



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA APLICACIÓN DE MATERIALES FLEXIBLES
Y ADITIVOS EN MORTEROS PARA IMPERMEABILIZAR LOSAS Y MUROS**

Obed Othoniel Contreras Motta

Asesorado por el Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA APLICACIÓN DE MATERIALES FLEXIBLES
Y ADITIVOS EN MORTEROS PARA IMPERMEABILIZAR LOSAS Y MUROS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

OBED OTHONIEL CONTRERAS MOTTA

ASESORADO POR EL ING. CIVIL GUILLERMO FRANCISCO MELINI SALGUERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA APLICACIÓN DE MATERIALES FLEXIBLES Y ADITIVOS EN MORTEROS PARA IMPERMEABILIZAR LOSAS Y MUROS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 31 de octubre de 2013.

Obed Othoniel Contreras Motta

Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Ingeniería Civil, Sanitaria y Ambiental. Avalúos

Colegiado 2548

8 de marzo de 2016.

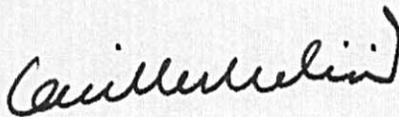
Ing. Gabriel Ordóñez
Jefe del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Ingeniero Ordóñez:

Después de analizar y revisar el trabajo de graduación titulado **“COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA APLICACIÓN DE MATERIALES FLEXIBLES Y ADITIVOS EN MORTEROS PARA IMPERMEABILIZAR LOSAS Y MUROS”**, presentado por el estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Civil **OBED OTHONIEL CONTRERAS MOTTA**, tengo a bien manifestar que dicho trabajo ha sido ejecutado conforme a los requisitos establecidos.

Por lo anterior, en mi calidad de Asesor, me permito solicitar se continúen los trámites respectivos para su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente,



Ing. Civil, Guillermo Francisco Melini Salguero
Asesor y Jefe del Departamento de Planeamiento

Guillermo Francisco Melini Salguero
INGENIERO CIVIL
Col. 2548



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
07 de marzo de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

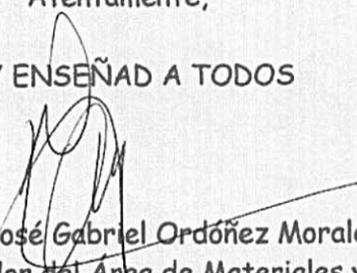
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA APLICACIÓN DE MATERIALES FLEXIBLES Y ADITIVOS EN MORTEROS PARA IMPERMEABILIZAR LOSAS Y MUROS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Obed Othoniel Contreras Motta quien contó con la asesoría del Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

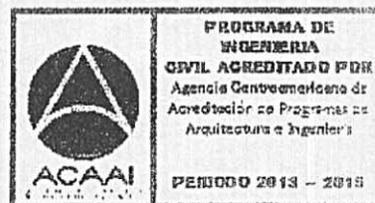

Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





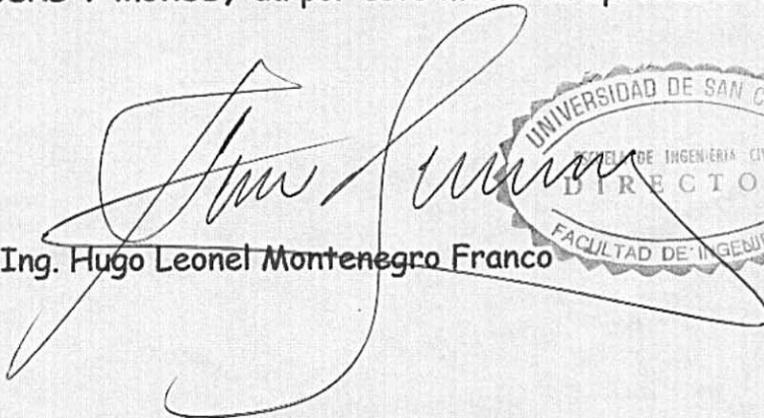
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Obed Othoniel Contreras Motta, titulado **COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA APLICACIÓN DE MATERIALES FLEXIBLES Y ADITIVOS EN MORTEROS PARA IMPERMEABILIZAR LOSAS Y MUROS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2016
/mrrm.

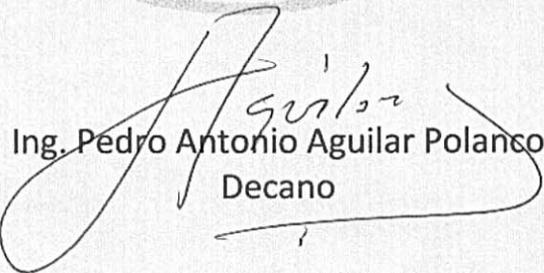
Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA APLICACIÓN DE MATERIALES FLEXIBLES Y ADITIVOS EN MORTEROS PARA IMPERMEABILIZAR LOSAS Y MUROS**, presentado por el estudiante universitario: **Obed Othoniel Contreras Motta**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, abril de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- | | |
|-------------------|---|
| Dios | Por permitirme la vida y acompañarme en cada aspecto de mi carrera como mi guía personal. |
| Mis padres | Por su amor incondicional y apoyarme durante todo este tiempo, hasta culminar mis estudios. |
| Mi abuela | Por ser siempre mi guía espiritual y brindarme su amor. |
| Mi hermano | Ricardo Contreras, por ser mi apoyo y ejemplo de vida. |

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de estudiar y culminar esta etapa tan importante.

Facultad de Ingeniería

Por apoyar mis estudios y valorar mi esfuerzo como estudiante.

**Mis amigos de la
Facultad**

Migdalia del Cid, Melvin Zabala, Antonio Leonel Morán, Aurora Villalta, Víctor Hernández, Evelin Contreras, Ing. Luis Sandoval y demás amigos que me acompañaron en esta larga travesía.

Mis familiares

Por ser de apoyo e influencia en mi vida.

Mis amigos de la Iglesia

Por su sus consejos, ánimos y apoyo durante la carrera.

Mi asesor y coordinador

Ing. Guillermo Melini e Ing. Gabriel Ordóñez, por su apoyo durante mi formación académica y realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. HISTORIA DE LOS IMPERMEABILIZANTES.....	1
1.1. Descubrimiento de materiales derivados del petróleo	2
1.2. Descubrimiento de la fibra de vidrio	2
1.3. Implementación de pinturas acrílicas	3
1.4. Descubrimiento de los morteros integrales.....	3
1.5. Tipos de impermeabilizantes	3
1.5.1. Membranas.....	4
1.5.2. Morteros para impermeabilizar	4
1.5.3. Pinturas	4
1.5.4. Materiales bituminosos	5
1.5.5. Bentonita	5
2. ENFERMEDADES CAUSADAS POR LA HUMEDAD.....	7
2.1. Problemas generales.....	7
2.2. Historiales sobre problemas de humedad en edificios	7
2.3. Contaminantes producidos por la humedad y contaminación del aire.....	8
2.3.1. Bioaerosoles.....	8

2.3.2.	Compuestos de azufre	8
2.3.3.	Enfermedades respiratorias	9
2.3.3.1.	Asma ocupacional	9
2.3.3.2.	Neumonitis por hipersensibilidad.....	9
2.3.3.3.	Rinitis y sinusitis	10
3.	DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD Y SU PROCEDENCIA.....	11
3.1.	Ensayos para determinar la humedad basados en la Norma ASTM E1907.....	11
3.1.1.	Gravimétrico	11
3.1.2.	Ensayo de cloruro de calcio anhidro	12
3.2.	Determinación del origen la humedad.....	13
3.2.1.	Humedad causada por el suelo	13
3.2.2.	Humedad causada por la intemperie.....	14
3.2.3.	Humedad proveniente de fugas	15
4.	EFFECTOS DE LA HUMEDAD EN ESTRUCTURAS Y REVESTIMIENTOS	17
4.1.	Corrosión del acero en concreto reforzado	17
4.2.	Hinchamiento de los elementos de mampostería	18
4.3.	Desprendimiento del revestimiento	18
4.4.	Hongos y mohos	19
4.5.	Tipos de mohos.....	19
4.5.1.	<i>Alternaria</i>	19
4.5.2.	<i>Cladosporium</i>	20
4.5.3.	<i>Penicillium</i>	21
4.5.4.	<i>Stachybotrys chartarum</i>	21
4.6.	La importancia de una inspección profesional	22

5.	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN PARA EVITAR LA HUMEDAD	23
5.1.	Impermeabilización de muros y losas con revestimiento de morteros	23
5.2.	Uso de la bentonita para muros de contención	24
5.3.	Uso de materiales bituminosos.....	25
5.4.	Drenaje francés	26
5.5.	Uso de la solera hidrófuga.....	26
6.	ENSAYO DE PERMEABILIDAD	29
6.1.	Método de ensayo de permeabilidad.....	29
6.1.1.	Procedimiento para ensayo con pintura impermeabilizante.....	31
6.1.2.	Procedimiento para ensayo con morteros integrados para impermeabilización	32
6.1.2.1.	Preparación del mortero	33
6.1.3.	Ensayo de porcentaje de absorción.....	34
6.1.3.1.	Preparación de la muestra ASTM C128	34
6.1.4.	Determinación del porcentaje de absorción.....	35
6.1.5.	Determinación del grado de permeabilidad con mortero integral.....	35
6.1.6.	Datos, cálculos y resultados	37
6.2.	Resultado del grado de permeabilidad, material flexible	39
6.3.	Resultado del grado de permeabilidad, mortero integrado.....	39
6.3.1.	Granulometría del agregado	40
6.3.2.	Porcentaje de absorción del agregado fino	42
6.3.3.	Proporciones de la mezcla del mortero, con aditivo	42
6.3.4.	Comparación visible entre materiales.....	43

6.3.4.1.	Datos del elemento de mampostería....	43
6.3.4.2.	Datos del recubrimiento con pintura	43
6.3.4.3.	Datos del recubrimiento con mortero integrado	44
6.3.5.	Análisis de resultados	45
CONCLUSIONES.....		47
RECOMENDACIONES		49
BIBLIOGRAFÍA.....		51
APÉNDICES.....		55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Humedad en paredes causadas por el suelo	14
2.	Imagen de humedad en paredes causadas por el suelo.....	15
3.	Imagen de corrosión del acero por filtración de agua	18
4.	Imagen de moho en paredes	19
5.	Uso de bentonita en muros de contención	25
6.	Drenaje francés.....	26
7.	Solera hidrófuga.....	27
8.	Instrumentos para el ensayo de permeabilidad.....	30
9.	Sellado de base con material epóxico.....	30
10.	Impermeabilizado con pintura	32
11.	Adherencia del material flexible	32
12.	Selección de la muestra	33
13.	Granulometría de la muestra.....	33
14.	Impermeabilizado con mortero integrado	36
15.	Imagen a los 20 minutos de iniciado el ensayo	37
16.	Esparcimiento del agua en mortero integrado.....	37
17.	Comportamiento de la infiltración en la pintura	38
18.	Comportamiento de la infiltración en el mortero	38
19.	Muestra del agregado para mortero	40
20.	Granulometría del agregado para mortero	41
21.	<i>Block</i> sin tratamiento	43
22.	<i>Block</i> tratado con pintura impermeabilizante.....	44
23.	Recubrimiento con mortero integrado	45

TABLAS

I.	NTG 41050 (ASTM C270)	24
II.	Norma ASTM 270	24
III.	Datos para ensayo de permeabilidad	31
IV.	Datos en muestra de pintura.....	37
V.	Datos en muestra de mortero integrado	38
VI.	Granulometría del agregado	40
VII.	Graduación de los agregados finos ASTM C33.....	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AF	Agregado fino
H	Humedad
m	Metro
min	Minutos
%	Porcentaje
Seg	Segundos
cm	Unidad de medida centímetro
cm³	Unidad de medida centímetro cúbico
ml	Volumen, mililitro, un céntimo de un litro

GLOSARIO

ACI	Instituto Americano del Concreto.
Alquidales	Producto resinoso de la esterificación de alcoholes polihídricos con ácidos polibásicos.
Alumbre	Sulfato hidratado de potasio y aluminio se utiliza como aditivo en la mezcla de cal para impermeabilizar, porque agiliza el proceso de carbonatación, es decir, su endurecimiento.
Cuarterón	Unidad de peso que equivalía a la cuarta parte de una libra.
Epóxico	Se dice de un tipo de resina sintética, dura y resistente, utilizada en la fabricación de plásticos, pegamentos.
Mortero	Mezcla de cemento arena y cal, dependiendo del tipo de mortero.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación muestra una de las causas que contribuyen a las enfermedades respiratorias en ambientes expuestos a la lluvia o suelo, la mayoría de estas patologías dentro de los hogares o edificaciones son causadas por la humedad en muros o losas, además refleja la importancia de la impermeabilización en los ambientes donde las personas habitan, así como de las estructuras de concreto armado o muros que requieran este tratamiento para evitar la filtración de agua y el deterioro de los mismos.

El capítulo uno tiene la historia de cómo los impermeabilizantes fueron necesarios, así como la modernización de los mismos con diversos materiales y técnicas que se usaban en la antigüedad, debido a la necesidad por mantener ambientes más agradables y sanos para el ser humano.

El capítulo dos explica las enfermedades causadas por la humedad y cómo afecta la salud directamente a las personas que habitan ambientes húmedos, esto es importante, ya que si existe una causada por alguna mala construcción es un problema del constructor que trabajó en esa edificación y debe existir una forma para solucionar esta situación o mitigarlo.

El capítulo tres describe cómo determinar la humedad con diversas técnicas que pueden dar un dato cuantitativo calculado con base en la Norma ASTM E 1907.

El capítulo cuatro muestra los problemas en las edificaciones ocasionadas por la humedad en aspectos estructurales, estéticos, en la armadura de estructuras de concreto armado, así como en repellos de losas y muros.

El capítulo cinco se enfoca en técnicas de construcción que puedan evitar la humedad futura en las construcciones, mediante métodos constructivos prácticos y el uso adecuado de materiales impermeabilizantes.

En el capítulo seis se hace la comparación de dos materiales impermeabilizantes de una manera crítica, utilizando elementos de mampostería como muestras para recubrirlos con impermeabilizante y ensayarlos por medio de un método no estandarizado para determinar el grado de permeabilidad que tienen ambos materiales, y así dar una recomendación para el uso de los mismos en la construcción de viviendas.

OBJETIVOS

General

Comparar dos tipos de materiales impermeabilizantes flexibles y aditivos para morteros usados en edificaciones.

Específicos

1. Identificar los problemas que causa la humedad en edificaciones y en la salud humana.
2. Determinar el grado de permeabilidad de las pinturas impermeabilizantes.
3. Determinar el grado de permeabilidad de los morteros integrados con aditivos impermeabilizantes utilizando un agregado de arena amarilla.
4. Seleccionar un tipo de impermeabilizante en función de su funcionalidad y capacidad para retener los líquidos.

INTRODUCCIÓN

Existen diversos materiales utilizados para impermeabilizar losas o muros en viviendas y edificios, estos se pueden encontrar en el mercado como aditivos para morteros, pinturas, resinas, fibra de vidrio, entre otros. En Guatemala son más utilizadas las pinturas impermeabilizantes, pero en muchos casos no son eficientes, ya que se emplean métodos y materiales adecuados dependiendo del porcentaje de humedad que se tenga, de donde provenga y el lugar de aplicación, así como el tipo de superficie.

Se realizarán pruebas de laboratorio para determinar la cantidad de agua que contienen los muros y losas para conocer el porcentaje de humedad de la misma, con el objetivo de impermeabilizar, y saber en qué casos optar por otros métodos constructivos para evitar la humedad, en caso de ser excesiva.

Métodos como aplicación de fibra de vidrio, morteros con aditivos impermeabilizantes y membranas son muy eficientes, ya que estos se aplican cuando las pinturas no son efectivas. Estos materiales utilizan químicos que ayudan a reducir el tamaño de los poros en la superficie que se requiere impermeabilizar y así evitar el ingreso de humedad, estos también permiten la evaporación del agua en el área aplicada.

Con la aplicación adecuada de impermeabilizantes se logrará reducir la humedad en los ambientes que lo requieran, y así prevenir enfermedades que causa la humedad y, también la erosión de las estructuras, en el caso del acero, su corrosión, y en los muros, la caída de los repellos.

1. HISTORIA DE LOS IMPERMEABILIZANTES

Desde tiempos remotos ha existido la necesidad de los seres humanos de protegerse contra las inclemencias de la naturaleza a través de la construcción de viviendas de distintos tipos y materiales, tal es el caso de las viviendas que desde los tiempos antiguos se hacían con telas bañadas con diferentes tipos de soluciones para evitar la filtración de agua, también se utilizaban variedad de hojas para protegerse de la intemperie, cubriendo las áreas donde habitaban.

Con el avance de la civilización, el hombre ha buscado mejorar su calidad de vida, desarrollando materiales y procedimientos para construir viviendas más resistentes y durables, además de luchar contra las inclemencias del tiempo mediante barreras contra el calor, el frío y de la penetración de agua y humedad desde el exterior.

Los techos de las antiguas construcciones como iglesias, conventos, casonas, entre otros; utilizaban el sistema de terraza que consistía en un entrepiso que estaba formado por vigas de madera, loseta de barro tipo cuarterón hechos a mano y una capa de tierra limpia compactada que lograba un peralte de hasta 80 cm dependiendo del área de interés, por último se aplicaba una capa de ladrillo de barro cocido hecho a mano y finalmente se aplicaba una solución de alumbre que permitía lograr una superficie impermeable.

Para lograr tener un ambiente más agradable y libre de humedad se recurre al uso de distintos materiales, desde mamposterías de piedra, morteros de unión o recubrimiento hasta hormigones simples y armados, para llegar a las

estructuras que cumplen especificaciones y demandas de los usuarios modernos, además de otros desafíos de uso frecuente actualmente.

1.1. Descubrimiento de materiales derivados del petróleo

Es importante señalar que este sistema de protección, como bitúmenes para azoteas fue utilizado hace unos 300 años aproximadamente, y que luego de la revolución industrial, además con el descubrimiento del petróleo se empiezan a inventar materiales hechos a base de petróleo y que revolucionaron el mercado. Con la llegada de la industria petrolera en los años de 1920 y el descubrimiento de materiales nuevos petrolizados, se utiliza una mezcla de petróleo crudo y amoníaco mejor conocido como chapopote, se comenzó a emplear como capa protectora sobre los techos de hormigón armado, debido a sus propiedades flexibles al enfriarse.

1.2. Descubrimiento de la fibra de vidrio

En la década de los años 1960, debido a investigaciones llevadas a cabo por la NASA se descubrieron nuevos materiales que ayudaron a mejorar el estilo de vida de las personas. Fue así como apareció la fibra de vidrio, un material básico en la industria de los impermeabilizantes. De esta se obtiene una tela de fibra de vidrio muy fina conocida como membrana de refuerzo de fibra de vidrio.

Se caracteriza por su resistencia, flexibilidad y ligereza, también es un material inalterable e indismallable. Su composición es estable, rigurosamente homogénea, prácticamente es indiferente a ataques de agentes químicos.

1.3. Implementación de pinturas acrílicas

Con la entrada del siglo XX, la industria de las pinturas experimentó cambios dramáticos. Empezando por el desarrollo de la goma de éster aceleraron el proceso con la investigación industrial de la química sintética en crecimiento. Aglutinantes tradicionales se fueron sustituyendo por resinas sintéticas y muchos nuevos campos de la tecnología de los recubrimientos se abrieron con el desarrollo de la nitrocelulosa, fenólicos, urea y formaldehídos de melanina, acrílicos, vinilos, alquidales, terpenos, entre otros.

Con la fabricación de la primera pintura con una emulsión de látex a base de estireno, después de la Segunda Guerra Mundial, la gran aceptación y rápido crecimiento de este tipo de recubrimientos inició. La primera resina sintética producida a gran escala y comercializada en el mundo fue fabricada por la General Electric Company con el nombre de Gliptal en 1917.

1.4. Descubrimiento de los morteros integrales

Durante la época romana se usó una forma de aditivos, estos se adicionaban al concreto de cal y puzolanas. Algunos suponen que los primeros aditivos para los hormigones fueron sangre y clara de huevo. La fabricación del cemento Pórtland es relativamente reciente y se sabe que se descubrió alrededor del año 1850, poco después con el fin de obtener un buen fraguado del cemento, se utilizó yeso crudo o cloruro de calcio. Esta incorporación fue entre los años de 1875 y 1890.

1.5. Tipos de impermeabilizantes

Existen diversos tipos de impermeabilizantes en el mercado, como los flexibles, las pinturas y resinas; productos que son derivados del petróleo,

también como anteriormente se cita, los morteros y concretos integrales con aditivos impermeabilizantes. Durante mucho tiempo se utilizó en techos de casas de estilo colonial un material denominado mezclón español, este era preparado con arcilla y clara de huevo para evitar las filtraciones.

1.5.1. Membranas

Este material es un tipo de manta impermeable que se utiliza para impermeabilizar techos o cubiertas. Estos se aplican mediante un procedimiento de tres fases dependiendo del tipo y marca de la membrana: la primera parte es imprimir la superficie para lograr una adherencia de esta hacia la membrana, el segundo paso es vulcanizar o calentar la membrana para que pueda adherirse a la imprimación y luego unir todas las juntas con una pintura especial, que dependiendo del tipo de membrana puede ser una solución asfáltica o alguna pintura para sellar uniones.

1.5.2. Morteros para impermeabilizar

Son los más utilizados en Guatemala para la impermeabilización de cubiertas en viviendas. Estos tienen normalmente una proporción de 1:2 o 1:3 donde el primer valor es el cemento y el segundo el agregado fino.

1.5.3. Pinturas

Son importantes para una impermeabilización en muros que se deseen proteger de la intemperie, son materiales fluidos que se aplican de una manera muy fácil con brocha o con rodillo, se pueden encontrar diferentes tipos de pinturas, ya que existen impermeabilizantes para usarse en losas; estos deben

de tener propiedades distintas a los de los muros, ya que tienen que resistir con mayor rudeza la intemperie y, también el tránsito peatonal en azoteas.

1.5.4. Materiales bituminosos

Son materiales de color oscuro provenientes del petróleo, son viscosos, dúctiles y se ablandan con el calor. Estos se utilizan en la impermeabilización de muros de edificios, entre otros, son difíciles de trabajar por su viscosidad, pero son muy impermeables, normalmente son usados en la creación de pavimentos como aglomerantes, ya que cuando están a una temperatura específica son muy resistentes.

1.5.5. Bentonita

Es un tipo de arcilla que tiene la propiedad de absorber el agua, este material se hincha cuando entra en contacto con el agua hasta y lograr cerrar una cantidad considerable sus poros impidiendo el paso del agua. Es utilizado donde la humedad debe ser controlada o donde el porcentaje de humedad pueda ser muy alto, este se mezcla con el suelo logrando que por medios naturales pueda reducir su permeabilidad.

2. ENFERMEDADES CAUSADAS POR LA HUMEDAD

2.1. Problemas generales

El no tratar los problemas de humedad en las residencias o edificios puede tener un impacto muy negativo en la salud de las personas, por lo tanto hay que prevenir en edificios y corregir estos problemas cuando ocurren, son consideraciones importantes no solo para proteger la salud de las personas sino también, para reducir los costos asociados con la reparación o el reemplazo de materiales del edificio que se dañan por este motivo. Un saneamiento de este tipo puede costar millones de quetzales. Además pueden surgir costos relacionados con el traslado de trabajadores, licencias por enfermedad, indemnizaciones de trabajadores, disminución en la productividad, evaluaciones de consultores, entre otros.

2.2. Historiales sobre problemas de humedad en edificios

Un ejemplo costoso sobre el problema de humedad es el del palacio de justicia del condado de Florida y su edificio de oficinas construido entre 1986 y 1989. A unas semanas de haberse mudado al edificio, los trabajadores informaron una variedad de síntomas, incluidos irritación en los ojos y en la garganta, fatiga y dolores de cabeza. También informaron el crecimiento de moho visible debajo del empapelado de las paredes del perímetro del edificio.

Al menos 14 de los aproximadamente 200 empleados que trabajaban en los edificios solicitaron indemnización por enfermedades relacionadas con la condición de los edificios. Fueron trasladados por dos años durante los trabajos

de saneamiento. El costo del saneamiento y la restauración excedió los 24 millones de dólares, más del doble de los 11 millones de dólares que costó construir los edificios. En un juicio con jurado, el dueño de los edificios, Martin County de Florida, obtuvo 13,7 millones de dólares por parte de una empresa de construcción y tres aseguradoras en concepto de daños. Martin County también llegó a diferentes acuerdos en demandas relacionadas contra otras partes por la suma de casi 3 millones de dólares [Chen et al. 1998].

2.3. Contaminantes producidos por la humedad y contaminación del aire

En la presencia en el aire de sustancias o formas de energía que alteran la calidad del mismo e implica riesgo, daño o molestia grave a los seres vivos y bienes en general.

2.3.1. Bioaerosoles

Los contaminantes biológicos específicos intradomiciliarios incluyen: hongos, ácaros del polvo, caspa de mascotas, animales domésticos y roedores, insectos, agua contaminada, bacterias y virus. La infiltración de agua de lluvia o de agua subterránea y el vapor producido por personas, mascotas, cocinas y duchas requieren ventilación adecuada para evitar problemas de humedad que favorecen la proliferación de hongos y microbios. Colchones, fundas de muebles y alfombras son reservorios de ácaros del polvo.

2.3.2. Compuestos de azufre

Incluyen el dióxido de azufre (SO_2), ácido sulfúrico (H_2SO_4) aerosol que se forma por oxidación del SO_2 en presencia de humedad, y el ácido sulfhídrico

(H₂S). Las industrias que elaboran o usan ácidos pueden también emitir H₂SO₄. El SO₂ contribuye a la formación de lluvia ácida.

2.3.3. Enfermedades respiratorias

Los contaminantes producidos por la humedad y contaminación del aire causan ciertas enfermedades, tales como:

- Asma
- Neumonitis por hipersensibilidad
- Rinitis y sinusitis

2.3.3.1. Asma ocupacional

Es un trastorno pulmonar en el cual diversas sustancias que se encuentran en el lugar de trabajo provocan dificultades respiratorias.

Los síntomas, por lo general se deben a una inflamación de las vías respiratorias y espasmos de los músculos que las recubren, lo cual hace que dichos músculos se estrechen de manera excesiva.

Con frecuencia ocurren poco después de la exposición a la sustancia causal y a veces mejoran o desaparecen cuando la persona sale del trabajo. Algunos pueden no presentar síntomas hasta doce o más horas después de la exposición al alérgeno.

2.3.3.2. Neumonitis por hipersensibilidad

Los síntomas de la neumonitis por hipersensibilidad aguda con frecuencia se presentarán entre cuatro y seis horas después de que el afectado haya

abandonado el área donde se encuentra la sustancia extraña, lo cual dificulta el hecho de encontrar una conexión entre la actividad y la enfermedad. Los síntomas podrían desaparecer antes de que regrese al área donde encontró la sustancia, en este caso se asocia con los hongos de las paredes.

Estos síntomas pueden abarcar:

- Escalofríos
- Tos
- Fiebre
- Malestar (sentirse indispuesto)
- Dificultad para respirar

2.3.3.3. Rinitis y sinusitis

La rinitis se caracteriza por la congestión nasal, el estornudo y la presencia de goteo o picazón de la nariz. Los ocupantes de edificios con humedad que experimentan estos síntomas mientras se encuentran en el, lugar y que perciben una mejoría o desaparición de los síntomas al estar alejados de dicho edificio, pueden tener rinitis debido a la exposición en el edificio.

La sinusitis (inflamación de los senos paranasales) puede causar síntomas similares a los de la rinitis o a los de un resfriado. A menudo, la sinusitis es causada por virus o bacterias y en menor medida por hongos. La inhalación de sustancias irritantes también puede ser una causa.

3. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD Y SU PROCEDENCIA

Para seleccionar un material para impermeabilizar es importante conocer el grado de humedad de la superficie donde se está trabajando, ya que esto determina si el material puede adherirse a la misma.

También es importante conocer las causas que ocasionan la humedad, ya que muchas veces los métodos de impermeabilización pueden ser complicados si se trata de infiltración de agua en grandes cantidades.

3.1. Ensayos para determinar la humedad basados en la Norma ASTM E1907

A continuación se explicarán los métodos para determinar la humedad basados en la Norma ASTM E1907.

3.1.1. Gravimétrico

Este es un método directo y aproximado de determinación del contenido de humedad en la superficie del concreto, se puede utilizar en paredes y pisos. Se remueven pedazos de la superficie del concreto y se secan en un horno hasta peso constante. El contenido de humedad se calcula entonces, como un porcentaje del peso de la muestra seca. Generalmente un contenido de humedad menor de un 3 a un 4 % es considerado adecuado para la aplicación de recubrimiento de piso y muros.

Ecuación para determinar contenido de humedad

$$\%H = \frac{Ww}{Ws} * 100$$

Donde

w = contenido de humedad expresado en %

W w = peso del agua en la muestra

Ws = peso seco de la muestra

Ejemplo

Datos

Peso bruto de la muestra: 200 g

Peso seco de la muestra (Ws): 195 g

Peso del agua: (Ww): 5 g

$$\% H = \frac{Ww}{Ws} * 100$$
$$\% H = \frac{5,00}{195,00} * 100 = 2,56 \%$$

3.1.2. Ensayo de cloruro de calcio anhidro

Es un ensayo popular seleccionado por varios fabricantes de pisos, quienes especifican un criterio basado en este método para la instalación de pisos y alfombras. Una cantidad medida de cloruro de calcio anhidro es colocada en un área sellada sobre la superficie y se mide la cantidad de humedad absorbida por la sal durante 60 a 72 horas, para calcular el ritmo de emisión de vapor de humedad (MVER). Generalmente especificados son de

tres a cinco libras de humedad por cada 1 000 pies cuadrados en 24 horas (de $1,4 \times 10^{-4}$ a $2,4 \times 10^{-4}$ kPa en 24 horas). Este ensayo es relativamente barato, da un resultado cuantitativo, pero está sujeto a errores pues la sal es un material higroscopio.

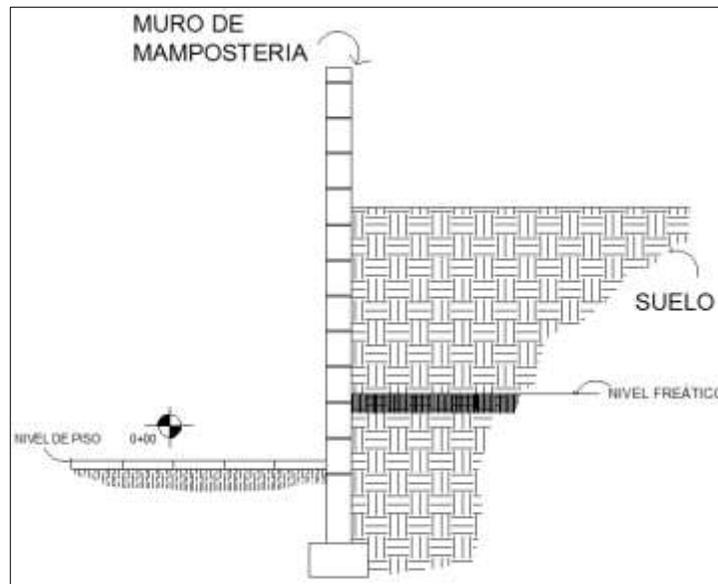
3.2. Determinación del origen la humedad

Para determinar el origen de la humedad se debe tener, principalmente, los planos de la edificación para ser más precisos en determinar la causa. Si no se cuenta con ellos es importante saber bajo qué condiciones se construyó o analizar y verificar fuera de la construcción si está expuesta a la intemperie o el suelo, en algunos casos pueda ser algún problema de drenaje en mal estado o fugas de agua.

3.2.1. Humedad causada por el suelo

El suelo es uno de los factores más importantes que causan humedad en viviendas, esto debido a que es un material que absorbe y mantiene humedad, dependiendo del tipo de suelo, así será la cantidad de agua que puede almacenar, es por eso que se debe tener cuidado en la impermeabilización de las partes expuestas al suelo.

Figura 1. **Humedad en paredes causadas por el suelo**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2011.

3.2.2. **Humedad causada por la intemperie**

Esta humedad pueda ser la más común en Guatemala, como se observa en la figura 2, la mayor parte de viviendas son afectadas ya que no son recubiertas con algún material adecuado, el agua de lluvia toca la superficie de los muros o de los techos haciendo que las paredes que no están repelladas o impermeabilizadas mantengan un grado de humedad en su interior y por consiguiente, los ambientes se mantengan húmedos. Esta forma de humedad es un tanto fácil de solucionar, dependiendo de las condiciones en que se encuentre, pero si la humedad proviene de una pared colindante, será un tanto problemático.

Figura 2. **Imagen de humedad en paredes causadas por el suelo**



Fuente: elaboración propia, ciudad capital Guatemala.

3.2.3. Humedad proveniente de fugas

Es importante conocer si la procedencia de la humedad es causada por algún daño en las tuberías de drenaje o agua potable, ya que eso puede causar no solo un daño a la estructura, colapso del suelo y recubrimientos, sino también directamente a la salud, ya que si proviene de algún drenaje sanitario puede ocasionar la contaminación de los materiales en donde se produce la humedad y provocar otras enfermedades.

Existen maneras de detectar estas fugas con equipos acústicos, estos estudios son costosos, pero muy efectivos, por ejemplo revisando el contador de agua, dándole seguimiento, si aun estando apagados las tomas de agua, este marcara algún gasto, se puede determinar si hay fuga de agua.

4. EFECTOS DE LA HUMEDAD EN ESTRUCTURAS Y REVESTIMIENTOS

La humedad no solo afecta los aspectos estéticos de una estructura, sino también los estructurales de una edificación, hablando así de sus refuerzos de acero o en sí del material del cual fue elaborado. Tales efectos son la corrosión del acero y las fallas de elementos, como mampostería por hinchazón debido a la humedad.

4.1. Corrosión del acero en concreto reforzado

Se le llama corrosión a la oxidación de los metales. Esto se debe a un ataque destructivo del medio ambiente a través de reacciones químicas o electroquímicas. La corrosión electroquímica se produce cuando los átomos del metal son oxidados dejando la estructura del metal como iones, esto crea un exceso de electrones en la superficie del metal. Los electrones pueden ser transferidos a una parte activa en el electrolito, produciéndose la reacción de reducción. La humedad puede afectar el concreto reforzado, ya sea en losas, columnas y cimientos, es por eso que se deben usar recubrimientos que sean suficientes para evitar estos problemas, en el caso de la exposición al suelo el ACI 318 recomienda un recubrimiento de 7 cm como mínimo.

Los elementos estructurales son de mucha importancia, ya que de ellos depende la edificación, es por eso que se deben cuidar muy bien para evitar este tipo de problemas. La corrosión dentro de las estructuras no puede detenerse, ya que el proceso de oxidación comienza dentro del elemento y no puede extraerse esa humedad que ya ingresó a el acero.

4.2. Hinchamiento de los elementos de mampostería

Los cambios de volumen en las unidades de mampostería pueden ser causadas por pérdida o ganancia de humedad, es decir, expansión y contracción térmica. Para limitar y controlar el agrietamiento debido a estas y otras causas, es necesario un control de la humedad en la mampostería, por lo que es indispensable evitarlo, debido a que si existen grietas es más crítico el ingreso de la humedad hacia la edificación.

4.3. Desprendimiento del revestimiento

El revestimiento puede ser afectado por la humedad, ya que este no es propio de un muro o de algún elemento estructural, estos son aplicados después del levantado y en ocasiones suele desprenderse por causas diversas, pero uno de los factores más relevantes es por la filtración o absorción de agua, lo cual causa algunos factores que ayudan al desprendimiento de los revestimientos. El agua logra activar algunos reactivos que existen dentro de la mampostería o el concreto, ya que estos suelen estar contaminados con los agregados que contienen o el agua con que se hizo la mezcla.

Figura 3. **Imagen de corrosión del acero por filtración de agua**



Fuente: Villa Nueva, Guatemala.

4.4. Hongos y mohos

El aparecimiento de hongos y mohos en las paredes es síntoma de humedad, ya que estos crecen en condiciones de condensación de vapor. Hay ciertos hongos que generan micotoxinas y pueden ser muy graves sus efectos de inhalación. El moho es un hongo que se encuentra en todos los ambientes cotidianos. Crecen en cualquier época del año en condiciones de alta humedad, estos se reproducen mediante esporas y puede soportar condiciones críticas.

Figura 4. **Imagen de moho en paredes**



Fuente: *Soluciones contra la humedad de capilaridad y la humedad de condensación.*

http://www.humedadcontrolada.com/wp-content/uploads/2010/11/Ecologiablog_mohoenlapared.jpg /. Consulta: 18 de mayo de 2015.

4.5. Tipos de mohos

Crecen en las paredes, puede producirse a menudo por la humedad, el primer signo de un mojo es el olor a humedad.

4.5.1. Alternaria

Este tipo de hongo crece en espacios húmedos, como duchas o debajo de lavamanos cuando hay fugas. A veces crece en las alfombras que han estado húmedas durante algún tiempo. Sin embargo, también puede crecer en áreas

con poca humedad. Se encuentran en el interior o exterior de una vivienda y se propagan rápidamente. Puede causar síntomas de alergia y el desarrollo de asma. Las personas mayores, los niños, que tienen problemas respiratorios y aquellos con inmunosupresión, son más propensos a este tipo de hongo.

Son capaces de colonizar y degradar numerosos substratos como papel, cuero, tapicerías, pinturas o alimentos que pueden contaminar con micotoxinas. Algunas especies de alternaria son capaces de descomponer azúcares, pectina y lignina. Se ha encontrado que algunas especies de este hongo, son productoras de lesiones cutáneas; el mayor aspecto patogénico de estos hongos, radica en su poder como alergógeno y productor de asma, debido a su presencia casi constante en el aire tanto en los interiores de edificios como en los exteriores, así como en el polvo doméstico, además favorece el crecimiento de ácaros.

Según los datos facilitados por la Unidad de Alergia del Hospital Reina Sofía de Córdoba, de los testados, es alternaria el hongo que produce un mayor número de reacciones positivas, pues el 32 % de los pacientes sensibles a hongos, son de alternaría.

4.5.2. *Cladosporium*

Este hongo crece en superficies de madera y tejidos como alfombras, a este tipo de hongo le gusta crecer en la descomposición o en las hojas de las plantas.

Cladosporium es uno de los llamados hongos de color negro (hongo *Dematiaceae*). Son también muy comunes en el interior, entre otros hongos negros como alternaria, curvularia o ulocladium causan manchas negras en las paredes y muebles.

“Por lo general entra en la casa a través de los sistemas de climatización o simplemente a través de puertas o ventanas. Puede causar problemas en piel y uñas, así como infecciones respiratorias como sinusitis. Puede provocar cualquier problema respiratorio, reacciones alérgicas, picazón en los ojos, tos, estornudos y secreción nasal”¹.

4.5.3. *Penicillium*

Se encuentra con frecuencia en cosas como cuartos aislados, alfombras, papel tapiz pintado o telas podridas. Se puede esparcir rápidamente de un lugar a otro. Es uno de los más comunes de todos los diferentes tipos de moho y es la sustancia de la que está hecho el antibiótico penicilina. Por su uso medicinal no quiere decir que sea inofensivo. La exposición al moho *Penicillium* puede conducir a infecciones crónicas del sinusal, síntomas de la alergia y la inflamación de los pulmones, así como problemas en los huesos y músculos.

4.5.4. *Stachybotrys chartarum*

Se le conoce a veces como moho negro debido a su aspecto baboso negro, por lo general crece en lugares con mucha humedad y cuando es continua, por ejemplo: alrededor de una tubería con fugas o en conductos de aire acondicionado donde hay mucha condensación del agua. Sin embargo, se puede propagar a otras áreas. De todos los diferentes tipos de moho, este puede estar asociado con la mayor cantidad de problemas de salud.

“*Chartarum Stachybotrys* es un hongo que se ha convertido en famoso como productor de micotoxinas que pueden causar los animales y micotoxicosis

¹ Cladosporium. www.eco24.es/index.php/informacion-moho/cladosporium. Consulta: 7 de julio de 2015.

humano. De hecho, en los últimos 15 años en América del Norte se han acumulado pruebas que implican a este hongo como un problema grave en los hogares y edificios, y una de las causas del "síndrome del edificio enfermo". En 1993-1994, se produjo un brote inusual de hemorragia pulmonar en los recién nacidos en Cleveland, Ohio, donde los investigadores encontraron *Chartarum Stachybotrys* creciente en los hogares de los niños enfermos. Este incidente aumentó la conciencia de los moldes de casa/edificio y este hongo llamó la atención inmediata de la comunidad médica. En los últimos años se ha producido una cascada de informes sobre moldes tóxicos en los medios nacionales. El *New York Times Magazine*, 12 de agosto de 2001, publicó un artículo de primera plana sobre el moho tóxico como: "Hongo en 'Sick' Building" (*New York Times*, 5 de mayo de 1996) o "El moho en las escuelas fuerza eliminación de Forks niños" (Foro Fargo, junio de 1997) son noticia llamativa artículos"².

4.6. La importancia de una inspección profesional

El eliminar el moho es algo más que limpiar una superficie, existen procesos específicos que se deben seguir para asegurar que todo el moho se retira. Por ello debe conocerse el tipo de hongo que afecta las áreas de interés y tratarlo de la manera adecuada y con el equipo indicado, y luego tratar la superficie con algún impermeabilizante.

² Stachybotrys. <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/pages/stachybotrys.aspx>. Consulta: 5 de agosto de 2015.

5. MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN PARA EVITAR LA HUMEDAD

Existen métodos de construcción que permiten controlar la humedad antes de que ocurra algún problema. Estos son muy costosos, pero ayudan a mejorar la durabilidad de las estructuras y evitar la humedad dentro de las edificaciones, esto evita todos los problemas de salud antes mencionados, para toda construcción es necesario evitar estos problemas. A continuación se mencionan algunas formas que ayudarán a mitigar la filtración de agua.

5.1. Impermeabilización de muros y losas con revestimiento de morteros

Este método es preventivo, se utiliza siempre que se quiera evitar la filtración del agua en muros o losas, requiere de la aplicación de un mortero de alto contenido de cemento con una arena de río simple, recomendablemente seleccionada según la Norma Coguanor NTG 41031, de lo contrario pasa por el tamiz núm. 4, para evitar las partículas grandes en la mezcla.

Para la preparación se recomienda utilizar proporciones basadas en las Normas ASTM 270.

Tabla I. **NTG 41050 (ASTM C270)**

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen (Materiales comandantes)							Proporción de agregado (medio en condiciones húmedo suelto)	
		Cemento hidráulico	Cemento para mortero de pega			Cemento de mampostería				Cal hidratada
			M	S	N	M	S	N		
Cemento-cal	M	1	Más 1/4	No menos que 2 1/4 y no más que 3 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	1	...	...	...	...	...	...	Más de 1/4 a 1/2
	N	1	...	...	...	...	...	...	Más de 1/2 a 1/4
	O	1	...	...	...	...	...	...	Más de 1 1/4 a 2 1/2
Cemento para mortero de pega	M	1	...	...	1	...	...	...	...
	M	...	1	...	...	...	...	...	...
	S	1/2	...	...	1	...	...	...	...
	S	...	...	1	...	...	...	...	...
	N	...	...	...	1	...	...	...	...
	O	...	...	...	1	...	...	...	...
Cemento de mampostería	M	1	...	...	...	...	...	1	...
	M	...	...	...	...	1	...	...	...
	S	1/2	...	...	...	...	...	1	...
	S	...	...	...	...	...	1	...	...
	N	...	...	...	...	...	...	1	...
	O	...	...	...	...	...	...	1	...

Fuente: elaboración propia, con base en Norma ASTM C270.

Por su uso se clasifican también según la tabla II.

Tabla II. **Norma ASTM 270**

MORTERO	USOS
1.10	Mortero muy rico para impermeabilizaciones, rellenos
1.20	Para impermeabilizaciones y pañetes subterráneos, rellenos
1.3	Impermeabilizaciones menores, pisos
1.4	Pega para ladrillos en muros y baldosines, pañetes finos
1.5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general, pañetes no muy finos
1.6 y 1.7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general, pañetes no muy finos
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto, estabilización de taludes en cimentaciones

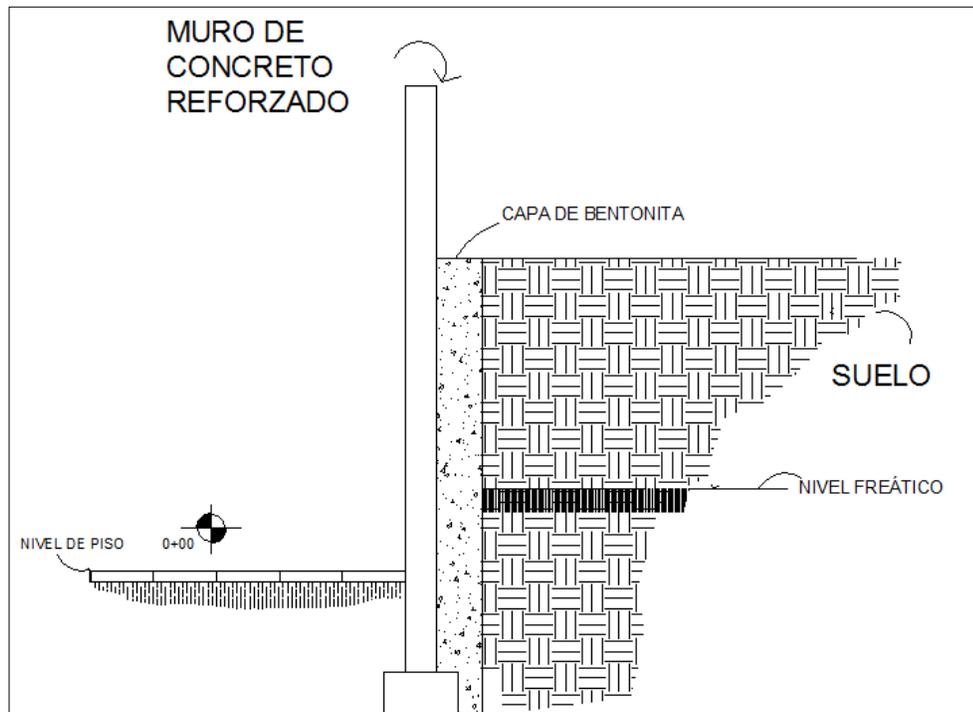
Fuente: elaboración propia, con base en Norma ASTM C270.

5.2. Uso de la bentonita para muros de contención

La bentonita se utiliza como un aislante para evitar la penetración del agua en muros de contención cuando el nivel freático afecte directamente, este se aplica en capas de espesor determinado en función de la permeabilidad del

suelo, este material es capaz de reducir los poros cuando entra en contacto con el agua.

Figura 5. **Uso de bentonita en muros de contención**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2011.

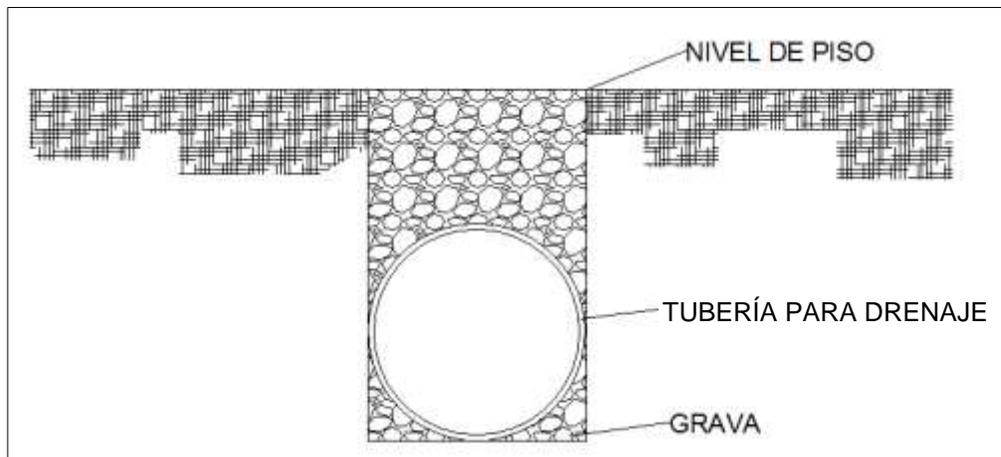
5.3. **Uso de materiales bituminosos**

El uso de materiales bituminosos es importante para la impermeabilización de muros expuestos a humedad, estos poseen bajo índice de permeabilidad, se aplica después del levantado de los muros, ya que es un material viscoso se adhiere fácilmente a la superficie de los muros de concreto o mampostería. La aplicación de este material es con brocha o rodillo.

5.4. Drenaje francés

Este sistema es muy útil para evitar que el agua se estanque en puntos específicos y provoque daños por humedad en estructuras. El fin específico de este método es conducir el agua a un punto de descarga o bien por medio de algún material filtrante en su base, permitir el paso del agua a zonas aisladas donde no afecte la edificación. Existen en la actualidad para realizar este tipo de drenaje llamados geotextiles, estos funcionan en el sistema como una capa impermeable que mejora el efecto de drenado, el material se coloca al fondo para que, de una manera más efectiva, escurra el agua dentro del canal. (08 T(3182)C, USAC).

Figura 6. Drenaje francés



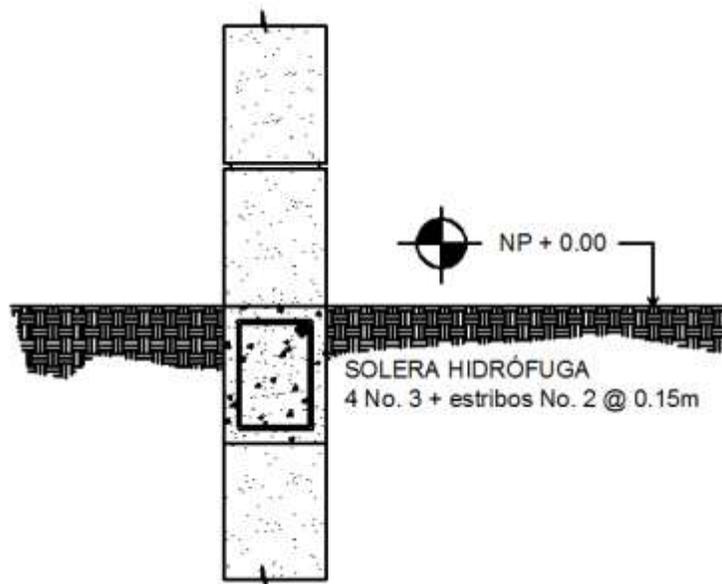
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2011.

5.5. Uso de la solera hidrófuga

Como función principal la solera de hidrófuga debe evitar el ingreso de la humedad por capilaridad hacia el interior de los diversos ambientes de la

edificación; para dividir estos espacios se utilizan muros tabiques, que solo soportarán su propio peso. Para transmitir estas cargas al suelo se propone el diseño de una solera de humedad trapezoidal, que soportará las cargas superpuestas de los muros contribuyendo a la distribución efectiva de las mismas, esto de acuerdo a la resistencia del terreno.

Figura 7. Solera hidrófuga



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2011.

6. ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Para este ensayo se utilizará como muestra elementos de mampostería, ya que son más porosos, tomando en cuenta que el elemento que se utiliza para este ensayo “no está normalizado” en su fabricación, esto incrementa la porosidad de la superficie y se puede analizar más objetivamente el material impermeabilizante, es por esto que se toma en cuenta para este tipo de prueba.

Debido a que las condiciones del ensayo son más críticas, porque se hace de manera horizontal, se puede analizar más detenidamente el material que se desea probar. Este ensayo no está normalizado porque lo que se desea estudiar en este caso es la cantidad de absorción que tiene un material con respecto al otro.

6.1. Método de ensayo de permeabilidad

Para este método se utilizan bloques de pómez, estos se recubren de impermeabilizante y se coloca el sistema de medición, en este caso se realizó con un embudo plástico con un sistema de medición graduado para determinar la infiltración en función del tiempo.

Figura 8. **Instrumentos para el ensayo de permeabilidad**



Fuente: elaboración propia, CII USAC edificio T5.

Se coloca el embudo de tal manera que la parte del diámetro mayor quede en la superficie de la muestra a ensayar, se pone en la parte del diámetro menor una jeringa graduada que se adapte al embudo, luego se sella en la base con un material epóxico o con silicona para evitar la fuga de agua durante el ensayo.

Figura 9. **Sellado de base con material epóxico**



Fuente: elaboración propia, CII USAC edificio T5.

El ensayo se realiza en un periodo de tiempo de 12 horas, se hacen mediciones con un cronometro por cada mililitros de agua que se infiltra en el material, se toma la lectura de altura inicial del agua para comparar el comportamiento con relación a la infiltración y se llena la tabla III.

Se toman 3 muestras de manera representativa para realizar el ensayo.

Tabla III. **Datos para ensayo de permeabilidad**

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		Observaciones
	H=	H=	H=		
cm3 de agua	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Promedio de tiempo	
1					
2					
3					
4					
TOTAL					

Fuente: elaboración propia.

6.1.1. Procedimiento para ensayo con pintura impermeabilizante

Se prepara la muestra, en este caso es un elemento de mampostería, se limpia la superficie para evitar que contenga algún material que afecte el ensayo.

Se aplica una capa de pintura en el elemento de tal manera que cubra la superficie total de elemento, aplicar una capa de manera horizontal y dejar secar según el tipo de pintura a utilizar de 8 a 12 horas, luego otra capa de manera vertical a fin de llenar todos los poros.

Se coloca el dispositivo como se muestra en la figura 9 y se sella la orilla con pegamento o silicón a manera de evitar la fuga de agua durante el ensayo, con base en la tabla III se toman los datos del tiempo en que el agua se infiltra en el material calculando con la jeringa graduada un mililitro, y se toma la lectura hasta los cuatro mililitros.

Luego de pasar de las cuatro lecturas se observa durante 12 horas si el agua se sigue infiltrando en el material, y se toman datos de alteraciones en el material o infiltración debajo del mismo, durante ese periodo de tiempo.

El dato “H” de la tabla III es la altura en cm columna de agua, desde la base de la muestra hasta el nivel inicial del agua en la jeringa graduada, esto con el fin de analizar si la presión del agua afecta directamente al tipo de material ensayado, ya que con el tiempo en que se infiltra el agua disminuye la altura en cm columna de agua.

Figura 10. **Impermeabilizado con pintura**



Fuente: elaboración propia, CII USAC edificio T5.

Figura 11. **Adherencia del material flexible**



Fuente: elaboración propia, CII USAC edificio T5.

6.1.2. Procedimiento para ensayo con morteros integrados para impermeabilización

A continuación se explicará el procedimiento para ensayo con mortero integrados para impermeabilización.

6.1.2.1. Preparación del mortero

Para la preparación del mortero es necesario tamizar el agregado con el tamiz núm. 4 o el equivalente en malla 3/16" para agregados finos. Luego se mezcla con base en las proporciones requeridas para el ensayo, en este caso 1:3 con un 25 % del porcentaje de agua total y otra con un 75 % del porcentaje de agua total de aditivo.

Los agregados que se utilizan deberán apegarse a las Normas ASTM C 144 y las muestras se tomarán según la ASTM D75 para un mejor control del ensayo.

Figura 12. **Selección de la muestra**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Fiusac.

Figura 13. **Granulometría de la muestra**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Fiusac.

6.1.3. Ensayo de porcentaje de absorción

Este ensayo se apega a la Norma ASTM C128 donde se necesita el material en estado seco saturado.

6.1.3.1. Preparación de la muestra ASTM C128

- Colocar la muestra de ensayo en una bandeja o vasija adecuada y secarla en un horno hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Dejarla enfriar hasta una temperatura confortable para su manejo (aproximadamente 50°C), cubrirla con agua, ya sea por inmersión o por la adición de por lo menos un 6 % de humedad y permitir que permanezca en este estado 24 ± 4 h.
- Decantar con cuidado el exceso de agua para evitar pérdida de finos, Esparcir la muestra de ensayo sobre una superficie plana no absorbente expuesta a una suave corriente de aire caliente y agitarla frecuentemente para asegurar un secado homogéneo. Si se desea pueden emplearse medios mecánicos de volteo y la agitación para asistir en la obtención de la condición saturada de superficie seca. Continuar estas operaciones hasta que la muestra de ensayo se acerque a un estado de flujo libre. Hacer una primera prueba de humedad superficial cuando todavía se aprecia un poco de humedad en la muestra de ensayo. Continuar el secado agitando continuamente la muestra y hacer pruebas a diferentes intervalos hasta que una de estas indique que ya se ha alcanzado la condición saturada de superficie seca.

Con este material en estado seco saturado o saturado de superficie seca se procede a determinar el porcentaje de absorción.

6.1.4. Determinación del porcentaje de absorción

El porcentaje de absorción es necesario para este ensayo, ya que por ser un mortero, el agregado utilizado tiene propiedades distintas a las del cemento, esto puede afectar directamente al paso de agua.

Absorción-calcular el porcentaje de absorción como sigue:

$$\text{Absorción \%} = 100 [(S - A) / A]$$

Donde

A: masa de la muestra seca al horno

S: masa de la muestra saturada de superficie seca

6.1.5. Determinación del grado de permeabilidad con mortero integral

Se prepara la muestra, en este caso es un elemento de mampostería, se limpia la superficie y se humedece para ayudar a la adherencia de mortero que se utilizará.

El material y equipo a utilizar es el siguiente:

- Probeta graduada
- Cono o embudo plástico transparente
- Jeringa graduada
- Silicón o material epóxico
- *Block* de mampostería
- Arena amarilla
- Cemento tipo I PM
- Aditivo impermeabilizante

Este ensayo requiere de un recubrimiento de 5 mm sobre la muestra (bloque de mampostería), para simular el caso común de repellos en muros. Se procede a recubrir las muestras con las proporciones dadas, luego de esto se dejan fraguar durante un periodo de 28 días, hasta llegar a su máxima resistencia. Luego que este tiempo haya llegado se instala el equipo de permeabilidad como se muestra en la figura 14.

Figura 14. **Impermeabilizado con mortero integrado**



Fuente: elaboración propia, CII USAC edificio T5.

- Se toman datos según la tabla III, al igual que en el ensayo con pintura impermeabilizante se llena de agua el sistema hasta la última lectura de la jeringa graduada para iniciar el tiempo y las lecturas, se procede a tomar datos en un periodo de 12 horas para este ensayo. Es importante anotar las observaciones necesarias del comportamiento del agua durante el ensayo.

Figura 15. **Imagen a los 20 minutos de iniciado el ensayo**



Fuente: elaboración propia, CII USAC edificio T5.

Figura 16. **Esparcimiento del agua en mortero integrado**



Fuente: elaboración propia, CII USAC edificio T5.

6.1.6. **Datos, cálculos y resultados**

A continuación se explicarán los datos, cálculos y resultados del método de ensayo de permeabilidad.

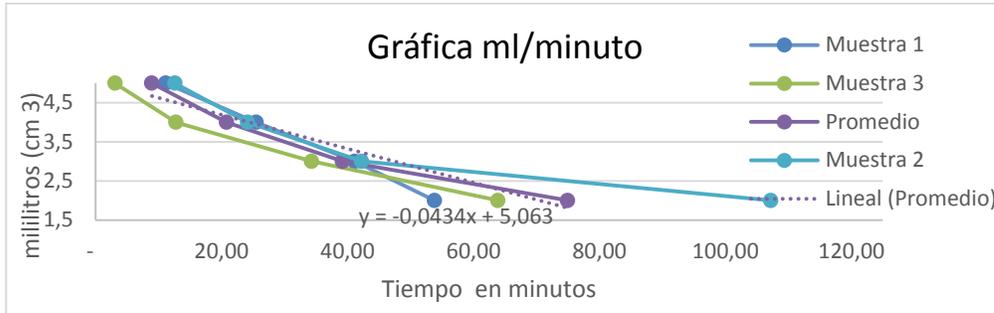
Tabla IV. **Datos en muestra de pintura**

cm 3 de agua	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio de tiempo	Observaciones
	H= 14 cm	H= 14 cm	H= 14 cm		
1	Tiempo*	Tiempo*	Tiempo*		
1	12,6	11,1	3,1	8,9	No presentó humedad bajo la capa de pintura
2	24,2	25,5	12,8	20,8	No presentó humedad bajo la capa de pintura
3	42,2	41,1	34,3	39,2	No presentó humedad bajo la capa de pintura
4	107,2	53,8	63,9	75,0	No presentó humedad bajo la capa de pintura
TOTAL	12 horas	12 horas	12 horas	12 horas	Luego de 12 horas de observación el agua no siguió infiltrándose

*El tiempo está en minutos

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Comportamiento de la infiltración en la pintura



Fuente: elaboración propia.

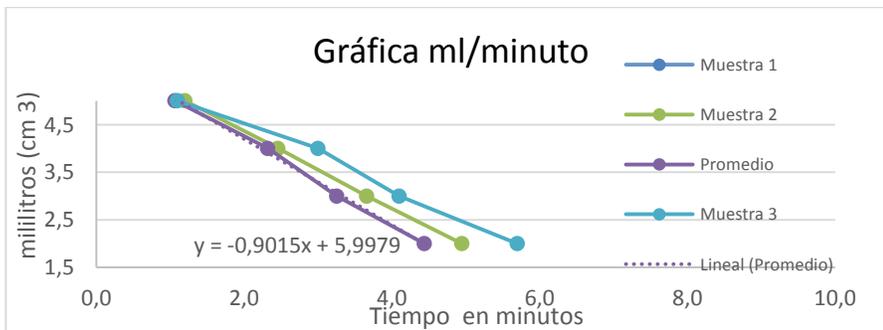
Tabla V. Datos en muestra de mortero integrado

Cm ² de agua	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio de tiempo	Observaciones
	H= 14 cm	H= 14 cm	H= 14 cm		
1	0,9	1,2	1,1	1,1	No presentó humedad bajo la capa de mortero
2	1,5	2,5	3,0	2,3	No presentó humedad bajo la capa de mortero
3	2,0	3,7	4,1	3,3	No presentó humedad bajo la capa de mortero
4	2,7	5,0	5,7	4,4	Presentó un poco de humedad bajo la superficie
TOTAL	12 horas	12 horas	12 horas	12 horas	Luego de 12 horas se observó que el agua pasó por completo el material.

*el tiempo está en minutos

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Comportamiento de la infiltración en el mortero



Fuente: elaboración propia.

6.2. Resultado del grado de permeabilidad, material flexible

Derivado de la gráfica y el valor promedio de la permeabilidad, Excel elabora una ecuación que expresa la función de la curva generada por los datos obtenidos.

$$y = -0,0434x + 5,063$$

Donde la pendiente de la ecuación es el grado de permeabilidad de la muestra promedio.

$$y=xm+b$$

$$p=m = 0,0434 \text{ ml/minuto}$$

6.3. Resultado del grado de permeabilidad, mortero integrado

Derivado de la gráfica y el valor promedio de la permeabilidad, Excel elabora una ecuación que expresa la función de la curva generada por los datos obtenidos.

$$y = -0,9015x + 5,997$$

Donde la pendiente de la ecuación es el grado de permeabilidad de la muestra promedio.

$$y=xm+b$$

$$P=m= 0,9015 \text{ ml/minuto}$$

6.3.1. Granulometría del agregado

A continuación en la tabla VI se describe la granulometría del agregado.

Tabla VI. **Granulometría del agregado**

Peso bruto seco en gramos:		838,77 gr.					
Tara en gramos:		323,06 gr.					
Peso neto seco:		515,71 gr.					
Tamiz	Abertura	Peso bruto gr	Tara gr	Peso Neto gr	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
	9,5 mm	773,23	323,06	450,17	100,00	100,00	100,00
4	4,5 mm	722,47	323,06	399,41	90,16	95,00	100,00
8	2,6 mm	671,33	323,06	348,27	80,24	80,00	100,00
16	1,18 mm	606,15	323,06	283,09	67,60	50,00	85,00
30	600 m	497,12	323,06	174,06	46,46	25,00	60,00
50	300 m	403,99	323,06	80,93	28,40	5,00	30,00
100	150 m	349,43	323,06	26,37	17,82	0,00	10,00
200	75 m	-	323,06	65,54	12,71		
% de gravas =		9,84					
% de arenas =		77,45					
% de finos =		12,71					
DESCRIPCIÓN:		Arena con presencia de limo y grava tipo pómez color café					

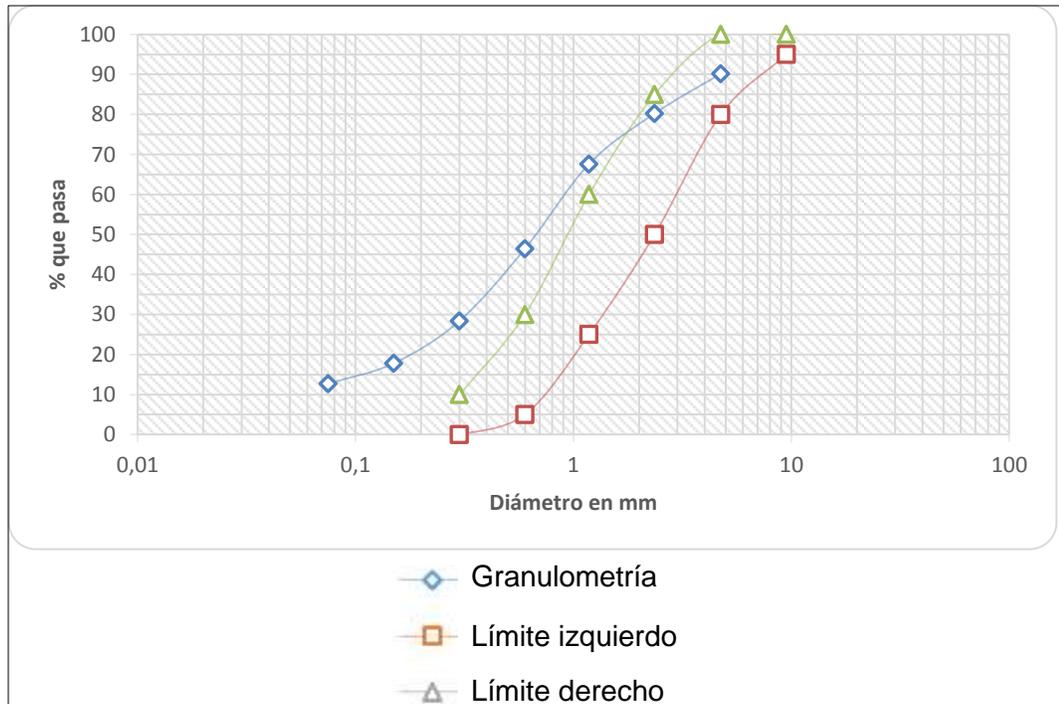
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Muestra del agregado para mortero**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Fiusac.

Figura 20. **Granulometría del agregado para mortero**



Fuente: elaboración propia.

La granulometría se hizo con base en la Norma ASTM C 33, los límites que aparecen tanto derecho como izquierdo se basan en la misma Norma, como se muestra en la tabla IV.

Tabla VII. **Graduación de los agregados finos ASTM C33**

Tamiz ASTM E11	Porcentaje que pasa Arena natural	Arena manufacturada
9.5 mm (3/8")	100	100
4.75 mm (N°4)	95 a 100	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100	80 a 95
1.18 mm (N°16)	50 a 85	45 a 95
600 µm (N°30)	25 a 60	25 a 75
300 µm (N°50)	5 a 30	10 a 35
150 µm (N°100)	0 a 10	8 a 20

Fuente: elaboración propia, con base en la Norma ASTM C33.

6.3.2. Porcentaje de absorción del agregado fino

A continuación se explicará el porcentaje de absorción del agregado fino.

Datos obtenidos del ensayo de absorción

Masa de la muestra seca al horno = 53 g = A

Masa de la muestra saturada de superficie seca = 56 g = S

$$A\% = 100 \left[\frac{(S - A)}{A} \right]$$

Donde

A: masa de la muestra seca al horno

S: masa de la muestra saturada de superficie seca

$$A\% = 100 \left[\frac{(56 - 53)}{53} \right]$$

$$A\% = 5,66$$

6.3.3. Proporciones de la mezcla del mortero, con aditivo

Se utilizó una proporción de la mezcla del mortero con aditivo.

$$1 : 3 : 0,50$$

Cemento - AF - aditivo % del agua

El aditivo utilizado fue de consistencia pastosa, especial para aumentar las propiedades del mortero en resistencia e impermeabilidad.

6.3.4. Comparación visible entre materiales

A continuación se explicará la comparación visible entre materiales.

6.3.4.1. Datos del elemento de mampostería

La permeabilidad del elemento de mampostería es relativamente baja, se puede observar en la figura 21 que el agua pasa completamente la superficie del *block*. Se calculó el tiempo aproximado en 15 segundos luego de haber llenado el cono.

Figura 21. ***Block sin tratamiento***



Fuente: elaboración propia, CII Fiusac.

6.3.4.2. Datos del recubrimiento con pintura

Utilizando la pintura se puede observar una impermeabilidad considerable en comparación con un *block* sin ningún tratamiento superficial. La pintura llena los poros de la superficie del elemento evitando el paso del agua, es importante saber mencionar que no se consideró una norma específica para seleccionar la

muestra, es por eso que la cantidad de poro en la superficie es considerable y es más difícil llenar los poros con la pintura.

Figura 22. **Block tratado con pintura impermeabilizante**



Fuente: elaboración propia, CII Fiusac.

6.3.4.3. Datos del recubrimiento con mortero integrado

Se puede notar a simple vista que la cantidad de poros en el recubrimiento es considerable en comparación con la pintura, esto se debe a que el agregado que se utilizó para la prueba fue la arena pómez, esta es esporosza. Al comparar con la pintura y la impermeabilidad de ella, a simple vista se puede decir que tiene un grado de permeabilidad más alto el mortero que el material flexible.

Es importante notar que la adherencia en comparación con la pintura es mucho mejor, ya que esto evita que por algún motivo se suelte de la superficie.

Figura 23. **Recubrimiento con mortero integrado**



Fuente: elaboración propia, CII Fiusac.

6.3.5. **Análisis de resultados**

La cantidad de agua que el materia flexible deja pasar, puede deberse a la cantidad de poro que el *block* tiene en su superficie, podría esto ayudar a que la pintura no llene en su totalidad los poros.

La altura medida en cada ensayo es de 14 cm, esto hace que las condiciones iniciales sean críticas, por lo que este ensayo determina un grado de permeabilidad aproximado de los materiales.

Para la preparación del mortero se hicieron dos pruebas con diferente contenido de aditivo y la misma proporción en grado fino, uno al 25 % del contenido de agua y otro al 50 % del contenido de agua, esto no mostro una diferente significativa para el ensayo.

La granulometría indica que el material no está bien graduado y que contiene una gran cantidad de arena y poca cantidad de finos, esto puede afectar a que la mezcla llene los vacíos con este material más pequeño.

De los resultados de la absorción del agregado se puede notar que no absorbe más del 5 %, quiere decir, que los resultados obtenidos de la permeabilidad del mortero puede deberse a que el material en sí contiene una gran cantidad de vacíos y, aunque no estén interconectados entre sí pueden dispersar el agua, como se ve en la figura 17.

CONCLUSIONES

1. La pintura impermeabilizante es menos permeable que el mortero integrado en un periodo de tiempo de 12 horas.
2. Se determinó que el mortero en comparación con la pintura tiene una mayor adherencia hacia la superficie porosa del elemento de mampostería.
3. El grado de permeabilidad de la pintura es de 0,0434 ml/min.
4. El grado de permeabilidad del mortero integrado es de 0,9015 ml/min.
5. El tipo de impermeabilizante a usar será en función del tipo de superficie y las condiciones de la misma, con base en las recomendaciones del presente trabajo.

RECOMENDACIONES

1. El porcentaje de humedad de la superficie para usar pinturas impermeabilizantes que sea igual o menor a 4 %, ya que la adherencia en superficies muy húmedas no es muy buena.
2. El agregado que a utilizar que esté limpio, libre de impurezas, ya que esto puede afectar a las propiedades del aditivo que se use, también contar con un análisis previo granulométrico, ya que debido a los resultados obtenidos la granulometría es importante para una buena impermeabilización.
3. Debido a que la adherencia es mayor cuando existe menos humedad en la superficie es importante utilizar el mortero integrado cuando exceda el 4 % de humedad; pero no arriba del 5 %, se requiere limpiar bien la superficie antes de iniciar con el recubrimiento y esperar el momento en que se logre la menor humedad posible.
4. Para la aplicación de pintura es necesario contar con superficies con la menor cantidad de poros posibles, ya que con esto se puede evitar un gasto adicional del producto y reducir costos, es importante que la superficie esté lo más plana posible.
5. Utilizar todos los medios de prevención indicados en este documento para evitar humedades, y así reducir los costos por mantenimiento y reparación.

BIBLIOGRAFÍA

1. BEZZINA MIKOLY, Germano. *Impermeabilización e impermeabilizantes*. USAC, 1967.
2. DUVÁN CHAVERRA, Agudelo. *Pinturas y recubrimientos*. [en línea]. <<http://www.inpralatina.com/201209132539/articulos/pinturas-y-recubrimientos/reciclado-de-pet-en-pinturas-y-recubrimientos.html>>. [Consulta: 25 de septiembre de 2015].
3. GAVIDIA, Tania. PRONCZUK, Jenny y SLY, Peter D. *Impactos ambientales sobre la salud respiratoria de los niños. Carga global de las enfermedades respiratorias pediátricas ligada al ambiente*. Australia: World Health Organization Centre for Research on Children's Environmental Health, School of Public Health, Curtin University of Technology, Perth. 2009. 167 p.
4. *Historia de la impermeabilización*. [en línea]. <<http://www.suplementoimpermeabilizate.com/2011/07/historia-de-la-impermeabilizacion/>>. [Consulta: 8 de enero de 2014].
5. *Impermeabilización en muros*. [en línea]. <http://www.coaatpalencia.org/documentos/CTE/DB-HS_SALUBRIDAD.pdf>. [Consulta: 30 de julio de 2014].

6. LAGE FERRÓN, M. Belén. *Influencia de los factores ambientales en el número de ingresos por urgencias en el complejo hospitalario, Juan Canalejo, de a Coruña, Elaboración de un modelo de predicción, Centro Universitario de Salud Pública. Madrid: 1999. 226 p.*
7. *Morteros impermeabilizantes*. [en línea]. <http://www.construmatica.com/construpedia/Morteros_Impermeabilizantes>. [Consulta: 27 de julio de 2014].
8. National Ready Mixed Concrete Association. *El concreto en la práctica*. [en línea]. <<http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip28es.pdf>>. [Consulta: 16 de octubre de 2013].
9. RIVERA SOTO, Edwin *Ronaldo. Causas prevención e impermeabilización de fisuras en losas de concreto armado*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1986. 236 p.
10. SABÁ MEDRANO, Carlos Eduardo. *Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería*. Usac: 2006. 345 p.
11. SANTOS LÓPEZ, Jessica Fabiola. *Diseño del edificio escolar de dos niveles para la aldea San Luis pueblo nuevo y muro de contención en voladizo para la aldea Cerro Niño, Pastores, Sacatepéquez*. Usac: 2013. 173 p.

12. *Tipos de impermeabilizantes acrílicos.* [en línea]. <<http://dearkitectura.blogspot.com/2011/09/tipos-de-impermeabilizantes-acrilicos.html>>. [Consulta: 16 de enero de 2014].
13. Universidad Castilla-La Mancha. *Morteros.* [en línea]. <http://www.uclm.es/area/ing_rural/Hormigon/Temas/Morteros.pdf>. [Consulta: 22 de marzo de 2014].
14. Universidad Nacional de Colombia. [en línea]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf>. [Consulta: 30 de diciembre de 2015].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Muestra de *block***



Fuente: elaboración propia, CII Fiusac.

Apéndice 2. ***Block* sin tratamiento**



Fuente: elaboración propia, CII Fiusac.

Apéndice 3. **Ensayo de granulometría**



Fuente: elaboración propia, CII Fiusac.

Apéndice 4. **Tamices utilizados**



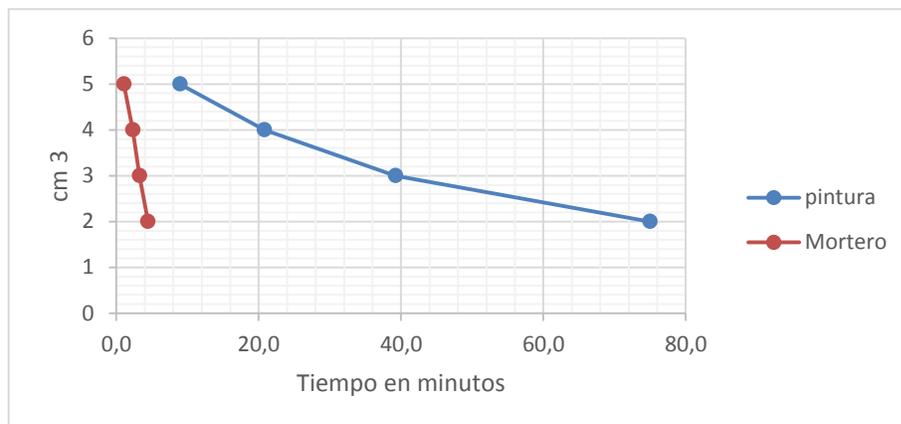
Fuente: elaboración propia, CII Fiusac.

Apéndice 4. **Blocks utilizados en el ensayo con pintura**



Fuente: elaboración propia, CII Fiusac.

Apéndice 6. **Comparación de permeabilidad**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Porcentaje de variación entre los ensayos**

Pintura	Mortero	Porcentaje de variación en comparación con la pintura %
Promedio de tiempo (min)	Promedio de tiempo (min)	
8,9	1,07	88
20,8	2,32	89
39,2	3,25	92
75,0	4,44	94
12 horas	12 horas	
*NOTA: Se puede observar en la tabla anterior que la pintura tiene hasta un 94% más eficiencia que el mortero de arena amarilla durante un periodo de 12 horas		

Fuente: elaboración propia.