adobes como muestras del Muro Patrón (MP), tres unidades enteras de ladrillos King Kong utilizados en el Muro con ladrillos (ML), y cuatro unidades de adobe tarrajeadas en su contorno con cemento pulido con un espesor de 2 cm, como muestras del Muro Tarrajado (MT). Posteriormente se procedió a realizar la prueba de absorción siguiendo las especificaciones indicadas en el acápite 4.2.2.

### 5.2.1. Absorción en muestras del Muro Patrón MP

A las muestras de este ensayo se le asignaron los siguientes nombres:

|       |               |
|-------|---------------|
| A-I   | adobe 1 de MP |
| A-II  | adobe 2 de MP |
| A-III | adobe 3 de MP |

El proceso de degradación en los adobes convencionales se dio de manera inmediata al simple contacto con el agua, generándose el desmoronamiento de partículas ubicadas en el contorno.

Pasados cinco minutos de inmersión, la desintegración en los adobes convencionales pasó a un estado más crítico, perdiendo su forma original pero conservando aún su consistencia en el núcleo del bloque.

Unas horas después, el agua llegó a ingresar al núcleo, saturándolo casi por completo, haciendo del mismo una masa de barro sin consistencia ni capacidad portante (Fig.30). Adicionalmente, se formó una espuma, producto del aire contenido en los vacíos y unas partículas sucias livianas emergieron a la superficie.

Finalizada las 24 horas de inmersión, los especímenes de adobe terminaron por desintegrarse, produciéndose un desmoronamiento total y formándose un desmorte trapezoidal, perdiendo totalmente su resistencia y consistencia, haciendo imposible su extracción para la medición de los pesos en estado saturado.

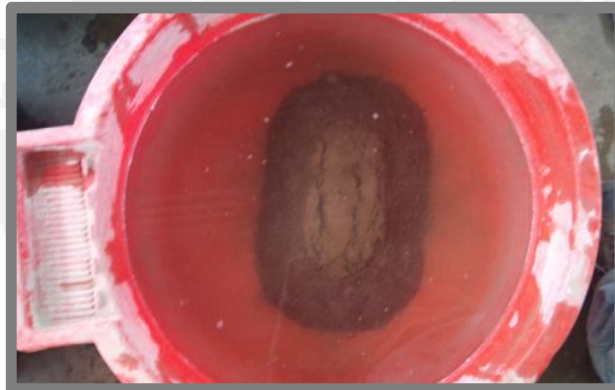


Fig. 30: Adobe de MP deshecho antes de transcurrir las 5 primeras horas del ensayo de absorción.

### 5.2.2. Absorción en muestras del Muro con Ladrillos en sobrecimiento ML

Los nombres asignados a los ladrillos para esta prueba fueron:

|       |            |
|-------|------------|
| L-I   | Ladrillo 1 |
| L-II  | Ladrillo 2 |
| L-III | Ladrillo 3 |

Luego de sumergirlos en la batea (Fig.31), se pudo observar inmediatamente la formación de burbujas salientes de las caras de los ladrillos, demostrando finalmente que el agua tomaba el lugar de los vacíos contenidos en su estructura interna, propio del

proceso de saturación. Se observó un buen comportamiento inicial durante el primer minuto de exposición. No hubo signos de deterioro o desintegración, marcando una ventaja ante los adobes convencionales, los cuales iniciaron su proceso de desintegración instantáneamente.

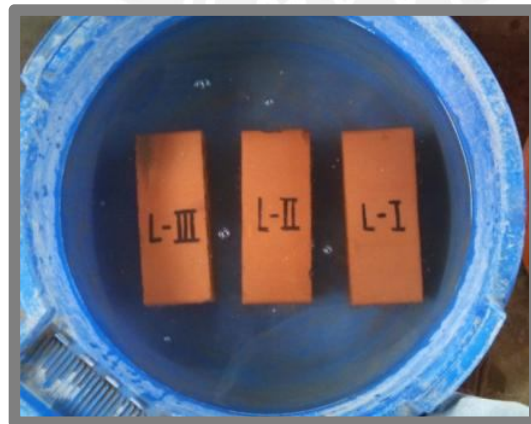
Tras 24 horas de inmersión, se pudo observar que los ladrillos conservaron su forma inicial, sin presentar signos de deterioro progresivo o desintegración parcial.

Luego de retirar los especímenes de las bateas no se observó ningún tipo de restos desprendidos por la acción erosiva del agua, lo cual indica que no se alteraron sus características dimensionales. Asimismo, se evidenció el buen estado rígido y la estabilidad total de la muestra, lo que permitió su manipulación y posterior traslado a la balanza, con lo cual puede afirmarse que su capacidad portante no se vio afectada. Esto es muy aceptable debido a que el ensayo de absorción también fue creado especialmente para poner a prueba ladrillos de diferentes tipos y muchas veces los ladrillos artesanales no pasan esta prueba.

En la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidos, registrándose una absorción promedio de 12.5%.

**Tabla 10: Resultados del ensayo de absorción en los ladrillos del muro ML**

| N° Muestra | b    | L    | h   | VOLo   | Wo     | W5h    | W24h   | Abs (%) |
|------------|------|------|-----|--------|--------|--------|--------|---------|
| L-I        | 12.5 | 23.1 | 9.3 | 2685.4 | 3071.4 | 3447.7 | 3453.2 | 12.4    |
| L-II       | 12.6 | 23.0 | 9.1 | 2637.2 | 3032.1 | 3403.2 | 3412.1 | 12.5    |
| L-III      | 12.6 | 23.1 | 9.0 | 2619.5 | 2827.6 | 3174.5 | 3183.0 | 12.6    |



**Fig. 31: Ensayo de absorción de las muestras del muro con sobrecimiento de ladrillos**

### 5.2.3. Absorción en muestras del Muro Tarrajado MT

Los 4 especímenes seleccionados para esta prueba (Fig.32), fueron tarrajados y pulidos, en forma similar a los descritos para la prueba de succión (acápite 5.1.3). La nomenclatura adoptada fue la siguiente:

|    |             |
|----|-------------|
| T1 | Tarrajado 1 |
| T2 | Tarrajado 2 |
| T3 | Tarrajado 3 |
| T4 | Tarrajado 4 |

Pasado dos días y casi alcanzado el estado final de fragua de la capa de tarrajeo, se observaron pequeñas fisuras en algunas piezas de 1mm de espesor y 5cm de largo. Para controlar la filtración, se decidió dar un tratamiento a estas fisuras usando una mezcla de cemento con agua.

Durante al primer minuto de contacto con al agua, todos adobes tarrajados presentaron un comportamiento inicial satisfactorio, debido a que no se evidenciaron signos de deterioro o desintegración en las muestras. No se observó la salida de burbujas de aire, afirmando que el proceso de saturación se dio de manera progresiva, tomándole al agua mayor tiempo para penetrar a través del tarrajeo hasta llegar al núcleo de adobe tradicional.

Trascurridos cinco minutos de inmersión, los especímenes conservaron sus características físicas iniciales.

Al finalizar la prueba de absorción en 24 horas, ningún espécimen llegó a presentar fisuras ni puntos de filtración en la capa de tarrajeo. Los resultados aparecen en la Tabla 11, donde se aprecia una absorción promedio igual a 9.5%, menor a la registrada por el ladrillo industrial (12.5%).

**Tabla 11: Resultados del ensayo de absorción del muro tarrajado**

| N° Muestra | b     | L    | h    | VO <sub>Lo</sub> | Wo    | W5h   | W24h  | Abs (%) |
|------------|-------|------|------|------------------|-------|-------|-------|---------|
| T-1        | 16.4  | 30.1 | 10.8 | 5331             | 9962  | 10679 | 10870 | 9.1     |
| T-2        | 17.1  | 29.4 | 11.1 | 5580             | 10553 | 11390 | 11565 | 9.6     |
| T-3        | 16.85 | 29.9 | 11.2 | 5642             | 10787 | 11537 | 11793 | 9.3     |
| T-4        | 16.55 | 28.5 | 11   | 5188             | 9496  | 10282 | 10456 | 10.1    |

De esta manera se concluye que los adobes tarrajados presentaron una amplia superioridad al ser comparados con los adobes de fabricación tradicional, ya que

externamente no evidenciaron signos de deterioro ni pérdida de capacidad portante a pesar de haber sido sumergidos durante 24 horas.

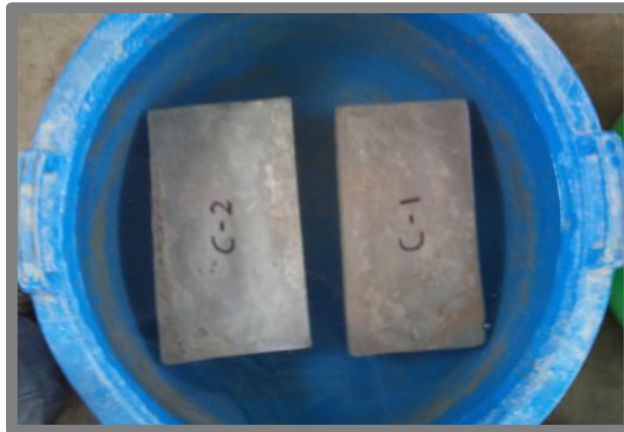


Fig. 32: Ensayo de absorción de las muestras del muro tarrajado MT.

### 5.3. Comparación y discusión de resultados

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

En la tabla 12 y en los gráficos 1 y 2, se presentan los resultados promedios de las pruebas de succión y absorción para los especímenes ensayados. Tanto en esta tabla como en los gráficos, no aparecen los valores correspondientes al adobe convencional, en vista que en la prueba de succión tuvo pérdida de partículas en la zona en contacto con el agua, mientras que en la prueba de absorción terminó desintegrándose completamente.

En base a los resultados, puede concluirse que el adobe con tarrajeo de cemento pulido constituye una buena alternativa para controlar el deterioro del adobe por efectos de inundaciones, por la baja succión y absorción que presenta, incluso menor a la de los ladrillos industriales de arcilla.

Tabla 12: Análisis de los resultados del ensayo de succión y absorción.

| Muestra      | Succión Promedio (gr/min/200 cm <sup>2</sup> ) | % Absorción Promedio en 24 Horas |
|--------------|--|----------------------------------|
| Adobe        | No Aplicable                                   | No Aplicable                     |
| Ladrillo     | 43   | 13%                              |
| A. tarrajado | 17   | 10%                              |

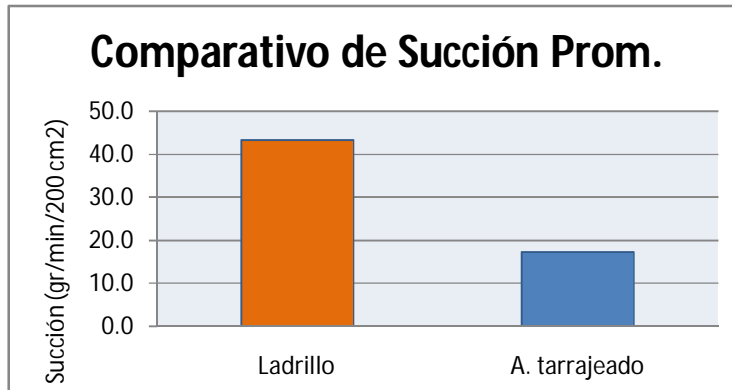


Gráfico 1: Comparación de las succión promedio obtenida para las muestras.

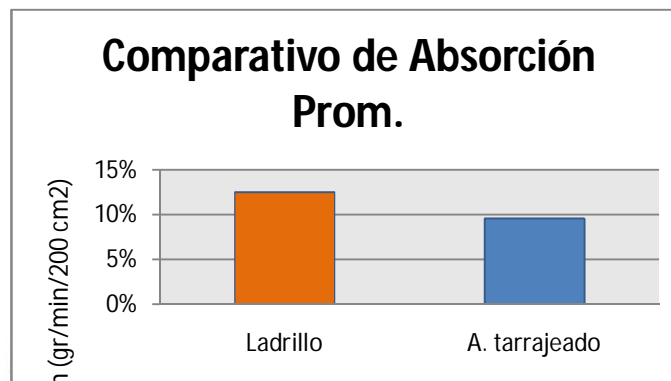


Gráfico 2: Comparación de la absorción promedio de las muestras ensayadas.

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

En la Tabla 13 y en el gráfico 3, puede apreciarse que el ascenso del agua por capilaridad durante un tiempo de 1 minuto para el caso del adobe tarrajado fue ligeramente menor al obtenido en el ladrillo industrial; sin embargo, por el poco tiempo de contacto con el agua, es necesario verificar esta conclusión mediante el ensayo de inundación simulada.

Tabla 13: Ascenso capilar observado en la prueba de succión.

| Muestra      | Ascenso Capilar (cm) |
|--------------|----------------------|
| Ladrillo     | 2.2                  |
| Adobe        | 1.7                  |
| A. tarrajado | 1.5                  |

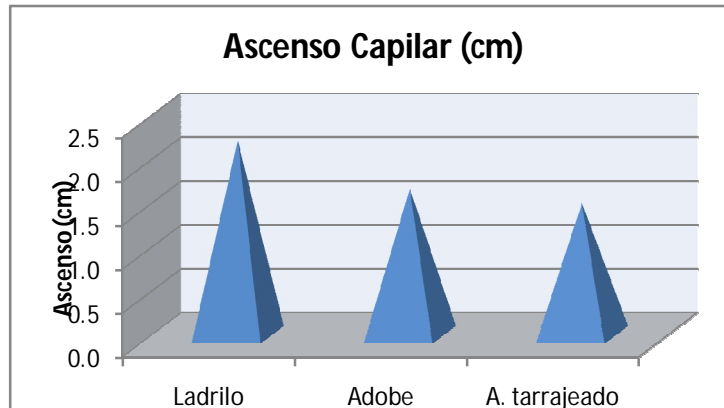


Gráfico 3: Comparación de la capilaridad en las muestras del ensayo de succión.

### 5.3.3. Saturación del adobe tarrajado después de la prueba de absorción

Terminada la prueba de absorción en 24 horas en el adobe tarrajado, los especímenes fueron cortados para observar el estado en que se encontraba el núcleo (Fig.33). Pudo apreciarse que el adobe convencional cubierto por el tarrajeo llegó a saturarse, pero conservó su estabilidad debido al confinamiento proporcionado por el tarrajeo, el cual evita la pérdida del material y conserva unida a las partículas que conforman al adobe.



Fig. 33: Vista del corte de una muestra de adobe tarrajado luego de 24 horas de inmersión.



## 6. ENSAYOS DE INUNDACIÓN EN MUROS Y RESULTADOS

### 6.1. Ensayo de Inundación Simulada

Para los 4 muros se siguieron los lineamientos estipulados en el acápite 4.3 para la prueba de inundación simulada, con la cual se busca obtener la capilaridad y absorción de cada muro, así como su desempeño ante la inundación.

### 6.2. Inundación en el Muro Patrón (MP)

La prueba (Fig.34) se inició a la 1:00 p.m. del 23/06/2011 y tuvo una duración total de 73 minutos, finalizando a las 2:13 pm del mismo día mediante el colapso del muro MP en el sentido perpendicular a su plano (Fig.35).



Fig. 34: Ensayo de inundación del Muro Patrón (MP)

El muro MP no resistió el Periodo Corto de Inundación (PCI), estipulado en este proyecto en 72 horas, por lo que se concluye que el adobe convencional no es aceptable ante una inundación.

Al comenzar el proceso de inundación, se vertió el agua contenida en los baldes contra las paredes más lejanas al muro, con el fin de evitar que las partículas de cada espécimen se desprendan rápidamente debido a la fuerza del flujo. Pese a ello, ciertas partículas se fueron desprendiendo a medida que avanzaba el llenado del canal, pero no por la fuerza del flujo de agua, sino por la pérdida de cohesión en las partículas de las caras del muro MP.

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

Pasados 30 minutos se empezó a observar el desmoronamiento de las partículas superiores al nivel del agua en ambas caras del muro, debido a la pérdida de adherencia por el proceso de saturación; reduciéndose la sección transversal del muro, lo cual debilitó la estabilidad del muro.



**Fig. 35: Falla del Muro Patrón ante el ensayo de inundación.**

Luego de 73 minutos de haberse iniciado el ensayo, el muro llegó a su punto más crítico. El nivel de socavación llegó a una profundidad promedio de 64 milímetros y a la vez gran cantidad de partículas se desprendieron hasta una altura promedio de 2 centímetros por encima del nivel superficial del agua; produciendo finalmente que el muro no resista a la acción erosiva del agua y termine volcándose en un tipo de falla frágil (Fig.35).

En la Fig.36 puede apreciarse que el adobe localizado en la zona sumergida, perdió toda su consistencia transformándose en barro.

En la Tabla 14 aparece la información registrada en MP, con miras de obtener el ascenso de agua por capilaridad y la absorción de agua durante el tiempo que duró el ensayo.



Fig. 36: Muro patrón derrumbado, consistencia del material estancado.

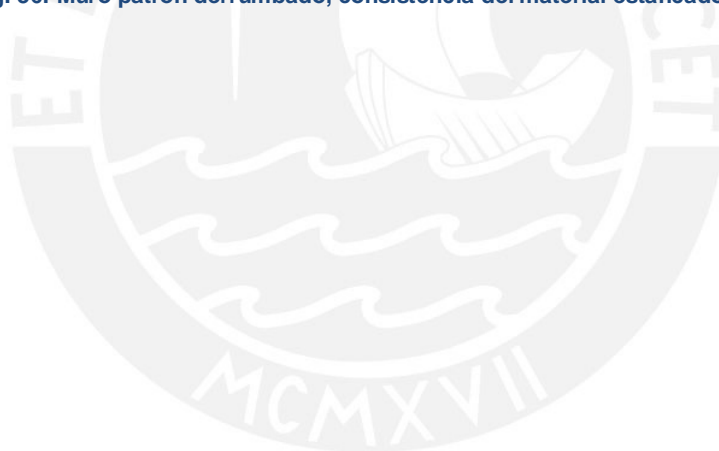


Tabla 14: Datos recabados del ensayo de inundación del muro patrón MP

| Fecha      | Hora  | Tiempo transcurrido (minutos) | Ascenso por capilaridad (cm) | Descenso por Absorción (cm) |
|------------|-------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 23/06/2011 | 12:00 | 0                             | 0                            | 0                           |
| 23/06/2011 | 12:01 | 1                             | 20                           | 1                           |
| 23/06/2011 | 12:02 | 2                             | 24                           | 1                           |
| 23/06/2011 | 12:03 | 3                             | 27                           | 2                           |
| 23/06/2011 | 12:04 | 4                             | 31                           | 2                           |
| 23/06/2011 | 12:05 | 5                             | 35                           | 2                           |
| 23/06/2011 | 12:06 | 6                             | 35                           | 2                           |
| 23/06/2011 | 12:07 | 7                             | 38                           | 2                           |
| 23/06/2011 | 12:08 | 8                             | 39                           | 3                           |
| 23/06/2011 | 12:09 | 9                             | 42                           | 3                           |
| 23/06/2011 | 12:10 | 10                            | 44                           | 3                           |
| 23/06/2011 | 12:11 | 11                            | 44                           | 3                           |
| 23/06/2011 | 12:12 | 12                            | 45                           | 3                           |
| 23/06/2011 | 12:13 | 13                            | 47                           | 4                           |
| 23/06/2011 | 12:14 | 14                            | 47                           | 4                           |
| 23/06/2011 | 12:15 | 15                            | 48                           | 4                           |
| 23/06/2011 | 12:16 | 16                            | 48                           | 4                           |
| 23/06/2011 | 12:17 | 17                            | 49                           | 5                           |
| 23/06/2011 | 12:18 | 18                            | 49                           | 5                           |
| 23/06/2011 | 12:19 | 19                            | 49                           | 5                           |
| 23/06/2011 | 12:20 | 20                            | 52                           | 5                           |
| 23/06/2011 | 12:21 | 21                            | 53                           | 6                           |
| 23/06/2011 | 12:22 | 22                            | 54                           | 6                           |
| 23/06/2011 | 12:23 | 23                            | 54                           | 6                           |
| 23/06/2011 | 12:24 | 24                            | 54                           | 6                           |
| 23/06/2011 | 12:25 | 25                            | 57                           | 7                           |
| 23/06/2011 | 12:26 | 26                            | 57                           | 7                           |
| 23/06/2011 | 12:27 | 27                            | 58                           | 7                           |
| 23/06/2011 | 12:28 | 28                            | 58                           | 7                           |
| 23/06/2011 | 12:29 | 29                            | 58                           | 8                           |
| 23/06/2011 | 12:30 | 30                            | 59                           | 8                           |
| 23/06/2011 | 12:31 | 31                            | 59                           | 8                           |
| 23/06/2011 | 12:32 | 32                            | 59                           | 8                           |
| 23/06/2011 | 12:33 | 33                            | 60                           | 9                           |
| 23/06/2011 | 12:34 | 34                            | 60                           | 9                           |
| 23/06/2011 | 12:35 | 35                            | 60                           | 9                           |
| 23/06/2011 | 12:36 | 36                            | 60                           | 9                           |
| 23/06/2011 | 12:37 | 37                            | 60                           | 10                          |

| Fecha      | Hora  | Tiempo transcurrido (minutos) | Ascenso por capilaridad (cm) | Descenso por Absorción (cm) |
|------------|-------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 23/06/2011 | 12:38 | 38                            | 60                           | 10                          |
| 23/06/2011 | 12:39 | 39                            | 60                           | 10                          |
| 23/06/2011 | 12:40 | 40                            | 60                           | 10                          |
| 23/06/2011 | 12:41 | 41                            | 60                           | 10                          |
| 23/06/2011 | 12:42 | 42                            | 60                           | 11                          |
| 23/06/2011 | 12:43 | 43                            | 60                           | 11                          |
| 23/06/2011 | 12:44 | 44                            | 62                           | 11                          |
| 23/06/2011 | 12:45 | 45                            | 62                           | 11                          |
| 23/06/2011 | 12:46 | 46                            | 62                           | 11                          |
| 23/06/2011 | 12:47 | 47                            | 62                           | 11                          |
| 23/06/2011 | 12:48 | 48                            | 62                           | 12                          |
| 23/06/2011 | 12:49 | 49                            | 62                           | 12                          |
| 23/06/2011 | 12:50 | 50                            | 62                           | 12                          |
| 23/06/2011 | 12:51 | 51                            | 62                           | 12                          |
| 23/06/2011 | 12:52 | 52                            | 62                           | 12                          |
| 23/06/2011 | 12:53 | 53                            | 62                           | 12                          |
| 23/06/2011 | 12:54 | 54                            | 62                           | 12                          |
| 23/06/2011 | 12:55 | 55                            | 62                           | 13                          |
| 23/06/2011 | 12:56 | 56                            | 62                           | 13                          |
| 23/06/2011 | 12:57 | 57                            | 62                           | 13                          |
| 23/06/2011 | 12:58 | 58                            | 62                           | 13                          |
| 23/06/2011 | 12:59 | 59                            | 62                           | 13                          |
| 23/06/2011 | 13:00 | 60                            | 62                           | 13                          |
| 23/06/2011 | 13:01 | 61                            | 62                           | 13                          |
| 23/06/2011 | 13:02 | 62                            | 62                           | 14                          |
| 23/06/2011 | 13:03 | 63                            | 62                           | 14                          |
| 23/06/2011 | 13:04 | 64                            | 62                           | 14                          |
| 23/06/2011 | 13:05 | 65                            | 62                           | 14                          |
| 23/06/2011 | 13:06 | 66                            | 62                           | 14                          |
| 23/06/2011 | 13:07 | 67                            | 62                           | 14                          |
| 23/06/2011 | 13:08 | 68                            | 64                           | 14                          |
| 23/06/2011 | 13:09 | 69                            | 64                           | 15                          |
| 23/06/2011 | 13:10 | 70                            | 64                           | 15                          |
| 23/06/2011 | 13:11 | 71                            | 64                           | 15                          |
| 23/06/2011 | 13:12 | 72                            | 64                           | 15                          |
| 23/06/2011 | 13:13 | 73                            | 64                           | 15                          |

### 6.2.1. Gráficas de Capilaridad en MP

El muro patrón correspondiente a la primera parte de esta investigación (Huaynate y Cabrera, 2010), no contó con una gráfica de ascenso por capilaridad por haber resistido solo 20 minutos antes de precipitarse. Sin embargo, en esta segunda parte del proyecto, donde el muro MP soportó más de una hora de inundación, pudo obtenerse el registro de ascenso del agua por capilaridad (Tabla 14), el cual se muestra en el Gráfico 4.

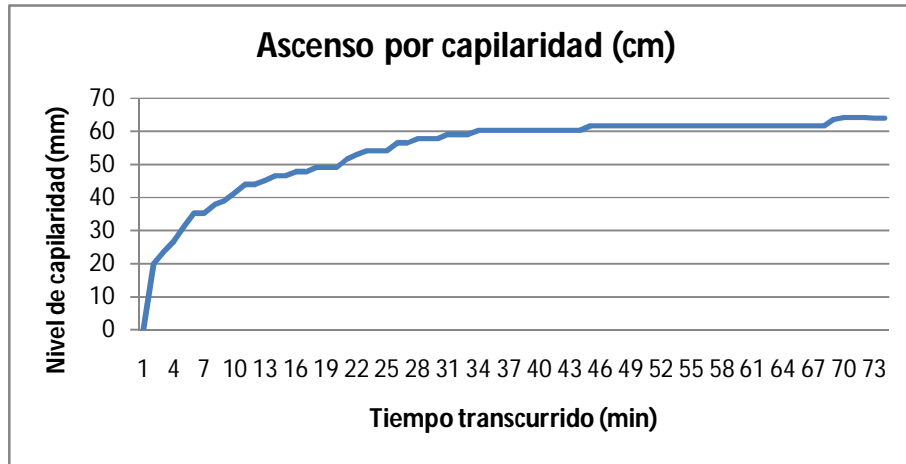


Gráfico 4: Ascenso de agua por capilaridad en el ensayo del muro MP

### 6.2.2. Gráficas de Absorción en MP

La absorción de agua por parte del muro MP, fue medida mediante el cambio del nivel superficial del agua en el canal, cuyo descenso fue registrado con una mira invertida (Tabla 14). Este descenso se presenta en el gráfico 5.

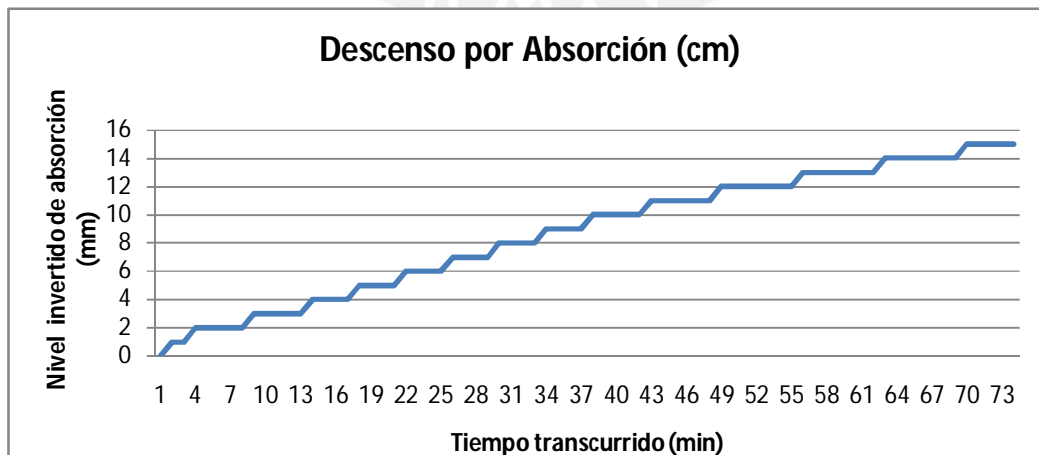


Gráfico 5: Descenso por absorción del nivel de agua en el ensayo del muro MP

### 6.3. Inundación en muro con sobrecimiento de ladrillos (ML)

Este espécimen se sometió al ensayo de inundación (Fig.37) el 23/06/2011 a las 13:00 horas y duro 24 días, luego de los cual se procedió a derrumbarlo el 19/07/2011 para conocer el estado de las distintas hiladas.



Fig. 37: Ensayo del muro con sobrecimiento de ladrillos ML. Día 19.

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

En este caso se pudo apreciar que ninguna partícula llegó a desprenderse, observándose una superficie limpia que permitió una mayor visión de las partes inferiores inundadas.

A los 5 minutos se llegó a alcanzar 15 milímetros de capilaridad. El ascenso del agua por capilaridad no se dio de manera paralela al nivel del agua, fue muy variada, lo que implicó la necesidad de tomar diversas medidas en la sección del muro que luego fueron promediadas para efectuar las gráficas del presente ensayo.

Terminado el ensayo, se procedió a demoler el muro. El retiro de las filas superiores, numeradas de arriba hacia abajo, se realizó retirando cada adobe y fotografiando los elementos centrales de cada hilada (Fig.38), hasta llegar al sobrecimiento de ladrillos. El retiro de los adobes de las filas superiores fue sencillo por tratarse de elementos poco humedecidos. El retiro de los ladrillos se hizo con comba y cincel (Fig.39).



Fig. 38: Vista de la última hilera de adobes encima del sobrecimiento de ladrillos



Fig. 39: Proceso de derrumbe del sobrecimiento de ladrillos.

La información registrada para obtener la absorción y el ascenso de agua por capilaridad en los períodos corto y largo de inundación del muro ML, aparece en las tablas 15, 16, 17 y 18 respectivamente.

Periodo Corto de Inundación del Muro ML:

**Tabla 15: Datos tomados para el periodo corto de inundación del muro ML**

| Fecha      | Hora  | Tiempo transcurrido (horas) | Ascenso por capilaridad (mm) | Descenso por Absorción (mm) | Observación                                     |
|------------|-------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|
| 23/06/2011 | 16:00 | 0                           | 0                            | 0                           | <i>Inicio</i>                                   |
| 23/06/2011 | 17:00 | 1                           | 10                           | 1                           |   |
| 23/06/2011 | 18:00 | 2                           | 17                           | 2                           |   |
| 23/06/2011 | 19:00 | 3                           | 22                           | 3                           |   |
| 24/06/2011 | 09:00 | 17                          | 46                           | 10                          |   |
| 24/06/2011 | 10:00 | 18                          | 44.5                         | 10                          |   |
| 24/06/2011 | 11:00 | 19                          | 46                           | 10                          |   |
| 24/06/2011 | 12:00 | 20                          | 50                           | 10                          |   |
| 24/06/2011 | 13:00 | 21                          | 51.5                         | 10                          |   |
| 24/06/2011 | 14:00 | 22                          | 52                           | 10.5                        |   |
| 24/06/2011 | 15:00 | 23                          | 53                           | 10.5                        |   |
| 24/06/2011 | 16:00 | 24                          | 54                           | 10.5                        | Transcurridas 24 horas se repusieron 7,8 litros |
| 24/06/2011 | 16:00 | 24                          | 54                           | 0                           |   |
| 24/06/2011 | 17:00 | 25                          | 55                           | 0                           |   |
| 24/06/2011 | 18:00 | 26                          | 56                           | 0.5                         |   |
| 24/06/2011 | 19:00 | 27                          | 56.5                         | 0.5                         |   |
| 25/06/2011 | 09:00 | 41                          | 59                           | 2                           |   |
| 25/06/2011 | 10:00 | 42                          | 59                           | 2                           |   |
| 25/06/2011 | 11:00 | 43                          | 59.5                         | 2                           |   |
| 25/06/2011 | 12:00 | 44                          | 59.5                         | 2.5                         |   |
| 25/06/2011 | 13:00 | 45                          | 59.5                         | 2.5                         |   |
| 25/06/2011 | 14:00 | 46                          | 59.5                         | 2.5                         |   |
| 25/06/2011 | 15:00 | 47                          | 60                           | 3                           |   |
| 25/06/2011 | 16:00 | 48                          | 60                           | 3                           | Transcurridas 48 horas se repusieron 2,6 litros |
| 25/06/2011 | 16:00 | 48                          | 60                           | 3                           |   |
| 25/06/2011 | 17:00 | 49                          | 60                           | 3                           |   |
| 25/06/2011 | 18:00 | 50                          | 60                           | 3                           |   |
| 25/06/2011 | 19:00 | 51                          | 60                           | 3.5                         |   |
| 26/06/2011 | 09:00 | 65                          | 61                           | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 10:00 | 66                          | 61                           | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 11:00 | 67                          | 61                           | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 12:00 | 68                          | 61                           | 1                           |   |
| 26/06/2011 | 13:00 | 69                          | 61                           | 1                           |   |
| 26/06/2011 | 14:00 | 70                          | 61                           | 1                           |   |
| 26/06/2011 | 15:00 | 71                          | 61                           | 1                           |   |
| 26/06/2011 | 16:00 | 72                          | 61                           | 1                           | Transcurridas 72 horas se repusieron 0,7 litros |



Tabla 16: Datos calculados para el periodo corto de inundación del muro ML

| Primer Día     |                 |                     |                | Segundo Día    |                 |                     |                | Tercer Día     |                 |                     |                |
|----------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------|
| Tiempo (horas) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) | Tiempo (horas) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) | Tiempo (horas) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) |
| 0              | 0.0             | 0.000               | 0.000          | 24             | 0.0             | 0.000               | 5.861          | 48             | 0.0             | 0.000               | 7.814          |
| 1              | 1.0             | 0.558               | 0.558          | 25             | 0.0             | 0.000               | 5.861          | 49             | 0.0             | 0.000               | 7.814          |
| 2              | 1.0             | 0.558               | 1.116          | 26             | 0.5             | 0.279               | 6.140          | 50             | 0.0             | 0.000               | 7.814          |
| 3              | 1.0             | 0.558               | 1.674          | 27             | 0.0             | 0.000               | 6.140          | 51             | 0.0             | 0.000               | 7.814          |
| 4              | 0.5             | 0.279               | 1.954          | 28             | 0.0             | 0.000               | 6.140          | 52             | 0.0             | 0.000               | 7.814          |
| 5              | 0.5             | 0.279               | 2.233          | 29             | 0.5             | 0.279               | 6.419          | 53             | 0.0             | 0.000               | 7.814          |
| 6              | 0.5             | 0.279               | 2.512          | 30             | 0.0             | 0.000               | 6.419          | 54             | 0.0             | 0.000               | 7.814          |
| 7              | 0.5             | 0.279               | 2.791          | 31             | 0.0             | 0.000               | 6.419          | 55             | 0.0             | 0.000               | 7.814          |
| 8              | 1.0             | 0.558               | 3.349          | 32             | 0.5             | 0.279               | 6.698          | 56             | 0.5             | 0.279               | 8.093          |
| 9              | 0.5             | 0.279               | 3.628          | 33             | 0.0             | 0.000               | 6.698          | 57             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 10             | 0.5             | 0.279               | 3.907          | 34             | 0.0             | 0.000               | 6.698          | 58             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 11             | 0.5             | 0.279               | 4.186          | 35             | 0.0             | 0.000               | 6.698          | 59             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 12             | 0.5             | 0.279               | 4.465          | 36             | 0.5             | 0.279               | 6.977          | 60             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 13             | 0.5             | 0.279               | 4.744          | 37             | 0.0             | 0.000               | 6.977          | 61             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 14             | 0.5             | 0.279               | 5.023          | 38             | 0.0             | 0.000               | 6.977          | 62             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 15             | 0.0             | 0.000               | 5.023          | 39             | 0.0             | 0.000               | 6.977          | 63             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 16             | 0.5             | 0.279               | 5.302          | 40             | 0.5             | 0.279               | 7.256          | 64             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 17             | 0.5             | 0.279               | 5.582          | 41             | 0.0             | 0.000               | 7.256          | 65             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 18             | 0.0             | 0.000               | 5.582          | 42             | 0.0             | 0.000               | 7.256          | 66             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 19             | 0.0             | 0.000               | 5.582          | 43             | 0.5             | 0.279               | 7.535          | 67             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 20             | 0.0             | 0.000               | 5.582          | 44             | 0.0             | 0.000               | 7.535          | 68             | 0.5             | 0.279               | 8.372          |
| 21             | 0.0             | 0.000               | 5.582          | 45             | 0.0             | 0.000               | 7.535          | 69             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 22             | 0.5             | 0.279               | 5.861          | 46             | 0.0             | 0.000               | 7.535          | 70             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 23             | 0.0             | 0.000               | 5.861          | 47             | 0.0             | 0.000               | 7.535          | 71             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 24             | 0.0             | 0.000               | 5.861          | 48             | 0.5             | 0.279               | 7.814          | 72             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |

- $\Delta H$  : Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)
- $\Delta V$  : Incremento de Absorción en Volumen (litros)
- V : Volumen acumulado de agua absorbida (litros)

Periodo Largo de Inundación del Muro ML:

Tabla 17: Datos tomados para el periodo largo de inundación del muro ML

| Fecha      | Hora  | Tiempo transcurrido (días) | Ascenso por capilaridad (mm) | Descenso por Absorción (mm) | Observación                                   |
|------------|-------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|
| 25/06/2011 | 16:00 | 3                          | 61                           | 0                           | <i>Inicio</i>                                 |
| 26/06/2011 | 16:00 | 4                          | 61                           | 1                           |   |
| 27/06/2011 | 16:00 | 5                          | 61                           | 2                           |   |
| 28/06/2011 | 16:00 | 6                          | 61                           | 2.5                         |   |
| 29/06/2011 | 16:00 | 7                          | 61                           | 3                           |   |
| 30/06/2011 | 16:00 | 8                          | 61                           | 3.5                         |   |
| 01/07/2011 | 16:00 | 9                          | 61                           | 4                           |   |
| 02/07/2011 | 16:00 | 10                         | 63                           | 4.5                         | Transcurridas 7 días se repusieron 23 litros  |
| 02/07/2011 | 16:00 | 10                         | 63                           | 0                           |   |
| 03/07/2011 | 16:00 | 11                         | 63                           | 0.5                         |   |
| 04/07/2011 | 16:00 | 12                         | 63                           | 1                           |   |
| 05/07/2011 | 16:00 | 13                         | 63                           | 1                           |   |
| 06/07/2011 | 16:00 | 14                         | 63                           | 1.5                         |   |
| 07/07/2011 | 16:00 | 15                         | 63                           | 1.5                         |   |
| 08/07/2011 | 16:00 | 16                         | 63                           | 2                           |   |
| 09/07/2011 | 16:00 | 17                         | 64                           | 2.5                         | Transcurridas 14 días se repusieron 21 litros |
| 09/07/2011 | 16:00 | 17                         | 64                           | 0                           |   |
| 10/07/2011 | 16:00 | 18                         | 64                           | 0                           |   |
| 11/07/2011 | 16:00 | 19                         | 64                           | 0.5                         |   |
| 12/07/2011 | 16:00 | 20                         | 64                           | 0.5                         |   |
| 13/07/2011 | 16:00 | 21                         | 64                           | 0.5                         |   |
| 14/07/2011 | 16:00 | 22                         | 64                           | 1                           |   |
| 15/07/2011 | 16:00 | 23                         | 64                           | 1                           |   |
| 16/07/2011 | 16:00 | 24                         | 64                           | 1                           | Transcurridas 21 días se finalizó el ensayo   |

Tabla 18: Datos calculados para el periodo largo de inundación del muro ML

| Tiempo (días) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) |
|---------------|-----------------|---------------------|----------------|
| 0             | 0               | 0                   | 0              |
| 1             | 0               | 5.861               | 5.861          |
| 2             | 0               | 1.674               | 7.535          |
| 3             | 0               | 0.558               | 8.093          |
| 4             | 1               | 0.558               | 8.651          |
| 5             | 1               | 0.558               | 9.209          |
| 6             | 0.5             | 0.279               | 9.489          |
| 7             | 0.5             | 0.279               | 9.768          |
| 8             | 0.5             | 0.279               | 10.047         |
| 9             | 0.5             | 0.279               | 10.326         |
| 10            | 0.5             | 0.279               | 10.605         |
| 11            | 0.5             | 0.279               | 10.884         |
| 12            | 0.5             | 0.279               | 11.163         |

| Tiempo (días) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) |
|---------------|-----------------|---------------------|----------------|
| 13            | 0               | 0                   | 11.163         |
| 14            | 0.5             | 0.279               | 11.442         |
| 15            | 0               | 0                   | 11.442         |
| 16            | 0.5             | 0.279               | 11.721         |
| 17            | 0.5             | 0.279               | 12             |
| 18            | 0               | 0                   | 12             |
| 19            | 0               | 0                   | 12             |
| 20            | 0.5             | 0.279               | 12.279         |
| 21            | 0               | 0                   | 12.279         |
| 22            | 0               | 0                   | 12.279         |
| 23            | 0.5             | 0.279               | 12.558         |
| 24            | 0               | 0                   | 12.558         |

$\Delta H$ : Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)

$\Delta V$ : Incremento de Absorción en Volumen (litros)

V: Volumen Absorbido Acumulado (litros)

### 6.3.1. Gráficas de Capilaridad en ML

En los gráficos 6 y 7, se presentan el comportamiento capilar del muro ML con sobrecimiento de ladrillos, en los períodos corto y largo de inundación, respectivamente. Allí puede notarse que a partir de las 35 horas de inundación, el ascenso capilar de agua se estabiliza en 60mm y sube como máximo hasta 61mm.

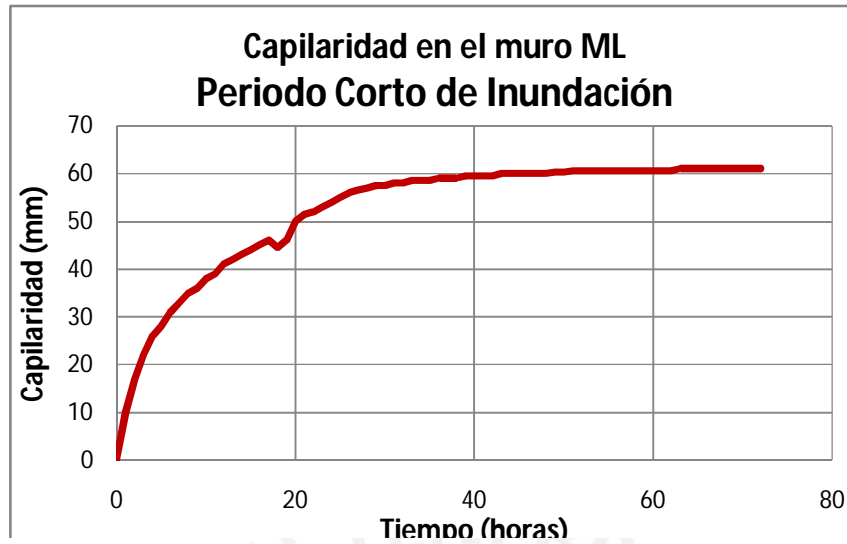


Gráfico 6: Capilaridad en el muro ML durante el periodo corto de inundación.



Gráfico 7: Capilaridad en el muro ML durante el periodo largo de inundación.

### 6.3.2. Gráficas de Absorción en ML

Se presentan en las gráficas 8 y 9, el volumen acumulado de agua absorbido por el muro ML, con sobrecimiento de ladrillos, durante el periodo corto y largo de inundación, respectivamente. En el gráfico 8 se aprecia doble pendiente, la primera (hasta  $t = 20$  horas) es más pronunciada que la segunda. En el gráfico 9 se nota un incremento continuo de absorción hasta el día en que terminó el ensayo.

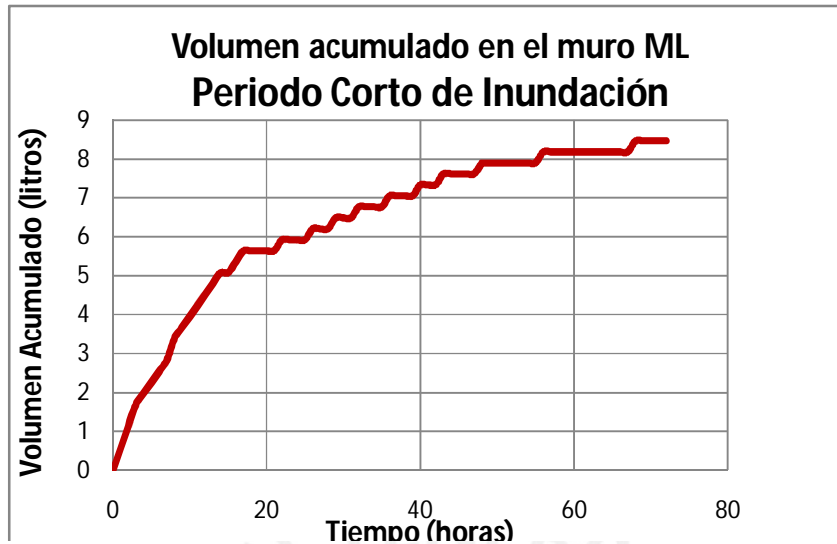


Gráfico 8: Absorción de agua durante el periodo corto de inundación para el muro ML

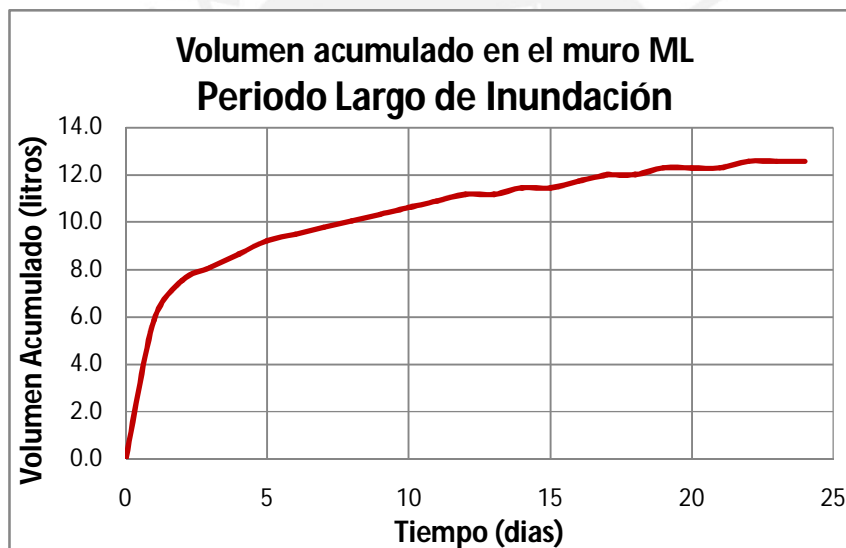


Gráfico 9: Absorción de agua durante el periodo largo de inundación para del muro ML

#### 6.4. Inundación en muro Tarrajado (MT)

El espécimen MT se sometió al ensayo de inundación (Fig.40) el 23/06/2011 a las 13:00 horas y duro 24 días, luego de los cual se procedió a derrumbarlo el 19/07/2011 para conocer el estado de las distintas hileras de adobe que entraron en contacto con el agua estancada.



Fig. 40: Ensayo de inundación del muro tarrajado MT (Izq. & Der. Inferior - Día 8, Der superior – Día 12)

Al igual que en el muro ML, se tuvo mucha facilidad para verter el agua sin la preocupación de la desintegración del muro en su base tarrajada. Se tuvo cuidado de no mojar las partes superiores al nivel señalado del agua, para que no se afecte el registro de capilaridad.

Se pudo apreciar que ninguna partícula del tarrajeo llegó a desintegrarse, notándose una superficie limpia que permitió una mayor visión de las partes inferiores inundadas. Por otro lado la superficie lisa del tarrajeo, como era de esperarse, no permitió la inmediata salida de burbujas producto del relleno de los vacíos. Asimismo, para evitar que el agua penetre por la base del muro, durante la construcción se le dio una ligera concavidad a la base del tarrajeo, que dio la impresión de funcionar adecuadamente ya que no se presentaron burbujas. Sin embargo, cabe la posibilidad que existan micro fisuras en el tarrajeo, por donde el agua podría filtrarse.

A los 5 minutos se llegó a alcanzar 15 milímetros de capilaridad. Durante el periodo corto de inundación se pudo observar en los filos superiores del tarrajeo un ligero desprendimiento del mortero.

El ascenso del agua por capilaridad no se dio de manera paralela al nivel del agua, fue muy variada, lo que implicó la necesidad de tomar diversas medidas en la sección del muro que luego fueron promediadas.

El retiro de las filas superiores, numeradas de arriba hacia abajo, se realizó sin usar ningún instrumento, fotografiando los elementos centrales de cada fila, hasta llegar al

nivel superior del tarrajeo. (Fig.41). Pudo notarse que los adobes estaban estables y relativamente secos.



**Fig. 41:** Se aprecia la última fila de adobe seca antes de ingresar a la altura de adobe tarrajeado.

En la Fig.42 se muestra la manera como se eliminó una de las capas del tarrajeo, empleando comba y cincel. Una vez que esa cara quedó expuesta se empezó a retirar los adobes fila por fila. El retiro de los adobes de las filas superiores de sobrecimiento tarrajeado fue sencillo por tratarse de elementos no muy humedecidos; sin embargo, a medida que se avanzaba hacia la parte inferior, se requirió de un gran cuidado para extraer los adobes en una sola pieza, debido a que la humedad en este sector le había quitado consistencia y otra parte estaba adherida al tarrajeo.



**Fig. 42:** Proceso de demolición del muro de adobe tarrajeado.

La información registrada para obtener la absorción y el ascenso de agua por capilaridad en los períodos corto y largo de inundación del muro MT, aparece en las tablas 19, 20, 21 y 22, respectivamente.

Periodo Corto de Inundación del Muro MT:

Tabla 19: Datos tomados para el periodo corto de inundación del muro MT

| Fecha      | Hora  | Tiempo transcurrido (horas) | Ascenso por capilaridad (mm) | Descenso por Absorción (mm) | Observación                                     |
|------------|-------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|
| 23/06/2011 | 16:00 | 0                           | 0                            | 0                           | <i>Inicio</i>                                   |
| 23/06/2011 | 17:00 | 1                           | 14                           | 0.5                         |   |
| 23/06/2011 | 18:00 | 2                           | 21                           | 1                           |   |
| 23/06/2011 | 19:00 | 3                           | 26                           | 1.5                         |   |
| 24/06/2011 | 09:00 | 17                          | 55                           | 7                           |   |
| 24/06/2011 | 10:00 | 18                          | 56.5                         | 7                           |   |
| 24/06/2011 | 11:00 | 19                          | 55                           | 8                           |   |
| 24/06/2011 | 12:00 | 20                          | 60                           | 8                           |   |
| 24/06/2011 | 13:00 | 21                          | 60                           | 9                           |   |
| 24/06/2011 | 14:00 | 22                          | 62                           | 9.5                         |   |
| 24/06/2011 | 15:00 | 23                          | 62.5                         | 9.5                         |   |
| 24/06/2011 | 16:00 | 24                          | 63                           | 9.5                         | Transcurridas 24 horas se repusieron 7,8 litros |
| 24/06/2011 | 16:00 | 24                          | 63                           | 0                           |   |
| 24/06/2011 | 17:00 | 25                          | 67                           | 0                           |   |
| 24/06/2011 | 18:00 | 26                          | 69                           | 0                           |   |
| 24/06/2011 | 19:00 | 27                          | 70.5                         | 0.5                         |   |
| 25/06/2011 | 09:00 | 41                          | 77                           | 2                           |   |
| 25/06/2011 | 10:00 | 42                          | 77                           | 2                           |   |
| 25/06/2011 | 11:00 | 43                          | 77.5                         | 2.5                         |   |
| 25/06/2011 | 12:00 | 44                          | 78                           | 2.5                         |   |
| 25/06/2011 | 13:00 | 45                          | 78                           | 3                           |   |
| 25/06/2011 | 14:00 | 46                          | 78.5                         | 3                           |   |
| 25/06/2011 | 15:00 | 47                          | 79                           | 4                           |   |
| 25/06/2011 | 16:00 | 48                          | 79                           | 4                           | Transcurridas 48 horas se repusieron 2,6 litros |
| 25/06/2011 | 16:00 | 48                          | 79.5                         | 4.5                         |   |
| 25/06/2011 | 17:00 | 49                          | 79.5                         | 4.5                         |   |
| 25/06/2011 | 18:00 | 50                          | 80                           | 5                           |   |
| 25/06/2011 | 19:00 | 51                          | 80                           | 5                           |   |
| 26/06/2011 | 09:00 | 65                          | 94                           | 1.5                         |   |
| 26/06/2011 | 10:00 | 66                          | 94.5                         | 1.5                         |   |
| 26/06/2011 | 11:00 | 67                          | 95                           | 1.5                         |   |
| 26/06/2011 | 12:00 | 68                          | 95                           | 1.5                         |   |
| 26/06/2011 | 13:00 | 69                          | 95                           | 1.5                         |   |
| 26/06/2011 | 14:00 | 70                          | 95.5                         | 2                           |   |
| 26/06/2011 | 15:00 | 71                          | 95.5                         | 2                           |   |
| 26/06/2011 | 16:00 | 72                          | 96                           | 2                           | Transcurridas 72 horas se repusieron 0,7 litros |



Tabla 20: Datos calculados para el periodo corto de inundación del muro MT

| Primer Día     |                 |                     |                | Segundo Día    |                 |                     |                | Tercer Día     |                 |                     |                |
|----------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------|
| Tiempo (horas) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) | Tiempo (horas) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) | Tiempo (horas) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) |
| 0              | 0.0             | 0.000               | 0.000          | 24             | 0.0             | 0.000               | 4.613          | 48             | 0.0             | 0.000               | 7.040          |
| 1              | 0.5             | 0.243               | 0.243          | 25             | 0.0             | 0.000               | 4.613          | 49             | 0.0             | 0.000               | 7.040          |
| 2              | 0.5             | 0.243               | 0.486          | 26             | 0.0             | 0.000               | 4.613          | 50             | 0.0             | 0.000               | 7.040          |
| 3              | 0.5             | 0.243               | 0.728          | 27             | 0.5             | 0.243               | 4.856          | 51             | 0.0             | 0.000               | 7.040          |
| 4              | 0.0             | 0.000               | 0.728          | 28             | 0.0             | 0.000               | 4.856          | 52             | 0.5             | 0.243               | 7.283          |
| 5              | 0.5             | 0.243               | 0.971          | 29             | 0.0             | 0.000               | 4.856          | 53             | 0.0             | 0.000               | 7.283          |
| 6              | 0.5             | 0.243               | 1.214          | 30             | 0.0             | 0.000               | 4.856          | 54             | 0.0             | 0.000               | 7.283          |
| 7              | 0.5             | 0.243               | 1.457          | 31             | 0.5             | 0.243               | 5.098          | 55             | 0.0             | 0.000               | 7.283          |
| 8              | 0.5             | 0.243               | 1.699          | 32             | 0.0             | 0.000               | 5.098          | 56             | 0.0             | 0.000               | 7.283          |
| 9              | 0.0             | 0.000               | 1.699          | 33             | 0.0             | 0.000               | 5.098          | 57             | 0.0             | 0.000               | 7.283          |
| 10             | 0.5             | 0.243               | 1.942          | 34             | 0.5             | 0.243               | 5.341          | 58             | 0.0             | 0.000               | 7.283          |
| 11             | 0.5             | 0.243               | 2.185          | 35             | 0.0             | 0.000               | 5.341          | 59             | 0.5             | 0.243               | 7.526          |
| 12             | 0.5             | 0.243               | 2.428          | 36             | 0.5             | 0.243               | 5.584          | 60             | 0.0             | 0.000               | 7.526          |
| 13             | 0.0             | 0.000               | 2.428          | 37             | 0.0             | 0.000               | 5.584          | 61             | 0.0             | 0.000               | 7.526          |
| 14             | 0.5             | 0.243               | 2.671          | 38             | 0.0             | 0.000               | 5.584          | 62             | 0.0             | 0.000               | 7.526          |
| 15             | 0.5             | 0.243               | 2.913          | 39             | 0.5             | 0.243               | 5.827          | 63             | 0.0             | 0.000               | 7.526          |
| 16             | 0.5             | 0.243               | 3.156          | 40             | 0.0             | 0.000               | 5.827          | 64             | 0.0             | 0.000               | 7.526          |
| 17             | 0.5             | 0.243               | 3.399          | 41             | 0.5             | 0.243               | 6.069          | 65             | 0.5             | 0.243               | 7.769          |
| 18             | 0.0             | 0.000               | 3.399          | 42             | 0.0             | 0.000               | 6.069          | 66             | 0.0             | 0.000               | 7.769          |
| 19             | 1.0             | 0.486               | 3.884          | 43             | 1.0             | 0.486               | 6.555          | 67             | 0.0             | 0.000               | 7.769          |
| 20             | 0.0             | 0.000               | 3.884          | 44             | 0.0             | 0.000               | 6.555          | 68             | 0.0             | 0.000               | 7.769          |
| 21             | 1.0             | 0.486               | 4.370          | 45             | 0.5             | 0.243               | 6.798          | 69             | 0.0             | 0.000               | 7.769          |
| 22             | 0.5             | 0.243               | 4.613          | 46             | 0.0             | 0.000               | 6.798          | 70             | 0.5             | 0.243               | 8.012          |
| 23             | 0.0             | 0.000               | 4.613          | 47             | 0.5             | 0.243               | 7.040          | 71             | 0.0             | 0.000               | 8.012          |
| 24             | 0.0             | 0.000               | 4.613          | 48             | 0.0             | 0.000               | 7.040          | 72             | 0.0             | 0.000               | 8.012          |

- $\Delta H$  : Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)
- $\Delta V$  : Incremento de Absorción en Volumen (litros)
- V : Volumen de agua acumulado por absorción (litros)

Periodo Largo de Inundación del Muro MT:

Tabla 21: Datos tomados para el periodo largo de inundación del muro MT

| Fecha      | Hora  | Tiempo transcurrido (días) | Ascenso por capilaridad (mm) | Descenso por Absorción (mm) | Observación                                   |
|------------|-------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|
| 25/06/2011 | 16:00 | 3                          | 96                           | 0                           | <i>Inicio</i>                                 |
| 26/06/2011 | 16:00 | 4                          | 104                          | 5                           |   |
| 27/06/2011 | 17:00 | 5                          | 107                          | 11                          |   |
| 28/06/2011 | 18:00 | 6                          | 108                          | 17                          |   |
| 29/06/2011 | 19:00 | 7                          | 108                          | 24                          |   |
| 30/06/2011 | 20:00 | 8                          | 108                          | 32                          |   |
| 01/07/2011 | 16:00 | 9                          | 108                          | 41                          |   |
| 02/07/2011 | 16:00 | 10                         | 140                          | 50                          | Transcurridas 7 días se repusieron 23 litros  |
| 02/07/2011 | 16:00 | 10                         | 142                          | 0                           |   |
| 03/07/2011 | 16:00 | 11                         | 142                          | 6                           |   |
| 04/07/2011 | 16:00 | 12                         | 144                          | 13                          |   |
| 05/07/2011 | 16:00 | 13                         | 145                          | 19                          |   |
| 06/07/2011 | 16:00 | 14                         | 148                          | 25.5                        |   |
| 07/07/2011 | 16:00 | 15                         | 150                          | 32                          |   |
| 08/07/2011 | 16:00 | 16                         | 150                          | 38                          |   |
| 09/07/2011 | 16:00 | 17                         | 175                          | 45                          | Transcurridas 14 días se repusieron 21 litros |
| 09/07/2011 | 16:00 | 17                         | 178                          | 0                           |   |
| 10/07/2011 | 16:00 | 18                         | 178                          | 2                           |   |
| 11/07/2011 | 16:00 | 19                         | 179                          | 5                           |   |
| 12/07/2011 | 16:00 | 20                         | 179                          | 9                           |   |
| 13/07/2011 | 16:00 | 21                         | 179                          | 13                          |   |
| 14/07/2011 | 16:00 | 22                         | 179                          | 18                          |   |
| 15/07/2011 | 16:00 | 23                         | 179                          | 24                          |   |
| 16/07/2011 | 16:00 | 24                         | 179                          | 32                          | Transcurridas 21 días se finalizó el ensayo   |

Tabla 22: Datos calculados para el periodo largo de inundación del muro M1

| Tiempo (días) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) | Tiempo (días) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) |
|---------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------|-----------------|---------------------|----------------|
| 0             | 0.0             | 0.000               | 0.000          | 13            | 6.0             | 2.913               | 41.515         |
| 1             | 0.0             | 4.613               | 4.613          | 14            | 6.5             | 3.156               | 44.671         |
| 2             | 0.0             | 2.428               | 7.040          | 15            | 6.5             | 3.156               | 47.827         |
| 3             | 0.0             | 0.971               | 8.012          | 16            | 6.0             | 2.913               | 50.740         |
| 4             | 5.0             | 2.428               | 10.439         | 17            | 7.0             | 3.399               | 54.139         |
| 5             | 6.0             | 2.913               | 13.353         | 18            | 2.0             | 0.971               | 55.110         |
| 6             | 6.0             | 2.913               | 16.266         | 19            | 3.0             | 1.457               | 56.567         |
| 7             | 7.0             | 3.399               | 19.665         | 20            | 4.0             | 1.942               | 58.509         |
| 8             | 8.0             | 3.884               | 23.549         | 21            | 4.0             | 1.942               | 60.451         |
| 9             | 9.0             | 4.370               | 27.919         | 22            | 5.0             | 2.428               | 62.879         |
| 10            | 9.0             | 4.370               | 32.289         | 23            | 6.0             | 2.913               | 65.792         |
| 11            | 6.0             | 2.913               | 35.202         | 24            | 8.0             | 3.884               | 69.676         |
| 12            | 7.0             | 3.399               | 38.601         |               |                 |                     |                |

- $\Delta H$  : Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)
- $\Delta V$  : Incremento de Absorción en Volumen (litros)
- V : Volumen acumulado de agua por absorción (litros)

6.4.1. Gráficas de Capilaridad en MT

Se presentan las gráficas 10 y 11, de la capilaridad en el muro con sobrecimiento tarrajado MT, para el período corto y prolongado de inundación.

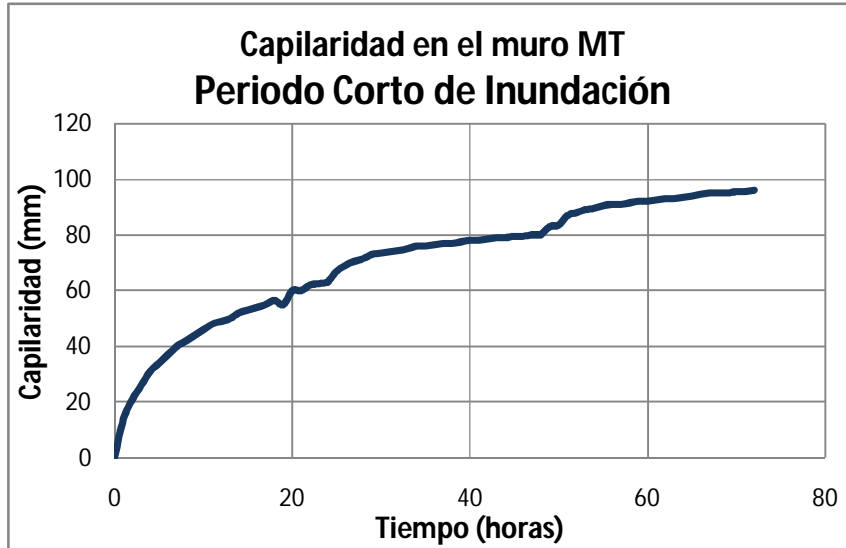


Gráfico 10: Capilaridad del muro MT para el periodo corto de inundación.

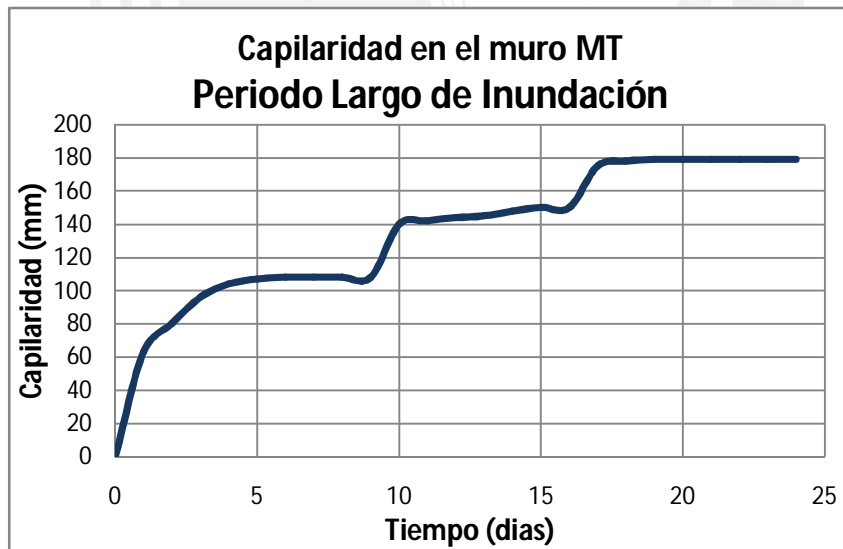


Gráfico 11: Capilaridad del muro MT para el periodo largo de inundación.

**6.4.2. Gráficas de Absorción en MT**

En los gráficos 12 y 13, se presenta el volumen acumulado de agua por absorción del muro MT en los periodos corto y prolongado de inundación, respectivamente. Al igual que en ML, en el gráfico 12 se nota una doble pendiente, mientras que en el gráfico 13 se aprecia un incremento continuo del volumen de agua absorbido hasta el final del ensayo.

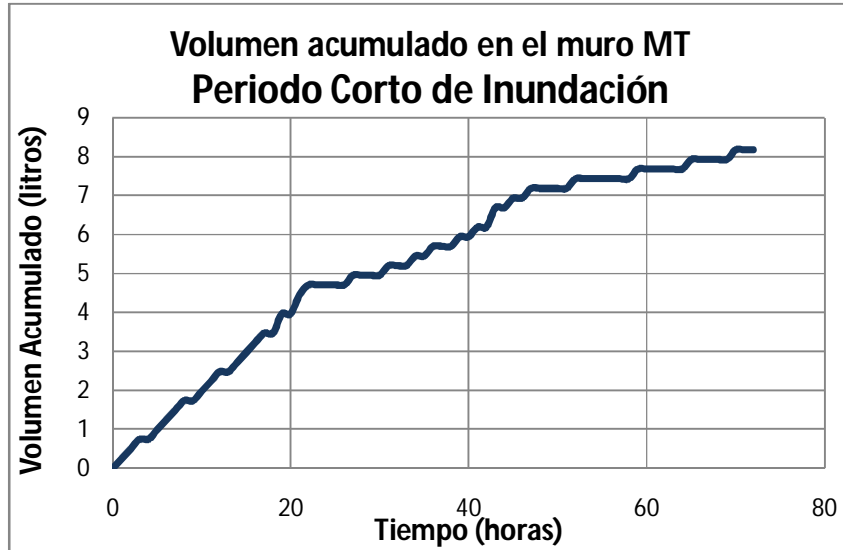


Gráfico 12: Absorción de agua durante el periodo corto de inundación para el muro MT

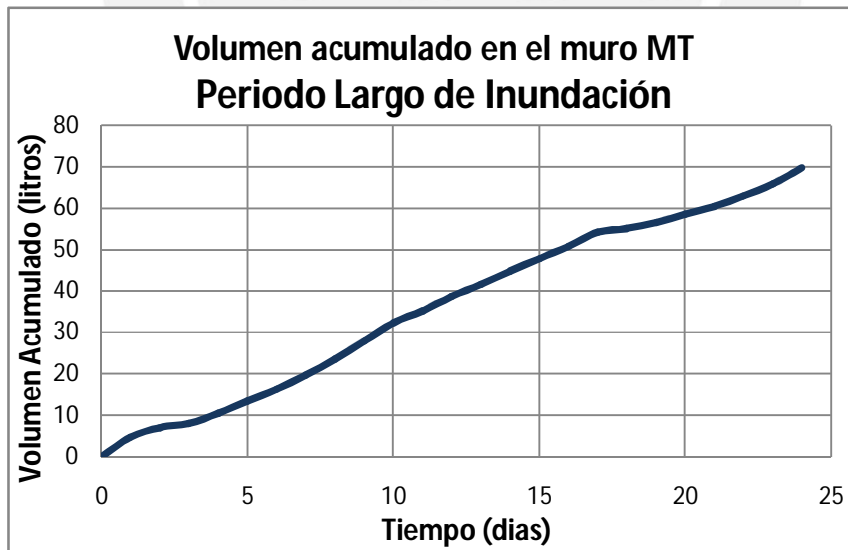


Gráfico 13: Absorción de agua durante el periodo largo de inundación para el muro MT

### 6.5. Inundación en muro con sobrecimiento ciclópeo (MC)

Este espécimen se sometió al ensayo de inundación (Fig.43) el 23/06/2011 a las 13:00 horas y duro 24 días, luego de los cual se procedió a derrumbarlo el 19/07/2011 para conocer el estado del material de sobrecimiento y si el agua había alcanzado las filas superiores de adobe.



**Fig. 43: Ensayo de inundación del muro con sobrecimiento ciclópeo MC(Izq. & Der. inferior- Día 2, Der. superior – Día 10)**

Dentro del periodo corto de inundación, el agua se mostró en todo momento limpia. Solo se tuvo pigmentos rojizos de suciedad provenientes del tira línea y del propio polvo del ambiente constructivo del laboratorio.

Al verterse el agua dentro del segmento del canal, se observaron burbujas elevándose de manera lenta. Fuera de este detalle no se observó ninguna alteración apreciable en los primeros instantes de la inundación.

Dentro del periodo largo de inundación se observó como el agua ascendía por capilaridad, teniendo etapas de secado y recuperación de agua; formándose zonas de humedad con un color más acentuado.

Cabe resaltar que el continuo secado y recuperación de altura de la capilaridad en el muro MC, dejo marcas de humedad que dificultaron la toma de medidas en el transcurso de las tres semanas de ensayo.

Siguiendo los lineamientos del método de ensayo por inundación, al no haberse precipitado ni alterado gravemente el espécimen durante el ensayo, se considera que el resultado de esta alternativa es satisfactorio.

Para el derrumbe de los muros, primero se retiró el agua estancada en el canal y se dejó secar, durante este tiempo se observó que el sobrecimiento de MC, empezó a secarse rápidamente.

El proceso de derrumbe fue lento y con el cuidado de retirar los bloques de adobe uno a uno, sacando fotos de los elementos centrales de cada fila numerada de arriba hacia abajo (Fig.44).



**Fig. 44: Últimas hiladas de adobe antes de llegar al bloque de sobrecimiento ciclópeo.**

La demolición del sobrecimiento de concreto ciclópeo se hizo con una comba (Fig.45), buscando extraer fragmentos representativos, los cuales, a la vez, daban una mejor observación interna de la forma de actuar del agua en dicho muro después de la inundación. La humedad se percibió gradualmente en altura, al observar las piezas fracturadas; dando mayor contenido de agua la parte inferior inundada.



**Fig. 45: Derrumbe del bloque de concreto ciclópeo.**

La información registrada para obtener la absorción y el ascenso de agua por capilaridad en los períodos corto y largo de inundación del muro MC, aparece en las tablas 23, 24, 25 y 26, respectivamente.

Periodo Corto de Inundación del Muro MC:

**Tabla 23: Datos tomados para el periodo corto de inundación del muro MC**

| Fecha      | Hora  | Tiempo transcurrido (horas) | Ascenso por capilaridad (mm) | Descenso por Absorción (mm) | Observación                                     |
|------------|-------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|
| 23/06/2011 | 16:00 | 0                           | 0                            | 0                           | <i>Inicio</i>                                   |
| 23/06/2011 | 17:00 | 1                           | 28                           | 0.5                         |   |
| 23/06/2011 | 18:00 | 2                           | 45                           | 1                           |   |
| 23/06/2011 | 19:00 | 3                           | 57                           | 1.5                         |   |
| 24/06/2011 | 09:00 | 17                          | 117                          | 10                          |   |
| 24/06/2011 | 10:00 | 18                          | 119                          | 10                          |   |
| 24/06/2011 | 11:00 | 19                          | 121.5                        | 10                          |   |
| 24/06/2011 | 12:00 | 20                          | 125                          | 10.5                        |   |
| 24/06/2011 | 13:00 | 21                          | 128                          | 10.5                        |   |
| 24/06/2011 | 14:00 | 22                          | 132.5                        | 11                          |   |
| 24/06/2011 | 15:00 | 23                          | 130                          | 11.5                        |   |
| 24/06/2011 | 16:00 | 24                          | 133                          | 11.5                        | Transcurridas 24 horas se repusieron 7,8 litros |
| 24/06/2011 | 16:00 | 24                          | 133                          | 0                           |   |
| 24/06/2011 | 17:00 | 25                          | 147                          | 0                           |   |
| 24/06/2011 | 18:00 | 26                          | 156                          | 0                           |   |
| 24/06/2011 | 19:00 | 27                          | 162                          | 0.5                         |   |
| 25/06/2011 | 09:00 | 41                          | 188                          | 1.5                         |   |
| 25/06/2011 | 10:00 | 42                          | 189.5                        | 1.5                         |   |
| 25/06/2011 | 11:00 | 43                          | 191                          | 1.5                         |   |
| 25/06/2011 | 12:00 | 44                          | 192                          | 2                           |   |
| 25/06/2011 | 13:00 | 45                          | 193                          | 2                           |   |
| 25/06/2011 | 14:00 | 46                          | 194                          | 2                           |   |
| 25/06/2011 | 15:00 | 47                          | 195                          | 2.5                         |   |
| 25/06/2011 | 16:00 | 48                          | 196.5                        | 2.5                         | Transcurridas 48 horas se repusieron 2,6 litros |
| 25/06/2011 | 16:00 | 48                          | 197.5                        | 2.5                         |   |
| 25/06/2011 | 17:00 | 49                          | 198.5                        | 3                           |   |
| 25/06/2011 | 18:00 | 50                          | 199                          | 3                           |   |
| 25/06/2011 | 19:00 | 51                          | 201                          | 3                           |   |
| 26/06/2011 | 09:00 | 65                          | 223                          | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 10:00 | 66                          | 223.5                        | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 11:00 | 67                          | 224                          | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 12:00 | 68                          | 224.5                        | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 13:00 | 69                          | 224.5                        | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 14:00 | 70                          | 225                          | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 15:00 | 71                          | 225.5                        | 0.5                         |   |
| 26/06/2011 | 16:00 | 72                          | 226                          | 0.5                         | Transcurridas 72 horas se repusieron 0,7 litros |



Tabla 24: Datos calculados para el periodo largo de inundación del muro MC

| Primer Día     |                 |                     |                | Segundo Día    |                 |                     |                | Tercer Día     |                 |                     |                |
|----------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------|
| Tiempo (horas) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) | Tiempo (horas) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) | Tiempo (horas) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) |
| 0              | 0.0             | 0.000               | 0.000          | 24             | 0.0             | 0.000               | 6.419          | 48             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 1              | 0.5             | 0.279               | 0.279          | 25             | 0.0             | 0.000               | 6.419          | 49             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 2              | 0.5             | 0.279               | 0.558          | 26             | 0.0             | 0.000               | 6.419          | 50             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 3              | 0.5             | 0.279               | 0.837          | 27             | 0.5             | 0.279               | 6.698          | 51             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 4              | 0.5             | 0.279               | 1.116          | 28             | 0.0             | 0.000               | 6.698          | 52             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 5              | 1.0             | 0.558               | 1.674          | 29             | 0.0             | 0.000               | 6.698          | 53             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 6              | 0.5             | 0.279               | 1.954          | 30             | 0.0             | 0.000               | 6.698          | 54             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 7              | 0.5             | 0.279               | 2.233          | 31             | 0.5             | 0.279               | 6.977          | 55             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 8              | 0.5             | 0.279               | 2.512          | 32             | 0.0             | 0.000               | 6.977          | 56             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 9              | 1.0             | 0.558               | 3.070          | 33             | 0.0             | 0.000               | 6.977          | 57             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 10             | 0.5             | 0.279               | 3.349          | 34             | 0.0             | 0.000               | 6.977          | 58             | 0.0             | 0.000               | 8.093          |
| 11             | 1.0             | 0.558               | 3.907          | 35             | 0.0             | 0.000               | 6.977          | 59             | 0.5             | 0.279               | 8.372          |
| 12             | 1.0             | 0.558               | 4.465          | 36             | 0.5             | 0.279               | 7.256          | 60             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 13             | 0.5             | 0.279               | 4.744          | 37             | 0.0             | 0.000               | 7.256          | 61             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 14             | 0.5             | 0.279               | 5.023          | 38             | 0.0             | 0.000               | 7.256          | 62             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 15             | 0.0             | 0.000               | 5.023          | 39             | 0.0             | 0.000               | 7.256          | 63             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 16             | 0.5             | 0.279               | 5.302          | 40             | 0.5             | 0.279               | 7.535          | 64             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 17             | 0.5             | 0.279               | 5.582          | 41             | 0.0             | 0.000               | 7.535          | 65             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 18             | 0.0             | 0.000               | 5.582          | 42             | 0.0             | 0.000               | 7.535          | 66             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 19             | 0.0             | 0.000               | 5.582          | 43             | 0.5             | 0.279               | 7.814          | 67             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 20             | 0.5             | 0.279               | 5.861          | 44             | 0.0             | 0.000               | 7.814          | 68             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 21             | 0.0             | 0.000               | 5.861          | 45             | 0.0             | 0.000               | 7.814          | 69             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 22             | 0.5             | 0.279               | 6.140          | 46             | 0.5             | 0.279               | 8.093          | 70             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 23             | 0.5             | 0.279               | 6.419          | 47             | 0.0             | 0.000               | 8.093          | 71             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |
| 24             | 0.0             | 0.000               | 6.419          | 48             | 0.0             | 0.000               | 8.093          | 72             | 0.0             | 0.000               | 8.372          |

- $\Delta H$  : Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)
- $\Delta V$  : Incremento de Absorción en Volumen (litros)
- V : Volumen acumulado de agua absorbido por MC (litros)

Periodo Largo de Inundación del Muro MC:

Tabla 25: Datos tomados para el periodo largo de inundación del muro MC

| Fecha      | Hora  | Tiempo transcurrido (días) | Ascenso por capilaridad (mm) | Descenso por Absorción (mm) | Observación                                   |
|------------|-------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|
| 25/06/2011 | 16:00 | 3                          | 226                          | 0                           | <i>Inicio</i>                                 |
| 26/06/2011 | 16:00 | 4                          | 249                          | 3                           |   |
| 27/06/2011 | 17:00 | 5                          | 263                          | 7                           |   |
| 28/06/2011 | 18:00 | 6                          | 278                          | 12                          |   |
| 29/06/2011 | 19:00 | 7                          | 282                          | 18                          |   |
| 30/06/2011 | 20:00 | 8                          | 287                          | 24                          |   |
| 01/07/2011 | 16:00 | 9                          | 289                          | 31                          |   |
| 02/07/2011 | 16:00 | 10                         | 308                          | 39                          | Transcurridas 7 días se repusieron 23 litros  |
| 02/07/2011 | 16:00 | 10                         | 309                          | 0                           |   |
| 03/07/2011 | 16:00 | 11                         | 309                          | 4                           |   |
| 04/07/2011 | 16:00 | 12                         | 310                          | 9                           |   |
| 05/07/2011 | 16:00 | 13                         | 310                          | 14                          |   |
| 06/07/2011 | 16:00 | 14                         | 312                          | 19                          |   |
| 07/07/2011 | 16:00 | 15                         | 314                          | 24                          |   |
| 08/07/2011 | 16:00 | 16                         | 314                          | 29                          |   |
| 09/07/2011 | 16:00 | 17                         | 325                          | 35                          | Transcurridas 14 días se repusieron 21 litros |
| 09/07/2011 | 16:00 | 17                         | 327                          | 0                           |   |
| 10/07/2011 | 16:00 | 18                         | 327                          | 2                           |   |
| 11/07/2011 | 16:00 | 19                         | 329                          | 4                           |   |
| 12/07/2011 | 16:00 | 20                         | 330                          | 6.5                         |   |
| 13/07/2011 | 16:00 | 21                         | 330                          | 9                           |   |
| 14/07/2011 | 16:00 | 22                         | 330                          | 11.5                        |   |
| 15/07/2011 | 16:00 | 23                         | 330                          | 14.5                        |   |
| 16/07/2011 | 16:00 | 24                         | 330                          | 17.5                        | Transcurridas 21 días se finalizó el ensayo   |

Tabla 26: Datos calculados para el periodo largo de inundación del muro MC

| Tiempo (días) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) | Tiempo (días) | $\Delta H$ (mm) | $\Delta V$ (litros) | V acu (litros) |
|---------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------|-----------------|---------------------|----------------|
| 0             | 0.0             | 0.000               | 0.000          | 13            | 5.0             | 2.791               | 37.954         |
| 1             | 0.0             | 6.419               | 6.419          | 14            | 5.0             | 2.791               | 40.745         |
| 2             | 0.0             | 1.674               | 8.093          | 15            | 5.0             | 2.791               | 43.536         |
| 3             | 0.0             | 0.279               | 8.372          | 16            | 5.0             | 2.791               | 46.326         |
| 4             | 3.0             | 1.674               | 10.047         | 17            | 6.0             | 3.349               | 49.675         |
| 5             | 4.0             | 2.233               | 12.279         | 18            | 2.0             | 1.116               | 50.792         |
| 6             | 5.0             | 2.791               | 15.070         | 19            | 2.0             | 1.116               | 51.908         |
| 7             | 6.0             | 3.349               | 18.419         | 20            | 2.5             | 1.395               | 53.303         |
| 8             | 6.0             | 3.349               | 21.768         | 21            | 2.5             | 1.395               | 54.699         |
| 9             | 7.0             | 3.907               | 25.675         | 22            | 2.5             | 1.395               | 56.094         |
| 10            | 8.0             | 4.465               | 30.140         | 23            | 3.0             | 1.674               | 57.769         |
| 11            | 4.0             | 2.233               | 32.373         | 24            | 3.0             | 1.674               | 59.443         |
| 12            | 5.0             | 2.791               | 35.163         |               |                 |                     |                |

$\Delta H$  : Incremento de Absorción en Altura de Mira (cm)

$\Delta V$  : Incremento de Absorción en Volumen (litros)

V : Volumen acumulado de agua absorbido por MC (litros)

### 6.5.1. Gráficas de Capilaridad en MC

En los gráficos 14 y 15 se presenta la capilaridad en el muro con sobrecimiento ciclópeo MC para el periodo corto y largo de inundación, respectivamente.

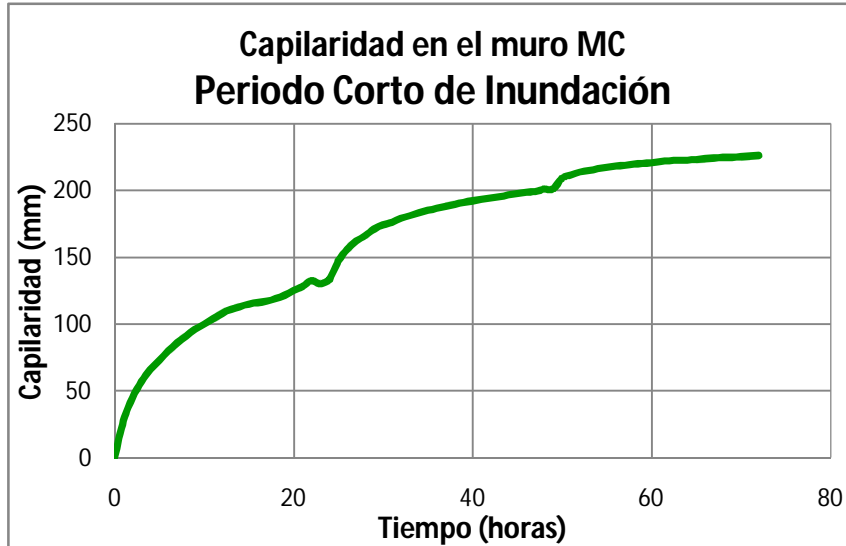


Gráfico 14: Capilaridad durante el periodo corto de inundación para el muro MC

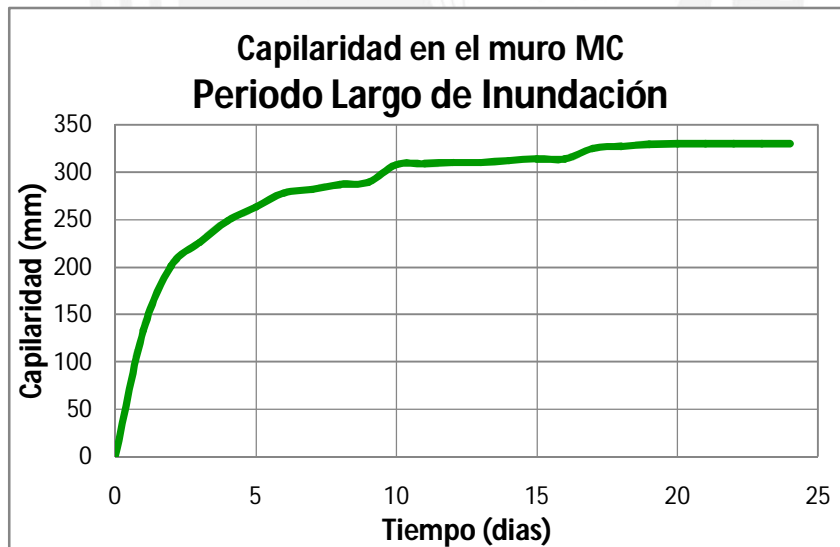


Gráfico 15: Capilaridad durante el periodo largo de inundación para el muro MC

### 6.5.2. Gráficas de Absorción en MC

Se presentan en las gráficas 16 y 17 los volúmenes de agua acumulados por la absorción del muro MC, con sobrecimiento de concreto ciclópeo, durante el periodo corto y largo de inundación, respectivamente.

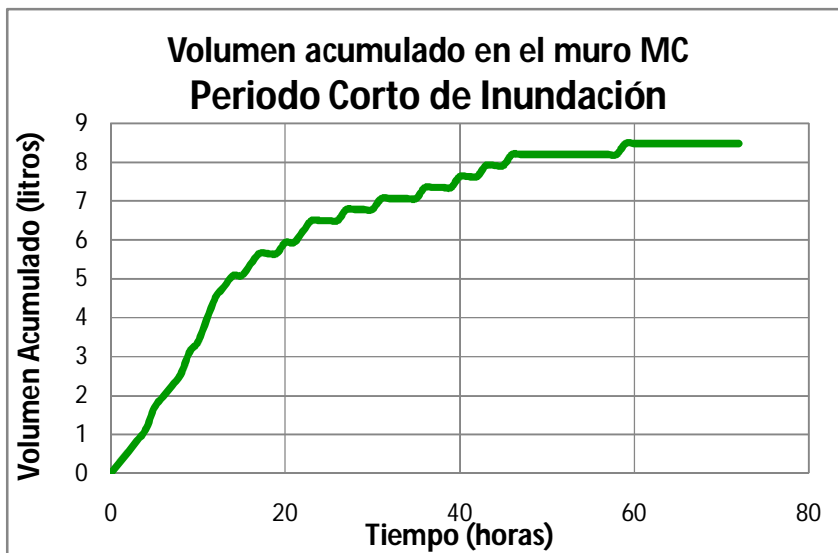


Gráfico 16: Absorción de agua durante el periodo corto de inundación para el muro MC.

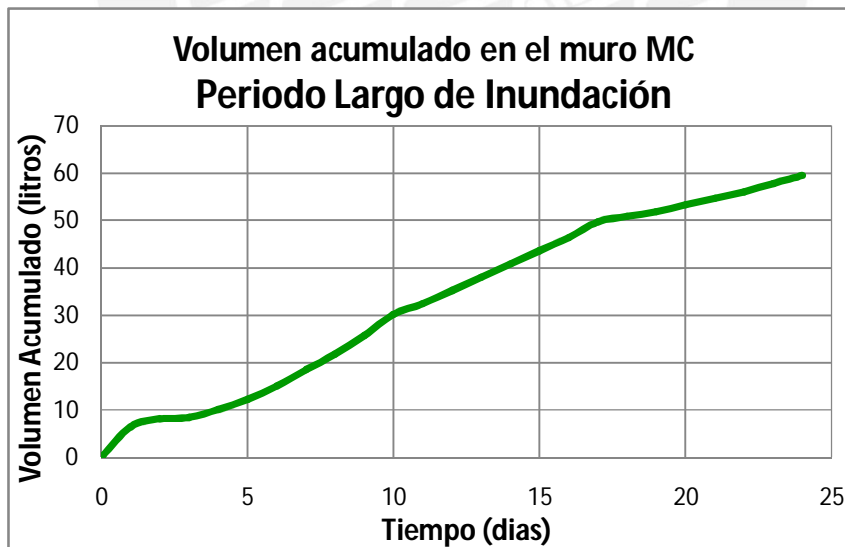


Gráfico 17: Absorción de agua durante el periodo largo de inundación para el muro MC

## 7. INTERPRETACION DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE COSTOS

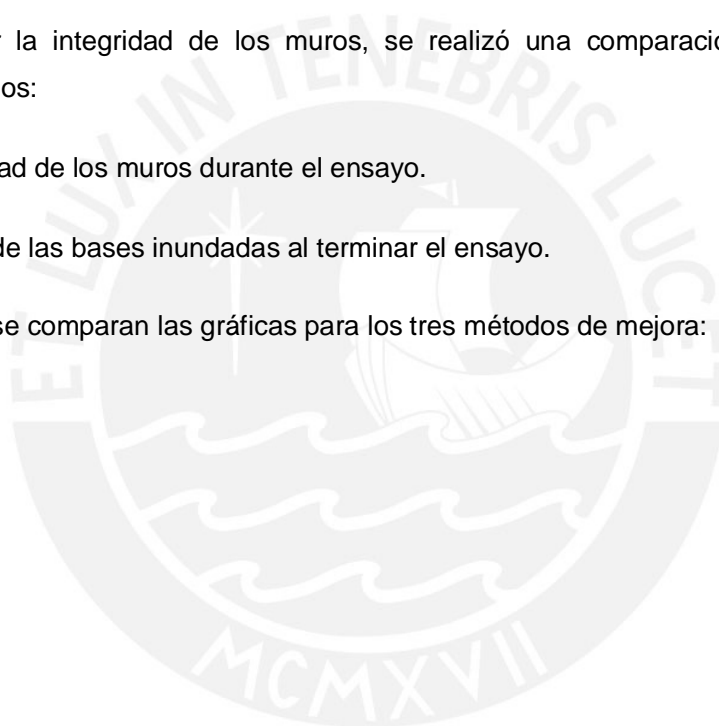
Para interpretar los resultados del ensayo de inundación, en este capítulo se elaboraron las siguientes gráficas comparativas, para lo cual se emplearon las gráficas presentadas en el Capítulo 6 para cada muro:

- Comparativo de gráficas de capilaridad durante el Periodo Corto y Largo de Inundación.
- Comparativo de gráficas de volumen de agua absorbida durante el Periodo Corto y Largo de Inundación.

Para cuantificar la integridad de los muros, se realizó 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. Comparación de resultados del Ensayo de Inundación

### 7.1.1. Comparativo de Gráficas de Capilaridad durante el Periodo Corto de Inundación (PCI)

En la gráfica 18 se puede percibir el avance de la capilaridad de los tres muros durante los tres primeros días de inundación. Cada trazo a través del tiempo no guarda en general una tendencia; sin embargo, si se analiza la capilaridad diaria, se observa un ascenso brusco durante los primeros instantes de la inundación, para que posteriormente conserve un ascenso lineal más definido según el tipo de material.

Comparando la parte final de los trazos se observa un muro de sobrecimiento ciclópeo (MC) con mayor capilaridad, seguido por el muro tarrajado (MT) y dejando al muro con sobrecimiento de ladrillos (ML) como el muro con menor succión.

Culminado el período corto de inundación, los resultados finales de la capilaridad en los muros con sobrecimiento de ladrillos, tarrajado y ciclópeo fueron: 61mm, 96mm y 226 mm, respectivamente.

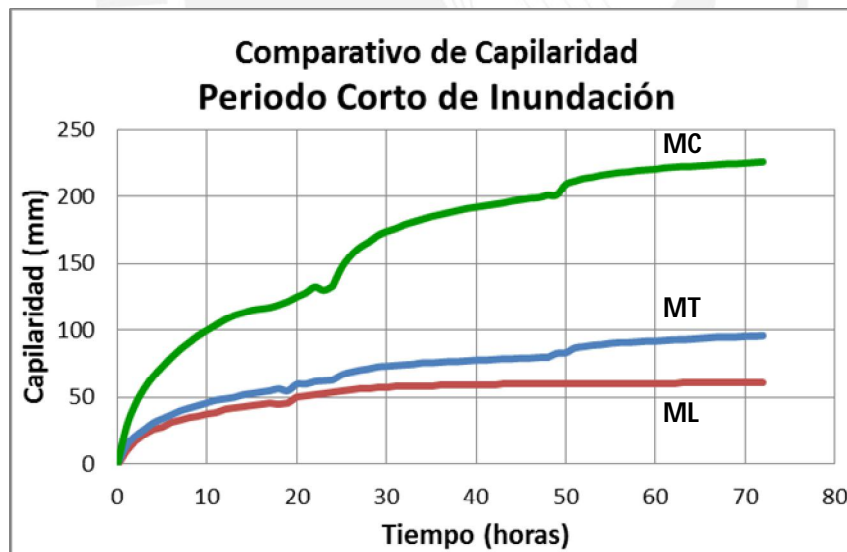


Gráfico 18: Comparativo de capilaridades en las primeras 72 horas.

### 7.1.2. Comparativo de Gráficas de Capilaridad durante el Periodo Largo de Inundación (PCI)

En la gráfica 19 se puede percibir el avance de la capilaridad de los tres muros durante el periodo largo de inundación. Al igual que el gráfico 18, se percibe que el avance de la capilaridad a través del tiempo no tiene una tendencia definida; a diferencia del muro ML con base de ladrillos, que muestra una gráfica bilineal, estabilizándose la capilaridad a partir del segundo día de inundación.

En el último día del ensayo los niveles de capilaridad para los muros MC, MT y ML, fueron: 330mm, 179mm y 64mm, respectivamente, en el mismo orden antes mencionado para el periodo corto de inundación.

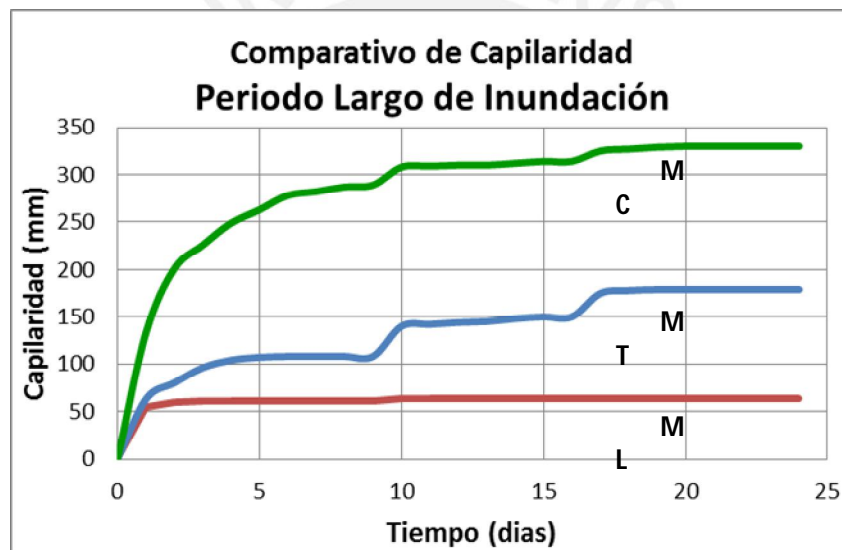


Gráfico 19: Comparativo entre capilaridades del periodo largo de análisis.

### 7.1.3. Comparativo de Gráficas de Absorción durante el Periodo Corto de Inundación (PCI)

En la gráfica 20 se aprecia el avance de absorción de agua de los tres muros durante los tres primeros días de inundación. Cada trazo de absorción a través del tiempo no guarda en general una tendencia definida; sin embargo, podría decirse que los 3 muros presentaron un comportamiento trilineal, cambiando de pendiente durante cada día, y que no tuvieron diferencias sustanciales en absorber agua durante el período corto de inundación.



Culminado el primer período de ensayo, los volúmenes de agua absorbidos para el muro de sobrecimiento de ladrillos ML, tarrajado MT y con sobrecimiento de ciclópeo MC son: 8.1, 8.0 y 8.4 litros respectivamente.

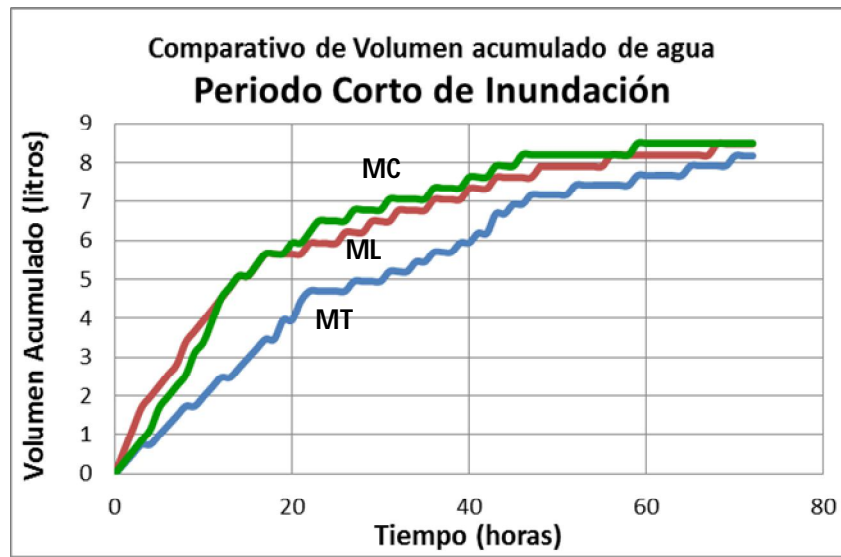


Gráfico 20: Comparativo de absorción durante del periodo corto de inundación.

#### 7.1.4. Comparativo de Gráficas de Absorción durante el Periodo Largo de Inundación (PLI)

En la gráfica 21 se aprecia el avance de absorción durante la totalidad de días del ensayo. Allí se aprecia una clara ventaja del muro con base de ladrillos (ML), ya que a partir de los 3 días se estabiliza su absorción de agua, mientras que en los otros dos el volumen de agua absorbido se incrementa linealmente.

Al terminar la prueba, los volúmenes de agua absorbida por los muros con sobrecimiento de ladrillos (ML), tarrajado (MT) y con sobrecimiento de ciclópeo (MC), fueron: 13, 70 y 59 litros, respectivamente.

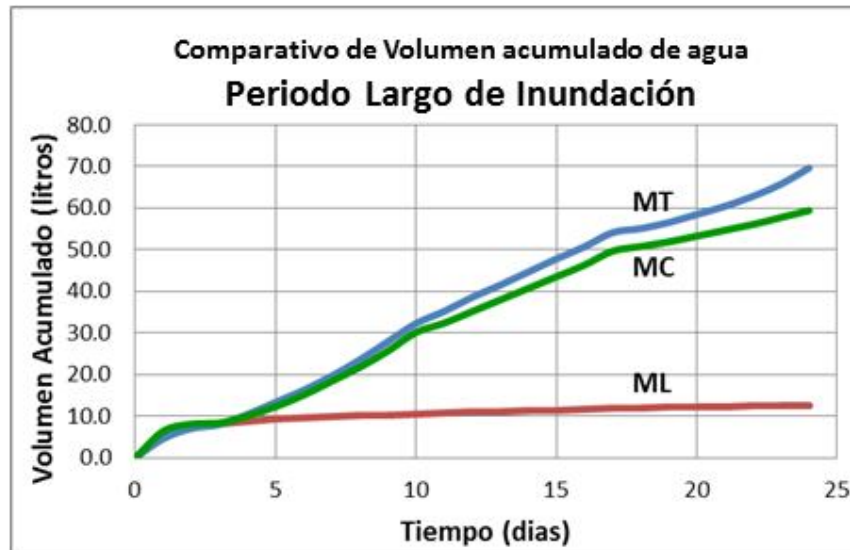


Gráfico 21: Comparativo de absorción del periodo largo de inundación.

### 7.1.5. Capilaridad y Absorción en el Período Largo de Inundación

Si se comparan los gráficos 19 y 21 para los muros MC y MT se podría decir que en el período largo de inundación no hay relación entre la capilaridad y la absorción, ya que para estos muros la capilaridad alcanza una constante mientras que la absorción mantiene un incremento lineal, con la excepción del muro ML. Esto se debe a que las partes internas inicialmente secas de MC y MT, progresivamente continúan acumulando agua, pese a que el nivel de capilaridad se mantiene estable.

Es destacable señalar que viviendas de adobe en Ica, e incluso monumentos históricos en Chile, pudieron soportar fuertes inundaciones ya que su sobrecimiento fue hecho de ladrillos (Fig.46).



Fig. 46: Ascenso de agua por capilaridad a través del muro patrón.

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

### 7.2.1. Análisis de Costos Unitarios

Se presentan las tablas 27, 28, 29 y 30 de análisis de costo unitario para cada muro fabricado, con la finalidad de obtener una comparación de los costos de fabricación entre las propuestas planteadas (gráfico 22).

Tabla 27: Análisis de costos unitarios del muro MP

| Item                          | Descripción                  | Unidad         | Cantidad | PU        | Parcial   | TOTAL (S/. /m <sup>2</sup> )    |
|-------------------------------|------------------------------|----------------|----------|-----------|-----------|---------------------------------|
| <b>1.00.00</b>                | <b>Muro Patrón (MP)</b>      |                |          |           |           |                                 |
| <b>1.01.00</b>                | <b>Mano de Obra - Armado</b> |                |          |           |           | <b>S/. 44.63</b>                |
| 1.01.01                       | Operario                     | hh             | 2.88     | S/. 12.23 | S/. 35.24 |                                 |
| 1.01.02                       | Peón                         | hh             | 0.95     | S/. 9.85  | S/. 9.39  |                                 |
| <b>1.02.00</b>                | <b>Mano de Obra - Adobe</b>  |                |          |           |           | <b>S/. 22.31</b>                |
| 1.02.01                       | Operario                     | hh             | 1.44     | S/. 12.23 | S/. 17.62 |                                 |
| 1.03.00                       | Peón                         | hh             | 0.48     | S/. 9.85  | S/. 4.69  |                                 |
| <b>1.03.01</b>                | <b>Equipo</b>                |                |          |           |           | <b>S/. 2.23</b>                 |
| 1.03.02                       | Herramientas manuales        | 5%             |          |           | S/. 2.23  |                                 |
| <b>1.04.00</b>                | <b>Materiales</b>            |                |          |           |           | <b>S/. 10.79</b>                |
| 1.04.01                       | Tierra para adobe            | m <sup>3</sup> | 0.2267   | S/. 40.00 | S/. 9.07  |                                 |
| 1.04.02                       | Arena gruesa                 | m <sup>3</sup> | 0.0453   | S/. 37.90 | S/. 1.72  |                                 |
| <b>Costo Unitario muro MP</b> |                              |                |          |           |           | <b>S/. 79.96</b>                |
| <b>Área del muro MP</b>       |                              |                |          |           |           | <b>2.17 m<sup>2</sup></b>       |
| <b>Costo directo</b>          |                              |                |          |           |           | <b>S/. 36.91 /m<sup>2</sup></b> |

Tabla 28: Análisis de costos unitarios del muro ML

| Ítem   | Descripción           | Unidad         | Cantidad | PU        | Parcial   | SUB TOTAL (S/.)                 |
|--|-----------------------|----------------|----------|-----------|-----------|---------------------------------|
| <b>Muro con Sobrecimiento de Ladrillo (ML)</b> |                       |                |          |           |           |                                 |
| <b>1.00.00</b>                                 | <b>Muro Patrón</b>    |                |          |           |           | <b>S/. 49.98</b>                |
|  | Muro patrón           | m <sup>2</sup> | 1.3541   | S/. 36.91 | S/. 49.98 |                                 |
| <b>2.00.00</b>                                 | <b>Muro Ladrillo</b>  |                |          |           |           | <b>S/. 81.20</b>                |
| <b>2.01.00</b>                                 | <b>Mano de Obra</b>   |                |          |           |           | <b>S/. 44.63</b>                |
| 2.01.01  | Operario              | hh             | 2.88     | S/. 12.23 | S/. 35.24 |                                 |
| 2.01.02  | Peón                  | hh             | 0.95     | S/. 9.85  | S/. 9.39  |                                 |
| <b>2.02.00</b>                                 | <b>Equipo</b>         |                |          |           |           | <b>S/. 2.23</b>                 |
| 2.02.01  | Herramientas manuales | 5%             |          |           | S/. 2.23  |                                 |
| <b>2.03.00</b>                                 | <b>Materiales</b>     |                |          |           |           | <b>S/. 34.34</b>                |
| 2.03.01  | Ladrillo KK 18H       | und            | 35       | S/. 0.60  | S/. 21.00 |                                 |
| 2.03.02  | Cemento Sol Tipo 1    | bls            | 0.7942   | S/. 16.80 | S/. 13.34 |                                 |
| 2.03.03  | Arena gruesa          | m <sup>3</sup> | 0.09     | S/. 37.90 | S/. 3.41  |                                 |
| <b>Costo Directo</b>                           |                       |                |          |           |           | <b>S/. 131.18</b>               |
| <b>Área del muro ML</b>                        |                       |                |          |           |           | <b>2.17 m<sup>2</sup></b>       |
| <b>Costo Unitario muro ML</b>                  |                       |                |          |           |           | <b>S/. 60.55 /m<sup>2</sup></b> |

Tabla 29: Análisis de costos unitarios del muro MT

| Ítem   | Descripción            | Unidad         | Cantidad | PU        | Parcial   | SUB TOTAL (S/.)                 |
|--|------------------------|----------------|----------|-----------|-----------|---------------------------------|
| <b>Muro con Sobrecimiento de Tarrajeado (MT)</b> |                        |                |          |           |           |                                 |
| <b>1.00.00</b>                                   | <b>Muro Patrón</b>     |                |          |           |           | <b>S/. 79.96</b>                |
|  | Muro patrón            | m <sup>2</sup> | 2.1665   | S/. 36.91 | S/. 79.96 |                                 |
| <b>3.00.00</b>                                   | <b>Tarrajeo Pulido</b> |                |          |           |           | <b>S/. 55.32</b>                |
| <b>3.01.00</b>                                   | <b>Mano de Obra</b>    |                |          |           |           | <b>S/. 20.01</b>                |
| 3.01.01  | Operario               | hh             | 1.23     | S/. 12.23 | S/. 15.10 |                                 |
| 3.01.02  | Peón                   | hh             | 0.50     | S/. 9.85  | S/. 4.91  |                                 |
| <b>3.02.00</b>                                   | <b>Equipo</b>          |                |          |           |           | <b>S/. 1.00</b>                 |
| 3.02.01  | Herramientas manuales  | 5%             |          |           | S/. 1.00  |                                 |
| <b>3.03.00</b>                                   | <b>Materiales</b>      |                |          |           |           | <b>S/. 34.31</b>                |
| 3.03.01  | Malla Electrosoldada   | m <sup>2</sup> | 2.1576   | S/. 3.33  | S/. 7.19  |                                 |
| 3.03.02  | Cemento Sol Tipo 1     | bls            | 1.6141   | S/. 16.80 | S/. 27.12 |                                 |
| 3.03.03  | Arena fina             | m <sup>3</sup> | 0.0457   | S/. 34.90 | S/. 1.59  |                                 |
| <b>Costo Directo</b>                             |                        |                |          |           |           | <b>S/. 135.28</b>               |
| <b>Área del muro MT</b>                          |                        |                |          |           |           | <b>2.17 m<sup>2</sup></b>       |
| <b>Costo Unitario muro MT</b>                    |                        |                |          |           |           | <b>S/. 62.44 /m<sup>2</sup></b> |

Tabla 30: Análisis de costos unitarios del muro MC

| Ítem  | Descripción              | Unidad           | Cantidad | PU        | Parcial   | SUB TOTAL (S/.)                 |
|---|--------------------------|------------------|----------|-----------|-----------|---------------------------------|
| <b>Muro con Sobrecimiento Ciclópeo (MC)</b> |                          |                  |          |           |           |                                 |
| <b>1.00.00</b>                              | <b>Muro Patrón</b>       |                  |          |           |           | <b>S/. 44.98</b>                |
|   | Muro patrón              | m <sup>2</sup>   | 1.2186   | S/. 36.91 | S/. 44.98 |                                 |
| <b>2.00.00</b>                              | <b>Concreto Ciclópeo</b> |                  |          |           |           | <b>S/. 82.94</b>                |
| <b>1.01.00</b>                              | <b>Mano de Obra</b>      |                  |          |           |           | <b>S/. 33.66</b>                |
| 1.01.01                                     | Operario                 | hh               | 1.06     | S/. 12.23 | S/. 12.90 |                                 |
| 1.01.02                                     | Peón                     | hh               | 2.11     | S/. 9.85  | S/. 20.76 |                                 |
| <b>1.02.00</b>                              | <b>Equipo</b>            |                  |          |           |           | <b>S/. 1.68</b>                 |
| 1.02.01                                     | Herramientas manuales    | 5%               |          |           | S/. 1.68  |                                 |
| <b>2.02.00</b>                              | <b>Materiales</b>        |                  |          |           |           | <b>S/. 47.59</b>                |
| 2.02.01                                     | Alambre Negro # 8        | kg               | 0.7235   | S/. 4.96  | S/. 3.59  |                                 |
| 2.02.02                                     | Clavos de 2" a 4"        | kg               | 0.7808   | S/. 4.96  | S/. 3.87  |                                 |
| 2.02.03                                     | Madera Tornillo Larga    | pie <sup>2</sup> | 4.3173   | S/. 3.00  | S/. 12.95 |                                 |
| 2.02.04                                     | Cemento Sol Tipo 1       | bls              | 1.0802   | S/. 16.80 | S/. 18.15 |                                 |
| 2.02.05                                     | Grava de 1/2"            | m <sup>3</sup>   | 0.0713   | S/. 31.50 | S/. 2.25  |                                 |
| 2.02.06                                     | Piedra de 3"             | m <sup>3</sup>   | 0.0482   | S/. 30.06 | S/. 1.45  |                                 |
| 2.02.07                                     | Arena gruesa             | m <sup>3</sup>   | 0.1529   | S/. 34.90 | S/. 5.34  |                                 |
| <b>Costo Directo</b>                        |                          |                  |          |           |           | <b>S/. 127.92</b>               |
| <b>Área del muro MC</b>                     |                          |                  |          |           |           | <b>2.17 m<sup>2</sup></b>       |
| <b>Costo Unitario muro MC</b>               |                          |                  |          |           |           | <b>S/. 59.04 /m<sup>2</sup></b> |

Con los valores de cada análisis unitario se elabora la siguiente gráfica comparativa:

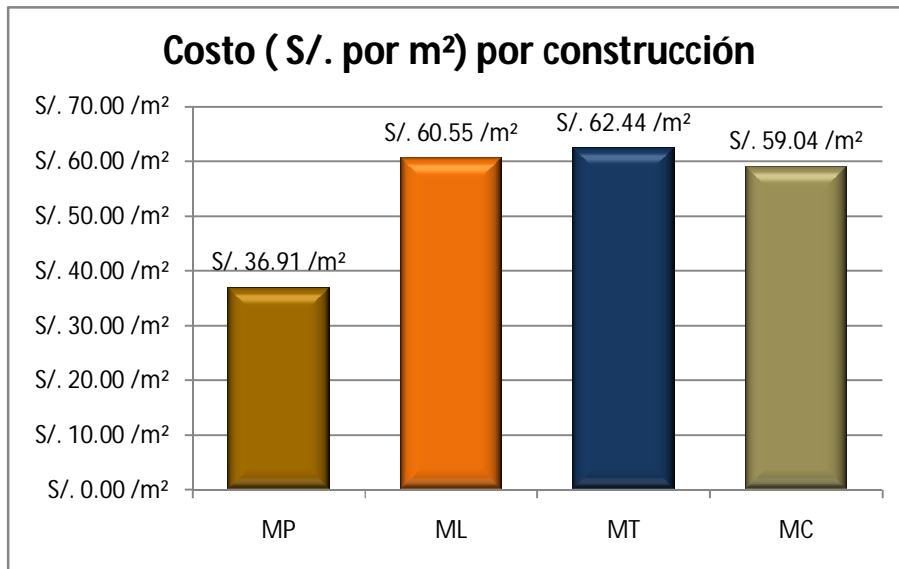


Gráfico 22: Comparativo de los costos de elaboración de cada propuesta de esta 2da parte.

Con los valores de análisis unitario de la primera parte de esta investigación, se elabora la gráfica 23 que incluye todos los costos por m2 de las distintas propuestas. En la cual, se identifica de igual manera a las propuestas anteriores como muroscon sobrecimiento tarrajado (MT1), estabilizado (ME1), de concreto (MC1) y muro patrón (MP1).

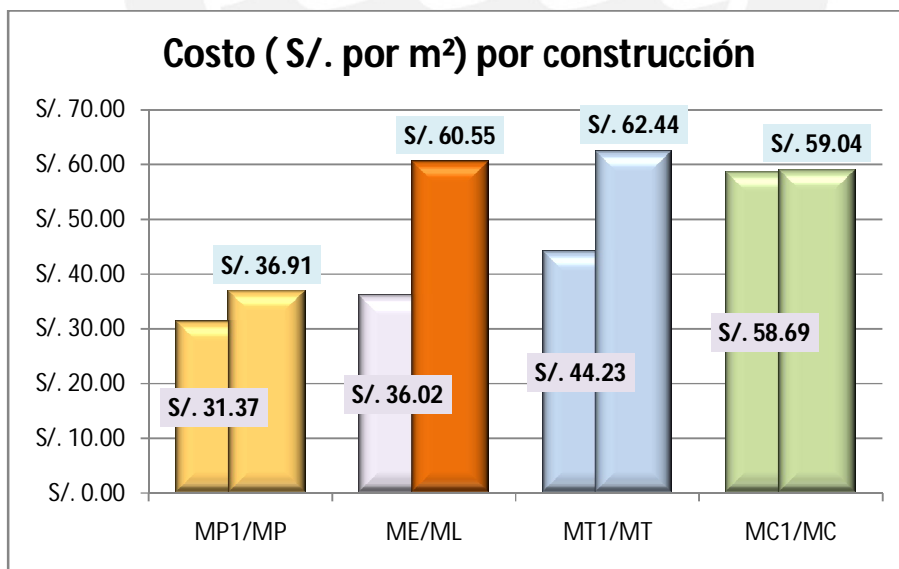


Gráfico 23: Comparativo de los costos de elaboración de cada propuesta de la investigación, identificándose a M1 como el muro de la parte 1 de esta investigación.

Como se observa existe una diferencia en el muro patrón que se va a reflejar en los demás muros y que acorta las diferencias entre las propuestas de sobrecimiento.

Se denota el elevado valor del sobrecimiento de ladrillo en comparación al estabilizado y concreto simple de la propuesta anterior; además, se observa como al retirar la diferencia de los muros patrones, el valor del concreto ciclópeo pasa a tomar un menor costo comparativo con el del concreto simple.

### 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.
- Daño físico del material al terminar el ensayo

Se cuantificará de acuerdo a proporciones al mejor de los métodos, en la proporción cero (si es que no sufre daño alguno) y los demás métodos se les asignarán 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 análisis, tal como se muestra en el gráfico 24, se puede señalar que la relación de capilaridades finales obtenidas para el muro con sobrecimiento de ladrillos (ML), muro tarrajado y el muro con ciclópeo, guarda la distribución en proporción al muro ML 2:3:7 aproximadamente.

Por otro lado, comparando la relación de valores entre el muro con sobrecimiento de ladrillos y el de adobe tarrajado, se puede observar que el tarrajado es mayor; mientras que los resultantes del ensayo de succión, para las muestras representativas de ladrillo y adobe tarrajado, señalan que el ladrillo presenta mayor capacidad de succión (5:2). Este fenómeno se puede generar porque, durante el ensayo de succión, los

unidades disponen únicamente de un minuto para que el agua ingrese al material, dejando al tarrajeado con mayor dificultad; pero en cambio, durante el ensayo de inundación, ambos especímenes dispusieron de un periodo más prolongado de contacto con agua, obteniéndose esta vez en el tarrajeo una succión lenta pero continua, a comparación del ladrillo que presento una reacción apresurada al inicio pero con un remarcado límite de succión.

Finalmente, se remarca que el ensayo de succión no es compatible con el nivel de capilaridad que llega a obtener el muro en el ensayo de inundación.

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

La comparación de las gráficas de absorción entre los muros de ladrillo, tarrajeado y con ciclópeo presentan una relación a las 24 horas de 10:9:11 aproximadamente.

Si buscamos la relación entre los resultados de la prueba de absorción, de los especímenes representativos del muro con sobrecimiento de ladrillos y el tarrajeado, se obtiene la proporción 4:3.

Apoyados en los resultados de las relaciones antes señalados se puede afirmar que ambas proporciones van en la misma dirección, de manera contraria a lo comparación entre los resultados de succión y capilaridad. Además, que aunque no guardan la misma proporción, no se alejan demasiado y, por lo tanto, el ensayo de absorción brinda una idea del comportamiento real del muro frente a la inundación.

- **Grado de humedad durante el derrumbe**

Para cuantificar los pesos por humedad de los muros, a diferencia de la capilaridad, para medir el nivel de saturación no utilizaremos el mayor nivel de alcance del agua ascendida sino el nivel donde el agua se ha conservado mayormente durante el derrumbe.

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 31:

Tabla 31: Estado de los bloques de cada material instalado luego del ensayo.

| Hilada | ML      | MT                   | MC      |        |
|--------|---------|----------------------|---------|--------|
| 1      | Estable | Estable              | Estable | 150 cm |
| 2      | Estable | Estable              | Estable | 140 cm |
| 3      | Estable | Estable              | Estable | 130 cm |
| 4      | Estable | Estable              | Estable | 120 cm |
| 5      | Estable | Estable              | Estable | 110 cm |
| 6      | Estable | Estable              | Estable | 100 cm |
| 7      | Estable | Estable              | Estable | 90 cm  |
| 8      | Estable | Estable              | Estable | 80 cm  |
| 9      | Estable | Estable              | Estable | 70 cm  |
| 10     | Estable | Estable              | Estable | 60 cm  |
| 11     | Estable | Estable              |         | 50 cm  |
| 12     | Estable | Medianamente Estable | Estable | 40 cm  |
| 13     | Estable | Medianamente Estable |         | 30 cm  |
| 14     | Estable | Inestable            |         | 20 cm  |
| 15     | Estable | Inestable            | 10 cm   |        |

|  |                              |
|--|------------------------------|
|  | Adobe no saturado            |
|  | Ladrillo no saturado         |
|  | Ladrillo saturado            |
|  | Adobe tarrajado no saturado  |
|  | Adobe tarrajado saturado     |
|  | Concreto ciclópeo humedecido |
|  | Concreto ciclópeo saturado   |

Siguiendo el detalle de las filas de bloques que conforman cada muro y su estado al final del ensayo de inundación (Tabla 31), se determina la siguiente relación de pesos:

Muro con sobrecimiento de Ladrillo, Tarrajado y Ciclópeo = 3:4:3.5

- **Daño físico del material inundado al terminar el ensayo**

Para cuantificar los pesos por el estado de la base del muro (hilada 15), 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 32).



Tabla 32: Clasificación según el daño físico del material al finalizar el ensayo.

| Hilada | ML      | MT        | MC      |
|--------|---------|-----------|---------|
| 15     | Estable | Inestable | Estable |

10  
cm

|  |                            |
|--|----------------------------|
|  | Ladrillo saturado          |
|  | Adobe tarrajado saturado   |
|  | Concreto ciclópeo saturado |

Con los resultados denotados en la tabla 32 se presenta la siguiente relación de inconsistencia:

Muro con sobrecimiento de Ladrillo, Tarrajado y Ciclópeo = 0:1:0

Finalmente, habiendo analizado los cuatro factores, se valoriza las características de cada material (Tabla 33) y se destaca la propuesta más conveniente (Tabla 34).

Tabla 33: Valorización de las características de cada material frente a una inundación.

|           | Capilaridad | Absorción | Saturación del Muro | Inconsistencia de la Base | Índice Comparativo de Daño ante Inundaciones |
|-----------|-------------|-----------|---------------------|---------------------------|--|
| Pesos     | 10          | 30        | 10                  | 50                        | 100  |
| Ladrillo  | 2           | 1.11      | 3                   | 0                         | 83.3   |
| Tarrajado | 3           | 1         | 4                   | 1                         | 150  |
| Ciclópeo  | 7           | 1.21      | 3.5                 | 0                         | 141.3  |

Ladrillo: Tarrajado: Ciclópeo = 7: 8: 9.

Tabla 34: Comparación general de las alternativas propuestas.

|           | Índice Comparativo de Daño ante Inundaciones | Costo (S./m <sup>2</sup> ) | Analizando la mejor Propuesta |
|-----------|--|----------------------------|-------------------------------|
| Pesos     | 40%  | 60%                        | 100%                          |
| Patrón    | Colapsó                                      | 36.91                      | -                             |
| Ladrillo  | 83.3   | 60.55                      | 69.65                         |
| Tarrajado | 150  | 62.44                      | 97.46                         |
| Ciclópeo  | 141.3  | 59.04                      | 91.95                         |

## 8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. Observaciones

- Capilaridad en el muro patrón

El muro patrón ante el simulacro de inundación presentó un rápido ascenso capilar (Fig.47) en comparación a los otros tres muros resistentes, casi alcanzando su máximo nivel de capilaridad en sólo 50 minutos. Este efecto podría deberse a que está trabajando con un material con porcentaje alto de vacíos y dimensiones de poros en su textura. Características que brindan al agua adherida, mayor facilidad de infiltración y flujo, y a la vez menor nivel de adherencia por efecto el peso del mismo líquido.



Fig. 47: Ascenso de agua por capilaridad a través del muro patrón.

- Relación de densidades en el muro patrón

Durante el inicio el proceso de capilaridad, se notó en el muro patrón un rápido avance en las secciones de las juntas, formando ciertas curvas cóncavas en forma de olas (Fig.48). A pesar de que el mortero de adobe usado en las juntas estaba conformado por la misma relación de agregados, se cree que el mortero tuvo mayor facilidad de ascenso ya que este era menos compactado que los bloques fabricados. Con lo cual se podría concluir, que la densidad interviene en la facilidad del flujo del líquido a través del material tanto por absorción como por capilaridad.



Fig. 48: Se aprecia un ascenso del agua no paralelo.

- Socavación del muro patrón

Habiendo transcurrido 10 min del inicio del ensayo de inundación se llega a observar el desprendimiento del material de los laterales del muro patrón. Tal como se explicó en la fabricación del adobe la arcilla representa el ligante principal del material el cual requiere del agua para moldearse y formar los adobes. Pero en este caso el agua, mediante la capilaridad, afecta a un material ya consolidado y humedece sectores seleccionados; los cuales, al ver perdido su capacidad de adherirse al total del muro y por el peso mismo de la masa saturada terminan desplomándose, tal como aconteció desde los primeros 10 min hasta la precipitación del muro patrón.

- Consistencia de adobe saturado

Una vez caído el muro patrón, y a pesar de no haberse vaciado el canal durante todo el periodo corto de inundación, se observó que el segmento sumergido a pesar de que estaba completamente saturado y en parte desmoronado, contaba con algunos adobes enterrados que conservaban cierta consistencia. Esto se pudo presentar debido a la compactación conservada por la presión que brindaban tanto el agua como las partículas desprendidas, con lo cual se comprobaría que la arcilla solo pierde su adherencia al contacto con el agua pero que de conservarse unida, podría recuperar sus propiedades resistentes cuando vuelva a reducir su humedad, tal como ocurrió al momento de la fabricación.

- Velocidad de absorción del agua

Se considera a absorción al proceso de infiltración y retención del agua en el suelo, que en nuestro caso ocurre en las partes sumergidas en cada segmento del canal. Para esto se pudo observar mediante los ensayos individuales de absorción que se le sometieron a las muestras representativas, que el ladrillo fue el material con mayor porcentaje de humedad a las 5 horas del ensayo de absorción comparado al tarrajeo. Se cree que este

fenómeno es debido a que el ladrillo es un material visual y característicamente poroso, mientras que el adobe presenta vacíos mayores pero que al ser protegidos por un tarrajeo, con una matriz de poros más entretrejida, le permiten desarrollar mayor tiempo ante la saturación. Sin embargo, si tenemos en cuenta que al final de 24 horas ambos elementos individuales, como las paredes inundadas, estarán saturadas; entonces considerar al tarrajeo como una solución que retarda del ingreso del agua, ya no se hace tan importante, porque al final del período corto de inundación ambos materiales, por debajo del nivel de agua, deberían estar saturados.

- Nivel máximo de capilaridad

Los muros presentan un ascenso rápido inicial, el cual luego va a perder velocidad gradualmente hasta llegar a un nivel máximo de capilaridad. Como se puede apreciar en la Fig.49 los tres materiales no requieren del mismo tiempo para alcanzar su máximo alcance capilar, siendo el ladrillo el que alcanza antes su rango máximo, seguido por el muro tarrajado y el ciclópeo.

Por otro lado, la capilaridad tiene la característica principal de alcanzar de ser más alta cuando el espesor del conducto es más angosto; por ende se puede estimar que el máximo nivel de capilaridad que puede alcanzar un material se da en base al espesor de sus conductos y poros. Acá se puede apreciar que el ladrillo posee poros de mayor tamaño que el tarrajeo y el ciclópeo por ende se comprende que el mismo alcance el menor rango de capilaridad.



Fig. 49: Comparación del desarrollo ascendente de la capilaridad en los muros experimentados.

- Velocidad de ascenso del agua

Si analizamos la velocidad de capilaridad de los tres muros resistentes, se apreciara que a las primeras tres horas guardan pendientes pronunciadas en el gráfico capilaridad versus tiempo; sin embargo, si analizamos la velocidad a un tiempo más prolongado se apreciara como se amplían notablemente sus diferencias. Este cambio en la magnitud de la velocidad de capilaridad se debe a la textura interna de poros con la que cuenta cada espécimen. Estructura que al tener un porcentaje de vacíos alto brindara una velocidad inicial importante, que luego se verá disminuida por el dimensionamiento de los poros.

En base a lo anterior, se podría concluir que la velocidad de la capilaridad depende del porcentaje de vacíos que tenga el sólido en relación a su volumen.

- Variación de humedad en la capilaridad

Durante el avance de la capilaridad en los especímenes se notó un detalle en particular, referido a como el sólido iba perdiendo su oscuridad en el proceso de ascenso, ya que al llegar al nivel máximo adquirió un color distinto del observado cerca a la superficie del agua estancada. Ante esto se puede concluir que a medida que la capilaridad va ascendiendo perderá su porcentaje de humedad, esto fundamentado en el hecho de que las moléculas de agua, en la parte inferior del nivel de capilaridad, cuenta con más posibilidades de desarrollar capas entre los poros que le permitan aumentar el nivel de humedad de los segmentos inferiores; pero a medida que la adhesión va llevando este líquido hacia niveles superiores, dichas capas adheridas disminuyen en número y, por lo tanto, también en el nivel de humedad.

- Capilaridad en las fisuras del muro MT

Durante el periodo inicial de inundación se dio un fenómeno relacionado a las rajaduras en contacto con el nivel del agua para determinados sectores (Fig.50). Por donde hubieron dichos quiebres, el agua tenia mayor facilidad de avance y retención a comparación de la capilaridad en las parte enteras; prueba esto son las raíces o ramas en el muro tarrajado por encima del nivel del agua y las de un ladrillo durante el ensayo de succión.

Se cree que lo anterior se genera porque las fisuras brindan un avance rápido de capilaridad, ya que encuentra un conducto angosto que les brinda facilidad de flujo ascendente, mientras que en las partes enteras trabaja la capilaridad a otro ritmo.



Fig. 50: Capilaridad en las fisuras del muro tarrajado MT

- Humedad retenida por capilaridad

A medida que pasaba los días, la capilaridad avanzaba de manera constante para alcanzar su nivel pico, absorbiendo gran cantidad del agua estancada en el canal, para luego descender el nivel alcanzado por el agua pero dejando partes humedecidas (Fig.51); debido a que en una inundación real el nivel de agua estancada no desciende se tomó la decisión de rellenar esporádicamente el canal a su nivel inicial.

Ante todo esto se puede decir que a medida que el agua avanza va llenando los espacios vacíos desarrollando la capilaridad hasta llegar a un límite, posteriormente debido a que la fuerza de adherencia se ve afectada en la parte superior por su competencia con la fase gaseosa y los cambios climáticos, se desprenden y precipitan un porcentaje de las partículas líquidas adheridas a las paredes dejando los rasgos menos humedecidos que se señalaron antes.

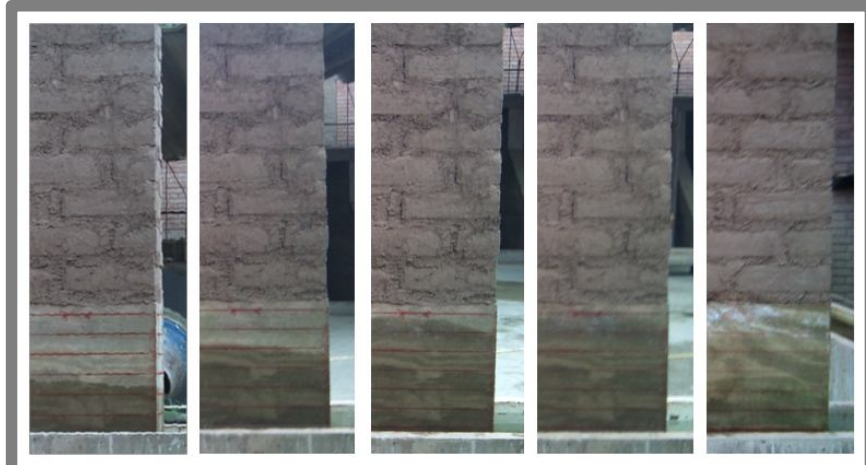


Fig. 51: Desarrollo de la capilaridad en el muro ciclópeo.

- Humedad retenida por absorción

Luego del simulacro de inundación se procedió a la extracción del agua de los segmentos del canal para el derrumbe de los muros; se pudo observar que el muro de sobrecimiento ciclópeo (MC) redujo su porcentaje de humedad de manera instantánea seguido por el tarrajado y finalmente la del ladrillo el cual presentó una reducción de agua no tan apreciable como los muros anteriores (Fig.52). Esto se estima que ocurrió debido al menor índice higroscópico presente en el muro MC lo que favorece al escurrimiento del agua y retarda en el caso del ladrillo que viene a ser el de mayor porcentaje de agua retenida.



Fig. 52: Vista del muro con sobrecimiento de ladrillos después de la inundación.

- Grietas en el tarrajeo

Durante la fabricación del muro tarrajeado se esparció cemento seco para que este tenga la característica lisa o pulida y finalmente dificulte el ingreso del agua en lo máximo que se pudiese. A pesar de que se efectuó la curación debida, se vio un ingreso lento en la zona sumergida; y por otro lado, luego de que se sustrajo el agua terminando los ensayos se apreciaron unas pequeñas piezas o cascarras. Se cree que esto se dio por efecto de la tensión superficial ya que estas son similares a las grietas o ramales antes insinuados pero de manera más microscópica. (Fig.53)



**Fig. 53: Grietas en la superficie externa del tarrajeo pulido.**

- Capilaridad discontinua en el muro con sobrecimiento de ladrillos

En relación al muro con sobrecimiento de ladrillos se observó una elevación capilar discontinua a lo largo de ambas caras del muro, llegando a superar en más de 10 cm de diferencia el nivel módico del resto de medidas tomadas (Fig.54). Se cree que lo ocurrido se genera por el mortero de cemento presente en los alveolos del ladrillo, el cual se apreció mejor al derrumbar el murete mencionado. Dicha masa de tarrajeo provoco un aumento de la sección del ladrillo, generándose una acción capilar más rápida en comparación a la capilaridad observada en el resto del perímetro.





Fig. 54: Capilaridad discontinua en el sobrecimiento de ladrillos.

- Suciedad en los muros

En el muro con sobrecimiento de ladrillos, se observaron manchas blancas al término de los niveles de capilaridad (Fig.55). Este suceso se le puede atribuir mayormente al conocido efecto de eflorescencia salina, propio de materiales que no cuentan con una protección a la intemperie. A partir de esto podemos entender que dichos sucesos no representan un riesgo determinante a la estabilidad inmediata del muro, más solo una afectación a la estética del mismo.



Fig. 55: Suciedad acumulada en la superficie del sobrecimiento de ladrillos inundado.

- Relación tarrajeo - adobe mojado

Durante el ascenso de la capilaridad se observó un hecho resaltante. A medida que avanzaba el agua, ciertas manchas dispares de humedad se iban distinguiendo, las cuales se estima produjeron por el agua que infiltraba a las paredes internas del tarrajeo desde el adobe. Este último presentaba una capilaridad muy superior a la que llevaba el tarrajeo, viéndose demostrado este hecho al momento de extraer la plancha entera de

tarrajeo durante el derrumbe y se apreciar el nivel de capilaridad que alcanzó el adobe (Fig.56).



Fig. 56: Estado del sobrecimiento de adobe tarrajado pasado el ensayo.

- Relación sobrecimiento ciclópeo – adobe

Una vez culminado el periodo largo de inundación, se procede al retiro o derrumbe de los especímenes ensayados, entre ellos el muro con sobrecimiento de concreto ciclópeo; en el cual, se observa la particularidad de discontinuidad capilar en el cruce del agua ascendente del material de ciclópeo al de adobe (Fig.57). Discontinuidad que podría deberse a una superficie de contacto distinta entre el agua que atravesaba el ciclópeo y que debe subir por el adobe; esta superficie vendría a ser parte de la textura interna del material, en el que se enfrenta una textura de poros menos dimensionada, como es el ciclópeo, contra una textura con cavidades más pronunciadas como sucede con el adobe. La mencionada contrariedad entre las texturas internas explicaría el retardo de la capilaridad, acompañado del bajo nivel de moléculas que alcanzaron toda la altura del sobrecimiento ciclópeo.



Fig. 57: Capilaridad en el muro de sobrecimiento ciclópeo después del periodo largo de inundación.

- Relación de agregados en el adobe

La presencia de un porcentaje considerable de arcilla produce grietas, mientras que poca arcilla le quita su capacidad de conservarse como una unidad compacta. Teniendo en cuenta este concepto en la comparación de lo acontecido entre el muro patrón de la 1era parte de esta investigación y el muro de la presenta experiencia, podemos resaltar que la compra de los adobes si bien le represento menor costo al grupo anterior, también implico contar con una relación de agregados que pudo no ser la mejor, influenciando esto notablemente en la resistencia del adobe ante la afectación del agua (Fig.58). Es así que llegamos a la idea inicial donde si la arcilla, al ser el principal ligante en el adobe, no está en la proporción adecuada, provocara que dicho adobe sea más vulnerable a la acción diluyente del agua.



Fig. 58: Proceso de elaboración del adobe en el laboratorio de estructuras.

- Presencia de paja en el muro patrón

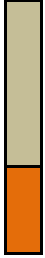
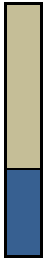
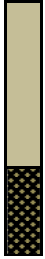
Para esta segunda parte se propuso trabajar sin paja a comparación de la primera (Fig.59). Pero para motivos del ensayo de inundación, considerar al retiro de la paja como una desventaja fue finalmente lo contrario ya que, como se indicó líneas arriba, el muro patrón se debilita durante la socavación debido al efecto des adherente que hace el agua contra la arcilla, mientras que la paja cumple solo la función de brindar mayor flexibilidad; por lo tanto, podremos concluir que el adobe actúa de manera paralela tenga o no tenga paja en su composición para efectos de inundaciones.



Fig. 59: Corte de un adobe en el que se aprecia la ausencia de paja.

- Ventajas y desventajas de las alternativas

**Tabla 35: Ventajas y desventajas de las alternativas propuestas.**

|  |   |   |
|--|---|---|
|  <p><b>ML</b></p>   | <p style="text-align: center;"><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mínima capilaridad</li> <li>- Más común de construir</li> <li>- Fácil adquisición de materiales, cerca de la ciudad.</li> <li>- Material dúctil</li> </ul>  | <p style="text-align: center;"><b>Desventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El más costoso</li> <li>- Capilaridad dispareja</li> <li>- Materiales difíciles de conseguir en campo</li> <li>- Secado lento</li> <li>- Rapidez en la infiltración de agua.</li> <li>- Presenta suciedad a corto plazo</li> </ul> |
|  <p><b>MT</b></p>  | <p style="text-align: center;"><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El adobe confinado por el tarrajeo, conserva su compactación aun mojado.</li> <li>- Fácil de conseguir materiales en ciudad</li> <li>- Fácil transporte de materiales seleccionados (bolsa de cemento)</li> <li>- Demora en infiltrar el agua al adobe</li> <li>- Aplicable a muros existentes ya erigidos</li> </ul> | <p style="text-align: center;"><b>Desventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tarda más en construirse</li> <li>- Materiales de difícil adquisición en las afueras de la ciudad.</li> <li>- Presencia de agua retenida que puede influir en la apariencia externa del acabado del muro</li> </ul>                |
|  <p><b>MC</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El más barato y resistente</li> <li>- Capilaridad paralela</li> <li>- Materiales de fácil adquisición en el campo</li> <li>- Se detiene la capilaridad al contacto con el adobe</li> <li>- Rápido en secar.</li> <li>- Rápido en construir</li> </ul>   | <p style="text-align: center;"><b>Desventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Máxima capilaridad</li> <li>- Difícil de adquisición de materiales en ciudad</li> <li>- Material frágil</li> </ul>   |

## 8.2. Recomendaciones y Propuestas

### 8.2.1. Muro con sobrecimiento de ladrillos (ML)

Observando que entre los tres muros resistentes puestos a prueba, el de ladrillos fue el que presentó menor nivel de capilaridad, alcanzando una elevación no mayor a 10 centímetros, se podría tomar la opción de reducir el sobrecimiento de arcilla en un 15%, dejando a la vez un gran espacio libre de seguridad en caso que la inundación supere el nivel de agua esperado.

Tal como se indicó anteriormente el mortero de las juntas es un material que influye mucho en el flujo del agua durante la capilaridad, que a veces produce un desnivel en la capilaridad a lo largo del muro. Por eso, es recomendable que durante la construcción de dicho sobrecimiento, se evite el ingreso del mortero a los huecos de los bloques, principalmente en las primeras hiladas.

Durante la elaboración del tabique, se llegaron a utilizar ladrillos King Kong de 18 huecos marca LARK. Por otro lado, si se desea construir este prototipo con otro tipo de ladrillos, es recomendable que dichos nuevos bloques conserven al menos el número de huecos, material cocido en horno y de composición arcillosa.

Sería recomendable el uso de material seleccionado en el sobrecimiento de ladrillo para evitar el fácil ascenso del agua por fisuras, como se demostró en las conclusiones señaladas anteriormente.

### 8.2.2. Muro Tarrajado (MT)

El principal problema encontrado en la propuesta del muro tarrajado se generó por el contacto interno entre el adobe y el tarrajeo, ya que estos distintos materiales, presentaban diferente velocidad y nivel máximo de capilaridad. Por ello, se propone usar una manta plástica, la cual será colocada antes de la malla y el tarrajeo, cumpliendo la labor de impermeabilizar internamente al muro, impidiendo que el agua infiltre en el adobe y solo actúe la capilaridad en el tarrajeo. Esta manta tiene la ventaja de ser muy económica, por lo que no va a variar mucho al precio del muro.

El pulido del muro tarrajado, como se observó líneas arriba, solamente retarda el proceso de infiltración de agua en la parte sumergida del muro, terminando saturada como el tarrajeo del ensayo realizado en la primera parte de esta investigación; lo cual implica que no es necesario un tratamiento pulido en la superficie del tarrajeo, a la vez que dicho proceso lo único que produce es que se aumente el presupuesto.

### 8.2.3. Muro de concreto ciclópeo (MC)

Durante el ensayo de inundación, se observó que el muro de concreto ciclópeo llegó a presentar un alto nivel de capilaridad, pudiendo alcanzar la altura máxima del sobrecimiento, sin embargo llegó con una humedad muy baja que no afectó al adobe. Se estima que se puede reducir la altura del ciclópeo a un nivel en que la capilaridad no llegue con una humedad capaz de afectar al adobe superior. Para esto es necesario, primero, averiguar qué porcentaje de saturación en relación al volumen del adobe lo llevaría al colapso; y en base a esto, posteriormente, calcular que nivel del ciclópeo obtiene una capilaridad con dicho porcentaje de humedad.

Otra alternativa sería poner una capa de un material que restrinja el avance ascendente del flujo del agua, la cual estará ubicada a 10 centímetros sobre el nivel del agua, de manera intermedia al concreto ciclópeo y al adobe. Para este material no importa mucho el precio, ya que el espesor de dicha capa es reducido y finalmente la cantidad a utilizarse llegará a ser baja. Por lo que se puede utilizar concreto consistente, asfalto o cualquier que tenga un porcentaje de vacíos muy bajo.

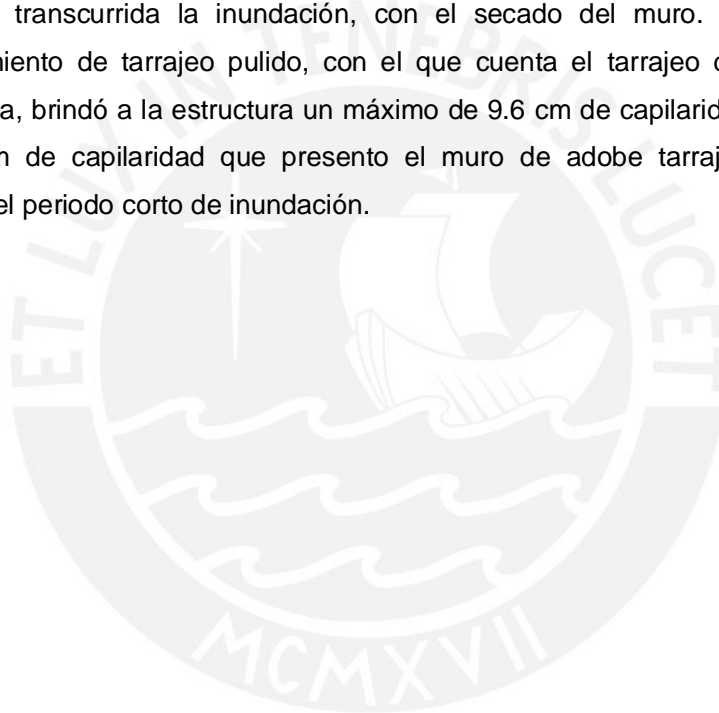
Finalmente, se sugiere el uso de mayor porcentaje de piedras enteras dentro de la mezcla de concreto ciclópeo pero a la vez aumentando un poco el porcentaje de cemento, conservando su adherencia de los mismos. Esto ayuda económicamente ya que las piedras cuestan más barato y ocupan más espacio, mientras que el cemento que es más caro solo ocupa un poco porcentaje

## 9. CONCLUSIONES

- Para la primera parte de esta investigación, el muro patrón comprobó la alta vulnerabilidad ante la acción erosiva del agua, además indicó que los factores que determinan la resistencia ante el colapso son el grosor del muro y la consistencia del adobe. En esta segunda parte se percibió la presencia de otros factores los cuales son determinantes para la estabilidad del muro antes de su frágil colapso, los cuales son la selección del material y la preparación del mismo para formar adobe. Prueba de esto es la diferencia a casi una hora de resistencia del muro patrón de esta segunda parte frente al muro patrón inicial que solo resistió 20min.
- La propuesta cuyos resultados indicaron mayor capacidad de resistencia ante una inundación prolongada fue el muro de adobe con sobrecimiento de ladrillos King Kong 18 huecos (ML), con un peralte que sea 30 cm mayor que la altura de agua esperada como parte de un factor de seguridad. Su capilaridad alcanzó un promedio de 5cm. durante el periodo corto de inundación y se mantuvo invariable en el periodo largo. Esta opción llegó a ser más conveniente que la del proyecto anterior, debido a que la construcción con ladrillos es más económica que con concreto puro.
- De la comparación del precio del muro patrón del primer ensayo con el de la presente tesis, se admite que es más factible económicamente trabajar con adobe hecho en fábrica que con adobe hecho in situ; puesto que la mano de obra contratada para generar dichos adobes en el laboratorio, genera mayormente la diferencia en el precio representado en la gráfica 23.
- Así mismo, observando el gráfico 23, se rescata que la construcción del muro con sobrecimiento de concreto ciclópeo (MC) resultó más económico que el de concreto simple (MC1), considerada la mejor alternativa de los primeros ensayos de esta investigación; teniendo en cuenta que entre la fabricación del muro patrón de ambas partes de esta investigación existe 5.54 Soles/m<sup>2</sup> de diferencia, lo cual de ser descontado llevaría al muro de concreto ciclópeo a 53.5 soles/m<sup>2</sup>, menor a los 58.69 soles del muro MC1.



- Por lo tanto, enfocándonos en el bajo precio que se buscó desde inicio, debido a que estas técnicas llegarían a ser utilizadas en zonas de bajos recursos económicos, la técnica con concreto ciclópeo representa la mejor opción de las propuestas planteadas. Recomendándose la aplicación de una capa de un material aislante (cemento, brea, esmalte, etc.) entre el sobrecimiento y el adobe, el cual evitará el libre ascenso de la capilaridad en esta sección.
- Para las casas actualmente erigidas con muros de adobe, la solución de tarrajeo pulido ofrece buenos resultados porque no solo protege a la estructura frente a la acción erosiva del agua estancada, sino también porque mantiene el volumen de los adobes fabricados, dando la opción al muro de recobrar su capacidad portante una vez transcurrida la inundación, con el secado del muro. Por último, el sobrecimiento de tarrajeo pulido, con el que cuenta el tarrajeo de la presente propuesta, brindó a la estructura un máximo de 9.6 cm de capilaridad, mejorando los 38cm de capilaridad que presentó el muro de adobe tarrajado sin pulir durante el periodo corto de inundación.



## 10. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima, Perú. Reglamento Nacional de Edificaciones (2006). “Norma Técnica de Edificación E.080 Adobe”.
- Huaynate W. y Cabrera D. (2010). Mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones. Tesis PUCP.
- Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayos en ladrillos de arcilla usados en albañilería. “Norma Técnica Peruana NTP 399.613 2005”. Comisión de Reglamentos Técnicos y comerciales. INDECOPI. Lima, Perú.
- San Bartolomé, A. (1994). “Construcciones de Albañilería - Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural - “. Fondo Editorial PUCP 1994 Lima, Perú.
- Tejada Schmidt, U. (2001). “Buena Tierra – *Apuntes para el diseño y construcción con Adobe*”. Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional. Lima, Perú.
- Ministerio de agricultura del Perú - Centro de Servicios en Pedagogía Audiovisual para la Capacitación, CESPAC, Perú. “DIAGNOSTICO CONSTRUCCIONES EN ADOBE” 1985.
- Casabonne, Ch. “Ciencias de la Tierra” - Ediciones Eneva. Caracas, 1976.
- Baschini Miria, "Minerales Arcillosos": Un Enfoque Químico, Monografías.com
- "Agua en el suelo" –  
<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Agua%20en%20el%20suelo.pdf>
- "Resistencia de las construcciones de adobe" -  
<http://www.youtube.com/watch?v=SvpvfubiA9A&feature=related>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2009. “*Censos Nacionales 2009: XI de Población y VI de Vivienda*”. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú.