

**Optimización de la restauración del muro de tapia de la culata lateral oriental del Teatro Imperial de la Universidad de Nariño a través de la aplicación de una capa para mejorar la impermeabilización del mortero**

Keith Jannis Palma Ordoñez

Rudy Suleima Miño Arévalo

Diego Nicolas Villota Vinueza

Diego Andrés Chávez Jaramillo

Trabajo de grado para optar el título de  
Especialista en patología de la construcción

Directora

Arquitecta Diana Patricia Garavito Almonacid

Universidad Santo Tomás

Facultad de ciencias y tecnologías

Especialización en Patología de la Construcción

2024

## **Dedicatoria**

*A nuestras familias, por su acompañamiento.*

## **Agradecimientos**

Nuestros sinceros agradecimientos a:

Universidad de Nariño y su programa de Arquitectura, por el acceso a la información y a las instalaciones del Teatro Imperial.

Ingeniero William Castillo Valencia, por el acceso a la información de su investigación de maestría sobre la repotenciación del Teatro Imperial

EAR Laboratorio de Suelos y Materiales, por la materialización de la fase experimental de la presente investigación

Arquitecta Diana Patricia Garavito Almonacid, por la dirección en la presente investigación

Arquitecto Edmundo Andrés Delgado Delgado, por la asesoría en la presente investigación

## Contenido

Introducción .....	13
1. Optimización de la restauración del muro de tapia de la culata lateral oriental del Teatro Imperial de la Universidad de Nariño a través de la aplicación de una capa para mejorar la impermeabilización del mortero.....	14
1.1 Planteamiento del problema .....	14
1.2 Pregunta de investigación.....	15
1.3 Justificación.....	15
1.4 Objetivos .....	16
1.4.1. Objetivo general.....	16
1.4.2. Objetivos específicos .....	16
2. Marco teórico .....	17
2.1 Contextualización .....	19
2.1.1 Aspecto meteorológico.....	20
2.1.2 Aspecto sísmico .....	21
2.2 Aspectos históricos .....	22
2.2.1 Composición espacial .....	24
2.2.2 Composición estructural .....	27
2.3 Antecedentes investigativos.....	29
3. Presentación del caso .....	33

4. Aspectos metodológicos .....	38
4.1.1. Instrumentos de recolección de datos .....	40
4.1.2. Desarrollo diagnóstico y experimental .....	40
4.1.3. Ensayo de granulometría.....	42
5. Desarrollo de métodos de la capa impermeabilización.....	43
6. Análisis de datos. ....	49
7. Propuesta de intervención .....	51
7.1 Proceso continuo de intervención.....	51
7.2 La restauración y la metodología LHRIFSP.....	54
Conclusiones .....	58
Recomendaciones.....	59
Bibliografía.....	61
Apéndices .....	62

### **Lista de tablas**

Tabla 1 Parametrización de las probetas del desarrollo experimental .....	39
Tabla 2 Resultado de absorción en las probetas.....	49
Tabla 3 Descripción de la metodología LHRIFSP .....	55

## Lista de figuras

Figura 1 Localización Teatro Imperial Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.....	19
Figura 2 Esquema anual de humedad relativa en la ciudad de San Juan de Pasto.....	20
Figura 3 Culata latera derecha del Teatro Imperial Universidad de Nariño – San Juan de Pasto. ....	21
Figura 4 Zona de amenaza volcánica de la ciudad de Pasto. ....	22
Figura 5 Vista interior del escenario del Teatro Imperial Universidad de Nariño – San Juan de Pasto. ....	23
Figura 6 Plano arquitectónico de fachada principal Teatro Imperial de Pasto – San Juan de Pasto. ....	24
Figura 7 Secciones espaciales del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto...	25
Figura 8 Acceso principal y escalinata del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto. ....	26
Figura 9 Escenario del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto. ....	26
Figura 10 Sección posterior del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto. ....	27
Figura 11 Distribución estructural del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto. .....	28
Figura 12 Muro interno con patológica – Teatro Imperial de la Universidad de Nariño.	31
Figura 13 Detalle de pañete de cemento con malla plástica y esterilla de guadua – Teatro Imperial de la Universidad de Nariño. ....	32
Figura 14 Esquema de apiques realizados a muro de culata lateral oriental – Teatro Imperial de la Universidad de Nariño. ....	32
Figura 15 Culata lateral oriental del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto. .....	34

Figura 16 Vista culata lateral oriental – Teatro Imperial de la Universidad de Nariño....	35
Figura 17 Empozamiento de agua por ausencia de drenaje en culata lateral colindante antigua casa Woodcook. ....	36
Figura 18 Culata lateral colindante antigua casa Woodcook, registro de humedades. ....	36
Figura 19 Eflorescencia y fisuras en muro culata lateral teatro imperial muro colindante casa Woodcook.....	37
Figura 20 Humedades, muro colindante culata lateral casa Woodcook.....	37
Figura 21 Detalle probeta experimental.....	38
Figura 22 Localización de la toma de la muestra.....	41
Figura 23 Toma de la muestra in situ.....	41
Figura 24 Curva granulométrica. ....	42
Figura 25 Límites de Atterberg. ....	42
Figura 26 Presentación de las probetas. ....	43
Figura 27 Preparación del suelo cemento con adición de fibras de polipropileno.....	43
Figura 28 Aplicación del impermeabilizante látex a la probeta 2.....	44
Figura 29 Aplicación del impermeabilizante clara de huevo probeta 3.....	44
<i>Figura 30</i> Aplicación del impermeabilizante Sika látex probeta 4. ....	44
Figura 31 Adición de la primera capa de suelo cemento y malla vena para la probeta 1.	45
Figura 32 Adición de la primera capa de suelo cemento y malla vena para la probeta 2.	46
Figura 33 Adición de la primera capa de suelo cemento y malla vena para la probeta 3.	46
Figura 34 Adición de la primera capa de suelo cemento y malla vena para la probeta 4.	46
Figura 35 Pesaje de cada probeta.....	47
Figura 36 Construcción de cámara de humedad para las probetas. ....	48
Figura 37 Pesaje de verificación de porcentaje de absorción de humedad.....	48

Figura 38 Humedad experimental según porcentajes de absorción.....50

Figura 39 Ciclo del proceso continuo de intervención. ...**¡Error! Marcador no definido.**

## Apéndices

Apéndice 1 Caracterización físico-mecánica de la muestra de la tapia que constituye la culata lateral oriental del Teatro Imperial.....	62
Apéndice 2 Resultado de la prueba de absorción en cámara de humedad para la probeta 1 .....	63
Apéndice 3 Resultado de la prueba de absorción en cámara de humedad para la probeta 2.....	63
. Apéndice 3 Resultado de la prueba de absorción en cámara de humedad para la probeta 3.....	64
Apéndice 3 Resultado de la prueba de absorción en cámara de humedad para la probeta 4.....	64

## Resumen

Esta investigación presenta un estudio patológico de humedades localizadas en el muro estructural de tapia que conforma la culata lateral oriental del Teatro Imperial de la Universidad de Nariño en la ciudad de San Juan de Pasto, Nariño y propone una propuesta de impermeabilización basada en el empañetado con mortero de suelo cemento con una membrana impermeabilizante.

El Teatro Imperial de la Universidad de Nariño, se destaca como un símbolo de la cultura y el arte, consolidándose a lo largo de los años como un epicentro cultural y social de gran valor patrimonial, con un estilo arquitectónico republicano, esta edificación ha sido testigo de múltiples eventos culturales, y en 1998 fue declarada Bien de Interés Cultural de la Nación. Sin embargo, la estructura enfrenta un conjunto de problemas debido a factores ambientales como su ubicación en una zona de alto tráfico y la actividad sísmica, lo que ha acelerado su deterioro y plantea desafíos significativos para su preservación.

Más allá de las diferentes patologías de todo tipo que presenta, el mayor agravante patológico y que amenaza la estabilidad estructural del paciente se deriva de una causa antropogénica: la demolición de la Casa Woodcock, una casona correspondiente al periodo republicano que se localizaba al costado oriental de la edificación y que produjo el desconfinamiento estructural de esta condición adosada exponiendo a los efectos del intemperismo esta culata lateral que hace parte del sistema estructural principal del teatro.

El Teatro Imperial ha tenido diferentes intervenciones, restauraciones y remodelaciones a lo largo de su vida y servicio; sin embargo, se requiere una repotenciación estructural de este elemento para que evite lesiones futuras y que devuelva la confianza sobre la estabilidad del paciente.

*Palabras clave:* Tapia, adobe, patología, humedad, patrimonio.

### **Abstract**

This research presents a pathological study of localized humidity in the structural wall of rammed earth and adobe that makes up the eastern side of the Imperial Theater of the University of Nariño in the city of San Juan de Pasto, Nariño and proposes a waterproofing proposal based on plastering with cement soil mortar with an adhesion bridge.

The Imperial Theater of the University of Nariño stands out as a symbol of culture and art, consolidating itself over the years as a cultural and social epicenter of great heritage value, with a republican architectural style, this building has witnessed of multiple cultural events, and in 1998 it was declared an Asset of Cultural Interest of the Nation. However, the structure faces a host of problems due to environmental factors such as its location in a high-traffic area and seismic activity, which has accelerated its deterioration and poses significant challenges to its preservation.

Beyond the different pathologies of all kinds that it presents, the greatest pathological aggravation that threatens the structural stability of the patient is derived from an anthropogenic cause: the demolition of the Woodcock House, a mansion corresponding to the Republican period that was located on the eastern side of the building and that produced the structural deconfinement of this semi-detached condition, exposing this lateral head that is part of the main structural system of the theater to the effects of weathering.

The Imperial Theater has had different interventions, restorations and remodeling throughout its life and service; however, a structural repowering of this element is required to prevent future injuries and restore confidence in the stability of the patient.

**Keywords:** Tapia, adobe, pathology, humidity, heritage.

## Introducción

Las edificaciones patrimoniales poseen un gran valor histórico, cultural y simbólico para la sociedad, ya que representan la memoria colectiva y el legado arquitectónico de las comunidades. El Teatro Imperial de la Universidad de Nariño, ubicado en el centro histórico de la ciudad de San Juan de Pasto, es un claro ejemplo de ello. Diseñado entre los años 1920 y 1922, este edificio ha sido un referente cultural y social en la región, consolidándose como un epicentro para eventos artísticos y culturales. Su estilo arquitectónico republicano y su ornamentación cuidadosa lo convierten en un monumento de gran relevancia, declarado Bien de Interés Cultural de la Nación en 1998.

A pesar de su importancia patrimonial, el Teatro Imperial enfrenta diversos desafíos relacionados con su conservación. Ubicado en una zona de alta humedad y sismicidad, la estructura presenta signos de deterioro progresivo, especialmente en el muro de tapia que conforma la culata lateral oriental. Este deterioro se intensificó tras la demolición de la Casa Woodcock, una edificación adosada que dejó el muro parcialmente expuesto al intemperismo, lo que agravó patologías como la humedad por capilaridad y la derivada aparición de fisuras.

En 2012, este muro fue intervenido parcialmente mediante la aplicación de un mortero a base de cal, arena y cemento, buscando mejorar su cohesión y resistencia frente a los agentes externos. Sin embargo, la alta humedad relativa y las precipitaciones constantes, sumadas a la actividad sísmica recurrente de la región, han acelerado el deterioro en las zonas no intervenidas, comprometiendo la estabilidad del edificio.

Como alternativa de intervención se plantea una propuesta complementaria la investigación del ingeniero William Castillo Valencia, quien propuso el uso de malla de vena como refuerzo estructural para mejorar la capacidad del muro de tapia y la aplicación de un mortero de suelo cemento con adición de fibras de polipropileno. Para esta investigación evaluamos distintos

materiales, látex, Sika Látex y clara de huevo como posibles capas impermeabilizantes entre la tapia y el mortero buscando la optimización eficiente de la impermeabilización y por tanto la protección ante los efectos de las humedades y de esta manera determinar cuál de estos materiales ofrece mejores resultados para contribuir a la garantía tanto de la preservación patrimonial como la estabilidad estructural del Teatro Imperial

## **1. Optimización de la restauración del muro de tapia de la culata lateral oriental del Teatro Imperial de la Universidad de Nariño a través de la aplicación de una capa para mejorar la impermeabilización del mortero**

### **1.1 Planteamiento del problema**

La presencia de patologías como la humedad por capilaridad en construcciones patrimoniales, como el Teatro Imperial de la Universidad de Nariño en Pasto, compromete tanto la apariencia estética como la integridad de los materiales originales. Estas humedades incrementan los costos de mantenimiento debido a la constante presencia de agua que degrada progresivamente la tapia, materiales que constituyen el muro de culata lateral oriental, el cual forma parte del sistema estructural principal del edificio.

La falta de intervenciones adecuadas y el deterioro progresivo de este muro no solo afectan la durabilidad de la estructura, sino que también ponen en riesgo su valor patrimonial y cultural. Aunque en el año 2012 se realizó una intervención en gran parte del muro con la aplicación de un mortero a base de cal, arena y cemento, los resultados obtenidos dejaron áreas no tratadas expuestas, lo que ha acelerado el deterioro en dichas secciones.

Por ello, esta investigación se enfoca en complementar la propuesta existente del ingeniero William Castillo Valencia mediante el uso de malla de vena y fibra de polipropileno en

combinación con diferentes materiales como el látex, Sika Látex y clara de huevo, evaluando su impacto en la absorción de humedad con los materiales originales y los adicionados.

## **1.2 Pregunta de investigación**

¿Cómo influye el uso de látex, Sika Látex y clara de huevo como capa impermeabilizante de mortero en la disminución de la absorción de humedad para el muro de culata lateral oriental del Teatro Imperial de la Universidad de Nariño en Pasto?

## **1.3 Justificación**

El Teatro Imperial de la Universidad de Nariño, con más de un siglo de historia, se ha consolidado como un símbolo cultural y arquitectónico de la ciudad de San Juan de Pasto. Esta edificación patrimonial, construida con técnicas tradicionales como tapia, no solo posee un alto valor histórico y cultural, sino que también es un testimonio de la arquitectura republicana de principios del siglo XX. Sin embargo, debido a factores ambientales, la actividad sísmica de la región y la exposición al intemperismo tras la demolición de edificaciones adyacentes, el Teatro Imperial ha sufrido un deterioro acelerado, que compromete su estabilidad estructural y su valor estético.

El problema principal identificado en esta investigación se centra en las humedades por capilaridad que afectan parte del muro de culata lateral oriental del teatro. Estas humedades han dado lugar a patologías que incluyen fisuras, grietas y la pérdida de cohesión de los materiales, lo que no solo compromete la integridad estructural del edificio, sino también su durabilidad en el tiempo. Dada la ubicación del teatro en una zona de alta humedad y sismicidad, resulta crucial abordar estas patologías para preservar este bien de interés cultural.

La intervención en construcciones patrimoniales plantea retos significativos, ya que es fundamental respetar la materialidad y los métodos constructivos originales. En este contexto, el

presente estudio busca proponer soluciones que permitan mejorar la impermeabilización del muro de culata lateral oriental del Teatro Imperial. Esto incluye evaluar el desempeño de distintos materiales como capa impermeabilizante en combinación con la malla de vena, para complementar el mortero previamente utilizado y garantizar una mayor protección y durabilidad frente a los desafíos ambientales y estructurales que enfrenta la edificación.

Por tanto, este proyecto no solo busca contribuir al rescate y preservación de un patrimonio arquitectónico invaluable, sino también establecer un modelo de intervención que pueda ser replicado en otras edificaciones de valor histórico que enfrentan desafíos similares.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Evaluar el estado patológico de humedades en el muro estructural de tapia del Teatro Imperial de la Universidad de Nariño y proponer una intervención de limpieza e impermeabilización, con el fin de contribuir a la preservación de este bien patrimonial.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Sistematizar el nivel de deterioro en el muro de tapia afectado mediante el levantamiento de información.
- Analizar los factores ambientales y antropogénicos que contribuyen a las humedades y el deterioro estructural en el muro de tapia del Teatro Imperial.
- Diseñar una propuesta de impermeabilización que contemple métodos de limpieza e impermeabilización adecuados, priorizando el uso de técnicas de restauración compatibles con los materiales originales de la estructura.

## 2. Marco teórico

La tapia es una técnica de construcción que utiliza muros de tierra compactada, con un grosor mínimo de 60 cm, para edificar paredes de carga y fachadas de edificios. Esta técnica tiene su origen en civilizaciones antiguas, como los romanos, quienes empleaban la tierra compactada para crear edificaciones de gran resistencia (Sánchez, 2017). Aunque en la actualidad ha sido desplazada por otros materiales más modernos, García y Rodríguez (2019) destacan que la tapia sigue siendo utilizada, principalmente en zonas rurales y en la construcción de edificaciones patrimoniales, debido a la accesibilidad de los materiales y su adaptación a distintos climas.

En el contexto de la ciudad de Pasto, muchas edificaciones fueron construidas con paredes de tapia entre los siglos XVI y XX, algunas de las cuales han sobrevivido hasta la fecha y son consideradas un valioso patrimonio arquitectónico. Suárez y Herrera (2020) afirman que estas construcciones son parte integral de la historia local, representando no solo un valor arquitectónico, sino también cultural, lo que las convierte en una importante riqueza patrimonial. Sin embargo, Álvarez (2005) señala que el deterioro de estas edificaciones ha aumentado debido a factores ambientales y urbanos, lo que ha generado un reto para su conservación.

A pesar de su importancia, las paredes de tapia presentan diversas patologías que afectan su durabilidad y estabilidad. La principal amenaza para la tapia es la humedad, que puede deteriorar su integridad estructural. Martínez y González (2015) destacan que la humedad ascendente por capilaridad es uno de los principales factores de desgaste, especialmente en las paredes ubicadas en la planta baja, donde la humedad asciende lentamente, pero con el tiempo provoca una pérdida significativa de resistencia. Esta patología progresa a medida que la humedad asciende, causando una degradación gradual de la tapia hasta llegar al colapso.

Otra patología comúnmente asociada con la humedad es la licuefacción, que ocurre cuando las paredes de tapia experimentan una saturación excesiva de agua, lo que afecta la consistencia del material. López et al. (2018) explican que la licuefacción puede llevar a un colapso parcial de los muros, generalmente en las zonas superiores de la fachada. A diferencia de la lesión por aplastamiento, la licuefacción puede progresar rápidamente si la entrada de agua es continua, y es una de las principales causas de daño en muros de tapia en zonas donde existen filtraciones o desagües defectuosos.

Desde un punto de vista geotécnico, las paredes de tapia están hechas principalmente de tierras plásticas, como arcillas y limos arcillosos, que tienen una alta sensibilidad al agua. Pérez y Martínez (2017) explican que estos materiales son propensos a perder resistencia cuando se exponen a humedad, lo que puede llevar a la degradación de los muros. Los suelos plásticos son particularmente vulnerables a los efectos del agua, lo que hace que la tapia sea susceptible a patologías como la licuefacción y el aplastamiento.

El Teatro Imperial de la Universidad de Nariño, ubicado en el centro histórico de San Juan de Pasto, es un claro ejemplo de la importancia de la tapia en la construcción patrimonial. Este edificio fue construido utilizando la técnica de tapia y, en 1998, fue declarado Bien de Interés Patrimonial de carácter Nacional. En el año 2000, la Universidad de Nariño adquirió el inmueble y comenzó labores de restauración y conservación. Suárez y Herrera (2020) destacan que, debido a factores ambientales como la humedad, el tráfico vehicular y la actividad sísmica, el deterioro de la estructura ha sido acelerado, lo que presenta un desafío significativo para su preservación. Los trabajos de restauración deben considerar no solo las patologías físicas de la tapia, sino también las condiciones geográficas y ambientales que afectan su comportamiento estructural.

La restauración de edificios en tapia requiere un enfoque especializado, considerando tanto las características físicas de los materiales como las condiciones ambientales que afectan su integridad. Vásquez (2016) señala que el tratamiento de la tapia debe incluir el control de la humedad y la estabilización de los suelos para evitar daños adicionales. Los trabajos de restauración en el Teatro Imperial, por ejemplo, deben abordar tanto la reparación de los daños estructurales visibles como la protección contra futuras patologías, como la humedad y la licuefacción.

### **Figura 1**

*Localización Teatro Imperial Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la localización del Teatro Imperial en el centro histórico de la ciudad de San Juan de Pasto. Fuente: Autores.

Actualmente la estructura enfrenta un conjunto de problemas debido a factores ambientales, su ubicación en una zona de alto tráfico y la actividad sísmica, lo que ha acelerado su deterioro y plantea desafíos significativos para su preservación.

### **2.1 Contextualización**

El Teatro Imperial de la Universidad de Nariño se encuentra en la ciudad de San Juan de Pasto localizada en el suroccidente de la República de Colombia sobre la cordillera de los Andes

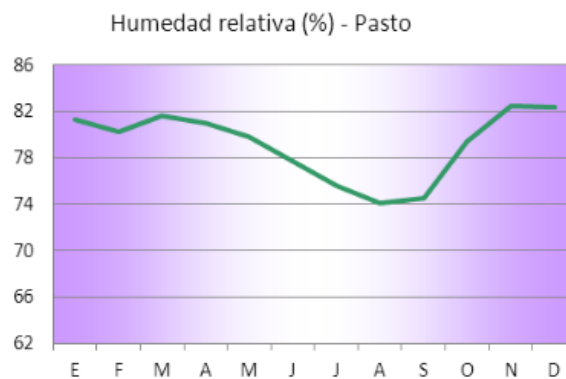
más exactamente en el macizo montañoso denominado nudo de los Pastos y sobre el Valle de Atriz. Lo que permite establecer que su geografía corresponde a un valle interandino característico de nubosidad alta con clima templado ecuatorial de montaña sobre piso térmico frío, con precipitación moderada y humedad relativa alta.

### ***2.1.1 Aspecto meteorológico***

Según el Atlas Climático de Colombia publicado por el IDEAM, San Juan de Pasto se encuentra a una altitud de 2527 MSNM sobre lo que se considera un valle interandino con características de alta nubosidad y clima templado ecuatorial de montaña sobre piso térmico frío, presenta precipitaciones moderadas durante casi todo el año, considerados épocas de verano únicamente entre los meses de junio a agosto y humedades relativas altas que pueden llegar hasta 83% con mínimos registros de 74%. (Ver figura 2).

### **Figura 2**

*Esquema anual de humedad relativa en la ciudad de San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta gráfica muestra la humedad relativa anual para San Juan de Pasto, cuyo valor mínimo se encuentra siempre por encima de 74%. Fuente: IDEAM.

Estas características son apropiadas para la aparición de sintomatologías asociadas a patologías físicas como humedades por capilaridad, tal es el caso de la culata lateral del Teatro

Imperial cuya materialidad en tapia de tierra apisonada y su exposición a los efectos del intemperismo incrementan la probabilidad de daño de humedades y compromete la estabilidad tanto estática como la respuesta dinámica de este muro que hace parte del sistema estructural primario de toda la edificación. (Ver figura 3).

### **Figura 3**

*Culata latera derecha del Teatro Imperial Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la culata lateral oriental Teatro Imperial, constituida por tapia, fue tomada posterior a la demolición de la edificación colindante. Fuente: Rosero Obando, 2014, Estudio Patológico.

#### ***2.1.2 Aspecto sísmico***

Según lo establece la Asociación de Ingeniería Sísmica Colombiana en la Norma Sismo Resistente Colombiana de 2010 NSR-10, Pasto se encuentra ubicado en zona de amenaza sísmica alta con un coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva de 0.25 y un coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva de 0.25, lo que establece condiciones desfavorables al momento del análisis dinámico convencional del paciente teniendo como resultado aceleraciones con amplificaciones significativas tanto locales como de sitio.

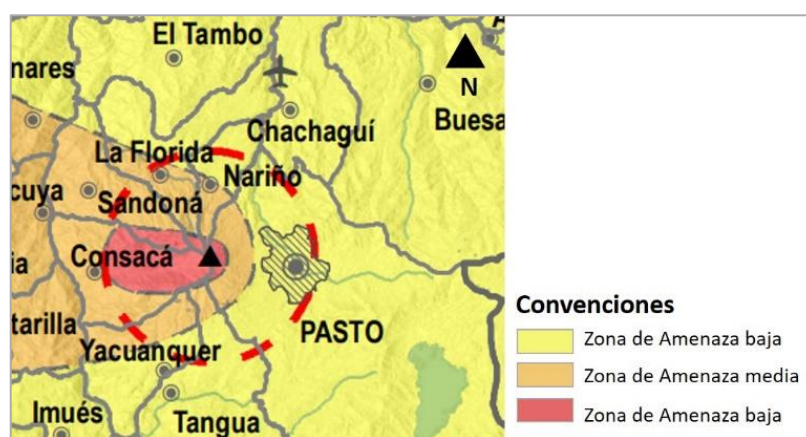
Aunado a esta condición de amenaza, tenemos la incidencia directa de la Zona de Amenaza Volcánica de Galeras, que es uno de los volcanes de mayor actividad en la región y que,

aunque el Teatro Imperial se encuentra en zona de amenaza baja con proyección media y alta para condiciones especiales de viento, éste si está expuesto a una actividad sísmica de origen vulcano tectónica importante. (Ver figura 4).

Se resalta históricamente el sismo de 1947 con 6.0MW. Y de actividad sísmica de origen vulcano tectónica como los sismos relevantes de 1995 de 5ML y de 2018 de 4.9ML.

#### Figura 4

*Zona de amenaza volcánica de la ciudad de Pasto.*



*Nota:* esta imagen muestra un corte del mapa de amenaza volcánica de Galeras con detalle de la influencia sobre la ciudad de Pasto. Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

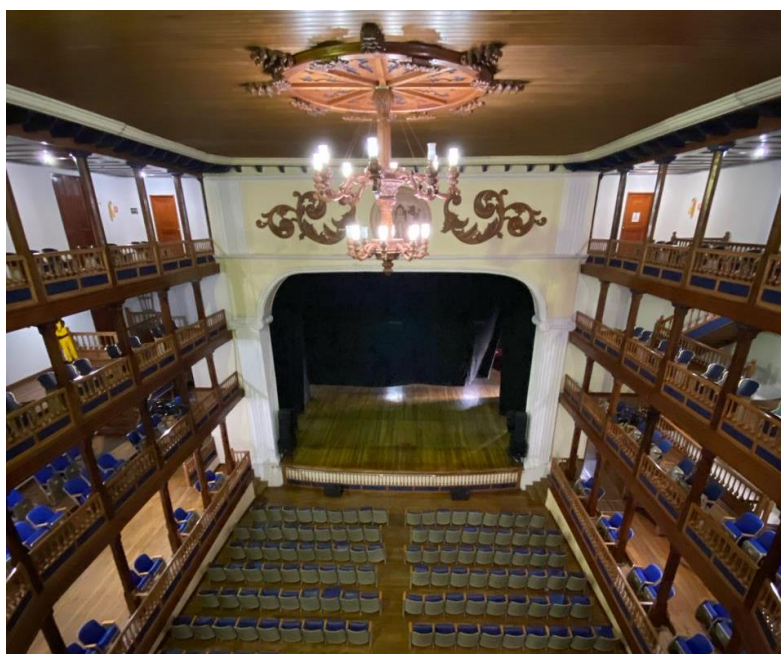
## 2.2 Aspectos históricos

En el año de 1922 se inicia el proceso constructivo del Teatro Imperial con diseños del ingeniero, astrónomo, geógrafo y cartógrafo Belisario Ruiz Wilches. Construcción que estuvo a cargo de dos grandes maestros Juan Carlos Molina a cargo de las obras de construcción y Ricardo Forero Alto un gran tallador procedente de la ciudad de Bogotá, quien se encargaría de todo lo relacionado con las maderas. En el año 1924 finaliza la construcción y finalmente se inaugura en 1925 el edificio que prestaba el servicio de teatro y hotel denominado Imperial, propiedad perteneciente al señor Rafael Villota Chávez. Esta edificación estructuralmente se ideó para verse

en forma de herradura, con ornamentación al estilo republicano y con columnas que rodean el acceso principal; el interior enmarcado en su totalidad con trabajos en madera cuidadosamente realizados, desde su piso, balcones y cielos rasos, se destaca que la realización de estos trabajos se hizo por mano de obra totalmente nariñense. (Ver figura 5).

### **Figura 5**

*Vista interior del escenario del Teatro Imperial Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la configuración del interior en forma de herradura del teatro, y los niveles de silletería con el que cuenta. Fuente: Autores.

Para 1932 se realiza la construcción de la cubierta central en aras de ofrecer mayor comodidad a los asistentes cuya obra estuvo a cargo del maestro Juan Carlos Molina, en 1933 se realiza el diseño de la fachada por el ingeniero Samuel Chávez, adoptando influencias neoclásicas y un marcado estilo republicano. (Ver figura 6). En el transcurso de estos años, se realiza la dotación de silletería, telón de boca y una platea central.

## Figura 6

*Plano arquitectónico de fachada principal Teatro Imperial de Pasto – San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta imagen muestra los planos de diseño de fachada del Teatro Imperial Fuente: Diseño Ing. Samuel Chávez.

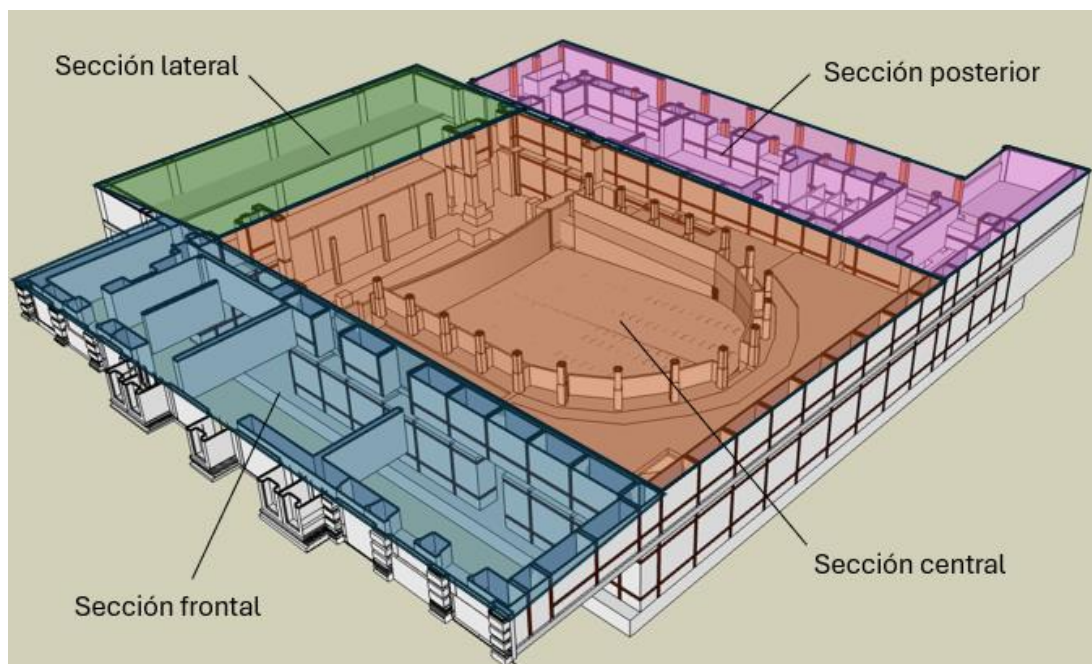
Con el pasar del tiempo, el Teatro Imperial ha tenido diferentes usos, inicialmente albergaba todo tipo de manifestaciones artísticas, cientos de personas asistían a encuentros cinematográficos, reinados de belleza, encuentros de boxeo, corridas de toros, recitales y un sinnúmero de expresiones artísticas a nivel no solo nacional sino internacional. Para los años ochenta sus propietarios llegan a un contrato de arrendamiento con una cadena de cines, época en la que, de sus cinco niveles, solo dos de ellos son habilitados al público por causa del gran deterioro estructural de la edificación.

### ***2.2.1 Composición espacial***

La edificación está conformada por cuatro secciones que plenamente se identifican y se indican en la siguiente figura. (Ver figura 7).

## Figura 7

*Secciones espaciales del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta imagen muestra un levantamiento tridimensional de las secciones arquitectónicas constitutivas del Teatro Imperial. Fuente: Autores.

El edificio cuenta con un sótano que ha sido acondicionado y presta el servicio de cafetería, mientras que la sección central alberga la platea y a su alrededor se disponen tres niveles de palcos en forma de herradura. La sección frontal de la edificación cuenta con dos niveles a los que se accede por una gran escalinata y que anteriormente prestaban servicio como salones de baile y reuniones previas y posteriores a las funciones. En esta sección se encuentra la fachada y su acceso principales. (Ver figura 8).

**Figura 8**

*Acceso principal y escalinata del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta fotográfica muestra el acceso principal a los niveles superiores del Teatro Imperial por la zona del follé. Fuente: Autores.

En la sección lateral izquierda se localiza el escenario el cual abarca la altura total del edificio. (Ver figura 9).

**Figura 9**

*Escenario del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la zona de escenario y tramoyas del Teatro Imperial.

Fuente: Autores.

Finalmente, en la sección posterior del edificio existe una edificación adosada que en el primer nivel presta el servicio de camerinos y baños de artistas. Los niveles superiores de esta se encuentran deshabilitados por el deterioro avanzado que presenta. (Ver figura 10).

### **Figura 10**

*Sección posterior del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.*



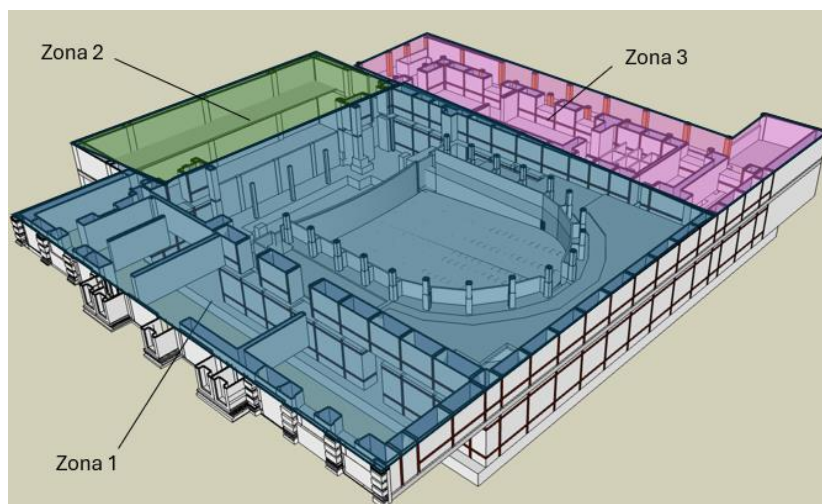
*Nota:* esta fotográfica muestra la parte exterior del edificio de camerinos del Teatro Imperial. Fuente: Autores.

### **2.2.2 Composición estructural**

En la edificación estructuralmente se establecen tres zonas bien definidas como se ilustra en la figura 11

## Figura 11

*Distribución estructural del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta imagen muestra un levantamiento tridimensional de las zonas estructurales definidas para el Teatro Imperial. Fuente: Autores.

La zona 1 corresponde a la edificación inicial en donde las plantas se alzan sobre una nervadura de viguetas de madera rolliza de aproximadamente 0.15m espaciadas cada 0.30m aproximadamente que se insertan sobre muros cargueros en tapia de hasta 1.00m de ancho. En la zona de platea estas viguetas se apoyan sobre pilastras de mampostería en ladrillo cocido de 0.35x0.35 m de sección con alturas variables que le dan la inclinación a la losa superior. Las losas se componen de un entramado de listones de madera de entre 2x5 cm a 6x4cm espaciados cada 0.40m que se apoyan sobre vigas de madera de 8x17cm o viguetas rollizas de 15cm aproximadamente sobre los cuales se tiende una capa de duela en madera como superficie de tránsito.

En algunos espacios como baños, acceso principal, oficinas o descansos de escaleras se localizan losas de concreto de espesores variables de hasta 0.15cm. Las escaleras de acceso son en madera, así como sus pasamanos, palcos y barandas. El teatro se encuentra distribuido en

forma de herradura la cual presenta una serie de columnas de madera que dan apoyo a los palcos superiores alrededor de la platea.

La cubierta se encuentra armada en madera rolliza y vigas de madera con teja en barro y fibrocemento finalmente la fachada se encuentra materializada en ladrillo cocido, argamasa de pega en cal y arena, pañetes en cemento y basamentos en piedra talladas, resaltan las cinco columnas principales de sección circular que dan soporte a la fachada y marcan el acceso principal y los diferentes vanos que permiten el desarrollo de ventanas, ventanales y puertas.

La zona 2 corresponde a la modificación del año 2003 con un desarrollo estructural en pórticos de acero con perfiles encajonados y cerchas de secciones variables y alturas libres de hasta 8.00m, mampostería en ladrillo común y cubierta en cerchas tipo Warren y teja de Eternit.

Finalmente, la zona 3 corresponde a la edificación adosada en la parte posterior de la edificación que se conforma de una variedad de sistemas constructivos que involucran columnas, de concreto, vigas y viguetas de madera, mampostería en ladrillo común, losas de concreto y duelas de madera y una cubierta en teja de barro.

### **2.3 Antecedentes investigativos**

Para 1995, el Arq. William Pasuy desarrolla estudios históricos y arquitectónicos del Teatro Imperial con apoyo de la Sociedad Colombiana de Arquitectos, seguidamente para 1998 el inmueble es declarándolo Bien de Interés Cultural de Carácter Nacional mediante la resolución 789 de 1998 del Ministerio de Cultura. Ya para el año 2000, el Teatro Imperial es adquirido y recuperado por la Universidad de Nariño, adelantando intervenciones físicas y gestionando la reapertura al público con escenarios destinados para el arte en el año 2001.

En el año 2003, se realiza una intervención adicional de adaptación física y técnica, que consistió en la ampliación de su escenario con la participación del Arquitecto Álvaro Tobón, para

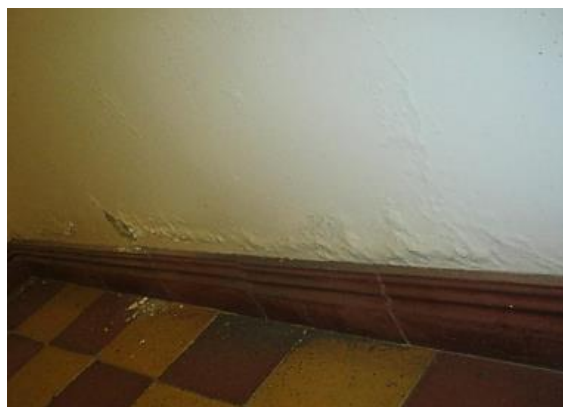
2004 es seleccionado para la Bienal Colombiana de Arquitectura en la categoría de Intervención al Patrimonio y posteriormente en el mismo año para la Bienal Panamericana de Arquitectura obteniendo Mención de Honor, siendo el único inmueble por Colombia al que se le ha otorgado tal distinción en la categoría del Patrimonio Construido.

Dentro de los estudios se destacan el patológico realizado por el ingeniero Carlos Rosero y estudio estructural realizado por el ingeniero William Castillo en 2017. En el año 2024 inicia una actualización del estudio de patología, vulnerabilidad estructural y propuesta de intervención a cargo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Nariño liderado por el ingeniero Carlos Rosero con miras a una nueva intervención para garantizar su estabilidad estructural y remodelación.

En noviembre de 2014 el ingeniero Civil Carlos Arturo Rosero Obando presenta el estudio de vulnerabilidad sísmica del Teatro Imperial como resultado del contrato de consultoría firmado con la Universidad de Nariño a raíz de la demolición de la casa colindante a la derecha la cual se encontraba en condición adosada, estudio que busco evaluar las posibles implicaciones y determinar las patologías antropogénicas derivadas de esta intervención. Este estudio tuvo alcances estructurales y patológicos que permitieron conocer en detalle el levantamiento arquitectónico y estructural posterior a la intervención realizada en 2003 que consistió en la ampliación del escenario. Esta investigación establece cuestionamientos sobre la estabilidad de los muros en tapia de tierra apisonada, adobe y las humedades que se presentan de tal manera que se encontró que algunas caras internas del muro de tapia en tierra apisonada que constituye la culata lateral oriental del Teatro Imperial presentan afectaciones patológicas de tipo humedad por capilaridad e infiltración esto sumado a una gran cantidad de fisuras y grietas presentes. (Ver figura 12).

**Figura 12**

*Muro interno con patológica – Teatro Imperial de la Universidad de Nariño.*



*Nota:* esta fotográfica muestra lesión de un muro por la cara interna de la culata lateral derecha Teatro Imperial, lesión producida por humedad por capilaridad. Fuente: Estudio patológico Ingeniero Rosero Obando (2014).

Posteriormente el 22 de agosto de 2014 el ingeniero Juan Carlos Trujillo presenta el estudio de suelos para la rehabilitación del edificio Teatro Imperial de Pasto como parte de los estudios complementarios del estudio del ingeniero Carlos Rosero, en esta llama la atención la no aparición de nivel freático en ninguna de las 5 exploraciones realizadas.

Otro estudio destacable es el realizado en julio de 2015 por el arquitecto Hugo Enríquez Navas, en donde se realizó el estudio de realización de calas de prospección y apiques de muro oriental, en este se pudo establecer que en su gran mayoría la cara interna del muro que conforma la culata lateral oriental del Teatro Imperial presenta una intervención realizada en la década de los noventa mediante el uso de un pañete con cemento que se adhiere a la superficie mediante el uso de malla plástica y esterilla de guadua. (Ver figura 17).

### Figura 13

*Detalle de pañete de cemento con malla plástica y esterilla de guadua – Teatro Imperial de la Universidad de Nariño.*

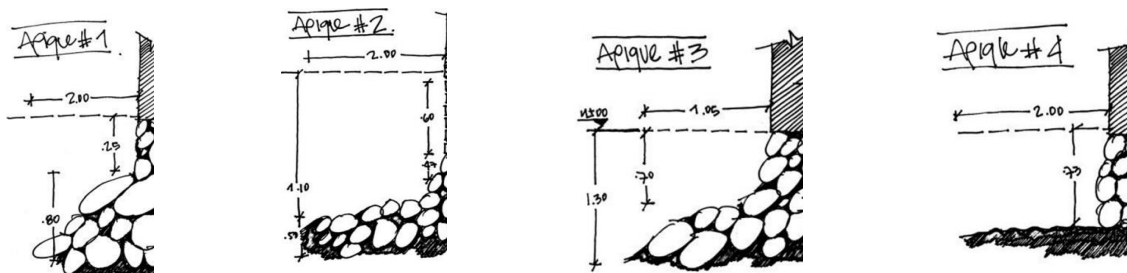


*Nota:* esta fotográfica muestra el detalle de instalación de un revoque con mortero de cemento, empleando malla plástica y esterilla de guadua por la cara interna de la culata lateral oriental Teatro Imperial. Fuente: Estudio de realización de calas de prospección y apiques de muro oriental, arquitecto Enríquez Navas, (2015).

Finalmente, el estudio estableció mediante cuatro apiques realizados por la parte externa del muro de culata lateral oriental los detalles típicos de cimentación. (ver figura 14).

### Figura 14

*Esquema de apiques realizados a muro de culata lateral oriental – Teatro Imperial de la Universidad de Nariño.*



*Nota:* esta ilustración muestra la cimentación de la tapia Fuente: Estudio de realización de calas de prospección y apiques de muro oriental, arquitecto Enríquez Navas, (2015).

Dentro de las recomendaciones que realiza el arquitecto Hugo Enríquez Navas concluye que las características físico-mecánicas de las arcillas y arenas que constituyen la tapia de tierra apisonada y el adobe son de características altas dado su comportamiento seco y consolidado y por tanto deben mantenerse las condiciones secas para no impedir la pérdida de capacidad portante.

Para noviembre de 2017 el ingeniero William Castillo Valencia presenta su investigación de maestría denominada evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto, Caso Teatro Imperial, esta investigación aborda el estudio del muro en tapia que constituye la culata lateral del Teatro Imperial desde el punto de vista estructural, tanto para su estado estático como dinámico. Dentro de la evaluación físico-mecánica del material constitutivo de la tapia se puede establecer que corresponde a granulares finos de tipo limo de baja plasticidad arenoso, materiales que pueden ser fácilmente erosionables.

El estudio en mención establece que la capacidad de respuesta en cuanto a esfuerzos es considerablemente mayor al usar malla de vena frente a otras alternativas como suelo cemento y fibra de polipropileno, siendo que esta malla de vena presenta un comportamiento dúctil comparada con la malla electrosoldada. Así mismo, esta malla de vena mejora el comportamiento elástico en cuando a deformación, presentan un comportamiento más rígido y por tanto una falla frágil, mayor ductilidad y mejores esfuerzos residuales, en la tapia comparada con alternativas como la malla electrosoldada.

### **3. Presentación del caso**

La culata lateral oriental del Teatro Imperial es un muro que está hecho de secciones de tapia considerada como un caso crítico desde el punto de vista de la estabilidad del paciente y que hace parte del sistema de responsabilidad estructural primario de la edificación. (Ver figura 15).

**Figura 15**

*Culata lateral oriental del Teatro Universidad de Nariño – San Juan de Pasto.*



*Nota:* esta fotográfica muestra una vista aérea del muro de tapia que conforma la culata lateral oriental del Teatro Imperial. Fuente: Autores.

Dada la configuración urbana del centro histórico de la ciudad de Pasto, las edificaciones se encuentran adosadas, situación que favorece la respuesta estructural ante sollicitaciones dinámicas ya que este confinamiento permite un comportamiento estructural de bloque beneficiando sobre todo a aquellos edificios que se encuentran adosados en ambos laterales, como era el caso del Teatro Imperial, sin embargo, como anteriormente se mencionó esta condición fue alterada por la demolición de la casona localizada en su costado derecho conocida como Casa Woodcock.

Como lo define el ingeniero William Castillo el Teatro Imperial se edifica gracias a muros con alto grado de vulnerabilidad, como es el caso de la culata lateral oriental el cual está hecho a base de tapia, y que hace parte del sistema estructural de responsabilidad primaria. Sus dimensiones son de 14.30 m de alto por 18.85 m de longitud por 0.65m de espesor (ver figura 15), este presenta un peso específico  $1.46t/m^3$  para un peso aproximado 255 toneladas en estado estático, sin embargo, para un estado dinámico presenta aceleración espectral de  $0.8125\%g$  según

la NSR-10, lo que representa que en caso de sismo experimentaría un empuje horizontal de 208 toneladas. Como resultado de la demolición de la casa colindante que se encontraba adosada a la culata lateral del Teatro Imperial se generó una pérdida de estabilidad de este muro afectando directamente su rigidez, lo que ha causado la aparición de patologías tipo fisuras agravadas por las condiciones de intemperismo a las que está actualmente expuesto.

### **Figura 16**

*Vista culata lateral oriental – Teatro Imperial de la Universidad de Nariño*

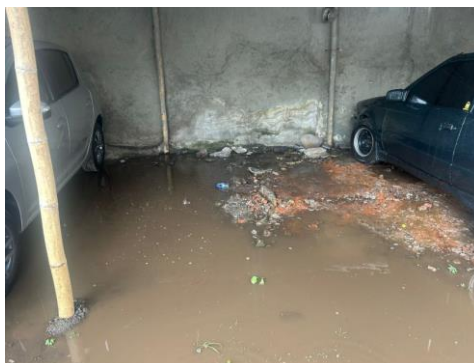


*Nota:* esta imagen muestra un detalle de la zonificación del caso de estudio para el paciente Teatro Imperial. Fuente: Autores.

Desde el punto de vista patológico, el muro de tapia presenta sintomatología asociada a la humedad por capilaridad, condición altamente agravada dado el estado de inundación constante que presenta la base de la cara exterior de esta culata debido a la falta de obras de drenaje del lote en tierra colindante y a la presencia de pendientes del terreno que dirigen las aguas contra el muro sin posibilidades de evacuación.

**Figura 17**

*Empozamiento de agua por ausencia de drenaje en culata lateral colindante antigua casa Woodcook.*



*Nota:* esta fotográfica muestra las problemáticas asociadas con las pendientes de agua del terreno colindante que hacen que la base del muro en estudio permanezca inundada. Fuente: Autores.

**Figura 18**

*Culata lateral colindante antigua casa Woodcook, registro de humedades.*



*Nota:* esta fotográfica muestra patologías tipo humedad derivadas de las problemáticas de drenaje de la parte inferior del muro en estudio, con posibles hinchamientos por acumulación de agua. Fuente: Autores.

Estas condiciones han favorecido también la aparición de especies vegetales en la base del muro y evidencia de fisuras en su parte alta.

**Figura 19**

*Eflorescencia y fisuras en muro culata lateral teatro imperial muro colindante casa Woodcook.*



*Nota:* esta fotográfica muestra presencia de especies vegetales en la base del muro objeto de estudio debido a humedades. Fuente: Autores.

**Figura 20**

*Humedades, muro colindante culata lateral casa Woodcook.*



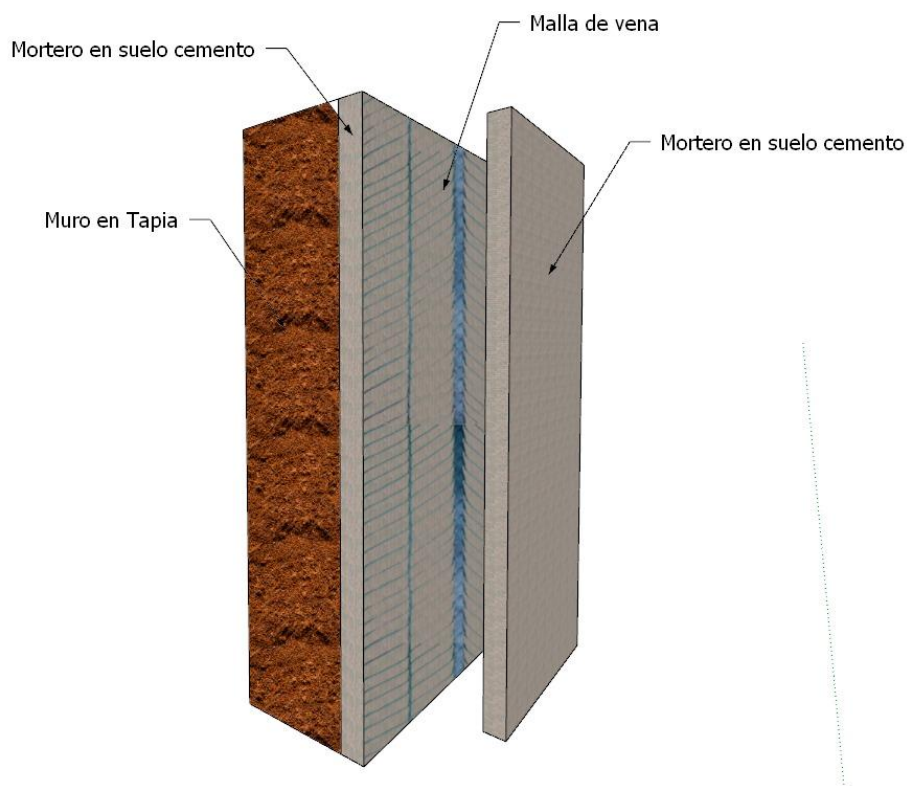
*Nota:* esta fotográfica muestra patologías de humedades y fisuras de la parte superior del muro objeto de estudio. Fuente: Autores.

#### 4. Aspectos metodológicos

La metodología empleada en esta investigación es de tipo experimental, diseñada para evaluar una propuesta de impermeabilización del muro de tapia que constituye la culata oriental del Teatro Imperial, estudio complementario a la intervención del mortero de refuerzo estructural propuesto por el ingeniero William Castillo Valencia mediante el uso de malla de vena con materiales y suelo cemento adicionado con fibra de polipropileno. La base experimental consiste en la valoración del látex, Sika Látex y clara de huevo como capa impermeabilizante mediante cuatro probetas basados en el siguiente modelo.

##### Figura 21

*Detalle probeta experimental.*



*Nota:* esta ilustración muestra el modelamiento de las probetas a reproducir en laboratorio para la fase experimental de esta investigación. Fuente: Autores.

**Tabla 1***Parametrización de las probetas del desarrollo experimental*

<b>Parametrización de las probetas del desarrollo experimental</b>			
<b>Probeta 1:</b>	<b>Probeta 2:</b>	<b>Probeta 3</b>	<b>Probeta 4</b>
Pañete suelo cemento 2cm 10% en peso del cemento + fibra de polipropileno 5% en peso del cemento	Pañete suelo cemento 2cm 10% en peso del cemento + fibra de polipropileno 5% en peso del cemento	Pañete suelo cemento 2cm 10% en peso del cemento + fibra de polipropileno 5% en peso del cemento	Pañete suelo cemento 2cm 10% en peso del cemento + fibra de polipropileno 5% en peso del cemento
Malla de vena de acero de bajo contenido de carbono de alta calidad	Malla de vena de acero de bajo contenido de carbono de alta calidad	Malla de vena de acero de bajo contenido de carbono de alta calidad	Malla de vena de acero de bajo contenido de carbono de alta calidad
Pañete suelo cemento 1cm 10% en peso del cemento	Pañete suelo cemento 1cm 10% en peso del cemento + capa impermeabilizante en látex	Pañete suelo cemento 1cm 10% en peso del cemento + capa impermeabilizante en clara de huevo	Pañete suelo cemento 1cm 10% en peso del cemento + capa impermeabilizante en Sika Látex
Tapia	Tapia	Tapia	Tapia

*Nota:* esta tabla muestra la composición en materialidad y proporción de cada una de las cuatro probetas que se desarrollaron en laboratorio para la fase experimental de este estudio,

indicando el tipo decapa de impermeabilización que se usará para la medición de efectividad en la absorción de humedades. Fuente: Autores.

#### ***4.1. Recolección de datos***

##### ***4.1.1. Instrumentos de recolección de datos***

Etapa diagnóstica

- Dron de alta resolución
- Cámara fotográfica

Etapa experimental

- Herramienta menor (maseta, cincel y palilla)
- Balanza
- Cámara de humedad

##### ***4.1.2. Desarrollo diagnóstico y experimental***

Para la etapa diagnóstica se tienen en cuenta los siguientes pasos:

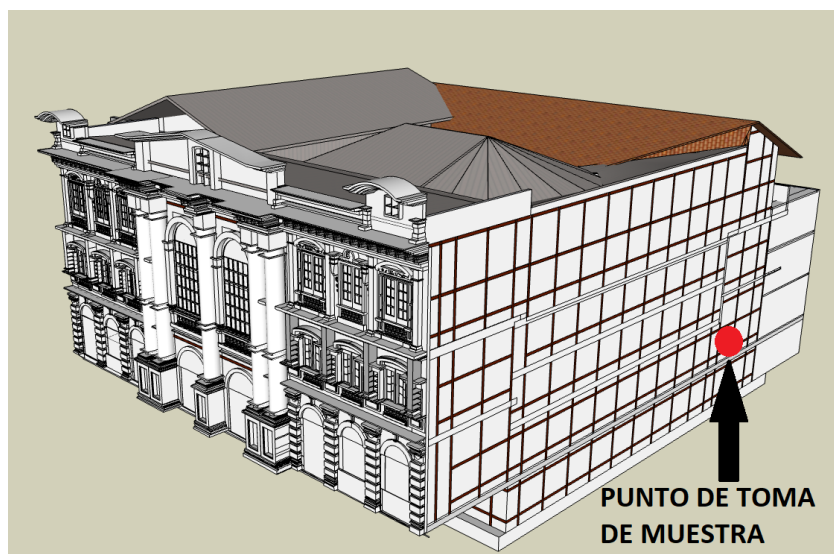
- Inspección visual de las condiciones del paciente
- Registro fotográfico y videográfico a detalle
- Construcción de fichas patológicas diagnósticas

Para la etapa experimental se tienen en cuenta los siguientes pasos:

- Toma de muestra: se tomaron en total 5kg de material mediante el cincelado de la tapia en la zona localizada en la base derecha de la tapia, material que fue llevado al laboratorio para su respectiva clasificación y caracterización mediante ensayos de granulometría y límites de Atterberg.

**Figura 22**

*Localización de la toma de la muestra.*



*Nota:* esta imagen muestra la localización del punto de extracción de la muestra para la caracterización físico-mecánica del suelo constitutivo de la tapia. Fuente: Autores.

**Figura 23**

*Toma de la muestra in situ.*

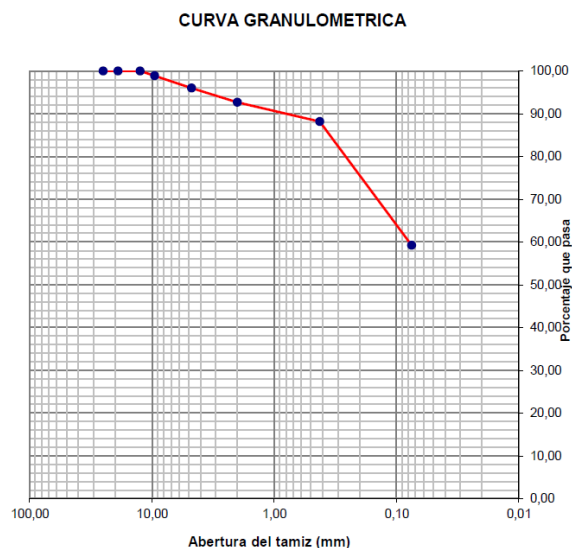


*Nota:* Esta fotográfica muestra el procedimiento de sincerado usado para la extracción del material de tapia a evaluar. Fuente: Autores.

### 4.1.3. Ensayo de granulometría.

**Figura 24**

*Curva granulométrica.*



*Nota:* esta imagen muestra la curva granulométrica obtenida en la que se puede apreciar una mínima presencia de material retenido en el tamiz de 3/8 y la mayor cantidad del material en el rango de partículas finas. Fuente: Autores.

**Figura 25**

*Límites de Atterberg.*



*Nota:* Esta imagen muestra los límites del material estudiado que indica su baja plasticidad y establece como límite del estado sólido un 27.7% de humedad estando la humedad natural del material en 4.5%, porcentaje óptimo de impermeabilización. Fuente: Autores.

## 5. Desarrollo de métodos de la capa impermeabilización

En base a la información granulométrica, clasificación del suelo y límites plástico y líquido, se procedió a la reproducción en laboratorio de cuatro especímenes o probetas que simulen las condiciones de la tapia objeto de estudio.

### Figura 26

*Presentación de las probetas.*



*Nota:* esta fotográfica muestra las probetas de tapia desarrolladas en laboratorio con unas dimensiones de 20cm x 10cm x 11cm. Fuente: Autores.

Basado en la propuesta de pañete de reforzamiento para la tapia del ingeniero William Castillo, con la siguiente dosificación, suelo cemento (1:10) a cada lado de la tapia (mínimo de 3 cm.) con fibra (0.5%). (Castillo V. 2017) se procede a la preparación del suelo cemento.

### Figura 27

*Preparación del suelo cemento con adición de fibras de polipropileno.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la preparación del material de mortero. Fuente: Autores.

Continuamos aplicando la capa impermeabilizante de cada probeta según el caso directamente sobre la tapia.

### **Figura 28**

*Aplicación del impermeabilizante látex a la probeta 2.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la aplicación de la capa de impermeabilización correspondiente al material tipo látex en la probeta 2. Fuente: Autores.

### **Figura 29**

*Aplicación del impermeabilizante clara de huevo probeta 3.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la aplicación de la capa de impermeabilización correspondiente al material tipo clara de huevo en la probeta 3. Fuente: Autores.

**Figura 30**

Aplicación del impermeabilizante Sika látex probeta 4.



*Nota:* esta fotográfica muestra la aplicación de la capa de impermeabilización correspondiente al material tipo Sika Látex en la probeta 4. Fuente: Autores.

Se procede a entonces a la instalación de la primera capa de suelo cemento y la malla vena para cada una de las probetas finalizando con el sello de la segunda capa de mortero.

**Figura 31**

*Adición de la primera capa de suelo cemento y malla vena para la probeta 1.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la construcción del mortero con la instalación de la malla de vena sobre una primera capa de tierra cemento con fibras de polipropileno para la probeta 1. Fuente: Autores.

**Figura 32**

*Adición de la primera capa de suelo cemento y malla vena para la probeta 2.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la construcción del mortero con la instalación de la malla de vena sobre una primera capa de tierra cemento con fibras de polipropileno para la probeta 2.

Fuente: Autores.

**Figura 33**

*Adición de la primera capa de suelo cemento y malla vena para la probeta 3.*



*Nota:*

esta fotográfica muestra la construcción del mortero con la instalación de la malla de vena sobre una primera capa de tierra cemento con fibras de polipropileno para la probeta 3. Fuente: Autores.

### Figura 34

*Adición de la primera capa de suelo cemento y malla vena para la probeta 4.*



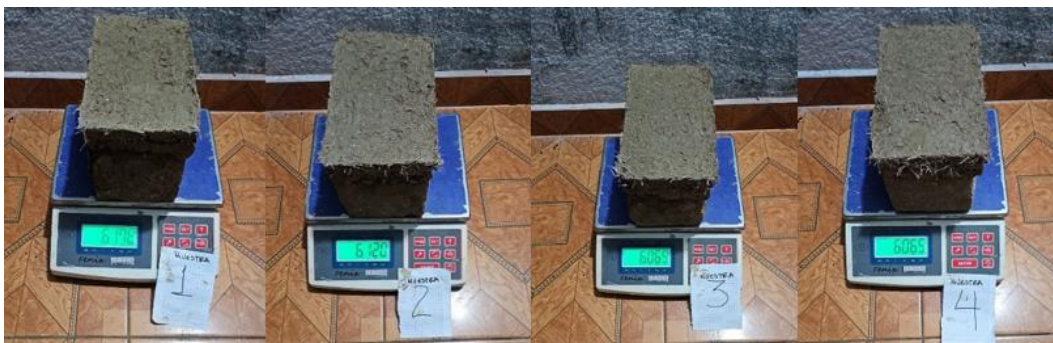
*Nota:* esta fotográfica muestra la construcción del mortero con la instalación de la malla de vena sobre una primera capa de tierra cemento con fibras de polipropileno para la probeta 4.

Fuente: Autores.

Luego de lograr el estado seco se procede a pesar cada una de las probetas.

### Figura 35

*Pesaje de cada probeta.*



*Nota:* Esta fotográfica muestra el pesaje de las probetas en estado seco. Fuente: Autores.

Se procede a la construcción de la cámara de humedad: las probetas serán instaladas en una caja con un encamado en gravilla, realizando el relleno por las esquinas y parte del centro, de tal manera que llegue hasta la altura de las probetas, se instala arena húmeda hasta tapar las probetas y finalmente se procede a tapar con plástico.

**Figura 36**

*Construcción de cámara de humedad para las probetas.*



*Nota:* esta fotográfica muestra la construcción de la cámara de humedad en la que se aprovechan las capacidades filtrantes de la arena y la grava para permitir la absorción de humedad de las probetas. Fuente: Autores.

Transcurridas 24 horas se procede a retirar las muestras de la cámara de humedad y realizar el pesaje para establecer el porcentaje de absorción de humedad en relación con el peso.

**Figura 37**

*Pesaje de verificación de porcentaje de absorción de humedad.*



*Nota:* esta fotográfica muestra el pesaje de las muestras en condiciones húmedas una vez finalizado el proceso de absorción en la cámara de humedad. Fuente: Autores.

## 6. Análisis de datos.

En base al estudio absorción aplicado a las probetas propuestas, se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 2**

*Resultado de absorción en las probetas.*

<b>Parámetro</b>	<b>Probeta 1</b>	<b>Probeta 2</b>	<b>Probeta 3</b>	<b>Probeta 4</b>
Peso seco (gr)	6.178,00	6.120,00	6.069,00	6.065,00
Peso húmedo (gr)	6.732,00	6.408,00	6.512,00	6.325,00
Absorción	8,97%	4,71%	7,30%	4,29%
Capa de impermeabilización	Sin capa	Látex	Clara de huevo	Sika Látex

*Nota:* esta tabla muestra los resultados de la absorción de humedad de cada probeta observando que en condiciones sin aplicación de capa de impermeabilización la absorción es de un 8.97% adicional a la humedad natural mientras que el valor de mayor eficiencia corresponde al 4.29% de absorción de humedad adicional a la humedad natural y corresponde al producto Sika Látex. Fuente: Autores.

Se puede observar que en la probeta 1, la cual replica la propuesta del Ing. William Castillo, el nivel de absorción de humedad tiene como valor 8,97%, es decir, que a pesar de que ayuda estructuralmente a la estabilidad de la culata, no reduce de manera significativa la aparición de patologías por humedad.

En cuanto a las probetas que tienen la capa de impermeabilización se observa que la clara de huevo como material impermeabilizante en la probeta 3, se comporta mejor en cuanto a la absorción que la probeta 1, sin embargo, el porcentaje de absorción sigue siendo alto.

Los resultados encontrados en las probetas 2 y 4 respectivamente, que tienen un menor peso (gr), en seco y húmedo, y como base de material impermeabilizante el látex, poseen mejores características de reducción a la permeabilidad.

La probeta 4 ofrece un menor porcentaje de absorción, brindando las mejores características de impermeabilización al mortero propuesto alcanzando una humedad experimental del 8.79% (humedad natural más porcentaje de absorción) para situaciones críticas de intemperismo reproducidas en laboratorio. De igual manera y considerando que en condiciones sin capa de impermeabilización la humedad experimental llega hasta el 13.47% se puede establecer que el material tipo Sika Látex es capaz de repeler en un 4.68% la humedad lo que se considera mayor al doble de la humedad natural de la muestra.

Finalmente, en ninguno de los casos se sobrepasó el límite plástico por tanto no se espera estados plásticos ni mucho menos líquidos en la tapia para ninguna de las cuatro pruebas

### Figura 38

*Humedad experimental según porcentajes de absorción.*



Nota: esta imagen muestra el distanciamiento de eficiencia de las capas de impermeabilización aplicadas a cada una de las probetas con relación a la humedad natural de la muestra, donde se puede observar la eficiencia de los materiales tipo látex. Fuente: Autores.

## 7. Propuesta de intervención

La conservación del muro de tapia de la culata lateral oriental del Teatro Imperial requiere una intervención planificada que respete su valor patrimonial y garantice su estabilidad estructural frente a las condiciones ambientales. Basándonos en los hallazgos experimentales y en el análisis de las patologías existentes, se propone un proceso de impermeabilización que combina técnicas modernas con un enfoque de respeto hacia la materialidad original del edificio.

### 7.1. Proceso continuo de intervención

Sobre el paciente se propone un proceso cíclico continuo con un enfoque fundamentado en una intervención inicial y su sostenimiento en el tiempo mediante el mantenimiento con una perspectiva de monitoreo que permita activar una fase diagnóstica de ser necesario y reiniciar el proceso.

**Figura 39**

*Ciclo del proceso continuo de intervención.*



Nota: esta imagen muestra el ciclo de intervención propuesto para el paciente, en este se puede entender la intervención como un proceso cíclico y continuo en el tiempo que busca extender

la duración de los resultados obtenidos en la restauración mediante un mantenimiento continuo y la emisión de las alertas tempranas gracias al monitoreo y diagnóstico. Fuente: Autores.

A continuación, se describen cada una de las cuatro fases del proceso de intervención:

#### 1. Restauración

- Limpieza profunda del muro:
  - Eliminar partículas sueltas y vegetación con cepillos de cerdas suaves y técnicas de aspirado controlado.
  - Aplicar un lavado superficial con agua nebulizada (sin saturar la tapia) para remover residuos de eflorescencias.
- Secado del muro:
  - Utilizar ventilación natural asistida con dispositivos de baja intensidad para evitar tensiones internas por evaporación acelerada.
- Aplicación de la primera capa de revoque:
  - Preparar una mezcla de suelo cemento con proporción 1:10, añadiendo fibras de polipropileno al 5% en peso del cemento, siguiendo las pruebas experimentales realizadas.
  - Aplicar Sika Látex directamente sobre la primera capa del revoque como barrera impermeabilizante, garantizando que la capa sea uniforme, utilizando brochas de cerdas medianas y suaves para evitar acumulaciones o espacios sin recubrimiento.
- Colocación de la malla estructural:

- Instalar la malla de vena de acero de bajo contenido de carbono, asegurando su adherencia al revoque base mediante anclajes mínimos en los bordes del muro.
- Sellado con la segunda capa de revoque:
  - Aplicar una segunda capa de suelo cemento (espesor mínimo de 2 cm), cubriendo completamente la malla de vena y garantizando una integración uniforme con el muro original.
- Curado del revestimiento:
  - Mantener el revoque húmedo por 7 días mediante aspersion controlada para evitar grietas por retracción.
- Acabado estético:
  - Aplicar una pintura de cal natural o recubrimiento tradicional que mantenga la estética histórica del muro, compatible con los materiales originales.

## 2. Mantenimiento

- Actividades preventivas:
  - Crear el plan de mantenimiento preventivo específicamente para el muro de culata oriental
  - Limpiar regularmente la base del muro y evitar acumulación de agua mediante obras complementarias de drenaje, así como la presencia de especies vegetales y/o animales que por su acción puedan inducir focos de humedad

- Renovar la capa de pintura de acabado cada 5 a 7 años, dependiendo de las condiciones observadas.
- Mantener despejadas y con fácil alcance visual las zonas de inspección críticas como la base del muro tanto en la cara interior como exterior

### 3. Monitoreo

- Inspección periódica:
  - Instalar mínimo dos estaciones de medición de humedades mediante sensores de humedad que permitan lecturas directas sin necesidad de recurrir a técnicas destructivas
  - Realizar mediciones de humedad mediante técnicas no destructivas con periodicidad semanal tanto en la cara interna como externa del muro y en diferentes puntos priorizando la zona crítica de la base del muro controlando que este parámetro este siempre inferior al 8.79%
  - Realizar revisiones visuales semestrales para identificar signos de deterioro como humedades, fisuras o hinchamientos.
  - Documentar los cambios en fichas técnicas para evaluar la evolución del muro.

### 4. Diagnóstico

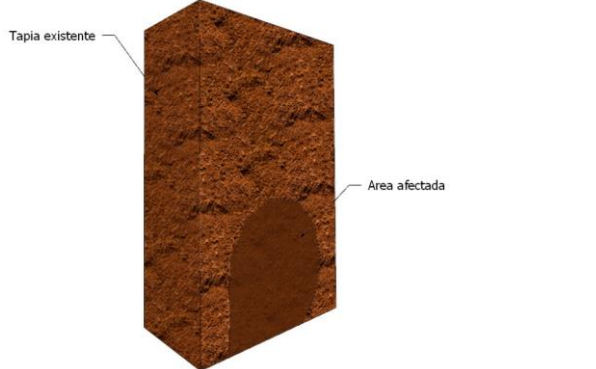
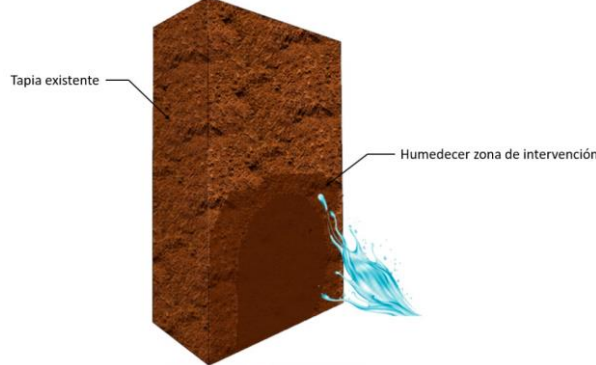
- Revisión patológica permanente:
  - De llegarse a evidenciar patologías que pudieran estar asociadas a humedades diagnosticar inmediatamente e iniciar labores de restauración puntuales para evitar el avance del síntoma y tener que llegar a intervenciones totales

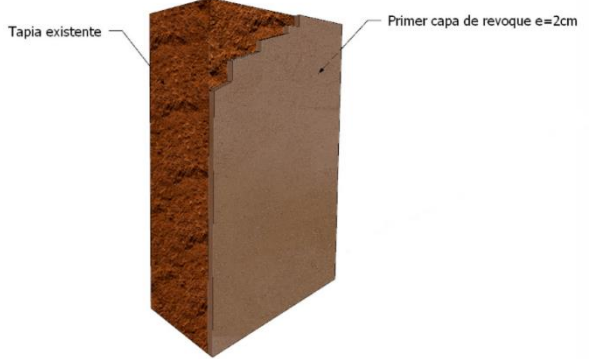
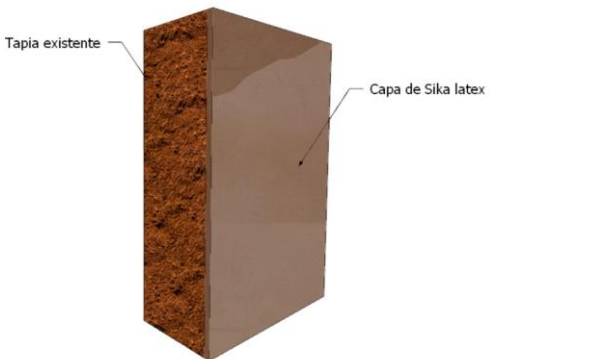
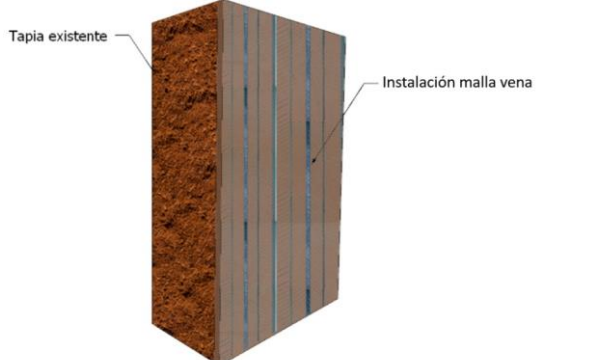
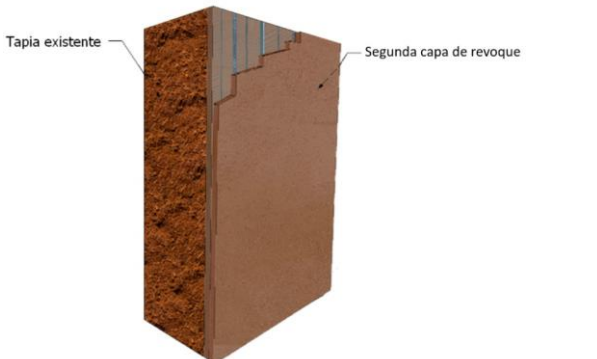
## 7.2. La restauración y la metodología LHRIFSP

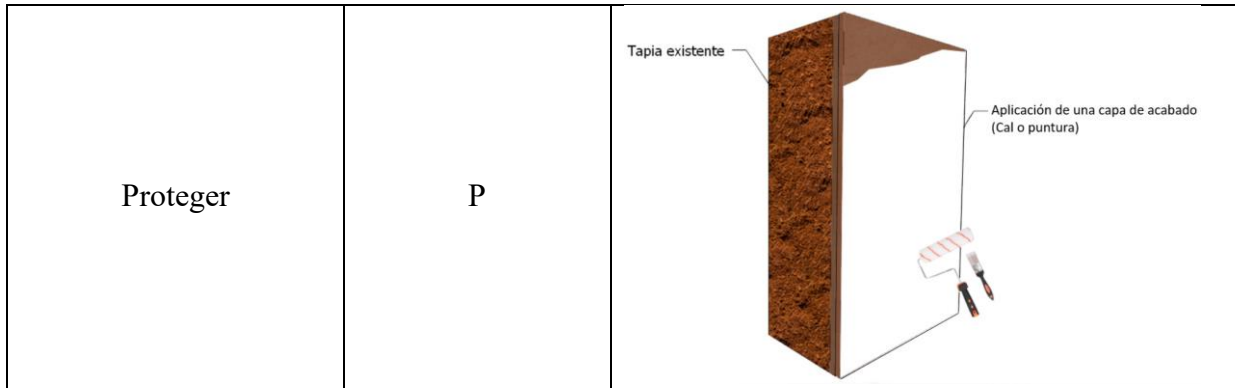
Para la fase de restauración se implementará la metodología LHRIFSP: limpiar, humedecer, revocar, impermeabilizar, fortalecer, sellar y proteger. Esta metodología propuesta simplifica el entendimiento de la propuesta de restauración y permite un control en campo de las actividades a desarrollar y las acciones y responsables asociados a cada una, así mismo simplifica la información orientada a la metodología BIM. A continuación, se ilustra gráficamente la

**Tabla 3**

*Descripción de la metodología LHRIFSP*

Limpiar	L	 <p>Diagrama que muestra un corte vertical de una tapia existente (muro de tierra). Una zona de intervención está marcada como "Área afectada".</p>
Humedecer	H	 <p>Diagrama que muestra un corte vertical de una tapia existente. Agua es aplicada a la zona de intervención, etiquetada como "Humedecer zona de intervención".</p>

Revocar	R	 <p>Tapia existente</p> <p>Primer capa de revoque e=2cm</p>
Impermeabilizar	I	 <p>Tapia existente</p> <p>Capa de Sika latex</p>
Fortalecer	F	 <p>Tapia existente</p> <p>Instalación malla vena</p>
Sellar	S	 <p>Tapia existente</p> <p>Segunda capa de revoque</p>



*Nota:* esta tabla muestra la descripción gráfica de la metodología LHRIFSP propuesta para la restauración del paciente: culata oriental del Teatro Imperial. Fuente: Autores.

## Conclusiones

Las humedades por capilaridad como patología primaria son una amenaza constante en pacientes geriátricos cuya materialidad sea tapias de tierra apisonada, su presencia induce directamente la fisuración, aparición de especies vegetales, eflorescencias y pueden llegar a situaciones que comprometan la estabilidad estructural tales como fallas por aplastamiento o licuefacción.

Como alternativa al proceso de reforzamiento estructural propuesto por el ingeniero William Castillo Valencia, esta investigación logro establecer que entre tres materiales evaluados el aditivo Sika Látex tiene un comportamiento óptimo reduciendo del 13.47% al 8.79% la humedad experimental o lo que es igual, permite el bloqueo del 4.68% de humedad que en condiciones no impermeabilizada podría ingresar a la tapia de tierra apisonada.

Cabe resaltar que esta investigación se limita a únicamente tres materiales propuestos como capa de impermeabilización, sin embargo, establece un procedimiento experimental que puede ser fácilmente reproducido con otros materiales buscando por supuesto aquellos que mejoren estos resultados para proponer una mejor alternativa de intervención que permita la conservación de este bien patrimonial o de otros casos o pacientes similares.

## Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se proponen las siguientes recomendaciones para garantizar la adecuada conservación del muro de tapia de la culata lateral oriental del Teatro Imperial y para orientar futuras intervenciones en bienes patrimoniales similares.

### 1. Control técnico de humedades

Para el control técnico de estas humedades es importante la caracterización físico-mecánica del material que constituye la tapia de tierra apisonada en estado seco, puesto que conocer su humedad natural permite establecer el ideal de impermeabilización al que se debe conducir en estado húmedo, así como los límites plásticos y líquidos nos alertan sobre aquellos porcentajes de humedad que se deben evitar.

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda la aplicación de un sistema de drenaje que incorpore un filtro con materiales geo poliméricos como medida para mitigar y prevenir saturaciones indeseadas en la base del muro.

### 2. Capacitación del equipo de trabajo:

Es importante realizar talleres prácticos para los aplicadores, asegurando que comprendan las técnicas específicas de manejo de la tapia y los materiales propuestos.

### 3. Uso de materiales locales:

Se debe fomentar el uso de materiales compatibles con el entorno local, para mantener la sostenibilidad del proyecto y reducir costos logísticos.

### 4. Gestión del agua en el entorno del muro

Se recomienda diseñar e implementar un sistema de drenaje perimetral efectivo para evitar la acumulación de agua en la base del muro, reduciendo la incidencia de humedades por capilaridad. Así mismo modificar las pendientes del terreno adyacente para direccionar el flujo de agua lejos de la edificación.

#### 5. Futuras investigaciones

Sería de gran valor investigativo complementario la exploración del uso de otros materiales impermeabilizantes con características similares o superiores al Sika Látex, evaluando su compatibilidad con la tapia y su efectividad en la conservación de edificaciones patrimoniales.

#### 6. Divulgación de los resultados

Se invita a compartir los hallazgos de esta investigación con instituciones encargadas de la conservación patrimonial, para que puedan replicar estas prácticas en otras edificaciones de valor histórico afectadas por problemas similares.

## Bibliografía

Castillo W, Areiza G. y Coral H. (2018). Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de la tapia en Pasto (Nariño, Colombia). Caso Teatro Imperial – Ingeniería y Patrimonio.

Álvarez, L. (2005). *Patrimonio arquitectónico y su conservación en la ciudad de Pasto*. Editorial Andina.

García, J., & Rodríguez, M. (2019). *Construcción en tierra: El regreso de una técnica ancestral*. Revista de Arquitectura, 45(2), 103-112.

López, R., Pérez, A., & González, S. (2018). *Patologías en la construcción en tapia: Desafíos para la conservación*. Editorial Técnica Constructiva.

Martínez, P., & González, J. (2015). *La humedad en las construcciones históricas de tierra*. Revista de Conservación Patrimonial, 27(3), 88-95.

Pérez, C., & Martínez, F. (2017). *Comportamiento geotécnico de muros de tapia y su respuesta a la humedad*. Ingeniería Civil, 35(1), 56-63.

Sánchez, E. (2017). *Historia de la construcción en tierra: La técnica de la tapia*. Editorial Universitaria.


Suárez, M., & Herrera, T. (2020). *Construcción y conservación de edificios de tapia en Colombia: Retos actuales*. Fundación para la Conservación del Patrimonio, 19(4), 150-162.

Vásquez, C. (2016). *Estudio de la licuefacción en muros de tapia: Caso de estudio en edificaciones patrimoniales*. Revista Geotecnia, 40(1), 102-110.

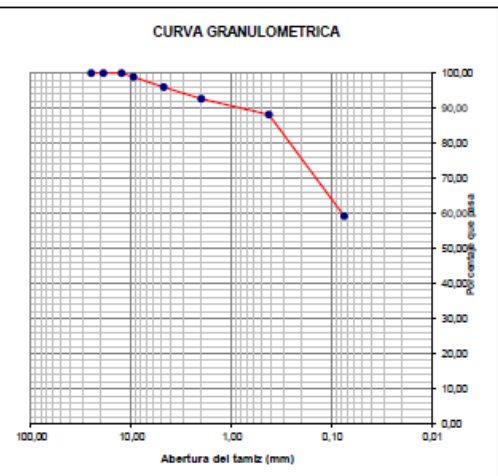
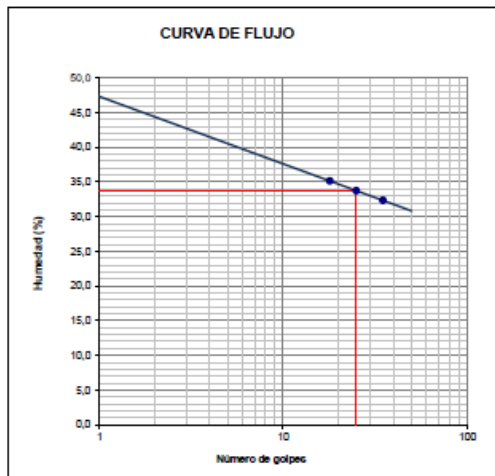
## Apéndices

### Apéndice 1

*Caracterización físico-mecánica de la muestra de la tapia que constituye la culata lateral oriental del Teatro Imperial*

		<b>ENSAYOS DE CLASIFICACION</b> <b>LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO, HUMEDAD Y GRADACION</b>			
<b>PROYECTO :</b> TOMA DE MUESTRA DE MURO DE TAPIA APISONADA DE LA CULATA LATERAL DERECHA DEL TEATRO IMPERIAL ZONA INFERIOR DERECHA					
<b>LOCALIZACION :</b> CULATA LATERAL DERECHA DEL TEATRO IMPERIAL ZONA INFERIOR DERECHA					
<b>CLIENTE :</b> ING DIEGO					
<b>APIQUE :</b> 1		<b>MUESTRA :</b> 1		<b>LABORATORISTA :</b> LUIZ RUIZ	
<b>LOCALIZACION :</b>		<b>PROFUNDIDAD :</b> 0,20 MTS		<b>FECHA :</b> 15-nov-2024	
<b>DESCRIPCION :</b> ML-CL SUELO ARCILLOSO LIMOSO DE BAJA PLASTICIDAD					
		<b>LIMITE LIQUIDO</b>			
Número de golpes		18	25	35	
Vidrio No.		24	14	11	
Peso muestra húmeda y recipiente	(g)	58,03	54,36	55,22	
Peso muestra seca y recipiente	(g)	51,05	48,52	49,35	
Peso del recipiente	(g)	31,20	31,20	31,20	
Peso del agua	(g)	6,98	5,84	5,87	
Peso de sólidos	(g)	19,85	17,32	18,15	
Humedad	(%)	35,2	33,7	32,4	
		<b>LIMITE PLASTICO</b>		<b>HUMEDAD</b>	
Vidrio No.		8	2	16	
Peso muestra húmeda y recipiente	(g)	20,20	20,08	73,63	
Peso muestra seca y recipiente	(g)	17,15	17,06	71,80	
Peso del recipiente	(g)	6,10	6,20	31,20	
Peso del agua	(g)	3,05	3,02	1,83	
Peso de sólidos	(g)	11,05	10,86	40,60	
Humedad	(%)	27,6	27,8	4,5	
<b>RESULTADOS</b>		<b>CLASIFICACION</b>			
Limite liquido	:	33,8 %	U.S.C. ML-CL		
Limite plastico	:	27,7 %	Nombre :		
Humedad natural	:	4,5 %	AASHTO:		
Indice de plasticidad	:	6,1 %			
Indice de liquidez	:				
<b>OBSERVACIONES :</b>					
		<b>CONSTANTES GRANULOMETRICAS</b>			
Cu	-	D60	=	mm	
Cz	-	D30	=	mm	
		D10	=	mm	

Tamiz	Peso retenido (g)	Peso retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
2"	0,0	0,0	0,0	100,00
1 1/2"	0,0	0,0	0,0	100,00
1"	0,0	0,0	0,0	100,00
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,00
1/2"	0,0	0,0	0,0	100,00
3/8"	9,0	1,1	1,1	98,9
No. 4	23,0	2,9	4,0	96,0
No. 10	27,0	3,4	7,3	92,7
No. 40	36,0	4,5	11,8	88,2
No. 200	233,0	29,0	40,8	59,2
Fondo	475,8	58,2	100,0	
<b>TOTAL</b>	<b>803,8</b>	<b>100,0</b>		




  
**Edwin A. Ruiz & Cía**  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 Mat. 52769-025775 NRR  
**EDWIN RUIZ**  
 ELABORO

REVISO

## Apéndice 2

Resultado de la prueba de absorción en cámara de humedad para la probeta 1

 NORMA TECNICA COLOMBIANA		NTC - 2017									
<b>IDENTIFICACION DEL PROYECTO:</b>											
PROYECTO:	TOMA DE MUESTRA DE MURO DE TAPIA AFISONADA DE LA CULATA LATERAL DERECHA DEL TEATRO IMPERIAL ZONA INFERIOR DERECHA										
SOLICITANTE:	ING DIEGO	FECHA:	lunes, 25 de noviembre de 2024								
<b>IDENTIFICACION DEL MATERIAL:</b>											
PROCEDENCIA:	MUESTRA ELABORADA										
DOSIFICACION:											
<b>ENSAYO DE ABSORCION</b>											
ESTRUCTURA / LOCALIZACION	N° MUESTRA	FECHA DE TOMA	LONGITUD cm	ESPESOR cm	ANCHO cm	AREA cm <sup>2</sup>	PORCENTAJE DE ABSORCION			ESPECIFICACION	ABSORCION
							PESO SECO	PESO HUMEDO	% ABS		
PROBETA 1	1	16/11/2024	20	10	11	220	6178	6732	8,97	MAX 5% EN VALOR PROMEDIO	
PROMEDIO									8,97		
<b>OBSERVACIONES</b>											


ELABORADO POR  
FIRMA  
NOMBRE  
CARGO

*Edwin A. Ruiz E.*  
*Edwin A. Ruiz E.*  
EDWIN ALBERTO RUIZ  
JEFE DE LABORATORIO

*Edwin A. Ruiz E.*  
LABORATORIO DE SUELOS  
Y MATERIALES  
Mat. 52769-025775 NRR  
REVISO

## Apéndice 3

Resultado de la prueba de absorción en cámara de humedad para la probeta 2

 NORMA TECNICA COLOMBIANA		NTC - 2017									
<b>IDENTIFICACION DEL PROYECTO:</b>											
PROYECTO:	TOMA DE MUESTRA DE MURO DE TAPIA AFISONADA DE LA CULATA LATERAL DERECHA DEL TEATRO IMPERIAL ZONA INFERIOR DERECHA										
SOLICITANTE:	ING DIEGO	FECHA:	lunes, 25 de noviembre de 2024								
<b>IDENTIFICACION DEL MATERIAL:</b>											
PROCEDENCIA:	MUESTRA ELABORADA										
DOSIFICACION:											
<b>ENSAYO DE ABSORCION</b>											
ESTRUCTURA / LOCALIZACION	N° MUESTRA	FECHA DE TOMA	LONGITUD cm	ESPESOR cm	ANCHO cm	AREA cm <sup>2</sup>	PORCENTAJE DE ABSORCION			ESPECIFICACION	ABSORCION
							PESO SECO	PESO HUMEDO	% ABS		
PROBETA 2	2	16/11/2024	20	10	11	220	6120	6408	4,71	MAX 5% EN VALOR PROMEDIO	
PROMEDIO									4,71		
<b>OBSERVACIONES</b>											


ELABORADO POR  
FIRMA  
NOMBRE  
CARGO



*Edwin A. Ruiz E.*  
*Edwin A. Ruiz E.*  
EDWIN ALBERTO RUIZ  
JEFE DE LABORATORIO

*Edwin A. Ruiz E.*  
LABORATORIO DE SUELOS  
Y MATERIALES  
Mat. 52769-025775 NRR  
REVISO

Apéndice 4


Resultado de la prueba de absorción en cámara de humedad para la probeta 3



 NORMA TECNICA COLOMBIANA							NTC - 2017				
<b>IDENTIFICACION DEL PROYECTO:</b>											
PROYECTO:		TOMA DE MUESTRA DE MURO DE TAPIA APISONADA DE LA CULATA LATERAL DERECHA DEL TEATRO IMPERIAL ZONA INFERIOR DERECHA									
SOLICITANTE:		ING DIEGO				FECHA:		lunes, 25 de noviembre de 2024			
<b>IDENTIFICACION DEL MATERIAL:</b>											
PROCEDENCIA:		MUESTRA ELABORADA									
DOSIFICACION:											
<b>ENSAYO DE ABSORCION</b>											
ESTRUCTURA / LOCALIZACION	N° MUESTRA	FECHA DE TOMA	LONGITUD cm	ESPESOR cm	ANCHO cm	AREA cm <sup>2</sup>	PORCENTAJE DE ABSORCION			ESPECIFICACION	ABSORCION
							PESO SECO	PESO HUMEDO	% ABS		
PROBETA 3	3	16/11/2024	20	10	11	220	6069	6512	7,30	MAX 5% EN VALOR PROMEDIO	
PROMEDIO									7,30		
<b>OBSERVACIONES</b>											

ELABORADO POR FIRMA NOMBRE CARGO	 EDWIN ALBERTO RUIZ JEFE DE LABORATORIO	 EDWIN A. RUIZ E. LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Mat. 52769-025775 NRR	REVISO
---	--	--	--------

Apéndice 5

Resultado de la prueba de absorción en cámara de humedad para la probeta 4

 NORMA TECNICA COLOMBIANA							NTC - 2017				
<b>IDENTIFICACION DEL PROYECTO:</b>											
PROYECTO:		TOMA DE MUESTRA DE MURO DE TAPIA APISONADA DE LA CULATA LATERAL DERECHA DEL TEATRO IMPERIAL ZONA INFERIOR DERECHA									
SOLICITANTE:		ING DIEGO				FECHA:		lunes, 25 de noviembre de 2024			
<b>IDENTIFICACION DEL MATERIAL:</b>											
PROCEDENCIA:		MUESTRA ELABORADA									
DOSIFICACION:											
<b>ENSAYO DE ABSORCION</b>											
ESTRUCTURA / LOCALIZACION	N° MUESTRA	FECHA DE TOMA	LONGITUD cm	ESPESOR cm	ANCHO cm	AREA cm <sup>2</sup>	PORCENTAJE DE ABSORCION			ESPECIFICACION	ABSORCION
							PESO SECO	PESO HUMEDO	% ABS		
PROBETA 4	4	16/11/2024	20	10	11	220	6065	6325	4,29	MAX 5% EN VALOR PROMEDIO	
PROMEDIO									4,29		
<b>OBSERVACIONES</b>											

ELABORADO POR FIRMA NOMBRE CARGO	 EDWIN ALBERTO RUIZ JEFE DE LABORATORIO	 EDWIN A. RUIZ E. LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Mat. 52769-025775 NRR	REVISO
---	--	--	--------