



Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Aplicación de la Metodología Heritage Building Information Modeling para la conservación patrimonial de la “Casa Vélez”, Cuenca

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Arquitecto


Autores:

Aníbal Isaías Marca Piña

Miguel Eduardo Tenezaca Avila

Director:

Francisco Elías Valdez Apolo

ORCID:  0000-0001-9853-2811

Cuenca, Ecuador

2024-07-31



UCUENCA
ARQUITECTURA

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HERITAGE BUILDING INFORMATION MODELING PARA LA CONSERVACIÓN PATRIMONIAL DE LA “CASA VELEZ”, CUENCA

Autores:

Anibal Isaías Marca Piña
Miguel Eduardo Tenezaca Ávila

Director:

Arq. Francisco Elías Valdez Apolo

Cuenca - Ecuador

Julio 2024



Resumen

La conservación, restauración y control de edificaciones patrimoniales requieren una acción multidisciplinaria que involucra a arquitectos, ingenieros, diseñadores y arqueólogos, entre otros. Este enfoque permite un análisis integral de la edificación, produciendo estudios y documentación precisa para futuras consultas y toma de decisiones en los procesos de intervención. Actualmente, la documentación presenta serias incompatibilidades debido a la débil colaboración entre los distintos equipos de trabajo. Estas incompatibilidades comienzan con prácticas incorrectas en la recolección de datos, resultando en información imprecisa e incompleta. Este es un problema en proyectos de conservación de la academia y probablemente en el austro ecuatoriano, donde predominan metodologías tradicionales y softwares CAD, además de un insuficiente conocimiento sobre software y metodologías BIM. La metodología Building Information Modeling permite integrar información gráfica y datos alfanuméricos en una sola plataforma de trabajo, superando problemas de interoperabilidad. Este trabajo de titulación tiene como objetivo implementar la metodología Heritage Building Information Modeling en un proyecto de conservación patrimonial mediante la elaboración de un modelo virtual de la "Casa Vélez" en Cuenca. La investigación adoptará un enfoque cualitativo y cuantitativo, enmarcado en la conservación del patrimonio edificado. Los datos recolectados serán procesados y convertidos en información almacenada en un archivo digital único, que incluirá un modelo 3D y datos en la nube. De esta manera, se documentará el inmueble de manera precisa, demostrando que la metodología HBIM es aplicable tanto en el contexto académico, como en el sector público y privado.

Palabras clave del autor: Metodología HBIM, patrimonio arquitectónico, edificación patrimonial, nube de puntos, documentación histórica.



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Conservation, restoration, and control of heritage buildings require several disciplines working together, involving architects, engineers, designers, archaeologists and many others. This approach allows a comprehensive analysis of the building, producing precise studies and documentation for future consultations and decision-making processes during interventions. Currently, documentation presents serious incompatibilities due to weak collaboration between different work teams. These incompatibilities start with incorrect data collection practices, resulting in inaccurate and incomplete information. This issue is prevalent in conservation projects in the south of Ecuador, where traditional methodologies such as the use of hose levels, measuring tapes, and CAD software dominate, alongside insufficient knowledge of BIM software and methodologies. The Building Information Modeling methodology enables the integration of graphical information and alphanumeric data into a single working platform, overcoming interoperability issues. This thesis aims to implement the Heritage Building Information Modeling methodology in a heritage conservation project by developing a virtual model of the "Casa Vélez" in Cuenca. The research will adopt a qualitative and quantitative approach, framed within the conservation of built heritage. The collected data will be processed and converted into information stored in a single digital file, which will include a 3D model and cloud data. In this way, the building will be documented accurately, demonstrating that the HBIM methodology is applicable in academic projects and also in the public and private sector.

Author keywords: HBIM methodology, architectural heritage, heritage building, point cloud, historic documentation.



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenidos

Acrónimos	9	1.5.1 Técnicas de levantamiento directo	26
Glosario	9	1.5.2 Técnicas de levantamiento indirecto	26
Introducción	13	1.5.3 Gestión de Información	27
Problemática	13	1.6 Retos en la digitalización del patrimonio arquitectónico	27
Justificación	13	CAPÍTULO 2: Casos de estudio	29
Objetivos	13	2.1 Justificación	29
Metodología	14	2.2 Fuentes de consulta bibliográfica	29
CAPÍTULO 1: Antecedentes teóricos	16	2.3 Casos de estudio	30
1.1 Metodología BIM	16	2.3.1 Caso I	30
1.1.1 Definición de BIM	16	2.3.2 Caso II	34
1.1.2 Características de la Metodología BIM	16	2.3.3 Caso III	38
1.1.3 Dimensiones BIM	17	2.4 Análisis comparativo	42
1.1.4 Levels of Development (LOD)	18	2.5 Conclusiones	42
1.1.5 Niveles de Maduración	19	CAPÍTULO 3: Análisis de la edificación	44
1.2 Metodología HBIM	20	3.1 Descripción de la edificación	44
1.2.1 Definición de HBIM	20	3.2 Metodología HBIM propuesta	45
1.2.2 Características de la Metodología HBIM	20	3.2.1 Fase I: Levantamiento y recopilación de datos	45
1.2.3 Dimensiones HBIM	20	3.2.2 Fase II: Organización y gestión de la información	45
1.2.4 Levels of Knowledge (LOK)	21	3.2.3 Fase III: Creación del modelo HBIM	45
1.2.5 Ventajas de utilizar HBIM en los procesos conservación	23	3.2.4 Fase IV: Integración de información al modelo HBIM	45
1.3 Estado del arte	23	3.2.5 Fase V: Análisis y gestión de la edificación	45
1.4 Patrimonio arquitectónico	24	3.3 Aplicación de la metodología HBIM	47
1.4.1 Ciclo de vida de la arquitectura contemporánea	24	3.4 Fase I: Levantamiento y recopilación de datos	47
1.4.2 Ciclo de vida del patrimonio arquitectónico	25	3.5 Fase II: Organización y gestión de la información	55
1.5 Técnicas de levantamiento y gestión de la información	25	CAPÍTULO 4: Modelado de la información	63
		4.1 Selección de software de modelado BIM	63

4.2 Fase III: Creación del modelo HBIM	63
4.2.1 Configuración de plantilla de modelo.....	63
4.2.2 Creación de niveles	64
4.2.3 Modelo colaborativo.....	65
4.2.4 Importación de archivos.....	65
4.2.5 Creación de elementos de modelo	66
4.3 Discusión	70
Conclusiones y recomendaciones	75
Conclusiones	75
Recomendaciones.....	76
Referencias	77
Anexos	79
Anexos digitales	97

Índice de figuras

Figura 01. Metodología tradicional vs Metodología BIM.....	17	Figura 31. Diferencia entre dato vs. información	47
Figura 02. Dimensiones BIM.....	18	Figura 32. Código de habitación	49
Figura 03. Niveles de desarrollo (LOD)	19	Figura 33. Toma de niveles realizada en la Casa Vélez.....	49
Figura 04. Dimensiones HBIM	21	Figura 34. Colocación de la cámara 360°	50
Figura 05. Niveles de Conocimiento (LOK)	22	Figura 35. Cuadrado de cartulina de 10x10 cm	51
Figura 06. Línea de tiempo del estado del arte	24	Figura 36. Imagen 2D capturada en sitio	51
Figura 07. Diagrama CIC BIM / Ciclo de la vida de la edificación	25	Figura 37. Configuración de vuelo	52
Figura 08. Diagrama CIC HBIM / Ciclo de la vida del patrimonio.....	25	Figura 38. Actividad de vuelo del dron	52
Figura 09. Triangulación por levantamiento directo.....	26	Figura 39. Planos arquitectónicos de la Casa Vélez	53
Figura 10. Nube de puntos.....	26	Figura 40. Fotografías antiguas relacionadas con la Casa Vélez.....	53
Figura 11. a) Iglesia Gálata, b) Palacio del Príncipe, c) Campanario y d) Muro Fortificado	30	Figura 41. Fotografías antiguas del Vado	54
Figura 12. Esquema metodológico caso I.....	30	Figura 42. Entrevista con la Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma	54
Figura 13. Etapas de procesamiento, edición y creación del modelo HBIM	31	Figura 43. Planos antiguos de 1944	55
Figura 14. Nube de puntos. a) Elevación frontal, b) Elevación posterior .	31	Figura 44. Estructura del nombre del archivo CAD	56
Figura 15. Identificación de la condición general de los elementos	33	Figura 45. Criterio de nombramiento de capas en CAD	56
Figura 16. Fachadas de las iglesias de Chiloé	34	Figura 46. Digitalización de triangulación por levantamiento directo.....	56
Figura 17. Esquema metodológico caso II.....	35	Figura 47. Planta subnivel 3.....	56
Figura 18. Área de estudio. Comunidad Lemuy	35	Figura 48. Corrección de planta arquitectónica subnivel 3	57
Figura 19. Vista aérea de la Iglesia Detif	35	Figura 49. Planta de subnivel 3 con niveles colocados	57
Figura 20. Información geométrica del modelo Revit	37	Figura 50. Planta S3 con elementos constructivos codificados.....	58
Figura 21. Resultado de ingreso de información a los elementos.....	37	Figura 51. Criterio de codificación de elementos	58
Figura 22. Resultado de criticidad de intervención de elemento	37	Figura 52. Planos Arquitectónicos de la Casa Vélez	58
Figura 22. Sectorización de la nube de puntos por estancias	38	Figura 53. Carpeta de Google Drive de Fotografías Actuales	59
Figura 23. Esquema metodológico caso III.....	39	Figura 54. Criterio de nombramiento de carpeta de Google Drive para cada habitación	59
Figura 24. Identificación de las pinturas de la Sacristía	39	Figura 55. Carpeta de Google Drive de Fotografías Generales	59
Figura 25. Sección H del modelo HBIM, comparada con la sección del archivo CAD	39	Figura 56. Fotografías generales de cada habitación.....	59
Figura 26. Base de datos a vincularse al modelo HBIM	41	Figura 57. Carpeta de Google Drive de Fotografías Generales	59
Figura 27. Vinculación de información a elementos de mobiliario.....	41	Figura 58. Fotografías específicas de cada habitación	59
Figura 28. Alzado de fachadas de la calle La Condamine	44	Figura 59. Fotografías con escala de cada elemento.....	60
Figura 29. Plano de ubicación de la Casa Vélez	44	Figura 60. Fotografías 360°	60
Figura 30. Esquema de la metodología propuesta	46	Figura 61. Modelo 3D procesado mediante DroneDeploy.....	61
		Figura 62. Procesamiento de la nube de puntos en Autodesk Recap Pro61	
		Figura 63. Unidades de medida utilizadas en la creación del modelo.....	64
		Figura 64. Configuración de niveles de proyecto.....	64
		Figura 65. Creación del modelo local.....	65

Figura 66. Archivo CAD importado	66
Figura 67. Nube puntos importada	66
Figura 68. Creación y parametrización de muros en Autodesk Revit	66
Figura 69. Creación y parametrización de muros en Autodesk Revit	67
Figura 70. Creación de familias en Autodesk Revit	67
Figura 71. Creación y parametrización de puertas y ventanas en Autodesk Revit	67
Figura 72. Creación y parametrización de suelo en Autodesk Revit	68
Figura 73. Creación y parametrización de suelo en Autodesk Revit	68
Figura 74. Creación y parametrización de techo en Autodesk Revit	69
Figura 75. Creación y parametrización de escalera en Autodesk Revit ...	69
Figura 76. Tipo de columna y viga configurados	69
Figura 77. Axonometría general creada en Autodesk Revit.	70
Figura 78. Levels of Knowledge alcanzados	71
Figura 79. Axonometria explotada creda en Autodesk Revit	72
Figura 80. Elevación Paseo 3 de Noviembre creado en Autodesk Revit .	72
Figura 81. Elevación lateral creada en Autodesk Revit	73
Figura 82. Elevación calle La Condamine creada en Autodesk Revit	73

Índice de anexos

Anexo A. Ficha de levantamiento A1_01.....	79
Anexo B. Ficha de levantamiento A1_02.....	79
Anexo C. Ficha de levantamiento A1_03.....	80
Anexo D. Ficha de levantamiento A1_04.....	80
Anexo E. Ficha de levantamiento A1_05.....	81
Anexo F. Ficha de levantamiento A1_06.....	81
Anexo G. Ficha de levantamiento A1_07.....	82
Anexo H. Ficha de levantamiento A1_08.....	82
Anexo I. Ficha de levantamiento A1_09.....	83
Anexo J. Ficha de levantamiento S1_01.....	83
Anexo K. Ficha de levantamiento S1_02.....	84
Anexo L. Ficha de levantamiento S1_03.....	84
Anexo M. Ficha de levantamiento S1_04.....	85
Anexo N. Ficha de levantamiento S2_01.....	85
Anexo O. Ficha de levantamiento S2_02.....	86
Anexo P. Ficha de levantamiento S2_03.....	86
Anexo Q. Ficha de levantamiento S2_04.....	87
Anexo R. Ficha de levantamiento S3_01.....	87
Anexo S. Ficha de levantamiento S3_02.....	88
Anexo T. Ficha de levantamiento. Esquema de niveles.....	88
Anexo U. Ficha de registro.....	89
Anexo V. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez.....	90
Anexo W. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez.....	91
Anexo X. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez.....	92
Anexo Y. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez.....	93

Anexo Z. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez.....	94
Anexo A1. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez.....	95
Anexo B1. Planos antiguos aprobados en 1944.....	96
Anexo C1. Bosquejo de fachada diseñada por el Sr. Héctor C. Vélez.....	96

Acrónimos

Architecture, Engineering and Construction	AEC	Arquitectura, Ingeniería y Construcción.
BIM – Building Information Modeling	BIM	Modelado de información de construcción.
Computer Aided Design	CAD	Diseño asistido por computadora.
Common Data Environment	CDE	Entorno común de datos.
Geographic Information System	GIS	Sistemas de información geográfica.
Geometric Descriptive Language	GLD	Lenguaje geométrico descriptivo.
Heritage Building Information Modeling	HBIM	Modelado de información de edificios patrimoniales.
Industry Foundation Classes	IFC	Clases básicas de la industria.
Levels of Development	LOD	Niveles de desarrollo.
Levels of Knowledge	LOK	Niveles de conocimiento.
Terrestrial Laser Scanners	TLS	Escáner laser terrestre.
Unmanned Aerial Vehicle	UAV	Vehículo aéreo no tripulado.
Virtual Reality	VR	Realidad virtual.
Virtual Environment Planning	VEP	Planificación del entorno virtual.
Virtual Private Network	VPN	Red privada virtual.

Agradecimientos

A nuestro docente director, Arq. Francisco Valdez Apolo, por su invaluable guía, conocimiento y experiencia en el desarrollo de este proyecto, lo que nos permitió lograr el mejor producto posible.

A la Sra. Clara Vélez Ledesma, por su tiempo y cooperación. Sus interesantes relatos y las fotografías, planos, publicaciones proporcionadas son un gran aporte para el presente trabajo y una fuente de conocimiento para futuros proyectos.

Al Epicentro Cultural de la Universidad de Cuenca, por su cooperación y por estar siempre dispuestos a abrirnos las puertas de la Casa Vélez. Además de brindarnos su conocimiento e investigación para lograr enriquecer este trabajo.

A la Dirección de Infraestructura de la Universidad de Cuenca, por facilitarnos los planos arquitectónicos disponibles de la Casa Vélez. Los cuales son de gran importancia para conocer el pasado histórico de la edificación.

Al Arq. Luis Xavier Quintuña, por su tiempo y amable ayuda al momento de realizar los vuelos de dron y que sin su apoyo no hubiera sido posible lograrlo.

A la Dra. Adriana Verdugo, por sus recomendaciones en la redacción del documento.

Dedicatoria

Aníbal Isaías Marca Piña

Deseo dedicar esta obra a la memoria de mi padre Cesar Miguel Marca Juela, que en paz descanse. Quien en vida demostró que la edad no es un obstáculo para superarse a sí mismo. Mediante su ejemplo de vida aprendí el valor del esfuerzo y la dedicación para cumplir mis metas y sueños. Agradezco su dedicación para conmigo desde el inicio de mi vida universitaria hasta el día de su partida.

También dedico a mi madre Zoila Angelita Piña Lucero, por darme la vida y quien ha sido un pilar fundamental en mi desarrollo como ser humano y como profesional, siendo un ejemplo de amor y humildad, quien día a día se preocupa por el bienestar mío y de mis hermanos.

Dedico a mis hermanos Franklin, Sergio y Miguel Marca Piña, a quienes agradezco y valoro sus ánimos y el fruto de su esfuerzo. Además de ser ejemplos de dedicación y trabajo duro.

Mis abuelos Luis Piña y Hortensia Lucero, al igual que mi abuelo Jesús Marca que en paz descanse y mi abuela Carmen Juela, quienes han compartido su amor conmigo y mis hermanos desde muy pequeños. También a mis tíos y primos por su interés constante durante mi carrera.

Agradezco a la Arq. María Cecilia Achig por ser la mejor profesora y amiga, quien me ha brindado su conocimiento, experiencia y sus consejos para llegar a ser un excelente profesional como ella.

Y finalmente a mis amigas y amigos con quienes nos apoyamos mutuamente, compartimos historias y anécdotas, desde el principio de la carrera y que deseo siga así por muchos años más.

Dedicatoria

Miguel Eduardo Tenezaca Avila

A Dios, por bendecirme con salud y vida para cumplir todos mis propósitos, y, sobre todo, por ayudarme a superar los momentos más difíciles.

A Mia, mi princesa, eres el mejor regalo que me pudo dar la vida. Por ser mi fortaleza cuando ya no podía más, mi compañera durante los trabajos, especialmente, por llenar de alegría mis días.

A Adri, mi compañera de vida, juntos hemos compartido risas y lágrimas. Tu amor sincero y apoyo incondicional en todo momento, ha servido para enriquecer mi camino personal y académico.

A mis padres, Miguel y Julita, a quienes les debo infinita gratitud. Sin su incansable apoyo, sus palabras de aliento y su presencia constante, este camino no habría sido posible. Su inquebrantable fe en mis capacidades ha sido una fuente de inspiración y fortaleza.

A mi hermana, Marjorie, por su apoyo constante y por siempre poder contar con ella.

A mi abuelita Julia, cuyo amor y apoyo incondicional me han acompañado siempre, asegurándose de que lograra todas mis metas.

A mi familia y suegros, por su continuo apoyo en cada una de las etapas de este proceso, haciéndome sentir siempre respaldado.

A todas las personas que fueron parte de este proceso, con quienes compartí momentos inolvidables y que contribuyeron a mi formación hacia el mejor nivel profesional y personal.



INTRODUCCIÓN

UCUENCA

Introducción

En los estudios sobre edificaciones patrimoniales, se destaca la importancia de alcanzar una comprensión integral de las características formales, espaciales, constructivas e históricas del patrimonio arquitectónico, con el objetivo de concebir planes de recuperación y conservación de los valores tangibles e intangibles.

Según el esquema metodológico planteado por el ICOMOS (Consejo Internacional de Monumentos y Sitios) en el año 2003, se establecen varios principios y directrices para la conservación del patrimonio arquitectónico. No obstante, la implementación de estos principios y directrices requiere de la colaboración de varios profesionales como: arquitectos, ingenieros, arqueólogos, historiadores, restauradores, entre otros, que garanticen la precisión de la información obtenida en los estudios sobre edificaciones patrimoniales (Fernández et al., 2018).

Problemática

A pesar de la necesidad de integrar múltiples disciplinas en un único sistema de trabajo, todavía prevalecen metodologías basadas en herramientas y técnicas convencionales como: la medición directa en sitio, softwares CAD (*Computer Assisted Design*), entre otras. Situación que plantea una problemática relacionada con la limitación en el uso de tecnologías y herramientas convencionales, reflejada en resultados incompletos respecto a la información obtenida en los estudios de edificaciones patrimoniales (Pocobelli et al., 2018). Estas metodologías tradicionales condicionan la coordinación simultánea con las diversas disciplinas, pues, dificulta el manejo adecuado respecto a la protección y gestión del patrimonio arquitectónico.

En la actualidad, existen múltiples tecnologías y softwares que permiten obtener información detallada, coherente y precisa, respecto a las edificaciones patrimoniales. Por tanto, se plantea aprovechar el potencial de la metodología BIM (*Building Information Modeling*), pero enfocada en el patrimonio arquitectónico, mediante su adaptación denominada metodología HBIM (*Heritage Building Information Modeling*). De manera que, permite la colaboración entre múltiples disciplinas, dando como

resultados estudios completos y precisos sobre edificaciones patrimoniales, mediante la creación de modelos tridimensionales que incorporan diversos parámetros.

Por consiguiente, la metodología HBIM contribuye en la toma de decisiones, que garanticen la preservación de los bienes patrimoniales y optimicen las intervenciones a corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, esta metodología no ha sido explorada a profundidad en nuestro contexto, impidiendo superar las limitaciones del trabajo tradicional al proporcionar procesos más eficientes para la protección del patrimonio arquitectónico.

Justificación

A partir de lo descrito, este trabajo tiene como objetivo implementar la metodología *Heritage Building Information Modeling* en un proyecto de conservación patrimonial, mediante la creación de un modelo virtual de la Casa Vélez de la ciudad de Cuenca. Además, se propone la utilización de herramientas y tecnologías avanzadas como: niveles láser, distanciómetros y drones no tripulados, combinados con la captura de nube de puntos y fotografías esféricas.

Objetivos

Objetivo general:

Implementar la *Metodología Heritage Building Information Modeling* en un proyecto de conservación patrimonial mediante la elaboración de un modelo virtual de la “Casa Vélez” de la ciudad de Cuenca.

Objetivos específicos:

- Analizar las aplicaciones de la metodología HBIM utilizadas en proyectos de conservación patrimonial a nivel internacional, latinoamericano y nacional.
- Levantar información mediante la recopilación de documentos históricos, la creación de nube de puntos y mediciones en sitio, para proponer una metodología de trabajo HBIM de la “Casa Vélez”.

- Elaborar un modelo virtual del proyecto mediante la metodología HBIM de la “Casa Vélez”.

Metodología

La investigación que se llevará a cabo, adoptará un enfoque cuantitativo y cualitativo, comenzando con una exhaustiva revisión bibliográfica sobre las condiciones actuales en las que se desarrollan los estudios del patrimonio arquitectónico.

El primer capítulo se dedica a definir en los antecedentes teóricos y el estado del arte sobre la metodología *Heritage Building Information Modeling*. Donde se establecen definiciones, conceptos y terminologías esenciales para diferenciar claramente entre la metodología HBIM y la metodología BIM. Se destacará sus aplicaciones específicas dirigidas a la protección y gestión del patrimonio arquitectónico. Por lo tanto, este capítulo proporcionará el marco teórico necesario para comprender la implementación de la metodología HBIM en el contexto de la conservación del patrimonio arquitectónico.

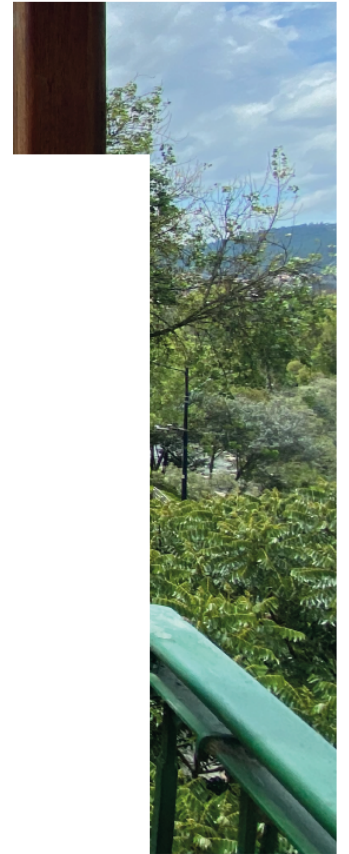
En el segundo capítulo, se realizará un análisis detallado de tres casos de estudio a nivel internacional, latinoamericano y nacional. Estos casos representarán proyectos que han demostrado éxito en la aplicación de la metodología HBIM. El análisis se centra en mostrar la evolución de la metodología y la integración de nuevas tecnologías que han contribuido al desarrollo de estudios con un nivel de precisión cada vez mayor. Este enfoque permitirá una comparación minuciosa de los recursos técnicos y tecnológicos utilizados en los casos de estudio seleccionados, proporcionando una base sólida para elaborar una propuesta que sea aplicable a la presente investigación.

En el tercer capítulo, se centra en la recopilación y revisión documental específica de la Casa Vélez. Este proceso inicia con una breve reseña histórica de la edificación, utilizando documentos de acceso público y privado, como libros, tesis, planos, escrituras, registros oficiales y crónicas. La cual forma parte un repositorio, el cual es un componente esencial para almacenar lo datos necesarios acerca de la evolución histórica de la edificación y de su estado actual. Además de la revisión documental, se

contemplan visitas a la edificación para verificar y complementar la información registrada en los documentos históricos. Estas visitas incluyen mediciones detalladas, registros fotográficos e incluye la creación de una nube de puntos del exterior de la edificación, brindando una representación tridimensional precisa.

El cuarto capítulo emplea la información recopilada para la elaboración de un modelo 3D virtual de la edificación. Comenzando con el procesamiento de los datos obtenidos mediante las tecnologías de captura de la realidad, que posteriormente se exportarán a diferentes softwares de modelado BIM. La construcción detallada del modelo 3D incorpora parámetros específicos a los elementos arquitectónicos, tales como paredes, cubiertas, pisos, carpinterías y elementos decorativos. El capítulo concluye con el análisis de las dimensiones HBIM y de los LOK alcanzados en el desarrollo y planteando su continuación en el futuro.

Finalmente, el quinto capítulo, dedicado a las conclusiones, ofrecerá reflexiones derivadas de la investigación. Donde se explica el cumplimiento de los objetivos y de los hallazgos más relevantes acerca de la edificación. Además, se finaliza con la sección de recomendaciones, donde se revelan las dificultades surgidas a lo largo de la investigación, así como también en proponer la conclusión de la investigación. Para lo cual se brindan sugerencias, así como los recursos digitales.



ANTECEDENTES TEÓRICOS

CAPÍTULO 1: Antecedentes teóricos

1.1 Metodología BIM

La metodología BIM nace como una solución informática, enfocada en la gestión de información en proyectos de edificación e infraestructura a lo largo de todo el ciclo de vida. Desde entonces, ha estado en constante evolución para convertirse en un estándar adoptado por las industrias de la AEC (*Architecture, Engineering y Construction*) a nivel internacional. Debido a que facilita la interoperabilidad de múltiples disciplinas e instituciones vinculadas al diseño y desarrollo de proyectos de edificación e infraestructura, mediante el uso de herramientas tecnológicas y digitales. Razón por la cual se ha convertido en una metodología que de manera progresiva ha ido desplazando al CAD (*Computer Assisted Design*), como la herramienta principal de trabajo. Principalmente, por la capacidad de condensar cantidades masivas de información en un único CDE (*Common Data Environment*), totalmente compartido entre los diferentes actores interesados (Pocobelli et al., 2018).

1.1.1 Definición de BIM

El Reino Unido define a la metodología BIM, como una manera colaborativa de trabajo, apoyada en el uso de herramientas tecnológicas y digitales que mejoran la eficiencia en la gestión de activos físicos (Jordán-Palomar, 2019). Es común que muchas personas tienden a asociar a la metodología BIM con herramientas de software específicas, lo que genera ideas confusas entre los nuevos usuarios. Por tanto, BIM no se considera una tecnología en sí misma más bien, son conjuntos de herramientas, técnicas y procesos guiados por metodologías para la gestión de información en proyectos de edificación e infraestructura. De manera que, el resultado de la metodología está orientado a la creación de sistemas de información digital de proyectos de edificación e infraestructura, que generalmente es una representación 3D de las mismas (Fernández et al., 2018). A diferencia de la metodología CAD, que generalmente su representación es en 2D y su información es puramente geométrica, la metodología BIM se distingue, por integrar las características físicas, mecánicas, térmicas, acústicas, etc., a la información geométrica de los modelos 3D (Pocobelli et al., 2018).

1.1.2 Características de la Metodología BIM

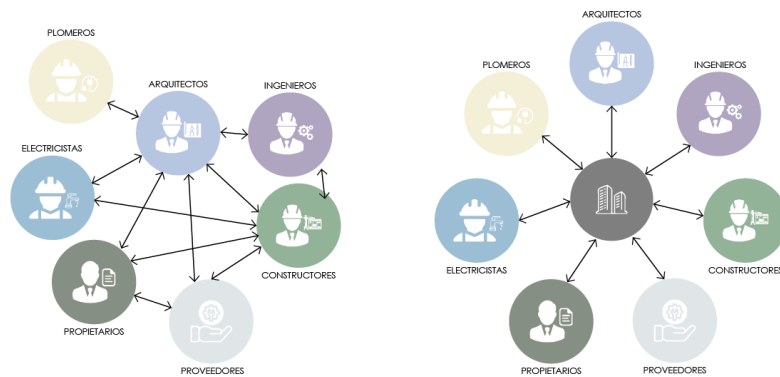
La metodología BIM se diferencia sustancialmente de las metodologías de trabajo convencional, por una serie de características que mejoran la eficiencia y precisión en los resultados obtenidos. A parte de optimizar los esfuerzos y recursos empleados, mejorando significativamente los flujos de trabajo de cada una de las partes involucradas. A continuación, se explicarán brevemente las más importantes:

La principal y más importante característica es la interoperabilidad que permite la metodología BIM, al involucrar equipos de trabajo multidisciplinario e interinstitucional en el desarrollo de proyectos de edificación e infraestructura. Motivo por el cual todas las partes involucradas son integradas en entornos de trabajo compartidos, que facilitan el flujo de intercambio de la información entre arquitectos, ingenieros, constructores, proveedores, propietarios, etc. De manera que flexibiliza el acceso a la información que requieran ser consultadas o producidas, optimizando los esfuerzos aportados por cada uno (Pocobelli et al., 2018).

A diferencia de la metodología CAD, donde los objetos representados contienen únicamente la información geométrica y que generalmente es representada en 2D. La metodología BIM emplea modelos tridimensionales compuestos por varios objetos virtuales que poseen información asociada a la geometría, materiales, propiedades mecánicas, térmicas, acústicas, etc. Dicha información recibe el nombre de parámetro, que ayuda a que los modelos tridimensionales sean más precisos, similares a como serían en la realidad (Pocobelli et al., 2018).

Por tanto, la cantidad de información asociada en un modelo se encuentra estrictamente relacionada con dos conceptos esenciales que son: las Dimensiones BIM y los LOD (*Levels of Development*). Las Dimensiones BIM, se centran en representar la evolución de un modelo a lo largo del ciclo de vida del proyecto abarcando desde el diseño hasta la demolición. Por otra parte, los LOD, especifican el grado de información y precisión contenida en el modelo. En definitiva, estos conceptos permiten una planificación, diseño, construcción y gestión más eficiente, además de facilitar la toma de decisiones informadas en todas las etapas del proyecto (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

Figura 01. Metodología tradicional vs Metodología BIM



Fuente: Elaboración propia, 2024

1.1.3 Dimensiones BIM

Las dimensiones que emplea la metodología BIM tienen como objetivo la vinculación de ciertos tipos de datos a los modelos 3D. Esto permite cuantificar y determinar la evolución de un modelo, considerando el ciclo de vida completo del proyecto. Hasta la fecha, se han establecido seis dimensiones que son ampliamente reconocidas a nivel internacional. Sin embargo, algunos autores sugieren la existencia de más dimensiones, aunque estas no sean oficialmente reconocidas ni certificadas por organizaciones internacionales (Merchán et al., 2020).

A continuación, se describen brevemente las dimensiones BIM aceptadas.

2D – Documentación

Esta dimensión constituye la forma más básica de visualización de un modelo, mediante la representación bidimensional de los objetos, similar al trabajo realizado en softwares CAD. La diferencia principal radica en que la representación gráfica se actualiza en tiempo real y de manera automática, lo que agiliza la documentación, reduciendo así posibles errores o discrepancias y ahorrando tiempo en corregirlos (Merchán et al., 2020).

3D – Modelo

Los modelos BIM se construyen de manera tridimensional, lo que facilita la visualización geométrica y garantiza que cualquier cambio se refleje automáticamente en todas las demás dimensiones. Además, proporciona la visualización precisa, facilitando la coordinación entre los distintos participantes del proyecto, especialmente entre los responsables de las instalaciones y de las estructuras. Esto facilita la contribución precisa de la información por parte de cada disciplina involucrada, llegando incluso a contratistas, proveedores, inversores o propietarios (Merchán et al., 2020).

4D – Tiempo

El tiempo juega un papel fundamental en la planificación y ejecución de proyectos de edificación e infraestructura. Los modelos BIM proveen la información necesaria para la gestión de las etapas de construcción, permitiendo la planificación de actividades a lo largo del proyecto. Esta dimensión permite definir plazos, períodos y calendarios, identificar etapas críticas del proyecto y facilitar soluciones rápidas y efectivas, minimizando así las variaciones en los costos (Merchán et al., 2020).

5D – Costo

En esta dimensión se estiman los costos del proyecto en cada etapa de construcción, mediante el uso de tablas que detallan las cantidades de materiales, equipos, maquinaria y mano de obra necesaria. En particular, permite optimizar los recursos financieros y asegurar un desarrollo continuo del proyecto, además de evitar posibles sobrecostos (Merchán et al., 2020).

6D – Sostenibilidad

La sexta dimensión se centra en la optimización del consumo energético durante todo el ciclo de vida del proyecto. Proporciona herramientas para medir y optimizar el consumo de energía, ofreciendo datos esenciales para la creación de normativas y reglamentos enfocadas en reducir el impacto de la huella de carbono en el medioambiente. Buscando el cumplimiento de leyes que generen proyectos más sostenibles (Merchán et al., 2020).

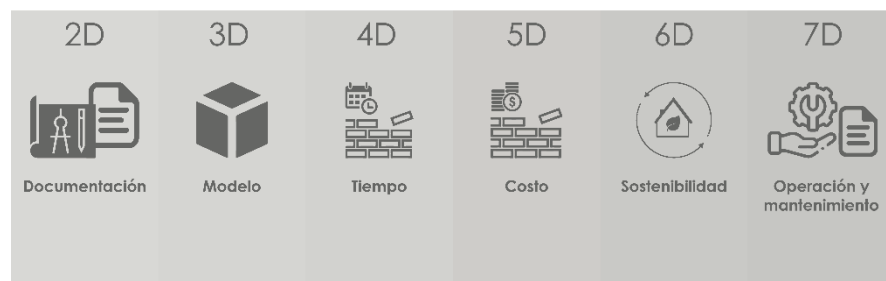
UCUENCA

7D – Operación y mantenimiento

Esta dimensión se ocupa de la gestión del proyecto una vez finalizada la construcción y constituye el período de vida más largo. Permite establecer planes de control y monitoreo, así como la ejecución de acciones de mantenimiento preventivo. Además, concentra un historial acerca de los proveedores, equipos de instalación y mantenimiento, la obtención de equipos y piezas de repuesto claramente especificados (Merchán et al., 2020).

En definitiva, las dimensiones BIM son procesos secuenciales donde a medida que el modelo evoluciona mayor información se concentra en sí misma. De igual manera ciertas dimensiones tienen una influencia directa sobre otras, volviendo que ciertos procesos sean cíclicos.

Figura 02. Dimensiones BIM



Fuente: Elaboración propia, 2024

1.1.4 Levels of Development (LOD)

Este concepto permite cuantificar la cantidad de información contenida en un modelo, lo que posibilita establecer grados de precisión y fiabilidad (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019). Según el BIMForum, existe cierta confusión entre las definiciones de *Levels of Development* y *Levels of Detail*. Sin embargo, la más aceptada internacionalmente es *Levels of Development*, debido a que busca medir el grado en que la geometría planeada alcanza la fiabilidad para que los integrantes de un equipo de trabajo puedan confiar en la información contenida en el modelo

tridimensional (BIMForum, 2023). Razón por la cual establece cinco niveles secuenciales que se explicarán brevemente a continuación:

LOD 100 – Simbólico

Se trata de la representación simbólica de un modelo, en el cual se expresa únicamente la existencia del objeto. No proporciona información acerca de su forma, tamaño o localización, y en caso de expresarse, esta debe considerarse como aproximada (BIMForum, 2022).

LOD 200 – Genérico

En este nivel, los modelos se representan como un sistema genérico que permite identificar los componentes clave, además de proporcionar información sobre la forma, tamaño, cantidad, localización y orientación, aunque de manera aproximada (BIMForum, 2022).

LOD 300 – Específico

Las características de los modelos, como la forma, tamaño, cantidad, localización y orientación, alcanzan un nivel de precisión alto, que permite ser medida y cuantificada directamente. Además, existe la capacidad de integrar información no gráfica acerca de los modelos (BIMForum, 2022).

LOD 350 - Detallado

En este nivel, la información deriva directamente del anterior, y se agregan a los modelos las conexiones y soportes, que se representan de manera precisa y detallada en cuanto a la forma, tamaño, cantidad, localización y orientación. El objetivo de las partes vinculadas es facilitar la coordinación con otros modelos o sistemas de modelos, los cuales también pueden contener información no gráfica (BIMForum, 2022).

LOD 400 – Fabricación

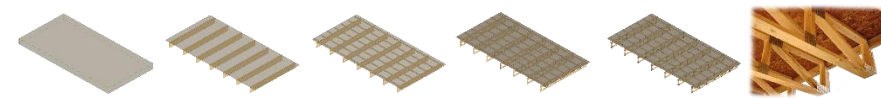
La representación gráfica de los modelos ha alcanzado un nivel de precisión específico y exacto. La información asociada a la forma, tamaño, cantidad, localización y orientación es bastante precisa, y se integra

además la información no grafica para la fabricación, ensamblaje e instalación de los modelos (BIMForum, 2022).

LOD 500 – Operacional As-built

Los modelos pasan a convertirse en objetos, donde el nivel de representación es una fiel reproducción en la vida real y no indica la progresión de la precisión geométrica. Los objetos permiten la observación, verificación o interpolación exacta de lo construido. En este nivel, la única representación posible es el mismo modelo convertido en objeto (BIMForum, 2022).

Figura 03. Niveles de desarrollo (LOD)



LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400	LOD 500
Simbólico	Genérico	Específico	Detallado	Fabricación	Operacional As-built

Fuente: Elaboración propia, 2024. Basado en: BIMForum, 2022

1.1.5 Niveles de Maduración

En la metodología BIM se denomina niveles de maduración a las combinaciones de datos con diferentes grados de precisión que pueda alcanzar el modelo BIM. En los proyectos, la gestión de la información se puede desarrollar en diferentes niveles. De esta manera, se definen cuatro niveles de madurez, los cuales van desde el nivel cero al nivel cuatro (Bravo y Alvarado, 2022).

Nivel 0

Este nivel básicamente es trasladar toda la información recopilada manualmente, a un formato digital mediante el uso de softwares de diseño asistido por computadora CAD. Por tanto, el intercambio de información no se rige bajo estándares ni procesos comunes, lo que incrementa el riesgo de conflictos en los resultados finales. Razón por la cual, se podría afirmar que los esfuerzos para la conservación del patrimonio arquitectónico aún se encuentran en este nivel (Merchán et al., 2020).

Nivel 1

En este nivel se produce la primera mezcla de información 2D y 3D, ya que se empieza a representar el diseño a través de un modelo tridimensional. Toda la información se ingresa a un entorno de datos común o CDE; es decir que todavía no existe una interoperabilidad entre los diferentes miembros del equipo, razón por la cual se le llama de manera coloquial como “BIM Solitario” (Merchán et al., 2020).

Nivel 2

Toda la información se transforma a modelos 3D que son compartidos en un único entorno en común de datos común online, por esto se le conoce como el nivel de colaboración BIM. Además, esta información puede contener aspectos relacionados con las dimensiones BIM limitadas hasta los tiempos de ejecución del proyecto (4D) y los costos del mismo (5D) (Merchán et al., 2020).

Nivel 3

En este nivel el modelo se encuentra totalmente integrado en un repositorio centralizado, de tal forma que todos los actores tengan acceso y puedan realizar modificaciones sobre el mismo modelo en tiempo real. Las siete dimensiones BIM ya se encuentran integradas en este nivel. Sin embargo, la realidad es que este nivel no se alcanza ya que en los sectores de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción aún no existe la capacidad y los conocimientos necesarios para implementarlo plenamente (Merchán et al., 2020).

UCUENCA

1.2 Metodología HBIM

La aplicación de la metodología HBIM en la gestión y conservación del patrimonio arquitectónico surge como respuesta a la necesidad de preservar las estructuras históricas. De ahí ha evolucionado como una herramienta esencial que facilita la documentación precisa, así como también la planificación y la ejecución de proyectos de restauración y conservación, que aseguran la autenticidad de las edificaciones históricas. Las aplicaciones realizadas y documentadas mediante múltiples investigaciones, dan muestra de que, la metodología HBIM puede ser aplicada al patrimonio arquitectónico, abarcando edificaciones patrimoniales, espacios urbanos, monumentos y ruinas (Jordán-Palomar, 2019).

1.2.1 Definición de HBIM

Heritage Building Information Modeling o HBIM, hace referencia a un proceso multidisciplinar que requiere la contribución y colaboración de profesionales con competencias muy diferentes. Es así, que se la considera como una herramienta para el registro, gestión y documentación de estructuras patrimoniales (Liu et al., 2022). La metodología HBIM se puede utilizar para aprovechar los datos heredados, así como también para el desarrollo de datos métricos actuales que modelan con precisión las estructuras patrimoniales con fines de renovación, conservación e investigación (Janisio-Pawłowska, 2021).

1.2.2 Características de la Metodología HBIM

La aplicación de la metodología BIM a edificaciones patrimoniales presenta múltiples características, que reemplazan a los métodos tradicionales utilizados para el análisis, gestión e intervenciones de los bienes. El uso de la metodología HBIM contribuye a la eficiencia de las distintas intervenciones sobre los bienes patrimoniales, alargando su vida útil (Fernández et al., 2018).

Entre las características más relevantes está la interoperabilidad de la información porque involucra a equipos de trabajo multidisciplinarios, como: arquitectos, ingenieros, diseñadores, arqueólogos, entre otros. Toda esta

información es condensada en un modelo digital tridimensional que organiza y genera las entidades gráficas, manteniéndose constantemente actualizadas para su consulta (Fernández et al., 2018).

La presente metodología permite determinar la evolución y secuencia constructiva del bien mediante la definición de su estructura, caracterización de materiales y acabados. Esta información, denominado parámetro facilita la representación tridimensional de la realidad en el modelo 3D (Pocobelli et al., 2018).

Al igual que la metodología BIM se define dos conceptos que son las Dimensiones HBIM, que reflejan la evolución de un modelo a lo largo del ciclo de vida; y los LOK (*Levels of Knowledge*), que definen el grado de conocimiento y precisión contenida en el modelo. Estas características posibilitan intervenciones eficientes y ayudan a tomar decisiones fundamentadas con mayor conocimiento y criterio en las distintas etapas del proyecto (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

1.2.3 Dimensiones HBIM

Para comprender de forma clara un proyecto de conservación, es necesario desglosarlo en diversas dimensiones. En este contexto, “dimensión” alude a la manera en la que algunos tipos de datos se vinculan a un modelo virtual que contiene información relevante. Sin embargo, no es acertado tomar las mismas dimensiones definidas en la metodología BIM, para el patrimonio arquitectónico, debido a sus diferencias en el ciclo de vida de cada una. En este sentido, se han identificado cinco dimensiones que se consideran las más apropiadas, las cuales serán detalladas a continuación (Merchán et al., 2020).

3D

Esta primera dimensión se centra en el levantamiento y el análisis del bien patrimonial, mediante la captura de la realidad, lograda a través de avanzadas herramientas de levantamiento de alta precisión. Por tanto, las técnicas de fotogrametría o el escaneo tridimensional tienen el propósito de agilizar la captura y procesamiento de la información obtenida. De manera que, todo se refleja en un modelo 3D, que además de la visualización, sirve

como una herramienta colaborativa esencial en la coordinación de los esfuerzos para la protección y gestión de los bienes patrimoniales. Sin embargo, estas herramientas aún no tienen capacidad de proporcionar un alto nivel de conocimiento acerca del bien patrimonial (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

4D

La incorporación de información acerca de la evolución histórica de los bienes patrimoniales, contribuye a la comprensión de las diversas etapas constructivas y destructivas que ha experimentado. Por ende, esta dimensión se convierte en un instrumento fundamental que posibilita la interpretación diacrónica, mediante la definición de fases que pueden representar las principales etapas en las que los bienes han tenido modificaciones, que dan como resultado su reconocimiento como patrimonio (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

5D

En la metodología HBIM, no se puede hablar de costos estimados al igual como sucede en el BIM, debido a que el producto final ya existe. Sin embargo, los costos estimados pueden estar asociados a los procesos de intervención destinados a la protección y gestión de los bienes patrimoniales. Razón por la cual, el diagnóstico es un instrumento fundamental en el conocimiento acerca del bien y para la selección de las distintas soluciones constructivas. Por tanto, no debería limitarse únicamente a la identificación y caracterización de daños estructurales, debe abarcar la preservación de su materialidad, la difusión de sus valores y la adecuada protección legal (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

6D

Los bienes patrimoniales son entidades insertadas dentro de un contexto en donde el natural ha tenido un efecto al establecer las condiciones para la determinación de su materialidad y su configuración constructiva. Sin embargo, el contexto cultural implica la interacción entre el bien patrimonial y su entorno físico para la construcción del paisaje histórico. Además de su evolución a través de su infraestructura básica, abastecimiento y transporte,

los recursos materiales y económicos para su construcción y los efectos transformadores en el territorio. Teniendo presente que los bienes patrimoniales se nutren del entorno y que enriquecen el contexto (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

7D

En el caso de las edificaciones patrimoniales esta dimensión trata sobre la gestión integral del bien, abordando la conservación preventiva, con el propósito de preservar sus valores culturales. Contribuyendo a la preservación del bien, con la aplicación de criterios adecuados para futuras intervenciones (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

Figura 04. Dimensiones HBIM

3D ESTUDIO ANÁLITICO	4D EVOLUCIÓN HISTÓRICA	5D DIAGNÓSTICO	6D CONTEXTO CULTURAL	7D CONSERVACIÓN PREVENTIVA
<ul style="list-style-type: none"> - Captura métrica - Procesamiento preliminar de datos - Análisis 	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimiento de la evolución histórica del activo - Gestión de las fases 	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterización del estado del conocimiento, la protección, la conservación y la difusión del bien 	<ul style="list-style-type: none"> - Medio Ambiente - Infraestructura territorial - Bienes relacionados - Entorno cultural 	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos de Conservación - Programación de la investigación, protección, conservación y difusión

Fuente: Elaboración propia, 2024. Basado en: Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019

1.2.4 Levels of Knowledge (LOK)

Por otro lado, el concepto de *Levels of Knowledge*, planteado por Castellano-Román y Pinto-Puerto definen de una manera clara y precisa siendo:

La adaptación del concepto de *Levels of Development* a HBIM no puede abordarse en términos de evolución del proyecto y construcción del edificio, puesto que éste ya existe. Más bien, debe referirse a su nivel de conocimiento y la información que pueda aportar a la gestión patrimonial. Así, al referirse al LOD en HBIM,

UCUENCA

sería más acertado hablar del Nivel de Conocimiento (LOK), ya que este término sugiere, un conocimiento profundo del bien cultural previa a la ejecución de cualquier intervención (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019, p.6).

Es conveniente abordar los Niveles de Conocimiento, con el objetivo de simplificar su comprensión (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

LOK 100

El nivel LOK 100 contiene las características básicas para identificar un bien patrimonial. El nivel gráfico que se consigue, no tiene una importancia significativa, porque la simple visualización de un volumen permite acceder a su ubicación y coordenadas georreferenciadas. Adicionalmente, pudiera incluirse una nube de puntos, resultado de un escaneado tridimensional o de una captura fotogramétrica (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

LOK 200

El LOK 200 permite una representación gráfica más detallada del patrimonio, proporcionando información suficiente para llevar a cabo actuaciones planificadas de manera estratégica y conforme a la ley. El modelo virtual incluirá estructuras básicas: pisos, muros, cubiertas, adicionalmente datos que respalden su valoración patrimonial para recibir el nivel de protección que se le atribuye, y ha de proporcionar soporte gráfico para su difusión. Esto contribuye a la creación de un archivo documental conectado al modelo, encargado de realizar el registro de la información documental y digitalizarla en diversos formatos, o si esto no es posible, una simple referencia de su localización (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

LOK 300

El LOK 300 incorpora características más detalladas de los elementos gráficos capaces de reflejar los resultados de seguimientos y diagnósticos obtenidos a través de diversas investigaciones sobre el bien patrimonial. Este nivel se trataría de un modelo avanzado y habilitado para afrontar el siguiente (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

LOK 400

El LOK 400 trataría de la manera en que los elementos que constituyen el bien patrimonial serán intervenidos y conservados. Para esto es necesario contar con información detallada que permita la aplicación de criterios adecuados y los procedimientos necesarios (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

LOK 500

El LOK 500 se encarga de registrar de manera sistemática las distintas acciones planificadas para la gestión eficiente de las construcciones patrimoniales (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

Todo el conocimiento adquirido durante los distintos niveles contribuye a la difusión de la conservación preventiva de edificaciones catalogadas como patrimoniales. Esto se logra mediante la visualización conjunta de valores alfanuméricos y gráficos, con base en registros de la información documentada y su respectiva gestión (Angulo-Fornos et al., 2021).

Figura 05. Niveles de Conocimiento (LOK)



LOK100	LOK200	LOK300	LOK400	LOK500
IDENTIFICACIÓN	PROTECCIÓN Y DIFUSIÓN	INVESTIGACIÓN AVANZADA	CONSERVACIÓN E INTERVENCIÓN	GESTIÓN INTEGRAL
Codificación gráfica, simbólica o precisa, pero no categorizada. Caracterización básica. Localización y orientación georreferenciadas.	Estructura básica y modelado de la evolución constructiva. Documentación de protección jurídica y planificación estratégica. Soporte gráfico para la difusión.	Modelado de estructuras complejas. Caracterización avanzada de materiales y diagnóstico disciplinario.	Proyectos de conservación e intervención. Definición de criterios y procedimientos.	Programas periódicos de investigación, conservación preventiva, utilización y difusión. Plan de inversión periódico.

Fuente: Elaboración propia, 2024 Basado en: Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019

1.2.5 Ventajas de utilizar HBIM en los procesos conservación

HBIM se trata esencialmente de un prototipo virtual del edificio patrimonial real, es una base de datos que contiene su información geométrica, histórica y arqueológica. Esto supone una gran ventaja, ya que es posible consultarla según nuestras necesidades para descubrir posibles relaciones que de otro modo podrían quedar ocultas bajo la enorme cantidad de información existente asociada con la referencia arquitectónica (Rodríguez-Moreno et al., 2018).

Surge, por tanto, la imperiosa necesidad de desarrollar soluciones específicas orientadas a optimizar la gestión de proyectos vinculados a la preservación del patrimonio arquitectónico. Teniendo en cuenta la existencia de un factor distintivo que no se da en ningún otro campo, como lo es el carácter espacial multicapa en tercera o incluso cuarta dimensión. Además, el enriquecimiento de los modelos digitales 3D, mediante la integración de datos heterogéneos en 2D. No obstante, la organización y estructuración de dicha información es considerablemente compleja (Saygi & Remondino, 2013).

HBIM también proporciona resultados alfanuméricos y gráficos apropiados para la toma de decisiones estratégicas sobre las principales directrices de la gestión del patrimonio: investigación, protección, conservación y difusión (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019). La posibilidad de que HBIM gestione un modelo que puede servir para diferentes resultados es otro gran punto fuerte. El mismo modelo no sólo puede utilizarse para la generación de una gran cantidad de información cualitativa y cuantitativa también sirve para: dibujos 2D, representaciones 3D con diferentes niveles de detalle (Rodríguez-Moreno et al., 2018), también para un listado de objetos de impresión 3D, realidad virtual (RV), etc.

1.3 Estado del arte

El origen de la metodología BIM más antiguo que se puede encontrar es la definida por el profesor Charles Chuck Eastman en 1975 bajo nombre el de “Building Description System”. La que describe como una forma interactiva para la definición de los elementos, a partir de la cual se pueden extraer toda la información gráfica y documental. A partir de ello la definición ha

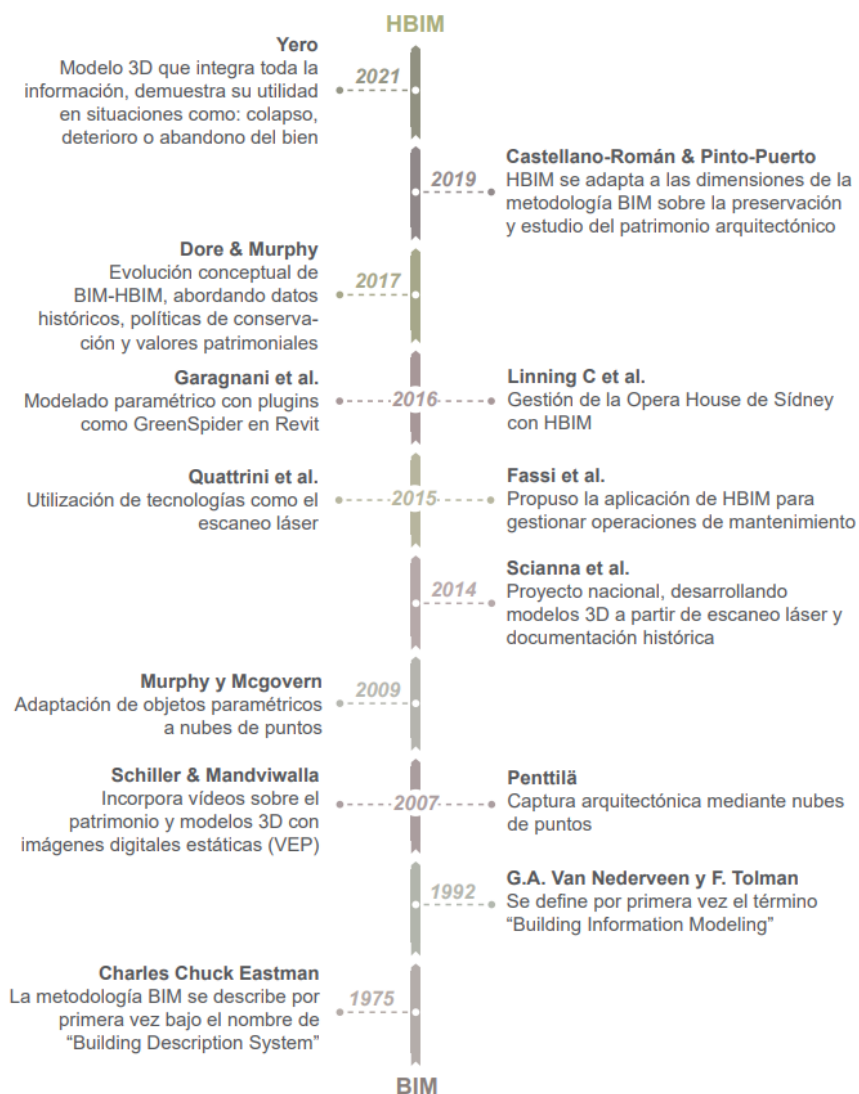
estado en continuo cambio hasta que la primera vez que aparece el término “Building Information Modeling” es un artículo publicado por G.A. Van Nederveen y F. Tolman en 1992 (Eastman, 2008).

Alrededor del año 2007, se inició con las primeras investigaciones de HBIM, enfocadas en la captura arquitectónica mediante nubes de puntos (Penttilä, 2007). En el mismo año se desarrolla el VEP (*Virtual Environmental Planning Systems*), incorporando vídeos sobre el patrimonio y modelos 3D con imágenes digitales estáticas (Schiller & Mandviwalla, 2007). Murphy y McGovern, exploraron la adaptación de objetos paramétricos a nubes de puntos, destacando la necesidad de integrar modelos 3D en archivos SIG 3D para mejorar la orientación de la información semántica (Murphy, McGovern, et al., 2009). En el año 2015 se propone la aplicación de HBIM para la gestión de operaciones de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del edificio (Fassi et al., 2015).

Ejemplo de investigación destacado, es la gestión de la Opera House de Sídney con HBIM, en la que resaltan la expansión de su uso más allá de la fase de proyecto, extendiéndose a la gestión de mantenimiento (Linning C et al., 2016). La utilización de tecnologías como el escaneo láser estudiadas por (Quattrini et al., 2015) y el modelado paramétrico con plugins como GreenSpider en Revit (Garagnani et al., 2016), han contribuido a mejorar la calidad de los modelos HBIM. A nivel internacional, países como el Reino Unido, España e Italia, donde este último ha liderado esfuerzos para cambiar la industria de la construcción mediante un proyecto nacional, desarrollando modelos 3D a partir de escaneo láser y documentación histórica (Scianna et al., 2014). Se destaca la evolución conceptual de BIM hacia Heritage Building Information Modeling/Management (HBIM/M), abordando aspectos más amplios que incluyen datos históricos, políticas de conservación y valores patrimoniales (Dore & Murphy, 2017).

La metodología HBIM se adapta a las dimensiones clave de la metodología BIM sobre la preservación y estudio del patrimonio arquitectónico. De esta forma, las dimensiones HBIM estudian la evolución histórica, el estado actual, el contexto y los planes para su conservación a lo largo del ciclo de vida del bien (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

Figura 06. Línea de tiempo del estado del arte



Fuente: Elaboración propia, 2024

1.4 Patrimonio arquitectónico

Hace referencia a las construcciones arquitectónicas históricas que se mantienen en la actualidad, mismas que deben ser valoradas y conservadas (Yero, 2021). Estas obras dan testimonio del paso del tiempo a las futuras generaciones, son el producto de las relaciones sociales, políticas y económicas, no se debe entender como el resultado de un impulso creativo, sino como una serie de etapas constructivas, destructivas y transformadoras (Fernández et al., 2018).

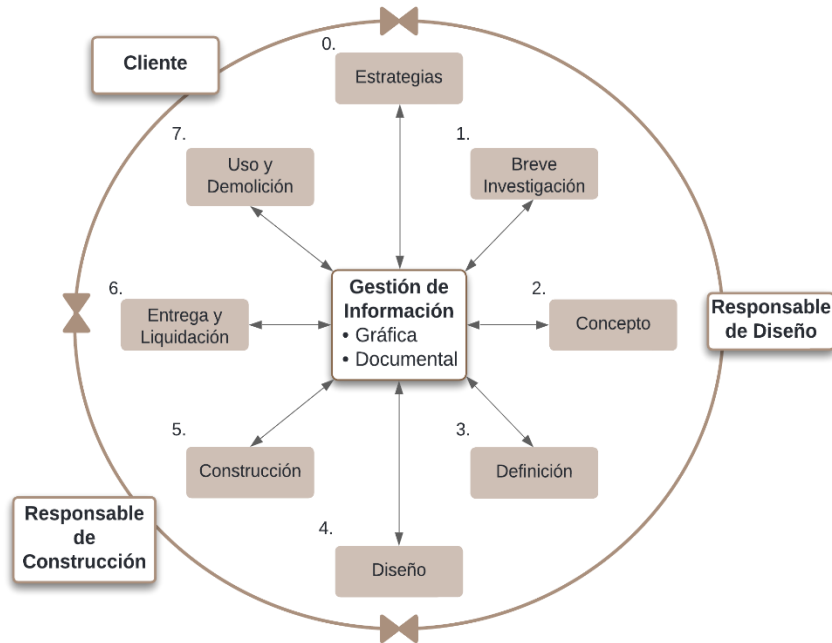
Una obra arquitectónica es considerada como patrimonio, cuando dispone de la documentación completa que respalde y garantice sus valores. Su valor histórico, representa la capacidad que tiene el bien de transmitir el paso del tiempo; el valor artístico, se define de acuerdo a la época y al estilo arquitectónico al que pertenece. El valor de identidad se adquiere por la importancia y significado que tiene en el contexto social; y, el valor cultural se adquiere por el uso y simbolismo asociado a los atributos significativos intangibles (Fernández et al., 2018).

Varios son los métodos que ayudan a la conservación de las edificaciones y uno de ellos es la reconstrucción virtual, mediante un modelo 3D que integra toda la información sobre el bien. El archivo generado demuestra su utilidad en situaciones como: colapso, deterioro o abandono del bien patrimonial, y puede ser utilizado como único recurso (Yero, 2021).

1.4.1 Ciclo de vida de la arquitectura contemporánea

En la actualidad las construcciones dependen y se desarrollan con técnicas constructivas estandarizadas a base de materiales y elementos prefabricados y catalogados (Fernández et al., 2018). El ciclo de vida comprende diferentes etapas interconectadas que se ejecutan de forma simultánea o lineal, dependiendo de la magnitud y dificultad del proyecto. Inicia con el proceso de diseño, para posteriormente ejecutar su construcción y administración, llegando en algunos casos hasta el mantenimiento y renovación. Este proceso integra tanto la arquitectura y las diferentes ingenierías, juntas estandarizan el proceso y logran concebir el diseño del edificio y sus relaciones con el espacio que la rodea (Merchán et al., 2020).

Figura 07. Diagrama CIC BIM / Ciclo de la vida de la edificación

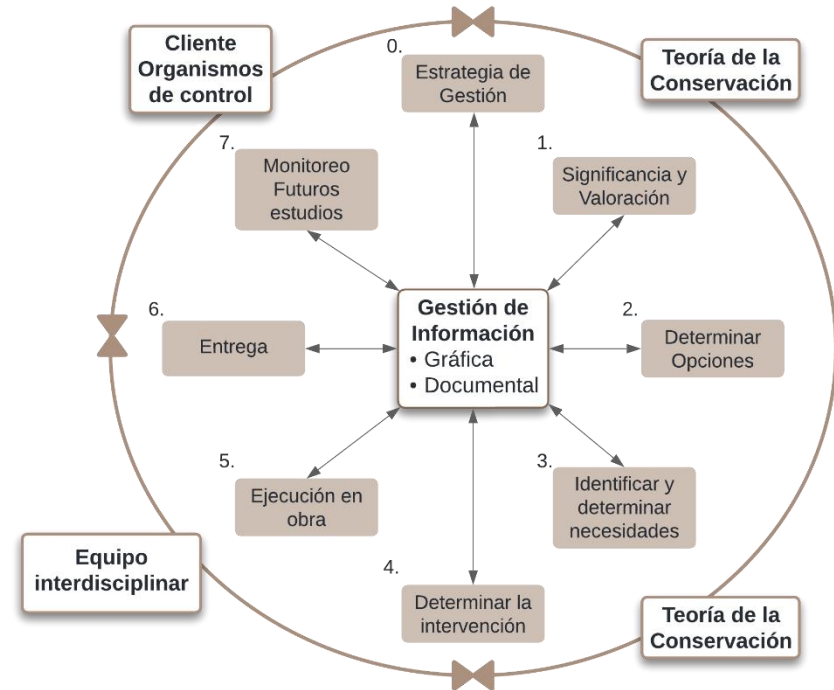


Fuente: Tomado de: Bravo y Alvarado, 2022

1.4.2 Ciclo de vida del patrimonio arquitectónico

A diferencia de las construcciones contemporáneas, los edificios históricos no siguen un proceso de concepción y ejecución uniforme, pues, en su mayoría, son construidos en diferentes temporalidades o experimentan adaptaciones y modificaciones según requieran. Cada uno de sus elementos son únicos y propios en cada edificación, son construidos de forma artesanal, utilizan materiales y técnicas constructivas autóctonas. Al estudiar este tipo de construcciones, es imprescindible considerarlos como el resultado de múltiples y sucesivas transformaciones y, en algunos casos, destrucciones, que los han llevado a adquirir valores que los diferencian de los demás estilos arquitectónicos. Por su singularidad, es importante su identificación e inventario, además, conservarlas para prolongar su vida útil y preservar el patrimonio que representa (Fernández et al., 2018).

Figura 08. Diagrama CIC HBIM / Ciclo de la vida del patrimonio



Fuente: Tomado de: Bravo y Alvarado, 2022

1.5 Técnicas de levantamiento y gestión de la información

Es indispensable para la conservación de cualquier bien patrimonial el disponer de información fiable que garantice que los planes y acciones futuras para su protección sean efectivas. Para ello es fundamental el empleo de técnicas de levantamiento y registro de información, que implica la interacción directa sobre los bienes en especial sobre las edificaciones patrimoniales, buscando registrar las características formales, espaciales, constructivas e históricas.

Las técnicas de levantamiento arquitectónico aplicado a las edificaciones patrimoniales se distinguen de otras disciplinas, debido a la complejidad

UCUENCA

que pueden alcanzar, para el registro de la información sobre algo existente (Melero Lazo, 2022). Ya que la información recopilada abarca un amplio rango de formatos que pueden ir desde físicos como: dibujos, bocetos o gráficos hasta digitales como: fotografías, nubes de puntos o modelos 3D.

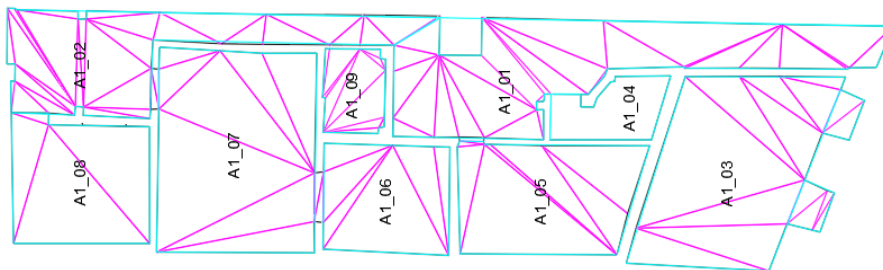
Se pueden identificar dos tipos de técnicas para el registro de la información según su modo de aplicación y las herramientas o instrumentos empleados.

1.5.1 Técnicas de levantamiento directo

Tradicionalmente las técnicas directas requieren del contacto sobre los bienes patrimoniales, pues se busca registrar datos como dimensiones, materiales, estratos, elementos arquitectónicos y constructivos, etc. Dando como resultado la construcción de un sistema triangulado a partir del cual se obtiene información geométrica (Pocobelli et al., 2018).

El empleo de instrumentos manuales como: flexómetros, niveles, plomadas, varillas extensibles hasta instrumentos más sofisticados como distanciómetros, teodolitos o estaciones totales. Son utilizados mayormente debido a su fácil acceso, bajo costo, poco entrenamiento o capacitación, pues garantizan resultados y datos de manera inmediata, sin importar la extensión o tamaño de la edificación patrimonial (Melero Lazo, 2022).

Figura 09. Triangulación por levantamiento directo



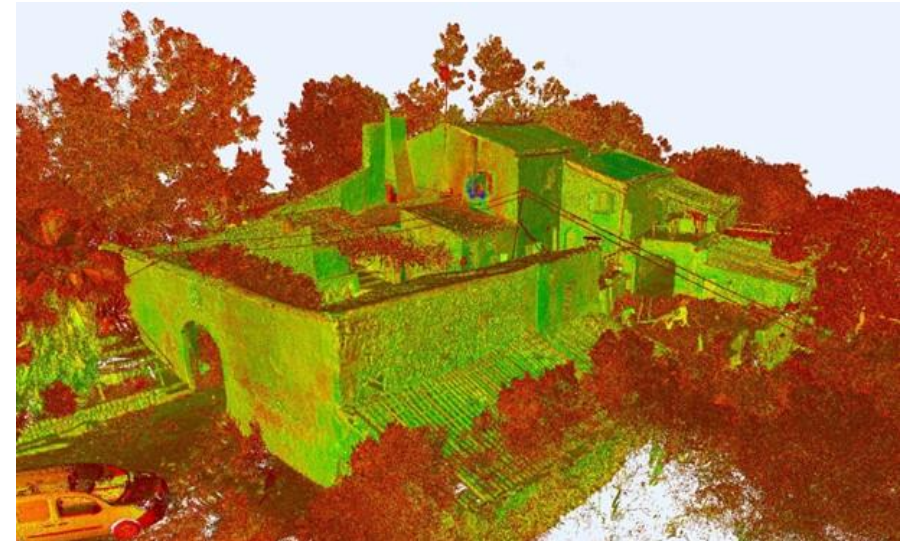
Fuente: Proyecto de edificaciones patrimoniales El Vado, Vol. I, 2023 Elaboración: Auquilla E., Bermeo C. y Marca A.

1.5.2 Técnicas de levantamiento indirecto

Las técnicas indirectas son aquellas que no requieren un contacto directo sobre la superficie o el bien patrimonial que se está estudiando. Los instrumentos empleados en la ejecución de estos relevamientos, utilizan tecnologías que incorporan tanto software y hardware, lo que hace que las tareas sean más rápidas y precisas (Prytz et al., 2014).

Este tipo de levantamientos incluyen herramientas como la fotogrametría, escáner láser, sistemas de posicionamiento global, entre otros. La utilización de estos métodos, dependerá de algunas condicionantes como la calificación técnica del personal, presupuesto asignado para su ejecución, el grado de complejidad arquitectónica del edificio en estudio y del valor patrimonial del inmueble (Melero Lazo, 2022).

Figura 10. Nube de puntos



Fuente: <https://grupotrato.com/blog/que-es-para-que-sirve-nube-de-puntos/>

1.5.3 Gestión de Información

Debido al constante desarrollo y evolución tecnológica, los caudales de información generados y recopilados, se hacen cada vez más amplios y como consecuencia más complejos de gestionar. La complejidad alcanzada requiere de metodologías y herramientas que permitan mejorar los flujos de información facilitando su clasificación, almacenamiento y consulta.

La necesidad de softwares que faciliten gestionar la información obtenida a partir de cualquier técnica de levantamiento, resulta imprescindible debido a que, sin importar la técnica o herramienta empleada, esta se transforma en información. En la actualidad con el surgimiento y accesibilidad a dispositivos tecnológicos, hacen que la digitalización sea la mejor opción, en cuanto a la gestión de información. Es por ello que el surgimiento de herramientas digitales que permitan la creación de bases de datos, son de gran ayuda para la conservación de edificaciones patrimoniales.

A continuación, se mencionan algunas herramientas para la gestión de información:

Excel

Desarrollado por Microsoft es el software más popular y de fácil aprendizaje, permite crear y gestionar información alfanumérica, además de la creación de bases de datos, tablas y gráficas, que pueden ser vinculadas o exportadas en distintos softwares y formatos.

Access

Desarrollado por Microsoft, es una herramienta que se enfoca en la creación de bases de datos, especialmente para caudales de información altos y complejos, además, permite la elaboración de informes, encuestas, formularios, consultas, etc.

Nube de puntos

Se trata de una herramienta digital que consiste en la generación de millones de puntos que se obtienen mediante la utilización de instrumentos

de escaneo 3D o por fotogrametría. Los puntos permiten obtener un modelo 3D que indica la ubicación y orientación de las partes de un objeto. Ante lo cual se requiere de softwares especializados que faciliten la depuración y el filtrado, que eliminen los datos innecesarios o errores capturados por los instrumentos (Murphy, McGovern, et al., 2009).

1.6 Retos en la digitalización del patrimonio arquitectónico

Con un desarrollo tecnológico cada vez más acelerado, la documentación del patrimonio cultural ha encontrado en la digitalización como una manera de preservar toda forma de documentación en especial aquella hecha a mano. Por consiguiente, se da lugar a una enorme cantidad de información que requiere ser levantada, organizada y archivada, lo que pone en evidencia tres retos que pueden limitar la digitalización del patrimonio arquitectónico (Santana-Quintero, 2013).

Fragmentación: la falta de un repositorio de datos compartidos o CDE, restringe y limita el acceso a otros usuarios, los cuales generalmente requieren de permisos. Esto se debe principalmente a que los datos se quedan únicamente con las personas que los producen, lo que demuestra una desarticulación entre individuos e instituciones de conservación locales, regionales e internacionales (Santana-Quintero, 2013).

Fiabilidad: esto se traduce en una gran cantidad de datos producidos, debido al aumento en el interés acerca del patrimonio cultural, lo que ha dado lugar a múltiples procesos de documentación. Sin embargo, la falta de protocolos y metodologías obligan en muchos casos a cuestionarse si los procesos fueron llevados de manera apropiada y que la información producida refleja a la perfección las características de los bienes patrimoniales (Santana-Quintero, 2013).

Longevidad: con un aumento de datos cada vez más en formatos digitales, también se corre el riesgo de perderse si no existen cuidados especiales, lo que da lugar a un problema de larga data. Haciendo que se pierdan o sobrevivan ante un crecimiento de información constante lo que motiva a la creación de metodologías y técnicas para la organización y archivo de la información (Santana-Quintero, 2013).



CASOS DE ESTUDIO

CAPÍTULO 2: Casos de estudio

2.1 Justificación

Para desarrollar una metodología HBIM que se pueda implementar en nuestro medio, es imprescindible realizar un análisis de casos previamente estudiados, que implementen metodologías HBIM para la gestión y conservación edificios patrimoniales. Estos casos de estudio aportaran y enriquecerán significativamente al desarrollo de la propuesta de una metodología HBIM que se desee implementar, siendo aplicado como primer caso de estudio de la Casa Vélez.

De esta manera permitirnos seleccionar casos de estudio que hayan desarrollado una metodología y utilizados recursos tecnológicos similares a los que disponemos en nuestro medio. Esto facilitará identificar las estrategias empleadas en dichos trabajos, extrayendo de cada caso los objetivos, metodología, herramientas, softwares y procesos utilizados para la conservación de los bienes.

A. Metodología

Los casos de estudio deberán proporcionar una o varias metodologías claramente definidas por fases o etapas, en las que especifiquen tanto las técnicas, herramientas o instrumentos empleados. Adicionalmente, demostrarán su aplicación, proporcionando evidencia que sustente su propuesta, exponiendo los resultados y las limitaciones. La metodología deberá permitir la posibilidad de ser replicable a casos con el objetivo de alcanzar o ampliar los resultados esperados.

B. Aplicable al patrimonio arquitectónico

La metodología propuesta deberá contribuir al conocimiento de las edificaciones patrimoniales que sean oficialmente reconocidas a nivel internacional, regional o nacional. En la que se demuestre un impacto al desarrollo local, así como la importancia de su conservación.

C. Modelado y parametrización

Es de suma importancia que cada caso demuestre además de la creación de un modelo HBIM, el manejo de la información y en cómo esta puede aportar al conocimiento y gestión del patrimonio arquitectónico.

Estableciendo metodologías para el manejo de la información y la integración dentro del modelo BIM, así como dichos datos pueden ser analizados y extraídos como información geométrica y no geométrica.

D. Desarrollo de un plan de conservación

La importancia de conservar el patrimonio arquitectónico debe ser el enfoque principal de cada caso, mediante la generación de planes de conservación a partir de los datos geométricos y no geométricos que aporta el modelo HBIM. Estableciendo los criterios y las acciones de intervención con el objetivo de asegurar la protección de los elementos arquitectónicos.

E. Viabilidad

A pesar de que las metodologías propuestas sean replicables en casos futuros es necesario analizar la viabilidad de estas. Considerando los objetivos y alcance general, así como también los recursos tanto técnicos como tecnológicos disponibles. Lo que permitirá proponer una metodología en base a los recursos disponibles y a dimensionar de mejor manera los resultados esperados en la presente investigación.

2.2 Fuentes de consulta bibliográfica

Las fuentes de información bibliográfica utilizadas en los casos de estudio son documentos técnicos especializados en BIM aplicado al patrimonio arquitectónico. Entre ellos tenemos:

Caso I: Integración de nube de puntos, registros históricos y de la condición de evaluación en HBIM. Este artículo de investigación es una publicación de la revista internacional “*Automation in Construction*”, y esta indexado en la plataforma *ScienceDirect*.

Caso II: Gestión de la información a través de la metodología HBIM para su conservación y mantenimiento. Es una tesis de master indexada en el Depósito de Investigación en línea de la Universidad de Sevilla.

Caso III: Implantación de un equipo de trabajo HBIM para la gestión y sostenibilidad del patrimonio. Es un artículo de investigación publicado en la revista internacional “*Sustainability*”, y se encuentra indexado en la plataforma MDPI (*Multidisciplinary Digital Publishing Institute*).

2.3 Casos de estudio

2.3.1 Caso I

Integración de nube de puntos, registros históricos y de la condición de evaluación en HBIM (Chelaru et al., 2024).

1. Resumen

El artículo se enfoca en proporcionar una metodología fácil y efectiva para la captura de información, creación de modelos HBIM y la gestión de los datos obtenidos de diversas fuentes. Utilizando fuentes de información que proporcionan evidencias del pasado, presente y futuro de la edificación, a partir de archivos históricos, levantamientos del estado actual y recomendaciones para futuras intervenciones. El artículo describe tres fases, partiendo de la recopilación y creación de un modelo 3D, la integración y mapeo de la información en el modelo HBIM, y la extracción de datos gráficos y documentales. Este caso contribuye a la comprensión de la metodología HBIM, como una herramienta que facilita la toma de decisiones en proyectos de conservación y restauración arquitectónica, de una manera más precisa y detallada (Chelaru et al., 2024).

Figura 11. a) Iglesia Gálata, b) Palacio del Príncipe, c) Campanario y d) Muro Fortificado



Fuente: Tomado de: Chelaru et al., 2024

2. Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar una metodología para la creación de un modelo HBIM y la gestión de la información, aplicable a la Iglesia Gálata (Chelaru et al., 2024).

Objetivos específicos:

- Recopilar información a partir de una nube de puntos, trabajos de restauración previos, levantamiento del estado actual y reportes técnicos para futuras intervenciones.
- Generar el modelo HBIM, alcanzando un nivel LOD 300, utilizando la nube de puntos e ingresando la información como parámetros al modelo.
- Extraer la información del modelo HBIM, mediante el análisis de los datos y producción de documentación acerca del estado actual y futuras intervenciones.

3. Metodología

El caso de estudio emplea una metodología estructurada en tres fases secuenciales. Mediante técnicas de levantamiento indirecto y gestión de la información, buscando preservar la condición física de la edificación.

Figura 12. Esquema metodológico caso I

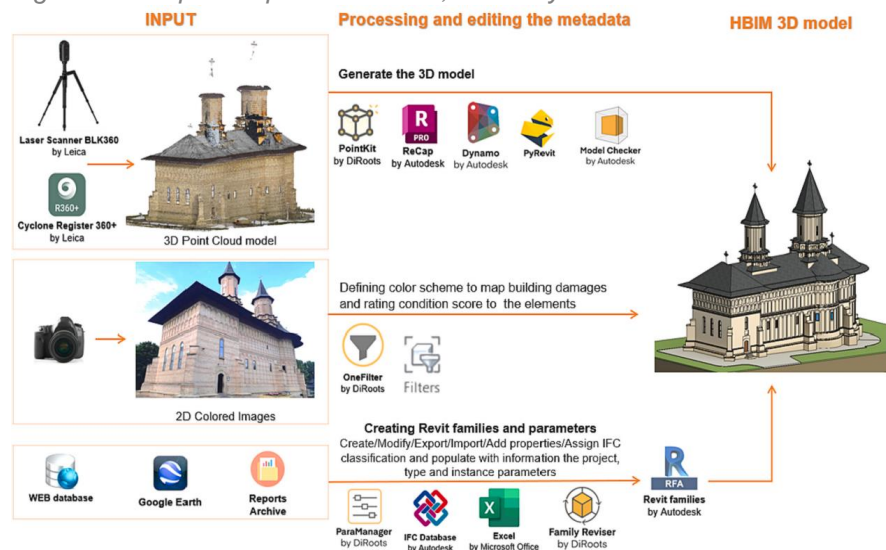


Fuente: Elaboración propia. Basado en: Chelaru et al., 2024

Estas tres fases son ejecutadas a través de una serie de actividades, que define la manera en cómo la información es procesada desde su captura hasta su ingreso y mapeo al modelo HBIM. Las cuales se listan a continuación: (Chelaru et al., 2024).

- 1) Interpretación de la información.
- 2) Configuración del archivo de plantilla Revit
- 3) Integración del archivo de nube de puntos
- 4) Estandarización de la identificación de daños
- 5) Clasificación de daños y defectos
- 6) Visualización de daños en el modelo HBIM
- 7) Entregables

Figura 13. Etapas de procesamiento, edición y creación del modelo HBIM



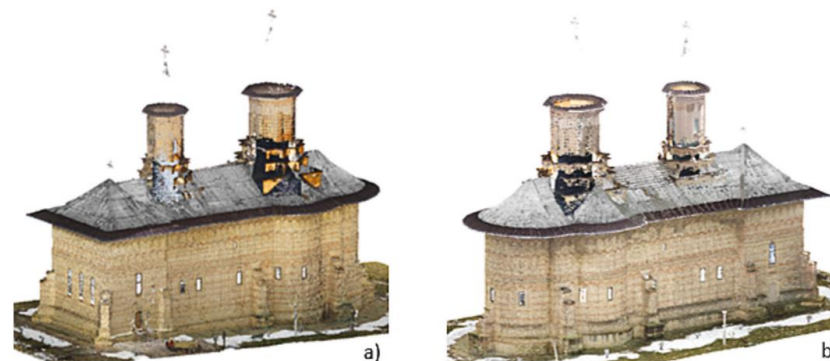
Fuente: Tomado de: Chelaru et al., 2024

4. Descripción arquitectónica

La iglesia Gálata tiene 129 m de largo y 13,43 m de ancho y una altura de aproximadamente 31,60 m. A nivel de planta baja la edificación se divide en tres ambientes interiores separados por muros. La primera se trata de un pórtico de 8.46 m de ancho y 5,16 m de largo; el segundo ambiente o intermedio es un Nártex de 7,01 m de ancho y 6.74 m de largo; y en el último ambiente se ubica la nave principal y el ábside con los altares de forma semicircular en el interior y poligonal en el exterior. Los muros perimetrales tienen espesores de entre 130 a 170 cm y se encuentran reforzados con nueve contrafuertes (Chelaru et al., 2024).

La iglesia posee sus puertas de ingreso ubicadas lateralmente que dan acceso al pórtico y sobre ellas se encuentran una ventana para cada una. Sobre el nártex y el ábside se elevan dos torres de forma octogonal, al igual que sus cubiertas que terminan con una cruz en su punto más alto. La fachada presenta un sistema de arcos de medio punto a doble fila; debido a los trabajos de consolidación efectuados entre 1957 y 1969, todos los arcos se encuentran sellados con material similar al de la fachada. Actualmente la Iglesia Gálata forma parte del Registro Nacional de Monumentos Históricos de Rumania (Chelaru et al., 2024).

Figura 14. Nube de puntos. a) Elevación frontal, b) Elevación posterior



Fuente: Tomado de: Chelaru et al., 2024

5. Desarrollo

FASE I	Recopilación de datos de la nube de puntos.	Empleando una estación escáner láser terrestre (TLS), los autores pudieron crear una nube de puntos del interior y gran parte del exterior, con una alta densidad y precisión.	
	Recopilación de datos restauraciones previas (1957-1969).	Según expedientes dan cuenta de restauraciones previas entre las que destacan: restauración de bóvedas, reemplazo de la estructura de cubierta, consolidación de muros, entre otros.	
	Recopilación de datos de estudio de estado actual.	Se centra en la inspección visual, con el objetivo de registrar los elementos arquitectónicos. Permitiendo determinar el estado de conservación, daños, causas, materiales, etc.	
	Recopilación de datos de informes técnicos para futuras restauraciones.	En el año 2021 se emitieron informes técnicos, que proponen: impermeabilizar los cimientos, restaurar la mampostería, reemplazar carpinterías sin valor y reparaciones locales.	
FASE II	SCAN a HBIM	Se enfoca en el modelado y procesado en el software Autodesk Revit. Inicia con la importación de la nube de puntos, la generación de los modelos arquitectónicos y estructurales.	
	Configuración de familias Revit.	Se definen las familias usadas en el modelo que se dividen en categoría geométrica y anotativa a un LOD 300. Además, los parámetros y los nombres bajo el estándar ISO 19650.	
	Mapeo de información a parámetros de proyecto Revit.	La información derivada de la Fase I es ingresada al modelo mediante la creación de parámetros de proyecto que proveen información esencial sobre los elementos del modelo.	
FASE III	Entorno HBIM	Se centra en preparar el modelo 3D para la extracción de planos de planta, alzados, secciones, etc. A la cuales se integran imágenes para complementar y simplificar su comprensión.	
	Mapeo de elementos dañados	Se mapea manualmente, los daños registrados en la Fase I empleando una familia genérica. Permitiendo ubicar de manera precisa los daños mediante parámetros en el modelo HBIM.	
	Futuras aplicaciones	La capacidad de actualizar el modelo HBIM en futuros estudios, mediante el ingreso de nuevos parámetros acerca de las características físicas, mecánicas, térmicas, etc.	
FASE	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RECURSOS

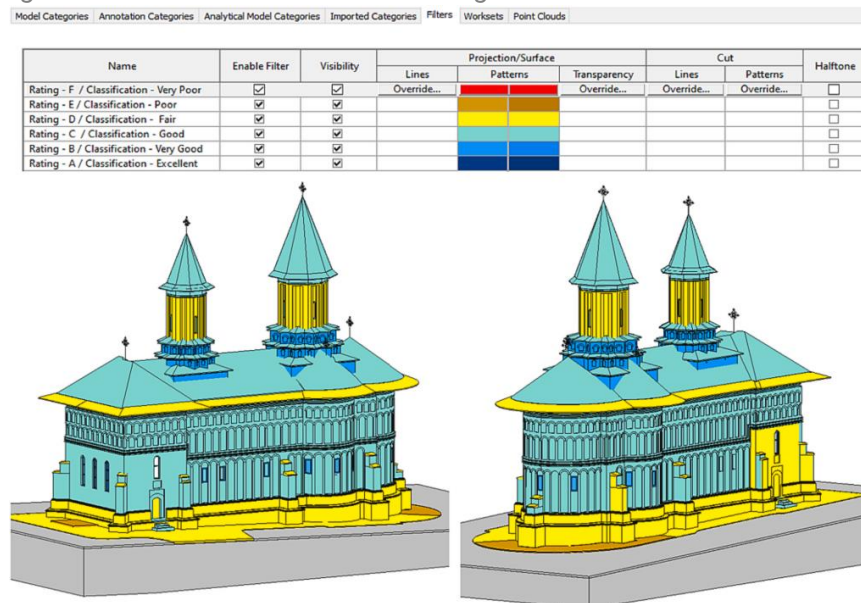
UCUENCA

6. Conclusiones

La metodología propuesta en el artículo busca demostrar la aplicación que tienen los modelos HBIM a edificaciones históricas, a través de la incorporación de información de varias fuentes. Siendo estas derivadas del estudio del estado actual, archivos y evidencias de intervenciones previas y las propuestas de intervención futuras.

Además, recalca que el empleo de la metodología presentada podría representar un importante valor costo-beneficio. Al automatizar muchos de los procesos, mejorando la productividad y minimizando los errores con que las metodologías de trabajo tradicionales tienden a ser susceptibles. Sin embargo, es importante recalcar que para una aplicación correcta y la obtención de resultados precisos es necesario tener destreza en el manejo de las múltiples herramientas, softwares y técnicas empleadas.

Figura 15. Identificación de la condición general de los elementos



Fuente: Tomado de: Chelaru et al., 2024

Ciertamente, las edificaciones históricas poseen características distintivas que varían para cada caso en términos de estructura, forma, elementos arquitectónicos, etc. Por tanto, son varios los beneficios, limitaciones y retos a los que se enfrenta la aplicación de la metodología HBIM.

Entre los beneficios del BIM para edificios históricos, se menciona la producción de documentación detallada y precisa, el análisis complejo de propuestas de intervención considerando varios escenarios, la creación de bibliotecas de objetos paramétricos y el facilitar la colaboración entre todos los actores involucrados en determinado proyecto. Este último tiene una importante relevancia debido a la necesidad de involucrar varias disciplinas profesionales.

A pesar de todo lo anterior, existen varias limitaciones y desventajas que dificultan la aplicación siendo la más importante la necesidad de experticia y destreza en el manejo de las herramientas y softwares, así como también el costo que dichas herramientas tecnológicas suponen una limitación debido al alto costo de las mismas.

Los autores además plantean que la metodología propuesta, a pesar de enfocarse para ser aplicada en edificaciones históricas, puede ser empleada en cualquier tipo de edificación. Debido a que actúa como una valiosa herramienta de gestión en la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida de las edificaciones. Siendo así una metodología que tiene su enfoque en la colaboración efectiva, haciendo que sea ideal para la gestión, investigación y conservación del patrimonio cultural.

2.3.2 Caso II

Gestión de la información a través de la metodología HBIM para su conservación y mantenimiento (Gutiérrez, 2022).

1. Resumen

El caso presenta un método para la aplicación de la metodología HBIM, enfocado en la gestión del conocimiento de las edificaciones patrimoniales, considerando la información geométrica y semántica. Lo que permite guiar de manera precisa y efectiva la toma de decisiones, en la protección del patrimonio cultural, especialmente en las iglesias de Chiloé. El desarrollo de esta investigación muestra su aplicación en la iglesia Detif, ubicada en la Isla Lemuy, Chile, las cuales son reconocidas como patrimonio de la humanidad por la UNESCO. Enfocándose en la estructura de la techumbre, a partir de la cual se busca registrar las intervenciones previas realizadas a lo largo del tiempo y el estudio del estado actual, la cual es integrada en un modelo 3D. La metodología propuesta puede convertirse en una herramienta potencial, que brinda la oportunidad de aprender a través de la salvaguardia sobre la gestión de la información heredada. Lo que puede dar lugar a la creación de modelos de gestión de mantenimiento predictivo aplicables a todas las iglesias de Chiloé (Gutiérrez, 2022).

Figura 16. Fachadas de las iglesias de Chiloé



Fuente: Tomado de: <https://www.facebook.com/fundacioniglesiasdechiloe/>

2. Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar un método de gestión de mantenimiento para las iglesias de Chiloé, mediante la aplicación de la metodología HBIM, siguiendo con los objetivos de la UNESCO para edificaciones patrimoniales (Gutiérrez, 2022).

Objetivos específicos: (Gutiérrez, 2022).

- Realizar una caracterización de los elementos constructivos de las iglesias de Chiloé y su relación con el entorno.
- Identificar las patologías y causas propios de los elementos constructivos, que intervengan en el estado de conservación.
- Analizar el entorno mediante la creación de un modelo QGIS, para la obtención de información semántica, que proporcione antecedentes importantes en el flujo de información.
- Elaborar un modelo digital con mapas de conservación aplicable a la techumbre de la Iglesia Detif, basado en el flujo de información HBIM.
- Diseñar un modelo de gestión para el mantenimiento de las Iglesias de Chiloé basado en los modelos HBIM.

3. Metodología

La metodología planteada se basa en la aplicación de un método de estudio de caso, en la que recalca que el objetivo no es la de evaluar los daños, sino de generar un constante intercambio de información, que facilite la toma de decisiones en la generación de planes de mantenimiento (Gutiérrez, 2022).

Además, establece los criterios para la selección de los casos, siendo:

1. Iglesias reconocidas por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad.
2. Aquellas que se encuentren ubicadas dentro del archipiélago de Chiloé.
3. Estado de conservación sujeto a seguimiento y registro de información por parte del propietario original.

UCUENCA

De esta manera la metodología que plantea el autor se divide en 4 etapas, la cual se aplica a una edificación seleccionada a través del análisis de múltiples variables, seleccionando así las más relevantes de acuerdo con el estudio de literatura (Gutiérrez, 2022).

Figura 17. Esquema metodológico caso II



Fuente: Elaboración propia. Basado en: Gutiérrez, 2022

Figura 18. Área de estudio. Comunidad Lemuy



Fuente: Tomado de: Gutiérrez, 2022

4. Descripción arquitectónica

La iglesia de Detif se ubica en la bahía norte al extremo sur de la Isla Lemuy. Fue fundada alrededor de 1734 por misioneros jesuitas, quienes fueron expulsados de la localidad de Detif en 1767. A partir del año 2000 es declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, junto con otras 15 iglesias (Gutiérrez, 2022).

La iglesia se emplaza levemente alejada de la playa, debido a que los navegantes la usaban como referencia para guiarse. Su planta es rectangular conformada por una nave central a doble altura y dos laterales separadas por columnas de arco simple. Posee un pórtico de acceso en su fachada frontal que da directamente con un patio, usado para fiestas religiosas. Su cubierta es a dos aguas con una torre que funciona como campanario (Gutiérrez, 2022).

Su sistema constructivo es enteramente en madera unida mediante ensambles y empalmes, empleando maderas duras para los elementos estructurales, maderas nobles para la fachada y vigas maestras y maderas blandas para ornamentos tallados (Gutiérrez, 2022).

Figura 19. Vista aérea de la Iglesia Detif



Fuente: Tomado de: Gutiérrez, 2022

5. Desarrollo

FASE I	Recopilación de datos geométricos.	La existencia de planos y expedientes de intervenciones previas, permiten obtener información sobre los elementos arquitectónicos, estructurales y estéticos, junto con la captura de imágenes y mediciones del estado actual.	
	Recopilación de datos no geométricos.	A partir de expedientes y relatos de los pobladores, se obtiene información histórica de la edificación sobre intervenciones previas. Además de registrar las características de los elementos como: daños, causas, materiales, etc.	
	Recopilación de datos del entorno.	Se enfoca en la identificación, comprensión y la relación que la iglesia tiene con el entorno inmediato y mediano, sobre la importancia que tiene para los moradores, así como también la relación con las iglesias más cercanas, etc.	
FASE II	Creación del modelo geométrico.	Mediante el uso del software Autodesk Revit, se centra en la creación del modelo, haciendo uso de planos y fotografías. El proceso arranca con la definición de los niveles continuando con la creación de los elementos estructurales de la cubierta y finalizando con los acabados y recubrimientos.	
	Incorporación de datos geométricos y no geométricos.	Toda la información asociada a las características de los elementos como: estado de conservación, patologías, materiales, intervenciones, etc. Se ingresan al modelo como parámetros de tipo e indicando los criterios de nombramiento según el tipo de elemento.	
FASE III	Elaboración de tablas de información.	En esta fase inicia con la extracción de los parámetros de los elementos, como tablas Excel, mediante scripts de Dynamo. Las tablas extraídas son llenadas con la información, que permitirá asignar los parámetros a los elementos.	
	Incorporación y extracción de información automatizada.	Debido a que el modelo incorpora una alta cantidad de elementos, el proceso de asignación de información se realiza mediante el uso de Dynamo, que permite asignar los parámetros de las tablas de Excel automáticamente.	
FASE IV	Selección de atributos.	Posterior al ingreso de la información es posible filtrar y clasificar los elementos según sus características a fin de evaluar el nivel de riesgo y la urgencia de una intervención.	
	Creación de matriz de estado de conservación.	Se emplean las matrices de criticidad, que permiten evaluar cada elemento para determinar las condiciones y las acciones recomendadas a tomar. Lo que permite generar planes de intervención, pudiendo determinar el riesgo y complejidad de las intervenciones.	
FASE	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RECURSOS

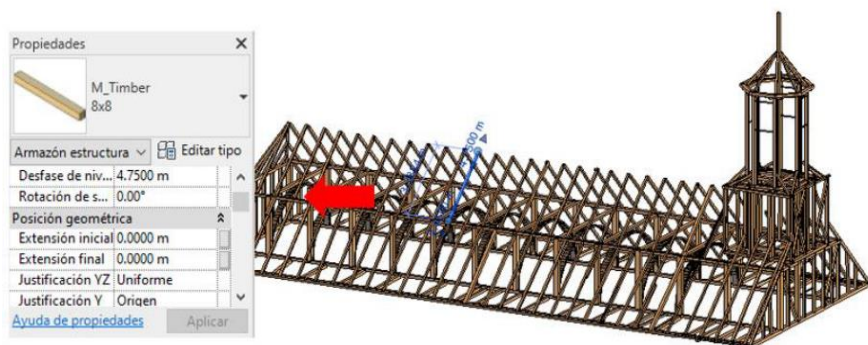
6. Conclusiones

A pesar de disponer de información acerca de la edificación a partir de intervenciones previas, la autora reconoce que las inspecciones visuales permiten registrar la condición del estado actual. Con el objetivo de que el flujo de información sea lo más preciso posible, a fin de garantizar que la toma de decisiones sean las acertadas para su conservación.

Además, expresa la importancia que tiene el estudiar el contexto alrededor y la influencia que tienen los edificios patrimoniales con el entorno. Comprendiendo desde los relatos de los pobladores, el impacto que tiene en el tejido social y cultural, adicionalmente como las comunidades ayudan a enriquecer a las edificaciones patrimoniales.

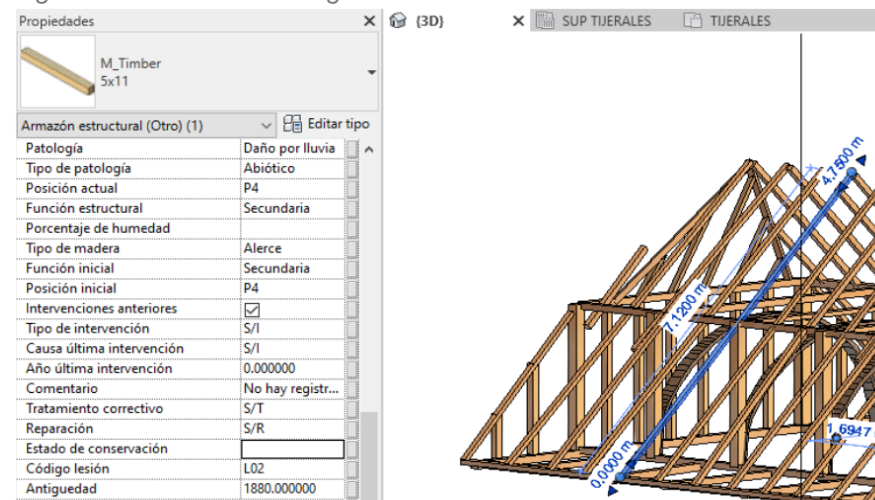
Un aspecto esencial que la autora expresa es la posibilidad de actualizar la información del modelo, permitiendo el emplear el mismo, ahorrando recursos tanto técnicos como económicos en crear un nuevo modelo. Esta capacidad del modelo, permite que la nueva información sea agregada posterior a una intervención o también actualizada previamente. Adicionalmente, las potenciales aplicaciones implicarían el registrar en el modelo las acciones ejecutadas, el año de intervención, los actores implicados, las organizaciones entre otros.

Figura 20. Información geométrica del modelo Revit



Fuente: Tomado de: Gutiérrez, 2022

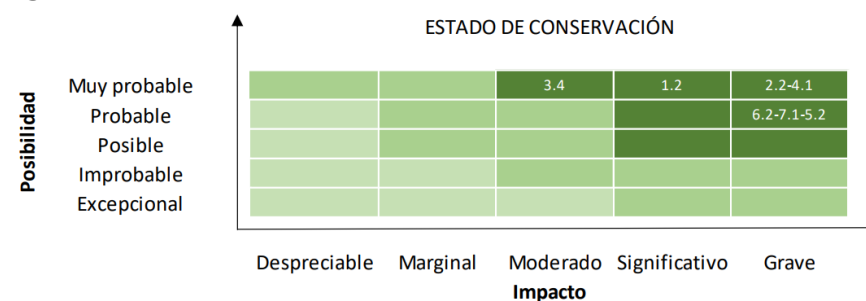
Figura 21. Resultado de ingreso de información a los elementos



Fuente: Tomado de: Gutiérrez, 2022

Es importante resaltar que la autora expresa que la investigación no busca crear un modelo con un alto nivel de precisión fiel a la realidad. Mas bien, busca demostrar la importancia en la gestión de la información no geométrica y semántica, y su aporte a la generación de modelos de conservación preventiva, a partir del análisis de la edificación.

Figura 22. Resultado de criticidad de intervención de elemento



Fuente: Tomado de: Gutiérrez, 2022

2.3.3 Caso III

Implantación de un equipo de trabajo HBIM para la gestión y sostenibilidad del patrimonio (Nieto-Julián et al., 2021).

1. Resumen

El proyecto describe un plan de conservación de la Iglesia de la Compañía de Jesús, mediante la creación de un modelo virtual sostenible con la ayuda de un equipo de trabajo HBIM. El modelo contiene información semántica, desde la recopilación de datos, hasta la creación de un repositorio de bienes artísticos. El equipo de trabajo HBIM actúa como una base de datos que contiene objetos paramétricos (GLD), con información gráfica y semántica, obtenida a través de procesos como el registro, inventariado, y catalogación, ayudando a la creación de fichas de registro e inventario de los bienes muebles. Con lo obtenido se creó una categoría de Mobiliario patrimonial que consistía en editar un objeto paramétrico que integra todos los datos del bien artístico (Nieto-Julián et al., 2021).

Además, se emplea el escáner láser que mediante la nube de puntos se obtiene la geometría real del edificio, lo que facilita el modelado y su fiabilidad al condensar metadatos en un entorno común de datos (CDE). El resultado de este proyecto se relaciona con la sostenibilidad, ya que al implementar esta metodología mejora el flujo de información interdisciplinar al actuar en el patrimonio histórico (Nieto-Julián et al., 2021).

2. Objetivos

Objetivo general:

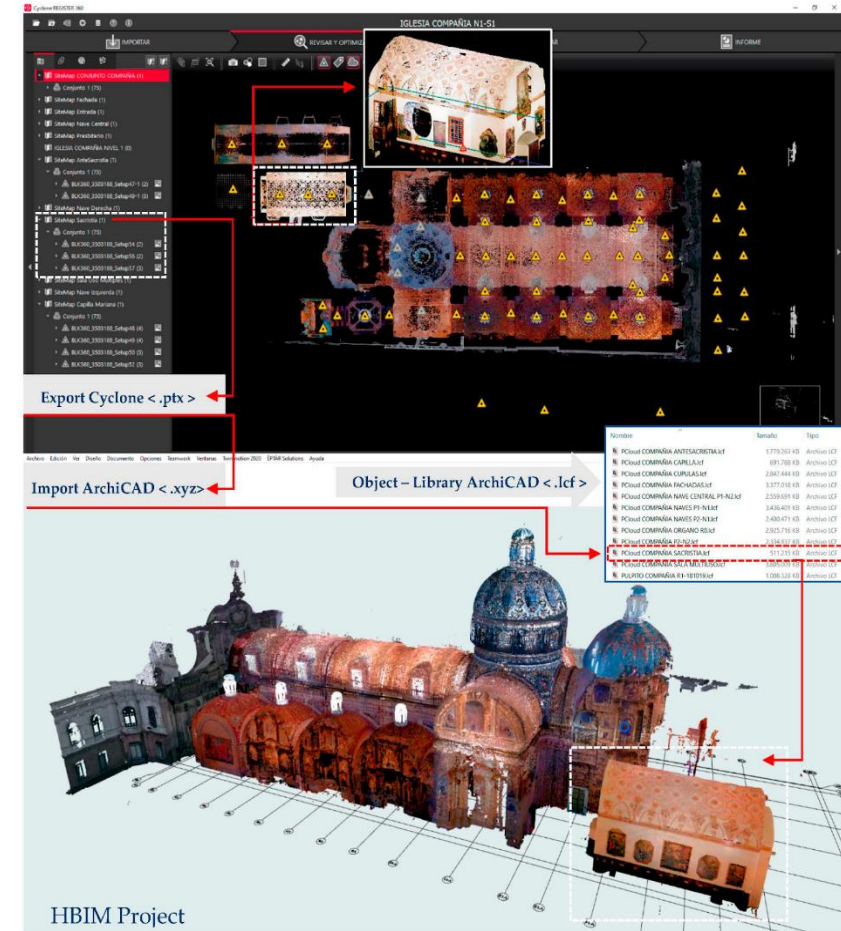
Generar una plataforma sustentable que incluya la base de datos en un modelo de información digital (Nieto-Julián et al., 2021).

Objetivos específicos:

- Levantamiento 3D edificación, a través de la nube de puntos intervenciones.
- Implantación de un equipo de trabajo HBIM el modelo HBIM
- Manejo de la información en un entorno común de datos (CDE)

- Implementar una metodología sostenible para identificar los bienes artísticos
- Creación de una base de datos de bienes muebles
- Creación de fichas de registro e inventario

Figura 22. Sectorización de la nube de puntos por estancias



Fuente: Tomado de: Nieto-Julián et al., 2021

UCUENCA

3. Metodología

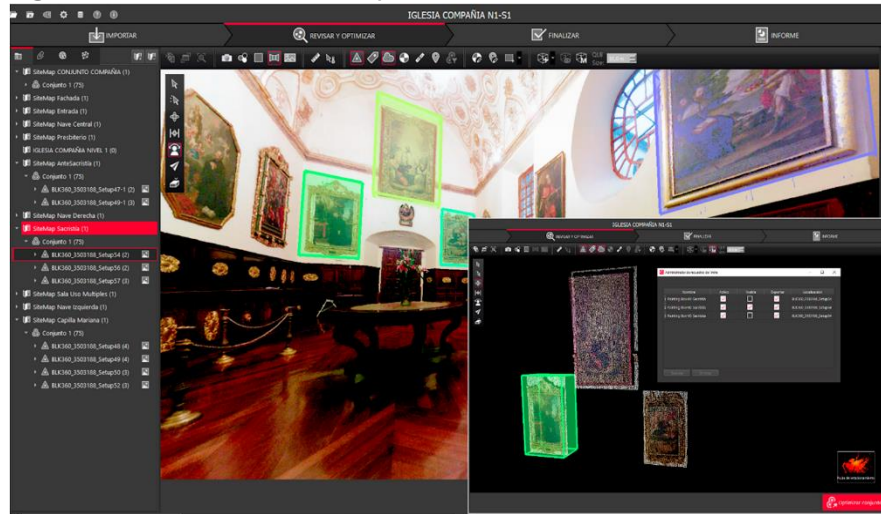
El caso de estudio emplea una metodología de la cual se ha identificado tres fases secuencias, y son las siguientes:

Figura 23. Esquema metodológico caso III



Fuente: Elaboración propia. Basado en: Nieto-Julián et al., 2021

Figura 24. Identificación de las pinturas de la Sacristía

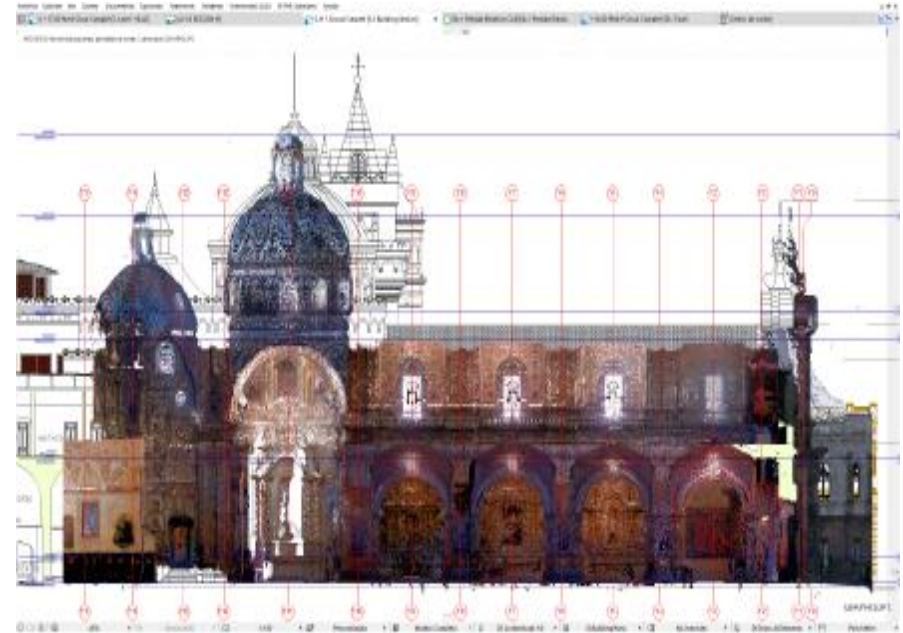


Fuente: Tomado de: Nieto-Julián et al., 2021

4. Descripción arquitectónica

El ejemplo más relevante de templo barroco del periodo colonial americano es la Iglesia de la Compañía de Jesús, localizada en el centro histórico del distrito metropolitano de Quito, Ecuador. Su construcción comenzó a principios del siglo XVII y se prolongó durante 160 años. La edificación consiste en una sola nave con capillas comunicadas a sus lados, las capillas norte y sur se conectan mediante un crucero, junto con la sacristía y el presbiterio. La iglesia posee dos cupulas, la principal sobre el crucero y la segunda por encima del retablo mayor. Entre los elementos de alto valor artístico, destaca el púlpito en forma de cáliz, tallado en cedro y recubierto de pan de oro, que data de 1675 y además de 250 imágenes religiosas de la orden de los Jesuitas (Nieto-Julián et al., 2021).

Figura 25. Sección H del modelo HBIM, comparada con la sección del archivo CAD



Fuente: Tomado de: Nieto-Julián et al., 2021

5. Desarrollo

FASE I	Adquisición de datos	Se llevó a cabo la captura de datos tanto del interior como del exterior mediante un láser de barrido terrestre (TLS), realizándose en sondeos divididos en cinco niveles.	
	Postprocesado	Se generaron dos nubes de puntos globales que mediante procesos de filtrado y segmentación se redujo su tamaño, de esta manera eliminando el ruido y los objetos no deseados. Las porciones de puntos procesadas se exportaron en un formato de intercambio (.ptx)	 
	Visualización	Se realizó mediante un visor independiente de la plataforma BIM, facilitando navegar por la nube de puntos de forma instantánea y así crear animaciones.	
FASE II	Implantación del Equipo de trabajo HBIM	Es un método colaborativo que permite intercambiar información separada en partes y fusionarlas en un archivo. Partió con el registro de equipos técnicos, ingenieros, arquitectos y constructores en una red privada virtual (VPN) y se trabajó mediante un rol laboral.	
	Common Data Environment (CDE)	Es el intercambio de información y datos de un proyecto. Se establecieron agentes con roles de gestión del modelo distribuidos en disciplinas como estructural, arquitectónica, artística e histórica. Para la gestión se estructuró varios estados: estado de trabajo en curso, compartido, publicado y archivado.	
FASE III	Sectorización de la nube de puntos	Se realizó una sectorización para los archivos que superan los 280 millones de puntos. Esta división se basó en estancias escaneadas como naves y sacristía. Posteriormente se realizó una subdivisión para identificar los bienes muebles e inmuebles según su categoría.	
	Estructuración del proyecto	Los sectores de la nube puntos se estructuraron en niveles para iniciar con el modelado 3D, partiendo en un LOD 100 llegando hasta la definición gráfica del elemento paramétrico (tamaño, forma, cantidad, etc.).	
	Base de datos de bienes muebles	Se seleccionó la sacristía como el espacio más representativo y se recopiló los elementos característicos considerados por el Instituto Nacional del Patrimonio de Ecuador. Para cada objeto paramétrico se creó una subventana de edición denominada Mobiliario Patrimonial, la que mostraba valoración patrimonial, vulnerabilidad, características, entre otros.	 
	Creación de fichas de registro e inventario	Se crearon tablas específicas para cada categoría artística de los elementos catalogados. Por último, se obtuvieron fichas de las pinturas en óleo y de retablo mayor de la sacristía, las cuales incluían el plano con la identificación del objeto, alzado general de la nube puntos, ortoimágenes, imágenes 360, entre otros.	 
FASE	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RECURSOS

6. Conclusiones

El caso de estudio ha permitido analizar la aplicación de una metodología de conservación sostenible en una edificación patrimonial emblemática, como lo es la Iglesia de la Compañía de Jesús. La sostenibilidad se ha evidenciado a través del equipo de trabajo HBIM, enmarcado en un CDE que fomenta la gestión integral en actividades como la restauración, preservación y difusión del patrimonio.

Figura 26. Base de datos a vincularse al modelo HBIM

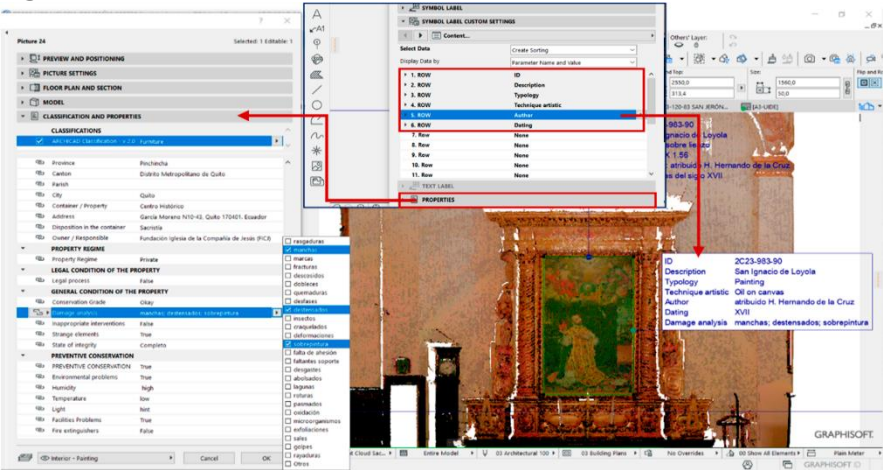
Autoguardado 2C23-39-83 SAN FRANCISCO REGIS Painting Sacristia Property Values...		
Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda		
C33 Regular		
	B	C
15	Position	Interior
16	Description (Option Set)	San Francisco Regis - Cuadro
17	Registrations (String)	---
18	Related items (String)	---
19	LOCATION DATA (String)	---
20	Province (Option Set)	Pinchicha
21	Canton (Option Set)	Distrito Metropolitano de Quito
22	Parish (String)	
23	City (Option Set)	Quito
24	Container / Property (Option Set)	Centro Histórico
25	Address (String)	García Moreno N10-43, Quito 170401. Ecuador
26	Disposition in the container (Option Set)	Sacristía
27	Owner / Responsible (Option Set)	Fundación Iglesia de la Compañía de Jesús (FICJ)
28	PROPERTY REGIME	---
29	Property Regime (Option Set)	Private
30	LEGAL CONDITION OF THE PROPERTY (String)	---
31	Legal process (True/False)	0
32	GENERAL CONDITION OF THE PROPERTY (String)	---
33	Conservation Grade (Option Set)	Regular
34	Damage analysis (Option Set)	Excellent
35	Inappropriate interventions (True/False)	Regular
36	Strange elements (True/False)	Bad
37	State of integrity (Option Set)	Completo
38	Preventive conservation (True/False)	1
39	Environmental problems (True/False)	1
40	Humidity (Option Set)	high
41	Temperature (Option Set)	low
42	Light (Option Set)	hint
43	Facilities Problems (True/False)	1
44	Fire extinguishers (True/False)	0
45	Mounting (Option Set)	inappropriate
46	Faulty electrical system (True/False)	1
47	Security problems (True/False)	1
48	alarms (True/False)	1
49	sensors (True/False)	0
50	guards (True/False)	1
2C23-39-83 SAN FRANCISCO REGIS Data validation		

Fuente: Tomado de: Nieto-Julián et al., 2021

La implementación de esta metodología a nivel nacional requiere de trabajo y tiempo ya que implica un cambio desde las técnicas tradicionales hasta el dominio de herramientas digitales. En este sentido lo propuesto busca mejorar la precisión y eficacia al momento de iniciar con la fase de recolección de información, lo que conlleva a la obtención de un modelo final confiable.

El proyecto HBIM se estructuró a partir de su geometría real obtenida gracias a la nube de puntos y a la interoperabilidad lograda entre los diferentes especialistas para desarrollar los determinados procesos. De esta forma se crearon fichas de registro y catalogación de los bienes artísticos identificados, con el objetivo de personalizar fichas que se adapten al modelo del Instituto del Patrimonio Nacional del Ecuador.

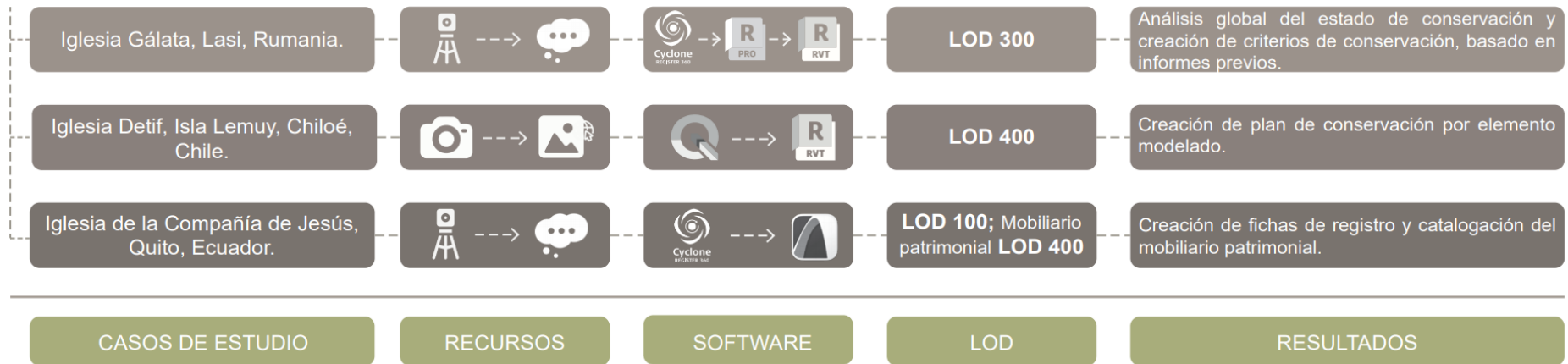
Figura 27. Vinculación de información a elementos de mobiliario



Fuente: Tomado de: Nieto-Julián et al., 2021

Esta investigación marca el inicio de un proceso continuo, entre los cuales uno de sus objetivos es obtener un modelo tridimensional preciso de la arquitectura existente. Esto facilitará futuros estudios relacionados con aspectos energéticos, estructurales, presupuestarios y de mantenimiento, todo esto contribuyendo a la conservación del bien.

2.4 Análisis comparativo



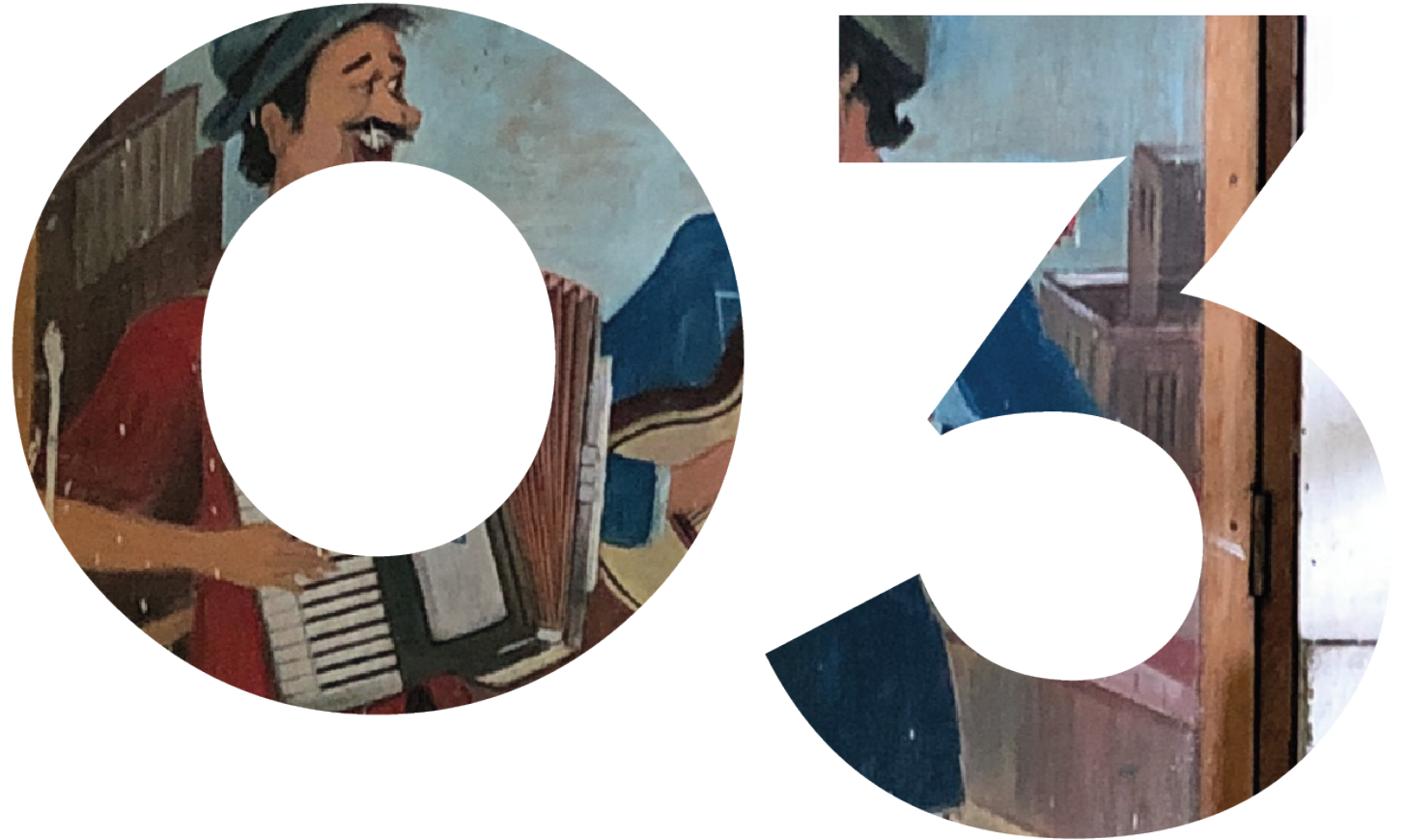
2.5 Conclusiones

El análisis de casos, nos ha permitido comprender y conocer cómo funciona el flujo de trabajo HBIM aplicado a edificaciones patrimoniales y como este puede variar dependiendo de la escala del bien, el alcance de sus objetivos, la región geográfica y los recursos técnicos y tecnológicos empleados. De esta manera, hemos identificado las metodologías y herramientas tecnológicas que se integran al desarrollo de proyectos HBIM, siendo algunas de estas útiles para ser replicadas en el presente trabajo de investigación.

Es importante comprender que los casos de estudio presentados, enfatizan de manera implícita, que los objetivos del modelo 3D no buscan ser una fiel reproducción de la realidad. Mas bien su enfoque es la gestión del flujo de información, que permita llegar a niveles de conocimiento casi completos sobre la edificación, abarcando sus características físicas, su historia y su relación con el entorno. Tanto la información geométrica, no geométrica y semántica, permiten la toma de decisiones apropiadas a la protección del patrimonio y la creación de planes de conservación y mantenimiento a mediano y largo plazo.

El trabajo en curso pretende adaptar la metodología propuesta por el ICOMOS en 2003 con la metodología HBIM. Es importante destacar que la primera ha sido ampliamente utilizada en la cátedra del TIP de la Opción de Conservación, sin embargo, su aplicación para optimizar y reducir los errores a lo largo del proceso aún es limitada, dada la naturaleza multidisciplinar que este requiere. Para lograr este propósito se necesita la ayuda de softwares como Autodesk Revit o Archicad para el modelado tridimensional como se pudo evidenciar en los distintos casos. Además, se requiere el empleo de herramientas tecnológicas como drones no tripulados para la generación de nube de puntos que ayudará obtener una geometría precisa de la edificación, así como de fotografía 360 para documentar cada ambiente.

Con el fin de agilizar la documentación y levantamiento de información, hemos contado con el apoyo del levantamiento e información de la edificación que posee la Universidad de Cuenca, el cual nos servirá como punto de partida para nuestra investigación.



ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN

CAPÍTULO 3: Análisis de la edificación

El presente capítulo trata sobre el planteamiento de una propuesta de metodología HBIM, con base en los antecedentes teóricos y los casos de estudio abordados en los capítulos previos. Así como también su aplicación al objeto de estudio, la Casa Vélez, demostrando la viabilidad, las limitaciones y las ventajas de la aplicación de la metodología HBIM al patrimonio arquitectónico.

3.1 Descripción de la edificación

El inmueble seleccionado es de notable interés y representativo de la zona conocida como “Las Casas del Barranco”, destacándose por sus valores arquitectónicos, constructivos, culturales, sociales y urbanos. La edificación se encuentra ubicada en la calle La Condamine 12-103 (fig. 29) y consta de cuatro niveles, distribuidos en planta baja el cual se ubica al nivel de la calle y de tres subniveles que se adaptan al perfil del barranco, donde el ultimo subnivel se conecta con la calle paseo 3 de Noviembre. Construida principalmente con técnicas tradicionales como: adobe, bahareque, mampostería de ladrillo, madera, entre otras. Las cubiertas están conformadas en su mayoría por teja de arcilla cocida en tonos rojos y naranjas, y tanto su fachada como en su interior predomina un característico color verde. Además, cuenta con balcones en tres de sus niveles, integrándose armoniosamente con el entorno y brindando excelentes visuales hacia el río Tomebamba y la Universidad de Cuenca.

Figura 28. Alzado de fachadas de la calle La Condamine



Fuente: Proyecto de edificaciones patrimoniales vernáculas El Vado, Vol. II, 2023

Figura 29. Plano de ubicación de la Casa Vélez



Fuente: Elaboración propia, 2024

Esta edificación, denominada “Casa Vélez”, en honor a sus anteriores propietarios, el Sr. Héctor Clodomiro Vélez y la Sra. María Luisa Ledesma, fue concebida como vivienda y su construcción data alrededor del año 1945. Desde sus inicios, ha sido una edificación peculiar por encontrarse suspendida en la pendiente misma del Barranco, además de ser un lugar donde se desplegaron diversas expresiones artísticas y culturales. Entre ellas, la música, de la que fueron intérpretes: el Sr. Héctor Vélez, con uno de sus instrumentos más representativos, el bandoneón y su esposa la Sra. María Ledesma entonando sus melodías (Marca & Tenezaca, 2024).

La Sra. María Luisa Ledesma mantuvo la propiedad hasta el año 2006, cuando fue adquirida por la Universidad de Cuenca. En la actualidad la “Casa Vélez” forma parte del proyecto del Epicentro Cultural de la Universidad de Cuenca. Bajo la actual administración (2022-2027), se

busca convertir a las casas patrimoniales en espacios interdisciplinarios con enfoque cultural y creativo. De esta manera conectar todas las edificaciones a través de un Corredor Cultural que incluirá lugares de ocio, comercios, servicios, entre otros (Marca & Tenezaca, 2024).

De este modo, la "Casa Vélez" no solo preserva su valioso legado histórico y cultural, sino que también se integra en una visión contemporánea y dinámica de desarrollo urbano, contribuyendo al enriquecimiento cultural y social de la zona del Barranco.

3.2 Metodología HBIM propuesta

La metodología que se plantea para la presente investigación, surge a partir de cada caso de estudio, donde se identificó la metodología que emplearon, los recursos utilizados, las ventajas y limitaciones afrontadas. Estas permitieron cumplir con el objetivo principal planteado en cada caso de estudio, brindando así la posibilidad de ser replicadas en otras casa y localidades, con las mismas metodologías o similares. De esta manera, se proporcionan suficientes bases para plantear una metodología que se adapte no solo al presente caso, sino a muchos proyectos de conservación que se desarrollen en el austro ecuatoriano.

La metodología propuesta se divide en cinco fases: 1). Levantamiento y recopilación de datos, 2). Organización y gestión de la información, 3). Creación del modelo HBIM, 4). Integración de información al modelo HBIM y 5). Análisis y gestión del mantenimiento. Estas fases surgen a partir del análisis comparativo de las metodologías planteadas en cada caso de estudio, en donde se identificaron similitudes y diferencias a fin de sustentar mejor la metodología propuesta.

3.2.1 Fase I: Levantamiento y recopilación de datos

Esta fase inicial se centra en el levantamiento, captura y recopilación de datos acerca del objeto de estudio, con el objetivo de crear un repositorio de datos compartido. Ahora bien, los datos que se buscan registrar provienen del trabajo en campo, en contacto directo con la edificación (fuentes principales) y la obtención de documentos históricos, fotografías antiguas, dibujos complementado con entrevistas (fuentes secundarias).

3.2.2 Fase II: Organización y gestión de la información

La fase II tiene como objetivo el organizar y clasificar la información obtenida en la fase previa, manteniendo la estructura de fuente principal y secundaria. De manera que, los datos pasan a convertirse en información, lo que permite que sean fácilmente identificables según su categoría siendo estas: geométrica, no geométrica y semántica. Es importante establecer metodologías y protocolos de organización que permitan la gestión coherente de la información, mediante el uso de sistemas de codificación y clasificación partiendo desde lo macro hasta lo micro.

3.2.3 Fase III: Creación del modelo HBIM

En esta fase se centra en la creación del modelo HBIM a partir de la información geométrica, mediante el uso de softwares de modelado BIM y de estrategias de construcción del modelo. Por tanto, la fase previa se encarga de establecer la información geométrica útil, así como los formatos que deberán ser exportados e importados como base para la construcción de los elementos que conforman el modelo. De manera que, facilite la creación del modelo con base en información precisa y detallada, reduciendo los errores e incoherencias en el resultado final.

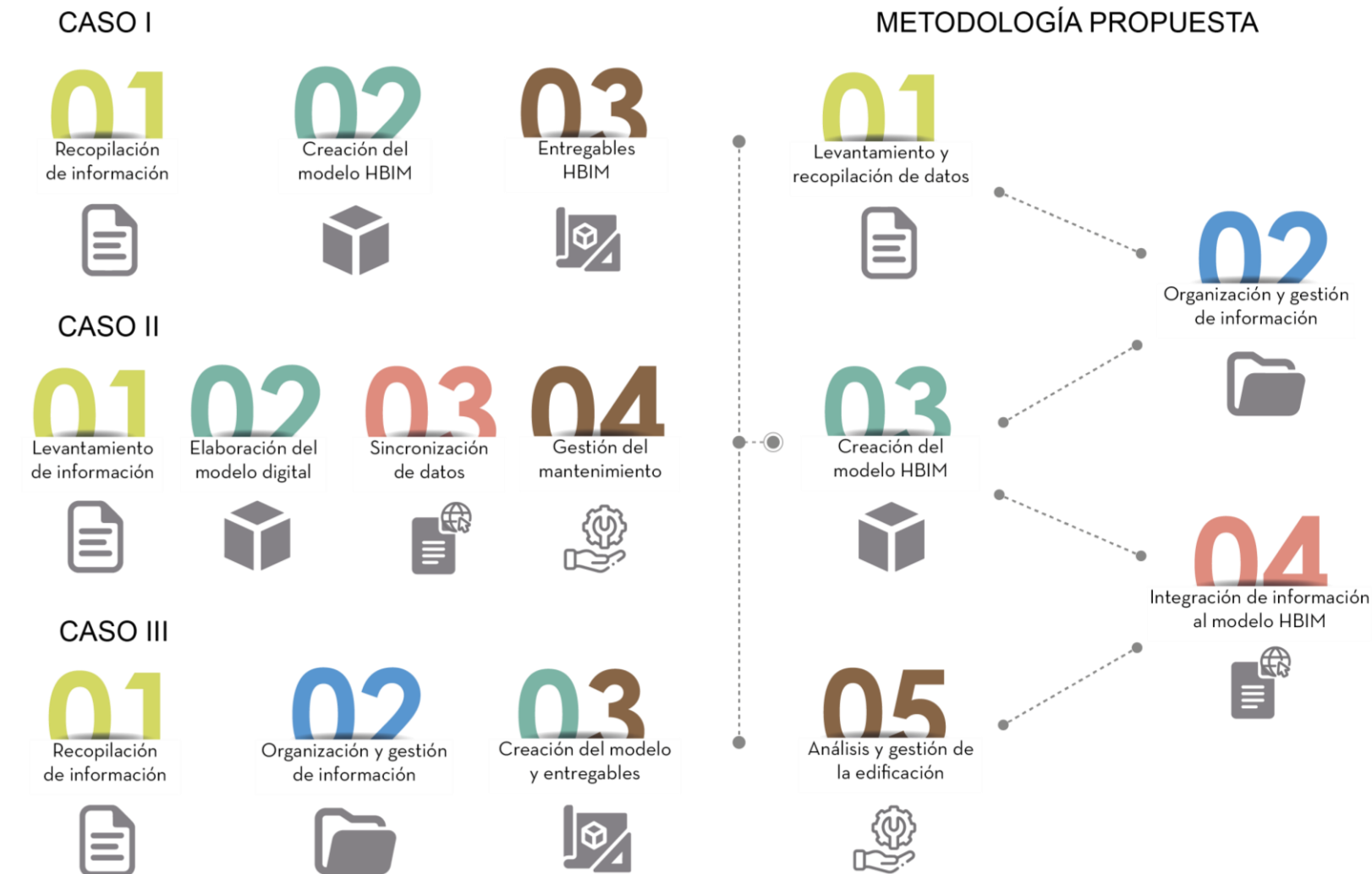
3.2.4 Fase IV: Integración de información al modelo HBIM

La siguiente fase tiene como objetivo el ingreso de la información no geométrica al modelo y a sus elementos que lo conforman. Lo que permite la identificación, clasificación y análisis, convirtiendo al modelo HBIM en una base de datos, a partir de la cual se puede extraer información tanto gráfica como documental.

3.2.5 Fase V: Análisis y gestión de la edificación

Por último, esta fase se enfoca en el análisis y clasificación de los elementos del modelo. Además, de la producción de la documentación gráfica y documental, que permita la creación de planes de intervención emergente, de mantenimiento y monitoreo, etc. Aunque este último no se contempla ser desarrollado en el presente trabajo de investigación, queda como propuesta para ser planteada según las condiciones y los planes de uso a futuro que tenga la edificación.

Figura 30. Esquema de la metodología propuesta



Fuente: Elaboración Propia, 202

3.3 Aplicación de la metodología HBIM.

Con el planteamiento de la metodología propuesta, en esta sección se plantea especificar a detalle las dos primeras fases previas a la creación del modelo HBIM. Por tal motivo, se abordará inicialmente con los sustentos teóricos basados en varios autores como (Santana Quintero, 2013) y (Gutiérrez, 2022), estableciendo así las metodologías y los recursos tanto técnicos como tecnológicos empleados en cada fase. De manera que se comprendan los objetivos y los procedimientos llevados a cabo en cada una, especificando las herramientas e instrumentos utilizados. De este modo, se dará por sentado un precedente que pueda ser replicado y mejorado en futuros proyectos de conservación patrimonial en la región del austro ecuatoriano.

3.4 Fase I: Levantamiento y recopilación de datos

En cuanto a esta fase, el objetivo principal consiste en el levantamiento y recopilación de datos acerca del objeto de estudio, en este caso la Casa Vélez. Para lo cual se hace uso de varias fuentes divididas en primarias y secundarias, empleando diferentes metodologías, combinadas con el uso de recursos técnicos y tecnológicos. Esta constituye la primera fase para la digitalización del patrimonio arquitectónico y es a partir de este punto que se deben afrontar los retos para la creación de bases de datos digitales.

Respecto a las fuentes, es importante identificar los tipos, a partir de las cuales se recopilarán los datos a fin de clasificarlos de manera adecuada y que permitan ser procesados en la fase II.

Fuentes primarias: en todo proceso de registro de bienes patrimoniales, es importante considerar al mismo bien como un documento, lo que lo convierte en la principal fuente para la recopilación de datos. Esto debido al contacto directo, permitiendo que los datos obtenidos sean lo más aproximados a la realidad. Por tanto, los datos que se pueden obtener pueden estar basados en técnicas de levantamiento directo o indirecto (Santana-Quintero, 2013).

Fuentes secundarias: este tipo de fuente se trata de todo tipo de documento ya sea físico o digital, los cuales permiten abordar el pasado

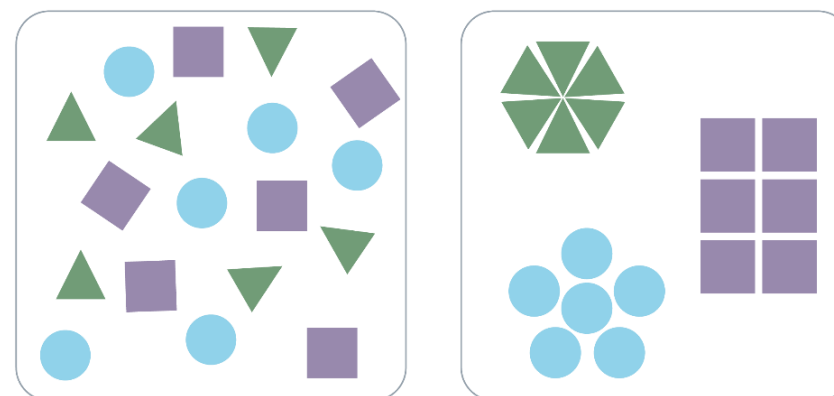
histórico y la planificación a futuro. Por lo tanto, este tipo de fuente no requiere un contacto tan directo con los bienes patrimoniales, debido a que algunas de las fuentes desaparecieron o fueron archivadas (Santana-Quintero, 2013).

Adicional a ello, es necesario comprender la diferencia que existe entre los términos datos e información y en cómo se emplean en la metodología BIM y HBIM, debido a que no tienen un mismo significado.

Dato: se trata del registro de las características de algo o alguien, los cuales tienen un aporte casi nulo al conocimiento específico del caso de estudio. Por tanto, los datos en sí mismos no pueden llegar a cumplir un objetivo, debido a que describen parcialmente la realidad y a partir de los cuales no se pueden emitir criterios o juicios para la toma de decisiones.

Información: es el resultado de la organización, filtrado y clasificación de los datos, los cuales aportan al conocimiento partiendo desde lo general a lo específico. Por tanto, la información permite emitir criterios y juicios de valor en la toma de decisiones, debido a que el procesamiento de los datos tiene uno o varios objetivos que faciliten un uso adecuado y eficiente de la información.

Figura 31. Diferencia entre dato vs. información



Fuente: Elaboración propia, 2024

01

Levantamiento y recopilación de datos



FUENTE PRINCIPAL

- Medición In-Situ
- Fotografía 360°
- Fotografía 2D
- Fotografía aérea
- Fichas de registro
- Fichas de catálogo



FUENTE SECUNDARIA

- Planos y croquis
- Fotografías antiguas
- Encuestas
- Entrevistas
- Crónicas
- Relatos
- Libros, revistas, posters, etc
- Expedientes
- Documentación oficial
- Tesis, ensayos, etc.



Fuentes Principales

1. Medición In-Situ

El objetivo de la medición In-Situ es el registrar los datos dimensionales y espaciales de la edificación, de manera que permita corroborar las características que en un inicio tienen únicamente validez visual. Por tanto, este constituye la actividad que puede implicar mayor complejidad, la cual puede estar condicionada por las características espaciales y constructivas de la edificación.

Para el presente caso de estudio, se decidió realizar las mediciones basadas en técnicas de levantamiento directo, enteramente en el interior y parcialmente en el exterior de la Casa Vélez. Sin embargo, las mediciones requieren de un proceso previo, que involucra el registro y colocación de elementos de referencia, los cuales son colocados antes de iniciar con las mediciones. Las cuales se explican a continuación.

a. Exploración

Esta debe considerarse como la primera aproximación que se tenga con cualquier bien patrimonial, esto con el objetivo de realizar inspecciones visuales y registrar mediante fotografías el estado de la edificación. Lo que permitirá reconocer el nivel de complejidad, para así determinar la técnica de medición apropiada y los recursos técnicos y tecnológicos a emplearse, además de identificar posibles riesgos hacia los integrantes de un equipo de trabajo y a los bienes patrimoniales.

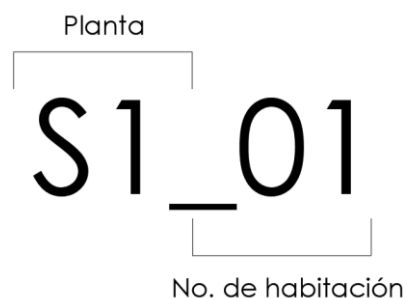
b. Croquis y codificación

Parte de la exploración también involucra la elaboración de croquis generales, que pueden ser hechos a mano, digitales o basarse en planos existentes. Para la Casa Vélez se emplearon una serie de planos, que fueron proporcionados por la Dirección de Planificación Física de la Universidad de Cuenca, en formatos PDF y DWG. Es sobre estos planos, que se realizó la codificación de las habitaciones de la Casa Vélez.

Para la codificación de las habitaciones y de los elementos arquitectónicos se empleó la metodología usada para los proyectos de la Opción de

Conservación de la Universidad de Cuenca. La metodología tiene los siguientes criterios: se recomienda iniciar desde la puerta de ingreso, a la cual se le considera como la primera habitación, y se nombrarán en sentido horario. La nomenclatura se basa en el uso de los términos A1, A2, A3...An, para las plantas que se desarrollen por sobre la planta baja y S1, S2, S3...Sn para todas las plantas que se encuentren por debajo de la planta baja. Cuando existan edificaciones separadas de la principal se cambiará a una nomenclatura basada en términos B1, B2, B3...Bn. Caso similar ocurriría donde existan mezanines o plataformas, empleando términos de M1, M2, M3...Mn.

Figura 32. Código de habitación



Fuente: Elaboración propia, 2024

c. Toma de niveles

Esta actividad tiene como objetivo la colocación de testigos (fig. 29) que servirán de referencia para la medición en planos horizontales y verticales. Por tanto, esta línea de nivel que se trace siempre mantendrá siempre una misma dirección horizontal, incluso si existen desniveles de pisos o inclinaciones en muros. Para iniciar la nivelación debe marcarse un punto de nivel de origen, la recomendación es siempre arrancar desde la puerta de ingreso principal a la edificación, donde se marca a un lado un nivel de origen base, a una altura desde el piso. Este punto de origen base, es partir desde el cual todos los demás niveles se tomarán como referencia, es importante considerar que todos los niveles que se tomen deberán pasar por la mayor cantidad de esquinas y bordes posibles.

Para el trazado de niveles de la Casa Vélez, se empleó un nivel laser de la marca DeWalt modelo XR 18V, autonivelante de dos líneas en cruz (horizontal y vertical) con precisión de +/- 3mm a 10m. La cual se colocó sobre un trípode para celulares, permitiendo así la toma de niveles de manera rápida y marcando la línea con cinta adhesiva de papel (cinta masking). Siendo estas pegadas en las esquinas de muros, columnas, vanos de puertas, ventanas, nichos, etc. La altura de origen base, ubicada en la puerta de ingreso principal se marcó a una altura de 0,87m desde el nivel de piso terminado.

Por cada planta se realizó el trazado de niveles, y es a través de las circulaciones verticales donde se trasladarán para la siguiente planta, tomando siempre un valor de altura que sea de fácil medición y registro. Además, es importante mencionar que los niveles tomados, servirán para la medición de cada habitación y para el modelado de la información que se abordará en la fase III.

Figura 33. Toma de niveles realizada en la Casa Vélez



Fuente: Elaboración propia, 2024

d. Medición de la edificación

Para la medición de la edificación se debe considerar que los muros nunca son exactamente perpendiculares con ángulos de 90°. Además, se emplea un método de triangulación en serie, lo que facilita el registro ordenado de las mediciones, lo que evitaría posibles datos faltantes. Además, se recomienda usar esferos o lápices de diferentes colores, para evitar confusiones con los datos registrados al momento de ser procesados en la siguiente fase.

En la Casa Vélez se realizó la medición empleando un distanciómetro láser de la marca Bosch modelo GLM 50 C Profesional con rango de medición de 0,05 m a 50,00 m y flexómetros, además del uso de fichas impresas (anexos) en formato A4. En cada ficha se llenan campos relacionados con la identificación de la edificación, así como también de los registradores y la fecha de registro de datos. Al iniciar la medición, se dibujaron en cada ficha un croquis a mano visto en planta, sobre las cuales se colocaron las medidas registradas diferenciadas por color en medidas horizontales, verticales y diagonales.

Así mismo, cada ficha tiene dos tablas en las cuales se registran los desniveles de pisos, cielos rasos, antepechos, dinteles y otros. Siempre considerando al nivel tomado en el literal anterior como referencia, lo que permite la construcción del modelo considerando a la línea de nivel como un eje inamovible. Para ello, se asigna una letra del alfabeto empezando desde A hasta la Z, el cual se recomienda siga el sentido horario. Los cuales se colocarán en esquinas de muros, bordes de ventanas, puertas, vanos, columnas o pilares, y las cuales quedan registradas en las tablas.

Esta metodología de medición basada en técnicas de levantamiento directo, se tomó como la única forma de registrar las mediciones, debido a que las herramientas e instrumentos, estaban a nuestro alcance. Por supuesto, al tratarse de un proceso de medición enteramente realizado a mano, el tiempo empleado duró aproximadamente diez días y aun así los datos son solo una parte del total registrado. Situación que sería más eficiente mediante el uso de instrumentos tecnológicos más avanzados, los cuales pueden registrar mayores cantidades de datos y en menor tiempo.

2. Fotografía 360°

La captura de imágenes esféricas permite la visualización completa de las habitaciones en un único archivo, lo que facilita identificar las características como: la escala, materiales, colores, texturas, etc. A comparación de las imágenes 2D, este tipo de capturas son una ventaja para realizar consultas, sin la necesidad de estar presente en la edificación.

En la Casa Vélez se realizaron capturas de imágenes 360° en cada habitación, empleando una cámara Ricoh Theta Z1, colocada sobre un trípode a 1,50 m de altura. La cual se colocó en el centro de cada habitación, lo que evita que las imágenes presenten distorsiones severas y que no existan objetos que bloqueen las lentes del dispositivo. La cámara se configuró para que tome imágenes en formato DNG (*Digital Negative*), realizando aproximadamente entre 7 a 9 capturas por habitación, las cuales se almacenan en una memoria para posteriormente ser procesadas.

Un factor a considerar en la toma de imágenes de este tipo, es la cantidad de luz presente en la habitación, por lo que se recomienda abrir puertas y ventanas que permitan el ingreso de luz natural, así como también el apoyarse en iluminación artificial.

Figura 34. Colocación de la cámara 360°



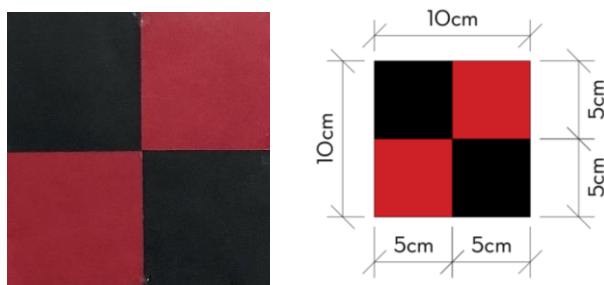
Fuente: Elaboración propia, 2024

3. Fotografía 2D

Este tipo de imágenes tiene dos objetivos principales, la primera es registrar las habitaciones de manera general y la segunda se centra en los elementos estructurales y no estructurales. Al tratarse de formatos de imágenes en 2D, es posible realizar correcciones de perspectiva por las deformaciones de las lentes o de posición de la cámara. Además de permitir ser escaladas empleando una medida de referencia conocida o registrada previamente, lo que facilita realizar mediciones sobre las imágenes.

Para la Casa Vélez se tomaron las imágenes mediante las cámaras integradas en dispositivos móviles, en este caso dos celulares de la marca Apple, propiedad de los autores de la presente investigación. La captura se realiza iniciando con imágenes que permitan registrar el mayor volumen de espacio de la habitación, para lo cual se puede ubicar en las esquinas o la puerta de ingreso. De manera que, se enfoque la lente hacia la esquina o lado opuesto y procurando colocar la lente siempre a la altura de la vista humana que en promedio es 1.60 m. La segunda toma de imágenes se centra en los elementos de la habitación como lo son: las ventanas, puertas, vanos, mobiliario fijo, elementos decorativos, etc. Para las cuales se usa un objeto de referencia, en este caso se empleó un cuadrado de cartulina de 10x10 cm, con cuatro divisiones interiores de 5x5 cm alternados en colores rojo y negro. Los cuales se colocarán lo más cercano posible al objeto y procurando que la cámara se coloque de frente a la altura de la vista humana y activando las rejillas que tienen como apoyo en la pantalla.

Figura 35. Cuadrado de cartulina de 10x10 cm



Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 36. Imagen 2D capturada en sitio



Fuente: Elaboración propia, 2024

4. Fotografía aérea

Este tipo de imagen se emplea especialmente para capturar zonas de la edificación de difícil acceso o que implican niveles de riesgo para los integrantes de un equipo de trabajo. Generalmente las capturas de este tipo de imágenes se centran en el exterior de las edificaciones, como lo son las cubiertas y los elementos que conforman el contexto. Empleando en su gran mayoría drones no tripulados, debido a su bajo costo y fácil control de vuelo, lo que permite que se puedan realizar maniobras que faciliten la captura de imágenes de excelente calidad. Lo que reemplaza a las imágenes satelitales, debido a que esta por lo usual no permiten distinguir elementos por la baja resolución que tienen.

UCUENCA

Para la Casa Vélez se empleó un dron de la marca DJI de la serie Phantom 4 Advanced, facilitado por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca. Además, del uso de la plataforma online DroneDeploy que permitió programar y calcular la ruta de vuelo, así como también el de procesar las imágenes obtenidas.

Figura 37. Configuración de vuelo



Fuente: Elaboración propia, 2024

Para ello se creó un usuario y contraseña con una prueba gratuita de 15 días, para programar la ruta y calcular el tiempo de vuelo que resulta indispensable conocer para determinar las baterías necesarias. El modelo de dron usado, posee un control que requiere conectarse a un dispositivo móvil, para el cual se empleó un iPhone X. En el cual se instaló la aplicación de DJI GO 4, que permite enlazar el control con el dron, previo a la ejecución del vuelo. Adicional a ello, se instaló la aplicación Flight de DroneDeploy y se inició sesión, permitiendo así descargarse el plan de vuelo programado.

Dando como resultado que se lleve un total de 11:30 minutos de vuelo y que se capture un total de 209 imágenes. Además, de algunos videos y fotografías adicionales aprovechados por la disponibilidad de carga de la batería. Todo lo anterior capturado se almacena en una memoria micro SD,

que está integrado en el dron y los cuales se descargan a una computadora personal o de trabajo, para que posteriormente se suban a la plataforma DroneDeploy para que sean procesadas.

Figura 38. Actividad de vuelo del dron



Fuente: Elaboración propia, 2024

5. Fichas de registro

Esta se trata de una herramienta que permite registrar el estado de las edificaciones, los datos de los propietarios, los valores tangibles e intangibles y los elementos que las componen. De manera que se puedan identificar a través de la inspección visual las características de las edificaciones tengan éstas o no valores patrimoniales asociados.

En el presente caso de estudio se emplean las fichas proporcionadas por el grupo de investigación CPM (Ciudad Patrimonio Mundial). Y para el llenado de las fichas se requiere realizar inspecciones visuales en sitio, además de entrevistar a los propietarios y consultar la información en el Geoportal del GAD de Cuenca.

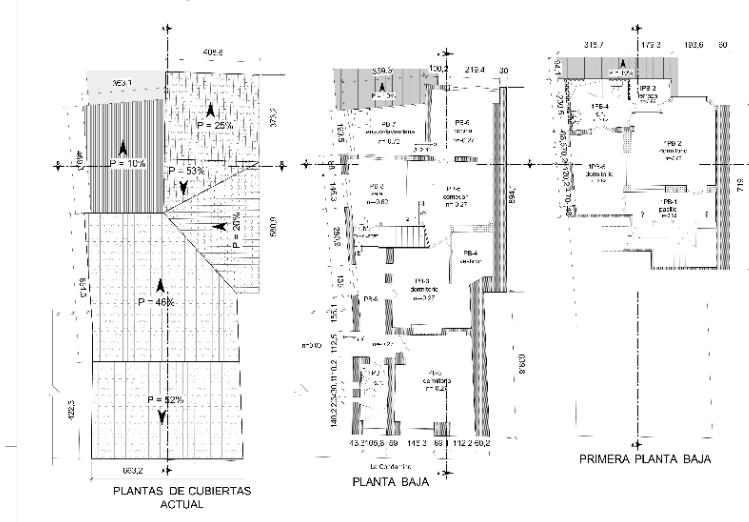
Fuentes secundarias

1. Planos y croquis

Esta actividad consiste en la recopilación de todo documento técnico ya sean planos, informes, expedientes que hayan sido elaborados previamente, ya sea por cualquier motivo. Todo esto con el objetivo de identificar si existen trabajos de intervención sobre la edificación y para valorar la necesidad de realizar un nuevo levantamiento de información.

En el presente caso se recurrió a entidades públicas de la Universidad de Cuenca, a las que siguiendo los procedimientos formales se solicitó información técnica disponible sobre la Casa Vélez. Dicha información solicitada fue proporcionada por la Dirección de Infraestructura y por el Epicentro Cultural. De esta manera se disponía de planos en formatos PDF y DWG, los cuales datan del año 2008 (anexos), lo que da cuenta que a partir de ese año no se han realizado nuevos procesos de estudio de estado actual.

Figura 39. Planos arquitectónicos de la Casa Vélez



Fuente: Unidad de Planificación Física, Universidad de Cuenca, 2008

2. Fotografías antiguas

Las imágenes antiguas constituyen un documento indispensable que permite abordar de manera gráfica el pasado histórico, lo que permite identificar los valores y características tanto de la edificación como del entorno que lo rodea. Esta fuente documental permite reconocer y trazar la evolución histórica, así como también el reconocer el contexto social, económico y cultural de la época en la que fue tomada.

Para la Casa Vélez se realizaron búsquedas de imágenes antiguas en diferentes fuentes en su mayoría publicadas en redes sociales como Facebook. Esta fuente permitió recopilar imágenes del entorno y parcialmente acerca de la Casa Vélez, donde se pueden identificar edificaciones, infraestructura y elementos naturales. Tales como el puente del Vado, el río Tomebamba, la calle La Condamine, etc.

Adicional a ello, otra fuente para la obtención de imágenes antiguas, fue por parte de la antigua propietaria de la edificación, que proporcionó junto con otros documentos relacionados con la historia de la casa.

Figura 40. Fotografías antiguas relacionadas con la Casa Vélez



Fuente: Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma, 2024

UCUENCA

Figura 41. Fotografías antiguas del Vado



Fuente: Colección Manuel Jesús Serrano. INPC

3. Entrevistas

En esta interacción es importante abordar con aquellas personas que habitaron la edificación y conocen el pasado histórico de la misma. De manera que mediante la realización de entrevistas sea posible identificar aquellos valores intangibles, buscando apelar hacia la memoria y la nostalgia. Por tanto, la opinión de los habitantes de la edificación aporta datos importantes acerca de la evolución histórica junto con las experiencias y anécdotas ocurridas.

Con todo esto, el día 6 de junio del 2024 se realizó una entrevista con la Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma, que habitó en la Casa Vélez durante su niñez y juventud. Para la entrevista se decidió recorrer la edificación mientras la Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma explicaba las modificaciones realizadas, los usos de cada habitación, la percepciones y sensaciones que

existían. De esta manera se pudo conocer datos importantes sobre la casa y sus habitantes y su relación con el barrio. Lo que contribuye a la selección de los criterios que permitan conservar o rescatar los valores y usos.

Figura 42. Entrevista con la Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma



Fuente: Elaboración propia, 2024

4. Fuentes de revisión documental.

Las publicaciones escritas pueden proporcionar datos importantes acerca del pasado histórico de las edificaciones. Este tipo de publicaciones pueden tratarse de escrituras, planos antiguos, poemas, notas o reportajes periodísticos, pinturas, dibujos, canciones, etc. La importancia de este tipo de fuentes es que permiten obtener datos precisos donde se pueden identificar, fechas, nombres, autoridades, etc.

Es gracias a la entrevista realizada a la Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma que se pudo obtener documentos escritos que guardan fuerte relación con la Casa Vélez. Entre los que figuran, los primeros planos que muestran la

forma y distribución de las habitaciones, además de proporcionar una fecha exacta, así como también el nombre de los propietarios. Además, de otras publicaciones que fueron dedicadas a la casa y a sus habitantes (fig. 39).

Figura 43. Planos antiguos de 1944



Fuente: Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma, 2024

Por último, es importante mencionar que uno de los retos que se enfrenta en la digitalización de edificaciones históricas es la fragmentación de la información. Por lo que se decidió para la presente investigación, el crear un entorno de datos compartido, en las cuales se almacenan todos los datos e información de cada etapa. Motivo por el cual se creó una cuenta de Google, con el objetivo de aprovechar la plataforma de Drive, el cual proporciona 15 Gb de almacenamiento gratuito. De manera que toda la información sea accesible para el público en general, así como también para otros equipos de investigación.

3.5 Fase II: Organización y gestión de la información

La fase II tiene como objetivo organizar y clasificar la información a partir de los datos recopilados en la fase previa, mediante la aplicación de filtros como limpieza, clasificación, codificación, estructuración, entre otros. Posteriormente la información es distribuida en tres categorías principales: información geométrica, no geométrica y vinculada.

Información geométrica: se refiere a los datos procesados que pueden ser cuantificados y posicionados espacialmente. Este tipo de información ayuda a construir un modelo tridimensional preciso de la edificación, a partir de planos existentes, triangulaciones, nube de puntos, fotografías actuales y fotografías 360° (Gutiérrez, 2022).

Información no geométrica y vinculada: comprende la información que se vincula al modelo y está directamente relacionada con el edificio, como, por ejemplo: materiales, antecedentes históricos, interacción con el entorno, etc. Esta información se obtiene y se asocia al modelo mediante herramientas como tablas de Excel, base de datos Access, y configuraciones dentro de los entornos de modelado (Gutiérrez, 2022).

La clasificación de la información según estos criterios, es importante para asegurar que la información sea precisa y fiable. Esta estructuración facilitará la mejor gestión de los datos y su integración efectiva en el modelo HBIM. A continuación, revisaremos el proceso seguido para la clasificación de la información en el proyecto de la Casa Vélez.

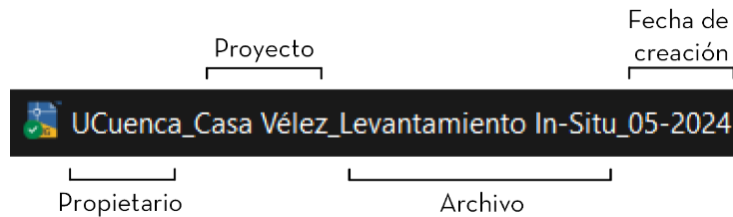
1. Triangulación

En este caso se partió de los datos recolectados en el levantamiento In-Situ realizado de forma manual y plasmado en papel en forma de fichas. Para digitalizar y organizar esta información se realizó los siguientes pasos:

Como primera acción se creó un archivo CAD donde se redibujaron las triangulaciones, separadas por cada habitación y asignando capas, las cuales se nombran siguiendo los lineamientos del Layer Name Format publicado por el United States National CAD Standard - V5.

UCUENCA

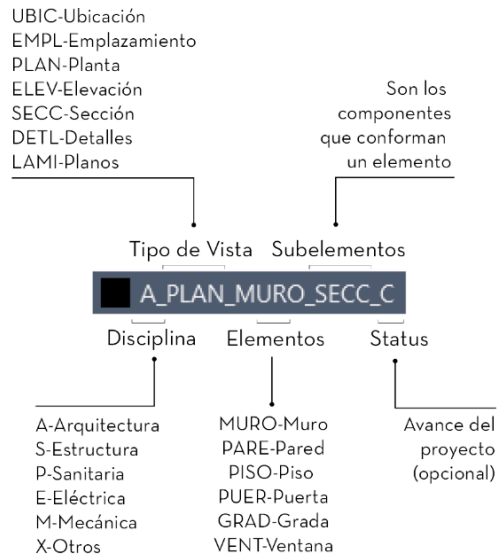
Figura 44. Estructura del nombre del archivo CAD



Fuente: Elaboración propia, 2024

Es importante que las unidades de medida se encuentren en el mismo formato de las fichas de levantamiento y se crean capas para identificar cada línea trazada en el sistema, facilitando identificar cada tipo de elemento que conforma las plantas. Estas capas se crean siguiendo los estándares CAD, de la siguiente manera:

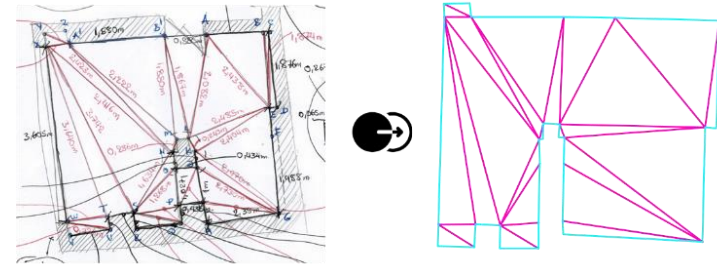
Figura 45. Criterio de nombramiento de capas en CAD



Fuente: Elaboración propia, 2024

Después, las medidas se trasladaron mediante la construcción de triángulos que formaron cada espacio. Esta técnica ayuda a conocer la posición exacta de diferentes puntos dentro de un espacio, mediante la medición de distancias desde puntos conocidos.

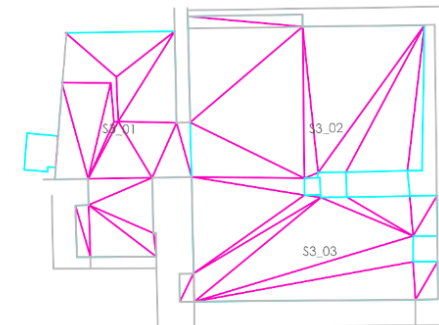
Figura 46. Digitalización de triangulación por levantamiento directo



Fuente: Elaboración propia, 2024

Cada habitación se codificó para poder identificarla de manera precisa, dependiendo de la planta en la que se encuentre ubicada a la que se considerará como Nivel. Adicionalmente se enumeraron las habitaciones a partir de la puerta de ingreso a la edificación y en sentido de las manecillas del reloj según la distribución de los espacios.

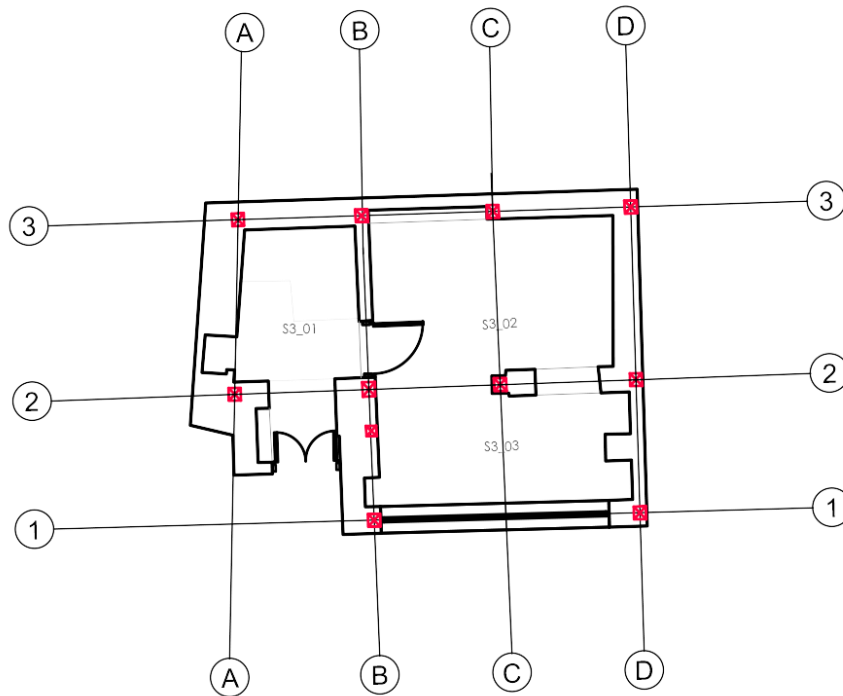
Figura 47. Planta subnivel 3.



Fuente: Elaboración propia, 2024

Para continuar, es necesario realizar la corrección y estructuración de cada planta arquitectónica, identificando tanto los elementos estructurales como no estructurales y los posibles ejes de la edificación. Los cuales facilitan la corrección de las plantas superiores e inferiores, al tratarse de elementos que por lo general mantienen una misma posición tanto en horizontal como en vertical.

Figura 48. Corrección de planta arquitectónica subnivel 3

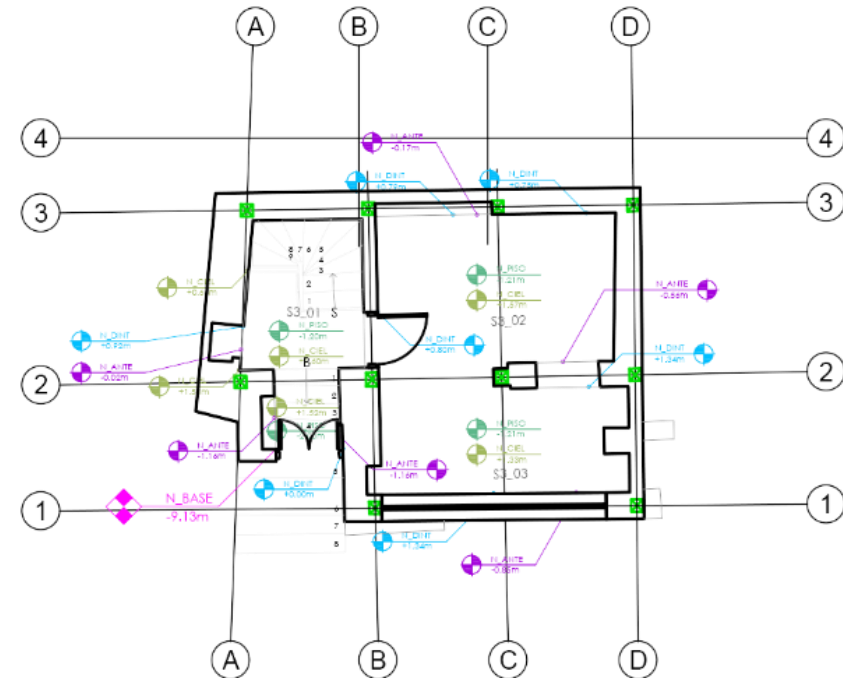


Fuente: Elaboración propia, 2024

Se introdujeron los distintos niveles como de: piso, cielo raso, dinteles, antepechos, entre otros, información que sirve para ubicar las distintas alturas al momento del modelado. Es importante destacar que partimos del nivel base tomado en cada planta durante la Fase I. Además, es necesario

que cada tipo de nivel colocado se identifique con una capa y con un color diferente que permita identificar fácilmente a qué clase de información pertenece.

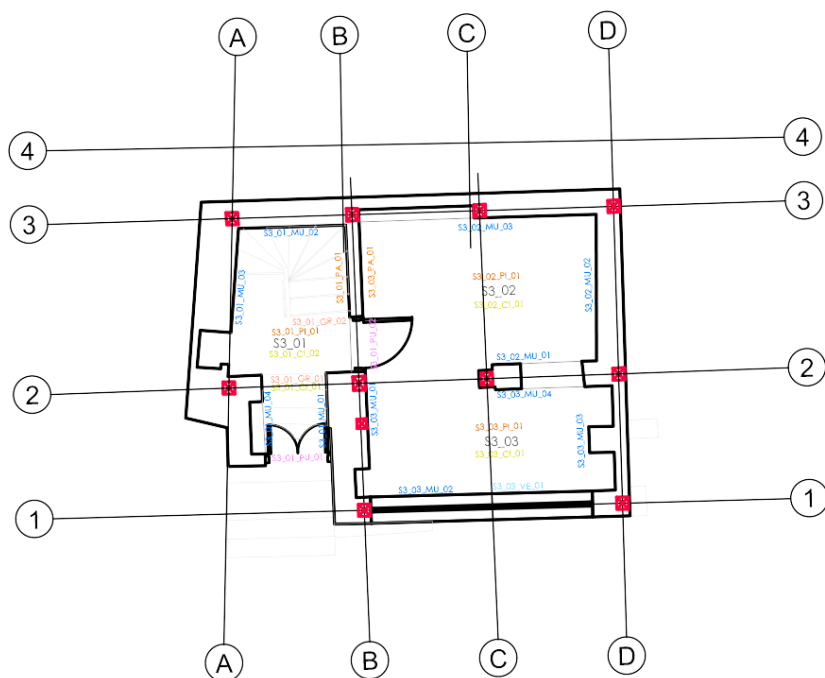
Figura 49. Planta de subnivel 3 con niveles colocados



Fuente: Elaboración propia, 2024

Por último, se codificaron los elementos constructivos que componen cada espacio, como: muros, paredes, cielo raso, piso, entre otros. En cada espacio parte como referencia la puerta de ingreso, identificando los elementos que se encuentren a la derecha y siguiendo la dirección contraria a las manecillas del reloj. Por lo que se sigue el criterio para la codificación de las habitaciones continuando con códigos alfanuméricos de dos dígitos como máximo y separados por guiones bajos.

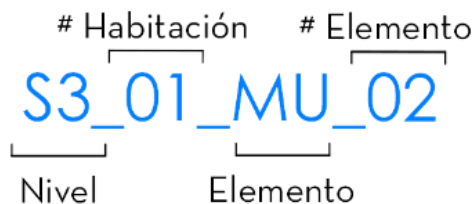
Figura 50. Planta S3 con elementos constructivos codificados



Fuente: Elaboración propia, 2024

Cada elemento se codifica de la siguiente manera:

Figura 51. Criterio de codificación de elementos

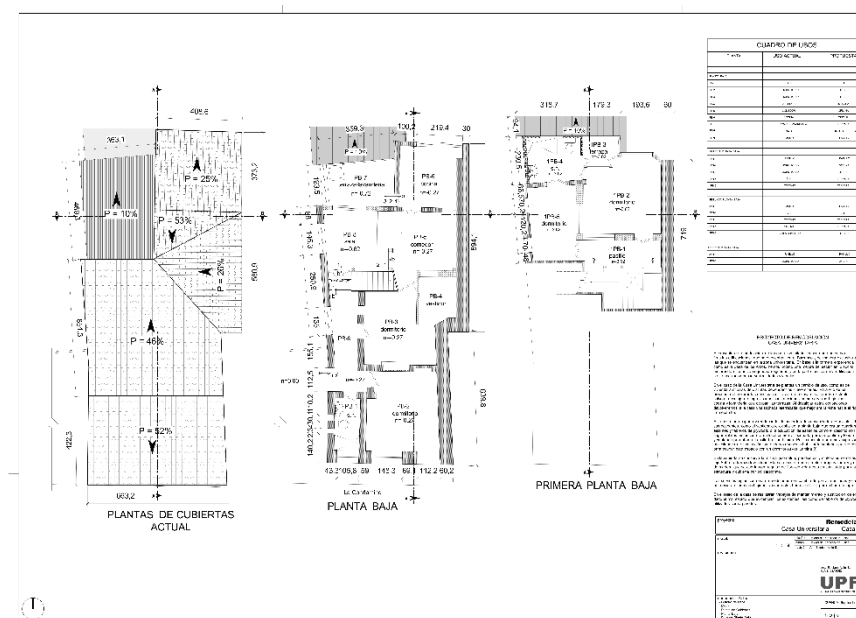


Fuente: Elaboración propia, 2024

Planos Arquitectónicos (2008)

Los planos arquitectónicos en formato PDF y DWG facilitados por la Dirección de Planificación Física de la Universidad de Cuenca sirvieron principalmente para comparar el estado actual con el momento en que se realizaron (2008). Esto permitió identificar los cambios en la edificación y los elementos suprimidos o agregados según las distintas necesidades.

Figura 52. Planos Arquitectónicos de la Casa Vélez

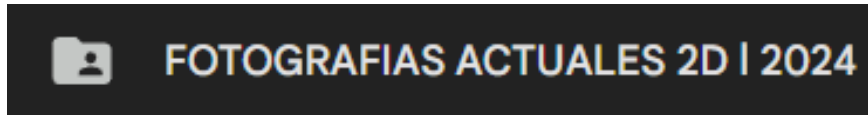


Fuente: Unidad de Planificación Física, Universidad de Cuenca, 2008

Fotografías 2D actuales (2024)

Después del levantamiento fotográfico del estado actual del inmueble, las fotografías almacenadas en dispositivos móviles se transfirieron a una carpeta en Google Drive denominada:

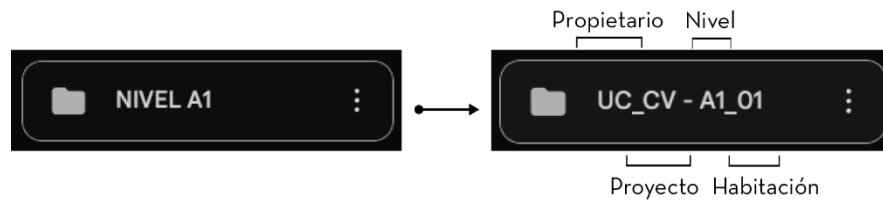
Figura 53. Carpeta de Google Drive de Fotografías Actuales



Fuente: Elaboración propia, 2024

Estas imágenes se clasifican en carpetas correspondientes a las habitaciones codificadas anteriormente. De manera que, permita realizar búsquedas más ordenadas, así como también el identificar a donde pertenece cada imagen tomada.

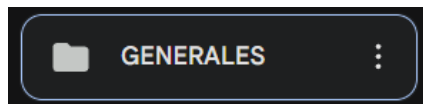
Figura 54. Criterio de nombramiento de carpeta de Google Drive para cada habitación



Fuente: Elaboración propia, 2024

Las fotografías ya asignadas en cada espacio se clasificaron en generales y específicas, esta última se refiere a la toma en dirección perpendicular hacia cada pared, piso y cielo raso del inmueble.

Figura 55. Carpeta de Google Drive de Fotografías Generales



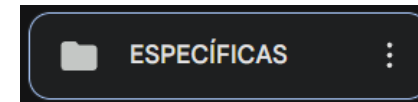
Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 56. Fotografías generales de cada habitación



Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 57. Carpeta de Google Drive de Fotografías Generales



Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 58. Fotografías específicas de cada habitación



Fuente: Elaboración propia, 2024

UCUENCA

Adicionalmente, se obtuvo imágenes específicas de cada elemento como: carpintería, piso, cielo raso, entre otros, utilizando una escala diseñada en cartulina de forma cuadrada de 10 cm de lado, y de color rojo y negro. Esto nos sirvió para rectificar y escalar las imágenes con la ayuda de programas como Photoshop (rectificar) y AutoCAD (escalar), y así modelar las mismas de forma precisa.

Figura 59. Fotografías con escala de cada elemento



Fuente: Elaboración propia, 2024

Fotografías 360°

La información que contiene la fotografía 360° permite consultar de manera sistemática y dinámica las dudas al momento de modelar, ubicando espacialmente los elementos de un espacio. Después de realizar el registro fotográfico de cada espacio se copió los archivos en formato JPG en el ordenador, para así importarlos a Adobe Lightroom para realizar ajustes y correcciones. Las imágenes editadas se exportaron en formato TIF (*Tagged Image File Format*), para mantener la mayor calidad posible, posteriormente se usó el plugin Ricoh Theta Stitcher de Adobe Lightroom,

el cual se combinaron las imágenes individuales en imágenes 360, corrigiendo cualquier distorsión. Finalmente, las imágenes se subieron a una carpeta de Drive utilizada en el proyecto y adicionalmente a la plataforma Kuula para que cualquier usuario pueda visualizarla.

Figura 60. Fotografías 360°



Fuente: Arq. Francisco Valdez, 2024

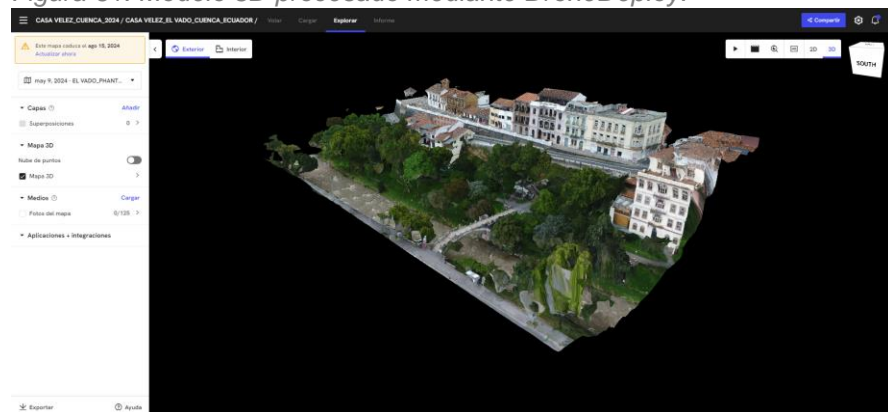
Nube de puntos

El vuelo del dron se pudo obtener datos geométricos para poder generar una nube de puntos de la cubierta, parte de las fachadas y del entorno que rodea a la edificación. Esta es una herramienta que ayuda a medir y referenciar aquellos elementos de difícil acceso. Por lo tanto, una nube de puntos permite identificar las características formales, constructivas y funcionales, que se convierte en una herramienta bastante útil en la etapa de modelado.

El procedimiento empleado para la generación de la nube de puntos, inicia posteriormente a la descarga de los datos capturados por vuelo del dron ejecutado en la Fase I. Los cuales son cargados en su respectivo plan de vuelo programado en la plataforma online de DroneDeploy. De manera que, una vez subidas las imágenes y videos, la plataforma se encarga de hacer

el procesamiento dando como resultados varios productos como: ortofotografías, nube de puntos (fig. 61), modelos 3D, archivos DWG, entre otros. Esta capacidad que ofrece la plataforma DroneDeploy tiene una ventaja importante, debido a que todo el procesamiento no requiere de equipos computacionales de alta capacidad, lo que facilita el ahorro de recursos tecnológicos.

Figura 61. Modelo 3D procesado mediante DroneDeploy.



Fuente: Elaboración propia, 2024

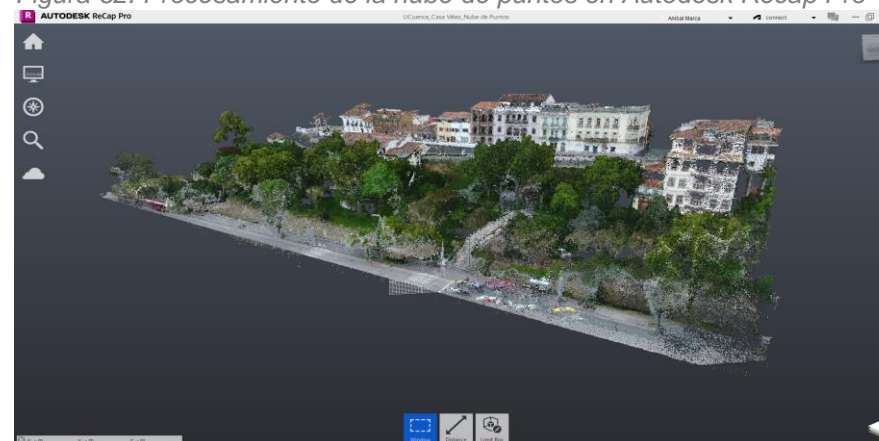
Una ventaja adicional que ofrece es la capacidad de entregar productos limpios, debido a que elimina vehículos, personas o cualquier otro tipo de objeto que no pertenezca a entorno. Lo que facilita que se puedan realizar diferentes tipos de análisis tales como: relieve, capa natural, elevaciones, etc.

De toda la variedad de productos generados, la que requiere que se realice un procesamiento adicional es la nube de puntos, la cual es descargada en formato LAS. Ahora bien, dependiendo del software de modelado que se planea usar para la creación del modelo HBIM, se debe considerar los formatos aceptados por cada uno. En el caso de usar Archicad se puede importar la misma nube de puntos en formato LAS sin realizar ningún procedimiento previo. Situación que no ocurre en el caso de usar Autodesk Revit, pues entre los formatos aceptados por este software están los RCP

y los RCS. Lo que obliga a usar Autodesk Recap Pro, con el objetivo de cambiar el formato de LAS a RCP o RCS y además de realizar la clasificación de los puntos en el caso que se modele la topografía.

Con lo anterior descrito, el procesamiento de la nube de puntos en el software Autodesk Recap Pro (fig. 62), arranca con la importación de la nube de puntos generada por DroneDeploy en formato LAS. A la cual se realiza la eliminación de puntos que se encuentran por encima y debajo de la capa principal, los cuales se tratarían de errores en el procesamiento. Lo que da como resultado que se obtenga una nube más limpia de puntos extraños que no aportan ningún tipo de información valiosa para la fase de modelado.

Figura 62. Procesamiento de la nube de puntos en Autodesk Recap Pro



Fuente: Elaboración propia, 2024

Por último, cabe mencionar que lo único que se procesa es la información geométrica, que es de vital importancia para el desarrollo de la Fase III. Adicional a ello, se debe tomar en cuenta que la Fase I y II se pueden desarrollar de manera simultánea. Esto debido a que al procesar las mediciones In-Situ, se harán descubrimientos que deberán ser verificados y registrados. Además, de que se podrá dar el caso de que algún dato no fue registrado adecuadamente y requerirá ser tomado nuevamente.



MODELADO DE LA INFORMACIÓN

UCUENCA

CAPÍTULO 4: Modelado de la información

En el presente capítulo se aborda el proceso de modelado de la Casa Vélez, con base en la información geométrica procesada en la Fase II y también las estrategias que facilitan su creación. Por tanto, se considera que el modelo final siempre apunte a ser Open BIM, que permita su visualización y análisis en otros softwares aparte del usado para su creación. De este modo, es posible asegurar que el modelo creado sea aprovechado.

4.1 Selección de software de modelado BIM

Este factor es de vital importancia que se determine previo a cualquier actividad de modelado, pues dependerá especialmente de las capacidades y habilidades de los modeladores y los coordinadores. Debido a que, si un modelador o coordinador desconoce el uso de las herramientas disponibles en un software de modelado, se volverá complejo asegurar un continuo desarrollo de esta fase.

En este caso se optó por hacer uso de Autodesk Revit, debido al conocimiento que los actores del presente trabajo tienen de su interfaz y del entorno de trabajo de este software de modelado. Además, de conocer el flujo de trabajo que se requiere para manejar las herramientas de modelado que ofrece el software, lo que permite que se pueda asegurar un continuo desarrollo en el modelo. Sin embargo, esto no debe convertirse en una limitante en el caso de que se requiera usar Archicad, puesto que este software también es conocido por nosotros. Lo que nos permite establecer criterios para definir estrategias de modelado que pueden ser aplicados en diferentes softwares.

La versión escogida de Autodesk Revit fue la 2021, esto debido a que se trata de una versión que permite revisar el modelo creado en versiones posteriores. Facilitando así que muchos que dispongan de este software no tengan ningún tipo de inconveniente, en caso de necesitar revisar el modelo. Adicional a ello es importante mencionar que todos los modeladores deberán tener la misma versión de software instalado, debido que, si los modelos se crean en diferentes versiones, podría dar lugar a errores. Los cuales podrían estar relacionados con materiales, objetos,

parámetros e incluso en imposibilitar abrir el archivo, lo que rompe con la capacidad colaborativa que ofrece la metodología BIM.

4.2 Fase III: Creación del modelo HBIM

Para la creación del modelo HBIM, se consideran varios procesos que parten desde la configuración de la plantilla de modelo hasta el sistema de codificación de los nombres que se les asignen a los objetos. De modo que, el resultado final tenga una calidad adecuada para la integración de la información no geométrica y semántica. Además, de facilitar la elaboración de análisis y de la producción de la documentación que permita emitir criterios adecuados para la conservación patrimonial de la Casa Vélez.

4.2.1 Configuración de plantilla de modelo

En muchos casos se vuelve complejo el tener acceso a una plantilla que este enfocada en la creación de modelos HBIM, debido a que no existen tales o que tienen un costo monetario. Situación que obligó a usar una plantilla por defecto del programa, creada para la disciplina de arquitectura, debido a que reúne las herramientas de modelado enfocadas en el diseño. Sin embargo, este tipo de plantillas muchas veces contienen configuraciones que no suelen ser las adecuadas para cualquier proyecto. Razón por la cual se deben realizar configuraciones desde el principio con el objetivo de asegurar un flujo de trabajo constante en el desarrollo del modelo.

Unidades de modelado

Un factor de vital importancia al arrancar con la creación de un modelo con cualquier plantilla es el comprobar las unidades de medida y ajustarlas según las necesidades de los modeladores. Motivo por el cual se definieron estas unidades (fig.63), debido a que frecuentemente se usan en cualquier proyecto de arquitectura, ingeniería y construcción.

Además, de que, al realizar la importación de archivos externos, estos consideraran las unidades asignadas al sistema de trabajo, lo que puede generar que sean escalados de forma incorrecta. Esto sin duda puede hacer que el modelado presente errores y requiera hacer correcciones o en el peor de los casos ser desechado por completo.

Figura 63. Unidades de medida utilizadas en la creación del modelo

Unidades	Formato
Ángulo	12.35°
Area	1234.57 m²
Longitud	1234.57 [m]
Densidad de masa	1234.57 kg/m³
Pendiente	12.35%
Velocidad	1234.6 km/h
Duración	1234.6 s
Volumen	1234.57 m³
Divisa	1234.57
Cost per Area	[\$/m²] 1235
Distance	1234.57 [m]
Rotation Angle	12.35 [°]

Símbolo decimal/agrupación de cifras:
123,456,789.00

Aceptar Cancelar Ayuda

Fuente: Elaboración propia, 2024

Sistema de codificación de objetos

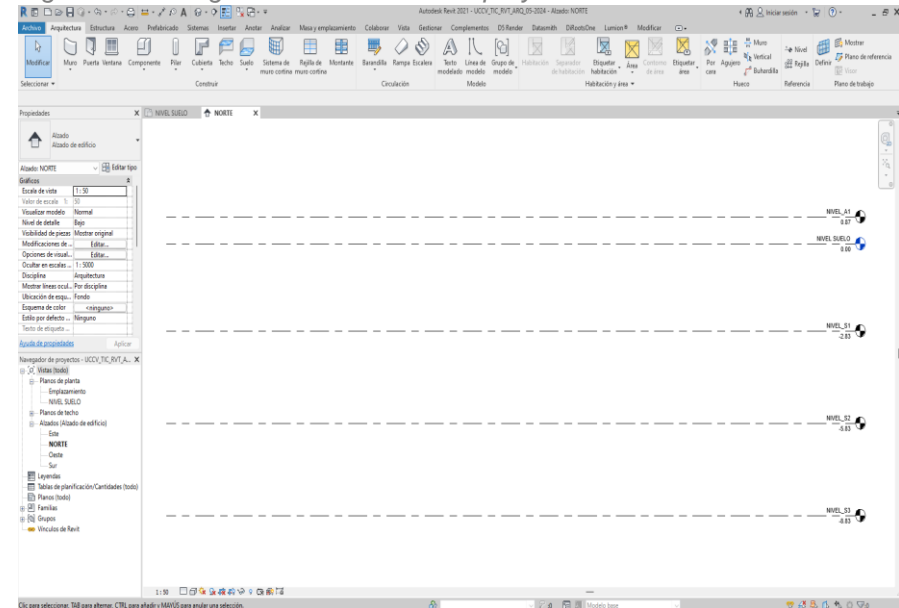
Adicional a ello, se debe establecer un sistema de codificación para la asignación de los nombres para los objetos y las capas, lo que permite asegurar que no existan ambigüedades en los nombres de los objetos que puedan causar confusiones. Para ello se decidió emplear el mismo sistema de codificación realizado en la fase II, esto especialmente para las carpinterías tales como puertas, ventanas, gradas, nichos, entre otros. Para el caso de Autodesk Revit este sistema de nombramiento se da únicamente para los componentes y algunas familias de sistema.

4.2.2 Creación de niveles

Como se mencionó en la fase I en el apartado de medición In-Situ, la toma de niveles tiene una utilidad en la creación del modelo HBIM. Debido a que los modelos se construyen de manera tridimensional, en donde la altura entre las diferentes plantas facilita la vinculación de los objetos que conforman el producto final.

Por tanto, la configuración de los niveles debe basarse en los tomados durante la medición, asegurándose de que se respeten las diferencias entre las alturas de cada una. Para ello es útil contar con un esquema básico que permita identificar la variación con respecto al nivel de origen base (Ver anexo T). En el caso de usarse una plantilla por defecto, ésta ya tendrá una configuración predeterminada, lo que hará necesario realizar los ajustes que permitan desarrollar el modelo.

Figura 64. Configuración de niveles de proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2024

UCUENCA

4.2.3 Modelo colaborativo

Debido al nivel de complejidad que pueden llegar a tener los modelos HBIM, se vuelve necesario el tener a un equipo trabajando en un proyecto de manera simultánea. Por lo tanto, esta situación se ve solventada mediante el uso de las herramientas de modelos compartidos o centrales, lo cual se logra mediante el uso de redes privadas o el uso de servidores donde se almacena un modelo central que es compartido con los demás usuarios.

Razón por la cual, para el desarrollo del modelo HBIM de la Casa Vélez, se hizo uso de las herramientas colaborativas, mediante la creación de un modelo central, el cual contiene subproyectos según el número de usuarios que deseen acceder al modelo. Para ello, se creó un modelo central que se almacenó en carpetas dentro del CDE (Drive, Dropbox, OneDrive), que en este caso se decidió usar en un inicio la plataforma Dropbox y luego se almacenó en Drive.

Además, se deben de tener en cuenta varios aspectos que se requieren especial atención, todo esto con el objetivo de que el desarrollo del modelo colaborativo no presente errores o inconvenientes.

A. Todos los usuarios deben tener instalada la misma versión de Revit y la aplicación de Dropbox; una alternativa a este último puede ser Google Drive.

B. Se deben de realizar ajustes en la ruta de archivos, puesto que todos los usuarios deben tener como dirección “C:\Dropbox”. Además, de que al momento de otorgar el acceso a otros usuarios se debe realizar por cada uno.

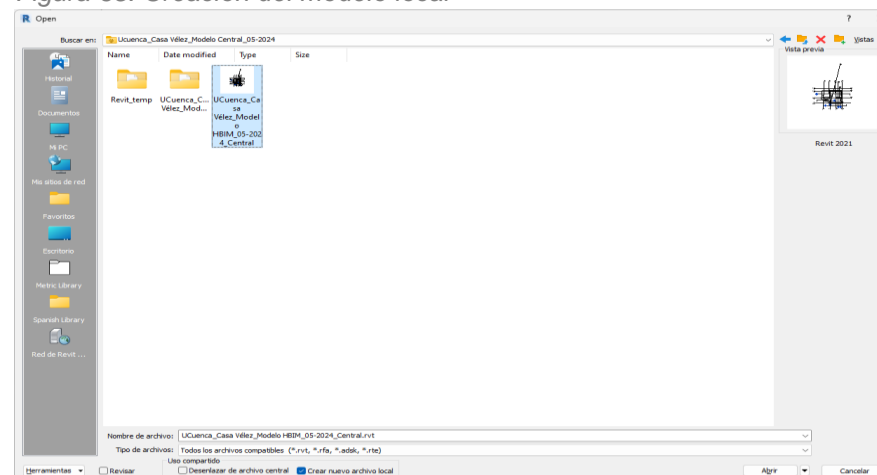
C. Cada usuario debe crear un modelo local y almacenarlo en su computadora personal o de trabajo, cuando se abra por primera vez el modelo central. Y por cada vez que requiera abrir el modelo local, deberá hacerlo únicamente desde la interfaz de inicio de Autodesk Revit (fig. 65).

D. Todos los cambios que se realicen en el modelo local se podrán cargar al modelo central, mediante la sincronización de los subproyectos. Lo cual es importante tener en cuenta de que la sincronización la realizará un

usuario a la vez, para lo cual se deberá de notificar a todos los modeladores que se encuentren trabajando en simultáneo.

E. En caso de no tener una conexión estable a internet, los usuarios podrán guardar los cambios de su modelo local en el disco duro y sincronizarlo después, teniendo en cuenta el literal anterior.

Figura 65. Creación del modelo local



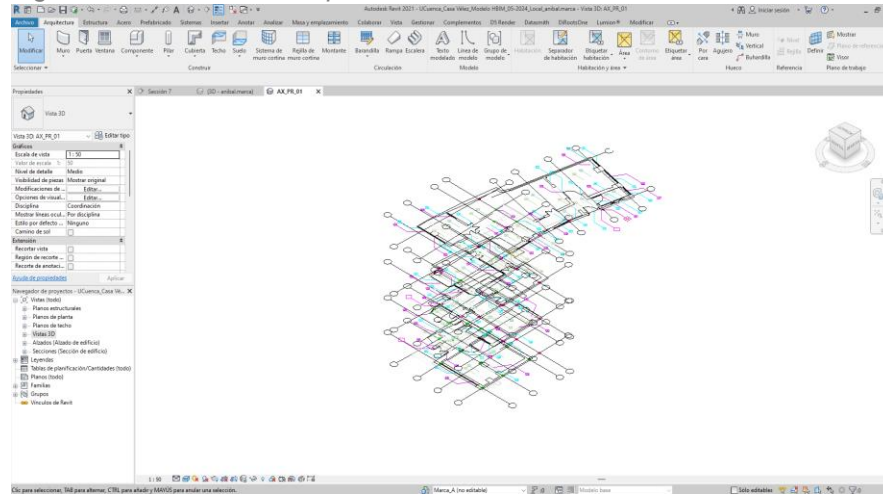
Fuente: Elaboración propia, 2024

4.2.4 Importación de archivos

En la creación de modelos HBIM, se parte siempre de bases de información, esto debido a que los bienes patrimoniales ya existen. Razón por la cual, la importación de archivos a los softwares de modelado se convierte en una manera eficiente en el desarrollo preciso de los modelos.

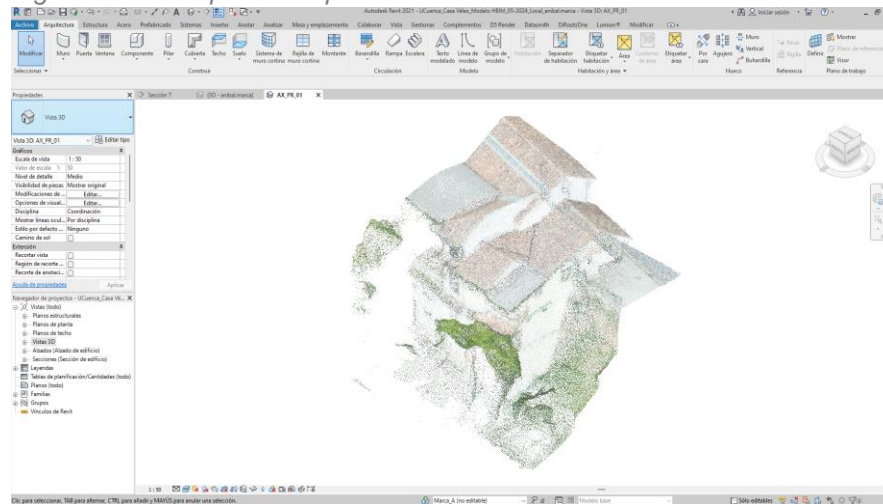
En este sentido, para el desarrollo de la Casa Vélez se emplearon dos archivos que fueron procesados en la fase II, la nube de puntos (fig. 67) y el modelo CAD (fig. 66). Los cuales contienen información que sirven como base para identificar la ubicación de los elementos estructurales y no estructurales, así como la posición y orientación de la edificación con respecto al sistema de coordenadas geográficas UTM.

Figura 66. Archivo CAD importado



Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 67. Nube puntos importada



Fuente: Elaboración propia, 2024

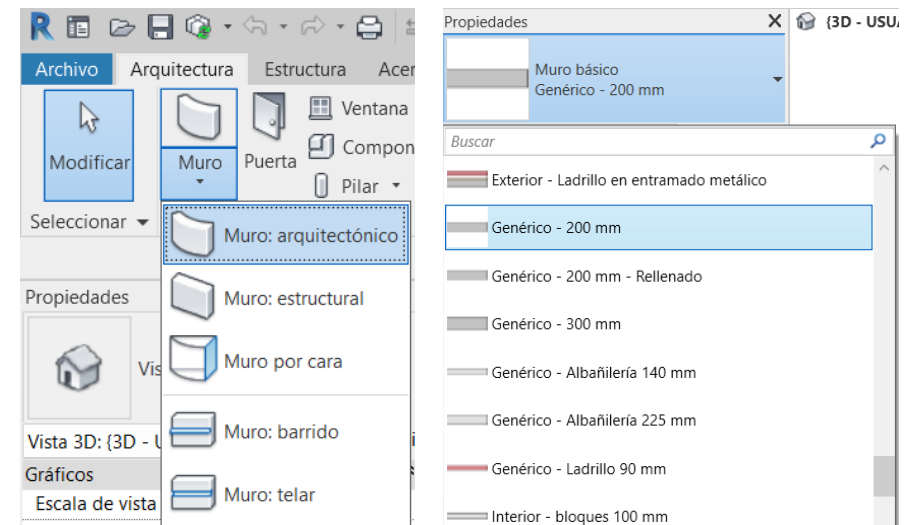
4.2.5 Creación de elementos de modelo

Elementos Constructivos

Muros

Para la creación y modelado de los muros en el proyecto de la Casa Vélez, inicialmente se seleccionó un tipo, optando por un “muro arquitectónico”. Dentro de esta categoría, se eligió una familia de muro predeterminada que viene integrada en la plantilla de Autodesk Revit denominada “genérico – 200 mm”, la cual no contiene acabados ni materiales. Esto debido a que no se conocen de manera precisa los espesores del núcleo y los acabados, así como los materiales reales, algo que puede ser asumido como posibles si es necesario considerarlos.

Figura 68. Creación y parametrización de muros en Autodesk Revit

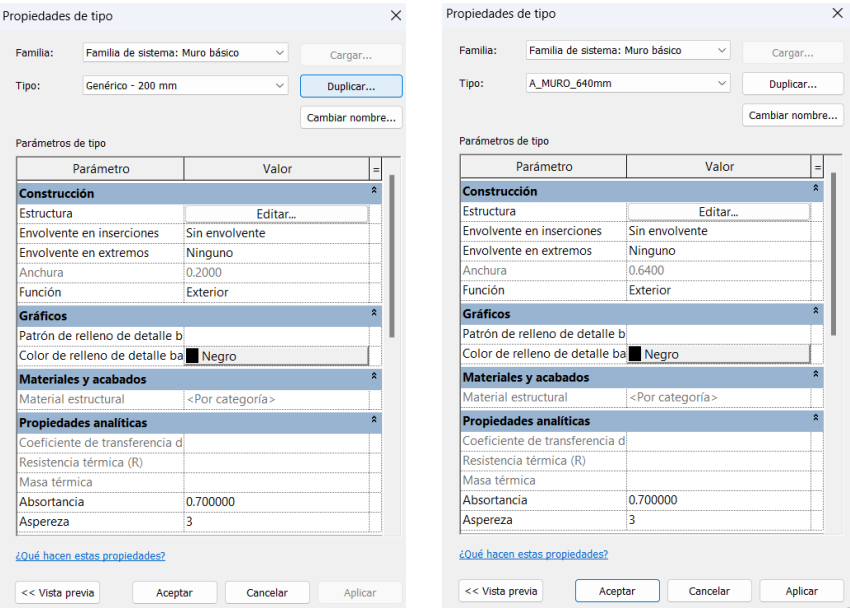


Fuente: Elaboración propia, 2024

Después de seleccionar la familia se procedió a duplicarla y editarla, lo que permitió crear una versión personalizada a la cual se le realizan ajustes, con base en los archivos importados. De este modo, se realiza el cambio

de nombre y la modificación del espesor total de la estructura, adaptando a los distintos tipos de muros presentes en la edificación.

Figura 69. Creación y parametrización de muros en Autodesk Revit



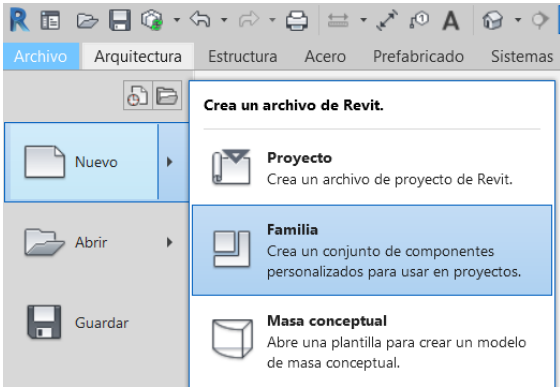
Fuente: Elaboración propia, 2024

Puertas y ventanas

Para el modelado de puertas y ventanas, se siguió un proceso sistemático que garantiza la precisión al momento de crear cada uno de estos elementos. El cual comenzó con la selección de una plantilla de familia de puerta o ventana, debido a que contiene la configuración para realizar los cortes automáticamente en los muros.

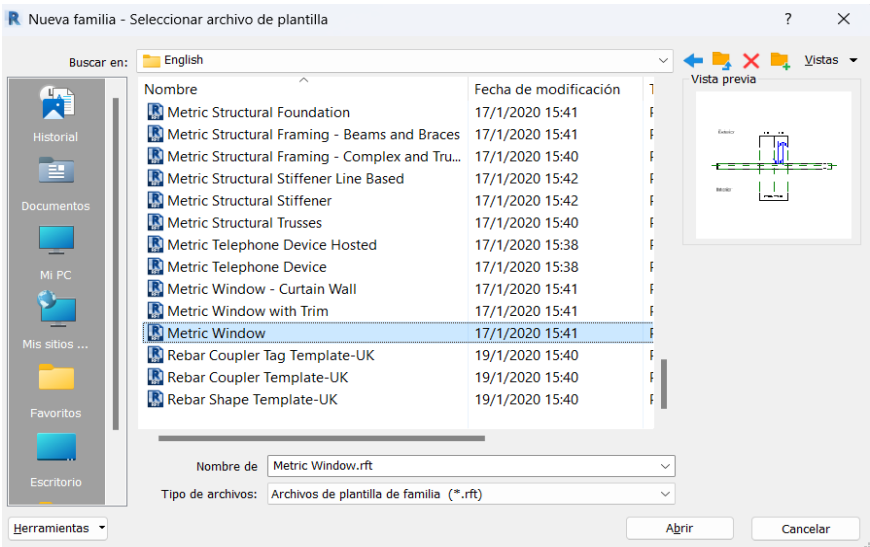
Previo a al modelado de los elementos, se accedió a la carpeta “English” y se seleccionó la plantilla predeterminada correspondiente, “metric door” para puertas y “metric window” para ventanas.

Figura 70. Creación de familias en Autodesk Revit



Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 71. Creación y parametrización de puertas y ventanas en Autodesk Revit



Fuente: Elaboración propia, 2024

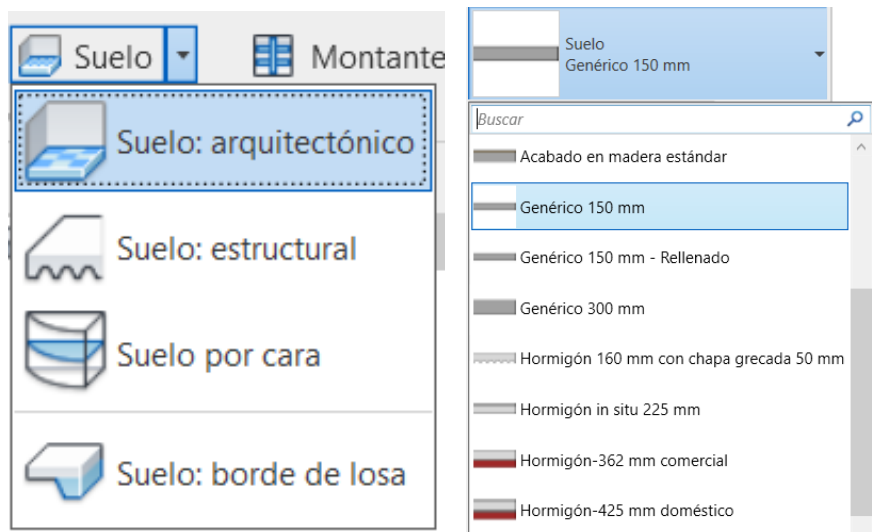
UCUENCA

A partir de estas plantillas se procede con el modelado individual de cada puerta y ventana, aplicando distintos parametricos, ya que en su mayoría presentaban diferencias en su diseño y tamaño. Una vez finalizado el modelado, estas familias fueron cargadas en el proyecto y ubicadas en donde corresponden.

Pisos y cielos rasos

Para la creación de pisos en el proyecto, inicialmente se seleccionó el tipo de suelo, optando por un “suelo arquitectónico”. Dentro de esta categoría, se eligió una familia de suelo predeterminada de Revit denominada “genérico 150 mm”.

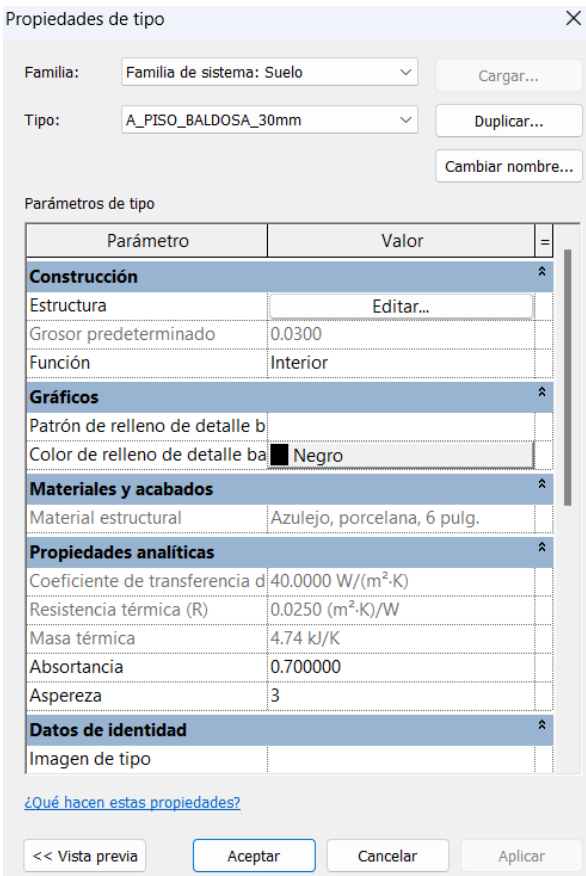
Figura 72. Creación y parametrización de suelo en Autodesk Revit



Fuente: Elaboración propia, 2024

Después de elegir la familia se procedió a duplicarla y editarla. En esta versión personalizada se realizar ajustes como el cambio de nombre y la modificación del espesor de la estructura, adaptando a los distintos tipos de pisos de la edificación.

Figura 73. Creación y parametrización de suelo en Autodesk Revit

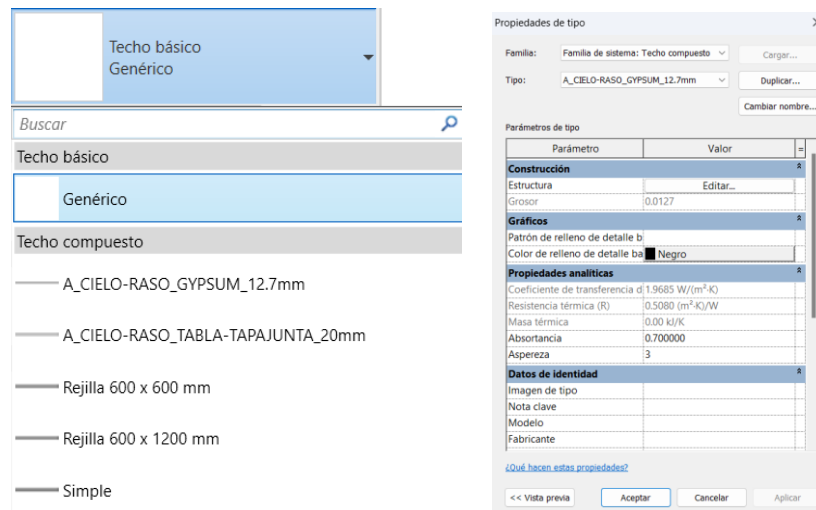


Fuente: Elaboración propia, 2024

En el caso del cielo raso se sigue un proceso similar, el cual inicia con la selección de “techo” y se eligió una familia de techo predeterminada de Revit denominada “genérico”. Luego de elegir la familia se procedió a duplicarla y editarla. En esta versión personalizada se realizan ajustes como el cambio de nombre y la modificación del espesor de la estructura, adaptando a los distintos tipos de cielos rasos de la edificación.

UCUENCA

Figura 74. Creación y parametrización de techo en Autodesk Revit

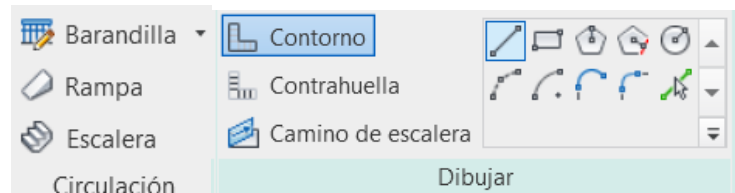


Fuente: Elaboración propia, 2024

Escaleras y barandillas

Para modelar las escaleras se inicia con seleccionar la opción escalera y se inicia con el dibujo de la escalera según corresponda en cada nivel. Al tratarse de una familia de sistema, este está compuesto por elementos como: pasamos, balaustres, postes, etc. Motivo por el cual se crean familias y perfiles que se vinculan y configuran para generar un modelo bastante aproximado a las diferentes escaleras presentes en la edificación.

Figura 75. Creación y parametrización de escalera en Autodesk Revit



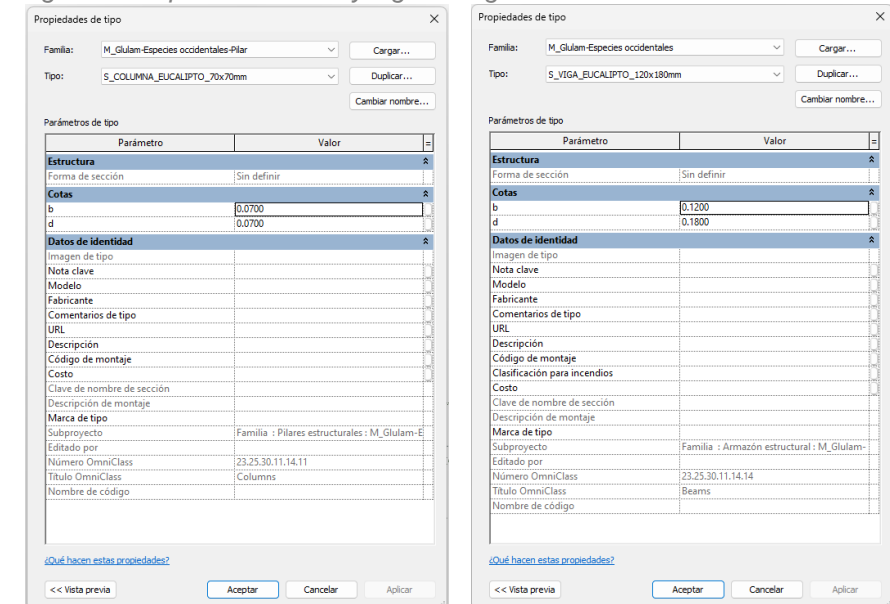
Fuente: Elaboración propia, 2024

Vigas y columnas

Este apartado tiene un nivel de complejidad en cuanto a modelar la estructura precisa, debido a que una gran parte se encuentra oculta. Razón por la cual se crea una estructura que se asume como posible, esto se basa en las técnicas constructivas y los materiales empleados de la época.

Para el modelado de la estructura de la Casa Vélez se emplean vigas y columnas, las cuales se ubican con base a los ejes estructurales y las dimensiones procesadas en el archivo CAD. Adicional a ello, se emplea el sistema de vigas para modelar la estructura de los pisos a la cual se le agregan las tiras que van por debajo de las duelas.

Figura 76. Tipo de columna y viga configurados



Fuente: Elaboración propia, 2024

4.3 Discusión

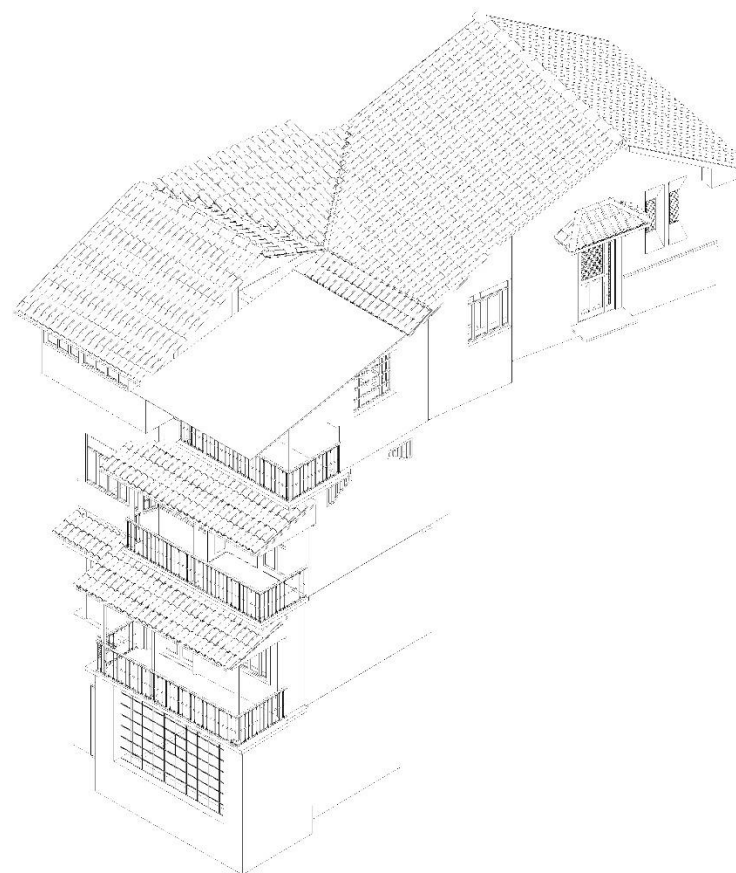
La metodología HBIM para la conservación patrimonial, aumenta las probabilidades de conservación del patrimonio histórico. La implementación del BIM para la conservación de la Casa Vélez ha permitido documentar con precisión el estado actual del inmueble, para que posteriormente se realicen planes de conservación eficaces.

Con respecto a las bases teóricas acerca de las dimensiones HBIM, expuestas por Castellano-Román & Pinto-Puerto (2019), la presente investigación logra abordar únicamente la dimensión 3D que tiene como objetivo el estudio analítico. Mediante la captura métrica, la cual es realizada en la Fase I de la metodología propuesta, para la cual se emplean técnicas de levantamiento directo e indirecto, tanto en el interior y exterior de la Casa Vélez. Además, del procesamiento preliminar de los datos los cuales se realizaron en la Fase II, mediante la clasificación, filtrado y codificación de los datos con el objetivo de que se conviertan en información. Y finalmente, el análisis de la información que resulta fundamental en la determinación de la estrategia de modelado, con el objetivo de alcanzar un modelo HBIM preciso de la Casa Vélez.

Así mismo, los niveles de conocimiento planteados igualmente por Castellano-Román & Pinto-Puerto (2019), son abordados las tres primeras (fig. 78). Donde el primer nivel LOK 100, se genera por la Fase I y II, a través de la información producida, los cuales se tratan de la nube de puntos, plantas CAD, la ortofotografía y las imágenes 2D y 360°. Ya que permiten identificar y georreferenciar aquellos elementos relevantes que conforman la edificación. Del mismo modo, el nivel LOK 200, se trata de la representación esquemática de la edificación, esto en base a la identificación de los elementos principales que conforman la edificación, tales como: muros exteriores, cubiertas, balcones y áreas vacías. Para lo cual, la nube de puntos y el archivo CAD, son dos herramientas que facilitan la construcción de la estructura básica de la Casa Vélez. Por último, el nivel LOK 300 se aborda de manera parcial, llegando a la creación de un modelo donde se incorporan elementos estructurales y no estructurales. Lo cual puede apuntar a la creación de un gemelo digital de la edificación, destinado para la elaboración de planes de conservación preventiva hasta incluso curativa.

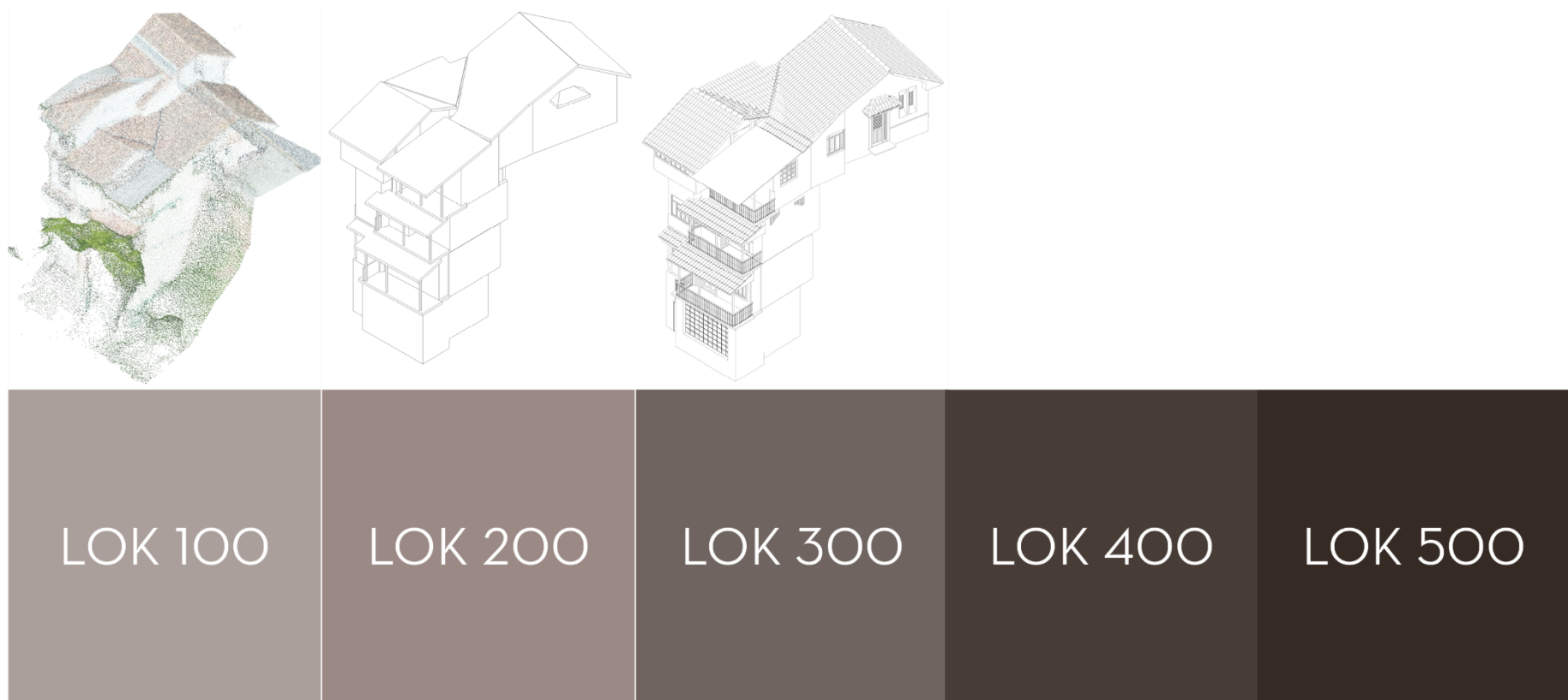
Un factor adicional que se aborda en la creación del modelo HBIM, es la incorporación de sistemas de clasificación estándar usados en la metodología BIM, tales como el sistema Omniclass e IFC. Esto con el objetivo de apuntar hacia el Open BIM, como una forma de asegurar la interoperabilidad, lo cual posibilita tener acceso libre al modelo sin depender del software empleado en el modelado.

Figura 77. Axonometría general creada en Autodesk Revit.



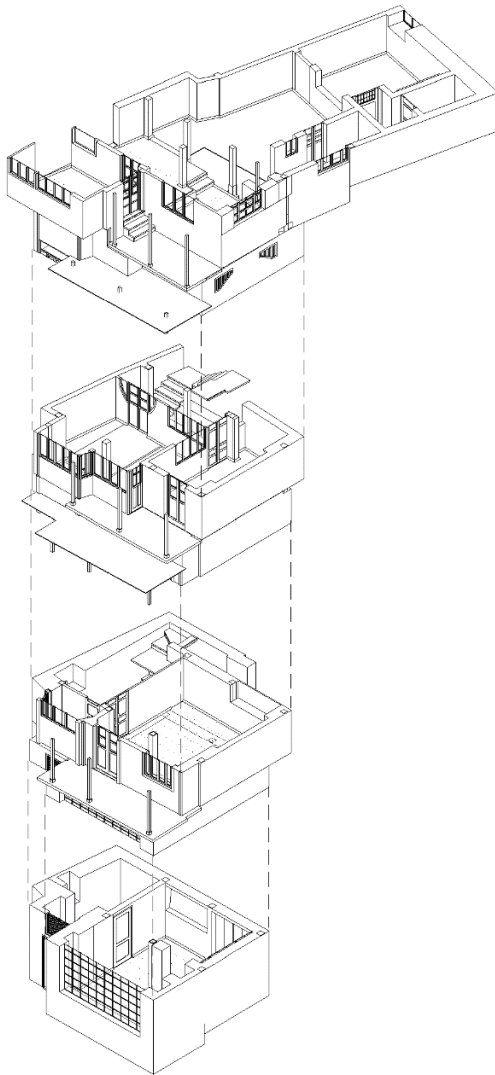
Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 78. Levels of Knowledge alcanzados



Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 79. Axonometría explotada creada en Autodesk Revit



Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 80. Elevación Paseo 3 de Noviembre creado en Autodesk Revit



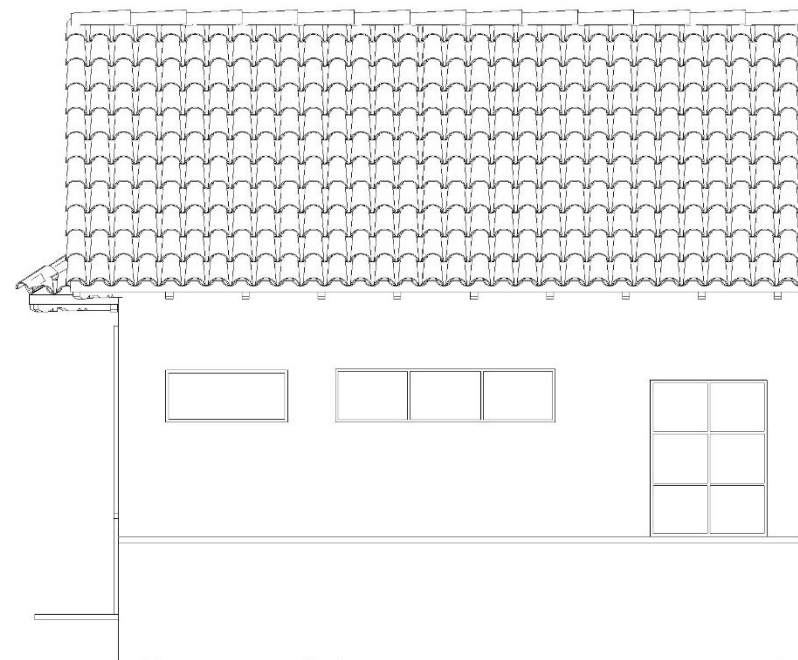
Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 81. Elevación lateral creada en Autodesk Revit



Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 82. Elevación calle La Condamine creada en Autodesk Revit



Fuente: Elaboración propia, 2024



CONCLUSIONES

UCUENCA

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Este estudio ha demostrado parcialmente la aplicación de la metodología HBIM para la Casa Vélez, mediante una propuesta que busca adoptarse en futuros proyectos de conservación en la región del austro ecuatoriano. Esto con base en el objetivo general que apunta hacia la creación de propuestas que aseguren la conservación, gestión y difusión de los valores tangibles e intangibles de la edificación. Para ello, se plantean tres objetivos específicos centrados en abordar el conocimiento acerca de la metodología HBIM hasta la implementación de la misma.

Con un primer objetivo específico que aborda los intendentes teóricos y el estado del arte que permiten reconocer las diferencias que existen entre la metodología BIM y HBIM, especialmente centrados en el ciclo de vida de la arquitectura contemporánea y el patrimonio arquitectónico. Los cuales se abordaron en el primer capítulo. Mientras que en el segundo capítulo se realizó el análisis de los casos de estudio a nivel internacional, latinoamericano y nacional, los cuales permiten identificar los recursos técnicos y tecnológicos empleados, además de los resultados obtenidos.

Posterior a ello, el segundo objetivo específico arranca con la aplicación de la metodología HBIM, partiendo desde la fase I, que consiste en el levantamiento y recopilación de datos, mediante el uso de herramientas y técnicas convencionales, combinadas con equipos más avanzados como lo son el dron y la cámara 360, los cuales permiten una captura más detallada del interior y exterior de la edificación. Los cuales se abordaron completamente en el tercer capítulo.

Por último, el tercer objetivo específico desarrolla en el cuarto capítulo que consiste en la creación del modelo HBIM, mediante la demostración de diferentes estrategias de modelado de los elementos estructurales y no estructurales de la Casa Vélez. Además, de exponer los resultados obtenidos con respecto a los LOK (niveles de conocimiento) generados.

Con lo anterior descrito, se puede asegurar que cada objetivo específico se cumplió, buscando abordar los aspectos más relevantes para el desarrollo del presente trabajo. Por lo tanto, se puede asegurar el cumplimiento del objetivo general propuesto en la introducción, pues los resultados

generados contribuyen al conocimiento de la aplicación de la metodología HBIM dentro del contexto del austro ecuatoriano. Sin embargo, aún queda mucho trabajo por desarrollar, pues tanto la fase IV y V no se ha abordado en el presente trabajo, debido al tiempo disponible para su desarrollo. Razón por la cual se deja como recomendación, el continuar la aplicación de la metodología propuesta a fin de determinar aquellos factores que aún no se han considerado con respecto a la propuesta planteada.

Durante la aplicación de la metodología propuesta (fig. 30), en la fase I, el levantamiento de los datos requiere de la investigación paralela de todo tipo de documentación histórica acerca de la edificación como también del contexto. Esto debido que es más fácil identificar y comprobar las posibles modificaciones realizadas a la edificación. Lo cual podemos afirmar que los planos proporcionados por la Dirección de Infraestructura anterior Dirección de Planificación Física de la Universidad de Cuenca, sirvieron como base para reconocer el año del cambio de propietarios y las modificaciones realizadas a la Casa Vélez.

A pesar de que la metodología se plantea como un proceso secuencial, en realidad puede no llegar a serlo y se aproximaría más a un proceso en ocasiones cíclico. Debido a que en ciertos casos se requerirá que verifique tanto la información como los datos. Una condición de suma importancia, debido a que no se debe dejar nada a la interpretación subjetiva y que debe ser sustentada por evidencia gráfica y documental.

En cuanto a los niveles de maduración BIM, es importante mencionar que tanto la fase I y II de la metodología propuesta aún se mantienen dentro de los primeros niveles. Debido a la débil colaboración que aún existe entre los integrantes de un equipo de trabajo, algo que aún persiste en la gran mayoría de los proyectos de conservación. No es sino hasta la fase III que se empieza con un modelo colaborativo básico, la cual es posible a través de los softwares de modelado BIM.

En última instancia, el presente trabajo busca aportar al conocimiento acerca de la aplicación de la metodología HBIM. De manera que, se pueda optar por alternativas a las metodologías de trabajo convencionales, la cual tiene como principal limitación la interoperabilidad entre las múltiples disciplinas y la falta de protocolos de trabajo colaborativo eficientes.

Recomendaciones

El presente trabajo realiza una aplicación parcial de la metodología propuesta, lo que deja la puerta abierta para que sea finalizada en el futuro. Continuando a partir de la fase IV y V, debido a que se llegó hasta la fase III, con lo que se cuenta con la información geométrica necesaria para la creación de un modelo de la edificación. Razón por la cual toda la información recopilada y procesada queda almacenada en un repositorio virtual, específicamente en la nube de Google Drive.

Para el desarrollo de las siguientes fases que consisten en el procesamiento de la información no geométrica y vinculada, se recomienda hacer uso de softwares tales como Microsoft Excel y Access. Los cuales pueden ser vinculados al modelo empleando plugins en el caso de usarse Autodesk Revit o de forma directa en caso de usarse Archicad.

Por tal motivo los casos de estudio proporcionan pistas esenciales para comprender la manera de abordar las dos últimas fases de la metodología propuesta. Además de proporcionar las herramientas y la metodología empleada, así como también en ciertos casos los procedimientos. Motivo por el cual se eligieron casos en los cuales hagan uso de los dos principales softwares de modelado BIM más usados a nivel internacional como lo son Archicad y Autodesk Revit.

Con la creación del modelo HBIM, se puede realizar múltiples aplicaciones y usos al modelo. Entre el mas importante es la creación de documentación técnica sobre el estado actual de la edificación y de las propuestas de uso que se den a futuro. Pues al ser un modelo actualizable se pueden crear varias propuestas arquitectónicas en un único modelo digital, lo que evita la fragmentación y la pérdida de las mismas.

Otro uso importante es la posibilidad de proporcionar una base de datos gráfica y documental para monitoreo de elementos arquitectónicos de gran valor, debido a que cada elemento es capaz de proporcionar información con respecto a su ubicación, forma, materiales, etc. Lo que permitiría determinar de mejor manera los periodos en los cuales se deben de realizar los controles.

Debido a que el Ecuador es un país con alto riesgo de movimientos sísmicos, estos presentan un riesgo potencial que puede afectar

severamente a las edificaciones patrimoniales. Ante ello los modelos HBIM, son una base potencial para la reconstrucción y restauración posterior ante cualquier movimiento sísmico de gran magnitud. Entre los cuales la anastilosis puede tomar como base a los modelos que logren alcanzar un nivel de conocimiento a partir del LOK300. Lo que evitaría que, al momento de reconstruir las partes afectadas de la edificación, se hagan en base a criterios que pueden ser subjetivos o imprecisos. Lo que afectaría a la imagen histórica y la pérdida de los valores tangibles de las edificaciones patrimoniales.

La interoperabilidad que ofrecen los softwares BIM posibilitan que los modelos sean exportados en diferentes formatos digitales y que puedan combinarse con otras metodologías entre ellas las GIS. Lo que posibilita la creación de bibliotecas de modelos digitales de áreas históricas de las ciudades o regiones.

Además de posibles usos vinculados con la realidad virtual para la creación de recorridos con enfoques en el sector turístico, mediante la creación de códigos QR que pueden ser escaneados y que dan acceso libre a la exploración virtual de las edificaciones históricas. Lo que fomentaría un mayor interés por parte del turismo a nivel internacional y nacional, reforzando así la difusión de los valores tangibles e intangibles. Así como también en el desarrollo de videojuegos o impresión 3D.

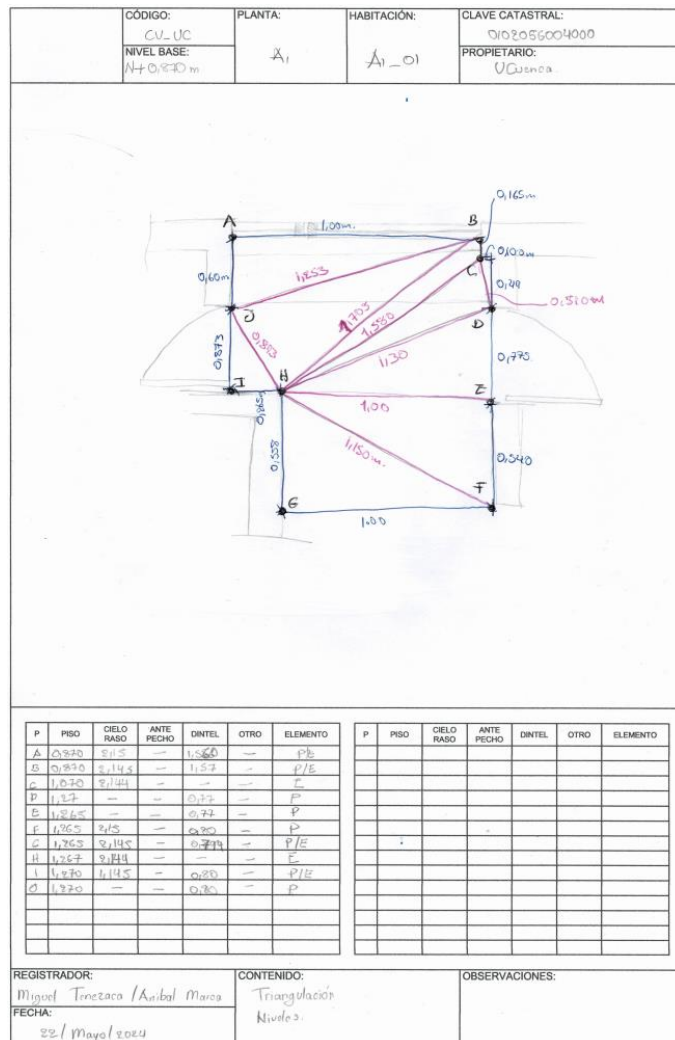
Referencias

- Angulo-Fornos, R., Castellano-Román, M., & Pinto-Puerto, F. (2021). Heritage modelling strategies in HBIM, application to the stratigraphic reading of the façade of the Renaissance quadrant of the Cathedral of Seville. *Arqueología de La Arquitectura*, 18. <https://doi.org/10.3989/ARQ.ARQT.2021.001>
- BIMForum. (2022). *Level of Development (LOD) Specification 2022 Supplement Collaborating Organizations Level of Development Specification Supplement to 2021 Level of Development (LOD) Specification 2021 Supplement*. www.bimforum.org/lof
- Bravo, S., & Alvarado, N. (2022). *Validación de una Metodología Heritage Building Information Modeling H-BIM aplicada a una edificación patrimonial del Centro Histórico de la ciudad de Cuenca, Ecuador*. Universidad de Cuenca.
- Castellano-Román, M., & Pinto-Puerto, F. (2019). Dimensions and Levels of Knowledge in Heritage Building Information Modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00110>
- Chelaru, B., Onuțu, C., Ungureanu, G., & Șerbănoiu, A. A. (2024). Integration of point cloud, historical records, and condition assessment data in HBIM. *Automation in Construction*, 161, 105347. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105347>
- Dore, C., & Murphy, M. (2017). Current state of the art historic building information modelling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W5), 185–192. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-185-2017>
- Eastman, C. M. (2008). *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Wiley.
- Fassi, F., Achille, C., Mandelli, A., Rechichi, F., & Parri, S. (2015). A New idea of bim system for visualization, web sharing and using huge complex 3d models for facility management. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(5W4), 359–366. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-359-2015>
- Fernández, A., Soria, E., Agustín, L., Alberto, J., Adrián, A., Ereño, B., Salvador García, E., Jordan, I., Soto, A., NIETO, J., Monterroso Checa, A., Moyano, J., Herráez, J., Espinosa, Y., Leache, J., Rafael, A., Martín-Talaverano, R., Mahillo Calle, A., González Arteaga, J., & Castellano-Román, M. (2018). *BIM aplicado al Patrimonio Cultural. Documento 14. Guía de usuarios BIM. Building SMART Spain Chapter*. https://www.researchgate.net/publication/330183791_BIM_aplicado_al_Patrimonio_Cultural_Documento_14_Guia_de_usuarios_BIM_Building_SMART_Spain_Chapter
- Garagnani, S., Gaucci, A., & Govi, E. (2016). *Archaeobim: Dallo scavo al building information modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di uni a marzabotto*. <https://www.researchgate.net/publication/317759957>
- Gutiérrez, C. (2022). *GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA HBIM PARA SU CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO* [Universidad de Sevilla]. <https://hdl.handle.net/11441/135803>
- Janisio-Pawłowska, D. (2021). Analysis of the possibilities of using hbim technology in the protection of cultural heritage, based on a review of the latest research carried out in poland. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/ijgi10100633>
- Jordán-Palomar, I. (2019). *Protocol to manage heritage-building interventions using Heritage Building Information Modelling (HBIM) Student*. Universitat Politècnica de València.
- Linning C, Adriana X. Sanchez, & Keith D. Hampson. (2016, March 31). Implementation tips with hindsight. *Delivering Value with BIM: A*

- Whole-of-Life Approach*, 81–101. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qhPeCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA81&dq=Implementation+tips+with+hindsight&ots=lvnh3dbVaz&sig=sk8VZ1pWS3hmivg91Xgqz9zqhgl#v=onepage&q=Implementation%20tips%20with%20hindsight&f=false>
- Liu, J., Willkens, D. S., & Foreman, G. (2022). An introduction to technological tools and process of Heritage Building Information Modeling (HBIM). *EGE-Expresión Gráfica En La Edificación*, 16, 50–65. <https://doi.org/10.4995/ege.2022.17723>
- Marca, A., & Tenezaca, M. (2024, June 6). *Entrevista a la Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma* [Video recording]. https://drive.google.com/drive/folders/1CSL2mqyDTgTGinz4bOLiloxo-ifJAwU8?usp=drive_link
- Melero Lazo, N. (2022). El levantamiento arquitectónico del patrimonio construido. Un instrumento preciso de la realidad. *Mimesis.Jasd*, 2(1), 4–14. <https://doi.org/10.56205/mim.2-1.1>
- Merchán, P., Salamanca, S., Merchán, M. J., Pérez, E., & Moreno, M. D. (2020). *Pasado, presente y futuro de los HBIM (Heritage/historic building information models)*. 1077–1084. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497565.1077>
- Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27(4), 311–327. <https://doi.org/10.1108/02630800910985108>
- Nieto-Julián, J. E., Lara, L., & Moyano, J. (2021). Implementation of a teamwork-hbim for the management and sustainability of architectural heritage. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su13042161>
- Penttilä, H. (2007). Early Architectural Design and BIM. In A. Dong, A. Vande Moere, & J. S. Gero (Eds.), *Computer-Aided Architectural Design Futures (CAADFutures) 2007* (pp. 291–302). Springer Netherlands.
- Pocobelli, D. P., Boehm, J., Bryan, P., Still, J., & Grau-Bové, J. (2018). BIM for heritage science: a review. In *Heritage Science* (Vol. 6, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0191-4>
- Quattrini, R., Malinverni, E. S., Clini, P., Nespeca, R., & Orlietti, E. (2015). From t1s to hbim. high quality semantically-aware 3d modeling of complex architecture. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(5W4), 367–374. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-367-2015>
- Rodríguez-Moreno, C., Reinoso-Gordo, J. F., Rivas-Lpez, E., Gmez-Blanco, A., Ariza-Lpez, F. J., & Ariza-Lpez, I. (2018). From point cloud to BIM: an integrated workflow for documentation, research and modelling of architectural heritage. *Survey Review*, 50(360), 212–231. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1259719>
- Santana Quintero, M. (2013). Background, role and challenge of digitalization of architectural heritage. *Estoa. Journal of the Faculty of Architecture and Urbanism*, 2(3), 7–21. <https://doi.org/10.18537/est.v002.n003.02>
- Saygi, G., & Remondino, F. (2013). Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-Art and Future Perspectives. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(4), 695–713. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.2.4.695>
- Schiller, S. Z., & Mandviwalla, M. (2007). Virtual team research: An analysis of theory use and a framework for theory appropriation. *Small Group Research*, 38(1), 12–59. <https://doi.org/10.1177/1046496406297035>
- Scianna, A., Gristina, S., & Paliaga, S. (2014). *Experimental BIM Applications in Archaeology: A Work-Flow* (pp. 490–498). https://doi.org/10.1007/978-3-319-13695-0_48
- Yero, L. M. (2021). *Fotogrametría UAV y modelado HBIM para la reconstrucción virtual del patrimonio cultural* [Universidad de Almería]. <https://repositorio.ual.es/handle/10835/11773>

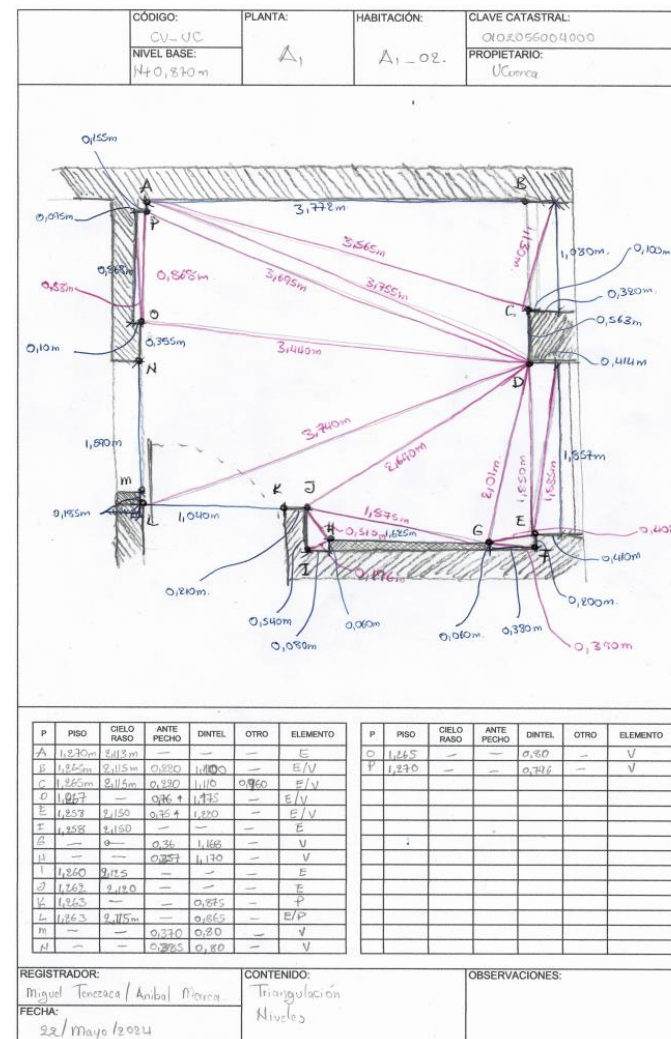
Anexos

Anexo A. Ficha de levantamiento A1 01



Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo B. Ficha de levantamiento A1 02



Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo C. Ficha de levantamiento A1_03

CÓDIGO: CV-UC	PLANTA: A1	HABITACIÓN: A1_03	CLAVE CATASTRAL: 0102056004000
NIVEL BASE: N+0,670m		PROPIETARIO: UCUENCA.	

P	PISO	CIELO	ANTE	DINTEL	OTRO	ELEMENTO
A	1.272	2.15	0.711	—	—	E
B	1.968	—	0.935	—	—	P
C	1.120	2.15	0.778	—	—	P
D	—	—	0.260	1.085	—	V
E	—	—	0.960	1.08	—	V
F	1.875	1.160	—	—	—	E
G	1.835	1.145	3.344	—	—	—

P	PISO	CIELO	ANTE	DINTEL	OTRO	ELEMENTO

REGISTRADOR: Miguel Tenezaca / Anibal Marca	CONTENIDO: Triangulación Niveles.	OBSERVACIONES:
FECHA: 22/Mayo/2024		

Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo D. Ficha de levantamiento A1_04

CÓDIGO: CV-UC	PLANTA: A1	HABITACIÓN: A1_04	CLAVE CATASTRAL: 0102056004000
NIVEL BASE: N+0,240m		PROPIETARIO: UCUENCA.	

P	PISO	CIELO	ANTE	DINTEL	OTRO	ELEMENTO
A	1.270	1.925	—	—	—	E
B	—	1.905	0.105	—	—	F
C	0.940	—	0.285	1.030	—	V
D	0.155	—	0.235	1.070	—	V
E	1.645	1.325	—	—	—	E
F	—	—	—	—	—	—
G	1.652	1.320	—	—	—	E
H	1.87	—	—	0.235	—	P
I	1.92	—	—	0.435	—	P

P	PISO	CIELO	ANTE	DINTEL	OTRO	ELEMENTO

REGISTRADOR: Miguel Tenezaca / Anibal Marca	CONTENIDO: Triangulación Niveles.	OBSERVACIONES:
FECHA: 22/Mayo/2024		

Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo E. Ficha de levantamiento A1_05

[illegible]

Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo F. Ficha de levantamiento A1_06

[illegible]

Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo G. Ficha de levantamiento A1_07

[illegible]

Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo H. Ficha de levantamiento A1_08

[illegible]

Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo I. Ficha de levantamiento A1_09

[illegible]

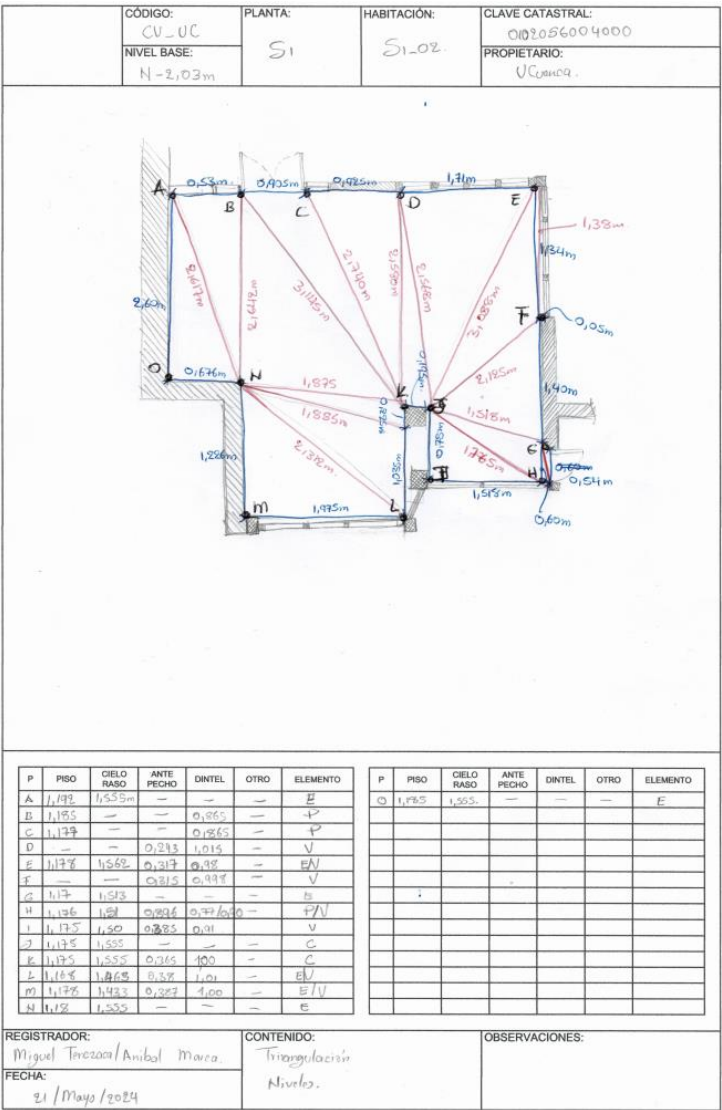
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo J. Ficha de levantamiento S1_01

[illegible]

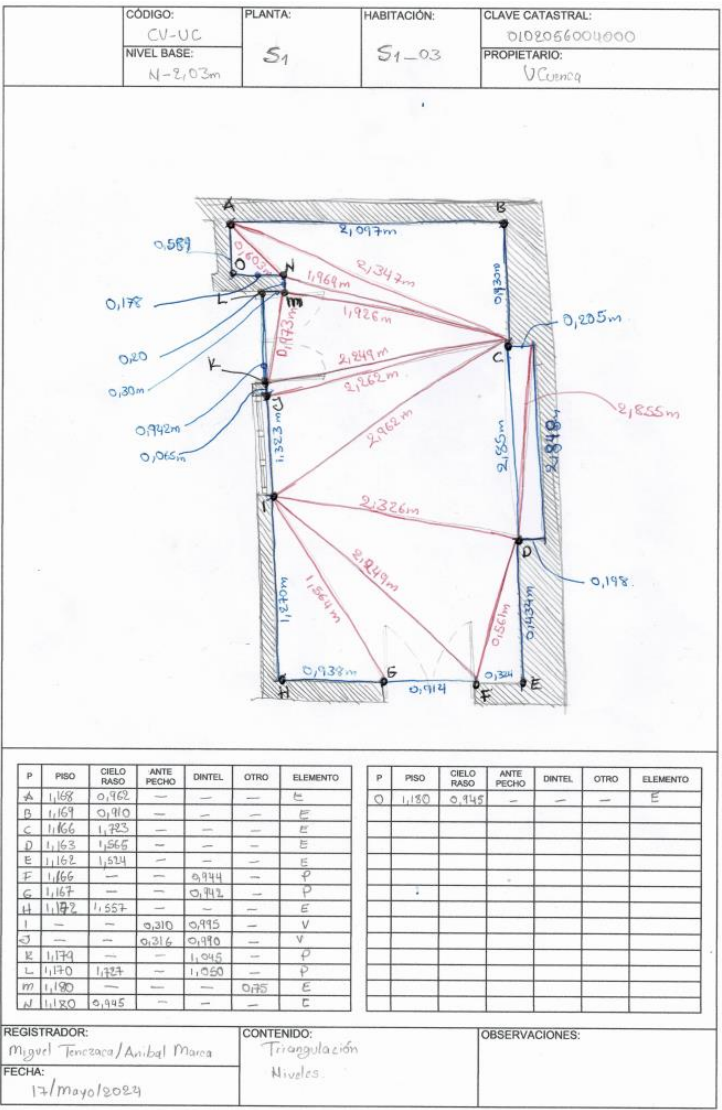
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo K. Ficha de levantamiento S1_02



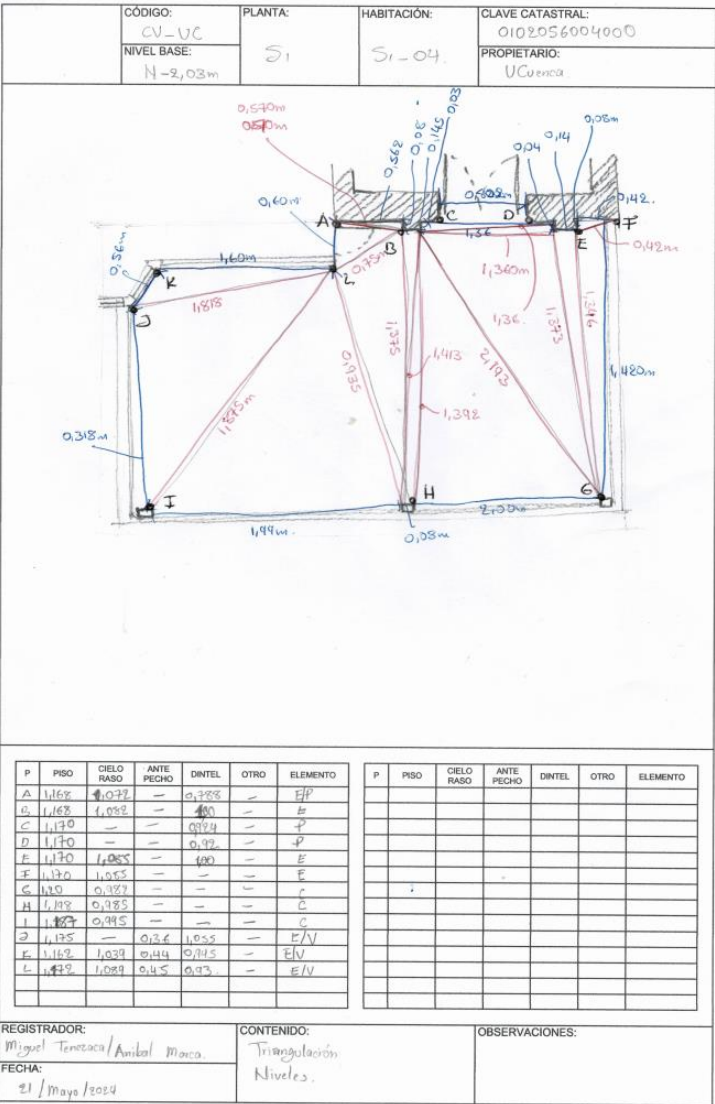
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo L. Ficha de levantamiento S1_03



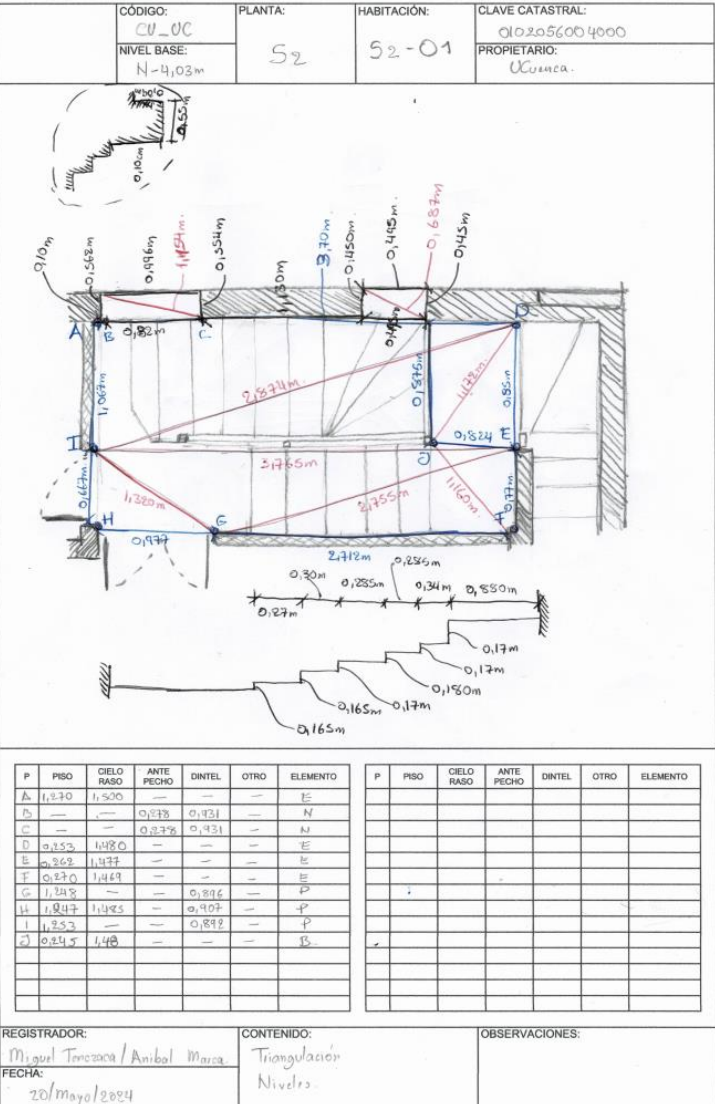
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo M. Ficha de levantamiento S1_04



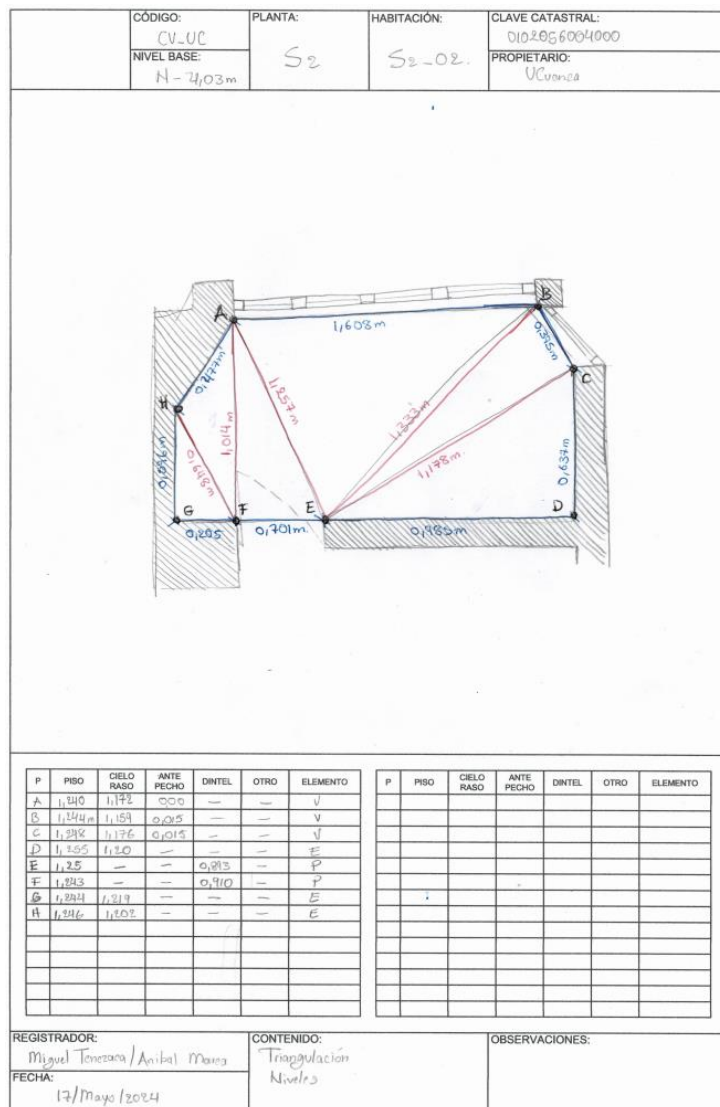
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo N. Ficha de levantamiento S2_01



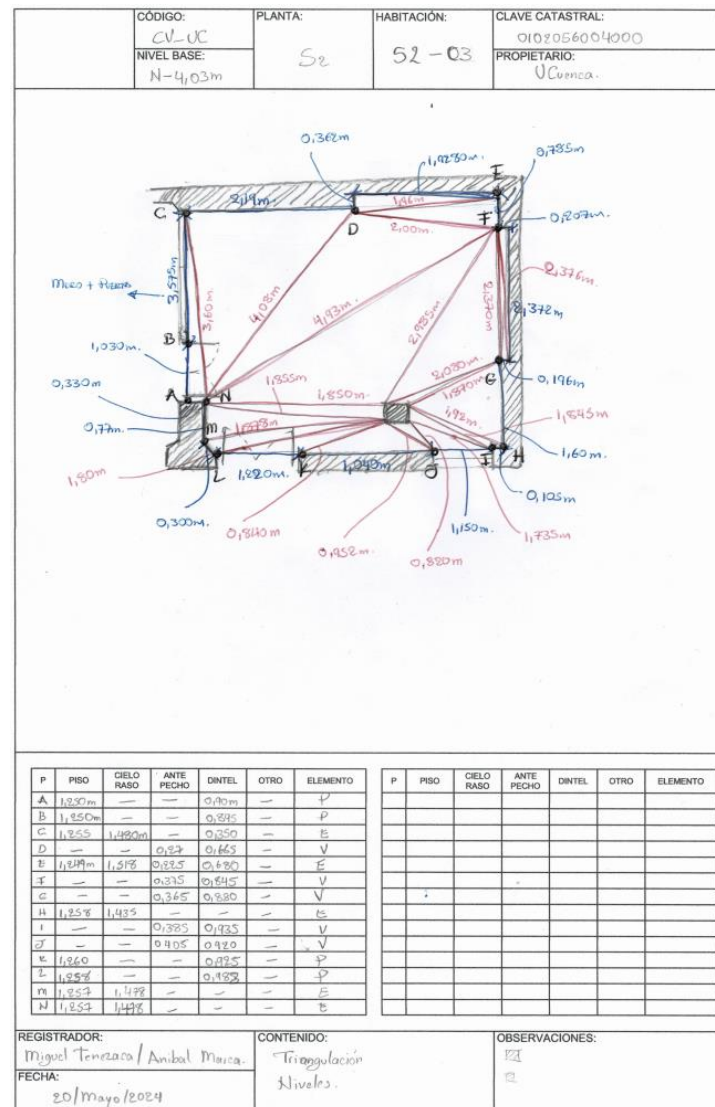
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo O. Ficha de levantamiento S2_02



Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo P. Ficha de levantamiento S2_03



Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo S. Ficha de levantamiento S3_02

CÓDIGO: CV-00

NIVEL BASE: N-9.13 m

PLANTA: S3

HABITACIÓN: S3.02

CLAVE CATASTRAL: 0102056004000

PROPIETARIO: UCIBANCA

Fuente: Elaboración propia, 2024

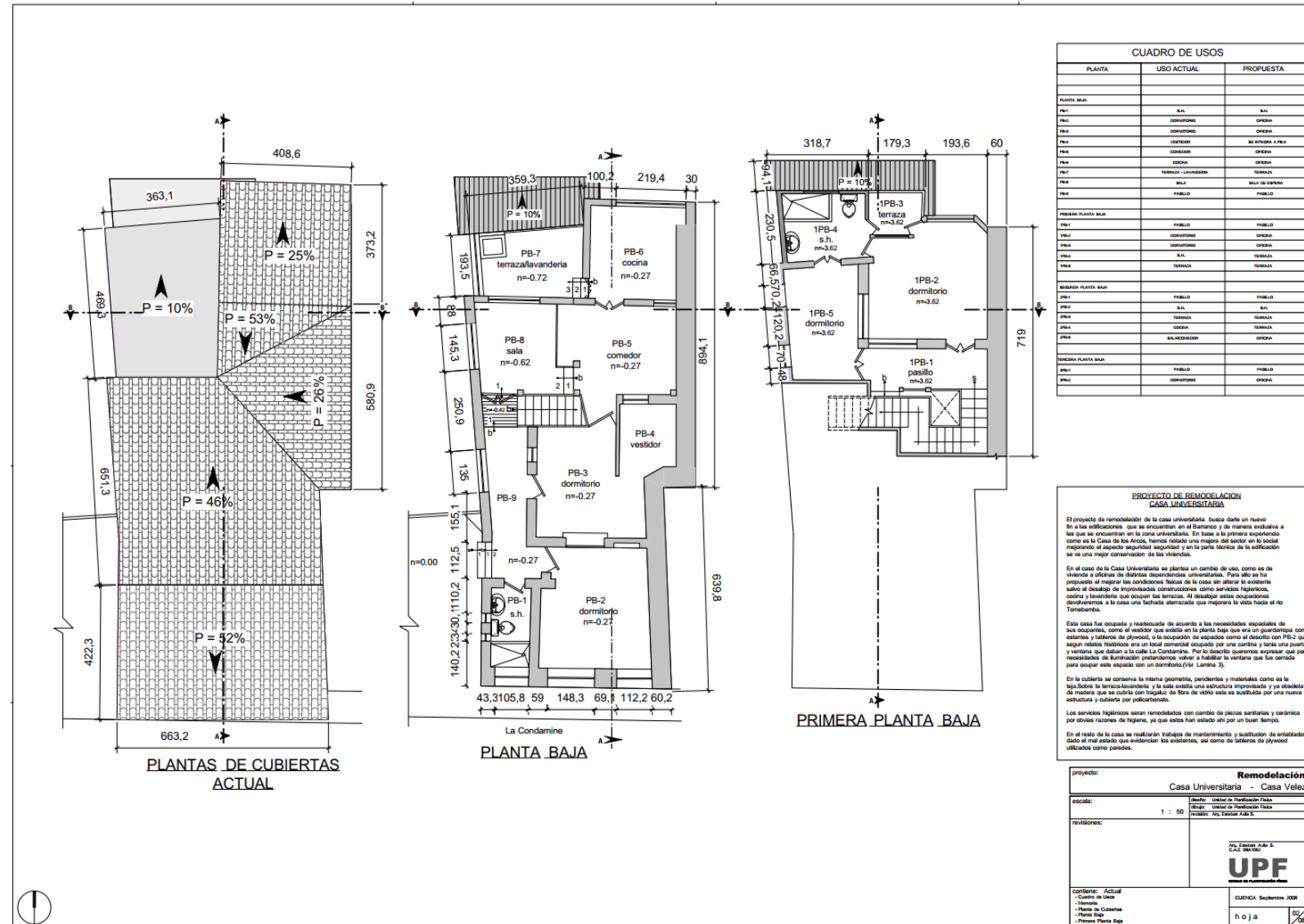
Anexo T. Ficha de levantamiento. Esquema de niveles

[illegible]

Fuente: Elaboración propia, 2024

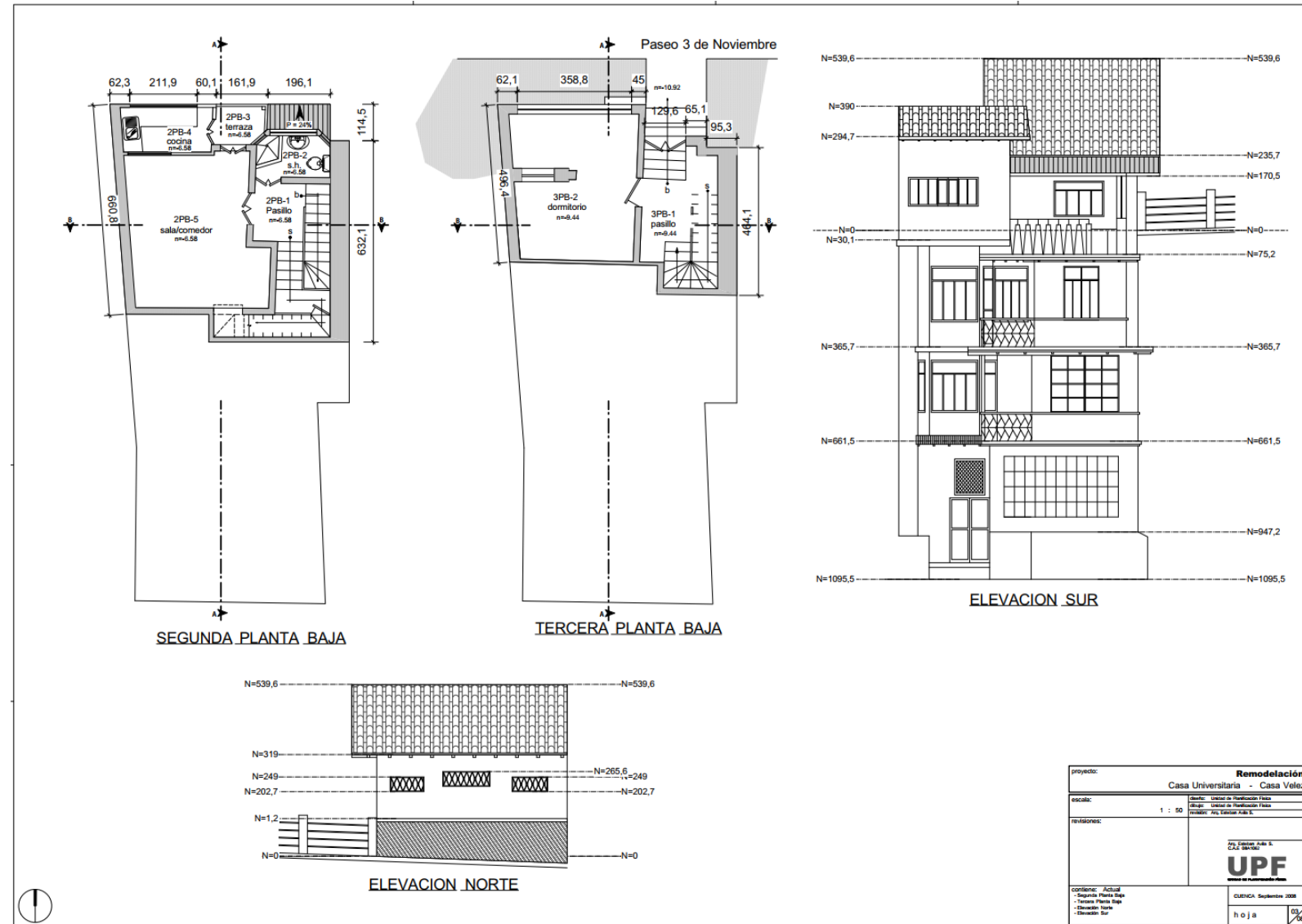
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo V. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez



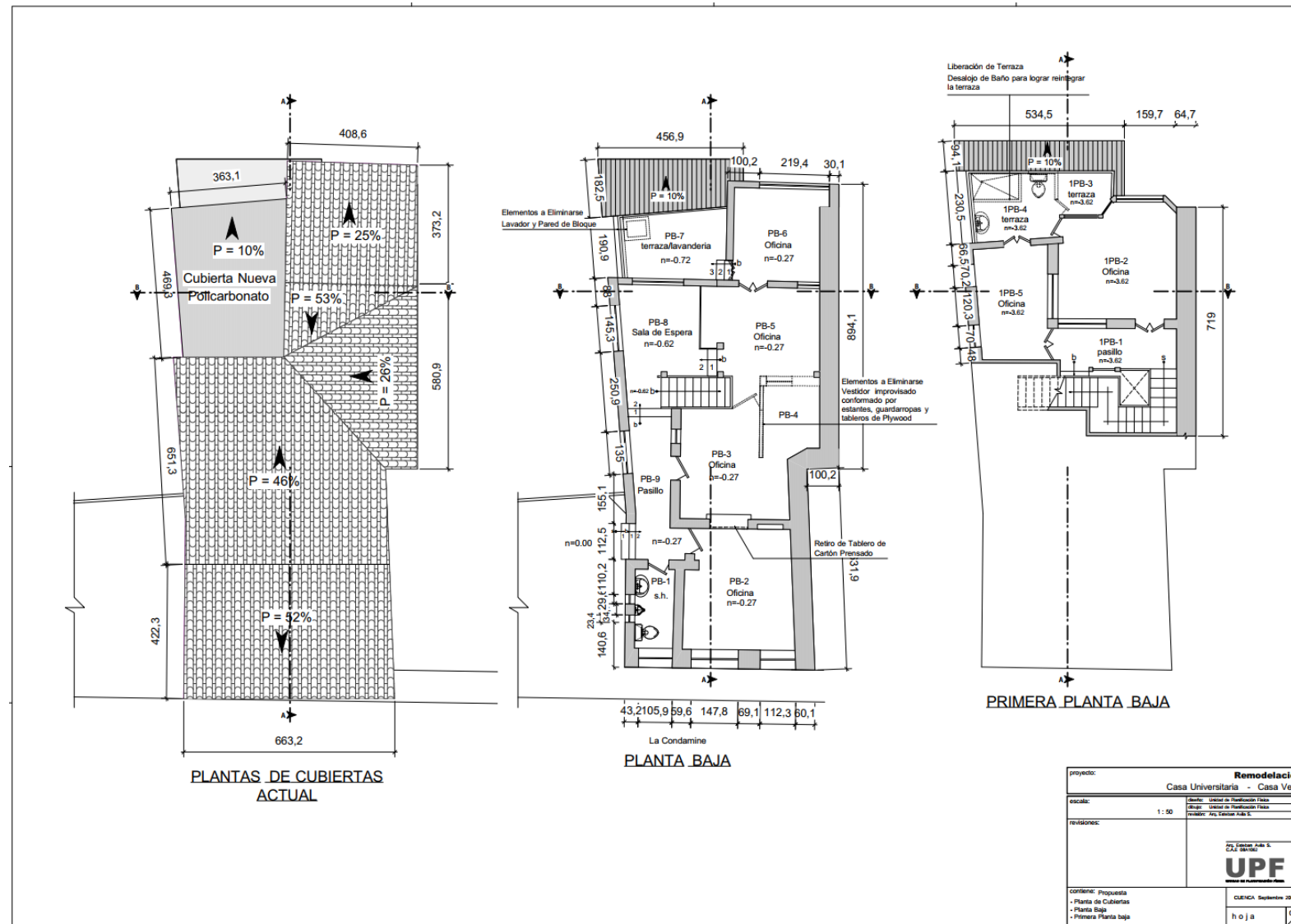
Fuente: Unidad de Planificación Física, Universidad de Cuenca, 2008

Anexo W. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez



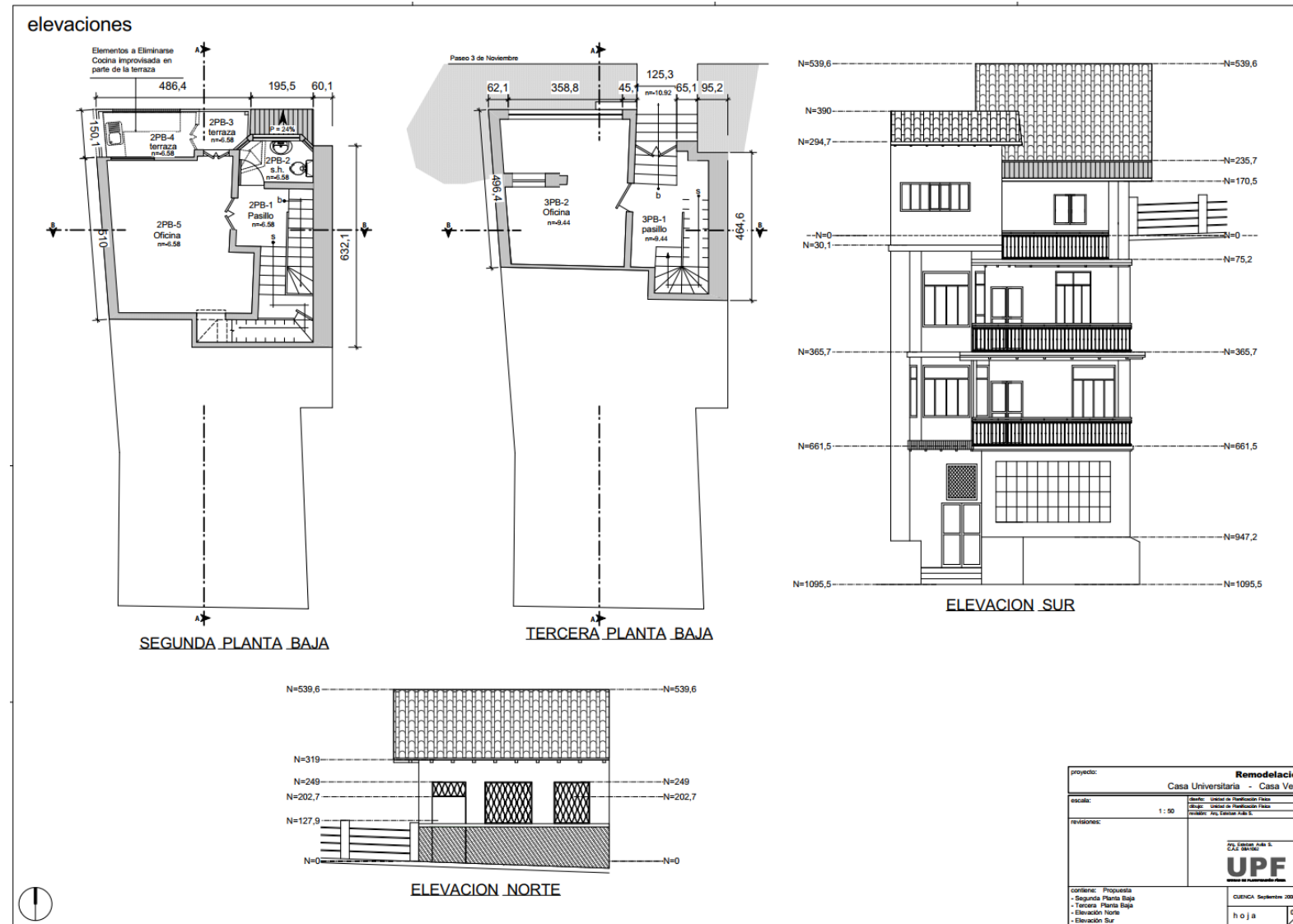
Fuente: Unidad de Planificación Física, Universidad de Cuenca, 2008

Anexo X. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez



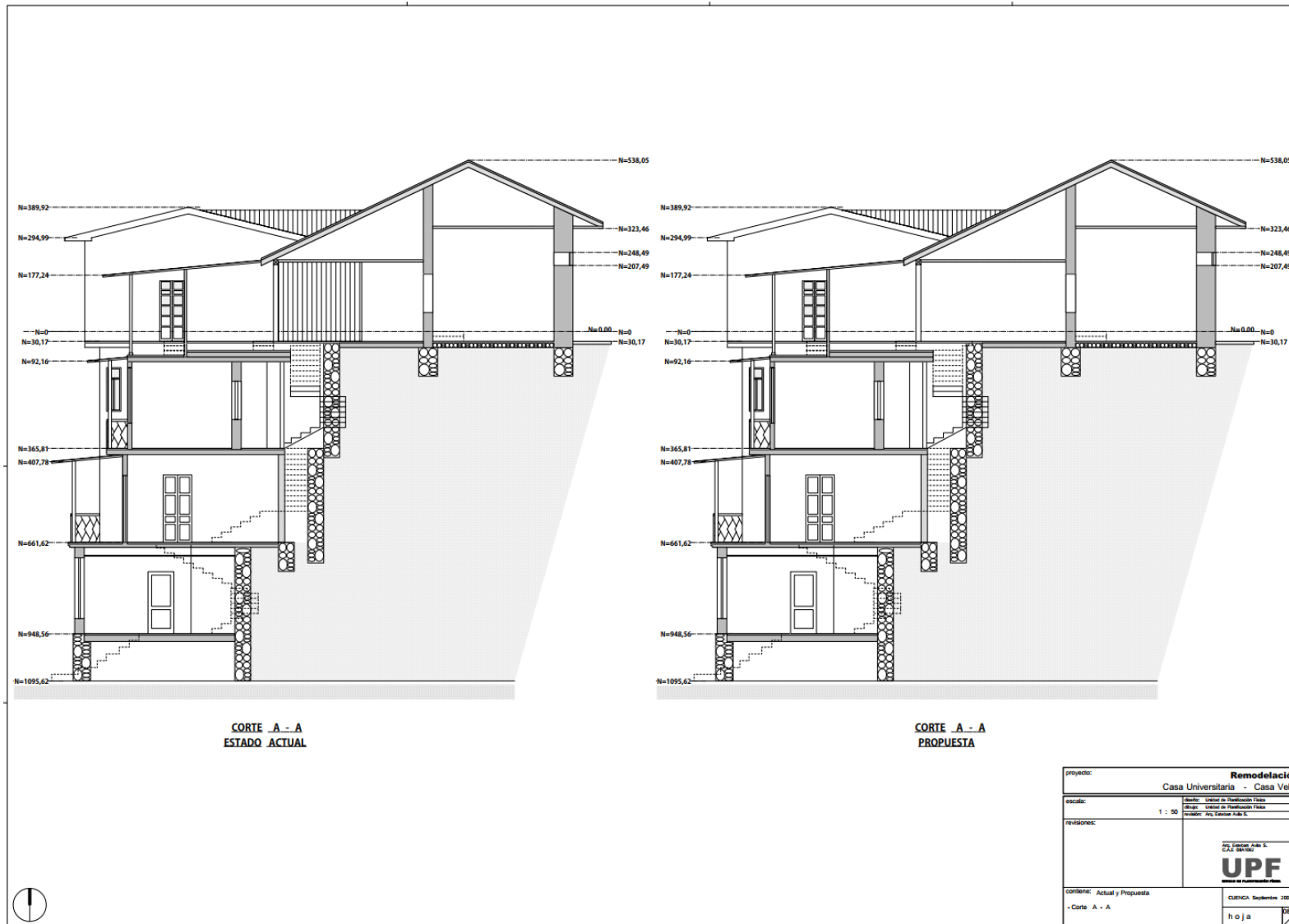
Fuente: Unidad de Planificación Física, Universidad de Cuenca, 2008

Anexo Y. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez



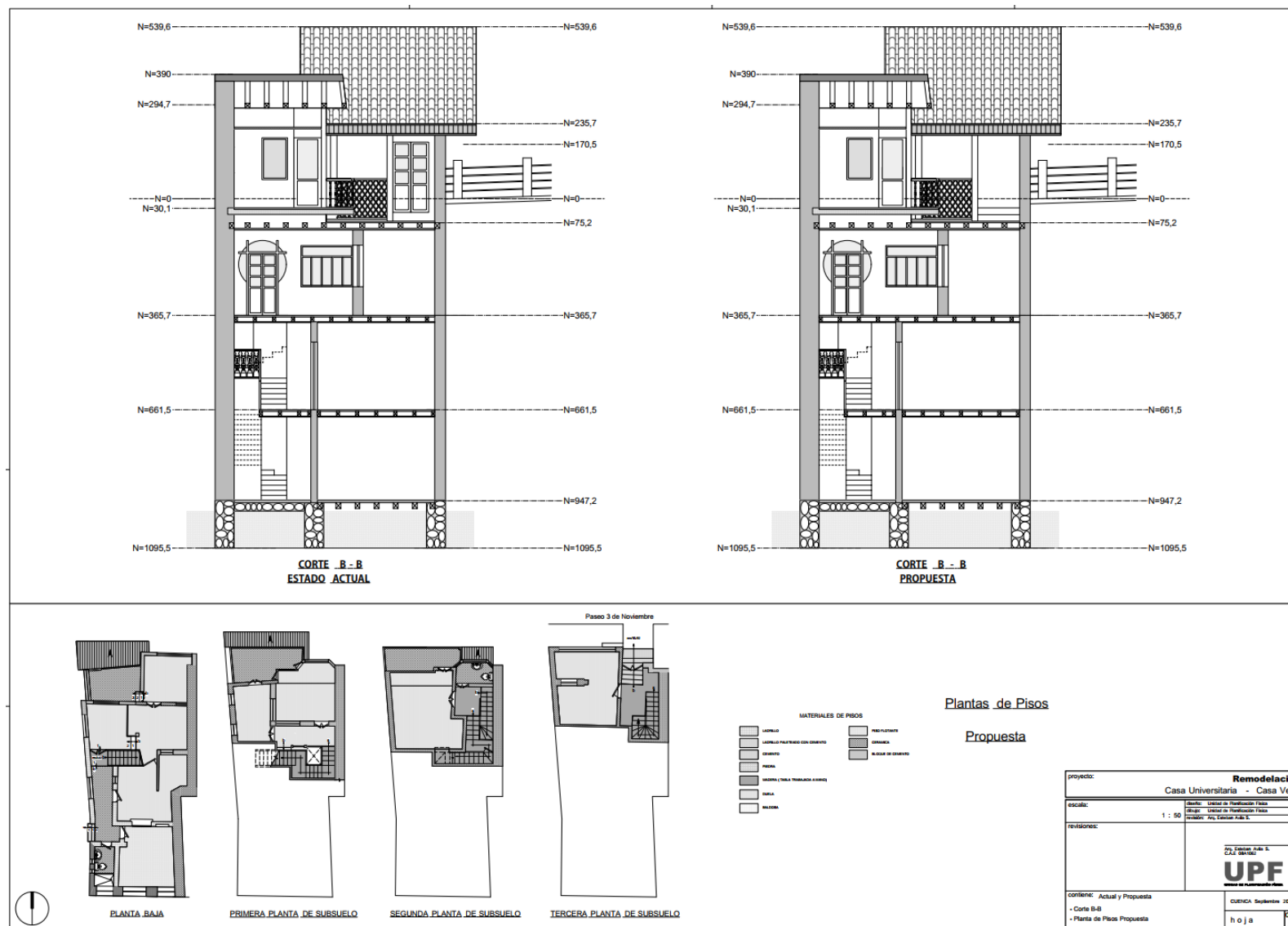
Fuente: Unidad de Planificación Física, Universidad de Cuenca, 2008

Anexo Z. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez



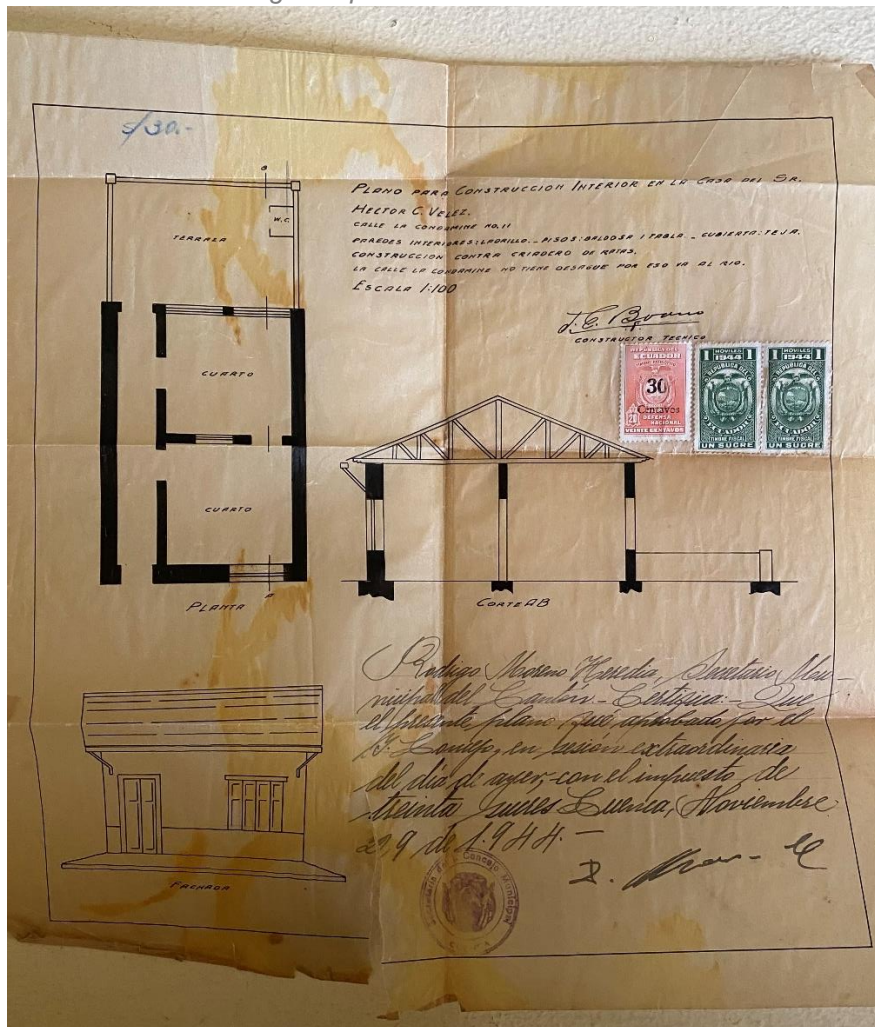
Fuente: Unidad de Planificación Física, Universidad de Cuenca, 2008

Anexo A1. Plano de remodelación, Casa Universitaria - Casa Vélez



Fuente: Unidad de Planificación Física, Universidad de Cuenca, 2008

Anexo B1. Planos antiguos aprobados en 1944



Fuente: Compartido por la Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma, 2024

Anexo C1. Bosquejo de fachada diseñada por el Sr. Héctor C. Vélez



Fuente: Compartido por la Sra. Clara Elsa Vélez Ledesma, 2024

Anexos digitales

En el siguiente link se encontrarán los anexos digitales. Los cuales constan de fotografías, videos, entrevistas, fichas de levantamiento, etc.

https://drive.google.com/drive/folders/1ajVhRQYLm3hdO_Rdb1s6EHw0SmPjKKH6?usp=sharing

O también se podrá tener acceso escaneando el código QR.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Para tener acceso a las fotografías 360° se puede hacer uso del siguiente link.

<https://kuula.co/share/collection/7c2T1?logo=1&info=1&fs=1&vr=0&sd=1&thumbs=1>

O también se podrá tener acceso escaneando el código QR.



Fuente: Elaboración propia, 2024.