

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO ALTERNATIVO PARA LA
REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE LA HUMEDAD EN CONSTRUCCIONES”.**

AUTOR:

CAMPAÑA ALARCÓN CRISTOPHER ALEJANDRO

TUTOR: Ing. Mg. Lenin Maldonado Narváz

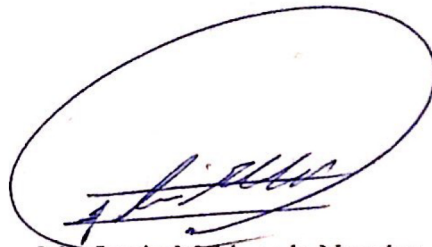
AMBATO-ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo experimental bajo el tema: "DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO ALTERNATIVO PARA LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE LA HUMEDAD EN CONSTRUCCIONES", realizado por el Sr. **Cristopher Alejandro Campaña Alarcón**, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, se desarrolló bajo mi tutoría, el cual se ha concluido de manera satisfactoria.

Ambato, octubre de 2019.

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read 'Lenin Maldonado Narváez'.

Ing. Mg. Lenin Maldonado Narváez

TUTOR DE TESIS


DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Ambato, octubre de 2019.

AUTOR



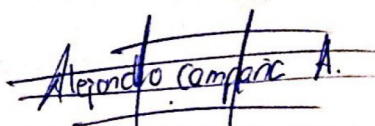
Egdo. Cristopher Alejandro Campaña Alarcón

C.I. 0503241002

AUTORÍA

El contenido del presente trabajo experimental bajo el tema: “DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO ALTERNATIVO PARA LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE LA HUMEDAD EN CONSTRUCCIONES”, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, octubre de 2019.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Alejandro Campaña A.", is written over several horizontal lines that have been drawn across the page.

Egdo. Cristopher Alejandro Campaña Alarcón

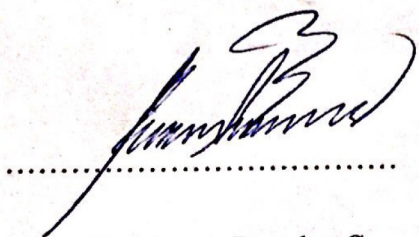
C.I. 0503241002

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

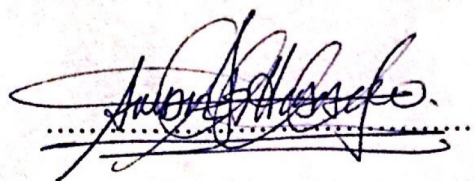
Los miembros del tribunal examinador aprueban el Informe del trabajo experimental, bajo el tema: "DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO ALTERNATIVO PARA LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE LA HUMEDAD EN CONSTRUCCIONES", de **Cristopher Alejandro Campaña Alarcón** de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, octubre de 2019.

Para constancia firman:



Ing. Geovanny Paredes C.



Ing. Andrés Hidalgo.

DEDICATORIA

En primer lugar, y antes de la dedicatoria, quiero mencionar una pequeña frase que me ha motivado en todo el transcurso de mi vida universitaria.

“No consideres al estudio como una obligación, sino como una oportunidad para adentrarse en el hermoso mundo del saber”. Albert Einstein.

La presente investigación la dedico en primer lugar a Dios por haberme dado unos padres extraordinarios, que me han enseñado el significado del verdadero esfuerzo y sacrificio para llegar al éxito, a mi hermana por su apoyo incondicional y a mi tío Estalín por encaminarme de la manera adecuada para estudiar en una de las ramas más grandes como es la Ingeniería Civil y más aún por recomendarme esta prestigiosa Universidad en la que me he formado como un excelente profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional, por inculcarme los valores que hoy mantengo como persona y por siempre, siempre creer en mí, y en cuán grande puedo llegar a ser.

A mi hermana por ser mi ejemplo, mi motor, mi fuerza, mi compañía, mi todo, por no dejarme caer en los altos y bajos que me conllevó esta investigación.

A mis amigos Danny, Julio, Jimmy y Silvia por apoyarme en todo este proceso de investigación, por sus palabras de aliento y por recordarme mi capacidad y perseverancia ante grandes dificultades.

A mis tutores Ing. Lenin Maldonado e Ing. Andrés Hidalgo por ser parte de este proceso de aprendizaje que vivimos antes, durante y después de la realización de este trabajo experimental.

Además, agradecer a varios docentes, familiares y amigos que estuvieron esta etapa de mi vida ya sea con conocimientos o apoyo, de corazón. Muchas Gracias.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPITULO 1.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación	4
1.1.3 Fundamentación Teórica	5
1.1.3.1 Generalidades	5
1.1.3.2 Factores que influyen en la humedad por capilaridad	6
1.1.3.3 Evaluación Patológica	11
1.1.4 Hipótesis	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo General	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
CAPITULO II.- METODOLOGIA	14
2.1 Materiales y Equipos	14
2.2 Métodos	20
2.2.1 Fase Preliminar	20
2.2.2 Fase de Evaluación	30
2.3 Plan de Recolección de Datos	34
2.4 Plan de Procesamiento y Análisis de Información	35
CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSION	46
3.1 Análisis y Discusión de los resultados	46
3.2 Verificación de la hipótesis	49
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
4.1 Conclusiones	50
4.2 Recomendaciones	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

ANEXOS	53
Anexo 1:	53
Anexo 2:	53
Anexo 3:	54
Anexo 4:	55
Anexo 5:	55
Anexo 6:	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Funcionamiento del uso de resinas.....	2
Figura 2: Colocación de Sifones Atmosféricos en muro.	2
Figura 3: Funcionamiento de dispositivos en electroósmosis.....	3
Figura 4: Tipos de Humedad presente en una edificación.	6
Figura 5: Proceso de Precipitación sobre la superficie terrestre.	7
Figura 6: Ejemplo de una muestra alterada.....	8
Figura 7: Ejemplo de una muestra inalteradas.	9
Figura 8: Terreno para la Ejecución del Proyecto.....	21
Figura 9: Construcción de Pórticos de Madera.	21
Figura 10: Colocación de cubierta de plástico en la estructura.....	22
Figura 11: Estructura terminada.....	22
Figura 12: Esquematzación de las cuadrículas en el terreno.	23
Figura 13: Medición Inicial del suelo con sensor de humedad.....	24
Figura 14: Obtención de Muestras en cada uno de las cuadrículas.....	24
Figura 15: Pesaje de la Muestra en estado natural.	24
Figura 16: Muestra colocada en el horno.	25
Figura 17: Pesaje de la Muestra después de 24 horas en el horno.	25
Figura 18: Detalle de Muro construido de manera natural.	27
Figura 19: Muro con el uso de aislador base.	27
Figura 20: Muro con el uso de ventilación natural.	28
Figura 21: Muro compuesto, aplicación criterios 2 y 3.	28
Figura 22: Muro con el uso de esponjas para absorción.	29
Figura 23: Muro con el uso de esponjas para absorción.	29
Figura 24: Medición del estado seco de la muestra.	30
Figura 25: Dosificación de agua en la muestra.	31
Figura 26: Pesaje de muestra dosificada.	31
Figura 27: Medición de la muestra con sensor.....	32
Figura 28: Uso del sensor de humedad en el terreno.	33
Figura 29: Medición de humedad del muro.	33

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de los Equipos requeridos en el experimento.	14
Tabla 2: Descripción de los Materiales requeridos en el experimento.	18
Tabla 3: Especificaciones Generales de la localización del proyecto.	20
Tabla 4: Datos requeridos para obtener el contenido de humedad del suelo.	34
Tabla 5: Datos requeridos para calibrar el sensor de humedad.	34
Tabla 6: Datos del contenido de humedad de la pared por cuadrantes.	34
Tabla 7: Datos del contenido de humedad del suelo.	35
Tabla 8: Datos obtenidos de la fase preliminar.	35
Tabla 9: Datos obtenidos de la fase preliminar.	35
Tabla 10: Datos obtenidos de la fase preliminar.	36
Tabla 11: Datos obtenidos de la fase preliminar.	36
Tabla 12: Datos obtenidos de la fase preliminar.	36
Tabla 13: Resultados obtenidos para la calibración del sensor de humedad del suelo.	40
Tabla 14: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 1.	42
Tabla 15: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 2.	42
Tabla 16: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 3.	43
Tabla 17: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 4.	43
Tabla 18: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 5.	44
Tabla 19: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 6.	44
Tabla 20: Resumen general de humedad en base de muro.	45
Tabla 21: Resumen general de humedad en el suelo.	45
Tabla 22: Resumen general de humedad en el suelo.	49

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Resultados obtenidos a 5cm de profundidad.....	37
Diagrama 2: Resultados obtenidos a 10cm de profundidad.....	37
Diagrama 3: Resultados obtenidos a 15cm de profundidad.....	38
Diagrama 4: Resultados obtenidos a 20cm de profundidad.....	38
Diagrama 5: Resultados obtenidos a 25cm de profundidad.....	39
Diagrama 6: Línea de Tendencia Logarítmica.....	41
Diagrama 7: Estudio de factibilidad de los prototipos.....	48

RESUMEN EJECUTIVO

Tema: DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO ALTERNATIVO PARA LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE LA HUMEDAD EN CONSTRUCCIONES.

Autor: Alejandro Campaña Alarcón.

La humedad en las construcciones es uno de los problemas patológicos de mayor importancia a nivel mundial, ya que, dependiendo de su afectación, causa problemas en la salud (alergias o problemas respiratorios), así como también existe afectación a los elementos estructurales y no estructurales. Para solucionar estos problemas se requiere de altos costos y métodos invasivos que afectan de manera directa a las condiciones iniciales de las construcciones.

Debido a esta problemática, el proyecto se enfoca a la humedad que es más difícil de controlar debido a su origen y sintomatología, la humedad capilar, debido a que la presencia de agua al interior del suelo se presenta en estado gaseoso y de manera silenciosa se va propagando a través de los diferentes elementos de la construcción. Para controlar el problema, dentro del proyecto, se elaboran 6 prototipos de muros los cuales se dividen en dos partes: un muro construido con condiciones normales en su construcción además de su composición y los cinco muros restantes, cada uno de ellos aplicados de diferentes técnicas y con diferentes materiales a fin de visualizar los resultados, durante la fase de la experimentación se incluyen variables como contenido de humedad del suelo, contenido de humedad de muros, condiciones climáticas, entre otros parámetros identificados a lo largo del documento.

Finalmente, se procede a realizar una etapa de evaluación para verificar los resultados obtenidos y seleccionar los materiales apropiados para reducir de mejor manera el impacto de humedad en construcciones, concluyendo que la aplicación del criterio de ventilación mecánica, con el uso de un extractor de vapor arroja los resultados más apropiados para el fin propuesto en el proyecto.

ABSTRACT

Topic: DESIGN OF AN ALTERNATIVE HYDRAULIC SYSTEM FOR REDUCING THE IMPACT OF MOISTURE IN CONSTRUCTIONS

Author: Alejandro Campaña Alarcón.

Moisture in buildings is one of the most important pathological problems worldwide, since, depending on their involvement, it causes health problems (allergies or respiratory problems), as well as there is also affectation of the elements structural and non-structural. Solving these problems requires high costs and invasive methods that directly affect the initial conditions of the buildings.

Due to this problem, the project focuses on moisture that is more difficult to control due to its origin and symptomatology, capillary humidity, because the presence of water inside the soil is presented in a gaseous state and silently spreads to through the different elements of the building. To control the problem, within the project, 6 prototypes of walls are developed which are divided into two parts: a wall built with normal conditions in its construction in addition to its composition and the five remaining walls, each applied different techniques and with different materials in order to visualize the results, during the phase of the experimentation are included variables such as soil moisture content, wall moisture content, climatic conditions and other parameters identified throughout the document.

Finally, an evaluation step is carried out to verify the results obtained and select the appropriate materials to better reduce the impact of moisture on constructions, concluding that the application of the ventilation criterion with the use of a steam extractor yields the most appropriate results for the purpose proposed in the project.

CAPITULO 1.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

En el presente documento, previo a la etapa de experimentación de una solución técnica y sustentable para la mitigación de la humedad por capilaridad, se pretende presentar una relación de trabajos y proyectos relacionados con la humedad por capilaridad.

En el año 2014, se presentó un trabajo de investigación con el tema “Análisis Soluciones de Humedad por Capilaridad” en el cual su Autor Miguel Monteagudo Cuevas analiza la situación constructiva de 3 viviendas ubicadas en la zona La Canyada, Valencia – España que mantienen afectaciones por la presencia muros de termo-arcilla y las condiciones del suelo, produciendo humedad excesiva.

El enfoque que se toma en dicha investigación, consiste en realizar una evaluación patológica a primera instancia para determinar y cuantificar la afectación producida por la humedad en cada edificación, esto con la ayuda de instrumentación termográfica, posteriormente, obtenidos los resultados previos se encontró que existían edificios con un control básico de la humedad por medio del uso de una malla colocada entre el suelo y el muro. Finalmente, al verificar la necesidad de controlar el problema, se plantea 3 soluciones que se han ido desarrollando a través del tiempo y se detallan a continuación:

- Geles e inyecciones: El proceso consiste en realizar perforaciones a través de la zona afectada y se procede a inyectar geles o resinas que se distribuyen por medio de las juntas del muro impidiendo la ascensión de la capilaridad al elemento.

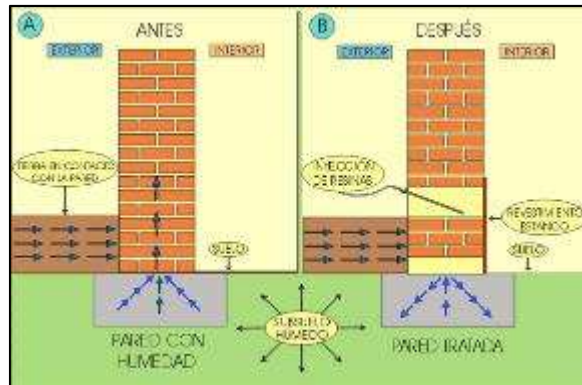


Figura 1: Funcionamiento del uso de resinas.
Fuente: M. Cuevas [1]

- Sifones Atmosféricos: Los sistemas de sifones atmosféricos comprende el uso del método Knapen que consiste en la teoría que el aire caliente tiende a ascender a la atmosfera, mientras que el aire frío desciende por lo que, para cumplir con este objetivo, se realizan perforaciones de manera inclinada, entre 25 a 30 grados, permitiendo que exista una ventilación permanente, lo eliminaría la presencia de la humedad capilar sacándola a la zona exterior.

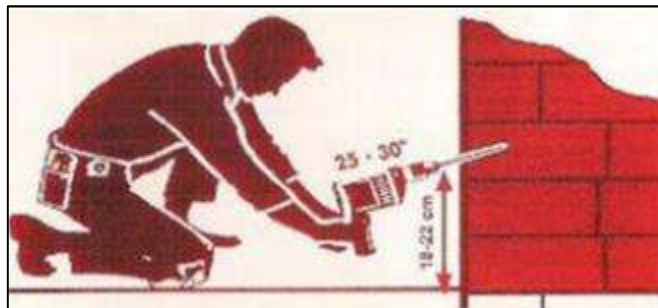


Figura 2: Colocación de Sifones Atmosféricos en muro.
Fuente: M. Cuevas [1]

- Electro osmosis activa o pasiva: Consiste en el cambio de polaridad de las moléculas de agua de manera reversiva, es decir que el agua tiende a descender en vez de ascender a través del elemento afectado. El sistema se estableció para conectarse de manera activa o inalámbrica, aunque actualmente en la mayoría de los casos se lo realizan con instrumentación inalámbrica.

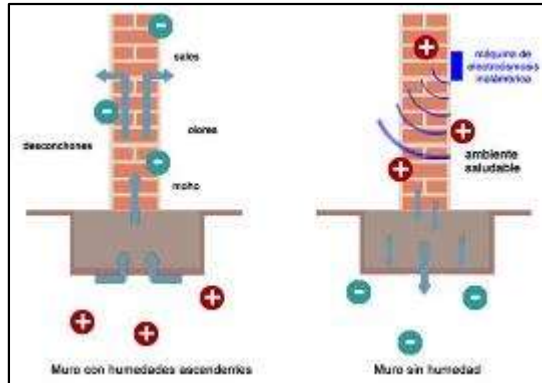


Figura 3: Funcionamiento de dispositivos en electroósmosis.
Fuente: M. Cuevas [1]

De esta manera se identifica los estudios que se han realizado para contrarrestar problemas de humedad por capilaridad, acotando que se ha realizado una síntesis del proyecto de investigación realizado por el autor. Además de ello se toma en consideración que todas las soluciones presentadas se realizan mediante procesos destructivos y solo eliminan el problema parcialmente en la zona afectada, teniendo que conocer que la presencia de humedad sigue latente en el suelo. [1]

1.1.2 Justificación

La humedad en una edificación, es un problema que aparece constantemente por distintos agentes directos e indirectos que producen que los elementos que tienen su afectación, mantengan problemas visuales, estructurales y propaguen organismos para la generación de enfermedades a aquellas personas que se encuentran expuestas de manera constante.

Dentro de los factores más importante que propagan la humedad en las edificaciones se conocen los producidos por la presencia de agua ya sea en la atmosfera o los encontrados en el suelo donde se construyen las estructuras[2]. Dentro de estudios realizados[3], la mitigación de humedad producido por agentes encontrados en la atmosfera es más sencilla que los presentados en el suelo ya que en el segundo caso se requiere de un estudio de características que mantiene un suelo, parámetros hidrogeológicos y otros estudios que determinarán que agentes propagan el agua (en cualquiera de sus estados a las estructuras) para a partir de ello establecer una solución.

En el caso de que no se controle este problema, es decir. una vez propagado, inicia de manera silenciosa y sus efectos se vuelven visibles cuando la única forma de mitigarlos asume grandes costos en reparación y reconstrucción al estado original del elemento. Entre los problemas que se presentan en las edificaciones varían desde pequeñas manchas hasta daños graves como desprendimientos o pérdida de capacidad de carga de un elementos estructural o no estructural[4]. En cuanto a salud humana, en Ecuador, según el diario Expreso en su publicación realizada el 14 de Octubre del 2010, una persona en constante presencia de humedad, dependiendo de la región donde reside puede presentar problemas como dengue, paludismo, chagas, alergias, infecciones respiratorias y otras enfermedades[5].

Por los diferentes datos presentados, el presente proyecto se enfoca en mitigar la humedad presentada en una edificación debido a la presencia de agua en el suelo de fundación con la finalidad de reducir la afectación en la estructura y en las personas que residen en la misma, por medio del diseño de un sistema

hidráulico convencional, económico para su implementación en edificaciones con esta afectación.

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Generalidades

Según RAE (Real Academia Española) se define a la humedad como: “agua de que está impregnado un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire”; por lo que en este trabajo consideraremos a la humedad como la presencia de agua en pequeñas o grandes magnitudes debido a factores físicos o ambientales, dependiendo de la zona a ser estudiada. [6]

Una vez que dicha “presencia de agua” se mantiene constante sobre un cuerpo sólido producirá cambios tanto en su composición como en sus mismas propiedades obligando a determinar las causas de este problema para su pronto control y posterior reparación (en caso de ser necesario).

Las causas de estos problemas, los simplificamos en diferentes tipos de humedad que los presentaremos a continuación:

Humedad por Condensación: La humedad por condensación se presenta debido a la presencia de partículas de agua en el aire que se impregna en los elementos estructurales y no estructurales de la edificación. Se producen mediante factores interiores como cocinar, lavar o secar ropa o a su vez factores exteriores como puede la condensación del agua posterior a una lluvia.

Humedad por Capilaridad: La humedad por capilaridad corresponde al producto de la ascensión del agua contenida en el suelo donde se encuentra ubicada la edificación, este tipo de humedad es uno de los más agresivos debido a que la presencia del agua en el suelo es difícil de controlar.

Humedad por Filtración: La humedad por filtración corresponde a la presencia del agua en estado líquido en la edificación debido a una tubería rota o a su vez una afectación producida en la periferia de la edificación su daño es más severo debido a la presencia de agua de manera directa. [7]

Conocidas las afectaciones por las que se pueden producir la humedad en una edificación se ha propuesto profundizar el estudio la humedad producida por la

presencia de agua en el suelo (capilaridad) debido a los escasos métodos para tratarlos y su alto costo económico.

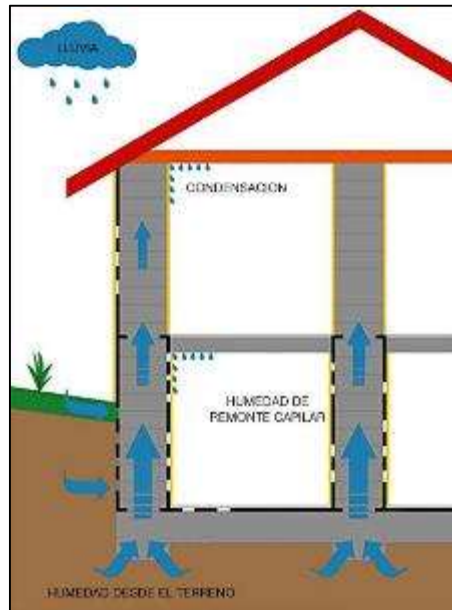


Figura 4: Tipos de Humedad presente en una edificación.
Fuente: J. Curotto [3]

Conocidas las afectaciones por las que se pueden producir la humedad en una edificación se ha propuesto profundizar el estudio la humedad producida por la presencia de agua en el suelo (capilaridad) debido a los escasos métodos para tratarlos y su alto costo económico.

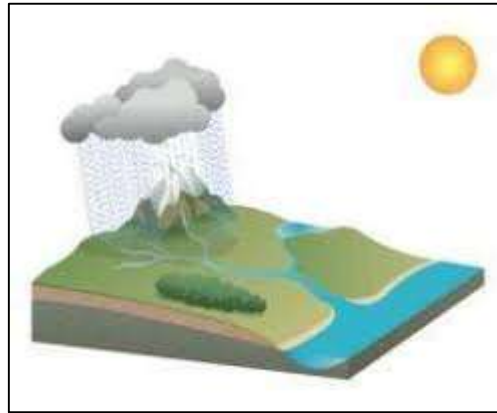
1.1.3.2 Factores que influyen en la humedad por capilaridad

Este tipo de humedad comprende la presencia de agua encontrada en el terreno proveniente de las precipitaciones, cuando el agua toca el suelo, parte de la misma queda retenida por capilaridad en el estrato superficial mientras que el resto se infiltra hacia estratos inferiores.

- **Precipitación:** Producto de la condensación del vapor de agua que se deposita en la superficie de la tierra y puede producirse en muchas formas diferentes como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve y granizo.

Para determinar las precipitaciones en una zona determinada se usan métodos convencionales como es el uso de *pluviómetros* cuya función comprende representar las precipitaciones que se hayan producido en un

determinado tiempo mediante la medición por la cantidad de milímetros que alcanzaría el agua en un suelo sin considerar infiltración o pérdida.



*Figura 5: Proceso de Precipitación sobre la superficie terrestre.
Fuente: G. Pérez [8]*

Al conocer que el agua tiende a infiltrarse dependerá de las propiedades del suelo la velocidad de propagación del agua ya que los suelos dependiendo el caso puede presentar altos y bajos grados de permeabilidad.

- **Permeabilidad:** Se define a la permeabilidad como la capacidad de un cuerpo para permitir el paso de un fluido sin alterar su estructura; para determinar la permeabilidad de forma convencional existe reconocimiento granulométrico que, mediante el tamaño del material por el que se encuentra compuesto el suelo se clasifica de la siguiente manera:
 - ✓ **Baja permeabilidad:** Menor tamaño de grano como por ejemplo arena, limo, arcilla.
 - ✓ **Alta permeabilidad:** Mayor tamaño de grano como por ejemplo la grava. [8]

Una vez identificado que los factores que intervienen en la propagación de la humedad por capilaridad dependen de la condición del suelo de la zona a estudiarse.

En campo, el suelo se presenta de diferentes tipos, dependiendo principalmente de la región en la que se encuentra y de la profundidad de los diferentes estratos

que se muestran en su composición, por lo que se requiere de estudios para delimitar el tipo de suelo.

Según normativas nacionales el suelo se lo clasifica mediante el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS) que requiere de ciertos parámetros del suelo para su clasificación:

- Contenido de Humedad
- Análisis Granulométrico
- Límites de Consistencia

Para la realización de estos ensayos se requieren de la toma de muestras en campo de tal manera que se garanticen la fiabilidad de los resultados.

Muestreo: La toma de muestras o muestreo consiste en la extracción de una porción de material con el que se construirá una estructura o en donde se va a localizar la misma y cuyas propiedades representaran el conjunto a ser utilizado, el proceso para el muestreo incluye el envase, identificación y el respectivo transporte de las muestras. Entre los tipos de muestras se puede identificar:

- ✓ **Muestras alteradas:** Este tipo de muestras están compuestas de material disgregado puesto que no se han tomado precauciones especiales para mantener sus propiedades originales de estructura y humedad, originalmente se realizan este tipo de muestras para determinar la humedad del suelo por lo que se envasan previo su transporte a un laboratorio.



Figura 6: Ejemplo de una muestra alterada.

Fuente: I. Rodríguez [9]

Las muestras alteradas pueden ser obtenidas de una excavación o a su vez de perforaciones llevadas a profundidad, el número de muestras dependerá de la homogeneidad del terreno y su cantidad deberá obtenerse de una muestra representativa mediante cuarteo.

- ✓ **Muestras inalteradas:** Aquellas en las que se mantienen sus propiedades originales de estructura y humedad.

Este tipo de muestras pueden ser obtenidas de suelos que no se disgreguen con facilidad, la extracción se las realiza mediante excavación con dimensiones tales que permitan las operaciones de labrado y extracción de la muestra.



*Figura 7: Ejemplo de una muestra inalteradas.
Fuente: I. Rodríguez [9]*

Una vez realizada la extracción de las muestras requeridas se procede a la identificación de las propiedades mencionadas anteriormente.

- ✓ **Contenido de Humedad:** Corresponde a la relación entre el peso de agua y el peso de los sólidos de suelo. El contenido de humedad se determina mediante la extracción de muestras ya detallada anteriormente.

El proceso consiste en tomar una muestra en sitio, extraer una pequeña porción y colocarla en un recipiente metálico, se pesa, posteriormente, se coloca la muestra en el horno y finalmente se pesa la porción seca

para calcular la porción de agua que tiene el suelo por medio de la siguiente forma:

$$W_w = M - W_s \quad [1]$$

Para finalmente determinar el contenido de humedad.

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad [2]$$

Donde:

M: Peso de Muestra en estado natural

w: Contenido de Humedad en porcentaje.

Ww: Peso Agua.

Ws: Peso de Sólido de Suelo.

Equipos y Materiales Usados

- Muestra de Suelo
- Balanza Electrónica
- Recipientes Metálicos
- Horno
- Espátula
- Recipientes de Aluminio

- ✓ **Análisis Granulométrico:** Comprende el proceso de separar por tamaños, las partículas de suelos gruesos y finos del que se compone la muestra a través del uso de tamices normados.

Equipos y Materiales Usados

- Tamices con dimensiones (comúnmente se utilizan: 3", 2", 1", ¾", ½", 3/8", No.4, No.10, No.20, No.40, No.60, No.100, No.200 y la Bandeja).
- Balanza
- Charolas rectangulares
- Espátula
- Horno
- Recipiente de Aluminio
- Muestra de suelo

- ✓ **Límites de Consistencia:** Los límites de Consistencia vienen definidos por 3 grupos entre ellos tenemos:

Límite Líquido (LL): Comprende la frontera entre los estados Semi-líquido y Plástico. El ensayo consiste en colocar en una copa dos porciones de material en forma de taludes, paso seguido la copa tiende a golpearse hasta que las dos porciones de material se unen, el número de golpes definirán el contenido de humedad que posee el material.

Límite Plástico (LP): Comprende la frontera entre el estado plástico y semisólido. El ensayo consiste en formar una tira del material con las palmas de las manos, a continuación, se procede a girarla o frotarla sobre una superficie lisa verificando si existe o no agrietamientos en el material. [9]

1.1.3.3 Evaluación Patológica

Como conocemos, una edificación antes de ser construida mantiene una etapa de planificación para establecer su funcionalidad y todas las exigencias arquitectónicas y estructurales que requiere para su correcto funcionamiento.

Una vez que la edificación entra en funcionamiento, toda su composición se ve expuesta a agentes directos e indirectos que van a ir degradando su confort y en algunos casos su seguridad estructural por lo que se suele realizar mantenimientos periódicos con la finalidad de preservar la calidad de todos sus elementos.

Cuando no se haya realizado un mantenimiento o este haya sido realizado de manera deficiente, comienzan a generarse problemas que requieren de una evaluación para su correcto diagnóstico y reparación. A partir de este punto nace el término “Evaluación Patológica”.

Para realizar una evaluación patológica se debe seguir ciertos pasos que se detallarán a continuación:

- **Sintomatología:** Es la etapa inicial, en este punto se identifica el problema que está afectando a la estructura (enfermedad).

- Diagnóstico: Etapa de definición de las causas por las que se originó la enfermedad, además se realiza un seguimiento para verificar la evolución del problema a través de los síntomas.
- Terapéutica: Una vez que se conoce las causas por las que se originó el problema, se procede a la aplicación de técnicas para reparar o sanar la enfermedad (lesión), en este punto se toma en cuenta parámetros cuantitativos y cualitativos.
- Toma de Decisión: Finalmente dependiendo de los parámetros evaluados se toma una decisión para mitigar el problema. [10]

1.1.4 Hipótesis

La implementación de un Sistema Hidráulico Alternativo reduce el impacto de humedad en construcciones.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Diseñar un sistema alternativo para la reducción del impacto de la humedad en edificaciones.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Analizar los principales factores que producen humedad en las edificaciones.
- ✓ Diseñar y Construir prototipos experimentales para la implementación de sistemas de prevención de humedad.
- ✓ Evaluar el contenido de humedad de suelo, paredes y proceso patológico. - Analizar resultados de las metodologías propuestas para la prevención y reducción de humedades.

CAPITULO II.- METODOLOGIA

2.1 Materiales y Equipos


A continuación, se presentan los respectivos equipos y materiales implementados en la fase de experimentación.


➤ Equipos


*Tabla 1: Descripción de los Equipos requeridos en el experimento.
Fuente: Alejandro Campaña*

Pala	
Barra	

<p>Fundas Impermeables</p>	
----------------------------	--

<p>Tamiz</p>	
--------------	---

<p>Sensor de Humedad - Suelo</p>	
----------------------------------	--

<p>Balanza Electrónica</p>	
----------------------------	--

<p>Sensor de Humedad de Muros</p>	
<p>Horno</p>	
<p>Plomada</p>	
<p>Nivel</p>	

<p>Carretilla</p>	
<p>Vailejo</p>	
<p>Extractor de Vapores</p>	
<p>Recipientes Metálicos</p>	

➤ **Materiales**

*Tabla 2: Descripción de los Materiales requeridos en el experimento.
Fuente: Alejandro Campaña*

Estacas de Madera	
Bloque	
Arena	
Geomembrana	

<p>Ripio</p>	
<p>Tubería de 1 pulgada</p>	
<p>Esponja para enlucir</p>	
<p>Cemento</p>	

2.2 Métodos

2.2.1 Fase Preliminar

- **Establecer la zona a realizar el proyecto**, en este caso el terreno no debe contar con ninguna característica en específico, solo que exista un indicativo de presencia de humedad, esto se verificará con una inspección visual en alguna edificación aledaña al terreno a usarse.

Para efecto del estudio, ya que se cuenta con las facilidades de acceso necesarias, se detalla las especificaciones del terreno a utilizar.

Ubicación del Terreno

*Tabla 3: Especificaciones Generales de la localización del proyecto.
Fuente: Alejandro Campaña*

Provincia	Cotopaxi
Cantón	Salcedo
Parroquia	San Miguel de Salcedo
Sector	Quilajaló
Coordenadas Base	Norte: 9885986.86 m Este: 766776.34 m

- **Delimitar el área a ocupar en el proyecto**, en este caso se establece un rectángulo de 6 metros de ancho y 15 metros de largo.
- **Construir una cubierta**, con la finalidad de evitar la presencia de lluvia, que como se explicó anteriormente, solo se tomará en cuenta humedad producida por efecto del suelo.

Para el proceso de elaboración de la cubierta, se mantuvieron los siguientes pasos:

1. Realizar el replanteo y nivelación de la superficie a trabajar como se muestra en la Fotografía 8.



*Figura 8: Terreno para la Ejecución del Proyecto.
Fuente: Alejandro Campaña*

2. Elaborar una estructura en madera siguiendo los criterios de la construcción de invernaderos de la siguiente forma:

Colocar palos de madera, de manera vertical, a manera de columnas, cada 3 metros, en los dos sentidos unidos por una viga de igual material, formando un pórtico. Cabe resaltar que cada pórtico trabaja de manera independiente y se construirá con una caída para la correcta evacuación del agua como se muestra en la Fotografía 9.



*Figura 9: Construcción de Pórticos de Madera.
Fuente: Alejandro Campaña*

- Tender plástico en la longitud que conforman los 5 pórticos para evitar la caída de agua de manera directa en el terreno como se muestra en la Fotografía 10.



*Figura 10: Colocación de cubierta de plástico en la estructura.
Fuente: Alejandro Campaña*

3. Colocar malla enmarcando el perímetro de la estructura para evitar el contacto de animales o personal ajeno al experimento, la malla se colocará a 1 metro de altura como se muestra en la Fotografía 11.



*Figura 11: Estructura terminada.
Fuente: Alejandro Campaña*

- **Inicio de la etapa experimental**, según el esquema propuesto se realizarán diversos pasos explicados a continuación:
Delimitar 6 cuadrículas de 1 metro distribuidas de manera uniforme en nuestra cubierta como se muestra en la Fotografía 12.

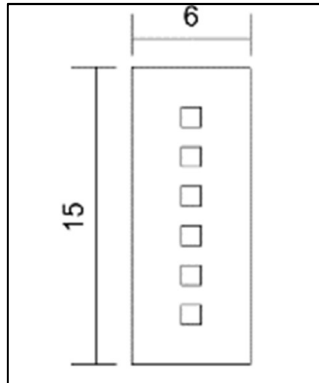


Figura 12: Esquematización de las cuadrículas en el terreno.
Fuente: Alejandro Campaña

- **Extraer** muestras alteradas de suelo de cada una de las cuadrículas para determinar su contenido de humedad, verificando de esta manera, las condiciones iniciales con las que se está trabajando.
 - ✓ Según el procedimiento explicado en el capítulo anterior, se procede a tomar muestras alteradas del suelo.
 - ✓ Las muestras se envasan en un recipiente en este caso una funda sellada herméticamente y se lleva a laboratorio.

Nota:

El proceso de toma de muestras se realizó en un periodo de 5 días y a diferentes profundidades con un desfase de 5cm cada día, a fin de tener resultados reales para la posterior construcción de los prototipos. A continuación, se detalla el procedimiento realizado.

- ✓ En primer lugar, se toma la medición de la humedad del suelo con la ayuda de un sensor como se muestra en la Fotografía 13.



*Figura 13: Medición Inicial del suelo con sensor de humedad.
Fuente: Alejandro Campaña*

- ✓ Posteriormente, se procede a remover los primeros 5cm de suelo y se toma la muestra.
- ✓ Finalmente se coloca la muestra obtenida en una funda hermética y se la lleva a laboratorio como se muestra en la Fotografía 14.



*Figura 14: Obtención de Muestras en cada uno de las cuadrículas.
Fuente: Alejandro Campaña*

Este proceso se realizó en cada uno de los pozos, en todos los días del ensayo.

- ✓ Para la obtención de los porcentajes de contenidos de humedad se procedió a realizar el procedimiento explicado en el capítulo anterior.



*Figura 15: Pesaje de la Muestra en estado natural.
Fuente: Alejandro Campaña*



Figura 16: Muestra colocada en el horno.
Fuente: Alejandro Campaña



Figura 17: Pesaje de la Muestra después de 24 horas en el horno.
Fuente: Alejandro Campaña

Nota:

La muestra de resultados de todo el proceso de obtención de muestras será colocada en los Anexos al final del documento.

- **Evaluar** los resultados obtenidos en los ensayos de contenido de humedad a fin de establecer el porcentaje óptimo a utilizarse para inducir humedad en nuestros prototipos.
- **Calcular** el volumen de agua a colocarse en nuestros prototipos.
- **Realizar** la medición cualitativa del contenido de humedad presente en el suelo.
- **Construcción de los prototipos de muros**, esto se realizará de manera progresiva, un muro será construido en cada uno de las cuadrículas manteniendo las siguientes características:

Descripción de los métodos propuestos

Muro 1: Se implementa un muro construido de manera tradicional para establecer un punto de comparación con los métodos a implementarse. Los materiales usados son: bloque, arena, cemento, agua.

Muro 2: Se implementa un muro construido impermeabilizando la base del muro. La capa de protección incluye la colocación de geomembrana, posteriormente se coloca 2.5 cm de grava y se sella con una nueva capa de geomembrana.

Muro 3: Se implementa un muro construido bajo el concepto de ventilación natural. Se realiza el muro colocando tubos de 1 pulgada a lo largo del muro; uno al inicio, otro al medio y otro al final. La tubería se coloca a 60 cm a nivel del suelo, hasta 1.20m sobre la superficie. Posteriormente se realiza la construcción del muro.

Muro 4: Se implementa un muro construido bajo el concepto de los modelos 2 y 3. Se impermeabiliza la base, con geomembrana y grava. Se realiza el muro colocando tubos de 1 pulgada a lo largo del muro; uno al inicio, otro al medio y otro al final. La tubería se coloca a 60 cm a nivel del suelo, hasta 1.20m sobre la superficie. Posteriormente se realiza la construcción del muro.

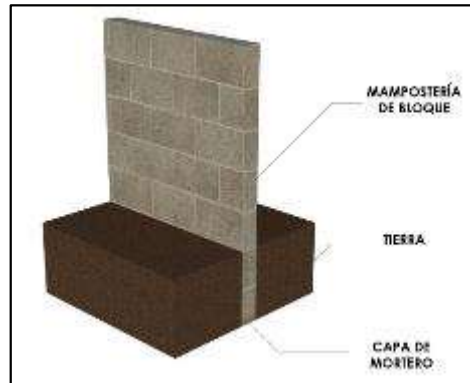
Muro 5: Se aplica un concepto de absorción de partículas de agua, se usa esponjas para lustrar. En la construcción se mantiene un criterio de una losa alivianada considerando el bloque como alivianamientos y entre ellos grava, a fin de mantenerlos como conjunto. Finalmente se coloca 2.5 cm de grava para estabilizar el suelo y posteriormente se construye el muro.

Muro 6: Se aplica un concepto de absorción de partículas de agua, mediante ventilación constante. Se usa la teoría del funcionamiento de un extractor de olores pues ventila el aire caliente que se producen generalmente en cocinas.

A continuación, se presenta la fundamentación para la selección de cada muro propuesto.

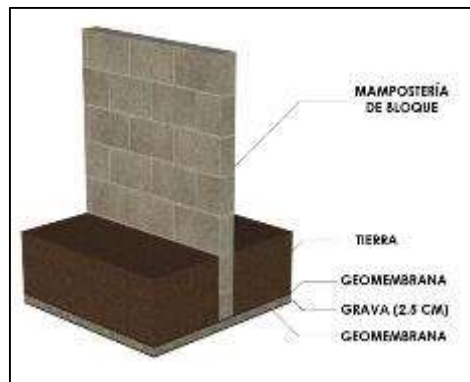
Muro 1: Este realizará como un muro cualquiera, para efecto de nuestro estudio, se ha seleccionado bloque como el material para levantar la pared. La

construcción de este muro se realiza para identificar la humedad que se produce en todo el experimento ya que este se encontrará sometido a las condiciones de humedad del suelo sin ningún sistema de mitigación del problema; de esta manera conoceremos si los sistemas propuestos, reducen los niveles de humedad esperados. (Fotografía 18)



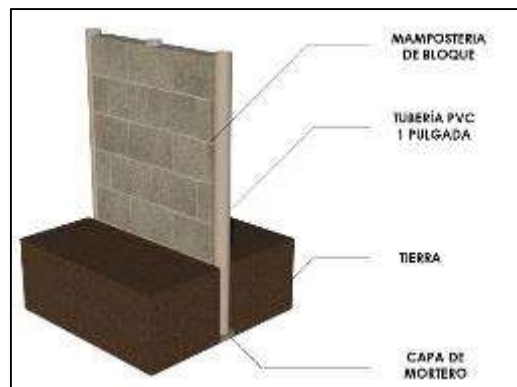
*Figura 18: Detalle de Muro construido de manera natural.
Fuente: Alejandro Campaña*

Muro 2: En este prototipo se diseñará con el criterio de proteger la base del muro para impedir el paso de las partículas de agua. El diseño se realizará de la siguiente manera. En primer lugar, se coloca una geomalla para separar el suelo de la base del muro, luego se coloca una capa de ripio de 2.5 cm a manera de una cama y se termina con una nueva porción de geomembrana y partir de este punto se construye el muro. (Fotografía 19)



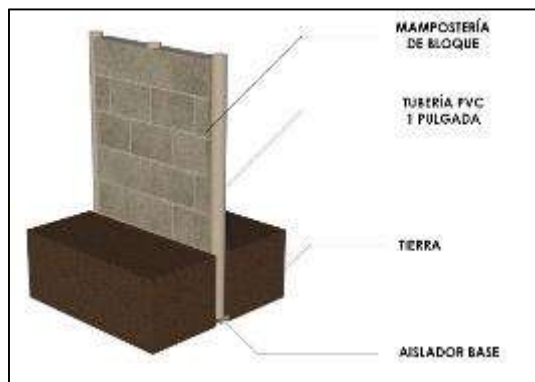
*Figura 19: Muro con el uso de aislador base.
Fuente: Alejandro Campaña*

Muro 3: En este muro se emplea el primer modelo experimental para mitigar la humedad. Consiste en emplear la filosofía de ventilación natural; esto quiere decir que, como ya identificamos en la fundamentación teórica, las moléculas de agua caliente tienden a salir a la superficie, por lo que, con ayuda de la instalación de tuberías verticales de 1 pulgada colocadas en la longitud del muro se espera que exista una constante ventilación e impida la acumulación de partículas de agua que produzcan humedad en el muro. (Fotografía 20)



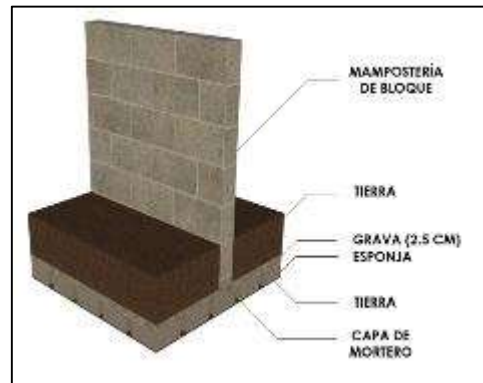
*Figura 20: Muro con el uso de ventilación natural.
Fuente: Alejandro Campaña*

Muro 4: En este prototipo se mezclan los dos criterios anteriores, es decir, la construcción del muro implica la protección de la base y la ventilación natural con la colocación de tubería de 1 pulgada. En la fase de experimentación se pretende que este sistema disipe la mayor cantidad de humedad que los otros dos prototipos.



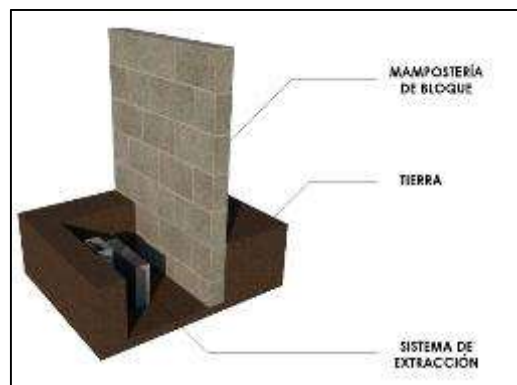
*Figura 21: Muro compuesto, aplicación criterios 2 y 3.
Fuente: Alejandro Campaña*

Muro 5: Este prototipo, aplica un concepto de absorción de partículas de agua, se usa esponjas para lustrar, lo que se espera con esta idea, es que el agua capilar choque con un medio sólido (esponja) y la afectación destinada al muro, sea absorbida por las esponjas. En la construcción se mantiene un criterio de una losa alivianada considerando el bloque como alivianamientos y entre ellos grava, a fin de mantenerlos como conjunto. (Fotografía 22)



*Figura 22: Muro con el uso de esponjas para absorción.
Fuente: Alejandro Campaña*

Muro 6: Este prototipo incluye la aplicación de un sistema de extracción de vapor cumpliendo el criterio de una campana de olores, en ese caso lo que se espera es que de manera mecánica se active un sistema para la succión de las partículas de agua en estado gaseoso para evitar que estas se introduzcan en el muro causando problemas de humedad. (Fotografía 23)



*Figura 23: Muro con el uso de esponjas para absorción.
Fuente: Alejandro Campaña*

2.2.2 Fase de Evaluación

Una vez construidos los prototipos, se procede a cumplir con la evaluación de los mismos por medio de dos parámetros:

1. Medición de Contenido de Humedad de Suelo.

Para la ejecución de esta medición se opta por utilizar un sensor electrónico de humedad de suelo realizado con ayuda del software *ARDUINO* cuya medición lo hace en un rango numérico adimensional de 0 a 1024.

Al ser un rango adimensional, se requiere de una calibración para ajustarlo a la medida en el que vamos a procesar los resultados, en el caso de la investigación, al porcentaje de contenido de humedad (w%).

Calibración del sensor de humedad

Para calibrar el sensor se realiza el siguiente procedimiento:

- Se toma una muestra considerada de suelo en un recipiente metálico y se la seca en el horno durante 24 horas.
- Una vez retirada la muestra del horno, se verifica que el suelo no presente humedad, esto con ayuda del sensor a utilizarse. (Fotografía 24)



*Figura 24: Medición del estado seco de la muestra.
Fuente: Alejandro Campaña*

- Se procede a colocar en un recipiente metálico, previamente pesado, 100 gramos de muestra seca y posteriormente se coloca agua a una graduación de 5ml. (Fotografía 25)



*Figura 25: Dosificación de agua en la muestra.
Fuente: Alejandro Campaña*

- Posteriormente se pesa el recipiente, de esta manera se determinará el contenido de humedad de la muestra. (Fotografía 26)



*Figura 26: Pesaje de muestra dosificada.
Fuente: Alejandro Campaña*

- Una vez, determinado el contenido de humedad de la muestra, se coloca la muestra en un recipiente más pequeño, se lo compacta a manera de simular las condiciones normales de un suelo y finalmente se toma la lectura con el sensor. (Fotografía 27)



*Figura 27: Medición de la muestra con sensor.
Fuente: Alejandro Campaña*

- Se realiza el mismo procedimiento en 20 recipientes con graduaciones de agua de 5 a 24 ml, posteriormente se procesa los resultados.

2. Medición de Contenido de Humedad de los muros.

Para la medición de la humedad de los muros se opta por usar el sensor MMD7NP cuya funcionalidad se rige en 4 tipos de paredes:

- ✓ Paredes de Yeso
- ✓ Paredes de Mampostería
- ✓ Paredes de Madera Fina
- ✓ Paredes de Madera Gruesa

El rango de medición se establece en porcentaje del 0 al 100%, en donde el 0 representa que la pared se encuentra seca y 100 que se encuentra húmeda.

Para nuestro estudio, trataremos las paredes de mampostería, en función a este tipo de pared, el manual especifica que en su rango de medición si el porcentaje sobrepasa el 70%, existe afectación de humedad en la pared; además mantiene un rango de colores (verde, naranja y rojo) los cuales mantienen una característica cualitativa en función a los porcentajes, en donde el color verde indica una pared seca, el color naranja representa un rango intermedio sin afectación, mientras que el color rojo representa una pared húmeda.

Una vez identificado el parámetro de medición de humedad, se procede a describir el procedimiento:

- Para medir la humedad del suelo, se excava un pozo de profundidad de 45 cm a una distancia de 60 cm de un extremo de muro.
- Se toma la medición con el sensor a dicha profundidad en cada uno de los muros. (Fotografía 28)



*Figura 28: Uso del sensor de humedad en el terreno.
Fuente: Alejandro Campaña*

- Posteriormente, para la medición de la humedad en las paredes, se divide en 4 cuadrículas de igual dimensión.
- Se enciende el sensor (se coloca en pared de hormigón) y se coloca en cada cuadrícula en los dos sentidos del muro. (Fotografía 29)



*Figura 29: Medición de humedad del muro.
Fuente: Alejandro Campaña*

- Se toma la lectura durante 10 días para analizar los resultados.

2.3 Plan de Recolección de Datos

Una vez realizado todo el proceso de recolección de muestras, se estima obtener los siguientes datos.

Fase Preliminar: Contenido de Humedad del Suelo.

En función al proceso para determinar el contenido de humedad de una muestra alterada provista en el Capítulo I, se detalla la Tabla 4 con los datos necesarios para obtener nuestros resultados.

Tabla 4: Datos requeridos para obtener el contenido de humedad del suelo.
Fuente: Alejandro Campaña

DÍA N – ALTURA N								
Pozo	Identificación	Peso Recipiente	M + Recipiente	M	Ws+R	Ws	Ww	w(%)

Fase Evaluación:

Calibración del sensor de humedad del suelo.

Para realizar la calibración del sensor de humedad presentado anteriormente se provee en la Tabla 5.

Tabla 5: Datos requeridos para calibrar el sensor de humedad.
Fuente: Alejandro Campaña

CALIBRACIÓN DE SENSOR DE HUMEDAD									
Identificación	Peso Recipiente	M + Recipiente	M	Ws+R	Ws	Ww	w(%)	Lectura Sensor	ml

Evaluación Patológica:

Para la evaluación patológica se realiza dos tablas (Tablas 6 y 7) para la recolección de datos, la primera para la determinación del contenido de humedad del suelo y la segunda comprende la lectura de la humedad en los cuatro cuadrantes de la pared.

Tabla 6: Datos del contenido de humedad de la pared por cuadrantes.
Fuente: Alejandro Campaña

HUMEDAD MURO N.				
Día	1	2	3	4

Tabla 7: Datos del contenido de humedad del suelo.
Fuente: Alejandro Campaña

HUMEDAD SUELO		
Día N.	Sensor	w%

2.4 Plan de Procesamiento y Análisis de Información

Fase Preliminar: Contenido de Humedad del Suelo.

Las Tablas 8 a la 12 muestran los datos necesarios para determinar contenidos de humedad a las profundidades de 5 a 25 cm.

Tabla 8: Datos obtenidos de la fase preliminar.
Fuente: Alejandro Campaña

DIA 1 - ALTURA 5cm								
Pozo	Identificación	Peso Recipiente	M + Recipiente	M	Ws+R	Ws	Ww	w(%)
1	85	31	78	47	73	42	5	11.90
2	57	31	84	53	78	47	6	12.77
3	20	24	87	63	78	54	9	16.67
4	5	23	92	69	81	58	11	18.97
5	30	24	91	67	82	58	9	15.52
6	88	31	90	59	82	51	8	15.69

Tabla 9: Datos obtenidos de la fase preliminar.
Fuente: Alejandro Campaña

DIA 2 - ALTURA 10cm								
Pozo	Identificación	Peso Recipiente	M + Recipiente	M	Ws+R	Ws	Ww	w(%)
1	85	31	88	57	80	49	8	16.33
2	57	31	81	50	72	41	9	21.95
3	20	24	81	57	72	48	9	18.75
4	5	23	77	54	69	46	8	17.39
5	30	24	90	66	79	55	11	20.00
6	88	31	79	48	71	40	8	20.00

Tabla 10: Datos obtenidos de la fase preliminar.
Fuente: Alejandro Campaña

DIA 3 - ALTURA 15cm								
Pozo	Identificación	Peso Recipiente	M + Recipiente	M	Ws+R	Ws	Ww	w(%)
1	85	31	72	41	66	35	6	17.14
2	57	31	77	46	70	39	7	17.95
3	20	24	81	57	73	49	8	16.33
4	5	23	65	42	59	36	6	16.67
5	30	24	80	56	71	47	9	19.15
6	88	31	77	46	70	39	7	17.95

Tabla 11: Datos obtenidos de la fase preliminar.
Fuente: Alejandro Campaña

DIA 4 - ALTURA 20cm								
Pozo	Identificación	Peso Recipiente	M + Recipiente	M	Ws+R	Ws	Ww	w(%)
1	85	31	74	43	69	38	5	13.16
2	57	31	72	41	66	35	6	17.14
3	20	24	70	46	65	41	5	12.20
4	5	23	72	49	67	44	5	11.36
5	30	24	81	57	75	51	6	11.76
6	88	31	66	35	63	32	3	9.38

Tabla 12: Datos obtenidos de la fase preliminar.
Fuente: Alejandro Campaña

DIA 5 - ALTURA 25cm								
Pozo	Identificación	Peso Recipiente	M + Recipiente	M	Ws+R	Ws	Ww	w(%)
1	85	31	87.2	56.2	79	48	8.2	17.08
2	57	31	80.6	49.6	73.3	42	7.3	17.26
3	20	24	75.5	51.5	67.4	43	8.1	18.66
4	5	23	80.3	57.3	71.9	49	8.4	17.18
5	30	24	71.7	47.7	64.9	41	6.8	16.63
6	88	31	84.8	53.8	76.8	46	8	17.47

Dentro de los resultados obtenidos en campo y procesados en las tablas se procedió a realizar un análisis estadístico mediante la relación entre el contenido de humedad calculado de cada cuadrícula con respecto a la profundidad del ensayo, obteniendo los Diagramas 1 al 5:

Diagrama 1: Resultados obtenidos a 5cm de profundidad.
Fuente: Alejandro Campaña

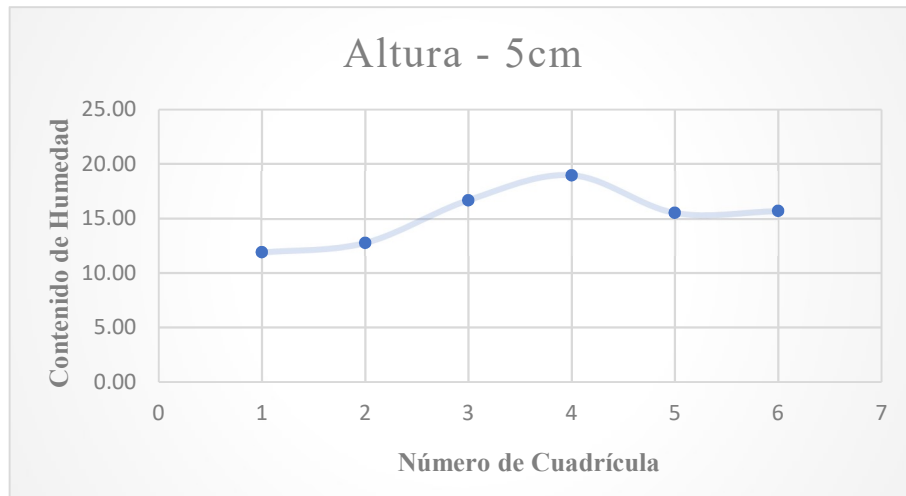


Diagrama 2: Resultados obtenidos a 10cm de profundidad.
Fuente: Alejandro Campaña

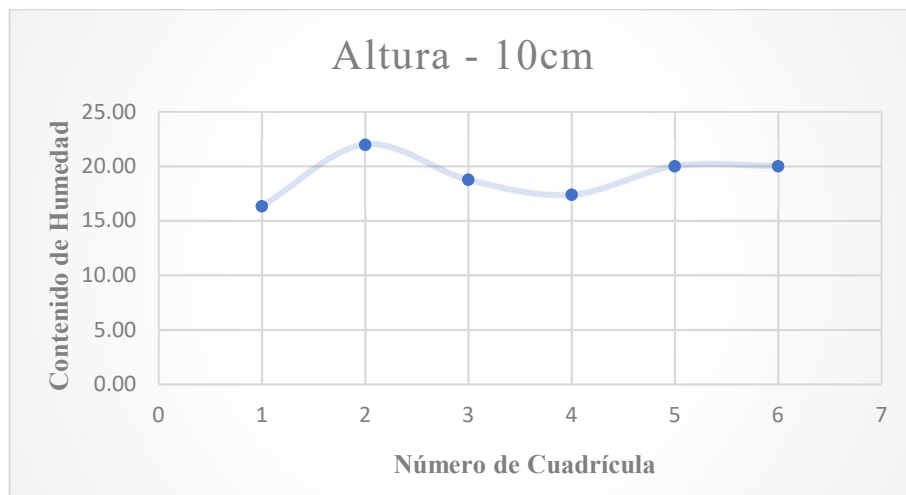


Diagrama 3: Resultados obtenidos a 15cm de profundidad.
Fuente: Alejandro Campaña

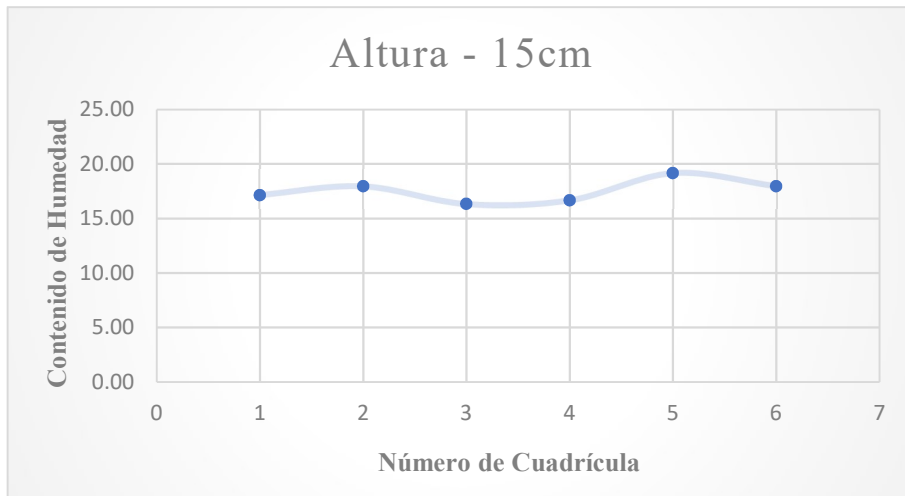


Diagrama 4: Resultados obtenidos a 20cm de profundidad.
Fuente: Alejandro Campaña

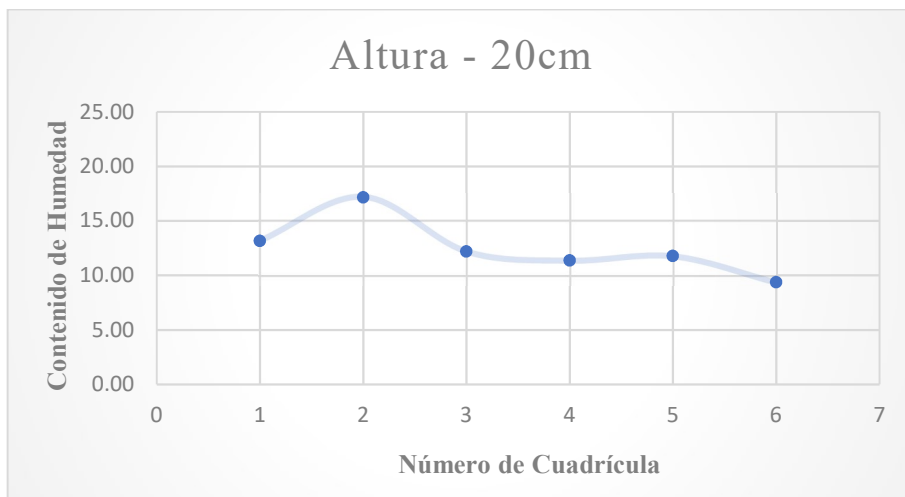
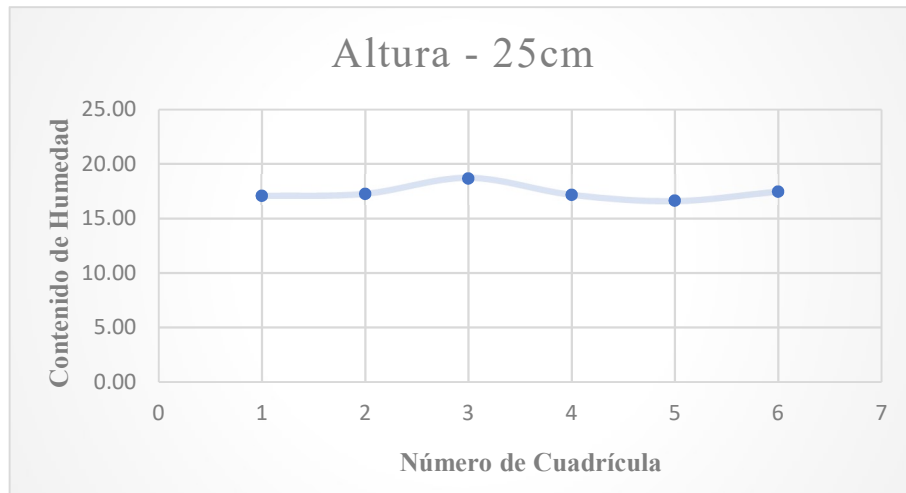


Diagrama 5: Resultados obtenidos a 25cm de profundidad.
Fuente: Alejandro Campaña



Fase Evaluación:

Calibración del sensor de humedad del suelo.

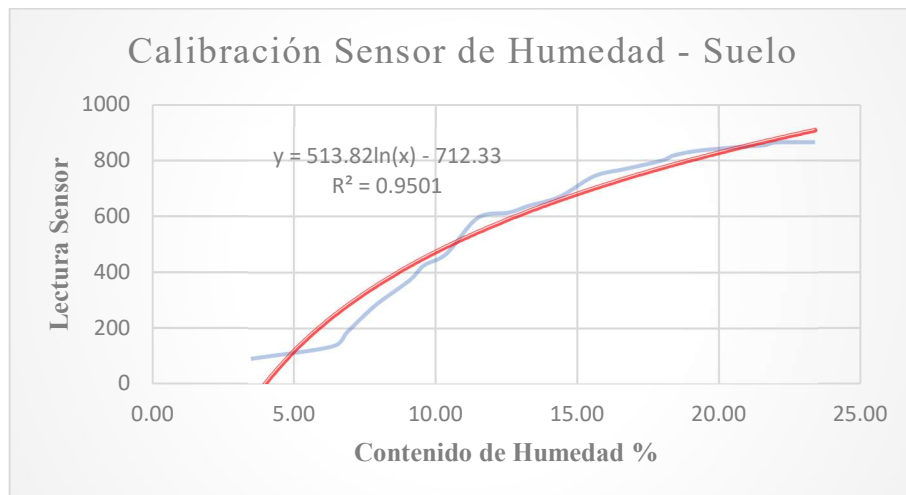
En la Tabla 13 se presenta la información requerida para calibrar el sensor como es: contenido de humedad de la muestra, valor correspondiente de la lectura del sensor y la graduación utilizada para calibrar el sensor.

Tabla 13: Resultados obtenidos para la calibración del sensor de humedad del suelo.
Fuente: Alejandro Campaña

CALIBRACIÓN DE SENSOR DE HUMEDAD									
Identificación	Peso Recipiente	M + Recipiente	M	Ws+R	Ws	Ww	w(%)	Lectura Sensor	ml
1	48	151.5	103.5	148	100	3.5	3.50	90.00	5
2	52.4	158.8	106.4	152.4	100	6.4	6.40	135.00	6
3	49.3	156.2	106.9	149.3	100	6.9	6.90	186.00	7
4	52	159.9	107.9	152	100	7.9	7.90	282.00	8
5	51.5	160.6	109.1	151.5	100	9.1	9.10	371.00	9
6	49.3	158.9	109.6	149.3	100	9.6	9.60	424.00	10
7	48.4	158.8	110.4	148.4	100	10.4	10.40	466.00	11
8	48.2	159.7	111.5	148.2	100	11.5	11.50	594.00	12
9	50.7	163.3	112.6	150.7	100	12.6	12.60	613.00	13
10	48.7	162	113.3	148.7	100	13.3	13.30	637.00	14
11	50.4	164.8	114.4	150.4	100	14.4	14.40	670.00	15
12	50.4	166	115.6	150.4	100	15.6	15.60	743.00	16
13	49.6	166.3	116.7	149.6	100	16.7	16.70	769.00	17
14	50.4	168.4	118	150.4	100	18	18.00	799.00	18
15	49.7	168.1	118.4	149.7	100	18.4	18.40	817.00	19
16	48.6	167.8	119.2	148.6	100	19.2	19.20	833.00	20
17	48.8	169.2	120.4	148.8	100	20.4	20.40	845.00	21
18	50.1	171.7	121.6	150.1	100	21.6	21.60	854.00	22
19	50	172	122	150	100	22	22.00	864.00	23
20	49.1	172.5	123.4	149.1	100	23.4	23.40	865.00	24

Dentro de los resultados obtenidos en laboratorio y procesados en las tablas se procedió a realizar un análisis estadístico mediante la relación entre el contenido de humedad con respecto a la lectura del sensor de humedad, posteriormente se procedió a realizar una línea de tendencia, con su respectiva ecuación y valor R^2 , obteniendo en el Diagrama 6 el mejor resultado

*Diagrama 6: Línea de Tendencia Logarítmica.
Fuente: Alejandro Campaña*



Evaluación Patológica:

- Humedad del Muro

En las Tablas 14 a la 19, se presentan los porcentajes de humedad correspondientes a los 10 días de evaluación.

Tabla 14: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 1.
Fuente: Alejandro Campaña

MURO 1				
Día	1	2	3	4
1	92	100	100	98
2	94	100	100	98
3	95	92	92	84
4	86	95	97	88
5	81	100	87	95
6	91	100	93	96
7	94	98	98	91
8	77	94	81	87
9	89	94	100	84
10	-	-	88	85
11	-	-	85	83

Tabla 15: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 2.
Fuente: Alejandro Campaña

MURO 2				
Día	1	2	3	4
1	95	98	83	83
2	95	98	82	83
3	95	92	92	84
4	90	86	77	71
5	90	82	71	71
6	90	84	73	73
7	88	88	69	71
8	87	78	72	79
9	71	80	71	76
10	-	-	59	68
11	-	-	77	63

Tabla 16: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 3.
Fuente: Alejandro Campaña

MURO 3				
Día	1	2	3	4
1	95	89	100	98
2	95	89	100	98
3	89	98	99	98
4	95	91	90	89
5	80	86	93	91
6	79	87	94	96
7	92	85	84	88
8	74	89	94	86
9	71	99	94	87
10	-	-	86	85
11	-	-	92	84

Tabla 17: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 4.
Fuente: Alejandro Campaña

MURO 4				
Día	1	2	3	4
1	93	93	88	72
2	95	89	100	98
3	83	89	83	85
4	84	77	78	71
5	84	86	73	72
6	82	77	77	74
7	79	78	78	79
8	75	85	72	61
9	85	82	74	71
10	-	-	71	76
11	-	-	76	68

Tabla 18: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 5.
Fuente: Alejandro Campaña

MURO 5				
Día	1	2	3	4
1	89	93	100	91
2	89	93	100	91
3	90	95	85	98
4	93	84	98	87
5	89	91	93	82
6	91	91	77	81
7	89	90	94	75
8	87	83	85	89
9	90	85	88	89
10	-	-	99	90
11	-	-	94	82

Tabla 19: Resultados obtenidos de la lectura de humedad del muro 6.
Fuente: Alejandro Campaña

MURO 6				
Día	1	2	3	4
1	84	88	75	62
2	84	88	76	62
3	79	76	70	72
4	72	79	73	71
5	77	75	74	74
6	74	77	81	73
7	76	77	77	72
8	73	81	73	74
9	71	80	71	76
10	-	-	69	72
11	-	-	78	63

Al notar los resultados obtenidos, procedemos a identificar, como se mencionó anteriormente, que los valores de los cuadros 3 y 4 corresponden a la base de los muros, por ello se procedió a realizar una media aritmética con estos valores, especificados de manera general en Tabla 20:

Tabla 20: Resumen general de humedad en base de muro.
Fuente: Alejandro Campaña

DIA	HUMEDAD EN BASE					
	1	2	3	4	5	6
1	99	83	99	80	95.5	68.5
2	99	82.5	99	99	95.5	69
3	88	88	98.5	84	91.5	71
4	92.5	74	89.5	74.5	92.5	72
5	91	71	92	72.5	87.5	74
6	94.5	73	95	75.5	79	77
7	94.5	70	86	78.5	84.5	74.5
8	84	75.5	90	66.5	87	73.5
9	92	73.5	90.5	72.5	88.5	73.5
10	86.5	63.5	85.5	73.5	94.5	70.5
11	84	70	88	72	88	70.5

- Humedad del Suelo

En la Tabla 21 se muestra las lecturas de humedad del sensor durante los 10 día de evaluación y en los 6 muros en estudio.

Tabla 21: Resumen general de humedad en el suelo.
Fuente: Alejandro Campaña

DIA	MURO					
	1	2	3	4	5	6
1	532	551	555	570	576	557
2	536	536	556	565	543	543
3	531	528	558	538	541	541
4	526	525	542	544	538	538
5	505	560	537	529	514	526
6	502	516	558	503	504	508
7	530	503	511	558	504	516
8	541	502	560	515	510	537
9	543	515	568	507	544	518
10	563	510	572	504	532	516

CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Análisis y Discusión de los resultados

Una vez cumplido todos los parámetros expuestos en el capítulo anterior, procesado los datos y analizada la información, se procede a identificar los resultados obtenidos durante las diferentes fases experimentales del proyecto.

Fase Preliminar

Durante esta fase, como se explicó anteriormente, se procedió a determinar el contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades, desde 5 a 25 cm, en los diagramas del 1 al 5 se demuestra la variación que mantuvo el contenido de humedad de las 6 cuadrículas en estudio, a las profundidades mencionadas, a continuación, se presenta el análisis de los resultados:

- A una profundidad de 25 cm (Diagrama 5), el suelo se mantiene uniforme con una tendencia lineal cuyo contenido de humedad varía entre 17% y 18% (Tabla 12).

Al notar que a 25cm de profundidad, el suelo mantiene similares condiciones de humedad, se toma como punto de partida para la construcción de nuestros prototipos y se toma la decisión de construir los muros a 40 cm de profundidad, esto esperando que se mantenga las mismas condiciones obtenidos a 25cm de profundidad.

Fase Evaluación:

Calibración del sensor de humedad del suelo

Durante esta fase, como se explicó anteriormente, se procedió a calibrar el sensor de humedad del suelo mediante un proceso de graduación de muestras de 50 gramos, cada una de las muestras, con contenido de agua desde 5 a 24 mililitros colocadas de manera progresiva. A partir de la Tabla 13, con los valores de contenido de humedad y su respectiva lectura con el sensor, se obtuvieron diferentes líneas de tendencias exponencial, lineal, logarítmica, polinómica y potencial, las mismas fueron presentadas cada una en los diagramas del 7 – 11, cada una con su ecuación y su coeficiente de ajuste (R^2).

Una vez realizado el procesamiento de los datos y analizada la información obtenida, se presentan los siguientes resultados:

- La tendencia que se ajusta de mejor manera corresponde a la tendencia polinómica con un coeficiente de ajuste $R^2=0.9778$ y con la ecuación:

$$y = 513.82\ln(x) - 712.33$$

En donde el valor de las ordenadas y corresponde a la lectura del sensor y las abscisas x corresponde al contenido de humedad real de la muestra, por lo que para la fase de evaluación patológica se hará uso de la fórmula presentada para determinar el contenido de humedad de suelo en campo.

Evaluación Patológica

Durante esta fase, como se explicó anteriormente, se procedió a realizar una evaluación de 10 días a los 6 prototipos construidos en dos fases, la primera considerando la humedad de los prototipos y posteriormente realizando la lectura de contenido de humedad del suelo.

Humedad del Muro

Como consideración inicial se tomó lectura de humedad de todos los muros en la cara a la que fue colocado el extractor de vapores, esto con la finalidad de analizar de manera uniforme los sistemas de prevención de humedad. A partir de las tablas 14 – 19, se muestran los porcentajes de humedad durante los 10 días de evaluación. Posteriormente, analizada la información obtenida, se procedió a aislar los valores de la base (cuadrícula 3 y 4), debido a que la humedad en estudio se presenta en la zona en contacto con el suelo. Obteniendo los siguientes resultados:

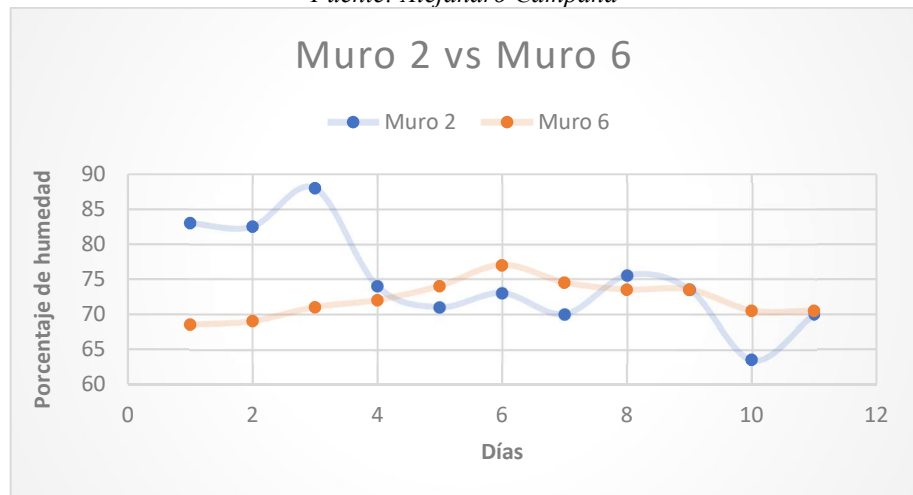
- Identificado los porcentajes en la base de los prototipos (tabla 20), se determina que los valores con mejores resultados durante el tiempo de prueba corresponden a los muros 2,4 y 6.
- Una vez identificados los sistemas con mejores resultados, se procede a realizar un análisis minucioso para identificar aquel que cuente con las mejores características en la mitigación de la humedad.

Los muros 2 y 4 son dos de los modelos óptimos durante la fase de evaluación, estos modelos mantienen un material en común, la geomembrana, la única diferencia entre estos prototipos, consisten que en el muro 4 se adicionó tubería

de 1 pulgada. Por lo que se obtiene como resultado que la implementación de geomembrana en un muro mantiene el control de humedad capilar, ya que el uso de la tubería, no trasciende en mejorar los resultados.

- Por lo mencionado, se procede a realizar un diagrama comparativo entre los muros 2 y 6 (Diagrama 22), para seleccionar el modelo más recomendable.

*Diagrama 7: Estudio de factibilidad de los prototipos.
Fuente: Alejandro Campaña*



En el diagrama se puede observar dos posturas diferentes:

- Por un lado, notamos que el muro 2 comenzó con una humedad más alta (entre 85 a 90%) que el muro 6 (entre 65 a 75%), pero a medida que pasaban los días fue disminuyendo considerablemente, con algunos puntos de inflexión hasta que al final de la fase de evaluación tiende a subir nuevamente.
- Por otro lado, el muro 6 comienza con un valor menor al muro 2 y mantiene un rango aproximadamente constante (entre 65 -75%).

Humedad del Suelo

Como consideración inicial, se tomó lectura a 60 cm de cada prototipo, a una profundidad de 40 cm, durante los 10 días de evaluación. En la tabla 21 se dispuso de los datos correspondientes a la lectura del sensor. A continuación, se procede a verificar los resultados:

- Como se determinó anteriormente en la calibración del sensor, se obtuvo una ecuación para determinar el contenido de humedad real del suelo, por ello, a partir de la tabla 21, se procedió a realizar un promedio correspondiente a la

lectura de los 10 días y posteriormente se calculó los respectivos contenidos de humedad, a continuación, se muestra los resultados obtenidos en la Tabla 22.

*Tabla 22: Resumen general de humedad en el suelo.
Fuente: Alejandro Campaña*

HUMEDAD SUELO		
MURO	SENSOR	w%
1	530.90	11.24
2	524.60	11.10
3	551.70	11.70
4	533.30	11.29
5	530.60	11.24
6	530.00	11.22

Como se observa en los porcentajes calculados de contenido de humedad, el suelo se mantiene uniforme en un rango entre el 11.30 al 11.81%, por lo que los resultados obtenidos mantienen similares características a los ensayos realizados en laboratorio, de esta manera se establece que, a partir de los 25 cm, un suelo de 15x6 m se mantiene en condiciones similares de humedad.

3.2 Verificación de la hipótesis

En base a los resultados obtenidos en función a los sistemas para la reducción del impacto de humedad en paredes propuestos, se ha llegado a verificar que la implementación de un sistema hidráulico es una alternativa viable para la reducción de humedad en construcciones.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Una vez realizado el proyecto se ha logrado identificar que la principal variable para la presencia de humedad en construcciones es el agua en sus distintos estados, ya que, en función a su presencia, esta sea de manera directa o indirecta se producen los diferentes tipos de humedad.
- Tras el análisis del contenido de humedad correspondiente al tipo de suelo, se determinó que, a una profundidad de 25 cm, el suelo mantiene un contenido de humedad uniforme, del 17 al 18% en toda su longitud, de manera que se pudo tomar un punto de partida para trabajar con similares condiciones para la construcción de los prototipos; estos datos fueron convalidados mediante similares pruebas de contenido de humedad, esta vez a 40 cm de profundidad, en donde el suelo se mantuvo uniforme con valores de 11.30 al 11.70% en toda su longitud.
- En función a la etapa de evaluación, al tomar lectura de humedad en paredes, se determinó que previo a una espera de 15 días posterior a la construcción de los prototipos, los resultados mantuvieron una diferencia importante para poder seleccionar los modelos con los mejores resultados.
- En función al análisis de los resultados obtenidos, se concluyó que existieron tres muros que presentaron los mejores resultados, estos fueron los muros 2, 4 y 6. Posteriormente se seleccionó al muro en el que se implementó el extractor de vapores (muro 6) como el más óptimo durante la fase experimental debido a las siguientes consideraciones:

El muro 6 es un sistema que elimina la presencia de agua que causa la humedad en la pared, caso contrario a los muros 2 y 4 que solo aíslan la porción protegida con geomembrana y envían el problema a la periferia del muro.

Además, este modelo presentó valores de humedad relativamente constantes durante los 10 días de evaluación, con un rango del 65-75%, por lo que se

muestra que a medida que pasan los días, los valores de humedad se encontrarán dentro del rango presentado. En relación a los rangos de medición del sensor, el muro 6 cumplió con valores aceptables menores o iguales al 70% en la mayor parte de tiempo de evaluación, de forma que no presentaría afectaciones de humedad considerables.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda continuar con la investigación en base a la implementación de extractor de vapores para reducir los niveles de humedad en construcciones tomando las siguientes consideraciones.
 - ✓ Construir un prototipo con similares características presentadas en la investigación, pero aislándola a manera de maceta con la finalidad de colocar diferentes graduaciones de agua para verificar resultados.
 - ✓ Considerar variables como la temperatura ambiental y las propiedades de los materiales a usarse en la construcción de los prototipos debido que, durante la experimentación, se estimó que estos factores presentarían cambios significantes en el desempeño del sistema hidráulico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. M. Cuevas, *Análisis Soluciones de humedades por Capilaridad*, Valencia, 2014.
- [2] Murprotect, [En línea]. Available: [https://www.murprotec.es/humedades-tipos/..](https://www.murprotec.es/humedades-tipos/) [Último acceso: 05 06 2019].
- [3] J. P. F. Curotto, *Humedad Proveniente de las Edificaciones del Suelo*, Chile, 2008.
- [4] 20MINUTOS.es, «20MINUTOS.es,» 28 06 2011. [En línea]. Available: [https://www.20minutos.es/noticia/1094934/0/humedad/patologia/edificios/.](https://www.20minutos.es/noticia/1094934/0/humedad/patologia/edificios/) [Último acceso: 04 01 2019].
- [5] Expreso, «La Humedad, como evitar que cause daño en su vivienda y salud,» *Expreso*, 24 10 2014.
- [6] R. A. d. l. Lengua, «Diccionario de la Lengua Española,» Madrid, 2018.
- [7] Hogar Seco, «Hogar Seco,» [En línea]. Available: [https://www.hogarseco.com/tipos-de-humedades/.](https://www.hogarseco.com/tipos-de-humedades/) [Último acceso: 10 06 2019].
- [8] G. Pérez, «Ciclo Hidrológico.com,» [En línea]. Available: [https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin.](https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin) [Último acceso: 10 06 2019].
- [9] I. A. P. Rodríguez, *Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos I*.
- [10] R. E. Contreras Cindy, *Evaluación, Diagnóstico Patológico y Propuesta de Intervención del Puente Romero Aguirre*, Cartagena, 2004.

ANEXOS

Anexo 1: Proceso Constructivo del muro 1.



Anexo 2: Proceso Constructivo del muro 2.

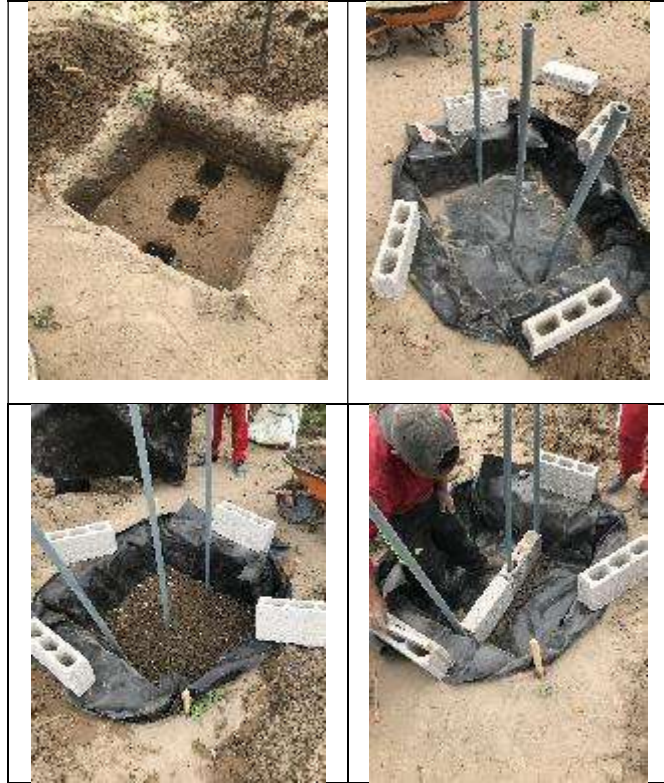




Anexo 3: Proceso Constructivo del muro 3.



Anexo 4: Proceso Constructivo del muro 4



Anexo 5: Proceso Constructivo del muro 5





Anexo 6: Proceso Constructivo del muro 6

