

**PROTECCIÓN Y ACABADO A BASE DE TIERRA O CAL CON ADITIVOS NATURALES COMPATIBLE CON
MUROS EN ADOBE**

Maria Paula Bermudez Cubillos

Duván Felipe Rincón Bravo



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Proyecto temático de Grado, Arquitectura

Diplomado en nuevas tecnologías digitales para el desarrollo y gestión de proyectos open BIM

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C Colombia

2025

**PROTECCIÓN Y ACABADO A BASE DE TIERRA O CAL CON ADITIVOS NATURALES COMPATIBLE CON
MUROS EN ADOBE**

Maria Paula Bermudez Cubillos

Duván Felipe Rincón Bravo

**Trabajo de Grado y Diplomado en nuevas tecnologías digitales para el desarrollo y gestión de
proyectos open BIM, presentado como requisito para optar al título de:**

Arquitecto

Docente

Director: Yuber Alberto Nope Bernal

Co-director: Manuel Martínez



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Proyecto temático de Grado, Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C Colombia

2025

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	13
ABSTRAC.....	14
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
PREGUNTA PROBLEMA.....	20
JUSTIFICACIÓN	21
DELIMITACIÓN	22
METODOLOGÍA	23
PROYECTO ARQUITECTÓNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA EN ADOBE.....	25
CAPITULO I: MARCOS DE REFERENCIA	29
MARCO CONCEPTUAL	29
ADOBE	30
PATOLOGÍAS Y LESIONES	32
TIPOS DE RECUBRIMIENTOS QUE SE HAN IMPLEMENTADO	35
TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS PARA LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS.....	37
ESTADO DEL ARTE	40
ADITIVOS PARA MEZCLAS DE RECUBRIMIENTOS	42
MARCO NORMATIVO.....	48
MÉTODOS DE PRUEBA	48
PRUEBAS PROPIAS	51

PROTECCIÓN Y ACABADO COMPATIBLE CON MUROS DE ADOBE	4
NORMAS Y ESTÁNDARES BIM	53
CONCLUSIÓN DE LOS MARCOS DE ANÁLISIS	56
CAPITULO II: PROPUESTA	57
DELIMITACIÓN DE MATERIALES	57
<i>Recubrimiento</i>	60
<i>Acabado</i>	60
DELIMITACIÓN DE PRUEBAS	62
<i>Protocolos de ensayos</i>	63
PROBETAS	66
ANÁLISIS DE SUELO	68
FABRICACIÓN PROBETA TIPO A	74
PROCESO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO	76
FABRICACIÓN DE PROBETA TIPO B	81
FABRICACIÓN DE PROBETA TIPO C	82
RESULTADOS ESPERADOS Y PROYECCIONES	85
CAPITULO III: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO COLABORATIVO (BIM)	86
MÓDULO 1: INTRODUCCIÓN, NORMAS, ESTÁNDARES, TRABAJO COLABORATIVO E INTEROPERABILIDAD	86
CICLO DE VIDA DEL PROYECTO	87
ROLES BIM	88
USOS BIM	89
DIMENSIONES BIM	91
NIVELES DE DESARROLLO BIM	92
DOCUMENTO EIR (EMPLOYER'S INFORMATION REQUIREMENTS)	93
DOCUMENTO BEP (BIM EXECUTION PLAN)	95
CDE (COMMON DATA ENVIRONMENT) Us BIM	95

PROTECCIÓN Y ACABADO COMPATIBLE CON MUROS DE ADOBE	5
IFC (INDUSTRY FOUNDATION CLASSES) Y BCF (BIM COLLABORATION FORMAT)	97
CONCLUSIÓN MODULO 1	98
MÓDULO 3: MODELADO DE LA EDIFICACIÓN	100
PRELIMINARES DE MODELAR	100
MODELADO DE ESTRUCTURAS	100
MODELADO DE ARQUITECTURA	103
MODELADO DE REDES MEP	105
CONCLUSIÓN MODULO 3	111
MÓDULO 4: COORDINACIÓN DE ESPECIALIDADES, DOCUMENTACIÓN Y TIEMPOS	112
ANÁLISIS DE INTERFERENCIAS E INCONSISTENCIAS	112
CREACIÓN DE INFORMES DE COORDINACIÓN	115
ABSTRACCIÓN Y GESTIÓN DE CANTIDADES	117
CONFIGURACIÓN DE PLANIMETRÍAS Y DOCUMENTACIÓN	120
SIMULACIÓN DE ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS	122
CONCLUSIÓN MODULO 4	125
MÓDULO 5: REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA	126
EXPORTACIÓN A IFC ENTRE OTROS	126
RENDERIZACIÓN EN TIEMPO REAL	127
FOTOMONTAJE Y RETOQUE FOTOGRÁFICOS 3D	128
FONDOS CLIMÁTICOS; MANEJO DE LUCES, SOMBRAS Y REFLEJOS	131
VISUALIZACIÓN DE MODELOS 3D	133
REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA	136
IA	137
CONCLUSIÓN MODULO 4	141

PROTECCIÓN Y ACABADO COMPATIBLE CON MUROS DE ADOBE

6

CONCLUSIÓN GENERAL DIPLOMADO OPEN BIM..... 142

REFERENCIAS.....143

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Zonificación primer nivel..... 26

Tabla 2 zonificación segundo nivel 27

Tabla 3 Elección de materiales para mezclas. 57

Tabla 4 Accesibilidad y costo de materiales. 59

Tabla 5 *Determinación de pruebas* 62

Tabla 6 Procedimiento de ensayos..... 63

Tabla 7 Logística para la realización de ensayos 65

Tabla 8 Pruebas de análisis de suelo 68

Tabla 9 Resultados análisis de suelo..... 70

Tabla 10 Asignación de roles BIM..... 89

Tabla 11 Usos BIM a implementar en el proyecto 90

Tabla 12 Niveles de desarrollo BIM a implementar al proyecto 93

Tabla 13 Documento EIR del proyecto 94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Planta de zonificación primer nivel..... 26

Figura 2 Planta de zonificación segundo nivel..... 27

Figura 3 Muro de adobes..... 30

Figura 4 Patologías y lesiones 34

Figura 5 Tipos de recubrimientos para construcciones en tierra 37

Figura 6 Aditivos naturales 46

Figura 7 Asignación de códigos para pruebas 64

Figura 8 *Probeta tipo A* 66

Figura 9 *Probeta tipo B* 66

Figura 10 *Probeta tipo C* 67

Figura 11 Muestra de Suelo 1 69

Figura 12 Muestra de suelo S2 69

Figura 13 Pruebas de contracción lineal..... 71

Figura 14 Resultados prueba de contracción lineal..... 71

Figura 15 Molde para probetas 74

Figura 16 Proceso de mezcla 75

Figura 17 Vaciado de mezclas..... 75

Figura 18 Limpieza del adobe 76

Figura 19 Colocación de malla en bloques de adobe 76

Figura 20 Humidificación superficie del adobe 77

Figura 21 Extracción de Mucilago de sábila..... 77

Figura 22 Mezcla recubrimiento de tierra + Mucilago de sábila 78

Figura 23 Aplicación de Revoque de tierra + Mucilago de sábila 78

Figura 24 Aplicación de Revoque de tierra + Mucilago a probeta para inmersión total.....	78
Figura 25 Mezcla Revoque de cal + Mucilago de sábila	79
Figura 26 Aplicación Revoque de cal + Mucilago de sábila	79
Figura 27 Aplicación Revoque de cal + Mucilago de sábila probeta para inmersión total.....	79
Figura 28 Curado del recubrimiento.....	80
Figura 29 Probeta tipo B con recubrimiento - aplicación día 1	81
Figura 30 Probeta tipo B con recubrimiento – secado día 15	81
Figura 31 Soporte de probeta tipo C	82
Figura 32 Colocación de adobes sobre soporte.....	82
Figura 33 Colocación de malla	83
Figura 34 Colocación de alero protector	84
Figura 35 Representación ciclo de una edificación	87
Figura 36 Dimensiones BIM	91
Figura 37 CDE en la plataforma US.BIM	96
Figura 38 Paso a paso de la creación de nuestro CDE	96
Figura 39 Aplicación práctica, paso a paso de exportación IFC.....	97
Figura 40 Paso a paso de exportación BCF	98
Figura 41 Preliminares del modelado.....	100
Figura 42 Rejilla y elementos principales	101
Figura 43 Colocación de Zapatas y detalles estructurales.....	102
Figura 44 Losas y escaleras	102
Figura 45 Modelado de muros, puertas y ventanas.....	103
Figura 46 Detalles de Muro en adobe	104
Figura 47 Cubierta del proyecto	104

Figura 48 Redes eléctricas	105
Figura 49 Red eléctrica	106
Figura 50 Aparatos de redes hidrosanitarias.....	107
Figura 51 Redes hidrosanitarias segundo nivel	108
Figura 52 Redes HVAC	110
Figura 53 Guardar los modelados en archivo NWC.....	113
Figura 54 Abrir el archivo convertido a NWC en Navisworks	113
Figura 55 Clash Detective y crear la primera prueba.	113
Figura 56 Crear una prueba integrando todos los modelados de especialidades.	114
Figura 57 Exportación de informes.....	115
Figura 58 Selección del tipo de formato del informe.	115
Figura 59 Análisis del informe de interferencias.	116
Figura 60 Identificación de interferencias en Revit.	116
Figura 61 Estado de las interferencias y asignar notas por especialidad.	116
Figura 62 Seleccionar tabla de cantidades y crear una nueva.....	117
Figura 63 Reorganizar los campos de planificación.....	118
Figura 64 Modificar campos para filtrar la información.....	118
Figura 65 Ordenar y agrupar.....	118
Figura 66 Configurar los formatos de longitud y área.....	119
Figura 67 Ocultar campos innecesarios.....	119
Figura 68 Creación de una nueva lámina en Revit.	120
Figura 69 Selección del rótulo o formato del plano.	120
Figura 70 Impresión o exportación del plano a PDF.....	121
Figura 71 Configuración final de impresión.....	121

Figura 72 Vincular los archivos de cada especialidad del proyecto.....	122
Figura 73 Activación del administrador de conjuntos.	123
Figura 74 Creación de conjuntos por carpeta.....	123
Figura 75 Activación de la opción Para cada conjunto.	123
Figura 76 Visualización del cronograma y generación del diagrama Gantt.	124
Figura 77 Simulación del proceso constructivo.	124
Figura 78 Exportación a IFC desde Revit.....	126
Figura 79 Activación del plugin de D5 desde Revit.....	127
Figura 80 Creación o apertura del proyecto en D5	128
Figura 81 Sincronización y actualización del modelo	128
Figura 82 Apertura de la paleta de recursos y materiales.....	129
Figura 83 Aplicación de materiales sobre el modelo.....	129
Figura 84 Configuración y ajuste de materiales y entorno.....	130
Figura 85 Ajustes manuales del clima y la iluminación	132
Figura 86 Ejemplos de visualización	132
Figura 87 Modos de cámara para distintas vistas del proyecto	133
Figura 88 Visualizaciones básicas	134
Figura 89 Modo Orbitar	134
Figura 90 Modo Volar	134
Figura 91 Modo Caminar	135
Figura 92 Ajustes renderizado en D5.....	136
Figura 93 Integración de 5D E IA.....	137
Figura 94 Integración de 5D E IA Referencia de estilo.....	137
Figura 95 creación del recorrido virtual	137

Figura 96 Ajuste de FPS	138
Figura 97 Renders del proyecto.....	139
Figura 98 Integración con AUGIN	139
Figura 99 Augin	140
Figura 100 Exportar modelo a Augin.	140

Resumen

Las construcciones en adobe enfrentan desafíos en su conservación debido a condiciones climáticas, el uso de materiales inadecuados y la falta de mantenimiento, factores que incrementan su vulnerabilidad a patologías asociadas a la humedad. Una estrategia para proteger estas construcciones de aquella problemática consiste en aplicar recubrimientos superficiales en los muros; sin embargo, muchos recubrimientos presentan deficiencias en aspectos como adherencia, compatibilidad y durabilidad.

Para proponer una solución a esta problemática, esta investigación presenta una metodología donde se analizan recubrimientos tradicionales, el uso de aditivos naturales y su dosificación, para formular una mezcla de recubrimiento la cual será sometidas a diversas pruebas para evaluar su desempeño y efectividad.

Todo ello, con el objetivo de desarrollar un recubrimiento para muros en adobe que mejore su comportamiento frente a la humedad, determinar la mejor práctica constructiva y brindar recomendaciones, así contribuir al conocimiento técnico y práctico para la conservación y construcción tanto de edificaciones existentes o nuevas en adobe.

Adicionalmente, el proyecto implementa la metodología BIM (Building Information Modeling) como proceso para representar la gestión de la información a partir de normas, estándares, la elaboración de documentos técnicos contractuales como EIR y BEP, pasando por el modelado 3D de la arquitectura y demás ingenierías, para luego de una coordinación técnica, extraer documentación y cantidades que servirán para un costeo más preciso del proyecto, promoviendo desde un entorno común de datos, formatos como IFC Y BCF el trabajo colaborativo entre los distintos involucrados.

Palabras claves: Adobe, Humedad, Recubrimientos, Aditivos naturales, Conservación, Metodología BIM, Gestión de información, Colaboración.

Abstrac

Adobe constructions often experience deterioration caused by weather conditions, the incorporation of unsuitable materials, and insufficient maintenance factors that make them more susceptible to moisture-related damage. One approach to reduce these issues is the application of protective layers on the walls; however, many of these finishes still show limitations in terms of adhesion, compatibility, and long-term performance.

In response to these challenges, this study proposes a methodology that examines traditional finishing systems, explores the incorporation of natural additives and their proportions, and formulates a mixture intended to be tested through different procedures to determine its efficiency and durability.

The objective is to create a protective layer for earthen walls that enhances their resistance to moisture, establishes the most appropriate constructive practices, and offers guidelines that strengthen both theoretical and practical understanding for the conservation and construction of heritage and contemporary earthen buildings.

Additionally, the project applies the BIM methodology as a tool for structuring and managing information according to standards and regulations. This includes the preparation of contractual and technical documents such as the EIR and BEP, the digital modeling of architecture and engineering disciplines, and later, technical coordination, documentation, and quantity extraction processes that support more accurate project development and promote collaboration among all stakeholders through a shared data environment using formats like IFC and BCF.

Keywords: Adobe, Moisture, Protection, Natural additives, Earthen coatings, Conservation, BIM methodology, Information management, Collaboration.

Introducción

Las construcciones en tierra han sido utilizadas durante siglos en Bogotá. El bahareque de origen precolombino fue adoptado por obreros y campesinos como sistema para levantar sus viviendas mientras que el adobe y la tapia pisada fueron utilizados para construir las viviendas de mayor tamaño, edificios de importancia civil e iglesias (Rivero, 2007). Las construcciones en estos materiales tienen múltiples beneficios; están elaboradas con recursos locales, son accesibles económicamente, tienen bajo impacto ambiental, buen rendimiento térmicos y acústico.

Sin embargo, las construcciones en tierra por las cualidades de sus materiales, son susceptibles a la humedad, lo que compromete su estructura y durabilidad, factores como la exposición a la intemperie, falta de protección, adecuada impermeabilización y el uso de recubrimientos incompatibles, agravan la problemática de la humedad, causando lesiones que llevan al deterioro de la mampostería.

La investigación busca brindar una solución a esta problemática enfocándose especialmente en las construcciones en adobe, mediante el desarrollo de un recubrimiento, el reconocimiento de técnicas constructivas adecuadas para su aplicación y tratamientos superficiales, buscando mitigar los efectos de algunos tipos de humedad. Para ello, se estudiarán diferentes mezclas con aditivos naturales que mejoren las características del recubrimiento. A través de pruebas experimentales, se evaluará el comportamiento de las mezclas propuestas, determinando su efectividad en la protección de los muros en adobe.

La importancia de esta investigación se fundamenta en la necesidad de desarrollar soluciones para prolongar la vida de las edificaciones en adobe, respetando su naturaleza. Al generar un recubrimiento de protección, se contribuirá a la preservación del patrimonio, las viviendas existentes y construcciones nuevas que emplean la mampostería en adobe.

Complementado, este proyecto integrará la metodología BIM como un recurso innovador, ya que esta metodología nos permitirá aplicar estrategias como el registro, organización y formas de visualizar información. En este caso la investigación del recubrimiento se llevará a la práctica en el proyecto *CoWork Lab – Oficinas Multifuncionales*, el cual pasará por el modelado 3D de su arquitectura general, sus fachadas donde se implementa el envolvente en adobe, su estructura y demás ingenierías MEP (sistemas Mecánicos, Eléctricos y de Plomería). Esto para dejar un modelo digital completo. Además, el uso de BIM facilita la planificación de costos y mantenimiento del material, así se conecta la investigación con herramientas digitales para aplicar en proyectos.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un recubrimiento a base aditivos naturales, para proteger muros en adobe mejorando su comportamiento frente a la humedad, integrando la metodología BIM como proceso para documentar, analizar y gestionar su aplicación en un proyecto arquitectónico, aportando soluciones estandarizadas para la conservación del adobe.

Objetivos Específicos

1. Analizar los mecanismos de falla en los recubrimientos para muros en adobe expuestos a intemperie, para formular mezclas de recubrimiento con aditivos naturales, mediante ensayos experimentales para su evaluación.
2. Definir el proceso constructivo para la aplicación de recubrimientos en muros de adobe en la envolvente de un proyecto arquitectónico.
3. Proyectar la incorporación del muro en adobe dentro del desarrollo arquitectónico, coordinándolo con las demás especialidades mediante la metodología BIM, con el fin de evaluar en las etapas de diseño su factibilidad técnica.

Planteamiento del problema

Las técnicas constructivas en tierra han sido fundamentales en la historia del desarrollo arquitectónico de Bogotá, gracias a sus múltiples beneficios. Considerando su importancia y sostenibilidad, se han identificado factores que influyen en su conservación y deterioro: las condiciones ambientales y climáticas, errores en el diseño o cimentación, el uso de materiales inadecuados y la falta de mantenimiento, son factores que afectan negativamente el ciclo de vida de edificaciones que presentan técnicas constructivas en tierra. Para mejorar estos aspectos, revalorizar y preservar estas técnicas, la incorporación de metodologías como BIM son ideales, ya que el diseño y gestión colaborativa de varias especialidades puede mejorar el comportamiento de los elementos constructivos, añadir información más precisa sobre materiales, rendimientos y costos. Con ello se alcanza una trazabilidad que los procesos de estas técnicas constructivas no siempre garantizan.

Continuando con los aspectos sobre los elementos constructivos en tierra, estos deben protegerse para mitigar su vulnerabilidad, una forma es mediante un recubrimiento, este debe cumplir una doble finalidad; “garantizar la durabilidad del material que compone el muro de cerramiento y en consecuencia la integridad del elemento constructivo, garantizar el comportamiento higrotérmico previsto de dicho cerramiento (no viéndose afectado este por la presencia de humedad).” (Castilla, 2011). No obstante, propiedades como la adherencia, compatibilidad y durabilidad son de las principales dificultades que presentan los recubrimientos para muros en tierra. Los recubrimientos de mayor uso son a base de tierra, cemento o algún aditivo natural. A través de BIM es posible vincular al modelo digital de las edificaciones las características técnicas de los recubrimientos y también analizar de manera anticipada su desempeño frente a factores ambientales, climáticos y el paso del tiempo.

Los recubrimientos que tienen como base la misma tierra de la tapia, el adobe o el bahareque, tienen una buena adherencia y compatibilidad con los muros, sin embargo, como indica López (2017)

“también se ven afectados por el medio ambiente ya que las condiciones climatológicas, de orientación, grado de exposición del muro y las condiciones de ejecución pueden afectar las características finales y desencadenar patologías particulares en los revestimientos.”

Por otro lado, según Viñuales (1981) En relación con las malas intervenciones, varias son causadas por la pérdida de conocimiento de los revestimientos ya que se aplican productos que no son apropiados (cemento o productos industriales) con el barro, generando las patologías, “Los revocos de cemento no son los más adecuados para revestir, dada la excesiva diferencia de rigidez con los muros (que origina la aparición de fisuras y desprendimiento del mismo) y excesiva impermeabilidad, no permitiendo el secado cuando estos se humedecen a través de las fisuras del propio mortero” (Castilla F. , 2011).

Otros tipos de recubrimiento se basan en aditivos naturales, como el mucílago de nopal. Una investigación señala que “El nopal tiene un material conocido como ‘mucílago’, la cual tiene una composición semejante a la de las gomas, esto nos indica que puede funcionar para impermeabilizar” (Pinzón & Benítez, 2019). Sin embargo, en las pruebas realizadas se observó que “El que mejor rendimiento presentó en las pruebas de goteo, fue el nopal sin curado, su nivel de absorción de humedad está entre un 33% a un 34% comparado con las demás” (Pinzón & Benítez, 2019). Esto demuestra que, con el tiempo, el recubrimiento pierde propiedades y requiere aplicaciones periódicas para mantener su efectividad.

En este sentido, es importante reconocer que los procesos constructivos tradicionales en tierra han sido transmitidos en generaciones y han demostrado su eficacia en contextos locales. No obstante, muchas veces carecen de documentación e información, lo que ha llevado a errores en su aplicación o a la sustitución por materiales incompatibles. Es por ello que la metodología BIM puede desempeñar un papel clave al digitalizar estos procesos, registrando las técnicas de aplicación de recubrimientos, las dosificaciones de materiales y las condiciones óptimas de ejecución.

Mediante modelos digitales, BIM no solo permite simular el comportamiento de los recubrimientos en distintas condiciones, sino también estandarizar y tecnificar procedimientos constructivos tradicionales e integrarlos en protocolos técnicos. Además, a través del entorno común de datos, garantiza que el conocimiento quede documentado y disponible para las diversas especialidades presentes en un proyecto, evitando la pérdida de saberes locales y fomentando intervenciones más responsables.

Es así que la investigación sobre recubrimientos en tierra se potencia al articularse con BIM, ya que este permite vincular los resultados experimentales con herramientas digitales de gestión, conservación y mantenimiento, asegurando que las soluciones desarrolladas sean aplicables a nuevas edificaciones, revalorizando y protegiendo las técnicas constructivas tradicionales.

Pregunta problema

¿De qué manera la metodología BIM puede gestionar la incorporación de muros en adobe con recubrimientos a base de aditivos naturales, garantizando su protección y evaluando en el diseño arquitectónico su factibilidad técnica y posibilidades de estandarización?

Justificación

Es fundamental abordar los problemas de deterioro en las construcciones de adobe especialmente frente a la vulnerabilidad por humedad pues, esto compromete la estabilidad estructural, acelera la degradación y reduce la vida útil de las edificaciones construidas en este material, pues es el principal agente que afecta a las construcciones de tierra, ya que provoca la disgregación del material, la pérdida de cohesión y la erosión progresiva de los muros. (Gómez, Mileto, & Vegas, 2017).

Las patologías por humedad en muros de adobe se deben, en gran parte, por exposición a intemperie sin la protección adecuada. En Bogotá, las lluvias frecuentes y la humedad agravan esta situación, lo que hace urgente implementar estrategias de protección. Los recubrimientos son una alternativa viable, aunque muchos de los que se han usado presentan deficiencias o resultan incompatibles con el adobe, afectando sus propiedades y generando nuevas problemáticas.

Por ello, es fundamental desarrollar un recubrimiento compatible con el adobe, eficiente en adherencia, resistencia y mantenimiento. Además, se resalta la importancia de buscar que este recubrimiento sea de materiales naturales como aditivos vegetales, minerales y animales. Con el fin de ofrecer una protección sostenible para mejorar el comportamiento del adobe frente a la humedad.

En este caso, la implementación de BIM permite integrar los resultados de la investigación sobre recubrimientos para la protección del adobe en un proyecto arquitectónico. A través de la representación digital de los muros en adobe dentro del desarrollo arquitectónico, coordinándolos con las demás especialidades y evaluando en las etapas de diseño su factibilidad técnica. Por ello, el desarrollo de un recubrimiento debe complementarse con herramientas digitales que aseguren su factibilidad contribuyendo tanto a la conservación de la construcción en tierra como a su implementación viable en proyectos contemporáneos.

Delimitación

Aunque existen varios sistemas constructivos en tierra, esta investigación se enfocará exclusivamente en el adobe y en edificaciones diseñadas con este material, ubicadas en la ciudad de Bogotá. Este se elige por múltiples razones: se evidencia es un sistema común en diferentes tipos de edificaciones históricas, viviendas o elementos patrimoniales, es un material local de fácil acceso, tiene un bajo costo, es eficiente térmicamente, su producción y materiales generan un bajo impacto ambiental.

Definido el enfoque hacia el adobe, se aclara que no se contempla una mejora estructural de este, pues la investigación y trabajos a realizar serán sobre la superficie del adobe, con el fin de buscar su protección mediante un recubrimiento; puesto que se aborda en especial la deficiencia e incompatibilidad que presentan los recubrimientos que se han implementado para proteger los muros de adobe de las patologías de humedad y principales agentes de deterioro.

La investigación enfoca el BIM a usos específicos que complementan lo experimental y fortalecen su aplicación en el proyecto arquitectónico. En primer lugar, el modelado 3D permitirán representar los muros de adobe, sus recubrimientos en el desarrollo arquitectónico, coordinándolo con las demás especialidades. De igual forma, la planificación de fase 4D y la simulación de actividades constructivas para un proceso eficiente, coordinando especialidades y evitando interferencias. A través de la estimación de cantidades y costos se podrán calcular materiales y recursos necesarios fase 5D.

Finalmente, el proyecto incorporará usos BIM vinculados al mantenimiento 7D y la sostenibilidad 6D, registrando datos sobre la durabilidad y evaluando su impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida. De este modo, BIM trasciende esta investigación experimental y se convierte en una plataforma colaborativa que asegura la factibilidad técnica de soluciones para la conservación del adobe.

Metodología

Esta investigación propone el desarrollo de un recubrimiento a partir de aditivos naturales, junto con la identificación de un proceso constructivo óptimo que proteja los muros en adobe. Seguidamente, la solución desarrollada se implementará en el envolvente hecho en adobe, así se proyecta la incorporación del muro en adobe dentro del desarrollo arquitectónico, coordinándolo con las demás especialidades mediante la metodología BIM, con el fin de evaluar en las etapas de diseño su factibilidad técnica. Para ello, la investigación y el proyecto se complementarán con el uso de Building Information Modeling, proceso que brinda múltiples beneficios. Para que esto sea logrado, se plantea la siguiente metodología:

- 1. Selección de materiales:** Se investigará documentación sobre las patologías en muros de adobe, así como los recubrimientos que se han empleado para su protección. A partir de esto, se establecerán criterios que permitan comparar los aditivos naturales y seleccionar aquellos con mejor rendimiento para la elaboración de mezclas de recubrimiento.
- 2. Preparación y aplicación del recubrimiento:** Definir las proporciones de cada material a emplear. Aplicar las mezclas a los adobes, documentando el proceso, los tiempos de secado y comportamiento de cada recubrimiento.
- 3. Identificación de proceso constructivo:** Identificar qué técnica y procedimiento generan una mayor eficiencia en el comportamiento los recubrimientos para adobe frente a la humedad.
- 4. Pruebas y monitoreo:** Realizar las pruebas pertinentes para caracterizar cada mezcla. Además, establecer tiempos y condiciones de seguimiento, esto se acompañará de registros fotográficos y mediciones documentadas.
- 5. Análisis de resultados:** Evaluar los resultados y comparar los diferentes recubrimientos según eficiencia, protección y durabilidad del adobe para identificar ventajas y limitaciones de cada

recubrimiento. Con esto, se definirá cual es el recubrimiento compatible con muros en adobe que mejora su comportamiento frente a la humedad.

- 6. Implementación en proyecto arquitectónico:** Con el recubrimiento más adecuado, la investigación será puesta en práctica en un proyecto arquitectónico de *Oficinas Multifuncionales CoWork Lab*. Para ello se empleará el BIM, teniendo en cuenta sus normas, estandartes, usos y asignación de roles. Se iniciará planteando los documentos guías de trabajo el EIR (Requisitos de Información del Empleador) y el BEP (Plan de Ejecución BIM).
- 7. Creación el modelo digital:** Se generará un modelo tridimensional del proyecto de forma colaborativa entre especialidades; arquitectura, estructura y MEP (sistemas Mecánicos, Eléctricos y de Plomería), para ello se almacenará toda la información CDE (Entorno Común de Datos) donde se designarán flujos de trabajo para facilitar la trazabilidad y garantizando que todos los equipos accedan a los datos del proyecto.
- 8. Documentación:** Con la metodología BIM y el modelo será posible coordinar detalles constructivos y detectar interferencias mediante informes de coordinación, además extraer cantidades precisas de materiales, simular actividades constructivas y planificar su ejecución y mantenimiento, garantizando procesos más eficientes y estandarizados.
- 9. Entrega del proyecto:** La propuesta se presentará mediante planos, renderizaciones y visualizaciones 3D del modelo digital, complementadas con experiencia de realidad virtual inmersiva. Estas herramientas facilitarán la comprensión del diseño, la aplicación del recubrimiento en los muros de adobe y su impacto en el proyecto arquitectónico.

Proyecto arquitectónico para la implementación de la técnica constructiva en adobe

A continuación, se describirá el proyecto en el que se implementará la investigación, para realizar la ejecución y modelado del mismo con el uso de la metodología BIM.

CoWork Lab – Oficinas Multifuncionales

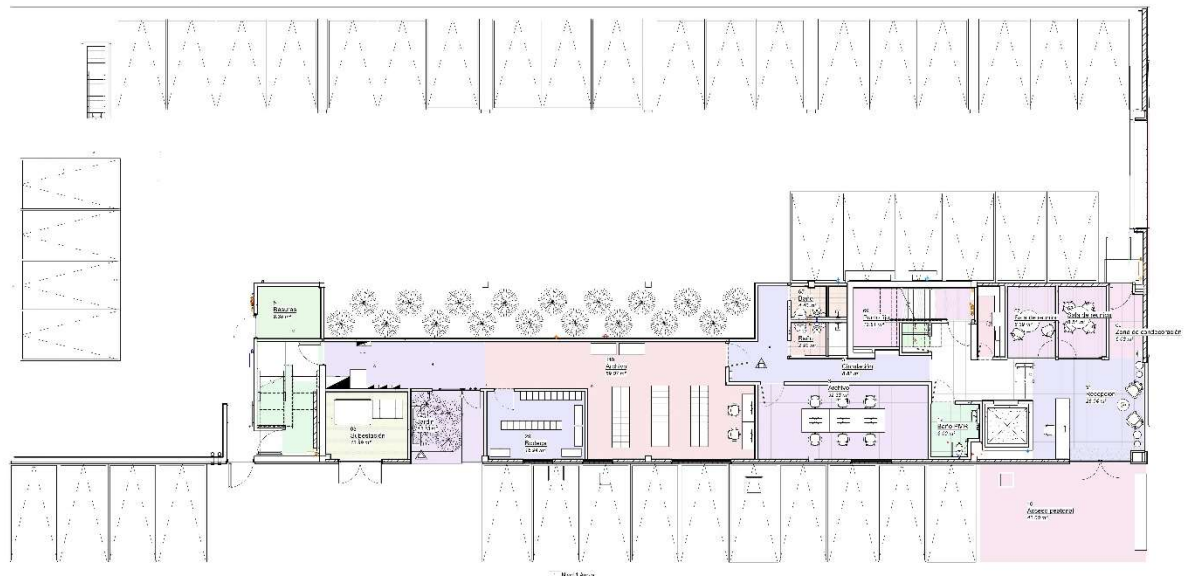
Es una edificación diseñada para adaptarse a las dinámicas de la empresa que la ocupe, el proyecto busca promover un modelo flexible de trabajo con enfoque en el coworking. Este contempla dos niveles que integran de manera eficiente áreas operativas, técnicas y administrativas, garantizando un equilibrio entre productividad y bienestar.

La distribución busca optimizar la funcionalidad de cada espacio, diferenciando claramente las zonas técnicas de las administrativas, sin perder la posibilidad de interacción entre ellas. El edificio incorpora áreas de uso común, espacios colaborativos, terrazas y zonas verdes que fomentan el bienestar y la integración entre los usuarios. Su concepción arquitectónica responde a un diseño moldeable y multifuncional, capaz de adaptarse a diversos esquemas de trabajo: desde oficinas privadas hasta áreas abiertas para equipos, coworking y actividades colectivas.

- Primer nivel – Área Operativa y Técnica (414.39 m²):

El primer nivel alberga la infraestructura para el funcionamiento del edificio. Aquí se encuentran la recepción principal, varias salas de reuniones, una cocineta, baños, un cuarto eléctrico, cuartos mecánicos, y un espacio verde que busca vincular un entorno natural para zonas de descanso y mejoramiento del espacio urbano. Este piso también incluye un parqueadero para visitantes, personal y personas con movilidad reducida, por otro lado, se evidencian 2 tipos de circulaciones verticales como (escalera y ascensor) que conectan con el nivel superior.

Figura 1 Planta de zonificación primer nivel



Nota: Imágenes propias.

Tabla 1 Zonificación primer nivel

DISTRIBUCIÓN PRIMER NIVEL			
Zonificación	Espacio	Usos	Área m ²
Área Servicios	Cuarto de Basuras	Operativo	8.13
	Planta eléctrica	Infraestructura	13.90
	Baños	Servicios generales	13.00
	Bodega	Logístico	60.24
Área Operativa	Oficinas	Productivo	16.9
	Archivos	Soporte	43.05
	Sala de reuniones	Colaborativo	16.9
Área Común	Cocineta	Servicios	6.00
	Recepción	Atención	41.62
	Parqueaderos	Logístico	120.00

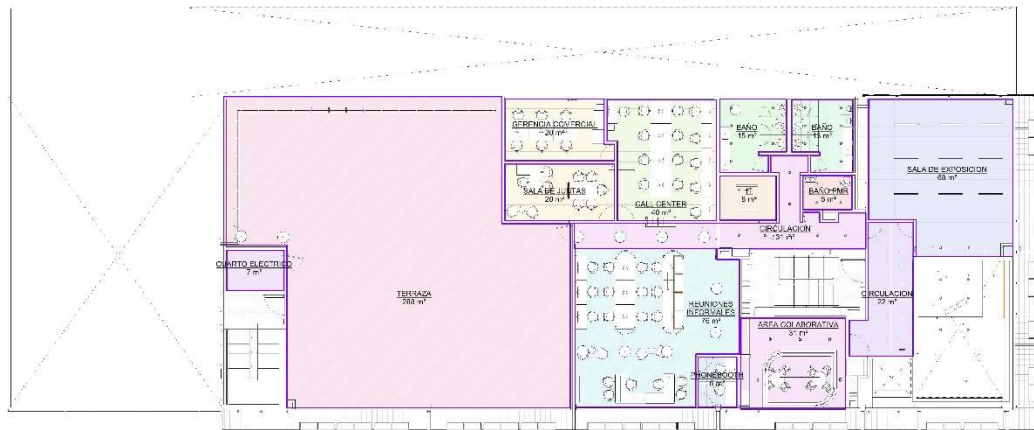
Nota: Elaboración propia.

- **Segundo nivel – Área Administrativa (532.13 m²):**

Con una superficie menor al primer nivel, el segundo piso está enfocado en el trabajo administrativo. Cuenta con oficinas cerradas, módulos de trabajo abiertos que promueven la colaboración, y un amplio pasillo de circulación a lo largo de la fachada, que asegura una adecuada

conectividad interna. Uno de sus elementos más destacados es una gran terraza, que ocupa aproximadamente la mitad de este nivel, ofreciendo un espacio de esparcimiento o eventos al aire libre. También dispone de baños y acceso por escalera y ascensor.

Figura 2 Planta de zonificación segundo nivel



Nota: Imágenes propias.

Tabla 2 zonificación segundo nivel

DISTRIBUCIÓN SEGUNDO NIVEL			
Zonificación	Espacio	Usos	Área m ²
Área Servicios	Cuarto eléctrico	Técnico	12.35
	Planta eléctrica	Infraestructura	13.90
	Baños	Servicios generales	30
Área Operativa	Gerencia comercial	Directivo	15
	Oficinas	Productivo	76
	Sala de juntas	Soporte	40
	Call center	Corporativo	40
Área Común	Terraza	Recreativa	288
	Área colaborativa	Colaborativo	31
	Sala de exposición	Comercial	66
	Auditorio	Eventos	68

Nota: Elaboración propia.

Como se planteó anteriormente, la investigación se pondrá en práctica al ser implementada en una edificación, para ello *CoWork Lab, Oficinas Multifuncionales*, para el diseño de la envolvente de sus fachadas usará mampostería en adobe; en el primer nivel este tipo de envolvente se dispondrá en las fachadas norte, sur y este. En el segundo nivel, los muros en adobe estarán presentes en todas las fachadas. La ubicación e implementación de este sistema se planifico con el propósito de integrar de manera eficiente este tipo de acabado en el diseño arquitectónico.

La metodología BIM permitirá gestionar y modelar digitalmente la arquitectura general, sus fachadas donde se implementa el envolvente en adobe, su estructura y demás ingenierías MEP del proyecto. Además, el modelo nos brindara información precisa sobre cantidades de materiales, procesos constructivos, costos asociados y protocolos de mantenimiento, asegurando trazabilidad en cada etapa.

De igual forma, el modelo BIM servirá como plataforma de coordinación entre especialidades para detectar posibles interferencias, planificar la ejecución en obra y realizar simulaciones que evalúen la durabilidad y sostenibilidad. Con ello, se garantiza no solo la validación técnica de la investigación, sino también su integración práctica y estandarizada en un proyecto arquitectónico, fortaleciendo el vínculo entre investigación experimental, innovación tecnológica y aplicación en la conservación constructiva en tierra.

CAPITULO I: MARCOS DE REFERENCIA

Marco Conceptual

Los conceptos de recubrimientos y patologías por humedad en construcción son fundamentales en esta investigación sobre el desarrollo de un recubrimiento y la identificación de técnicas constructiva adecuadas, que mitiguen los efectos de algunos tipos de humedad en muros de adobe, dado su impacto en la protección y durabilidad de estas construcciones. Pues esta es una de las principales problemáticas de las construcciones en tierra, ya que presentan alta vulnerabilidad a esta patología, por su capacidad de absorción de agua.

Por ello, comprender los aspectos que cambian cómo actúan los recubrimientos y el adobe es esencial para desarrollar soluciones eficientes y sostenibles que mitiguen esta problemática. Este marco teórico abordará la materialidad del adobe, las patologías relacionadas con la humedad, diversos recubrimientos, sus características, aditivos y estabilizantes naturales y métodos de prueba. Con el fin de establecer lineamientos para el desarrollo y la aplicación de un recubrimiento que proteja y sea compatible con los muros en adobe.

Adobe

Figura 3 Muro de adobes



Nota: Fotografía muro de adobe en Fragmentos, Espacio de Arte y Memoria, Imágenes propias.

El adobe es un material de construcción hecho de mezcla de arcilla, limo y arena, cuyos porcentajes varían entre 10-30%, 10-40% y 40-85% respectivamente. (Guerrero, 2019), y fibras vegetales, que lo refuerzan aumentando su resistencia. Esta mezcla se moldea en ladrillos y se deja secar al sol. Cada elemento tiene una granulometría (tamaño de grano) y función diferente: Arcilla (< 0.002 mm), aporta estabilidad y reduce la contracción del adobe al secarse. Limo (0.002 - 0.06 mm), actúa como material intermedio, facilitando la cohesión entre la arena y la arcilla. Arena (0.06 - 2 mm), aporta estabilidad y reduce la contracción del adobe al secarse.

Propiedades del adobe

Las propiedades son características que podemos ver o medir en un material sin que este cambie lo que es. A continuación, se presentan las propiedades relevantes del adobe, estas se clasificarán por propiedades: mecánicas o físicas, térmicas, y ecológicas:

Propiedades mecánicas

- **Resistencia a la compresión:** Capacidad de un material para soportar fuerzas o carga de aplastamiento. “la resistencia a compresión del adobe indica que si no existe suficiente cantidad de arcilla en la mezcla no se conseguirá la cohesión necesaria de todas las partículas para soportar las cargas a las que estará sometida.” (Muñoz, 2023).
- **Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de un material, el adobe es un material denso, tiene una alta masa por unidad de volumen.
- **Retracción y expansión:** Características que cambian según la humedad que tenga el material. La retracción ocurre cuando el adobe pierde agua y reduce su volumen, generando fisuras en la superficie. La expansión ocurre cuando el adobe absorbe agua y aumenta su volumen, generando deformaciones.
- **Compatibilidad:** Cuando un material interactúa adecuadamente o trabaja efectivamente con otros, sin afectar sus propiedades, rendimiento o causar problemas cuando se combinan.
- **Adherencia:** Capacidad de dos materiales diferentes para unirse y mantenerse juntos.

Propiedades térmicas

- **Inercia térmica:** Capacidad de un material para almacenar calor y liberarlo progresivamente. “La energía solar que incide sobre una pared externa de adobe se devuelve al ambiente en un determinado porcentaje y otra parte es absorbida por el material transmitiéndose al interior de la vivienda.” (Céspedes, 2006).
- **Conductividad térmica:** Es la resistencia del material a la transferencia de calor a través de su estructura, determina La velocidad con la que el calor atraviesa un material. Como el adobe tiene baja conductividad térmica, el calor tarda en pasar de un lado del muro al otro, lo que evita que el interior se caliente rápidamente.

- **Transpirabilidad:** Es la capacidad de un material para dejar pasar el vapor de agua sin quedárselo adentro. “Debido a la porosidad abierta de la tierra es un material que respira, permitiendo un cambio de vapor de agua entre el interior y el exterior de la construcción, contribuyendo al confort térmico de las edificaciones.” (López, 2017).
- **Higroscopicidad:** Capacidad para absorber y liberar la humedad del aire.
- **Permeabilidad:** Es la capacidad de un material para dejar pasar fluidos como agua, aceite o aire. Entre más grandes y bien distribuidos sean sus poros, más fácil será que los fluidos lo atraviesen.

Propiedades ecológicas

- **Biodegradabilidad:** Propiedad de un material para descomponerse naturalmente y reintegrarse al medio ambiente sin generar residuos contaminantes. El adobe por sus componentes naturales puede reintegrarse al suelo sin causar impactos negativos.
- **Reciclabilidad:** Capacidad de un material para ser reutilizado o transformado en un nuevo producto sin contaminar. Se pueden moler los restos de adobe, combinarlos con agua y estabilizantes para fabricar nuevos bloques.

El adobe como una técnica contractiva en tierra, posee propiedades importantes que lo hacen un material resistente, eficiente térmicamente y sostenible. Sin embargo, estas propiedades también pueden hacer que el material sea vulnerable a algunas patologías.

Patologías y lesiones

Aunque las técnicas constructivas en tierra tienen grandes, no están exentas de presentar algunos inconvenientes. Las patologías y lesiones son problemas y defectos que pueden surgir por diversos factores como: las condiciones ambientales, factores climáticos, errores en el diseño o la cimentación, el uso de materiales inadecuados y la falta de mantenimiento. Esta investigación se

enfocará especialmente en la patología de humedad y sus lesiones, ya que son las que más se evidencian, además, según Gómez, Mileto, & Vegas (2017). La humedad es la principal causa de deterioro en construcciones de tierras, ya que provoca la disgregación del material, la pérdida de cohesión y la erosión progresiva de los muros.

Es por ello que las construcciones en tierra deben tener una mayor protección frente a la humedad, la falta de esta a causa de factores como los anteriormente mencionados, es una de las problemáticas que se evidencian en las construcciones en tierra. Teniendo en cuenta información tomada de diferentes fuentes que documentan las patologías y lesiones de construcciones en tierra, estos son algunos de los tipos de humedades que se pueden presentar:

- **Humedad por capilaridad:** Se origina cuando el agua asciende desde el suelo a través de los poros de los materiales, esto se ocasiona, por el factor de la falta o ineficiencia de barreras impermeables en la cimentación de una edificación. Las lesiones que causa se presentan en la base de los muros como manchas oscuras, desprendimiento de recubrimientos, deterioro o pérdida en la base de los muros.
- **Humedad por filtración:** Ocurre cuando el agua penetra a través de grietas, fisuras o superficies, se ocasiona en elementos constructivos por factores como mala impermeabilización, un sistema de drenaje o protección de cubierta deficiente. Las lesiones que causa se presentan como manchas de humedad, moho, desprendimiento de recubrimientos o abombamiento de la capa de pintura.
- **Humedad por escurrimiento:** Sucede cuando el agua de lluvia o de otras fuentes se desliza por superficies de manera constate o se acumula en ciertos puntos, es frecuente en cubiertas y fachadas expuestas, a causa de por factores como una impermeabilización o protección de cubierta deficiente. Las lesiones se muestran como manchas oscuras y desgaste en materiales de recubrimiento.

- **Humedad por condensación:** El vapor de agua se acumula y no se disipa, es común en espacios donde hay factores de mala ventilación o falta de materiales que regulen la humedad del aire. Las lesiones se manifiestan con la aparición de moho negro, malos olores y sensación de humedad constante en el ambiente.

Figura 4 *Patologías y lesiones*



Nota: Edición e Imágenes propias.

Sintetizando, las construcciones en tierra pueden presentar diversas patologías y lesiones que afectan su estabilidad y durabilidad, siendo la humedad uno de los principales agentes de deterioro. Factores como la porosidad del material, la falta de mantenimiento, el uso de recubrimientos inadecuados y las condiciones ambientales adversas contribuyen a la degradación progresiva de los muros de adobe, comprometiendo su integridad estructural y funcional.

Las construcciones en adobe contemplan una ineficiencia con relación a su diseño y tipos de recubrimientos ya que, algunas edificaciones no cuentan con un alero que desvíe el agua proveniente de la cubierta, o cuando están directamente expuestas a la lluvia y al viento, el agua escurre de manera inevitable por las superficies exteriores. Este descenso continuo de agua lava las fachadas de los muros de adobe desarrollando diferentes tipos de humedades. manual de Rehabilitación de vivienda edificada con sistemas constructivos tradicionales, (CONAVI Comisión Nacional de Vivienda, 2022).

Esto hace evidente la necesidad de medidas que protejan y mitiguen el impacto de la humedad en estas construcciones. Comprender los distintos tipos de humedad y sus efectos permite proponer soluciones para evitar y prevenir su avance en el daño en los materiales y con ello extender la vida útil de los elementos de las edificaciones.

Teniendo en cuenta esto, una medida de protección frente a la humedad, en la que se enfocara esta investigación es en los recubrimientos de los muros en adobe, a continuación, se presentan algunos de los que se han utilizado:

Tipos de recubrimientos que se han implementado

Los muros de adobe requieren recubrimientos que los protejan de factores climáticos y en ocasiones mejoren su desempeño estructural, es importante que estos sean adecuados y compatibles, para que no comprometan las propiedades del adobe. Estos recubrimientos pueden ser a base de materiales naturales o materiales industriales. Llamamos recubrimiento al tratamiento que se aplica al muro, con el fin de protegerlo, mejorar sus propiedades o darle un aspecto determinado, ya sea durante su construcción o posteriormente, cuya función es protegerlo, mejorar su desempeño o proporcionar un acabado específico a su superficie. En seguida se describen los tipos de recubrimientos más comunes y sus principales características:

- **Revoque de Barro:** Compuesto por la mezcla de barro, arena paja y agua, para formar una pasta maleable. Presenta ventajas en términos de transpirabilidad con el adobe. Sin embargo, su composición también implica desafíos cuanto a su durabilidad y resistencia a largo plazo en climas adversos.

- **Revoque de cal:** Mezcla de cal, arena y agua, aplicada en capas sobre la superficie del muro.
Uno de los beneficios del revoque de cal es su transpirabilidad, su capacidad de dejar pasar el vapor de agua sin que se quede dentro del muro.
- **Revoque de cemento:** Compuesta por cemento, arena y agua, en algunos casos aditivos.
Aunque ofrece una alta resistencia, el cemento es no compatible con materiales porosos como la tierra, ya que afecta su transpirabilidad y provocar acumulación de humedad en el muro, esto puede generar fisuras y grietas en la superficie, provocando con el tiempo el desprendimiento del revoque.
- **Revoque de Arcilla con Alumbre:** El alumbre es un sulfato de aluminio y potasio usado de aglutinante, endurecedor e impermeabilizante natural. Su adición en la mezcla de arcilla reduce la absorción de agua sin sellar el muro completamente, permitiendo la transpirabilidad.
- **Mallas de refuerzo:** Mejoran la estabilidad, resistencia y ayudan a la adherencia de los recubrimientos al muro, así se reduce la formación de grietas. La malla se fija por medio de clavos y luego el recubrimiento se aplica sobre esta. Pueden ser sintéticas, metálicas o de fibras naturales.
- **Aceites Naturales:** A diferencia de los selladores, los aceites penetran en la superficie en lugar de impermeabilizar, permitiendo que el muro respire y evitando la acumulación de humedad. Los aceites que se emplean son: aceite de linaza, coco, jojoba o aceites de cítricos. Debe tener un mantenimiento con una nueva capa dependiendo de la exposición a la intemperie.
- **Pintura de Arcilla:** Utilizada para decorar y proteger paredes. Está compuesta por polvo de arcilla, arena o polvo de mármol, pigmentos minerales y aglutinantes naturales como celulosa o caseína.
- **Pintura de Cal:** Compuesta por cal, agua y pigmentos se utiliza para crear una superficie lisa y blanca, además previene la aparición de moho y hongos.

- **Pintura de Silicato:** Basada en silicato potásico y pigmentos inorgánicos, actúa como aglutinante, es impermeable, pero permite la transpiración de vapor de agua, evitando problemas de humedad y moho.

Figura 5 Tipos de recubrimientos para construcciones en tierra



Nota: Adaptado de: “Revestimiento de pared con barro “ 2016. (<https://www.laecogranja.org>)

Los recubrimientos para muros de adobe son esenciales para su protección y durabilidad. Los naturales permiten la transpirabilidad, mientras que los industriales pueden afectar negativamente las propiedades del adobe y generara algunas problemáticas. Para la elección de estos se debe considerar las condiciones ambientales, factores climáticos y las necesidades específicas de la construcción.

Técnicas constructivas para la aplicación de recubrimientos

La aplicación de recubrimientos en muros de adobe requiere de técnicas constructivas adecuadas para este material, pues en este proceso se debe contemplar varios aspectos, para permitir que el recubrimiento se asiente y adhiera correctamente.

Para la descripción de las técnicas constructivas que se mencionan a continuación, se toma como referencia información de diversas fuentes y documentos de investigación, estudios, manuales y videos donde se tratan técnicas de rehabilitación, reforzamiento y acabados de construcciones en tierra.

1. Preparación de la superficie

“Para tener una buena adherencia del mortero sobre la superficie soporte es necesario que la pared esté libre de impurezas y previamente humedecida para poder evitar las fisuras por la retracción.” (Peñaloza, 2012).

- **Limpieza:** Retirar cualquier suciedad, polvo o material suelto de la superficie del muro utilizando una escoba o cepillo de cerdas duras.
- **Humedecimiento:** Se debe mojar ligeramente la superficie con agua, utilizando una botella con atomizador o un balde, esto se hace para reducir la absorción rápida por parte del muro, del agua contenida en la mezcla del recubrimiento, ya que esto puede provocar grietas, fisuras o una mala adherencia, además facilita la aplicación del recubrimiento, ya que la mezcla se extiende mejor con el muro húmedo.

2. Colocación de malla de refuerzo (opcional)

“En algunos casos se colocan mallas para mejorar el comportamiento estructural de los muros esta puede ser, metálica, plástica o de fibras naturales. Este sistema de refuerzo que consiste en poner una malla sobre toda la superficie del muro, hace que haya como una estructura externa que actúe como una bolsa. Esta malla permitirá que en caso de sismo los bloques de adobe se rompan, pero permanezcan juntos. Entonces, aunque la vivienda se dañe ya no colapsa.” (Gatti & Avellaneda, 2012).

- **Corte de la malla:** Según las dimensiones del muro, considerando uniones entre piezas.
- **Instalación y Clavado de las Mallas:** Se deben fijar la malla directamente contra el muro, estas se asegurar comúnmente utilizando clavos y tapas metálicas, pedazos de madera u otro elemento que funcione como grapa, así se asegura que quede tensa y bien adherida al muro.

3. Aplicación del recubrimiento

Luego de tener el recubrimiento preparado, este se aplica sobre la malla instalada, si la hay o directamente sobre el muro humedecido, comenzando desde la parte superior y trabajando hacia abajo, para ello se utiliza una llana o paleta para extender el recubrimiento, si es necesario se humedece un poco la mezcla sobre el muro, tratando de obtener una superficie uniforme, asegurándose de que la capa tenga un espesor aproximado de 1cm a 2cm.

4. Fraguado del recubrimiento

Esto dependerá de los materiales del recubrimiento y del clima, puede tardar de 7 a 28 días. Se recomienda prevenir un secado rápido, para ello se debe humedecer de la superficie, rociando ligeramente agua durante los primeros días, esto es importante para evitar grietas. “Para que el enlucido no se fisure se debe tener un tiempo de curado de 7 días durante este periodo se deberá humedecer la pared enlucida”. (Peñaloza, 2012).

5. Acabado final

Aun teniendo el recubrimiento húmedo se le puede aplicar una técnica decorativa al muro; relieves o texturas con ayuda de diversas herramientas o elementos. Por otra parte, una vez que el recubrimiento haya fraguado y secado correctamente, se le puede dar algún tipo de acabado decorativo, esto se hace frotándolo o puliéndolo con algún elemento, además se puede aplicar alguna capa de pintura, se recomienda que estas sean vegetales o minerales. Estos acabados finales además de ser estéticos, puede mejorar el comportamiento del recubrimiento frente a diversos factores climáticos.

Estado del arte

Recubrimiento natural (Nopal) para Fachadas en viviendas en adobe de la Candelaria (Pinzón & Benítez, 2019).

Esta investigación analiza la vulnerabilidad de las fachadas tradicionales de adobe del barrio La Candelaria de Bogotá a los daños por humedad, un problema que se agrava con el uso de materiales modernos incompatibles, como el cemento, en la restauración. Estos materiales atrapan la humedad, lo que provoca erosión, degradación, embobamiento y cambios estéticos, que afectan estas estructuras históricas. Para abordar este problema, en la investigación plantean tiene objetivo desarrollar un revestimiento natural, sostenible y compatible con mucílago de cactus nopal, inspirado en sus propiedades impermeabilizantes, para proteger el adobe de la humedad, respetar la historia del edificio y preservar el patrimonio arquitectónico de La Candelaria.

Revoques de tierra frente a la intemperie: Estrategias de mejora adherente mediante materiales naturales. (García & Rolón, 2023).

El estudio propone utilizar capas de unión de materiales naturales antes de aplicar yesos gruesos para abordar este problema. Se evaluó la adherencia de los yesos en las paredes de LEM teniendo en cuenta factores ambientales como lluvia, el viento, asolación, la orientación de la pared y el tipo de pintura protectora (natural vs. sintética). Los resultados mostraron que los materiales naturales funcionan eficazmente como capas de unión y protectores para las paredes de LEM. Si bien el tipo de pintura no afectó en significa la adherencia durante el estudio, la preparación de muestras en condiciones secas para prueba de extracción redujo la adherencia y sesgó los datos, lo que resalta la importancia de una preparación adecuada de las muestras. La investigación enfatiza el uso de materiales y técnicas sostenibles para mejorar la durabilidad de las construcciones de tierra.

Uso de cemento y savia de tuna como alternativas de revestimiento en muros de adobe para el mejoramiento de sus propiedades hidrófugas (Romero, 2020).

La investigación concluye que el uso de cemento y savia de tuna en recubrimientos alternativos con paredes de adobe puede mejorar sus propiedades hidrofóbicas. Este implicó pruebas experimentales para comparar el desempeño de los bloques de adobe tratados con cemento y savia de tuna contra el adobe tradicional. Los resultados probablemente mostraron que ambos recubrimientos redujeron la absorción y succión de agua en comparación con el adobe sin tratamiento, mejorando así la durabilidad y resistencia de las estructuras de adobe al daño por humedad. La tesis apoya el uso de estos recubrimientos alternativos como un medio para preservar y mejorar la vida de las construcciones de tierra.

Conclusión general estado del arte

La rehabilitación y mejoramiento de muros de adobe enfrentan desafíos significativos que comprometen su resistencia y durabilidad. Esta problemática se ve relacionada por recubrimientos o impermeabilizaciones inadecuados o incompatibles con los muros de adobe. En contexto, se resalta la importancia de identificar deficiencias constructivas comunes. Además, el uso de materiales naturales como el nopal ha sido explorado como recubrimiento para mejorar la impermeabilidad, aunque su efectividad disminuye con el tiempo. Las investigaciones también enfatizan la importancia de acabados y recubrimientos para proteger y mejorar los edificios de tierra. Alternativas como el cemento y la savia de tuna han demostrado ser efectivas para mejorar las propiedades hidrofóbicas. Los agentes atmosféricos, especialmente el agua, son una causa principal de degradación, lo que subraya la necesidad de intervenciones.

Aditivos para mezclas de recubrimientos

Además de conocer los distintos recubrimientos que se han implementado para muros de adobe, para esta investigación es importante identificar materiales con los que se pueden formular posibles mezclas. La selección de estos influirá en la adherencia, transpirabilidad y resistencia del recubrimiento, garantizando su compatibilidad con el adobe y su desempeño a largo plazo.

Los materiales que se presentan continuación se tomaron como referencia ya que son mencionados en diversas fuentes de documentación como artículos, investigaciones y manuales donde se tratan temas de recubrimientos, rehabilitación, reforzamiento y acabados de construcciones en adobe.

1. Cal Hidratada (Hidróxido de Calcio - Ca(OH)_2)

- **Fuente:** Se obtiene de la piedra caliza, esta se extrae de canteras o minas para ser tritura en pequeñas piezas que se calientan a altas temperaturas en un horno, lo que convierte la piedra en óxido de calcio, cal viva, Se mezcla con agua para formar hidróxido de calcio, también llamado cal hidratada.
- **Descripción:** Se presenta como un polvo blanco y fino o como una pasta si se mezcla con agua. su pH es Alcalino, es un material caustico.
- **Propiedades:** La Cal hidratada genera micro poros en los materiales donde se aplica, estos permiten el paso del vapor de agua, facilitando la evaporación de la humedad interna sin retenerla. Puede tomar un poco de agua cuando hay mucha humedad y luego soltarla cuando el aire está seco.

2. Arena

- **Fuente:** Es un material granular compuesto por partículas finas de roca y minerales, formada principalmente por partículas de cuarzo (dióxido de silicio, SiO_2).

- **Descripción:** Puede ser blanca, amarilla, rojiza, gris o negra, dependiendo su mineralogía, su granulometría es de un tamaño entre 0.063 mm y 2 mm, puede ser áspera o lisa.
- **Propiedades:** Por su composición de minerales, tamaño de grano y comportamiento físico, la arena presenta una alta permeabilidad, permite que el agua pase sin quedar atrapada, no se expande ni se contrae significativamente con la humedad, lo que reduce la formación de fisuras en el secado, además hace que la mezcla sea más manejable aportando rigidez y estabilidad.

3. Mucilago de Sábila

- **Fuente:** Esta al interior de las hojas, se compone principalmente de polisacáridos que las plantas y almacenan en sus tejidos.
- **Descripción:** Es una sustancia viscosa y pegajosa transparente o amarilla.
- **Propiedades:** Actúa como un aglutinante natural aumentando la elasticidad del recubrimiento, lo que reduce la deshidratación en la mezcla, esto porque retiene agua y la libera gradualmente evitando formación de fisuras al secarse, regulando la humedad.

4. Alumbre

- **Fuente:** Es un compuesto formado por sulfatos, generalmente potasio o aluminio.
- **Descripción:** Es sólido cristalino vidrioso y brillante, puede ser blanco o amarillo depende de su pureza.
- **Propiedades:** La piedra alumbre se combina con jabón como un método de impermeabilización, este crea una barrera repelente al agua sin impedir la transpirabilidad de la superficie, se basa en una reacción química entre los ácidos grasos del jabón y los iones de aluminio. Este proceso forma una capa hidrofóbica en la superficie del material, reduciendo la absorción de agua sin sellarlo por completo.

5. Fibras naturales

- **Fuente:** Paja, fique, cáscaras de coco, bagazo de caña, etc.

- **Descripción:** Las fibras pueden ser cortas o largas, delgadas o gruesas, lisas o rugosas, algunas son más rígidas que otras.
- **Propiedades:** Estas actúan como refuerzo en la mezcla, formando una red de que distribuye las tensiones evitando grietas, aumentando la cohesión y resistencia a la erosión.

6. Aceites naturales

- **Fuente** Aceite de linaza o Aceite de oliva
- **Descripción:** Se obtienen de semillas y frutos, son líquidos de color amarillo o dorado con una textura ligeramente viscosa y brillante, son rico ácidos grasos.
- **Propiedades:** Estos penetran en el material, creando una capa protectora, una barrera hidrofóbica que repele la humedad sin impedir la transpirabilidad pues no sellan completamente la superficie.

7. Trementina

- **Fuente:** Es un líquido obtenido principalmente de la destilación de la resina de árboles como el pino.
- **Descripción:** Es transparente o amarillo, con una textura ligera y fluida, se evapora rápidamente, su consistencia es menos densa que el aceite.
- **Propiedades:** Se usa como diluyente natural en la preparación de acabados, lo que mejorando la penetración y aplicación de aceites en superficies.

8. Goma arábiga

- **Fuente:** Es una resina natural obtenida de especies del árbol acacia.
- **Descripción:** Es un líquido espeso y transparente, similar a un gel suave, su color es amarillo o marrón dependiendo de su pureza.

- **Propiedades:** Es aglutinante natural, mejora la adhesión y aporta flexibilidad lo que puede permitir que el recubrimiento se adapte mejor a las expansiones y contracciones provocadas por cambios de temperatura, reduciendo el riesgo de fisuras y mejorando su durabilidad.

9. Clara de huevo

- **Descripción:** Contiene principalmente una proteína llamada albúmina y minerales como magnesio, potasio, calcio y fósforo.
- **Propiedades:** Es un aglutinante natural, sellador e impermeabilizantes, la albúmina se coagulan al secarse formando una película protectora.

10. Yeso

- **Fuente:** Es un mineral natural compuesto principalmente de sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Puede tener pequeñas partes de arcillas, carbonatos y óxidos de hierro.
- **Descripción:** Blanco o ligeramente grisáceo, es un polvo fino que, al mezclarse con agua, forma una pasta maleable.
- **Propiedades:** Presenta un rápido fraguado, alta adherencia y acabado fino, permite obtener una superficie suave y uniforme, para acabados.

11. Cera de abeja

- **Fuente:** Se obtiene a partir de la recolección y purificación de los panales, tras extraer la miel. Compuesta por ésteres, ácidos grasos y alcoholes.
- **Descripción:** Color amarillo, dorado o marrón, es ligeramente brillante, su textura es sólida a temperatura ambiente, pero maleable con el calor.
- **Propiedades:** Es hidrofóbica, repele el agua formando una capa protectora. Insoluble en agua, pero soluble en aceites, solventes orgánicos. No agrieta fácilmente, permitiendo cierta adaptabilidad en superficies. Se puede moldear y extender fácilmente cuando se calienta.

12. Ceniza volcánica

- **Fuente:** La ceniza volcánica es un material piroclástico generado por erupciones volcánicas explosivas. Se compone de partículas finas de vidrio volcánico, minerales y fragmentos de roca pulverizada es rica en sílice, alúmina y óxidos de hierro.
- **Descripción:** Gris claro a oscuro, marrón o negro, es un polvo fino, a veces con partículas gruesas.
- **Propiedades:** Sus componentes le otorgan propiedades puzolánicas, es decir, la capacidad de reaccionar con la cal en presencia de agua para formar compuestos cementantes.

Figura 6 *Aditivos naturales*



Nota: Adaptado de diversas fuentes de internet (<https://www.google.com>)

La selección de materiales para las mezclas de recubrimientos en muros de adobe garantizará su adherencia, transpirabilidad y resistencia. Materiales como la cal hidratada, la arena y las fibras naturales aportan estabilidad y permiten la regulación de la humedad reduciendo la aparición de fisuras. Aglutinantes como el mucílago de sábila y la goma arábica contribuyen a la elasticidad y cohesión de la mezcla, mientras que elementos como el alumbre y los aceites naturales refuerzan la

impermeabilización sin afectar la transpirabilidad del material. Cada propiedad permite que el recubrimiento se adapte sin comprometer la integridad del adobe.

Por otro lado, para evaluar el desempeño de estos recubrimientos, es importante definir variables que permitan estructurar las pruebas y controlar las condiciones para analizar los materiales. Factores como la adherencia, la permeabilidad, la resistencia y la durabilidad deben ser medidos para obtener resultados. La relación entre selección de materiales y la definición de variables es importante, ya que permite desarrollar un enfoque en la experimentación, asegurando que las soluciones propuestas sean efectivas.

Marco normativo

La normativa para construcciones en adobe es limitada. En 2019 se incorporó al Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NSR-10) el documento AIS-610-EP-2017, "Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada". Este documento aborda la evaluación y reforzamiento de construcciones patrimoniales de este tipo. Proporcionar lineamientos técnicos que respeten la integridad estructural y el valor histórico de estas construcciones al realizar intervenciones.

Sin embargo, esta normativa no profundiza en los de recubrimientos para la protección de los muros de adobe, por ende, no hay una regulación o pruebas específicas para determinar el desempeño de estos. Teniendo esto en cuenta, para la aplicación de ensayos se tomará de referencia y se adaptaran las pruebas de la ASTM (American Society for Testing and Materials) organización internacional que desarrolla y publica normas técnicas donde estandariza los procedimientos para la aplicación de pruebas a una gran variedad de materiales y productos, sistemas y servicios.

Métodos de prueba

Garantizar la efectividad de los recubrimientos, es fundamental someterlo a una serie de pruebas que permitan evaluar y proporcionen información sobre su rendimiento frente a factores como adherencia, resistencia, transpirabilidad y durabilidad entre otros.

Prueba de resistencia a la erosión

Se evalúa la capacidad del recubrimiento para soportar el desgaste causado por agentes externos como lluvia o viento. Se puede dejar una probeta expuesta a la intemperie por un tiempo determinado y realizar un registro fotográfico o simular estas condiciones.

- **Prueba de Simulación de Lluvia:** Evaluar el desgaste del recubrimiento tras la exposición prolongada al agua en forma de lluvia o escorrentía. Se coloca la muestra en una cámara de

simulación de lluvia o bajo una ducha controlada con agua a presión moderada, en cierto tiempo, se observa si el recubrimiento se tiene algún deterioro, pierde material o cambia su textura. Se pesa la muestra antes y después para calcular la pérdida de material.

En la (ASTM-C1601, 2022) este método se emplea para la comparación de las tasas de penetración de agua en los muros antes y después de las reparaciones, y la evaluación de la eficacia de los recubrimientos.

Prueba de Abrasión

La resistencia a abrasión es la capacidad de un material para soportar el desgaste causado por fricción o impacto repetitivo. Se mide evaluando cuánto material se pierde o cuánto cambia la superficie después de ser sometida a fuerzas abrasivas.

- **Resistencia a la abrasión por lavado:** Según la (ASTM-D2486, 2017) En el Método de Prueba A, la pintura de prueba se aplica a un panel, luego el panel recubierto se frota con un cepillo de cerdas y un abrasivo hasta que la película de pintura se elimine.
- **Resistencia a la abrasión por caída de arena:** En la (ASTM-D968, 2022) esta prueba se realiza dejando caer las partículas abrasivas desde cierta altura a través de un tubo encima de la superficie hasta desgastarlo, dejando expuesto el sustrato. Se puede utilizar arena de sílice o carburo de silicio, según se especifique.

Prueba de adherencia

Se evalúa la capacidad del recubrimiento para fijarse sin desprenderse ni presentar fisuras.

- **Prueba de Adherencia por Tracción:** Medir la fuerza necesaria para desprender el recubrimiento del sustrato, mediante una fuerza de tracción perpendicular a la superficie. Según la (ASTM-D4541, 2022) la prueba de tracción se realiza asegurando un accesorio de carga perpendicular a la superficie del recubrimiento con un pegamento. Después de que el

pegamento se cura, se conecta un aparato de prueba al accesorio de carga y se aplica una fuerza perpendicular a superficie de prueba. A continuación, la fuerza aplicada se aumenta, controla gradualmente y uniforme hasta que se separa el accesorio de carga y se finaliza el ensayo.

- **Prueba de Adherencia por Corte:** Determinar la resistencia del recubrimiento ante esfuerzos de corte, simulando su comportamiento a cargas laterales, cizallamiento o esfuerzos mecánicos. La (ASTM-C482, 2020) Implementa esta prueba para determinar la capacidad de las baldosas y los adoquines para unirse a la pasta de cemento Portland. Indica que después del curado adecuado del conjunto de prueba, se aplica una carga a un borde de la baldosa y la carga se incrementa a una tasa definida hasta que se rompe la unión entre la baldosa y la capa de unión.
- **Prueba de Raspado:** Evaluar la resistencia del recubrimiento a la fricción o abrasión mecánica. Con el recubrimiento aplicado a una probeta, se usa un objeto metálico (espátula, cuchilla o lija) para raspar la superficie del recubrimiento, así se observa si el recubrimiento se desprende. La prueba se utiliza para determina de la adhesión de recubrimientos orgánicos como pintura, barniz y laca cuando se aplican a superficies de paneles. La norma indica: “Para que los revestimientos tengan un rendimiento satisfactorio, deben adherirse a los sustratos sobre los que se aplican. Este método de prueba ha resultado útil para diferenciar el grado de adhesión de los revestimientos a los sustratos.” (ASTM-D2197, 2022).

Prueba de absorción de agua

Mide el agua que se absorbe en un tiempo determinado.

- **Prueba de Inmersión:** La (ASTM-C67, 2019) determina procedimientos de ensayo de ladrillos y baldosas de arcilla donde evalúa aspectos como absorción, coeficiente de saturación entre otros. Para la prueba indica que se debe pesar la muestra en seco y registrar el peso inicial,

luego se sumerge en agua limpia a una temperatura 15,5°C a 30 °C, durante un tiempo específico, se retira la muestra y es pesada nuevamente.

Prueba de permeabilidad

Evalúa si el recubrimiento permite el paso del agua o del vapor de agua a través de, sin retener humedad en su interior, asegurando que el adobe pueda “respirar” y evitar acumulaciones de agua:

- **Resistencia al agua en condiciones de humedad:** El agua puede causar la degradación de los recubrimientos, por lo que conocer su resistencia al agua es útil para predecir su vida útil. La (ASTM-D2247, 2020) en su ensayo indica que las muestras recubiertas se deben colocar en cámara cerrada que contiene vapor de agua. La temperatura se mantiene a 38 °C, con una humedad relativa del 100 %. Se observan y registran efectos como cambio de color, ampollas, pérdida de adherencia o ablandamiento .

Ante la ausencia de técnicas estandarizadas para realizar ensayos, aparte de tomar pruebas de la ASTM como referencia, se proponen y diseñan una serie de ensayos experimentales que permiten analizar el comportamiento del recubrimiento en diferentes ASTM-D2247condiciones.

Pruebas propias

- **Ensayo de contracción y fisuración:** Evaluar cómo se comporta el recubrimiento durante el proceso de secado. Al perder humedad, los materiales pueden reducir su volumen, lo que genera tensiones internas que pueden provocar grietas o fisuras. Se elabora una mezcla del recubrimiento a evaluar, se vierte en moldes con un espesor determinado, se colocan marcas de referencia para medir la variación en su tamaño, se dejan las muestras secar en condiciones controladas. Luego se monitorean durante diferentes intervalos de tiempo.

- **Método de goteo:** Se coloca la muestra de una probeta con el recubrimiento, a la cual se le deja caer una gota de agua en varios puntos, Se observa si la gota es absorbida rápidamente, lentamente o si permanece en la superficie, registrando el tiempo que tarda en desaparecer la gota.
- **Prueba de resistencia a la erosión:** Se evalúa la capacidad del recubrimiento para soportar el desgaste causado por agentes externos como lluvia o viento. Se deja una probeta con el recubrimiento expuesta a la intemperie por un tiempo determinado y se realiza un registro de sus condiciones en un determinado periodo de tiempo, también un registro fotográfico.
- **Prueba de Hidrofugado con Pipeta Karsten:** Se adhiere la pipeta Karsten con masilla a la superficie del recubrimiento, esta se llena con agua hasta un nivel marcado, se observa y mide cantidad de agua absorbida en un tiempo, registrando el volumen de agua.
- **Higrometría:** Con ayuda de un Higrómetro de contacto o de pines que mide la humedad interna. Se mide la humedad de la probeta con el recubrimiento, luego se aplica agua o se somete a humedad de forma controlada y se toman mediciones periodos de tiempo determinado, para ver cómo cambia la humedad del adobe.

A través de estas pruebas se pretende generar datos confiables que contribuyan a realizar comparaciones, tener referencias y mejorar el rendimiento en varios aspectos de los recubrimientos de protección para construcciones en adobe, con el fin de promover su duración y eficiencia en el tiempo.

Normas y estándares BIM

ISO 19650: Organización y digitalización de la información relativa a trabajos de edificación y de ingeniería civil, incluyendo BIM (Building Information Modelling).

Es una norma de la *ISO (International Organization for Standardization)* publicada en 2018, que se basa en la norma británica *BS 1192*. La ISO da pautas para manejar la información en proyectos de construcción donde se utiliza el Modelado de Información para la Construcción BIM. Principalmente se utiliza para estandarizar y mejorar la colaboración, eficiencia y procesos del ciclo de vida de un activo construido, desde planificación, diseño, construcción, mantenimiento, remodelación y demolición. Además, como indica la *ISO* "Este documento puede adaptarse a proyectos de cualquier escala y complejidad, de modo de no obstaculizar la versatilidad que caracterizan la amplia gama de estrategias de adquisición y de abordar el costo de implementación de este documento" (ISO, 2024).

Esta norma se divide en 5 partes:

- **Parte 1:** Conceptos y principios (ISO19650-1:2018)
- **Parte 2:** Fase de desarrollo de los activos (ISO19650-2:2018)
- **Parte 3:** Fase de operación de los activos (ISO19650-3:2020)
- **Parte 4:** Intercambio de información (ISO19650-4:2022)
- **Parte 5:** Enfoque de seguridad en la gestión de la información (ISO19650-5:2020)

La *NTC-ISO 19650:2021* es la adopción oficial en Colombia de esta norma internacional, publicada por *ICONTEC*. Algunas ventajas que deja la implementación de la norma son; una mejor organización de la información, pues todos los datos del proyecto se gestionan de forma clara y estructurada, lo que permite una colaboración más eficiente, facilitando el trabajo colaborativo. Esto reduce errores al tener información actualizada para la coordinación del equipo se evitan inconsistencias y se brinda un soporte para tomar de decisiones sobre el proyecto, ya que la información es confiable y ayuda a planear mejor en diseño, construcción y mantenimiento desde todas las áreas

involucradas. Todo esto influye en un factor vital, el ahorro de tiempo y costos, pues se mejora la planificación y evita duplicar esfuerzos.

Resolución 0441 de 2020, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Es un documento “Por la cual se fijan los lineamientos para curadores urbanos y autoridades municipales o distritales competentes, encargadas del estudio, trámite y expedición de licencias urbanísticas, interesados en participar en el plan piloto para expedición de licencias de construcción a través de medios electrónicos” (MinVivienda, 2020). Esta resolución da las reglas para sacar licencias de construcción de manera electrónica y propone un plan piloto para usar Building Information Modeling (BIM), con el fin de hacer más fácil y digital el proceso de licencias. La resolución se divide en 3 capítulos:

- **Capítulo I:** aspectos generales
- **Capítulo II:** lineamientos para la expedición de licencias de construcción en la modalidad de obra nueva a través de medios electrónicos
- **Capítulo III:** Procedimiento para el estudio, trámite y expedición de licencias de construcción en la modalidad de obra nueva a través de medios electrónicos

Algunas ventajas de son; la modernización en el trámite de licencias urbanísticas al permitir su gestión digital y en línea, esto trae beneficios en el ahorro de tiempo. También fortalece la transparencia y trazabilidad del proceso, garantizando seguridad jurídica con el uso de firmas digitales. Además, facilitó la coordinación entre entidades, promoviendo una gestión de documentos e información más eficiente, Todo ello abrió la puerta a nuevas tecnologías como BIM y la interoperabilidad mejorando la revisión y calidad de los proyectos.

En el desarrollo de este proyecto las normativas internacionales y nacionales para implementación de metodología BIM serán una guía al gestionar el modelo de información y garantizar la colaboración e interoperabilidad entre los actores del proyecto arquitectónico. Ya que esto nos permite reducir errores, costos, tiempo y facilita la coordinación entre equipos.

Emplear BIM bajo estas guías, fortalece la transparencia y trazabilidad de la información, también permite que los resultados del modelo digital contemplen los procesos de revisión de proyectos. De esta manera, tanto la *ISO 19650* como la *Resolución 0441 de 2020* ponen a este proyecto en un ámbito regulado que garantiza la eficiencia, la estandarización y la aplicabilidad, facilitando que las soluciones propuestas puedan implementarse en proyectos arquitectónicos de forma técnica y normativa.

Conclusión de los marcos de análisis

El estudio sobre la protección y acabado compatible con muros de adobe ha permitido identificar la importancia de desarrollar recubrimientos adecuados que mitiguen los efectos de la humedad sin comprometer las propiedades del material. A lo largo de la investigación, se evidenció que muchos de los recubrimientos convencionales presentan deficiencias en términos de compatibilidad, adherencia y durabilidad, lo que puede acelerar el deterioro de las edificaciones en adobe.

Los resultados destacan la necesidad de usar materiales naturales y técnicas constructivas que respeten las características del adobe, garantizando su transpirabilidad y resistencia a los factores climáticos. El uso de estabilizantes y aditivos naturales, como la cal, el alumbre, los aceites vegetales y las fibras naturales, ha mostrado ser una alternativa para mejorar la protección de estos muros sin alterar su equilibrio higrotérmico.

Asimismo, la experimentación con diferentes mezclas de recubrimientos y su evaluación mediante pruebas de resistencia, adherencia y permeabilidad han permitido establecer criterios para la selección de materiales óptimos. Estas estrategias no solo contribuyen a la conservación del patrimonio arquitectónico construido en adobe, sino que también ofrecen soluciones para nuevas edificaciones que deseen aprovechar las ventajas de este material.

En conclusión, el desarrollo de un recubrimiento adecuado para muros de adobe representa un avance significativo en la preservación de este sistema constructivo, proporcionando una alternativa eficiente y sostenible que favorezca su durabilidad frente a los agentes de deterioro.

CAPITULO II: PROPUESTA

Delimitación de materiales

Luego una revisión bibliográfica sobre recubrimientos para muros en tierra, se investigaron y caracterizaron diversos materiales naturales, de los cuales surgieron 14 aditivos que presentan propiedades que podrían aportar a las mezclas. Ahora, para continuar con la metodología propuesta se establecen una serie criterios con el fin de elegir los componentes con mejor rendimiento para las mezclas.

Se presentan como un criterio de selección, las características que hacen que un recubrimiento tenga buen rendimiento respecto a la humedad, esta clasificación delimitara los materiales que cumplen con al menos 3 de estas características:

- **Transpirable:** Permite el intercambio de vapor de agua entre el ambiente y la superficie en la que se encuentra aplicada.
- **Permeable:** Capacidad para permitir el paso de líquidos o gases a través de su estructura.
- **Higroscópico:** Capacidad de absorber y liberar humedad del ambiente sin perder su estabilidad.
- **Aglutinante:** Material que une y da cohesión a los demás componentes de una mezcla, proporcionando estabilidad y resistencia.
- **Elasticidad:** Un material que se deforma y recupera su forma sin fracturarse.
- **Rigidez:** Oposición de un material a la deformación cuando se le aplica una fuerza.

Tabla 3 Elección de materiales para mezclas.

ELECCIÓN DE MATERIALES PARA MEZCLA							
MATERIALES		CARACTERÍSTICAS					
ADITIVO	COMPONENTES	TRANSPIRABLE	PERMEABLE	HIGROSCOPICO	AGLUTINANTE	ELASTISIDAD	RIGIDEZ
Aceite de Higuera	Ácido ricinoleico, ácido oleico, ácido linoleico, ácido esteárico.	X	X			X	
Aceite de Linaza	Ácido linoléico, ácido linoleico, ácidos grasos saturados.	X	X			X	
Alumbre	Sulfato de aluminio (Al ₂ (SO ₄) ₃), Sulfato de potasio (K ₂ SO ₄).			X	X		X
Arena	Partículas de roca, minerales, cuarzo y dióxido de silicio.		X		X		X
Cal Hidratada	Hidróxido de calcio (Ca(OH) ₂), Trazos de óxido de calcio (CaO).	X		X	X		X
Cera de abeja	Esteres, ácidos grasos y alcoholes.		X	X		X	
Ceniza volcánica	Minerales, sílice, alúmina y óxido de hierro.		X				X
Clara de huevo	Albúmina, agua, minerales, enzimas.				X	X	
Fibras Vegetales	Celulosa, pectinas y ceras en pequeñas cantidades.		X		X	X	
Goma Arábiga	Polisacáridos, calcio, magnesio y potasio.			X	X		
Jabón de tierra	Ácidos grasos, arcillas, minerales e hidróxido de sodio o potasio.	X	X	X			
Mucílago de Sábila	Polisacáridos, glucosa, enzimas y aminoácidos y antioxidantes.	X	X	X	X	X	
Trementina	Destilación de la resina de árboles como el pino.		X		X	X	
Yeso	Sulfato de calcio (CaSO ₄ ·2H ₂ O), Trazos de arcillas y minerales.				X		X

Nota: Las casillas de color naranja resalta aquellos materiales que **se descartan**. Elaboración propia.

Los materiales que **se descartan**, por que **NO** cumplen con al menos 3 de estas características son: **la ceniza volcánica, clara de huevo, fibras vegetales, goma arábiga y yeso.**

Además de ello, como otro criterio de selección se evalúa la accesibilidad de los materiales, la facilidad al conseguirlos, que estén disponibles localmente y que su costo sea moderado.

Tabla 4 *Accesibilidad y costo de materiales.*

COSTO DE ADITIVOS NATURALES			
ADITIVOS	CANTIDAD	PRECIO	FACIL ACCESO EN EL MERCADO
Aceite de Higuera	Lt	\$ 20.000	SI
Aceite de Linaza	Lt	\$ 23.000	SI
Alumbre	Kg	\$ 9.000	SI
Arena	Kg	\$ 500	SI
Cal Hidratada	Kg	\$ 1.700	SI
Cera de abeja	Kg	\$ 18.000	NO
Ceniza Volcánica	Kg	\$ 35.000	NO
Clara de huevo	Und	\$ 750	SI
Fibras Vegetales	Kg	\$ 16.000	SI
Goma Arábica	Kg	\$ 23.000	NO
Jabón de tierra	Kg	\$ 3.000	SI
Mucilago de Sábila	Lt	\$ 2.000	SI
Trementina	Lt	\$ 18.000	SI
Yeso	Kg	\$ 3.000	SI

Nota: Las casillas de color naranja resalta aquellos materiales que **se descartan**. Elaboración propia

Los materiales que **se descartaran** son: **la cera de abeja, ceniza volcánica y goma arábica.**

Teniendo en cuenta lo anterior, los materiales que se seleccionan para el estudio son: Aceite de higuera, aceite de linaza, alumbre. arena, cal hidratada, jabón de tierra, mucilago de sábila y trementina. Con ellos se determina que se va a generar la protección del adobe por medio dos procedimientos, recubrimiento; una capa que se aplica sobre un material base y un acabado; capa final que se aplica sobre una superficie.

Recubrimiento

Se analizará el comportamiento del **mucilago de sábila**, debido a que se ha evidenciado en diversos trabajos con mucilago natural que este actúa como un aglutinante, mejora la adherencia, ayuda en la creación de una barrera y aporta elasticidad, este se adicionara a dos sustratos; **revoque de cal y revoque de barro**, los cuales que han presentado cierto rendimiento y protección, lo cual se ha evidenciado en estudios sobre recubrimientos y rehabilitación de construcciones en tierra.

Para ello se toma como referencia la proporción y dosificación empleada en el trabajo de *“Desarrollo de recubrimiento natural (Nopal) para Fachadas en viviendas en adobe de la Candelaria”*, se utilizará:

Recubrimiento de Cal+ Mucilago	Recubrimiento de Barro + Mucilago
- 240 ml de extracto sin madurar de mucilago de sábila / 16 %	- 240 ml de extracto sin madurar de mucilago de sábila / 16 %
- 925 gr de arena / 68 %	- 215 gr de tierra / 42 %
- 215 gr de Cal / 16 %	- 215 gr de arena / 42 %

Acabado

Se analizará el comportamiento de los aceites de **higuerilla y linaza** para generar una capa final, para ello se estudiará la influencia de su **viscosidad**, esta influye en la penetración y absorción de aceites en materiales porosos y en el tiempo de secado, para modificar esta condición se adiciona **trementina**, la cual es un solvente natural para aceites y ayuda en el secado de estos. Para ello se toma como referencia las siguientes proporciones y dosificación:

- Viscosidad alta: 80% Aceite y 20% trementina
- Viscosidad media: 40% Aceite y 60% trementina
- Viscosidad baja: 20% Aceite y 80% trementina

También se estudiará el acabado que se genera al combinar **alumbre y jabón de tierra**, según diversas fuentes, es una técnica tradicional para impermeabilizar cubiertas. El jabón es un ácido graso unido a sodio o potasio, el alumbre es una sal que contiene iones metálicos, aluminio. Estos reaccionan químicamente formando un jabón de aluminio el cual no se disuelve fácilmente en agua. y se queda adherido en los poros del muro, formando una película protectora.

Se toma de referencia el proceso mencionado en diversas fuentes; se debe rallar o cortar el jabón y alumbre en las mismas proporciones, para diluirlos independientemente en agua caliente. Inicialmente se aplica la dilución de jabón en la superficie limpia y seca, con ayuda de una brocha, esto se deja secar por 24 horas para luego realizar el mismo procedimiento con la dilución de alumbre, se deben realizar entre 3 a 6 capas.

- 50 gr Alumbre / 50%
- 50 gr Jabón / 50%
- 1 Lt Agua para diluir el alumbre
- 1 Lt Agua para diluir el jabón

Con estos procedimientos combinados de recubrimiento y acabado protector se plantea una alternativa integral y sostenible para proteger los de muros de tierra, fomentando, explorando aditivos naturales.

Delimitación de pruebas

Luego de investigar pruebas estandarizadas de la ASTM American Society Testing and Materials, se establecen cuáles de estas se tomarán como referencia para adaptar y evaluar de los recubrimientos. Para ello se valoran factores como; la pertinencia de la prueba para evaluar las características un recubrimiento, la facilidad de adaptación y la disponibilidad de equipo para ello. Esto se determinó con la asesoría del laboratorista José Luis Roza de la facultad de ingeniería UGC, teniendo en cuenta lo anterior y las observaciones del laboratorista, se realizó la siguiente tabla:

Tabla 5 *Determinación de pruebas*

DETERMINACIÓN DE PRUEBAS						
PRUEBA	ASPECTO A EVALUAR	CRITERIO DE EVALUACIÓN	PERTINENTE	FACIL ADAPTACIÓN	EQUIPO NECESARIO	EQUIPO DISPONIBLE
Adherencia por Corte	Adherencia Resistencia	Resistencia a la carga lateral.	NO	SI	Maquinaria para ensayo de corte.	SI
Adherencia por Tracción	Adherencia	<i>Fuerza necesaria para el desprendimiento.</i>	SI	SI	Accesorio de carga, pesas patrón.	SI
Ensayo de contracción y fisuración	Resistencia	Estabilidad dimensional, presencia de fisuras.	SI	SI	Moldes, regla, cámara.	SI
Hidrofugado con Pipeta Karsten	Absorción	Volumen absorbido, velocidad de absorción.	SI	SI	Pipeta Karsten, pipeta, codo.	SI
Higrometría	Humedad	Variación del nivel de humedad.	SI	SI	Higrómetro, agua, balanza.	SI
Método de goteo	Humedad	Tiempo de absorción.	SI	SI	Gotero, cronómetro.	SI
Prueba de Inmersión	Absorción Permeabilidad	Cambio de peso, absorción.	SI	SI	Balanza, recipiente o pileta con agua.	SI
Resistencia a la abrasión por caída de arena	Resistencia	Desgaste y pérdida del recubrimiento.	NO	NO	Compresor, embudo, arena de sílice.	NO
Resistencia a la abrasión por raspado	Resistencia	Desgaste del recubrimiento por fricción constante.	NO	SI	Cepillo de cerdas, espátula, cuchilla.	SI
Resistencia a la intemperie	Resistencia Durabilidad	Desgaste y pérdida del recubrimiento.	SI	SI	Sol, lluvia, viento.	SI
Resistencia a condiciones de humedad	Humedad	Variación del nivel de humedad, velocidad de absorción.	SI	NO	Cámara de humedad, higrómetro.	NO
Simulación de Lluvia	Absorción	Volumen absorbido, velocidad de absorción.	NO	NO	Cámara simulación de lluvia.	NO

Nota: Las casillas de color naranja resalta aquellas pruebas que se descartan. Elaboración propia.

Protocolos de ensayos

Las pruebas que realizaran son: adherencia por tracción, ensayo de contracción y fisuración, hidrofugado, higrometría, método de goteo, Inmersión, resistencia a la intemperie. Cada prueba se debe repetir tres veces para obtener un promedio de resultados. Las pruebas se realizarán con el acompañamiento del laboratorio de ingeniería UGC. A continuación, se describe el protocolo de cada prueba, esto se planteó con la asesoría del laboratorista José Luis Roza de ingeniería UGC:

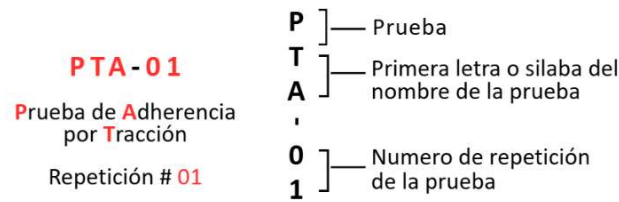
Tabla 6 Procedimiento de ensayos

PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS			
PRUEBA	CÓDIGO	MATERIALES	PROTOCOLO
Adherencia por Tracción	PAT-01	<ul style="list-style-type: none"> • Elemento metálico de anclaje • Pegamento • Pesas patrón 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pegar el elemento de anclaje al recubrimiento, 24h de secado. 2. Colocar pesas patrón en el otro extremo del elemento de anclaje. 3. Evaluar el peso necesario para despegar el recubrimiento de la probeta base.
Ensayo de contracción y fisuración	PCF-01	<ul style="list-style-type: none"> • Probeta tipo B, molde con paredes de madera • Mezcla del recubrimiento • Regla milimetrada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Llenar los moldes con la mezcla húmeda. 2. Marcar líneas de referencia para medir la contracción; el largo, ancho y alto, tomar fotografías iniciales. 3. Dejar secar. 4. Observar fisuras y medir desde las referencias, luego de 1 o 2 días.
Hidrofugado	PHI-01	<ul style="list-style-type: none"> • Pipeta Karsten o tubo Rilem • Masilla impermeable • Cronómetro 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prepara la masilla con forma de aro para para cubrir la superficie de contacto de la pipeta. 2. Clocarla masilla sobre la pipeta, luego pegar a la muestra. 3. Llenar la pipeta con agua hasta la referencia. 3. Tomar la medición de agua absorbida cada minuto por 10 minutos.
Método de goteo	PMG-01	<ul style="list-style-type: none"> • Probeta tipo A • Cuentagotas • Jeringa • Cronómetro 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar una cantidad de agua para absorber con el gotero. 2. Colocar gotas progresivamente sobre la superficie de la muestra. 3. Evaluar lo que tardan en absorberse. 3. Medir el agua que se absorbe.
Prueba de Inmersión		<ul style="list-style-type: none"> • Probeta tipo A • Pileta o recipiente con agua • Bascula • Cronómetro 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pesar la muestra con el recubrimiento en seco. 2. Sumergir durante 1 hora. 3. Retirar la muestra, secar la superficie y volver a pesar. 4. Calcula la ganancia de peso, agua absorbida. 5. Observa si hay desprendimientos, pérdida de color o fisuras.
Higrometría	PHG-01	<ul style="list-style-type: none"> • Probeta tipo A • Higrómetro digital 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Medir la humedad inicial de las muestras en las pruebas de método de goteo e inmersión. 2. Medir la humedad final de las muestras.
Resistencia a la intemperie	PRI-01	<ul style="list-style-type: none"> • Probeta tipo C, murete • Sol y lluvia 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dividir el murete a la mitad 2. Recubrir con 2 de las mezclas con mejor desempeño. 3. Se deja expuesto a la intemperie donde reciba al sol y lluvia directo. 4. Observa si hay desprendimientos, pérdida de color o fisuras, tomar un registro fotográfico transcurrida una semana.

Nota: Elaboración propia.

A cada prueba se le asignara un código para identificarla:

Figura 7 Asignación de códigos para pruebas



Nota: Elaboración propia.

Muestras de control

Es un punto de referencia, que permitirá evaluar el desempeño y rendimiento de los recubrimientos que se propongan. Para ello se realizarán las pruebas anteriormente mencionadas a los recubrimientos que se han implementado en los muros en adobe: revoques a base de tierra, cal y cemento. Los resultados que sean óptimos en estas pruebas, se tomaran como un estándar al que deben acercarse los recubrimientos propuestos.

Las muestras de control permiten determinar de manera objetiva si el nuevo recubrimiento desarrollado presenta un mejor rendimiento en comparación con los recubrimientos convencionales. Además, proporciona datos comparativos, garantizando que las mediciones y pruebas cuenten con un marco de referencia confiable. A través de esta comparación, también se podrán identificar las mejoras necesarias en la formulación del recubrimiento propuesto, ajustándolo en función de las diferencias con los recubrimientos convencionales.

Logística para la realización de ensayos

Es fundamental establecer una organización para cumplir con lo necesario para realizar las pruebas mencionadas anteriormente, utilizar un espacio de trabajo adecuado, optimizar los recursos disponibles y a cumplir con los plazos fijados para el desarrollo del proyecto.

Tabla 7 Logística para ensayos.

LOGÍSTICA PARA ENSAYOS	
FASE	ACTIVIDAD
1. Planificación y preparación	Cronograma y planeación
	Selección del lugar de pruebas: Laboratorio de ingeniería UGC
	Selección de pruebas y planteamiento de procedimientos
	Selección de materiales y herramientas
	Definición de probetas
2. Diseño de muestras	Definición de mezclas de recubrimientos
	Obtención de muestras de suelo
	Pruebas y análisis de suelo
	Compra de materiales e insumos para mezclas
3. Actividades preliminares para pruebas	Gestión de solicitud de acompañamiento Laboratorio de ingeniería UGC
	Elaboración de muestras
	Preparación de mezclas y aplicación a probetas
	Fraguado de muestras
4. Ejecución de Pruebas	Preparación de equipo para prueba
	Someter las muestras a las diferentes pruebas
	Registro fotográfico y documental de cada prueba
	Evaluación del comportamiento de los recubrimientos ante humedad
5. Conclusiones y recomendaciones	Comparación entre mezclas de recubrimiento aplicadas
	Identificación de la mezcla más efectiva frente a los criterios establecidos
	Recomendaciones para futuras investigaciones o mejoras de la técnica
	Elaboración de informe final con resultados, gráficos y conclusiones

Nota: Elaboración propia.

La organización en cinco fases permite llevar a cabo las pruebas de manera ordenada y clara. Esto ayuda a obtener datos confiables, comparar diferentes mezclas y encontrar cuál presenta un mejor rendimiento frente a la humedad. Gracias a esto, se pueden establecer criterios técnicos útiles.

Probetas

El diseño de las muestras es importante en el proceso experimental de esta investigación. Es importante determinar las características de las probetas, que serán la base sobre la cual se aplicarán los recubrimientos a comparar. Para ello se emplean tres tipos de probetas, que serán elaboradas con la misma mezcla de adobe, pero tendrán diferentes dimensiones y propósitos:

- **Probeta tipo A:** El molde tiene tres módulos, lo que permite obtener tres bloques de 10cm x 20cm x 4,5cm. A estas probetas se les aplicaran los recubrimientos y acabados sobre una de sus caras, con el fin de someterlos a las pruebas de: adherencia por tracción, contracción y fisuración, hidrofugado, higrometría, método de goteo e inmersión. Para ello se requiere la elaboración de 40 probetas.

Figura 8 *Probeta tipo A*



Nota: Elaboración propia.

- **Probeta tipo B:** Se caracteriza por tener una forma alargada, con medidas de 5 cm x 25 cm para facilitar la observación detallada de los cambios dimensionales, contracción, grietas o fisuras, que ocurran durante el secado del recubrimiento. Está dirigida para las pruebas de contracción lineal. Para este ensayo se necesitarán 4 de estas probetas.

Figura 9 *Probeta tipo B*



Nota: Elaboración propia.

- **Probeta tipo C:** Se construirá un murete de 40cm x 40cm, el cual contará con un alero protector de 25cm, un marco en listón de madera y un zócalo de base con una altura de 20cm. Para su construcción se necesitarán aproximadamente 16 bloques de adobe de 10cm x 20cm x 4,5cm. Este se dividirá en 2 partes para la aplicación de 2 de las mezclas que se defina como las más eficientes, luego se dejará por 1 mes en un lugar expuesto a la intemperie donde reciba sol, lluvia y viento, con el fin de realizar la prueba de resistencia a la erosión.

Figura 10 *Probeta tipo C*



Nota: Elaboración propia.

Análisis de suelo

Antes de utilizar un suelo para fabricar las probetas de adobe, es fundamental analizar sus propiedades y composición. Para ello, se realizan pruebas sencillas que permiten identificar si el material tiene la plasticidad, cohesión y estabilidad necesarias. A continuación, se describen algunas pruebas que ayudan a determinar si un suelo es apto, estas descripciones y pruebas se realizaron con la orientación del Arquitecto Erwin Zambrano del laboratorio de tierras y madera de la UGC.

Tabla 8 Pruebas de análisis de suelo

ANÁLISIS DE SUELO			
PRUEBA	DESCRIPCIÓN	RESULTADO	PR
Prueba de decantación	Observar la proporción, al mezclar el suelo con agua; los componentes se sedimentan en capas por su peso y tamaño.	<ul style="list-style-type: none"> • Arena: se asienta primero • Limo: queda en el medio • Arcilla: queda suspendida. • Suciedad: queda en la parte superior. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Llenar frasco transparente con un poco de suelo. 2. Agregar agua hasta llenarlo. 3. Agitar fuerte por 2 minutos. 4. Deja reposar 24 horas. 5. Observar las capas formadas.
Prueba de plasticidad	Evaluar si el suelo puede moldearse. Su plasticidad depende del contenido de arcilla por su cohesión.	<ul style="list-style-type: none"> • Alta plasticidad: se moldea fácilmente y no se agrieta. • Baja plasticidad: se rompe o desmorona. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Humedecer gradualmente una porción de suelo hasta obtener una textura de plastilina. 2. Moldear una esfera con las manos. 3. Observar si se agrieta o mantiene su forma.
Prueba de lavado de manos	Identificar visual y sensorialmente el contenido de arcilla por su adherencia a la piel.	<ul style="list-style-type: none"> •Difícil de quitar: alto contenido de arcilla. •Fácil de remover: predomina la arena o limo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar una pequeña cantidad de suelo húmedo. 2. Frotar entre las manos. 3. Enjuagar solo con agua.
Prueba de filamento o Rodillo	Determinar si el suelo puede moldearse, lo que indica buena cohesión y proporción adecuada de arcilla y arena.	<ul style="list-style-type: none"> •Se moldea sin romperse: buena plasticidad y cohesión. •Se rompe fácil: exceso de arena o deficiente en arcilla. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar una muestra de suelo ligeramente húmeda. 2. Formar un cilindro largo y delgado. 3. Observar si se rompe o mantiene su forma.
Prueba contracción lineal	Medir cuánto encoge o se generan grietas cuando el suelo se secar.	<ul style="list-style-type: none"> • Contracción baja (< 5%): suelo adecuado para adobe. •Contracción alta (> 10%): riesgo de fisuras, se debe mejorar el suelo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar el suelo húmedo dentro de un molde. 2. Marcar la longitud de la muestra húmeda. 3. Secar completamente al aire libre. 4. Medir la longitud final seca.

Nota: Elaboración propia.

Muestras de suelo

Teniendo en cuenta lo anterior se han recolectado muestras de suelo provenientes de diferentes puntos con el objetivo de someterlas a las pruebas que permitan determinar su aptitud para la elaboración de adobes.

Suelo 1

- **Fecha de recolección:** 07 de abril del 2025
- **Lugar de recolección:** Chía Vía Guaymaral
- **Descripción:** Esta muestra se toma de los escombros de un muro de bahareque.

Figura 11 Muestra de Suelo 1



Nota: Muestra de suelo 1 y lugar de recolección de muestra, elaboración propia.

Suelo 2









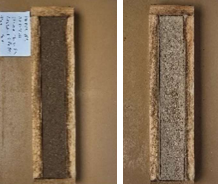

- **Fecha de recolección:** 05 de abril del 2025
- **Lugar de recolección:** Chía cantera Vía La Caro - Tocancipá
- **Descripción:** Esta muestra se toma de una cantera de extracción de tierra y arena para uso local.

Figura 12 Muestra de suelo S2



Nota: Muestra de suelo 2 y lugar de recolección de muestra, elaboración propia.

Tabla 9 Resultados análisis de suelo

RESULTADOS ANALISIS DE SUELO				
PRUEBA	SUELO S1		SUELO S2	
Prueba de decantación	Hay mayor cantidad de arcillas, se evidencian pocas partes de arena, limo y suciedad o materia orgánica.		Se observa una gran cantidad de arena, muy pocas arcillas y limo.	
Prueba de plasticidad	Fácil de moldear, no se deforma o presenta fisuras, presenta un color brillante.		Difícil de moldear no mantenía su forma, presentaba un color opaco.	
Prueba de lavado de manos	Se presenta algo de dificultad para quitar totalmente los residuos de la mano.		Se presenta facilidad al lavar, deja una sensación seca en las manos.	
Prueba de filamento	Fácil de moldear el rodillo no se rompió al hacerlo cada vez más delgado.		Difícil de moldear, se deformaba y desmoronaba fácilmente, el rodillo se rompió.	
Prueba contracción lineal	Al secarse la el suelo tuvo muy poca contracción de 1mm a cada lado y no presento fisuras.		Al secarse la el suelo tuvo muy poca contracción de 1mm a cada lado y no presento fisuras.	

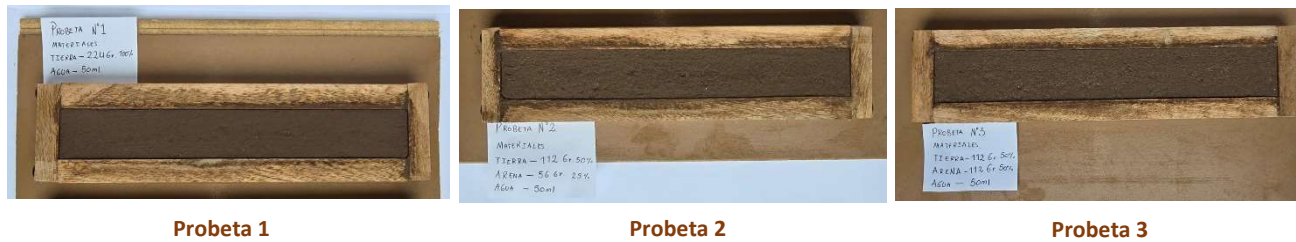
Nota: Elaboración propia.

Según los resultados, se concluye que el Suelo S1 es el más adecuado para fabricar adobes. Presenta un alto contenido de arcilla, que le da una buena cohesión y plasticidad, permitiendo ser moldeado con facilidad sin que se deforme o agriete y al secarse no presentó fisuras ni una contracción significativa.

En contraste, **el Suelo S2 se descarta** como opción viable debido a su elevada proporción de arena y escasa presencia de arcilla y limo. Estas características afectaron negativamente su capacidad de cohesión y maleabilidad, fue difícil de trabajar, no mantuvo su forma, señal de baja plasticidad.

Luego de tener un suelo adecuado, para determinar las proporciones de cada material (tierra, arena y fibras naturales) en la mezcla para la fabricación de las probetas de adobe, se realizan pruebas de contracción lineal, en las cuales se varió el contenido de arena para encontrar la proporción más apta, donde no se presentarán fisuras o una alta contracción:

Figura 13 Pruebas de contracción lineal



Nota: Elaboración propia.

- **Probeta 1:** Tierra 224gr 100% / Agua 50ml
- **Probeta 2:** Tierra 112gr - 75% / Arena 50gr - 25%/ Agua 50ml
- **Probeta 3:** Tierra 112gr - 50% / Tierra 112gr - 50% / Agua 50ml

Estas muestras se dejaron secar por 2 días, estos son los resultados:

Figura 14 Resultados prueba de contracción lineal



Nota: Elaboración y edición propia.

- **Probeta 1:** Se evidencio una contracción correspondiente a 3mm, al igual que una ruptura o grieta profunda, lo que indica que el suelo debería tener una adición de arena y fibras para mejorar su estabilidad.

- **Probeta 2:** Se evidencia una contracción de 2mm, y una fisura superficial, el suelo mejora un poco sus condiciones al adicionar un 25% de arena, pero aún no es apto.
- **Probeta 3:** Presenta una contracción de 1mm, sin ninguna fisura, lo que indica que la mezcla presenta un buen comportamiento y es apta.

Conclusión

A partir del análisis y comparación entre las proporciones del suelo S1 y arena en las pruebas de contracción lineal aplicadas para evaluar su aptitud en la elaboración de adobes, se determinó que la combinación más eficiente se obtuvo en la probeta 3, su mezcla presentó un óptimo comportamiento, sin fisuras ni contracción significativa, lo cual garantiza una mayor durabilidad y desempeño del adobe como material de construcción, con ello se propone una mezcla que corresponde a un 43% de tierra, 43% de arena y 14 % de fibra vegetal para la elaboración de las probetas de adobe.

Resultados esperados

Se espera que los recubrimientos y acabados elaborados con aditivos naturales seleccionados mejoren significativamente la protección de los muros de adobe, mediante la reducción de la absorción de humedad, una adecuada adherencia a la superficie y una resistencia frente a la intemperie, al tiempo que ofrezcan elasticidad, cohesión y transpirabilidad, respetando las propiedades del material.

Asimismo, se prevé identificar las técnicas constructivas eficientes para la aplicación de estos recubrimientos, estableciendo recomendaciones prácticas que optimicen la adherencia, la cobertura, la durabilidad del material y las condiciones de curado, con el fin de garantizar la durabilidad de la protección propuesta.

Mediante el diseño y ejecución de ensayos sobre diferentes tipos de probetas, se pretende observar el comportamiento de las mezclas en diversas condiciones, con esto se espera obtener resultados reproducibles y confiables que ofrezcan una base objetiva para comparar el desempeño de los recubrimientos propuestos frente a alternativas convencionales.

Todo esto con el fin de aportar al conocimiento técnico y práctico necesario para la conservación y construcción sostenible con adobe, ya sea patrimonial, vivienda existentes o nuevas edificaciones, promoviendo soluciones sostenibles que respeten el material.

Para continuar con el desarrollo del proyecto se realizan los diferentes tipos de probetas a las cuales se aplicará los recubrimientos, posterior a ello realizar las evaluaciones comparativas precisas.

Fabricación probeta tipo A

Materiales

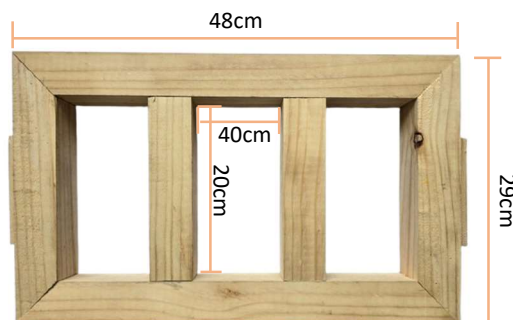
- Tierra
- Arena
- Fibra natural
- Agua
- Lonas plásticas
- Listones de madera
- Pala
- Puntillas
- Tamiz
- Espátula
- Llana

Proceso

1. Construcción de moldes - formaletas

Se corto un listón de pino acerrado de 4,5cm x 4,5cm, para sacar 2 piezas de 48cm, 2 de 29 cm y 2 de 20cm, estas se ensamblaron con ayuda de tornillos de 3" para asegurar el molde, además se añadieron manijas a los costados de 10cm del mismo listón para facilitar el agarre, luego se verifico que las esquinas estén en escuadra y que el molde sea estable.

Figura 15 Molde para probetas



Nota: Elaboración propia.

2. Preparación mezcla de adobe

Se paso la tierra por un tamiz #10 de 2mm, esto para quitar piedras, raíces, basura, etc. Se adecuo una superficie plástica para colocar la mezcla, se incorporaron primero los materiales secos, 23Kg - 43% tierra cernida, 23kg - 43% de arena y 10kg - 14% de fibra vegetal, cantidades que corresponden a las proporciones determinadas previamente en el análisis de suelos. Finalmente se añadió agua progresivamente en el proceso de mezclando hasta obtener una textura adecuada.

Figura 16 *Proceso de mezcla*



Nota: Elaboración propia.

3. Vaciado de mezcla

Se humedecieron un poco los moldes antes de agregar la mezcla, una vez llenos se golpearon así la mezcla se distribuya y se compacte adecuadamente, luego se retiró el exceso de los moldes, antes de retirarlos se debió esperar unos minutos.

Figura 17 *Vaciado de mezclas*



Nota: Elaboración propia.

Luego de realizar los bloques estos se dejaron secar por 20 días en un lugar donde reciban sol, pero estaban resguardados de la lluvia.

Proceso de aplicación de recubrimiento

1. Limpieza del adobe

Se retiran restos de tierra o polvo de la superficie con ayuda de una brocha de 2”.

Figura 18 Limpieza del adobe



Nota: Elaboración propia

2. Colocación de la malla

Se empleó una malla pajarito galvanizada de 0.9m x 1/2 pulgada, esta se cortó por secciones para asegurarla a cada bloque, para ello, se usaron puntillas de 1” las cuales fueron dobladas en un extremo a 90º como un anclaje del bloque a la malla, con el objetivo de que la malla quede tensa.

Figura 19 Colocación de malla en bloques de adobe

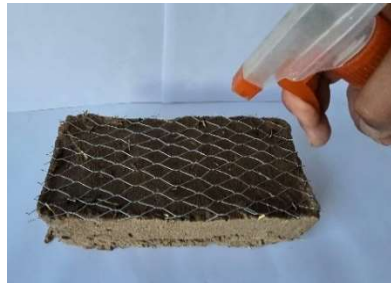


Nota: Elaboración propia.

3. Humidificación de la superficie

Se debe humedecer el adobe generando una película, pero sin escurrimiento de agua, se empleó un atomizador con agua limpia, esto se hace para evitar que absorba la humedad del recubrimiento rápidamente, pues se podrían causar fisuras.

Figura 20 Humidificación superficie del adobe



Nota: Elaboración propia

4. Aplicación de recubrimiento

Se aplica una capa de **1 cm de grosor** de las mezclas de recubrimiento determinadas; **Revoque de tierra + Mucilago de sábila y Revoque de cal + Mucilago de sábila**, en diferentes bloques. En cada aplicación se aseguró que el recubrimiento penetre por los orificios y cubra la malla.

Para realizar la mezcla de **Revoque de tierra + Mucilago de sábila** se utilizaron 250gr - 16% de mucilago de sábila, para ello se extrajo el cristal de la sábila y se procesó propiamente, 656gr - 42% de tierra y 656gr - 42% de arena, respetando las proporciones determinadas anteriormente.

Figura 21 Extracción de Mucilago de sábila



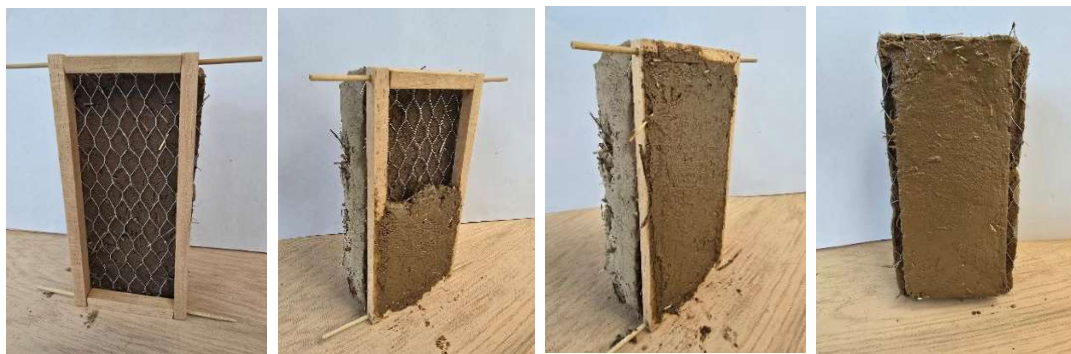
Nota: Elaboración propia

Figura 22 Mezcla recubrimiento de tierra + Mucilago de sábila



Nota: Elaboración propia

Figura 23 Aplicación de Revoque de tierra + Mucilago de sábila



Nota: Elaboración propia

Se empleo un marco de madera para tener precisión y obtener 1cm de grosor del recubrimiento.

Figura 24 Aplicación de Revoque de tierra + Mucilago a probeta para inmersión total



Nota: Elaboración propia

Para realizar la probeta que será sometida a la prueba de inmersión total, se recubrió un bloque de adobe completamente con la malla y el recubrimiento.

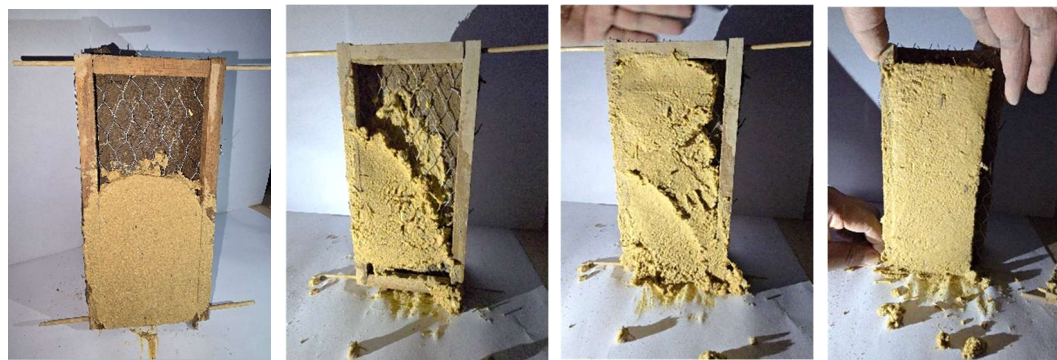
Para la mezcla de **Revoque de cal + Mucilago de sábila** se utilizaron 250gr -16% de mucilago de sábila, 437gr - 28% de cal y 875gr - 56% de arena, respetando las proporciones determinadas anteriormente.

Figura 25 Mezcla Revoque de cal + Mucilago de sábila



Nota: Elaboración propia

Figura 26 Aplicación Revoque de cal + Mucilago de sábila



Nota: Elaboración propia

Figura 27 Aplicación Revoque de cal + Mucilago de sábila probeta para inmersión total



Nota: Elaboración propia

Para realizar la probeta que será sometida a la prueba de inmersión total, se recubrió un bloque de adobe completamente con la malla y el recubrimiento.

5. Curado del recubrimiento

Las probetas de los bloques con los recubrimientos empezaron su proceso de secado. Estos se deben humectar 2 veces al día, especialmente en los momentos del día donde la temperatura tiene un notable aumento, cuando haya un pico de temperatura. Se debe rociar hasta formar una película de agua, pero sin que se formen gotas y se escurran. Esto se debe realizar durante las 2 primeras semanas de secado, para evitar que absorban rápidamente la humedad de la mezcla y tenga un curado adecuado.

Figura 28 *Curado del recubrimiento*



Nota: Elaboración propia

Link de proceso de construcción de probeta tipo A:

https://drive.google.com/drive/folders/1PG1XjivqxlCaX6MFC8IWv_A6gkxy7331?usp=drive_link

Fabricación de probeta tipo B

Se realizaron moldes con listones de madera de pino de 5cm x 25cm, a los cuales se les vertió las 2 mezclas de recubrimiento y se observa los cambios dimensionales, contracción, grietas o fisuras, que ocurrieron durante el secado del recubrimiento.

Figura 29 Probeta tipo B con recubrimiento - aplicación día 1

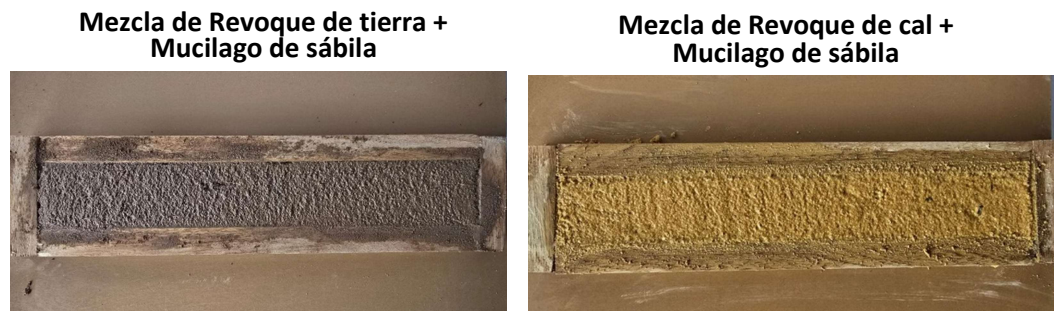


Figura 30 Probeta tipo B con recubrimiento – secado día 15



Nota: Elaboración propia

Se observó que la **mezcla de Revoque de cal + Mucilago de sábila** no presentó ninguna contracción notable, manteniendo sus dimensiones originales. Esto indica una adecuada estabilidad dimensional del material frente al secado. En contraste la **mezcla de Revoque de tierra + Mucilago de sábila** mostró una contracción de entre 3mm y 4 mm, evidenciando una mayor sensibilidad al proceso de secado y una menor estabilidad dimensional. Estos resultados permiten concluir que la mezcla de cal y arena es más adecuada cuando se requiere un acabado con mínima deformación durante el fraguado.

Link de proceso de construcción de probeta tipo B https://drive.google.com/drive/folders/1PIDrig-tB2T58wH0vbwDo5WWaPoZvl1D?usp=drive_link

Fabricación de probeta tipo C

1. Elaboración de soporte

Se cortan listones de pino; 2 de 52,5cm y 2 de 50,5cm para realizar un marco sobre el cual se colocarán los adobes, adicional se coloca un soporte fabricado con vigueta de aluminio de 38cm x 19cm de 0.4mm.

Figura 31 Soporte de probeta tipo C



Nota: Elaboración propia

2. Colocación de los adobes

Se realiza un mortero de barro; de 50% tierra, 50% arena y agua hasta obtener una consistencia adecuada. Luego se colocaron los bloques ubicados en pandereta, en hiladas intercaladas y se aplica mortero de barro, se comprueba que el muro esté nivelado y a plomo. Se emplearon 8 bloques.

Figura 32 Colocación de adobes sobre soporte



Nota: Elaboración propia

3. Colocación de malla

Luego de la construcción del muro se esperó 15 días para que se secase el mortero de pega y se asentara, posterior se limpió el muro con ayuda de una brocha para retirar la tierra suelta o polvo de la superficie, luego se cortó una sección de 42cm x 42cm de la malla pajarito galvanizada de 0.9m x 1/2 pulgada, para asegurarla al marco con tornillos de, también se aseguró al muro de adobe con puntillas de 1" esto para que la malla este tensa y adherida para la aplicación del recubrimiento.

Figura 33 Colocación de malla

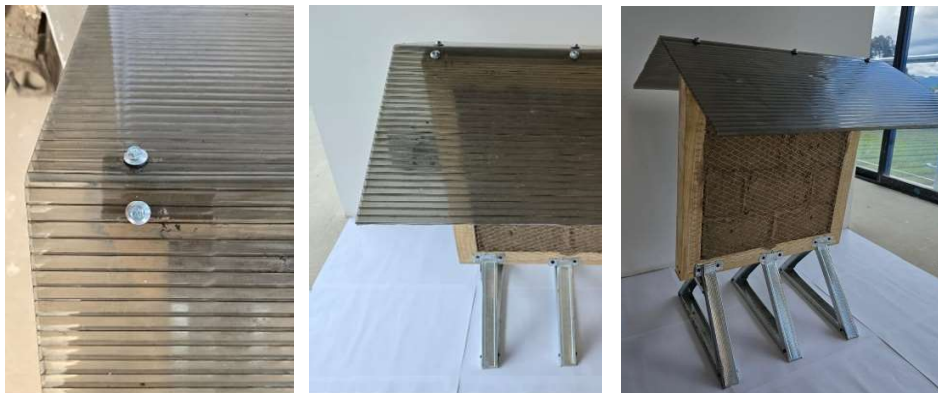


Nota: Elaboración propia

5. Colocación de cubierta

Se utiliza una lámina de policarbonato oscura de 1 cm de grosor como cubierta, esta se corta en 2 partes de igual medida 60 cm x 90 cm y posteriormente se perfora con una broca, con el fin de anclarla al marco del muro con tornillos de 2" y arandelas. El alero de la cubierta debe sobresalir al menos 30 cm del muro para protegerlo de la lluvia.

Figura 34 Colocación de alero protector



Nota: Elaboración propia

Link de proceso de construcción de probeta tipo A:

https://drive.google.com/drive/folders/1PIROWIsSpkAeC3MEzTG_j7q3UoVC_cNe?usp=drive_link

La fabricación de los distintos tipos de probetas permite establecer una base experimental sólida para evaluar las soluciones de recubrimientos compatibles con muros de adobe. A través del desarrollo de las probetas tipo A, B y C, se logró simular condiciones de aplicación, comportamiento durante el secado, posibles efectos y comportamiento de los recubrimientos en el proceso de fraguado en el material. Este proceso facilitó la observación de aspectos como la estabilidad dimensional, la adherencia de los materiales y la respuesta del adobe ante diferentes tratamientos.

Resultados esperados y proyecciones

La elaboración los prototipos experimentales; las probetas de adobe con la aplicación los recubrimientos seleccionados, luego de su adecuado secado de 1 mes, nos permitirá continuar con nuestra metodología; evaluar el comportamiento de los recubrimientos frente a distintas condiciones como el proceso de fraguado, la absorción de agua, la transpiración respecto a la humedad y la erosión. Durante este proceso de aplicación, se identificaron aspectos importantes en la preparación de las mezclas, el moldeado y secado de las probetas.

Luego de transcurrido el mes de secado de las probetas tipo B se espera empezar a realizar las pruebas ya determinadas, realizar un monitoreo de los prototipos para tener un registro y hacer la comparación de los recubrimientos y así, determinar cuál presenta un mejor rendimiento para aplicarlo a la probeta tipo C. Posteriormente continuar con la fase de aplicación de los 3 acabados propuestos. Esta probeta tipo C será expuesta a la intemperie simulando condiciones reales para así observar y monitorear el rendimiento de los acabados y determinar el que presenta efectividad respecto a la mejora del comportamiento.

Los resultados esperados buscan una mejora significativa en la resistencia superficial de las probetas, una menor absorción de agua sin comprometer la transpirabilidad a y una mayor resistencia, pues se espera que los recubrimientos actúen como una barrera protectora que prolongue la vida útil del adobe, reduciendo el desgaste y la degradación natural del material.

CAPITULO III: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO COLABORATIVO (BIM)

MÓDULO 1: Introducción, normas, estándares, trabajo colaborativo e interoperabilidad.

La metodología Building Information Modeling (BIM) es una estrategia que integra modelos tridimensionales con información, hace posible la gestión colaborativa e interdisciplinar de un proyecto en su ciclo de vida. En el caso de este proyecto sobre el *desarrollo de un recubrimiento para muros en adobe*, que se implementará en el envolvente de una edificación de *Oficinas Multifuncionales CoWork Lab*, BIM será un recurso importante para estrategias como el registro, la organización y visualización de la información en modelos digitales, además de facilitar la planificación de costos y mantenimiento de la edificación.

De esta forma se vincula la investigación con herramientas digitales para aplicar en proyectos. Pues como indica Daniela Torres, Líder BIM para Latinoamérica de Pavco Wavin: “La tecnología es fundamental en la evolución y sostenibilidad de las actividades de la construcción y por ello se ejecutan iniciativas relacionadas con las tecnologías de la información para mejorar la productividad, reducir costos y optimizar tiempos, para que los proyectos sean cada vez más sostenibles” (Torres, 2025).

La implementación se apoya en normas y estándares internacionales, principalmente la *ISO 19650 de la International Organization for Standardization*, que regula la gestión de la información en proyectos BIM y la *Resolución 0441 de 2020 del Ministerio de vivienda, ciudad y territorio en Colombia*, que promueve el uso de la metodología en el sector de la construcción. Estos lineamientos son una guía para que el desarrollo del proyecto sea claro, organizado y de calidad; atreves de aspectos como un entorno de trabajo colaborativo basado en la interoperabilidad, pues esto permite la coordinación de diferentes diciplinas y que diversos softwares puedan gestionar modelos sin pérdida de información.

En este proyecto, BIM se plantea como una herramienta para conectar con la proyección técnica, permitiendo que la investigación no quede solo en lo experimental, sino que pueda ser una solución aplicable a proyectos arquitectónicos.

Ciclo de vida del proyecto

Este comprende todas sus etapas, desde su diseño inicial hasta su demolición. En el contexto de este proyecto donde se implementan los recubrimientos para muros en adobe en el envoltorio de una edificación, esta gestión es importante para garantizar que las soluciones desarrolladas no solo respondan a las necesidades inmediatas de diseño y construcción, sino que también aseguren su desempeño a lo largo del tiempo.

Figura 35 Representación ciclo de una edificación



Imagen tomada de: Delin3D, Principios de la metodología BIM, (2024). <http://delin3d.es/principios-de-la-metodologia-bim/>

Al considerar las fases de diseño, construcción, operación, mantenimiento y el fin de la vida útil del material y la edificación, se establece una articulación de la investigación con la práctica, De esta manera se anticipan problemáticas, optimizan recursos y se fomenta la sostenibilidad.

La investigación para la preservación del adobe se articula a lo largo del ciclo de vida del proyecto arquitectónico mediante algunas fases:

- Diseño: modelado digital de muros en adobe y representación de diferentes capas de recubrimiento.

- Construcción: definición de procesos constructivos más eficientes para aplicar el acabado de recubrimiento.
- Operación y mantenimiento: seguimiento de la durabilidad y resistencia del recubrimiento frente a la humedad, integrando protocolos de conservación preventiva.
- Fin de vida útil: análisis de desmontaje o sustitución de recubrimientos, priorizando materiales de bajo impacto ambiental.

De esta manera, el ciclo de vida asegura que el conocimiento generado por la investigación se refleje en la práctica arquitectónica.

Roles BIM

Como indica *Camacol* en su guía *Roles y Perfiles BIM* “Las personas son los pilares más importantes de la implementación BIM, es vital definir los roles y sus responsabilidades dentro de los procesos BIM, para gestionar de manera efectiva lo relacionado con la metodología, así obtener resultados positivos en el proceso de transformación” (*Camacol, Camacol.co, 2025*).

Para llevar a cabo este proyecto se necesita la participación de distintos profesionales con responsabilidades asignadas y claramente definidas. Para ello se implementarán los roles BIM, pues estos garantizan que el flujo de información sea ordenado y eficiente para que los modelos digitales y el proyecto mantenga su integridad.

La colaboración entre modeladores, coordinadores, gestores de información y especialistas permite que los avances del proyecto se documenten y sean accesibles, para facilitar su implementación. El siguiente cuadro detallara los roles BIM que se contemplaran en este proyecto:

Tabla 10 Asignación de roles BIM

ROLES BIM			
ROL	PROFESION	ENCARGADO	RESPONSABILIDADES
BIM Manager	Gestor de proyectos	Yuber Alberto Nope	Dirige y organiza la aplicación y actualización de la metodología BIM en un proyecto. Establece cómo se trabajará, el entorno y estándares que se usarán.
Coordinador BIM	Ingeniero	Maria Paula Bermudez	Supervisar la integración entre modelos (estructura, materiales, procesos constructivos) y detectar posibles incompatibilidades.
Revisor BIM	Ingeniero	Andres Fernando Almario	Se encarga de revisar y comprobar la información (forma y datos) de los modelos creados en BIM.
Modelador BIM	Arquitecto	Maria Paula Bermudez	Desarrolla y actualiza el modelo 3D del proyecto, integrando información geométrica y técnica para facilitar la documentación y coordinación interdisciplinar.
Modelador BIM	Ingeniero estructural	Duvan Felipe Rincón	Elabora y gestiona el modelo estructural del proyecto, definiendo elementos portantes y verificando su compatibilidad con la arquitectura y demás disciplinas.
Modelador BIM	Ingeniero MEP	Duvan Felipe Rincón	Desarrolla el modelo de instalaciones mecánicas, eléctricas e hidrosanitarias, asegurando su correcta coordinación con la arquitectura y la estructura.

Nota: Elaboración propia.

Usos BIM

BIM ofrece múltiples aplicaciones más allá de la representación digital, Es un recurso completo que sirve al diseño, la gestión y mantenimiento de proyectos. Como indica Camacol en su Guía de Usos BIM “Los Usos BIM son procesos específicos para aplicar al Modelado de Información a lo largo del ciclo de vida de una edificación, con el objetivo de alcanzar uno o más propósitos” (Camacol, 2025) .

En el caso del este proyecto, los usos BIM permiten vincular la investigación con procesos de planificación y construcción, asegurando que la información se use de manera clara y ordenada en cada etapa. Al integrar el diseño, la documentación técnica, la gestión de costos, BIM no solo facilita la coordinación entre especialidades en el proyecto, También asegura la sostenibilidad y supervisa las soluciones propuestas. Estos son algunos enfoques específicos que se procuran en la edificación a partir de los usos BIM:

- **Diseño y análisis:** representación tridimensional de los muros con diferentes recubrimientos.
- **Documentación técnica:** elaboración de fichas y protocolos constructivos directamente vinculados al modelo digital.
- **Gestión de costos:** extracción de cantidades de materiales y cálculo preciso de los recursos necesarios para cada recubrimiento.
- **Mantenimiento:** integración de datos sobre durabilidad y ciclos de reposición de los recubrimientos en adobe.

Tabla 11 Usos BIM a implementar en el proyecto

		USOS BIM								
		ESPECIALIDADES								
		ARQ	EST	SAN	TUB	ELE	SIC	HVAC	BAS	VOD
1	Levantamiento de condiciones existentes	X	X	X			X	X		
2	Estimación de cantidades y costos	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Planificación de fases (Modelado 4D)	X	X							
4	Análisis cumplimiento del programa espacial	X								
5	Análisis de ubicación	X								
6	Diseño de especialidades	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	Revisión del diseño ('Design review')	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	Análisis estructural									
9	Análisis lumínico	X								
10	Análisis energético									
11	Análisis mecánico									
12	Otros análisis de ingeniería									
13	Evaluación de Sostenibilidad (BIM 6D)	X								
14	Validación normativa	X								
15	Coordinación 3D (Detección interferencias)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	Planificación de obra	X	X							
17	Diseño de sistemas constructivos	X	X							
18	Fabricación digital									
19	Control de obra	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	Modelación As-Built (Record Modelling)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	Programación del Mantenimiento (BIM 7D)			X	X	X	X	X	X	X
22	Análisis del sistema de edificación									
23	Gestión de activos (BIM 7D)			X	X	X	X	X	X	X
24	Gestión y seguimiento de espacios	X								
25	Planificación y gestión de emergencias									

Nota: Elaboración propia.

Dimensiones BIM

Figura 36 Dimensiones BIM

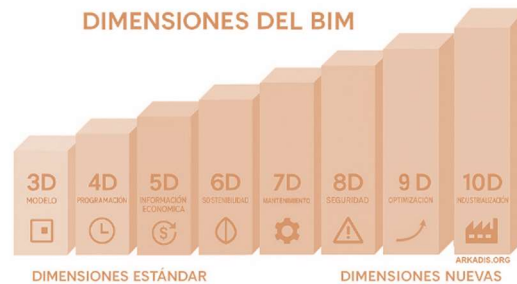


Imagen tomada de: Arkadis, *¿Las 7 o las 10 Dimensiones BIM?* (2025, mayo) <https://www.arkadis.net/post/las-7-o-las-10-dimensiones-bim>

“BIM despliega un ecosistema de datos que permite controlar costes, planificar, evaluar impactos y diseñar estrategias. A este conjunto de capas de información adicional las llamamos “dimensiones”: cada una aporta un valor específico para mejorar la eficiencia y calidad.” (Viteri, 2025). Las dimensiones BIM sirven para ampliar el alcance del modelo y agregarle capas de información que permiten gestionar mejor un proyecto en todas sus etapas.

En este proyecto se aplicarán diferentes dimensiones de la metodología BIM con el fin de abordar cada fase del proceso. En primer lugar, la dimensión 3D permitirá desarrollar un modelo digital tridimensional de los muros en adobe y sus recubrimientos, logrando una visualización detallada y precisa de la solución propuesta, la dimensión 4D integrará el factor tiempo, facilitando la programación de la ejecución más adecuadas para los recubrimientos, la dimensión 5D incorporará el tema de costos al modelo, permitiendo calcular los materiales y recursos requeridos, la dimensión 6D integrará información relacionada con la sostenibilidad y el ciclo de vida de los recubrimientos para evaluar su durabilidad e impacto ambiental. Finalmente, la dimensión 7D permitirá gestionar la fase de operación y mantenimiento del proyecto, con protocolos de conservación y estrategias para la reposición del

recubrimiento a lo largo del tiempo, buscando extender la vida útil de los muros en adobe y garantizar su desempeño.

Estas dimensiones de BIM se aplicarán de manera coordinada para garantizar una planificación más precisa, un mejor uso de los recursos y para contribuir al cuidado y optimización de edificaciones en adobe.

Niveles de desarrollo BIM

Tomando la definición de Autodesk, los niveles de desarrollo BIM se refieren a un marco estandarizado para definir la cantidad de detalle y precisión que debe incluirse en un modelo de información de construcción en las diferentes etapas de un proyecto. Esto sirve para definir cuánto detalle geométrico y qué información no gráfica (materiales, propiedades, costos, mantenimiento, etc.) debe contener un elemento en cada etapa del proyecto.

En este proyecto, se dará una aplicación gradual de distintos niveles de desarrollo (LOD) y niveles de información (LOI), para así garantizar una gestión clara de datos y una adecuada coordinación entre equipos.

En una primera etapa, los muros en adobe y sus recubrimientos se representarán en un LOD 200, incorporando información básica sobre tamaño, forma, ubicación y orientación. Esto para definir los elementos principales y establecer una base para la coordinación inicial. Luego, los procesos constructivos y acabados se desarrollarán en un LOD 350, con suficiente nivel de detalle para coordinar muros y acabados, vinculando la geometría con especificaciones técnicas, cantidades y procesos constructivos.

En el caso de los elementos estructurales para el soporte del adobe, se empleará un LOD 200, representando cimentaciones, refuerzos y uniones con un nivel de detalle adecuado. Por último, las redes técnicas MEP (Mecánica, Electricidad y Plomería) e instalaciones especiales se incorporarán en un

LOD 350, con un trazado que asegure su correcta coordinación con los muros y recubrimientos de adobe, evitando interferencias.

De esta manera, la implementación progresiva de los distintos niveles de desarrollo BIM asegura que los modelos y la información técnica este de forma ordenada, dejando beneficios de eficiencia, calidad.

Tabla 12 Niveles de desarrollo BIM a implementar al proyecto

NIVELES DE DESARROLLO BIM			
Elemento a modelar	Nivel de información	Descripción	Formato de intercambio
Elementos civiles	LOD (200) LOI (A, B, C)	Datos detallados sobre el tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación de los elementos civiles que son importantes para su montaje en el diseño.	IFC, PDF
Elementos constructivos	LOD (350) LOI (A, B, C, H, K)	Muros, ventanas, puertas, acabados, cubiertas y losas con suficiente detalle para coordinación y diseño	IFC, PDF
Elementos estructurales	LOD (200) LOI (A, G, F, I, K)	Columnas, vigas, cimentación, uniones y anclajes representados con detalles adecuados.	IFC, PDF
Estructuras Especiales	LOD (300) LOI (C, I, K)	Elementos singulares (escaleras metálicas, cubiertas especiales, detalles estructurales específicos).	IFC, PDF
Distribución y Tuberías MEP	LOD (200) LOI (A, B, C)	Redes eléctricas, hidráulicas, sanitarias, contra incendios y HVAC en trazados generales con información de coordinación.	IFC, PDF

Nota: Elaboración propia.

Documento EIR (Employer’s Information Requirements)

La implementación del documento EIR es importante para definir claramente las expectativas, objetivos y lineamientos para la implementación de la metodología BIM. Este documento orienta la gestión de la información, permitiendo una coordinación efectiva entre las diferentes disciplinas y asegura que la información generada y sea útil a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Con el EIR se determinan objetivos centrados en garantizar la interoperabilidad, optimizar la gestión de datos en un CDE, reducir interferencias en obra, mejorar los costos y facilitar el mantenimiento de las edificaciones. Los usos BIM también se definen en el documento, al igual que las plataformas colaborativas y software a utilizar, así como los formatos de intercambio de información,

garantizando la compatibilidad entre disciplinas. En lo administrativo el documento delimita las responsabilidades de roles, junto con un plan de entregas y revisiones por parte de especialistas.

El EIR en este proyecto no solo guía la implementación de BIM en el diseño y aplicación de recubrimientos en adobe en un proyecto arquitectónico, también promueve la adecuada comunicación, la colaboración interdisciplinar y la eficiencia en todas las fases. De esta manera, se garantiza que los resultados sean confiables y de calidad.

Tabla 13 Documento EIR del proyecto

EIR EMPLOYER INFORMATION REQUIREMENTS	
Nombre del proyecto	Oficinas Multifuncionales CoWork Lab
Técnico	
Objetivos del proyecto	Diseñar un edificio de oficinas multifuncionales que optimice el uso del espacio, los recursos, incorpore tecnologías y cumpla con normativas vigentes de accesibilidad y seguridad.
Objetivos de BIM en el proyecto	Garantizar coordinación efectiva entre disciplinas, optimizar tiempos de diseño y ejecución, reducir interferencias en obra y facilitar la gestión del edificio durante su ciclo de vida.
Usos y alcances BIM	Para arquitectura se requieren los usos 1,2,3,4,5,6,7,13,14,15,16,17,19,20,24
LOD y LOI para cada especialidad y componente	Para arquitectura: los muros, cubiertas y losas de entrepiso deben ir en un LOD 350 y LOI A, B, C, H, K Para estructura: columnas, vigas, uniones y anclajes deben ir en un LOD 200 y LOI A, B, C, I, K Para redes: eléctricas, hidráulicas, sanitarias y especiales deben ir en un LOD 200 y LOI A, B, C
Plataformas colaborativas, Software de modelado y Coordinación	Plataforma colaborativa (Bricsys 24/7), Software de modelado (Revit Arquitectura, Estructura y MEP) y Software de Coordinación (Navisworks Manager)
Administrativo	
Estándares y normativas	ISO 19650, Plan BIM, Resolución 0441 del 2020
Roles y responsabilidades	Modelador BIM, Coordinador BIM, Diseñador BIM
Segregación de información	Por niveles y zonas
Plan de entregas	Semanal, acorde a Hitos
Plan de calidad	Dos revisiones a la semana entre asesores especialistas
Comercial	
Plataformas de entrega de la información	Bricsys 24/7, Autodesk Construction Cloud, Google Drive
Formatos de entrega	IFC, RVT, DWG

Nota: Elaboración propia.

Documento BEP (BIM Execution Plan)

Este documento es la respuesta técnica que preparan los equipos de diseño, construcción y gestión y explica cómo se van a cumplir los requisitos del EIR.

La incorporación del BEP en este proyecto representa una herramienta estratégica que define de manera clara y estructurada la implementación de la metodología BIM. Este documento especifica cómo se aplicará la tecnología en el marco del proyecto, establece lineamientos, estándares a seguir, formatos de intercambio, roles, responsabilidades, protocolos y flujos de trabajo necesarios para garantizar una gestión integral de la información.

El BEP es una hoja de ruta que permite la coordinación eficiente entre investigadores, modeladores, ingenieros y especialistas, asegurando que la información y datos generados se gestione de la mejor manera en todas las fases del proyecto.

Al definir lo anterior el BEP minimiza los riesgos de inconsistencias en la información y facilita la comunicación entre los diferentes actores. De esta manera, se fortalece la colaboración interdisciplinar, optimizando recursos, tiempo y mejorando la calidad de los resultados.

En este proyecto la implementación del documento BEP busca asegurar que la aplicación del recubrimiento para adobe en la edificación, se desarrolle con criterios de eficiencia, sostenibilidad y durabilidad, alineando los objetivos de la conservación del material, con las ventajas de la metodología BIM, maximizando el impacto de la investigación.

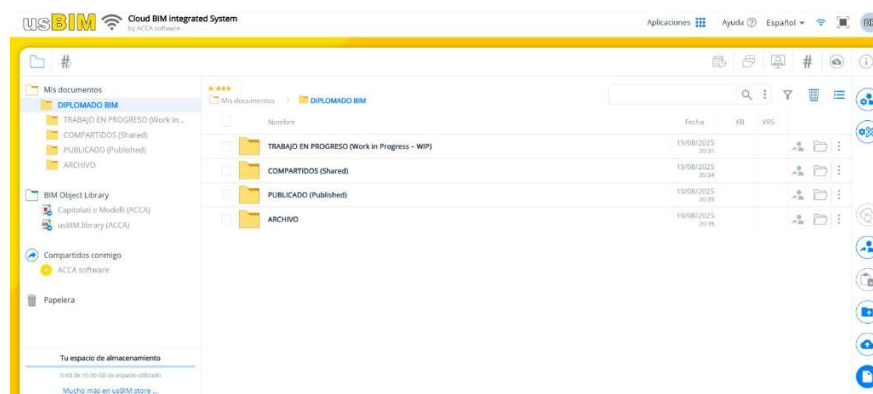
CDE (Common Data Environment) Us BIM

“Es una herramienta informática que se utiliza para recopilar, gestionar y difundir datos de modelo y documentos del proyecto entre equipos multidisciplinares en un proceso gestionado. Permite, así mismo, un proceso auditable, transparente y controlable” (Bouzas, 2017).

En el proyecto el **Entorno Común de Datos** es el repositorio central donde se organizará y distribuirá la información que se genere, garantizando acceso seguro y actualizado para los participantes. Además, su implementación permite establecer flujos de trabajo claros, evitando duplicaciones y asegurando que cada fase esté conectada. Para ello también se utilizará una codificación estandarizada de archivos lo que facilita la identificación rápida de documentos y modelos por disciplina.

De esta manera, el CDE, junto con los flujos de trabajo y la codificación, asegura una gestión eficiente, transparente y colaborativa de la información, maximizando la calidad y aplicabilidad de los resultados del proyecto.

Figura 37 CDE en la plataforma US.BIM



Nota: Captura de pantalla de nuestro CDE en la plataforma US.BIM, Imagen propia.

Figura 38 Paso a paso de la creación de nuestro CDE

Pasos para la creación de un CED Us.BIM

1. Acceder a tu sesión
2. Crear carpetas
3. Crear subcarpetas de flujo de trabajo
4. Subir archivos
5. Configurar permisos
6. Visualizar

Nota: Captura de pantalla, Imágenes y edición propia.

IFC (Industry Foundation Classes) y BCF (BIM Collaboration Format)

El IFC es un formato abierto y estandarizado internacionalmente, *ISO 16739-1:2024*, desarrollado por *buildingSMART*, permite intercambiar datos de geometría e información asociada del modelo entre diferentes softwares, para garantizar la interoperabilidad y evitar pérdidas de información. Por otro lado, el BCF es un formato complementario que no guarda geometría, sino comentarios, incidencias y notas de coordinación sobre problemas detectados u observaciones, sirve para la comunicación entre equipos.

En el proyecto, el uso de los formatos IFC y BCF es importante para garantizar una gestión colaborativa y transparente de la información. El IFC permite que todos los modeladores tengan la misma información de geometría, materiales y características técnicas. El BCF facilita la comunicación y el registro de las incidencias que se detecten durante la coordinación del modelo, para dar seguimiento a problemas específicos.

Ambos formatos fortalecen el trabajo colaborativo, reducen errores y aseguran que las soluciones propuestas para la conservación del adobe en el proyecto arquitectónico sean aplicadas de manera eficaz.

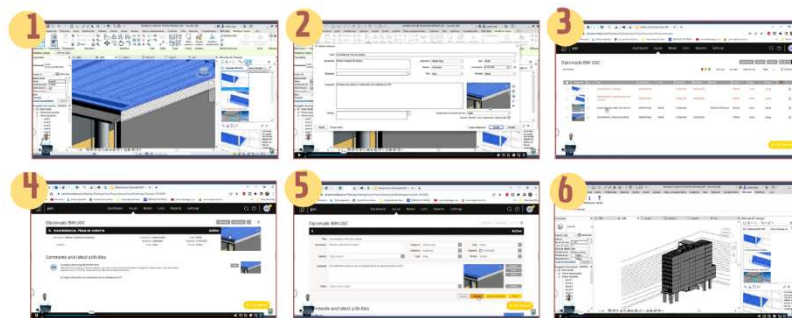
Figura 39 Aplicación práctica, paso a paso de exportación IFC

1. Selección IFC como formato de exportación
2. Modificar la configuración a IFC 2X3
3. Modificar Configuración general
4. Conjunto propiedades
5. Configuración Avanzada
6. Configuración de nivel de detalle
7. Exportar y subir a un visualizador

Pasos exportación IFC desde Revit

Nota: Captura de pantalla, Imágenes y edición propia.

Figura 40 Paso a paso de exportación BCF



Pasos exportación BCF desde Revit

1. Ejecutar BCF Manager
2. Seleccionar objeto y añadir incidencia nueva, sincronizar
3. Ir a BIM Collab web
4. Seleccionar el proyecto
5. Visualizar y responder comentario de incidencia
6. Visualizar modelo

Nota: Capturas de pantalla, Imágenes tomadas de tomadas de: Video modulo 5.2 BFC <https://educacionvirtual.ugc.edu.co>, edición propia.

Conclusión modulo 1

La investigación desarrollada sobre recubrimientos para muros en adobe demostró la necesidad de tener soluciones que enfrenten la vulnerabilidad y protejan este material. Pero, además, su mayor aporte se da en la forma en que se articula con la metodología BIM, integrando procesos de diseño, documentación y gestión, que llevan lo experimental a la aplicación en un proyecto arquitectónico.

El uso de BIM permitirá abordar el proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida, desde el diseño y análisis de mezclas hasta la planificación constructiva, la gestión de mantenimiento y la proyección de sostenibilidad a largo plazo. La inclusión del EIR y el BEP permitió estandarizar los requerimientos de información y definir protocolos claros de ejecución del proyecto.

La definición de roles BIM y la colaboración entre modeladores, coordinadores y gestores facilitaran una ejecución más organizada, mientras que los diferentes usos BIM, modelado 3D, gestión de cantidades y costos, simulación de procesos y documentación técnica, aseguran la factibilidad técnica. Asimismo, los niveles de desarrollo BIM LOD y LOI aportaran el grado de detalle necesario en cada especialidad, desde la representación inicial hasta la planificación avanzada.

El uso del CDE (Common Data Environment) asegurara un repositorio centralizado de información, mientras que los formatos IFC y BCF garantizaron la interoperabilidad entre plataformas y la comunicación de incidencias. De esta manera, se cumple el objetivo de proyectar la incorporación del muro en adobe dentro del desarrollo arquitectónico, coordinándolo con las demás especialidades mediante la metodología BIM.

En conclusión, la investigación no solo genera conocimiento sobre recubrimientos para adobe, sino que también consolida a BIM como un puente entre la tradición constructiva y la innovación digital, aportando herramientas para la conservación y la implementación de esta técnica contractiva en tierra.

MÓDULO 3: Modelado de la edificación

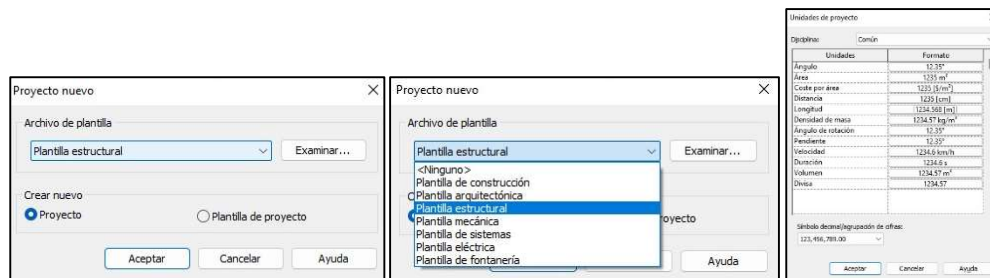
El uso de metodologías como BIM ha transformado la forma de desarrollar y gestionar proyectos. Revit, es una de las principales herramientas BIM, este software permite integrar en un entorno el modelado de la arquitectura, las estructuras y las redes MEP, a través de este modelado 3D, se puede representar los componentes del edificio con información técnica y funcional, esto favorece la coordinación entre disciplinas, la optimización de recursos y la reducción de errores.

Preliminares de modelar

Antes de iniciar el modelado en Revit, es importante preparar el entorno de trabajo para el desarrollo ordenado y eficiente del proyecto:

1. Se debe definir la plantilla adecuada según la disciplina, pues cada una contiene configuraciones, familias, parámetros y vistas específicas
2. Luego, es necesario configurar las unidades y estilos del proyecto
3. Seguido se realizar la rejilla, establecer los ejes y niveles de referencia para el modelado.

Figura 41 Preliminares del modelado



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

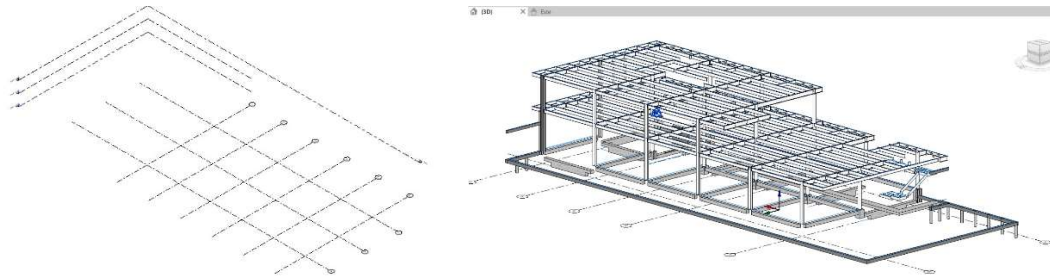
Modelado de estructuras

El modelado estructural inicia definiendo de los ejes y niveles, elementos importantes que organizan la ubicación y altura de todos los componentes del proyecto. Los ejes se trazan en planta y los niveles en alzado, asegurando una correcta referencia espacial. Luego se insertan los elementos

principales; columnas y vigas utilizando las herramientas de la pestaña Estructura. Es posible duplicar una familia existente para crear variaciones personalizadas.

En este caso, la estructura será un sistema estructural porticado metálico en acero con columnas metálicas en H de 45x45 cm, vigas de 40x35 cm y viguetas de 35x25 cm, conformando un marco rígido y estable. Según la NSR-10 (Reglamento colombiano de construcción sismo resistente), Título E apartado de Estructuras Metálicas, “las estructuras metálicas deben diseñarse considerando resistencia, rigidez y ductilidad suficientes, asegurando conexiones adecuadas que garanticen estabilidad global y comportamiento sísmico apropiado” (NSR-10, Camacol, 2010) lo cual orienta el modelado y la configuración de estos elementos.

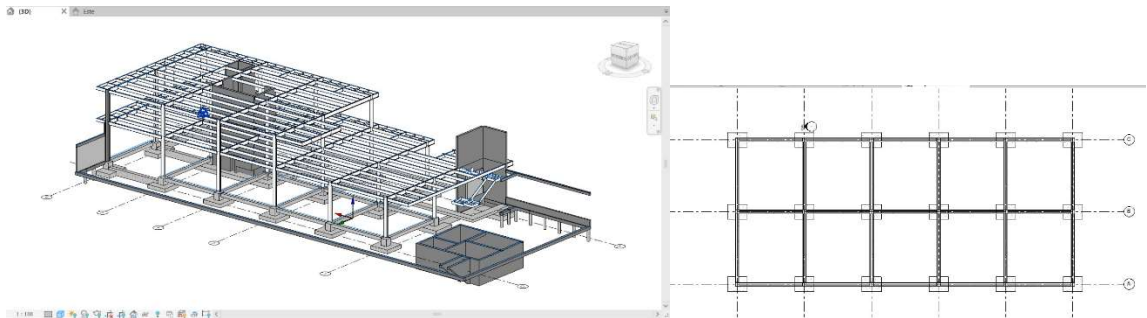
Figura 42 *Rejilla y elementos principales*



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Colocados los elementos verticales y horizontales, se continúa con el sistema de cimentación, en este caso zapatas aisladas con zapatas excéntricas en concreto de 3.50x2.10m. También se incorporan los detalles de uniones estructurales para conectar adecuadamente vigas, columnas, asegurando estabilidad y coherencia en el sistema constructivo.

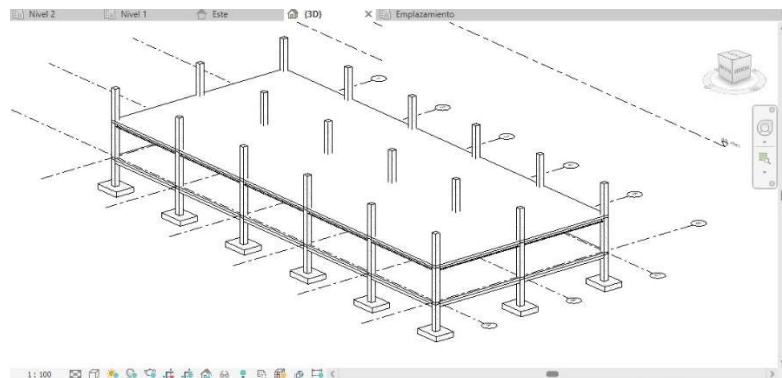
Figura 43 Colocación de Zapatas y detalles estructurales



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Luego, se modelan las placas o losas estructurales, configurando su espesor, material y contorno de apoyo en el cuadro de propiedades, garantizando continuidad entre los niveles. De acuerdo con la NSR-10, Título C, apartado de Concreto Estructural; “los elementos de concreto deben diseñarse y construirse garantizando resistencia, durabilidad y estabilidad, siguiendo criterios que aseguren un comportamiento adecuado ante cargas gravitacionales y sísmicas” (NSR-10, Camacol, 2010), por lo que estos parámetros aseguran el cumplimiento estructural del sistema.

Figura 44 Losas y escaleras



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Modelado de arquitectura

El modelado arquitectónico en Revit permite desarrollar el diseño de una edificación, representando cada espacio y elemento constructivo. Este proceso debe cumplir con los parámetros mínimos establecidos en la normativa nacional. Según la NSR-10 (Reglamento colombiano de construcción sismo resistente), Capítulo A, Requisitos Arquitectónicos: Las edificaciones deben cumplir condiciones mínimas de seguridad, accesibilidad y funcionalidad, definiendo criterios para la distribución espacial, circulaciones, protección contra incendios y rutas de salida, garantizando la vida de los ocupantes y el adecuado desempeño de la construcción. (NSR-10, 2010) .

Con las herramientas de Revit, se pueden crear muros, cubiertas, escaleras, puertas y ventanas, asignando materiales, acabados. Esto facilita la visualización en 2D y 3D, mejora la comprensión espacial y garantiza la coherencia entre las distintas vistas.

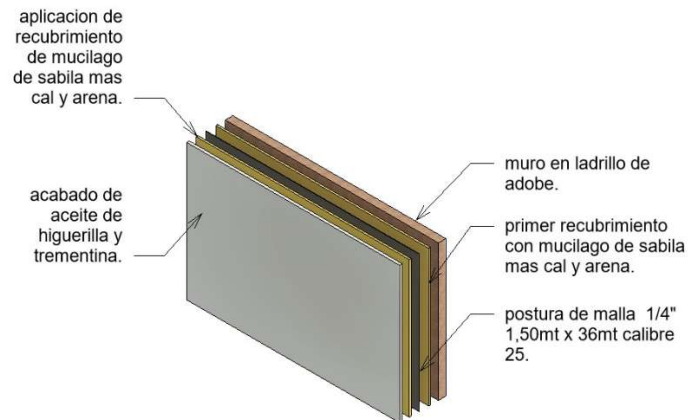
El modelado arquitectónico en Revit comienza con la creación y ubicación de muros dentro del proyecto, en el cuadro de propiedades se define su espesor, material, altura. A partir de ellos se organiza la distribución espacial. Luego, se insertan puertas y ventanas mediante familias cargables desde la pestaña Arquitectura. Estas pueden modificarse en el cuadro de propiedades, ajustando su tipo, dimensiones, altura de antepecho, marco, tipo de apertura, material etc...

Figura 45 Modelado de muros, puertas y ventanas



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Figura 46 Detalles de Muro en adobe



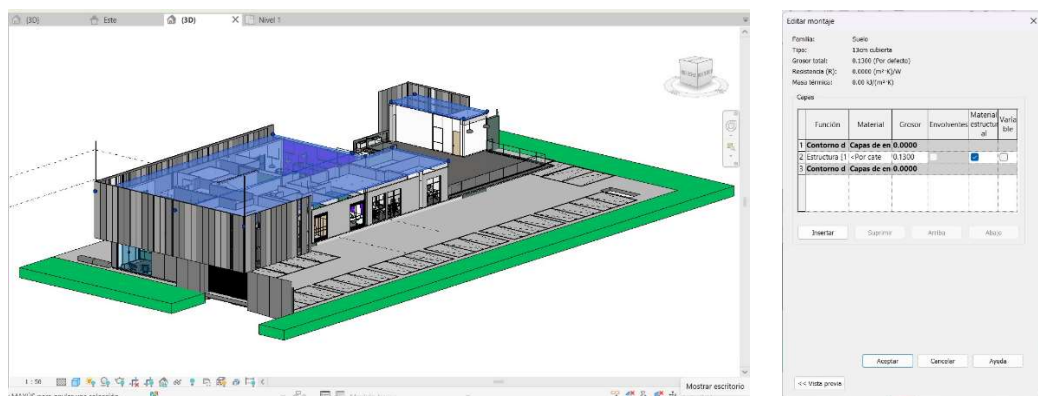
Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Una vez definidos los elementos principales, realizan los acabados arquitectónicos, asignando materiales y texturas en el editor de materiales. Desde allí se pueden editar propiedades visuales y físicas como color, patrón de superficie, rugosidad o espesor. Estos acabados se aplican a muros, pisos, techos o cubiertas, para representar con detalle el aspecto de cada elemento.

Por último, se crea la cubierta, por perímetro o extrusión, ajustando pendiente, nivel de apoyo, materiales y capas constructivas para garantizar funcionalidad y estética.

Figura 47 Cubierta del proyecto

Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.



Este proceso conjunto permite desarrollar una representación arquitectónica completa, coherente y visual dentro del entorno BIM.

Modelado de redes MEP

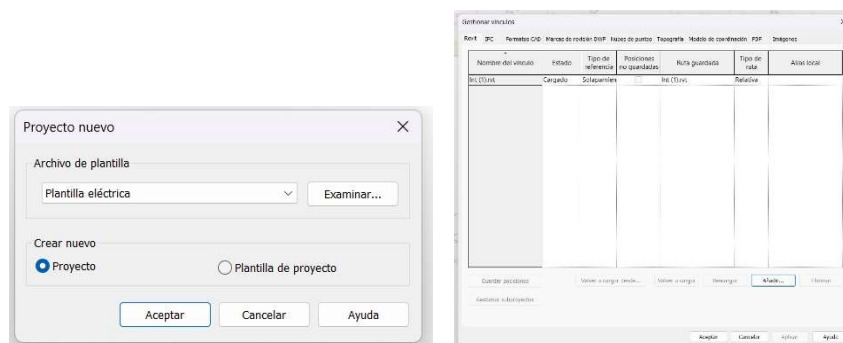
El modelado de redes MEP (Mecánicas, Eléctricas y Plomería) en Revit integra las instalaciones técnicas del edificio dentro del modelo BIM, permitiendo una coordinación con la arquitectura y la estructura. A través de sus herramientas se pueden diseñar sistemas eléctricos, hidráulicos, sanitarios y de climatización con sus conexiones, equipos y accesorios.

Redes eléctricas

Este modelado comienza con la preparación del proyecto, seleccionando la plantilla MEP e importando el modelo arquitectónico que servirá como referencia para ubicar tableros, luminarias y tomacorrientes. Luego, desde la pestaña Gestionar, se configuran los niveles, unidades y sistemas eléctricos, ajustando las normas y los parámetros de voltaje y carga según el tipo de instalación.

Además de acuerdo con el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) Art. 10 Principios Básicos de Seguridad, “las instalaciones eléctricas deben diseñarse y ejecutarse garantizando la protección de las personas, los animales y los bienes frente a riesgos eléctricos, reduciendo la probabilidad de choque, incendio o fallas derivadas del uso de la energía” (RETIE, 2013). por lo que estas configuraciones iniciales aseguran que el modelo cumpla con los criterios de seguridad exigidos por la normativa.

Figura 48 Redes eléctricas

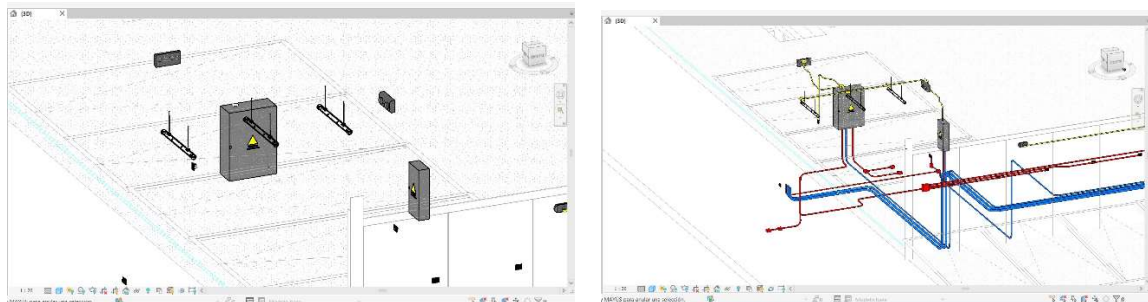


Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Una vez listo el entorno, se hace la colocación de equipos eléctricos desde la pestaña Sistemas, Eléctrico. Allí se insertan paneles de distribución, interruptores, luminarias, tomacorrientes y equipos especiales, estos se pueden ubicar desde planta o alzado. Estos elementos provienen de familias, que pueden modificarse o duplicarse para crear versiones personalizadas según el proyecto.

Posteriormente, se trazan los circuitos eléctricos utilizando la herramienta Crear circuito, que permite conectar los dispositivos con su respectivo panel de control. En el cuadro de propiedades se pueden ajustar parámetros como tipo de sistema y editar los materiales o calibres de los conductores duplicando o modificando los tipos de cableado en el panel Editar tipo. Luego, se procede a la generación de planos, vistas o detalles técnicos del sistema.

Figura 49 Red eléctrica



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Las instalaciones de esta red para nuestro equipamiento de oficinas multifuncionales están conformadas por una tubería EMT de 1/2" pulgada esta medida incluye las uniones, curvas que transportaran el cable y las terminales, las cajas se manejan con la regencia de 2.400 y 5.800, los tableros eléctricos de 68 circuitos, armarios de inspección eléctrica, secciones de rectas de bandeja de cable de malla, luminarias según referencia por espacios, tomas corrientes monofásicas gfcí y toma corriente a 250v.

Conforme lo establece el reglamento RETIE Art. 28, Materiales y Productos Eléctricos, “los equipos, conductores y accesorios utilizados en la instalación eléctrica deben estar certificados para uso

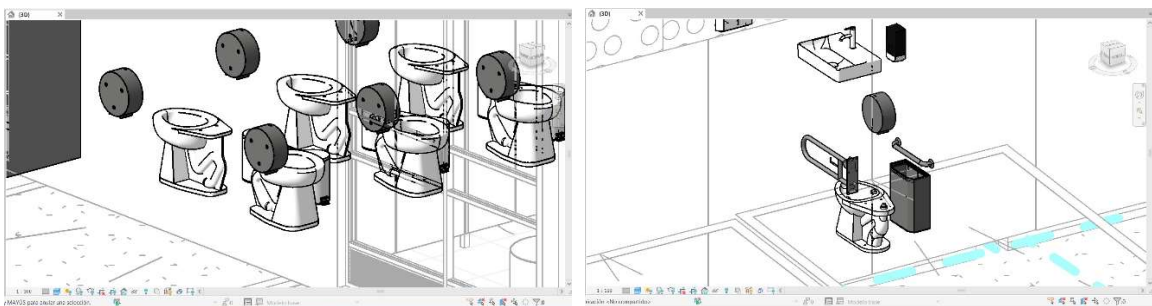
en Colombia y cumplir con las especificaciones técnicas establecidas” (RETIE, 2013). garantizando así el cumplimiento normativo y la seguridad operativa del sistema.

Redes Hidrosanitarias

El modelado de redes hidrosanitarias comienza con la preparación del proyecto, luego se configura los parámetros del sistema desde la pestaña Gestionar, donde se definen niveles, unidades de medida y tipos de sistemas de fontanería agua fría, caliente, residual o pluvial. Seguido, se realiza la colocación de los equipos y aparatos sanitarios desde la pestaña Sistemas, Fontanería y tuberías. Allí se insertan lavamanos, duchas, sanitarios o lavaplatos. Una vez colocados los elementos, se trazan las tuberías con la herramienta Tubería, conectando cada aparato con las redes principales de suministro o evacuación.

Tal como establece la NTC 1500 Requisitos generales de instalación, “las instalaciones hidráulicas y sanitarias deben garantizar un suministro adecuado y una evacuación eficiente, utilizando materiales, diámetros y pendientes que aseguren un funcionamiento seguro, higiénico y continuo” (NTC-1500, 2004), por lo que estos parámetros se ajustan desde el inicio del modelado para asegurar la correcta operación del sistema.

Figura 50 Aparatos de redes hidrosanitarias



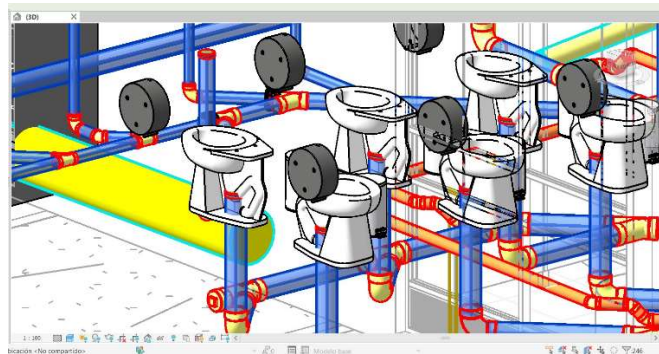
Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Los diámetros, materiales y pendientes se pueden modificar en el cuadro de propiedades o en la barra de opciones, seleccionando el tipo de sistema y ajustando sus parámetros antes o después de colocar las tuberías. Igualmente se pueden crear tipos personalizados duplicando un tipo de tubería existente y cambiando sus características en el panel Editar tipo.

Según lo establecido en el RAS (Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento) Título B Sistemas de recolección y evacuación; “los diámetros mínimos y pendientes de las tuberías deben seleccionarse de acuerdo con la capacidad hidráulica requerida, garantizando velocidades que eviten sedimentación o retornos indeseados” (RAS, 2000), por lo que estos valores deben definirse de manera precisa para asegurar el correcto funcionamiento hidráulico del sistema.

Posterior, se añaden accesorios y componentes como válvulas, codos o sifones desde la misma pestaña Sistemas. Con el modelo ya definido, se generan vistas en planta, secciones o detalles.

Figura 51 Redes hidrosanitarias segundo nivel



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Las instalaciones de esta red para nuestro equipamiento de oficinas multifuncionales están conformadas por tubería pvc sanitaria distribuida de la siguiente forma: para la instalación de los sanitarios se usa una tubería de 4" pulgadas, para la tubería de lavamanos de 2", pulgadas para desagüe de sifones de 2" pulgadas, para desagüe de cocina 2" pulgadas, para desagüe de aguas lluvias 4" pulgadas y finalmente para tubería que sale de la caja colectora a alcantarillado va de 6" pulgadas. Estas

modificaciones se realizaron editando las familias o duplicándolas en el apartado de cuadro de propiedades.

Redes HVAC

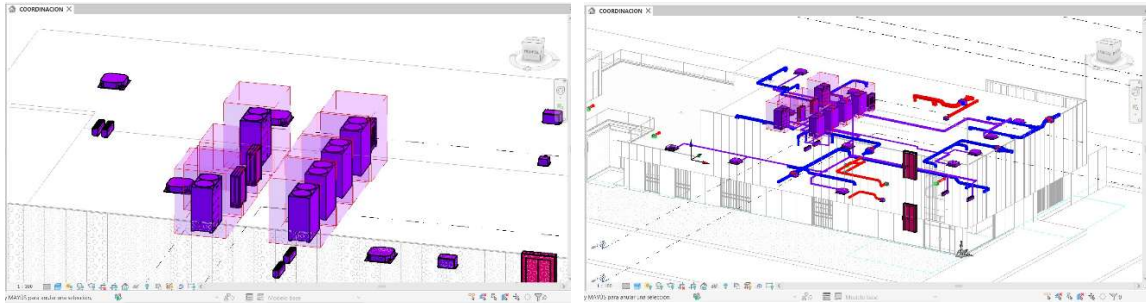
El modelado de redes HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) en Revit comienza con la preparación del proyecto. Luego, desde la pestaña Gestionar, se configuran los niveles, unidades y sistemas mecánicos, definiendo los tipos de flujo de aire, temperatura y presión que manejará la instalación.

Luego, desde la pestaña Sistemas, Mecánico, se realiza la colocación de los equipos HVAC, insertando unidades de tratamiento de aire (UTA), difusores, rejillas, conductos, extractores y equipos de climatización. Igualmente, estos vienen de familias cargables y pueden duplicarse o modificarse según los requerimientos del proyecto.

De acuerdo con el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) en la sección de cargas especiales y motores eléctricos; “los equipos que operan mediante energía eléctrica, como sistemas de climatización y ventilación, deben contar con protecciones y conductores dimensionados según la corriente nominal, el régimen de trabajo y las condiciones de operación establecidas” (RETIE, 2013), garantizando la seguridad y correcta operación de estos sistemas.

Posteriormente, se procede al trazado de conductos, conectando los equipos con las terminales de aire. En el cuadro de propiedades o en la barra de opciones se pueden modificar los diámetros, formas, materiales y tipos de aislamiento, garantizando un flujo de aire adecuado. Igualmente, se pueden personalizar editando sus parámetros en Editar tipo.

Ya con el trazado, se colocan accesorios y componentes como codos, transiciones, válvulas de control o compuertas, asegurando continuidad y eficiencia en el sistema. Con el modelo definido, se generan vistas, secciones o detalles del diseño técnico.

Figura 52 Redes HVAC

Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

El sistema HVAC de esta edificación integra diversos componentes que aseguran el confort térmico y la calidad del aire. Incluye unidades de tratamiento de aire que limpian y climatizan el flujo antes de distribuirlo por medio de ductos, rejillas y difusores. También incorpora equipos que generan calor o frío, como calderas, bombas de calor o chillers, junto con sus terminales de distribución, garantizando espacios ventilados, confortables y saludables.

En concordancia con la normativa RETIE, Capítulos de instalaciones fijas y cargas específicas, “las conexiones eléctricas de equipos de aire acondicionado, extractores y ventiladores deben cumplir con las especificaciones de conductor adecuado, protección independiente y accesibilidad para inspección y mantenimiento” (RETIE, 2013), asegurando una instalación eléctrica segura y confiable para los sistemas mecánicos.

Conclusión modulo 3

El modelado de especialidades en Revit es una herramienta fundamental dentro del entorno BIM, ya que permite integrar de manera coordinada los sistemas eléctricos, hidrosanitarios y HVAC dentro del modelo arquitectónico y estructural. Esta integración facilita la comunicación entre disciplinas, reduce errores en la etapa de diseño y mejora la eficiencia en la construcción al detectar interferencias.

Además, gracias al software de Revit el trabajo con elementos paramétricos hace que sea posible ajustar dimensiones, materiales y configuraciones, garantizando la precisión en todas las redes técnicas, junto con las especificaciones y la información del modelo. El uso de vistas y detalles, facilita la visualización, comprensión y la verificación del funcionamiento de cada red antes de su ejecución.

Es así como el modelado de especialidades en Revit hace que el proceso constructivo sea más sostenible, controlado y colaborativo, esto influye en la calidad del proyecto y promueve la innovación tecnológica en el desarrollo integral de las edificaciones.

MÓDULO 4: COORDINACIÓN DE ESPECIALIDADES, DOCUMENTACIÓN Y TIEMPOS

En este módulo se realiza la coordinación de las diferentes especialidades del proyecto con ayuda de los programas Revit y Navisworks. Estas herramientas BIM permite reunir los modelos de arquitectura, estructura e instalaciones MEP en un solo entorno, para revisar cómo se relacionan entre sí y detectar posibles errores o choques entre los elementos de cada especialidad.

Con la función Clash Detective del software Navisworks se pueden identificar y analizar interferencias entre los sistemas, visualizar el modelo completo en 3D, además este software nos facilita generar informes, gestionar costos y cantidades, también simular actividades constructivas, todo esto ayuda a hacer los ajustes y gestiones necesarias antes de la construcción del proyecto.

Este proceso facilita el trabajo entre disciplinas, mejora la comunicación y ayuda a evitar retrabajos en obra. Gracias a la coordinación BIM, se optimiza el tiempo, se aprovechan mejor los recursos y se garantiza un resultado final más preciso y eficiente en este caso para el proyecto *CoWork Lab de Oficinas Multifuncionales*.

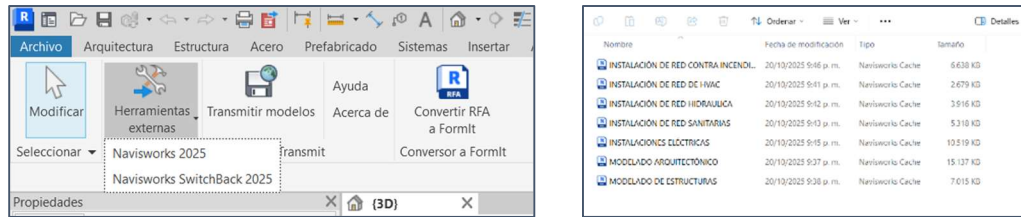
Análisis de interferencias e inconsistencias

Es una de las funciones principales de Navisworks, que permite revisar los modelos BIM de distintas especialidades, para detectar puntos donde los elementos se cruzan o se superponen de forma incorrecta. Estas interferencias, conocidas como *clashes*, pueden generar problemas en la etapa de construcción si no se corrigen a tiempo. Gracias a esta herramienta, es posible anticiparse a los errores y garantizar que el modelo digital sea coherente y coordinado antes de ejecutarse en obra.

Aplicación práctica; pasos para el Análisis de interferencias en Navisworks

1. Desde Revit vamos a Complementos, luego Herramientas Externas donde se encuentra la función de conversión. Esto permite la exportación del modelo a Navisworks. Así se garantiza que la información se conserve para el análisis. Cada especialidad (arquitectura, estructura y MEP) se debe exportar en formato NWC, compatible con Navisworks.

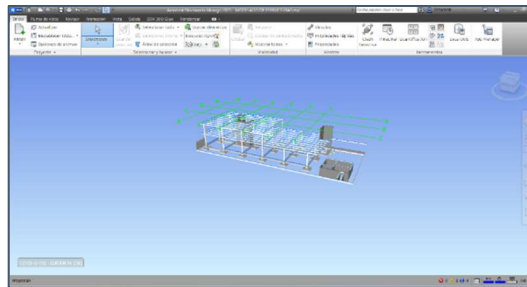
Figura 53 Guardar los modelados en archivo NWC.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

2. Una vez exportados los archivos, se abren en Navisworks, donde se vinculan los modelos de las diferentes especialidades en un entorno de trabajo. Para visualizar el proyecto completo en 3D y revisar la correcta superposición entre las diferentes especialidades.

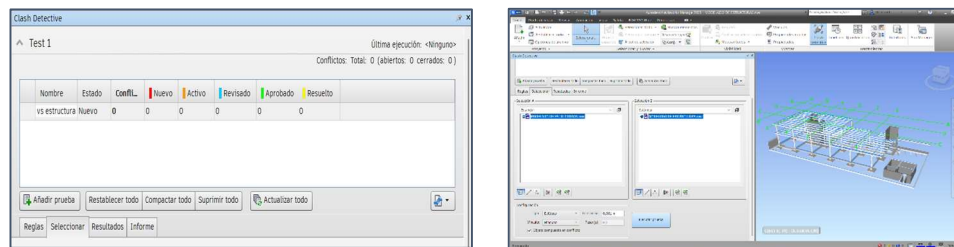
Figura 54 Abrir el archivo convertido a NWC en Navisworks.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

3. Con los modelos integrados, activaremos la herramienta *Clash Detective*, que genera pruebas de interferencias. La primera se configuró para revisar la especialidad estructural, nombrando la prueba y definiendo que incluyera todo el proyecto. Luego, se ejecutó.

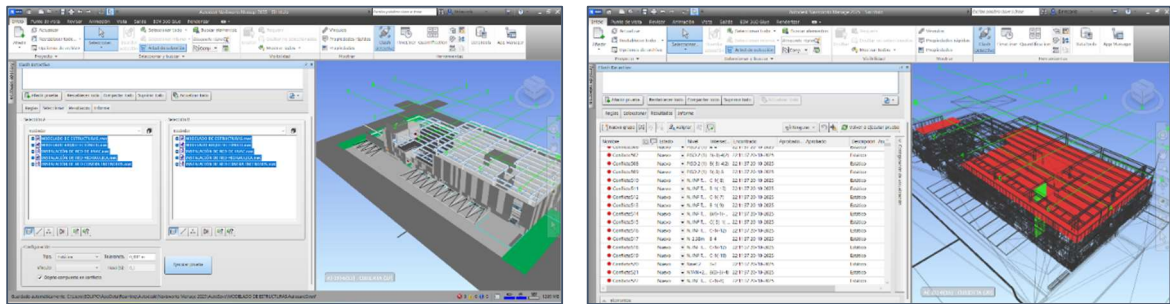
Figura 55 Clash Detective y crear la primera prueba.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

4. Finalmente, se realizó una prueba general que incluyó todas las especialidades. Gracias a esto, fue posible identificar los choques entre muros, vigas, ductos y tuberías, facilitando la corrección de los elementos en Revit. Así se logró una coordinación completa del modelo, reduciendo errores y mejorando el diseño general.

Figura 56 Crear una prueba integrando todos los modelados de especialidades.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Este análisis sirve para evitar errores constructivos antes de la obra, reduciendo tiempos, costos y retrabajos. También permite tener un control preciso de la coordinación entre especialidades y garantizar que cada sistema esté correctamente ubicado. Además, al detectar las interferencias en el diseño asegura una mejor planificación de los procesos constructivos.

En el proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, el análisis de interferencias se aplicó para coordinar los modelos de arquitectura, estructura y redes MEP, garantizando que todos los sistemas funcionaran correctamente en el proyecto. Con los resultados obtenidos en Navisworks, se corrigieron los elementos que generaban conflictos, optimizando la ubicación de ductos, vigas y muros. Este proceso permitió validar el modelo antes de su ejecución, logrando una coordinación precisa y eficiente.

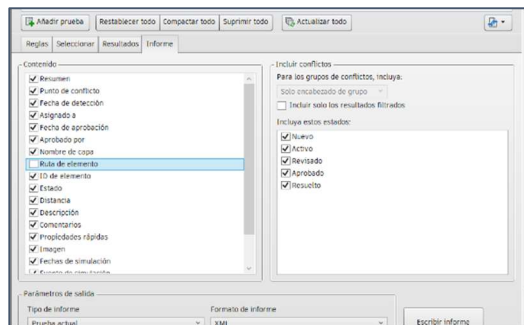
Creación de informes de coordinación

Estos reúnen los resultados del análisis de interferencias entre las especialidades del modelo BIM. Estos muestran los puntos donde existen conflictos entre elementos, para que el equipo de cada especialidad los revise y solucione antes de avanzar en el proyecto. En Navisworks, esta función facilita el control del proceso de coordinación, dejando registro de cada revisión y asegurando que las decisiones se documenten correctamente.

Aplicación práctica; pasos para la creación de informes de coordinación

1. Una vez realizadas las pruebas de interferencias en Navisworks, se selecciona en el panel de resultados y se activan todos los contenidos. Esto para que la información registrada incluya cada conflicto detectado, con su ubicación, tipo de interferencia y vista asociada.

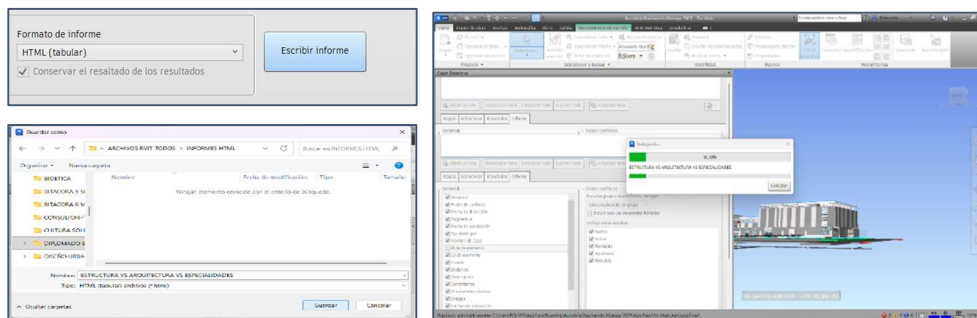
Figura 57 Exportación de informes.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

2. Selección del tipo de formato del informe, para generar el reporte se eligió el formato HTML tabular, ya que permite una presentación clara y ordenada de los resultados, mostrando en tablas cada interferencia encontrada junto con su descripción y elementos implicados.

Figura 58 Selección del tipo de formato del informe.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

3. Análisis del informe de interferencias, una vez descargado, se revisa el contenido del informe para analizar las interferencias detectadas. Cada conflicto se comparó con el modelo 3D para verificar su ubicación exacta y evaluar el error, para priorizar las correcciones.

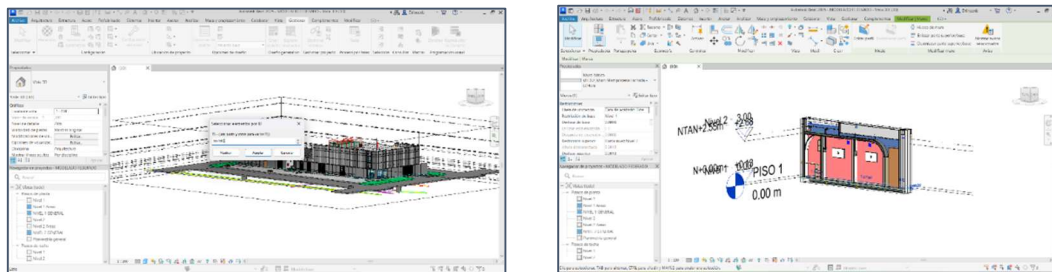
Figura 59 Análisis del informe de interferencias.

Imagen	Numero de conflicto	Estado/Elemento de origen	Ubicación de origen	Descripción	Fecha de generación	Punto de conflicto	ID de elemento	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	ID de elemento	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo
	Conflicto1	Nuevo	A.6.1.01E1 VEOMO	...	...	...	...	Muro12	CL.03 Loberos (nivel 1)12	Soldado	...	Muro1	Inter. Placa de PDC	Soldado
	Conflicto2	Nuevo	A.6.1.02E1 VEOMO	...	...	...	...	Muro1	M.0.1.1 Placa de Bata Cales PDC	Soldado	...	Muro1	Inter. Placa de PDC	Soldado
	Conflicto3	Nuevo	A.6.1.03E1 VEOMO	...	...	...	...	Muro11	Muro11-01M12	Soldado	...	Muro1	Inter. Placa de PDC	Soldado
	Conflicto4	Nuevo	A.6.1.04E1 VEOMO	...	...	...	...	Muro1	M.0.1.1 Placa de Bata Cales PDC	Soldado	...	Muro1	Inter. Placa de PDC	Soldado
	Conflicto5	Nuevo	A.6.1.05E1 VEOMO	...	...	...	...	Muro11	Muro11-01M12	Soldado	...	Muro1	Inter. Placa de PDC	Soldado

Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

4. Identificación de interferencias en Revit, a partir del informe, se copiaron los ID de los elementos en conflicto a Revit, utilizando la herramienta Gestionar, Seleccionar por ID. Esto para localizar en el modelo la interferencia señalada y realizar los ajustes.

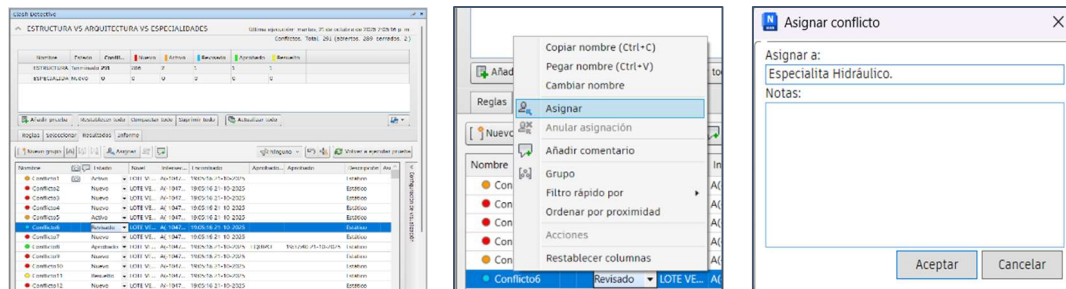
Figura 60 Identificación de interferencias en Revit.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

5. En Navisworks se hizo el seguimiento de cada interferencia, clasificándolas según su avance; activa, revisada, aprobada o resuelta. Además, se añadieron notas y observaciones para cada especialidad, asignando las correcciones a los responsables.

Figura 61 Estado de las interferencias y asignar notas por especialidad.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Los informes de coordinación sirven para organizar y dar seguimiento a las interferencias, asegurando que todas las especialidades trabajen con información actualizada y coordinada, mejorando la toma de decisiones y reduciendo los errores. Con estos es posible planificar las correcciones de manera rápida y garantizar que el modelo esté libre de inconsistencias.

En el proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, los informes de coordinación se usaron para revisar el modelo general y detectar conflictos entre los sistemas estructurales, arquitectónicos y de instalaciones. El reporte permitió que los equipos realizaran cambios y ajustaran su trabajo. Gracias a este proceso, se logró una coordinación más ordenada y colaborativa, asegurando que la información del modelo fuera confiable y que el proyecto avanzara.

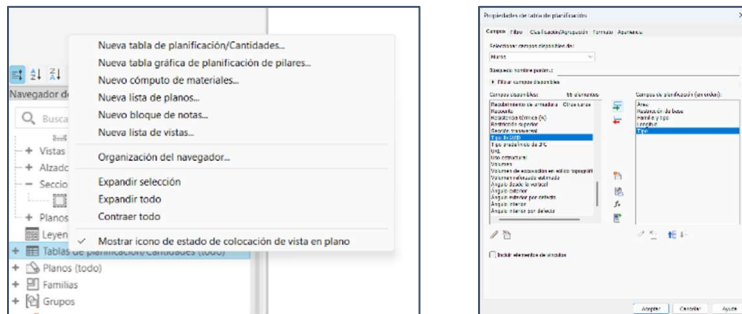
Abstracción y gestión de cantidades

Es el proceso de extraer del modelo BIM la información necesaria sobre materiales, elementos y volúmenes que se usarán en la construcción del proyecto. Para obtener mediciones del modelo 3D, lo que ayuda a calcular los recursos, costos y planificación de obra.

Aplicación práctica; pasos para la abstracción y gestión de cantidades

1. Seleccionar y crear una nueva tabla de cantidades. Desde la pestaña de Cantidades en Navisworks, se selecciona crear una nueva tabla de planificación/cantidades. Luego, se nombra según el elemento, en este caso *muros*, para tener claro de cada componente del modelo.

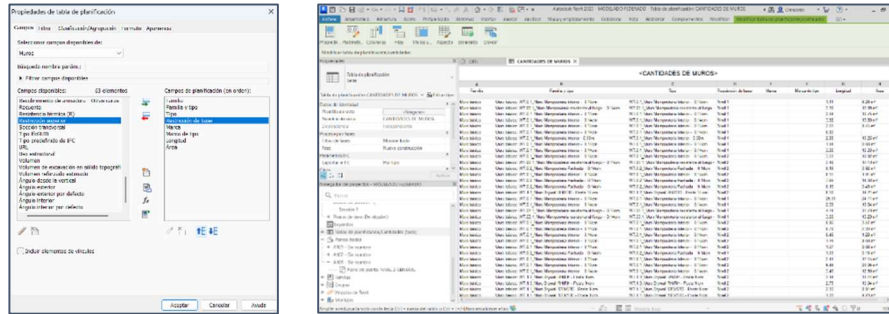
Figura 62 Seleccionar tabla de cantidades y crear una nueva.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Una vez creada la tabla, se ajustan los campos de planificación para mostrar solo la información importante del modelo. Para ver con mayor precisión los datos relacionados con los muros, como su área, volumen o longitud.

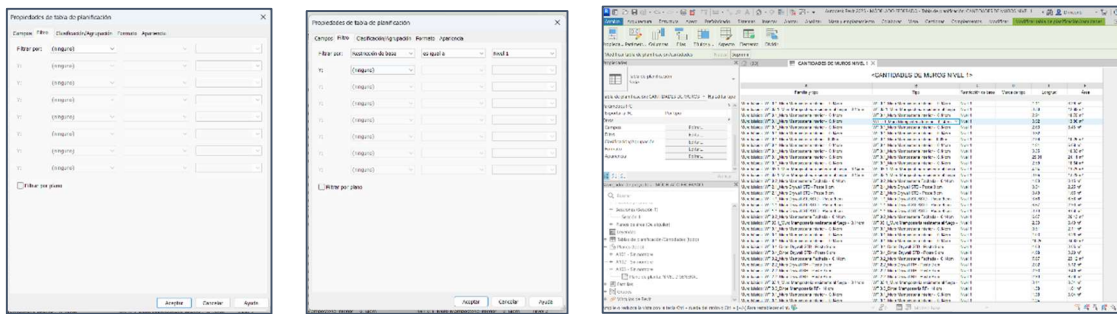
Figura 63 Reorganizar los campos de planificación.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propia.

- Se editan los campos de la tabla para filtrar los datos y excluir información innecesaria. Así, se tiene una tabla más limpia y enfocada en las cantidades para el análisis del proyecto.

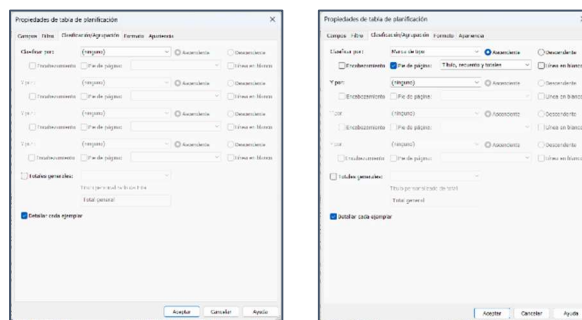
Figura 64 Modificar campos para filtrar la información.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Ordenar y agrupar los muros. Posteriormente, se ordenaron los datos por categorías y se agruparon los muros según su tipo o material. Esta organización facilitó la revisión de los elementos y permitió identificar con facilidad las variaciones en dimensiones o cantidad.

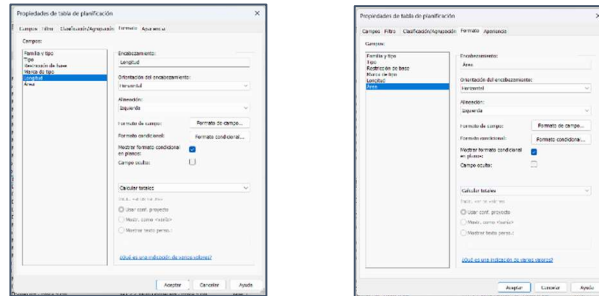
Figura 65 Ordenar y agrupar.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- En el apartado de formato, se realizaron ajustes en las unidades de longitud y área para que Navisworks calculara los totales. Esto para tener resultados precisos sobre la cantidad de superficie o volumen de los muros modelados.

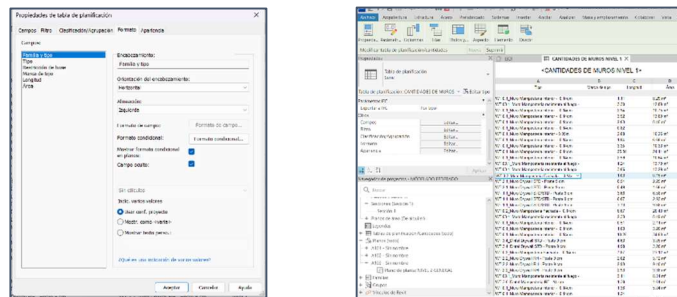
Figura 66 Configurar los formatos de longitud y área.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Finalmente, se configuró la tabla para tener visibles los datos esenciales, ocultando campos como *familia* y *tipo o restricción base*. Para simplificar y centrarse en la información para la cuantificación y gestión de materiales del proyecto.

Figura 67 Ocultar campos innecesarios.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

La gestión de cantidades sirve para controlar los materiales y recursos del proyecto de manera eficiente. Permite planificar el presupuesto desde las primeras etapas del diseño. También facilita la comunicación entre los equipos de diseño y el área de presupuestos, asegurando que las mediciones sean coherentes con los elementos del modelo.

En el proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, la abstracción de cantidades se aplicó para calcular los volúmenes de materiales usados en muros de adobe, estructura y redes MEP. Las tablas generadas ayudaron a definir los recursos necesarios y a planificar. Además, de tener una visión del proyecto y un control más ordenado de materiales y costos desde la etapa de diseño.

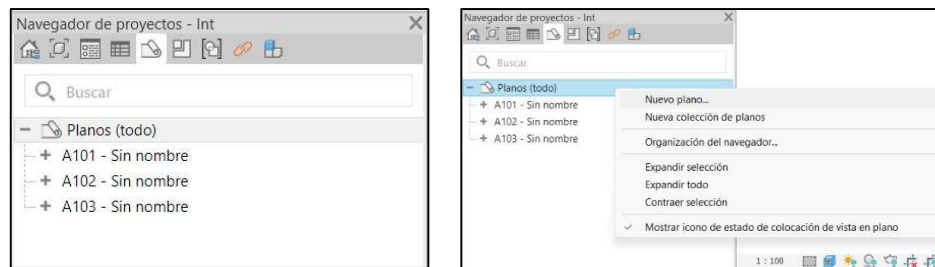
Configuración de planimetrías y documentación

Es el proceso donde se organizan todos los planos, cortes, fachadas y detalles del modelo BIM. Gracias a herramientas BIM se generan de forma automática estos documentos técnicos, que servirán para la revisión, coordinación y construcción del proyecto. Gracias a esto, cualquier cambio que se haga en el modelo se actualiza de inmediato, así la información siempre esta sincronizada y actualizada.

Aplicación práctica; pasos para la configuración de planimetrías y documentación

1. Desde el panel de navegación del proyecto, se ingresa a la sección Planos y se selecciona Nuevo plano. Así se crear una lámina vacía donde se organizarán las diferentes vistas del modelo y también se establece la base para la documentación gráfica del proyecto.

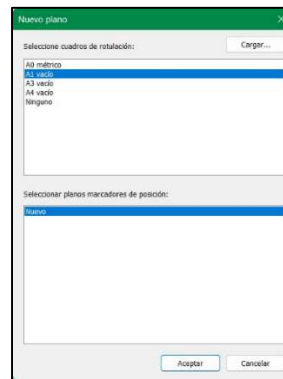
Figura 68 Creación de una nueva lámina en Revit.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

2. Al crear el nuevo plano, aparece una ventana para elegir el rótulo o formato que se usara en la lámina. Se selecciona un formato estándar o también hay la opción de cargar plantillas personalizadas.

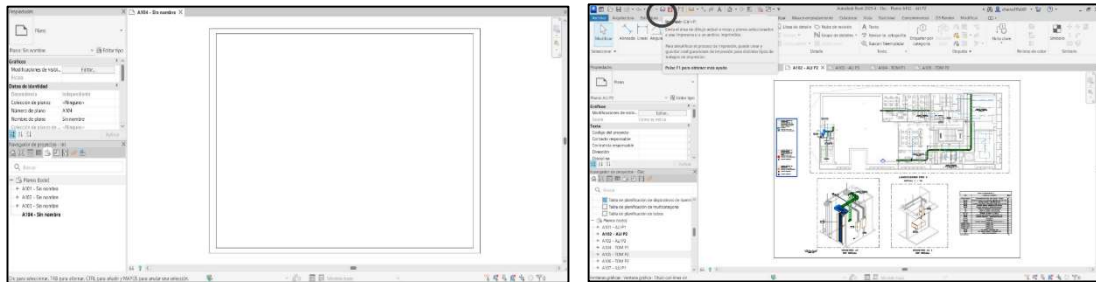
Figura 69 Selección del rótulo o formato del plano.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

3. Impresión o exportación del plano a PDF. Luego de organizar las vistas, se selecciona la opción Imprimir. Ahí, se elige la impresora virtual PDF para exportar el plano en formato digital.

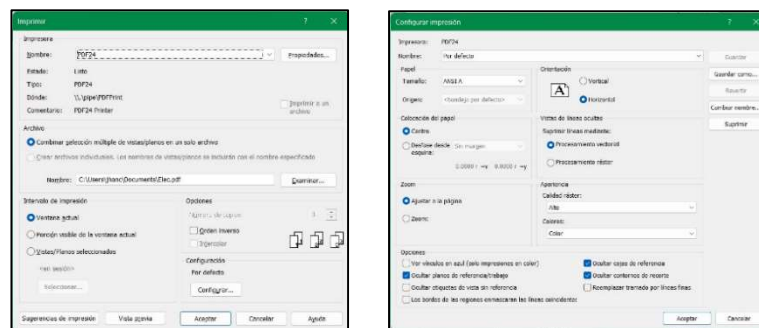
Figura 70 Impresión o exportación del plano a PDF.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

4. Configuración final de impresión. Por último, se ajusta las configuraciones de impresión según las necesidades, definir el tamaño del papel, escala, orientación y calidad del dibujo. Así se los planos tienen una correcta lectura técnica y cumplen con los estándares de presentación.

Figura 71 Configuración final de impresión.

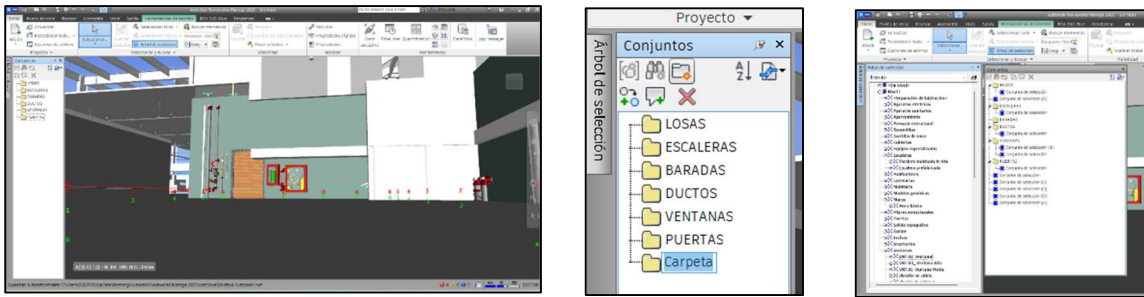


Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

La configuración de planimetría y documentación sirve para presentar de forma ordenada y técnica la información del modelo, facilitando la revisión entre diferentes equipos de trabajo. Al tener las planimetrías vinculadas al modelo 3D, los planos muestran la versión más actual del proyecto, mejorando la comunicación y eficiencia durante todo el proceso de diseño y construcción.

En el proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, la configuración de planimetrías permitió generar los planos de arquitectura, estructura y MEP a partir del modelo BIM. Se organizaron las láminas con sus respectivas vistas y se prepararon los archivos para revisión y entrega final. Esto facilitó la coordinación entre las especialidades, pues todos los equipos trabajaron con la misma información.

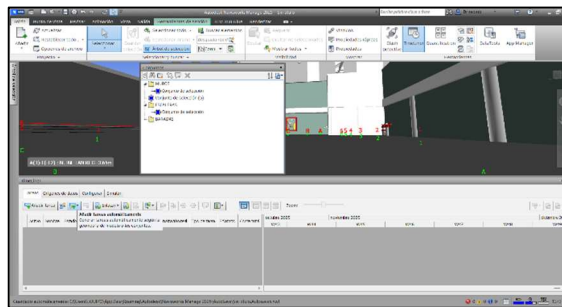
Figura 73 Activación del administrador de conjuntos.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

3. Con los conjuntos creados, se activa la herramienta TimeLiner, donde se configuró el cuadro de diálogo que muestra las actividades y su relación con los conjuntos del modelo. Esta para vincular la estructura del modelo con el cronograma, creando la secuencia constructiva.

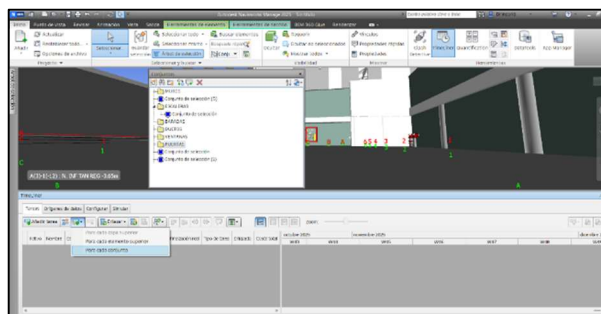
Figura 74 Creación de conjuntos por carpeta.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

4. Activación de la opción Para cada conjunto. Si la opción no aparece disponible al añadir las actividades, se cambia temporalmente el nombre de algún componente dentro de la lista. Esto permitió habilitar la opción y continuar con la configuración del cronograma sin errores.

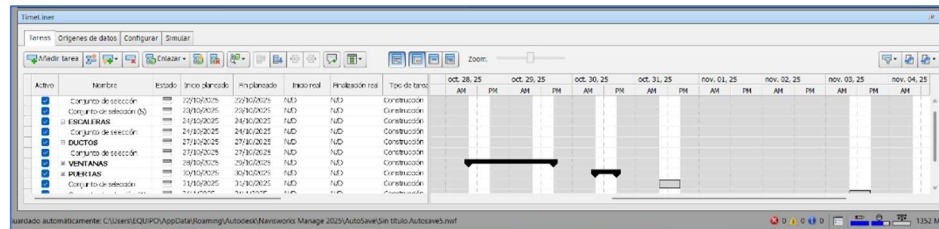
Figura 75 Activación de la opción Para cada conjunto.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Al activar Para cada conjunto, Navisworks genera automáticamente un diagrama de Gantt, con las fechas de inicio y fin de cada actividad. Este diagrama permite visualizar la secuencia de construcción y cómo las fases del proyecto se conectan.

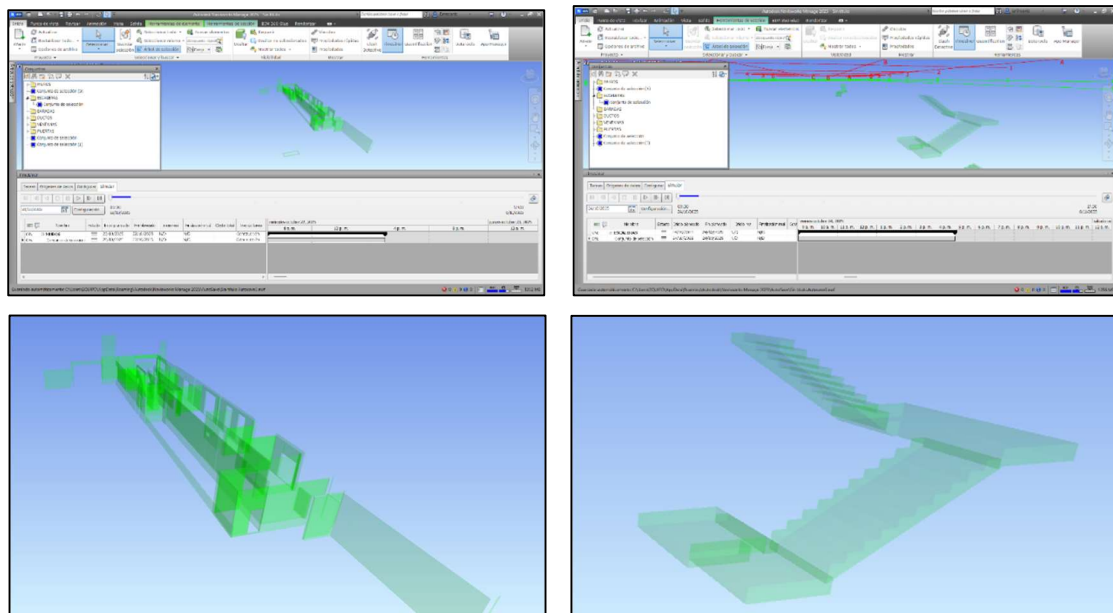
Figura 76 Visualización del cronograma y generación del diagrama Gantt.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Finalmente, luego de ajustaron algunas fechas de inicio y fin de cada tarea y se activó la opción Simular. Así, se visualizó en 3D el avance progresivo del proyecto, observando cómo se construían los elementos paso a paso. Esto permitió analizar la secuencia constructiva, mejorar la planificación y prevenir posibles conflictos antes de la ejecución real.

Figura 77 Simulación del proceso constructivo.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Con esto notamos que la simulación de actividades, sirve para planificar de manera visual la ejecución de la obra, ayudando a identificar posibles interferencias o retrasos. También facilita la

coordinación entre los equipos de trabajo, ya que todos pueden entender fácilmente el orden de las actividades y cómo se desarrollará el proyecto.

En el proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, la simulación de actividades constructivas se utilizó para representar el proceso de construcción de la estructura, los muros en adobe y las instalaciones. Con TimeLiner en Navisworks, se creó una animación que muestra la ejecución de cada fase del proyecto. Esto permitió anticipar conflictos y coordinar los tiempos de cada especialidad, logrando una mejor planificación, control y comprensión del proceso constructivo.

Conclusión modulo 4

La aplicación de herramientas BIM en este módulo permitió integrar y coordinar las diferentes especialidades del proyecto. Con el análisis de interferencias e inconsistencias en Navisworks, fue posible detectar y corregir errores antes de la etapa constructiva, garantizando un modelo sin conflictos entre los sistemas estructurales, arquitectónicos y de redes MEP.

La creación de informes de coordinación facilitó la comunicación entre equipos, ya que permitió registrar y seguir las interferencias detectadas, para que cada especialidad realizara los ajustes necesarios. Igualmente, la abstracción y gestión de cantidades ayudo a optimizar el uso de materiales y recursos, dando datos precisos para la planificación y control de costos desde la fase de diseño.

Con la configuración de planimetría y documentación, se logró generar planos actualizados y coherentes con el modelo BIM, mejorando la presentación técnica del proyecto y garantizando que todos los equipos trabajen con la misma información. Finalmente, con la simulación de actividades constructivas, se visualizó ordenadamente el proceso de ejecución, lo que permite anticipar retrasos y coordinar las tareas de cada especialidad.

En conjunto, estas herramientas y aplicaciones BIM fortalecen la eficiencia del proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, mejorando la coordinación de las distintas especialidades, reduciendo errores, optimizando tiempos y con una gestión más sostenible y colaborativa del proyecto.

MÓDULO 5: REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA

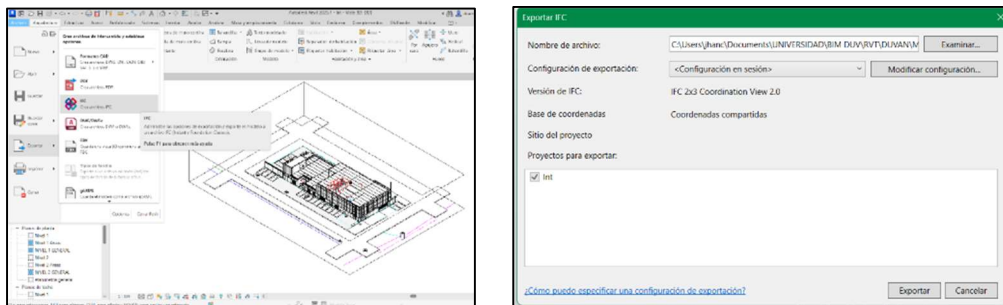
Exportación a IFC entre otros

El formato IFC (Industry Foundation Classes) es un formato utilizado para intercambiar información entre programas BIM. No depende de un software específico, Así el modelo puede abrirse en otros software o plataformas sin perder información. Esto asegura la interoperabilidad.

Aplicación práctica; pasos para la exportación a IFC

1. Se abre el archivo en Revit, menú principal, en la opción Archivo, está la herramienta Exportar, donde aparece el formato IFC entre las alternativas disponibles.
2. Al seleccionarlo, Revit despliega una ventana con las configuraciones de exportación, en la que se puede elegir el tipo de IFC, ajustar las propiedades, definir niveles de detalle, entre otros.

Figura 78 Exportación a IFC desde Revit



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

La exportar a formato IFC sirve para compartir el modelo con otras disciplinas, programas o plataformas. También para revisar el proyecto en entornos de realidad virtual o visores BIM, analizar la información del modelo y garantizar que los datos sean accesibles para todos.

En el proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, desde Revit, se preparó el modelo, luego se exportó en formato IFC, siguiendo los ajustes recomendados. Este archivo permitió visualizar el proyecto en un visor BIM, facilitando la exploración del espacio, identificar ajustes de diseño y la evaluación de la integración de los muros en adobe dentro del proyecto. Gracias a esto, fue posible trabajar en una plataforma liviana y accesible para todas las especialidades.

Renderización en tiempo real

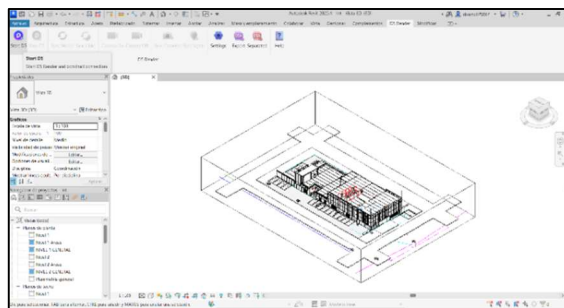
Es un avance que para visualizar un modelo 3D con iluminación, materiales, sombras y detalles, sin esperar tiempos de procesamiento. A diferencia del render tradicional, imágenes estáticas, aquí se actualizan los efectos mientras se desplaza por el modelo. Gracias a softwares y a motores gráficos que procesan inmediatamente, esto mejora la experiencia de diseño y la visual en proyectos.

El software D5 Render integra la renderización en tiempo real con Revit, dando una visualización inmediata del modelo BIM. Esta herramienta permite recorrer el proyecto como si estuviera construido, revisar materiales e iluminación, además de generar imágenes, animaciones y recorridos. Su conexión directa con el modelo facilita identificar errores, evaluar alternativas de diseño y mejorar la comunicación entre el equipo y los clientes desde las etapas iniciales.

Aplicación práctica; renderización en tiempo real Software D5

1. En la barra de herramientas de Revit se selecciona el plugin de D5 Render, para enlazar el modelo directamente con el motor de renderizado. Antes, es necesario instalar tanto el software D5 como el plugin.

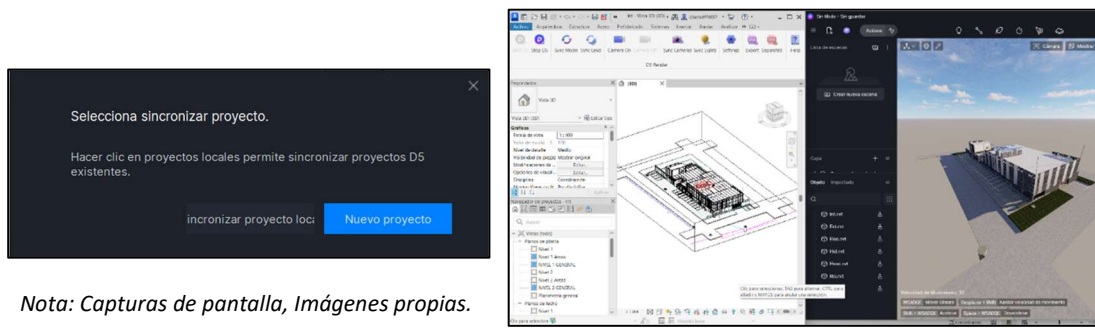
Figura 79 Activación del plugin de D5 desde Revit



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

2. Una vez se activa el plugin, se elige la opción Nuevo proyecto para iniciar la visualización desde cero. Esto facilita mantener un mismo entorno de trabajo sin perder configuraciones de materiales, luces o cámaras.

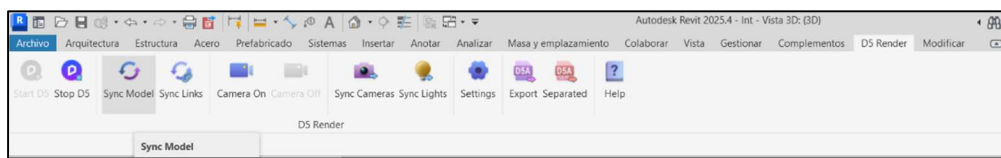
Figura 80 Creación o apertura del proyecto en D5



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

3. El plugin también ofrece herramientas de trabajo colaborativo y actualización. Gracias a la función Sincronizar, cada modificación realizada en Revit se refleja automáticamente en D5 sin necesidad de volver a exportar.

Figura 81 Sincronización y actualización del modelo



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

En el proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, D5 Render se utilizó para visualizar los espacios y evaluar cómo se integran los muros en adobe y otros elementos constructivos. Al activar el motor de render desde Revit, se generó una vista en tiempo real que permitió recorrer el proyecto, ajustar materiales y la distribución espacial. Gracias a esto fue posible detectar ajustes en acabados, texturas y proporciones, logrando una propuesta más coherente con el diseño.

Fotomontaje y retoque fotográficos 3D

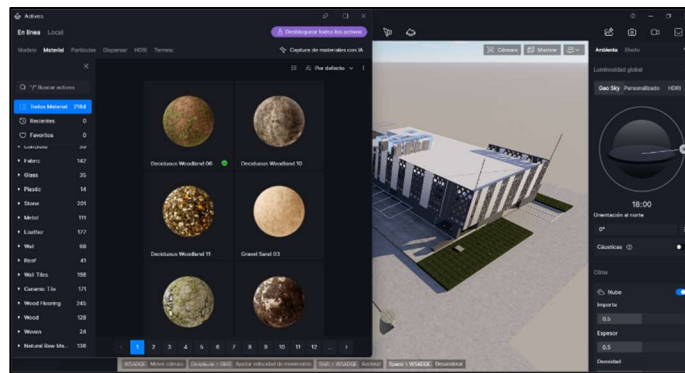
Son técnicas que combinan imágenes renderizadas con fotografías, o también es mejorar visualmente un modelo con ajustes digitales como efectos, correcciones de color, iluminación, etc. Esto para crear una representaciones más realistas y detalladas del proyecto.

Estas herramientas sirven para presentar el proyecto, permiten crear imágenes cercanas a la apariencia real del diseño construido. El fotomontaje ubica el proyecto en su contexto y el retoque fotográfico mejora detalles como sombras, texturas, contrastes, etc. También aporta al proceso BIM al complementar la información técnica con una visualización.

Aplicación práctica; Fotomontaje y retoque fotográficos 3D, Software D5

1. En D5, al presionar la tecla M, se despliega la paleta de modelos, materiales, terrenos y HDRI. Desde este panel se puede elegir texturas y elementos visuales para aplicar al modelo renderizado.

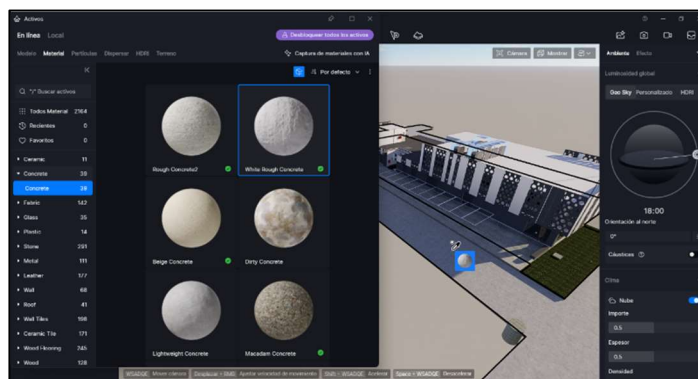
Figura 82 Apertura de la paleta de recursos y materiales



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

2. Una vez seleccionado el material deseado, se hace clic izquierdo sostenido y se arrastrar al elemento del modelo donde se quiere aplicar. D5 actualiza el material al instante, Así se evaluar la apariencia del espacio y hacer ajustes inmediatos.

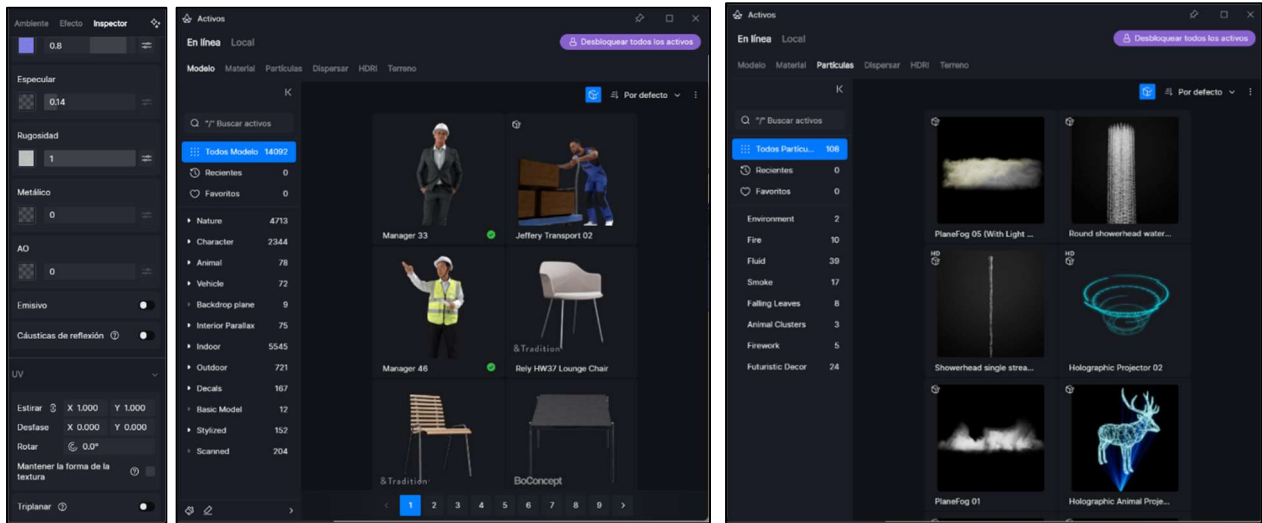
Figura 83 Aplicación de materiales sobre el modelo



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- En la paleta derecha están las herramientas para modificar características del material como escala, color, intensidad, brillo o rugosidad. Esto para lograr una apariencia más realista. La paleta izquierda permite añadir modelos adicionales, elementos genéricos y terrenos, que se pueden modificar para complementar el fotomontaje y mejorar la ambientación.

Figura 84 Configuración y ajuste de materiales y entorno



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

En el proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, Desde D5 se ajustaron materiales, iluminación, sombras y composición, logrando imágenes realistas del diseño. Además, se integraron fondos que ubican el proyecto en un contexto. También se aplicaron y efectos para mejorar las representaciones. Gracias a estas herramientas, las imágenes generadas muestran mejor la relación entre espacios, los muros en adobe y demás elementos arquitectónicos.

Fondos climáticos; Manejo de luces, sombras y reflejos

En los motores de render como D5, los fondos climáticos simulan condiciones naturales, como cielos despejados, nubes o atardeceres, que afectan la iluminación del modelo, generando sombras, reflejos y tonalidades. El ajuste de luces, sombras y reflejos permite controlar la intensidad del sol y la dirección de la luz, definiendo la atmósfera visual del proyecto y mostrando cómo el espacio cambia según las condiciones de iluminación.

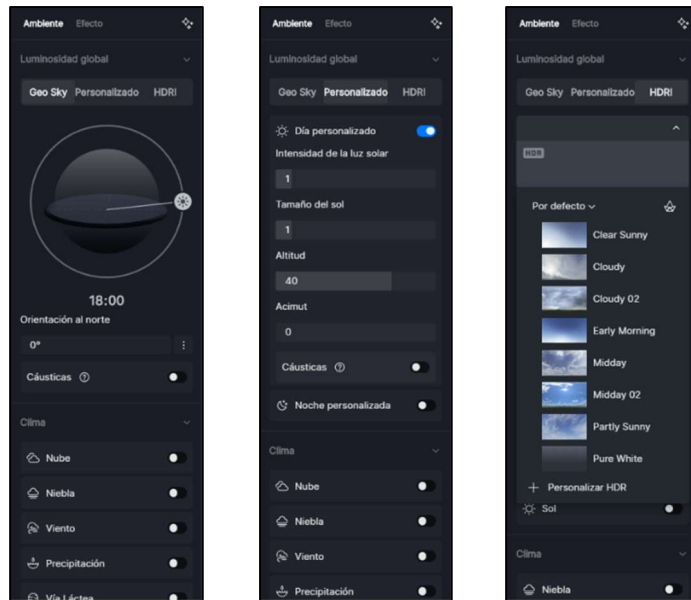
Estos parámetros sirven para tener visualizaciones más claras y realistas del proyecto. Los fondos climáticos ayudan a simular diferentes horas del día o condiciones de clima, mientras que las herramientas de luz y sombra permiten revisar cómo se comportan los espacios, cómo responden los materiales y qué ajustes mejorar la calidad de las imágenes finales.

Ajustar reflejos y transparencias también sirve para representar correctamente vidrios, metales o superficies, dando realismo y ayuda a comunicar mejor los acabados del proyecto. Así, estos elementos fortalecen la presentación del diseño.

Aplicación práctica; Fondos climáticos; Manejo de luces, sombras y reflejos

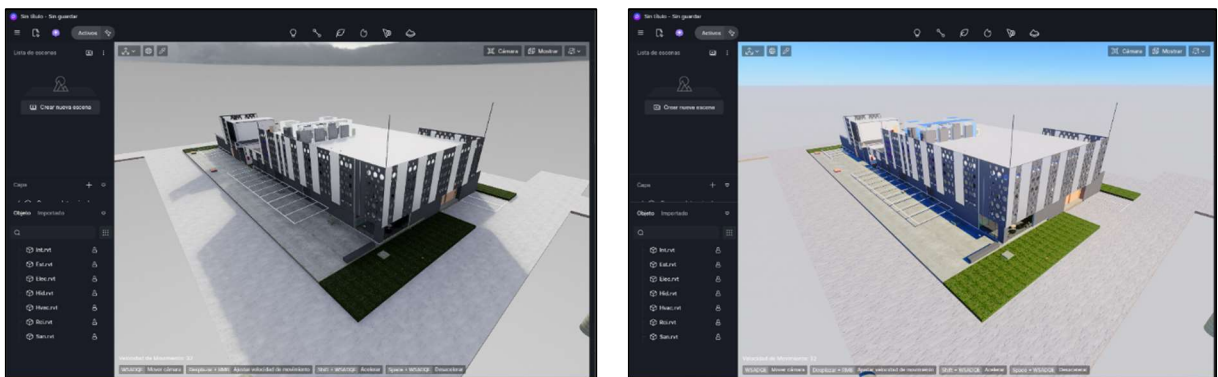
1. Ajustes manuales del clima y la iluminación. En el panel de clima de D5 se configura la orientación del sol, la intensidad de las nubes, la niebla, el viento y la precipitación. Esto permiten crear diferentes ambientes para visualizar cómo cambia el proyecto.
2. Configuración personalizada del sol. En la opción Personalizado, se puede modificar la intensidad del sol, el tamaño del disco solar, la altitud y el acimut. Esto ayuda a controlar la dirección de la luz y la forma en que las sombras se proyectan en el modelo.
3. Uso de HDRI para iluminación avanzada. D5 ofrece una sección de HDRI, que incluye fondos predeterminados con iluminación profesional. Estos ambientes permiten obtener luces, sombras y reflejos más realistas sin necesidad de configurar cada parámetro manualmente.

Figura 85 Ajustes manuales del clima y la iluminación



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Figura 86 Ejemplos de visualización



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

En el *proyecto CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, los fondos climáticos y la iluminación se configuraron desde el panel de Renderización de D5. Se eligieron diferentes ambientes HDRI para evaluar la incidencia de luz natural en los espacios. También se ajustó la intensidad solar según la hora del día, para analizar sombras, reflejos en las superficies de vidrio y el comportamiento general de la iluminación en el proyecto. Adicionalmente, se usó la profundidad de campo, la niebla volumétrica y la optimización de reflejos, creando imágenes con mayor calidad para presentar el proyecto.

Visualización de modelos 3D

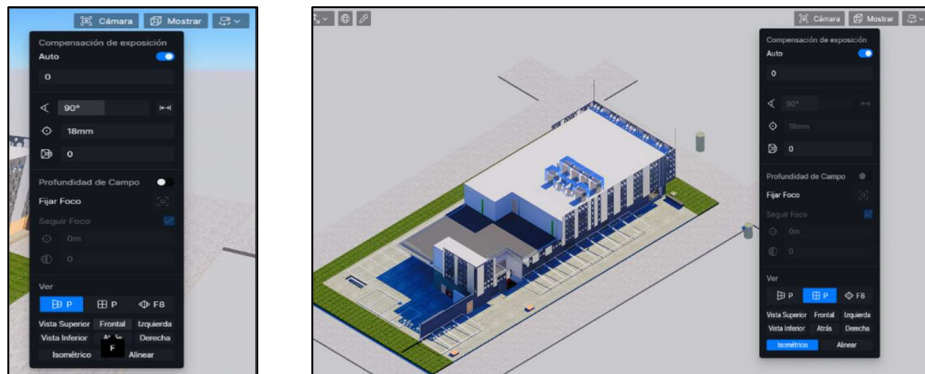
Es el proceso donde el proyecto digital se vuelve una representación más realista, para observar materiales, iluminación, sombras, texturas y animaciones. En herramientas como D5 Render, este proceso permite ver el modelo en alta calidad, recorrerlo en diferentes modos, generar imágenes, videos y aplicar efectos visuales para la presentación del diseño. La visualización 3D es una herramienta para entender cómo se verá el proyecto construido y cómo se comportan sus espacios.

La visualización en 3D sirve para comunicar el diseño de manera clara, realista y comprensible. Con D5 es posible navegar el modelo en vista de órbita o primera persona, crear carretes de cámara para producir animaciones, registrar videos y configurar parámetros como luz, clima, profundidad de campo, reflejos o ambiente. Además, ofrece herramientas como efectos de lluvia, niebla, viento, sonidos ambientales y simulación de vegetación, que permiten representar sensaciones reales del espacio.

Aplicación práctica; Visualización de modelos 3D

1. Modos de cámara para distintas vistas, D5 tiene varios tipos de cámara para visualizar el modelo desde diferentes enfoques. Se pueden generar vistas en perspectiva, secciones, fachadas, profundidad de campo y ángulos amplios, para tener tomas completas y con mejor encuadre del proyecto.

Figura 87 Modos de cámara para distintas vistas del proyecto



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

2. Visualizaciones básicas para mayor fluidez. También existe un modo de visualización más sencillo con menos carga gráfica. Este sirve cuando se necesita navegar rápidamente por el modelo sin afectar el rendimiento del motor, en proyectos grandes o con muchos elementos.

Figura 88 Visualizaciones básicas



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

3. Modos de navegación dentro del modelo D5, se puede recorrer el proyecto de tres formas distintas:

- Modo Orbital: que hace la navegación tradicional para girar alrededor del modelo.

Figura 89 Modo Orbital



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Modo Volar: funciona como un videojuego usando las teclas W, A, S, D, Q y E para desplazarse libremente por el espacio.

Figura 90 Modo Volar



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Modo Caminar: para simula la experiencia de un peatón, se puede ajustar la altura y velocidad como si se recorriera el proyecto a escala humana.

Figura 91 Modo Caminar



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

En todos los modos se puede controlar la velocidad y la sensibilidad del cursor para lograr una navegación más cómoda y precisa.

En el proyecto *CoWork Lab Oficinas Multifuncionales*, la visualización 3D se realizó en D5 Render, aprovechando su motor en tiempo real. Se usaron vistas en órbita y primera persona para recorrer los espacios interiores y exteriores, identificando detalles constructivos. También se crearon carretes de animación donde se configuraron diferentes puntos de cámara, FPS, resoluciones y efectos para producir videos del recorrido del proyecto.

Además, se ajustaron aspectos como iluminación ambiental, profundidad de campo, niebla volumétrica y efectos de clima para mejorar la presentación final. Gracias a estas herramientas, se logró una representación más realista del proyecto, facilitando su evaluación y comunicación dentro del proceso BIM.

Realidad virtual inmersiva

Es una herramienta que permite ingresar a un entorno digital 3D como si fuera un espacio real. Con imágenes renderizadas, animaciones o recorridos, el usuario puede experimentar el proyecto, con una percepción más precisa de escala, materiales, iluminación y distribución. Esto convierte el modelo BIM en una experiencia, facilitando la comprensión arquitectónica más allá de los planos.

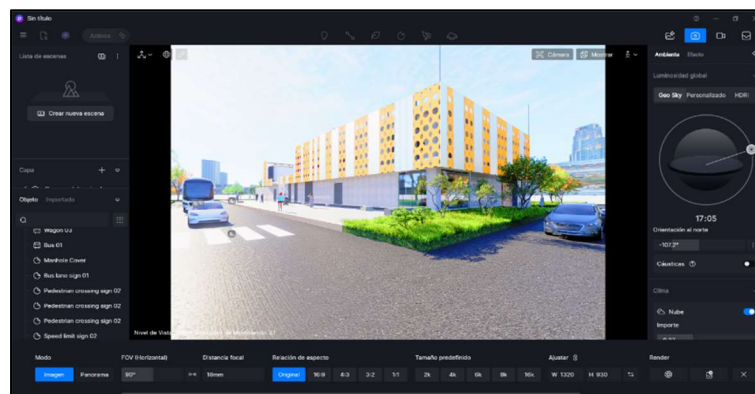
La realidad virtual inmersiva sirve para evaluar el proyecto, detectar mejoras de diseño, comunicar ideas a clientes y equipos de trabajo, mostrando los espacios más comprensiblemente. Permite simular condiciones reales ofreciendo una muestra de cómo se sentirá el proyecto construido.

Aplicación práctica; Realidad virtual inmersiva

Renderizado para realidad virtual

1. Después de ajustar la vista, se usa la opción Renderizado en D5. Desde el panel se puede elegir si la imagen final será fotografía o panorámica 360°, además de configurar la relación aspecto y tamaño del archivo. Estos parámetros son para que la imagen tenga la calidad necesaria para la experiencia inmersiva.

Figura 92 Ajustes renderizado en D5



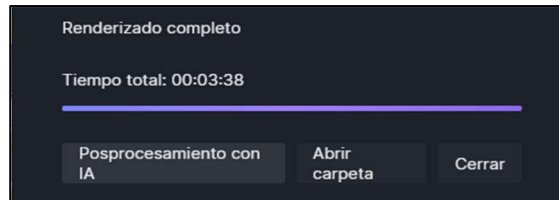
Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

2. En la parte inferior derecha se está el botón para iniciar el render. Al seleccionarlo, se elige la carpeta de guardado y comienza el proceso de creación de la imagen.

IA

3. Con la imagen ya renderizada D5 permite aplicar mejoras con inteligencia artificial. Para esto, se selecciona la herramienta e inicia sesión con una cuenta educativa, esto habilita funciones de retoque automático y optimización

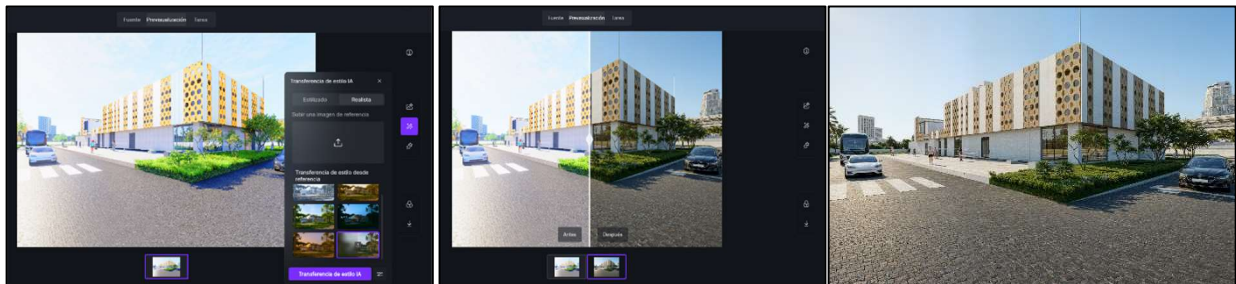
Figura 93 Integración de 5D E IA.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

4. En la ventana de IA se carga una imagen de referencia con el estilo o acabado deseado. El sistema procesa el render y hace una versión mejorada o con la estética seleccionada, generando un mejor resultado para la presentación del proyecto.

Figura 94 Integración de 5D E IA Referencia de estilo.

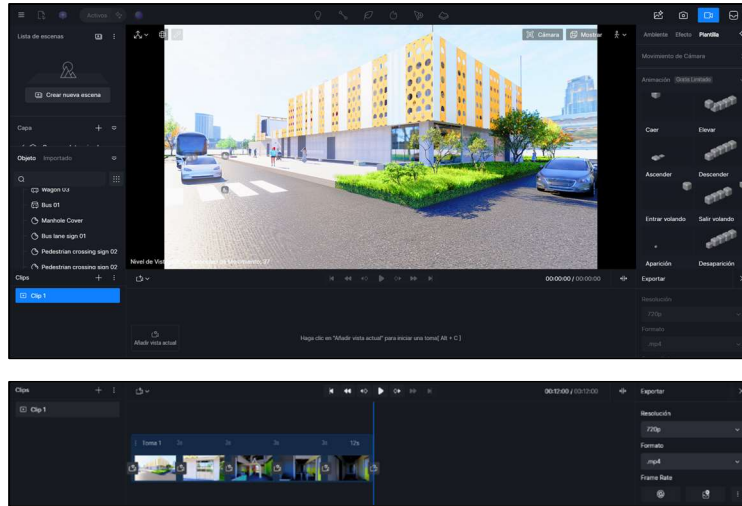


Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

Recorridos virtuales inmersivos

5. Para crear el recorrido virtual, se selecciona la opción de Animación, al lado del botón de renderizado. En esta área, se organizan los clips o tomas que se van creando. Cada clip es un movimiento o cámara dentro del proyecto.

Figura 95 creación del recorrido virtual



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- En la ventana de configuración se ajustan la resolución, el formato y los fotogramas por segundo (FPS). Estos determinan la calidad visual y la fluidez del recorrido.

Figura 96 Ajuste de FPS



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Finalmente, se selecciona la ruta de guardado y se exporta el video. El motor de 5D procesa la secuencia y crea un recorrido virtual para presentaciones o experiencias inmersivas.

Link de recorridos:

https://drive.google.com/drive/folders/1zH0w3fPG3wiFzFDqlurC_s9-iushbf2b

Rendes: https://drive.google.com/file/d/1vTUqynA5AOGIK2ZQX_ZHqrtgV1GsBG2u/view?usp=drive_link

Figura 97 Renders del proyecto

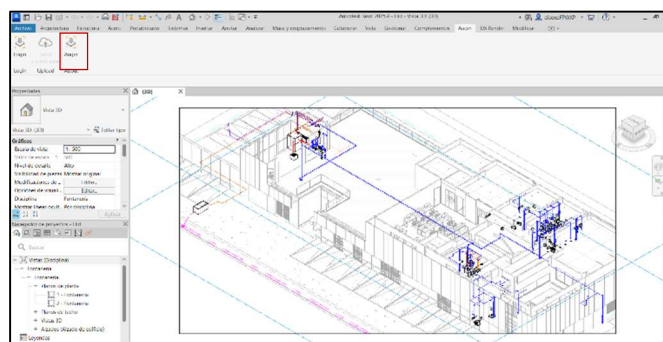


Nota: Imágenes propias.

Integración con AUGIN (Realidad Aumentada)

8. Se instala el plugin de Augin en Revit para sincronizar ambos programas. Esto permite enviar el modelo directamente a la plataforma sin pasos adicionales.

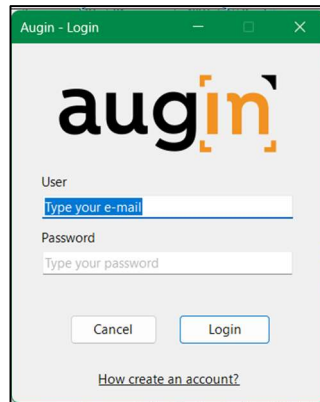
Figura 98 Integración con AUGIN



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Luego se inicia sesión en Augin para vincular el proyecto con la cuenta del usuario.

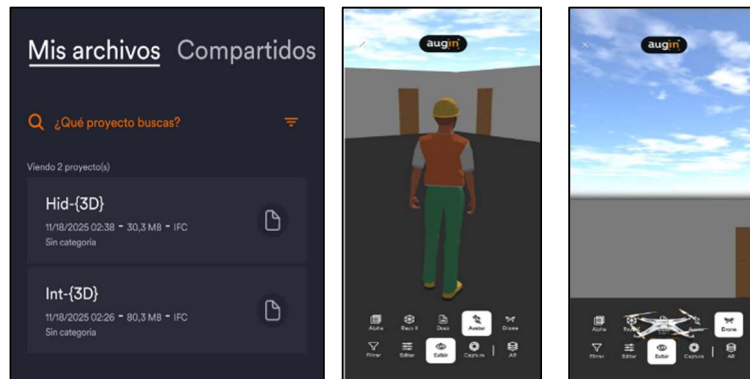
Figura 99 Augin



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

- Finalmente, se selecciona la opción de carga, que exporta el modelo a la plataforma de Augin. Una vez cargado el proyecto puede visualizarse en la aplicación móvil, permitiendo recorrerlo en realidad aumentada.

Figura 100 Exportar modelo a Augin.



Nota: Capturas de pantalla, Imágenes propias.

En el proyecto, la realidad virtual inmersiva se utilizó por medio de la creación de imágenes 360°, recorridos virtuales y vistas animadas con D5 Render. Se ajustaron escenas, materiales, efectos de iluminación y clima para generar experiencias más realistas. Luego se exportaron imágenes, videos y clips de animación, que permitieron recorrer el espacio como si estuviera construido. Además, con la ayuda del plugin Augin, el modelo pudo visualizarse en realidad aumentada, integrando el diseño dentro de un entorno para su análisis y presentación.

Conclusión modulo 4

El Módulo 5 permitió integrar herramientas de visualización avanzada dentro del proceso BIM, fortaleciendo la manera en que se analiza, comunica y presenta el proyecto arquitectónico. La exportación a formato IFC aseguró la interoperabilidad entre distintos programas, permitiendo mover el modelo libremente entre plataformas sin perder información, lo que facilita la colaboración y el uso de motores de renderizado externos.

La renderización en tiempo real con D5 Render ofreció una visualización inmediata de materiales, iluminación y acabados, permitiendo evaluar alternativas y realizar ajustes de manera más ágil. Las herramientas de fotomontaje, retoque visual y control de clima, luces y sombras enriquecieron la expresión gráfica del proyecto, generando imágenes y videos más realistas y útiles para presentar la propuesta de diseño.

Además, los modos de visualización en 3D y los recorridos virtuales brindaron una lectura más clara de los espacios, permitiendo explorar el proyecto como si estuviera construido. Esto facilitó la comprensión de la volumetría, la circulación y el comportamiento de la luz en diferentes escenarios. Finalmente, la integración con plataformas de realidad virtual y aumentada, como Augin, permitió llevar el modelo a experiencias inmersivas que apoyan la toma de decisiones, mejoran la comunicación con el usuario y elevan la calidad del proceso de diseño.

CONCLUSIÓN GENERAL DIPLOMADO OPEN BIM

A lo largo de todos los módulos del diplomado fue posible entender de manera clara cómo funciona el proceso BIM desde el inicio del modelado hasta la coordinación, revisión, documentación y visualización final del proyecto. En los primeros módulos se aprendió a organizar y construir el modelo correctamente, manejando la información de forma ordenada para evitar errores y facilitar el trabajo en las siguientes etapas.

Luego, con los módulos de coordinación y gestión, se vio la importancia de unir las diferentes especialidades y revisar interferencias con herramientas como Revit y Navisworks. Esto permitió mejorar la comunicación entre disciplinas, reducir retrabajos y asegurar que el proyecto sea más preciso y funcional. También se comprendió cómo sacar cantidades, generar documentos y planificar la obra usando el modelo como base principal.

Finalmente, el módulo de visualización y realidad virtual inmersiva mostró cómo presentar el proyecto de una manera más realista y comprensible. Con el uso de IFC, D5 Render, recorridos virtuales y realidad aumentada, fue posible ver el diseño casi como si estuviera construido, analizar detalles y comunicar la propuesta de una forma más clara para cualquier persona.

En conjunto, todos los módulos demostraron que Open BIM es una metodología que mejora el trabajo colaborativo, reduce errores, organiza la información y permite diseñar y presentar proyectos con mayor calidad y eficiencia. Este proceso fortaleció el desarrollo del proyecto *CoWork Lab* y deja bases sólidas para aplicarlo en futuros trabajos profesionales.

Lista de Referencia o Bibliografía

Referencias

ASTM-C1601. (2022). Método de prueba estándar para la determinación en campo de la penetración de agua en superficies de muros de mampostería. American Society for Testing & Materials.

Obtenido de

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/73524/741d948f44084ca8936af333c07b30b3/ASTM-C1601-10.pdf>

ASTM-C482. (2020). Método de prueba estándar para la resistencia de adhesión de baldosas cerámicas a la pasta de cemento Portland. Materials, American Society for Testing & Materials. Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/18737/750fd90d274d4be8a472dba950ccd066/ASTM-C482-02.pdf>

ASTM-C67. (2019). Métodos de prueba estándar para el muestreo y prueba de ladrillos y tejas de arcilla estructural. American Society for Testing & Materials. Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/103654/2c58991a025d41c8ae93f192881bb1c6/ASTM-C67-C67M-19.pdf>

ASTM-D2197. (2022). Método de prueba estándar para la adhesión de recubrimientos orgánicos mediante adhesión por raspado. American Society for Testing & Materials. Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/112845/414e28d0c29c4c279b962360c8e587ca/ASTM-D2197-16-2022-.pdf>

ASTM-D2247. (2020). Práctica estándar para probar la resistencia al agua de los recubrimientos en una humedad relativa del 100 %. American Society for Testing & Materials. Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/3873/38cb5d47e8734394b853a7421666cdc4/ASTM-D2247-99.pdf>

ASTM-D2486. (2017). Métodos de prueba estándar para la resistencia al frote de pinturas para paredes.

American Society for Testing & Materials. Obtenido de

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/96116/d02d25995c9343f7ba40c9b5737a6c45/ASTM-D2486-06-2016-.pdf>

ASTM-D4541. (2022). Método de prueba estándar para determinar la resistencia al desprendimiento de

recubrimientos-Pull-Off Test. American Society for Testing & Materials. Obtenido de

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/112957/29cee7ca6faa423286aeb203e97c7873/ASTM-D4541-22.pdf>

ASTM-D968. (2022). Métodos de prueba estándar para la resistencia a la abrasión de recubrimientos

orgánicos por caída de abrasivos. American Society for Testing & Materials. Obtenido de

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/112798/8b8014332e304fa4935d787349b9d276/ASTM-D968-22.pdf>

Barbeta, G., FranCesC, X., & Berthelsen, B.-e. (2014). Estabilización hidrofugante para revocos de tierra con extractos naturales. *Construcción con Tierra Investigación y Documentación*, 277. Obtenido

de <https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2015/030barbeta.pdf>

Bouzas, M. (Abril de 2017). *BuildingSmart*. Obtenido de

<https://www.buildingsmart.es/2017/04/01/qu%C3%A9-es-un-cde/>

Camacol. (Septiembre de 2025). Obtenido de

<https://camacol.co/sites/default/files/descargables/Usos%20BIM%20V2.pdf>

Camacol. (Septiembre de 2025). *Camacol.co*. Obtenido de 01 - Roles y Perfiles BIM:

<https://camacol.co/descargable/01-roles-y-perfiles-bim>

Castilla. (2011). Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas.

Informes de la construcción, 63, 144. Obtenido de

<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1260/1345>

Castilla, F. (2011). *Informes de la construccion*, 63, 148. Obtenido de

<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1260/1345>

Céspedes, M. (2006). Ventaja ambiental del adobe. *Revista Ambientico*, 16. Obtenido de

https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/16160/155_16-17.pdf

CONAVI Comisión Nacional de Vivienda. (2022). Obtenido de

<https://siesco.conavi.gob.mx/doc/tecnicos/rehabilitacion/Fichas%20constructivas%20para%20a%20rehabilitacion%20y%20el%20reforzamiento%20estructural.pdf>

García, G., & Rolón, G. (2023). Revoques de tierra frente a la intemperie. *ARQUISUR Revist.* Obtenido de

<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/Arquisur/article/view/13062/18615>

Gatti, F., & Avellaneda, J. (2012). *ARQUITECTURA y CONSTRUCCIÓN en TIERRA - Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra*. Obtenido de UPC Universitat Politècnica de Catalunya:

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16141>

Gómez, F., Mileto, C., & Vegas, F. (2017). Procesos patológicos en muros de adobe: panorama general

de los mecanismos de degradación del adobe en la arquitectura tradicional española. *La arquitectura construida en tierra, Historia y Renovación" - Congreso de Arquitectura de Tierra en*

Cuenca de Campos 2016. Obtenido de

https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2017/15XIIICIATTI2016_Gomez.pdf

González. (1996). Adobes y tapiales.

Guerrero, M. (2019). *Alternativas de estabilización del adobe para disminuir su contracción volumétrica y agrietamiento*. Obtenido de

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/1efc566e-b412-4d79-9561-e1fa6960c806/content>

Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth Construction: A Comprehensive Guide. Intermediate Technology Publications*. Michigan: Intermediate Technology Publications.

ISO, 1. (2024). *International Organization for Standardization*. Obtenido de

<https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/41/84123.html>

López, C. (2017). *Revista Nodo*, 10. Obtenido de

<https://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/145/629>

López, C. (2017). *Revista Nodo*, 12, 11. Obtenido de

<https://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/145/629>

MinVivienda. (2020). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=97211&dt=S>

Muñoz, J. (2023). Valoración de la resistencia a la compresión del adobe con adición de zeolita. 10.

Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12954/1/18480.pdf>

NSR-10. (2010). *Camacol*. Obtenido de <https://camacol.co/descargable/titulo-e-nsr-10-del-decreto-926-del-19032010-0>

NSR-10. (2010). *Camacol*. Obtenido de

<https://camacol.co/sites/default/files/descargables/T%C3%ADtulo%20C%20NSR-10%20del%20Decreto%20926%20del%2019032010.pdf>

NSR-10. (2010). *TÍTULO A REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE*.

Obtenido de <https://www.scg.org.co/Titulo-A-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-13.pdf>

- NTC-1500. (2004). *CÓDIGO COLOMBIANO DE FONTANERÍA*. Obtenido de https://icfe.gov.co/site/wp-content/uploads/2024/07/ntc_1500_-_2004_-_codigo_colombiano_de_fontaneria.pdf
- Peñaloza, W. (2012). Aplicación del barro en revestimiento de paredes en el cantón Cuenca. Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3693/1/TESIS.pdf>
- Pinzón, J., & Benítez, A. (2019). Desarrollo de recubrimiento natural (Nopal) para Fachadas en viviendas en adobe de la Candelaria. 52. Obtenido de <https://repository.ugc.edu.co/items/d7bb19a9-c80d-471f-b598-7fabac7bda0d>
- RAS. (2000). *Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/339272538/ras-titulo-b-pdf>
- RETIE. (2013). *Ministerio de Minas y Energía*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>
- Rivero, S. (2007). *Revista Javeriana*. Obtenido de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/download/8990/7288/34115>
- Romero, A. (2020). *Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/ebd6daa4-39d0-48c9-8e40-8376ddd8312e>
- Sánchez, C. (2007). La arquitectura de tierra en Colombia, procesos y culturas constructivas. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-97632007000200006
- Torres. (Septiembre de 2025). *ConstruData*. Obtenido de <https://www.construdata.com/noticias/colombia-es-lider-en-implementacion-de-la-metodologia-bim-3934>

Torres, A., Celis, C., Martínez, W., & Lomelí, M. (Edits.). (2005). Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas. *Mexicano del Transporte y la Universidad Marista de Querétaro A.C.* (326), 9. Obtenido de

<https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt326.pdf>

Viñuales, M. (1981). Obtenido de

https://issuu.com/cedodal/docs/restauracion_de_arquitecturas_de_tierra

Viteri, C. (Mayo de 2025). *Arkadis*. Obtenido de ¿Las 7 o las 10 Dimensiones BIM?:

<https://www.arkadis.net/post/las-7-o-las-10-dimensiones-bim>