



Diseño de un modelo de información geoespacial basado en HBIM para la documentación 3D de bienes patrimoniales del Centro Histórico de Quito

Mosquera Punguil, Geovanna Elizabeth

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente

Ing. Pérez Salazar, Pablo Roberto

1 de abril del 2020



<http://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/906/1/POVEDA%20LUNA%20LUIS%20ANDRES.pdf>
<https://web.ua.es/es/dama/documentos/dama1/charquero.pdf> <https://docplayer.es/66978041-Departamento-de-ciencias-de-la-tierra-y-la-construccion-carrera-de-ingenieria-geografica-y-del-medio-ambiente.html>

Instances where selected sources appear:

69

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "P. Salazar", written over a horizontal dotted line.

Pérez Salazar Pablo Roberto

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Diseño de un modelo de información geoespacial basado en HBIM para la documentación 3D de bienes patrimoniales del Centro Histórico de Quito**” fue realizado por la señorita **Mosquera Punguil, Geovanna Elizabeth** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 05 abril de 2021

Firma:

Pérez Salazar Pablo Roberto

C. C.1706363791



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

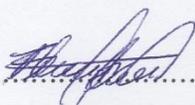
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Mosquera Punguil, Geovanna Elizabeth**, con cédula de ciudadanía n° 1727177832, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño de un modelo de información geoespacial basado en HBIM para la documentación 3D de bienes patrimoniales del Centro Histórico de Quito** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 07 de abril de 2021

Firma

.....


Mosquera Punguil Geovanna Elizabeth

C.C.: 1727177832



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Mosquera Punguil, Geovanna Elizabeth**, con cédula de ciudadanía n° 1727177832, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño de un modelo de información geoespacial basado en HBIM para la documentación 3D de bienes patrimoniales del Centro Histórico de Quito** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 07 de abril de 2021

Firma

Mosquera Punguil, Geovanna Elizabeth

C.C.: 1727177832

Dedicatoria

A mis padres, Mario Mosquera y Mónica Punguil; mis hermanos, Alexis Mosquera y Mirely Mosquera. Todo lo que hago siempre es por ustedes. Son mi fuerza, mi motivación.

A todos mis familiares que me brindaron una palabra de apoyo para que continuara con mis sueños. Sin darse cuenta sus palabras de aliento llegaron en el momento en que más lo necesitaba y me motivaron a seguir adelante. Esto también es por ustedes

Agradecimientos

Agradecida eternamente con mis padres y mis hermanos. En este título que hoy logro alcanzar esta mi nombre, pero el esfuerzo y el sacrificio siempre fue de los cinco. Siempre fuimos cinco durante todo este viaje. Las palabras jamás serán suficientes para demostrarles mi gratitud.

A todos mis amigos de la U, la amistad, el apoyo que fuimos unos para otros, las experiencias, hicieron que esta aventura sea inolvidable. Gracias “Las Carishinas”, gracias “La Banda”, las vivencias que tuvimos en la universidad las llevo en el corazón. A mis grandes amigos José, Fito, David, Dowal, Edison; cada uno en diferentes etapas de mi vida, fue y sigue siendo un gran apoyo.

A los ingenieros, por toda su ayuda académica y experiencias de vida que compartieron. Y a todas las personas que fueron parte de esta etapa de mi vida.

Finalmente, agradecer a Dios, durante este tiempo me ayudo a sobrellevar todas las situaciones que se me presentaron. Gracias a su bendición, he logrado cumplir una meta más.

Índice de Contenido

Urkund.....	2
Certificación.....	4
Responsabilidad.....	5
Autoría.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos.....	8
Índice de Contenido.....	9
Índice de Tablas.....	13
Índice de Figuras.....	14
Resumen.....	18
Abstract.....	19
Capítulo I.....	20
Introducción.....	20
Antecedentes.....	20
Definición del problema.....	22
Justificación.....	22
Descripción del área del estudio.....	23
Objetivos.....	28
Objetivo general.....	28

	10
Objetivos específicos.....	29
Metas	29
Capitulo II.....	31
Marco Teórico.....	31
Modelo de Información Geoespacial	31
Modelo de información de construcción (BIM)	31
Definición	31
Dimensiones	33
Software BIM.....	36
Bienes Patrimoniales	37
Bienes Inmuebles.....	38
Documentación tradicional	38
Modelo de información de construcción histórica/patrimonial (HBIM).....	39
Definición	39
Adecuación de BIM al patrimonio	39
Dimensiones del HBIM	42
Técnicas para registro 3D.....	44
Escaneo laser terrestre	45
Fotogrametría de rango corto	46
Software para modelación 3D.....	50
Agisoft PhotoScan.....	50

	11
Pix4D	50
PhotoModeler.....	51
Control de calidad	51
Método NIST	55
Muestra	58
Teorema del límite central.....	58
Amenazas de bienes patrimoniales.....	58
Amenazas naturales.....	59
Amenazas Antrópicas.....	61
Capítulo II.....	63
Metodología.....	63
Procedimiento general	63
Primera dimensión (1D)	64
Sistema de información	64
Nivel de detalle y precisión.....	65
Proceso fotogramétrico	65
Formatos de información digital.....	69
Segunda dimensión (2D)	69
Información patrimonial gráfica.....	69
Información alfanumérica	74
Tercera dimensión (3D)	77

	12
Georreferenciación.....	77
Modelación 3D	78
Vincular información alfanumérica.....	83
Control de calidad datos HBIM	85
Cuarta dimensión (4D).....	89
Simulación del deterioro	89
Diseño del modelo de información geoespacial	89
Difusión del modelo de información geoespacial.....	90
Difusión web.....	90
Difusión física.....	91
Capítulo IV.....	92
Resultados y discusiones.....	92
Primera dimensión (1D)	92
Proceso fotogramétrico	92
Segunda dimensión (2D)	95
Información patrimonial gráfica	95
Información alfanumérica	98
Tercera dimensión (3D)	101
Modelado 3D.....	101
Vincular información alfanumérica.....	106
Control de calidad datos HBIM	111

Cuarta dimensión (4D).....	123
Simulación de deterioro.....	123
Diseño del modelo de información geoespacial	124
Difusión del modelo de información geoespacial.....	125
Difusión web.....	125
Difusión física.....	125
Capítulo V.....	127
Conclusiones y Recomendaciones.....	127
Conclusiones	127
Recomendaciones	129
Referencias Bibliográficas.....	130

Índice de Tablas

Tabla 1 Coordenadas Geográficas del área de estudio.....	25
Tabla 2 Descripción de elementos de calidad para datos BIM.....	52
Tabla 3 Amenazas propuestas.....	64
Tabla 4 Especificaciones de la cámara	66
Tabla 5 Concentración anual de SO ₂ (ug/m ³)	78
Tabla 6 Promedio anual de Temperatura (°C).....	79
Tabla 7 Promedio anual de Radiación (W/m ²)	79
Tabla 8 Control elementos de calidad	87

Tabla 9 Coordenadas de los GCP's	93
Tabla 10 Elemento de control: linaje	112
Tabla 11 Elemento de control: omisión	113
Tabla 12 Elemento de control: consistencia de dominio	120
Tabla 13 Elemento de control: consistencia de formato	122

Índice de Figuras

Figura 1 Avenida García Moreno “Calle de las 7 cruces”	24
Figura 2 Ubicación del área de estudio.....	25
Figura 3 Centro Comercial Pasaje Amador.....	26
Figura 4 Casa Parroquial El Sagrario.....	27
Figura 5 Casa Vásquez Gómez	28
Figura 6 Flujo de trabajo BIM.....	32
Figura 7 Dimensiones del BIM	37
Figura 8 Aplicaciones BIM y Aplicaciones conectable.....	36
Figura 9 Dimensión de BIM vs dimensiones HBIM	44
Figura 10 Funcionamiento del escaneo laser.....	45
Figura 11 Funcionamiento del Structure from Motion.....	47
Figura 12 Disposición de la cámara según el escenario	48
Figura 13 Elementos de calidad propuestos para datos BIM	51
Figura 14 Límites de aceptación método NIST	57
Figura 15 Colapso de construcciones por lluvias	60

Figura 16 Afección al patrimonio por manifestaciones	62
Figura 17 Procedimiento general del proyecto.....	63
Figura 18 Distancia al objeto	66
Figura 19 GCP's de referencia.....	71
Figura 20 Calibración de la cámara	70
Figura 21 Alineación de fotografías	71
Figura 22 Ubicación GCP's.....	72
Figura 23 Nube de puntos	72
Figura 24 Malla tridimensional texturizada	73
Figura 25 Ortofoto de la fachada	74
Figura 26 Información patrimonial del SICPE	75
Figura 27 Configurar ubicación del proyecto.....	78
Figura 28 Importación Cartografía	79
Figura 29 Importación Ortofoto	79
Figura 30 Perímetro de lote y bloque constructivo	80
Figura 31 Representación 3D bloque constructivo.....	80
Figura 32 Alzado fachada	81
Figura 33 Medición de profundidad.....	82
Figura 34 Vista frontal fachada 3D.....	82
Figura 35 Vista lateral fachada 3D	83
Figura 36 Propiedades modelo 3D según formato INPC.....	84

Figura 37 Amenazas como propiedades.....	84
Figura 38 Medida real.....	85
Figura 39 Medida modelo 3D.....	86
Figura 40 Simulador de edificación.....	99
Figura 41 Subprocesos dimensión (1D).....	90
Figura 42 Diseño página web.....	91
Figura 43 Diseño folleto.....	91
Figura 44 Ortofoto Casa Parroquial El Sagrario.....	95
Figura 45 Georreferenciación Casa Parroquial El Sagrario.....	96
Figura 46 Ortofoto Pasaje Amador.....	96
Figura 47 Georreferenciación Pasaje Amador.....	97
Figura 48 Ortofoto Local M&M.....	97
Figura 49 Georreferenciación Local M&M.....	97
Figura 50 Ortofoto Local Renitex.....	98
Figura 51 Georreferenciación Local Renitex.....	98
Figura 52 Amenaza natural (Temperatura).....	99
Figura 53 Amenaza natural (Radiación).....	100
Figura 54 Amenaza antrópica (SO ₂).....	101
Figura 55 Representación 3D Casa Parroquial “El Sagrario”.....	102
Figura 56 Representación 3D Pasaje Amador.....	103
Figura 57 Representación 3D local “M&M”.....	104

Figura 58 Representación 3D local “Renitex”	105
Figura 59 Propiedades Casa Parroquial “El Sagrario”	106
Figura 60 Propiedades Centro comercial “Pasaje Amador”	107
Figura 61 Propiedades local “M&M”	108
Figura 62 Propiedades local “Renitex”	109
Figura 63 SO ₂ como propiedad	110
Figura 64 Temperatura como propiedad	110
Figura 65 Radiación como propiedad	111
Figura 66 Método de control NIST	112
Figura 67 Comprobación posición absoluta	123
Figura 68 Simulación de deterioro	124
Figura 69 Modelo de Información geoespacial.....	125
Figura 70 Documento físico (folleto)	126

Resumen

El avance de la tecnología ha generado el desarrollo de herramientas 3D enfocadas a edificaciones virtuales basadas en un entorno BIM (Building Information Modeling). La aplicación del BIM a edificaciones patrimoniales es conocida como HBIM (Heritage Building Information Modeling). En la ciudad de Quito, del inventario de bienes patrimoniales se encarga el Instituto Metropolitano de Patrimonio (IMP), a través de la ficha de registro e inventario de bienes inmuebles. Por ello, en el presente proyecto se diseña un modelo de información geoespacial basado en HBIM para la documentación de 3D de bienes patrimoniales. El modelo consta de 4 dimensiones. En la (1D), se investiga, planifica y establece estrategias para obtener información gráfica y alfanumérica. En la (2D), se genera y/o recopila cartografía, ortomosaicos de las fachadas, información patrimonial y datos de amenazas. En la (3D), se modela en 3D las edificaciones patrimoniales y se vincula con su información alfanumérica. En la (4D), se simula el deterioro que tendrían las edificaciones a causa de las amenazas naturales y antrópicas. Concluyendo que, el modelo de información geoespacial es una guía para la adaptación del HBIM. Los modelos 3D con tolerancia de 15 cm, se aceptaron geoméricamente al 95% de confianza. Mientras que, para la información patrimonial no es posible el control de 6 elementos de calidad. En la simulación, al realizarse con datos teóricos de otras investigaciones, esta no refleja el deterioro real que sufren las edificaciones patrimoniales del Centro Histórico de Quito.

PALABRAS CLAVES

- **HBIM**
- **BIENES PATRIMONIALES**
- **INFORMACIÓN GEOESPACIAL**

Abstract

The advancement of technology has generated the development of 3D tools focused on virtual buildings based on a BIM (Building Information Modeling) environment. The application of BIM to heritage buildings is known as HBIM (Heritage Building Information Modeling). In the city of Quito, the inventory of heritage assets is in charge of the Metropolitan Institute of Heritage (IMP), through the registration and inventory of real estate. Therefore, this project designs a geospatial information model based on HBIM for 3D documentation of heritage assets. The model consists of 4 dimensions. In (1D), one investigates, plans and establishes strategies to obtain graphical and alphanumeric information. . In (2D), cartography, orthomosaics of the facades, heritage information and hazard data are generated and / or collected. In (3D), heritage buildings are modeled in 3D and linked to their alphanumeric information. In (4D), the deterioration that buildings would have due to natural and man-made threats is simulated. Concluding that, the geospatial information model is a guide for the adaptation of the HBIM. The 3D models with a tolerance of 15 cm were geometrically accepted at 95% confidence. Whereas, for the patrimonial information it is not possible to control 6 quality elements. In the simulation, when carried out with theoretical data from other investigations, this does not reflect the real deterioration suffered by the heritage buildings of the Historic Center of Quito.

KEY WORDS

- **HBIM**
- **HERIAGE ASSETS**
- **GEOSPATIAL INFORMATION**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

En los últimos años, el avance de la tecnología aplicada a construcciones, ha generado un importante desarrollo de herramientas 3D aplicadas a edificaciones virtuales basadas en un entorno BIM (Building Information Modeling). Los procesos de diseño arquitectónicos y obras civiles tienen un valor agregado, debido a la automatización de los mismos y la gestión de datos que disminuyen el tiempo y los recursos en el diseño, construcción y mantenimiento de obras (Jiménez, 2019).

La idea del desarrollo de modelos de información 3D aplicados a edificaciones viene desde 1974, año en que, Charles Eastman et al. (citado en BIM Community, 2018), presentaron su investigación “Esquema del Sistema de Descripción de Edificación (Building description System)”. Allí sentaba las bases y la posibilidad de manejar la data de un proyecto de edificación utilizando métodos de computación 3D. Diseñó un ensamble de hardware y un sistema de definición geométrica que fueron la chispa para el inicio del Modelado de Información de Edificios (BIM).

Para 1986, la empresa Graphisoft lanzó el paquete ArchiCAD con el concepto de ‘Edificio Virtual’ que permite al usuario almacenar y manejar datos para generar información 2D y 3D a partir de computadoras personales. En 2002, Autodesk con la adquisición de Revit Technology Corporation presenta “una nueva estrategia para la aplicación de tecnología de la Información a la Industria de la construcción en 3D”: Building Information Modeling (BIM) (BIM Community, 2018).

Murphy, McGovern y Pavía (2013) plantea la necesidad de adoptar un modelo de información para edificaciones patrimoniales y emplea por primera vez el término

“Heritage Building Information Modeling (HBIM)”. Establecen una metodología para la creación de modelos 3D con láser y fotogrametría, el diseño de una biblioteca de objetos y la integración de información a estos modelos que sirven para el análisis y conservación de objetos, estructuras y entornos históricos.

Por su parte, Castellano (2013) emplea el término “Modelado de Información Patrimonial (HIM, del inglés Heritage Information Modelling)”. Determina que la aplicación del BIM a edificaciones patrimoniales, depende del objetivo que persiga el modelo (conservación, protección jurídica, difusión) para con ello, identificar la información a ser recopilada: estado de conservación, materiales, personal y periodos de intervención, etnografía, entre otros.

En la ciudad de Quito, el Instituto Metropolitano de Patrimonio (IMP) es la entidad encargada de la documentación de bienes patrimoniales a través de un Inventario de Bienes Patrimoniales. Contiene información de evaluación física, registro de intervenciones de los bienes patrimoniales, e información sobre las características urbanas, ambientales....” y otras (Ordenanza Metropolitana 0260, 2008).

La información se procesa en el Sistema de Información del Patrimonio Cultural Ecuatoriano (SIPCE). Representa un insumo para realizar planes de gestión y manejo del patrimonio cultural (investigación, conservación, restauración, rehabilitación, prevención de riesgo y difusión patrimonial) que realizan los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) (INPC, 2011). El sistema se alimenta de fotografías y datos levantados en fichas de inventario. Es de acceso libre y permite realizar consultas sobre estadísticas, ubicación e información alfanumérica de los bienes patrimoniales (INPC, 2011) (INPC, 2017).

Definición del problema

La ciudad de Quito al ser declarada en 1978 como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia, y la Cultura (UNESCO) tiene la responsabilidad de proteger los bienes patrimoniales para conservar y fortalecer la identidad cultural (Alvarado, 2015). El proceso para documentar de manera gráfica bienes patrimoniales aún se realiza con fotografías y sin ningún vínculo directo con su respectiva información alfanumérica. Esto aumenta la probabilidad de hallar inconvenientes en la ejecución de actividades o intervenciones sobre el bien, pues lo que se planifica en dos dimensiones se aplica en la realidad sobre un objeto tridimensional. Es ahí, donde comienzan a surgir contratiempos con respecto al plazo de ejecución, personal, recursos económicos u otros.

Ante las amenazas naturales y antrópicas a las que están expuestas los bienes y que influyen en el deterioro de los mismos. Si se llegará a perder información patrimonial su interpretación quedaría sujeta a la subjetividad, lo que implicaría ocupar aún más recursos. Poniendo en riesgo la pervivencia de algunos objetos que pueden resultar profundamente alterados y perder parte de sus valores esenciales (IMP, 2010). Actualmente, las nuevas tecnologías 3D aplicadas a edificaciones patrimoniales permiten obtener información lo más realista posible del bien, que sirve de apoyo para la toma de decisiones, planificación y gestión.

Justificación

Quito, la cuna del arte colonial del Ecuador a través del IMP levanta información de bienes por medio de fotografías y fichas que sirven de insumos para realizar planes de gestión y manejo de bienes patrimoniales (INPC, 2011). La digitalización y documentación del patrimonio usando diferentes técnicas involucra tiempo y gastos considerables (Ruiz, 2016 citado en Lisintuña y Molina, 2017).

Un modelo de información basado en HBIM propone trabajar sobre una representación 3D del bien patrimonial que se vincula con su respectiva información alfanumérica. Esto influye a corto o largo plazo en la planificación de proyectos, planes de acción ante amenazas naturales y antrópicas, detección temprana de inconvenientes y establecer soluciones pertinentes, resultando todo en una reducción y optimización de recursos (Auquilla y Chalán, 2019). Con ello, la información patrimonial no solo que perdura en el tiempo con sus características reales intactas, sino también que es replicable y multipropósito para beneficio de las generaciones presentes y futuras.

Es importante contar con herramientas que ayuden y mejoren la gestión del patrimonio para conservar y preservar de manera adecuada toda la información patrimonial. En los últimos años, la cultura ha sido un campo que ha generado importantes ingresos económicos para el país (Nieto, 2013) La economía naranja, economía basada en la transformación de ideas a bienes o servicios culturales; en el 2019 representó el 1,93% del PIB nacional y para el 2021 se pretende que alcance el 3% (Secretaría General de Comunicación de la Presidencia del Ecuador, 2019).

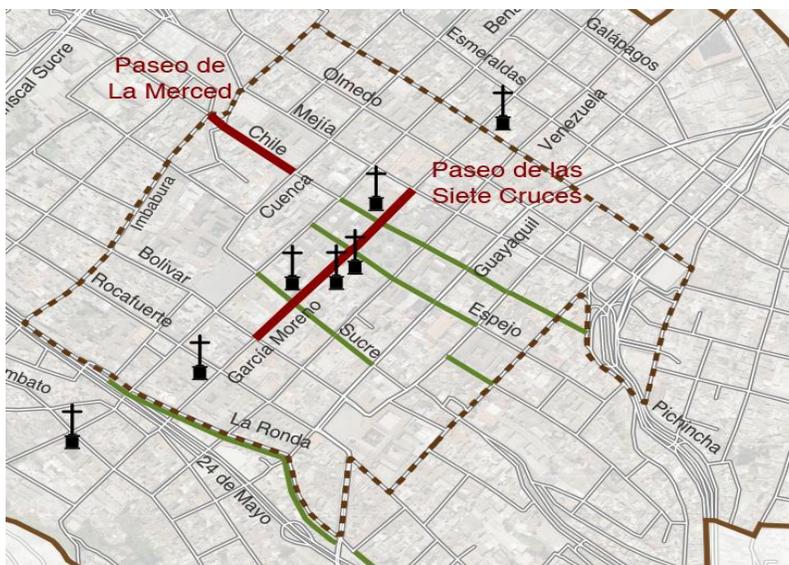
Descripción del área del estudio

El 8 de septiembre de 1978, Quito fue declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por su Centro Histórico, visiblemente el mejor conservado, el más extenso y menos alterado de América Latina. Posee alrededor de 40 iglesias, 16 conventos y monasterios, y 5000 inmuebles patrimoniales (La Hora, 2017). Una de las calles más famosas del Centro Histórico de Quito (CHQ) es la García Moreno, también conocida como “Las Siete Cruces” tiene 1.5 km de largo y recorre en su totalidad el CHQ (Arguello et al., 2016).

En el siglo XVI fue denominada De las Siete Cruces debido a que los conventos e iglesias católicas que se ubican sobre ella, con los años fueron levantando varias cruces de piedra que servían como altares populares durante la celebración anual del Corpus Christi (Arguello et al., 2016). Estas 7 cruces se encuentran ubicadas en la Capilla del Hospital Psiquiátrico San Lázaro, la iglesia de El Carmen Alto, La Compañía, El Sagrario, la Catedral, La Concepción y Santa Bárbara (El Comercio, 2011) (ver figura 1). A finales del siglo XIX, fue renombrada como Carrera García Moreno en homenaje al presidente Gabriel García Moreno, quien murió en 1875, asesinado en la misma calle, frente al Palacio de Carondelet (Arguello et al., 2016).

Figura 1

Avenida García Moreno “Calle de las 7 cruces”



Nota. Recuperado de Instituto de la Ciudad (2018).

El proyecto se realizó en 4 edificaciones ubicadas a la izquierda de la vía García Moreno, entre la calle Eugenio Espejo y Sucre (ver figura 2), del Centro Histórico de la

ciudad de Quito, provincia de Pichincha. Se intervinieron solo las fachadas de las edificaciones patrimoniales. En la Tabla 1, se presentan las coordenadas geográficas del área de estudio.

Tabla 1

Coordenadas Geográficas del área de estudio

N°	Ejes viales	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1	Sucre y García Moreno	0° 13'14.09" S	78° 30'51.59"O
2	Eugenio Espejo y García Moreno	0° 13'12.48" S	78° 30' 46.04"O

Nota. Recuperado de Google Earth. Pro 6.0 (2016).

Figura 2

Ubicación del área de estudio



A continuación, se presenta una breve descripción de los inmuebles patrimoniales más reconocidos del área de estudio:

El Pasaje Amador llamado Pasaje Royal en un inicio, fue construido en 1928 con estilo francés. Se reconstruyó en 1952 y presuntamente fue, el primer centro comercial del país para la época. Su inauguración contó con la presencia del presidente, Galo Plaza Lasso y de autoridades de la Iglesia (Arguello et al., 2016) (Últimas noticias, 2016). “El pasaje es una de las primeras expresiones de la introducción en Quito del estilo internacional, en circunstancias en las que tendencias modernizantes no estaban limitadas por leyes de protección del centro histórico” (Ortiz, Peralto y Moreira, 2004).

Figura 3

Centro Comercial Pasaje Amador



Nota. Recuperado de La hora (2013).

La Casa Parroquial del Sagrario dataría al menos de la primera mitad del siglo XVIII. Fue el escenario de las reuniones previas de los patriotas quiteños que dieron el

primer grito de independencia el 10 de agosto de 1809 y vivienda de Manuela Cañizares (Ortiz, Peralto y Moreira, 2004). La casa pasó a recibir su denominación actual tras la erección de la parroquia El Sagrario el 4 de noviembre de 1694. En su archivo alberga importantes documentos de nacimiento, bautismo y defunción de los más importantes personajes de la historia quiteña (López, 2016).

Figura 4

Casa Parroquial El Sagrario



Nota. Recuperado de La hora (2009).

La Casa Vásconez Gómez o también conocida como Casa Cornejo Cevallos. Fue ocupada por primera vez a mediados del siglo XVI por los primeros jesuitas que llegaron a la ciudad de Quito. Allí levantaron un colegio, la escuela de primeras letras, una residencia y una iglesia provisional dedicada a San Jerónimo. En la década de 1560, fue convertida en ese entonces en el nuevo Seminario Mayor San Luis bajo el auspicio del obispado. Para 1786 la convierten en hospicio para las tropas que habían desocupado a los jesuitas de sus tierras en El Panecillo, mudando el seminario al

convento de La Compañía. A mediados del siglo XIX la casa es vendida a José Cornejo Ribera y su esposa Dolores Cevallos Acosta, quienes en 1863 la derrocaron para reconstruirla a como se ve en la actualidad. En 1911 la casa fue heredada por Dolores Cornejo Cevallos y luego por Rafael Vásconez Gómez, por lo que también es conocida como Casa Vásconez Gómez (López, 2015).

Figura 5

Casa Vásconez Gómez



Nota. Recuperado de López (2015)

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un modelo de información geoespacial basado en HBIM para la documentación 3D de bienes patrimoniales del Centro Histórico de Quito.

Objetivos específicos

- Proponer una metodología según HBIM hasta la dimensión 4 para documentación 3D de bienes patrimoniales
- Aplicar el modelo de información geoespacial a una zona emblemática del Centro Histórico de Quito para demostrar su funcionalidad
- Planificar y ejecutar el proceso fotogramétrico para la generación de modelos tridimensionales
- Controlar la calidad de los modelos 3D para evaluar el proceso fotogramétrico empleado
- Desarrollar una base gráfica y alfanumérica para documentar información geoespacial patrimonial
- Incorporar al modelo de información amenazas naturales (radiación, temperatura) y antrópicas (lluvia ácida por contaminación) para analizar su influencia en el deterioro del bien
- Difundir el modelo de información geoespacial y sus productos a través de un servidor gratuito en la web
- Crear material comunicacional físico para promocionar y divulgar el modelo de información geoespacial

Metas

- Un flujograma con los procesos propuestos para el diseño del modelo de información geoespacial hasta la 4 dimensión con la incorporación de amenazas naturales y antrópicas
- Un modelo 3D de la zona emblemática de la ciudad de Quito con su correspondiente información patrimonial

- Un documento con la metodología para la toma de fotografías y monografías de los puntos de control
- Un cuadro de resultados estadísticos aplicados para el control de calidad de los modelos 3D
- Una base de datos estructurada para documentar información gráfica y alfanumérica de bienes patrimoniales para escala 1:500
- Un mapa de amenazas naturales (temperatura, radiación) para analizar su influencia en el deterioro del bien patrimonial
- Un mapa de amenazas antrópicas (lluvia ácida por contaminación) para analizar su influencia en el deterioro del bien patrimonial
- Una interfaz de usuario para la difusión del modelo de información geoespacial y sus productos a través de la web
- Diez documentos impresos con información para la promoción y divulgación del modelo de información geoespacial

Capítulo II

Marco Teórico

Modelo de Información Geoespacial

Según la Real Academia Española (RAE, s.f), un modelo es un arquetipo o punto de referencia para ser imitado, por su perfección. Un modelo de información, es una representación de conceptos, relaciones, restricciones, reglas y operaciones aplicables a un conjunto de datos dentro de un dominio específico. “Proporciona una estructura compartible, estable y organizada de requisitos de información para el contexto del dominio” (Lee, 1999). Gestionar la información desde un modelo implica un conjunto de procesos que permiten controlar el ciclo de vida de la información: obtención (por creación o captura); manipulación, uso o modificación y disposición final (almacenamiento o eliminación) (TOXIMED, 2017).

Un modelo de información geográfica, es un modelo que conceptualiza la realidad geográfica (como se interpreta esa realidad), sus atributos y comportamiento (Olaya, 2014). Contiene información espacial (conjuntos de valores pertenecientes a variables espaciales, imágenes digitales, etc.), estructurada de forma dual. Una de sus ramas se compone por grafos de elementos y sus propiedades, relacionados y categorizados. La estructura de la otra rama será tan flexible como para asimilar información adicional del paisaje (Cebrián, 1994).

Modelo de información de construcción (BIM)

Definición

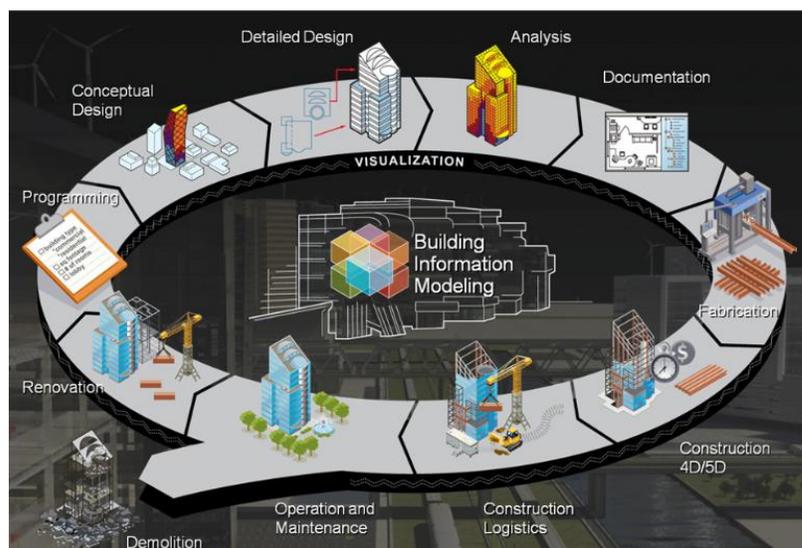
Building Information Modeling (BIM) es un modelo de información con el cual se trabaja en el sector de la construcción. Castillo (citado en Martínez, 2018) define a BIM como una metodología que sirve para crear, gestionar y almacenar

estructuradamente, información sobre las etapas y las distintas partes de la construcción y las relaciones entre ellas. Todo lo que concierne a su geometría, a la relación con el espacio, al emplazamiento geográfico y a todas las cantidades y componentes del edificio (Osca, 2017).

Según Eastman (citado en Moreno, 2017) BIM es una metodología de trabajo que involucra procesos, herramientas y personas, que permite facilitar la documentación digital sobre un edificio, su desempeño, su planificación, su construcción y su operación. Permite de manera virtual a todos los miembros del equipo de trabajo (propietario, arquitectos, ingenieros, contratistas y demás involucrados) colaborar y trabajar sobre un mismo y único modelo para asegurar que este, sea lo más preciso posible.

Figura 6

Flujo de trabajo BIM



Nota. Recuperado de Autodesk Inc, citado en Acuña (2016)

Dimensiones

Un proyecto realizado con BIM tiene un ciclo de vida extenso que acompaña todas las etapas por las que pasa un proyecto real (Osca, 2017). Por ello, se ha desarrollado un marco de referencia con parámetros de trabajo colaborativo, procesos y herramientas en un entorno simultáneo que permita implantar la metodología a todos los niveles (Bermejo, 2018). Estas etapas son siete y en BIM son conocidas como dimensiones.

La dimensión BIM se refiere, a la profundidad del modelo realizado pasando por todas las etapas de vida de la estructura o solo una fracción de esta, sin embargo, estas dimensiones están asociadas a unos niveles de implementación BIM, a mayor nivel de implementación mayor cantidad de dimensiones se abarcan (Pérez, 2019). Aunque en la primera y segunda dimensión no se hace uso de software BIM, estas etapas son necesarias porque se establecen lineamientos para el desarrollo del proyecto.

Primera dimensión (1D). Etapa donde se realiza toda la investigación. Se desarrolla la idea del proyecto y se definen las condiciones de partida necesarias para su modelado, es decir, la normativa, materiales, condiciones ambientales, viabilidad, equipos y software a usar. etc. No se emplea ningún software BIM pero se desarrolla un diseño previo del proyecto que suponen la base del mismo (Osca, 2017) (Álvarez, s.f).

Segunda dimensión (2D). Consiste en el empleo del método tradicional CAD, es decir el diseño asistido por computadora de modelos compuestos por vectores. El objetivo final de esta dimensión es obtener planos constructivos y definir características fundamentales para luego elaborar el modelo de tres dimensiones

(Pérez, 2019). También se crea toda la documentación de sustento al proyecto; se definen los objetivos, el alcance, los entregables, etc (Álvarez, s.f).

Tercera dimensión (3D: Modelo tridimensional). “Se fundamenta en la generación de un modelo virtual tridimensional donde quedan plasmados todos los elementos con su geometría real y su posición correcta” (Bermejo, 2018). Realizar este modelado no es únicamente representar el objeto en 3D, también es una representación paramétrica, introduciendo datos de dimensiones, materiales, textos y cualquier característica que defina el elemento que simule las características de la estructura real (González, 2015).

Cuarta dimensión (4D: Programación). La principal característica de esta dimensión es la temporalidad. Al modelo 3D se le añadirá información referente a la programación y tiempos de ejecución de cada etapa (Pérez, 2019). Incluyendo la variable tiempo ligada al modelo se puede controlar la dinámica del proyecto, realizar simulaciones de las diferentes fases de la ejecución de la obra o diseñar el plan de ejecución, revisiones del estado de demora o adelanto y compartirlo con todos los oficios, empresas y demás agentes intervinientes en el proceso (Bermejo, 2018; González, 2015).

Quinta y sexta dimensión (5D: Costes y 6D: Sostenibilidad). La quinta dimensión comprende el análisis y estimación de costes del modelo, siendo posible estimar el costo asociado de la estructura en cada etapa (Pérez, 2019). En combinación con otros servicios BIM permite crear presupuestos, controlar el coste total del ciclo de vida y almacenar la información exacta durante su uso/mantenimiento (Bermejo, 2018). La sexta dimensión permite conocer el comportamiento del edificio antes de ser construido, en cuanto al uso energético, durabilidad en el tiempo de los

materiales, diseño medioambiental, conductividad térmica, el aislamiento acústico, viscosidad, lúmenes, potencias o reflectividad entre otras (González, 2015).

Séptima y octava dimensión (7D: Gestión y mantenimiento y 8D:

Prevención de Riesgos). En la gestión y mantenimiento se trata de dotar al modelo información acerca de las operaciones que hay que seguir una vez constituido e iniciado el funcionamiento del edificio (Auquilla y Chalán, 2019). EL objetivo en esta etapa es planificar las operaciones de mantenimiento, reparaciones, renovación y de ser el caso, demolición (Pérez, 2019). Bermejo (2018) menciona que en la actualidad, las 7 dimensiones antes mencionadas son las que se encuentran constatadas en el mundo BIM, “aunque hoy en día se está empezando a mencionar la dimensión 8D, correspondiente al concepto de Seguridad y Salud –Prevención de Riesgos Laborales”. Esta dimensión tiene como objetivo identificar los riesgos lo antes posible para la prevención de accidentes que pretende ayudar a eliminar estas fuentes de riesgo que se dan desde la fase de diseño del proyecto (León, 2018).

Figura 7

Dimensiones del BIM



Nota. Recuperado de Certificate BIM (2016).

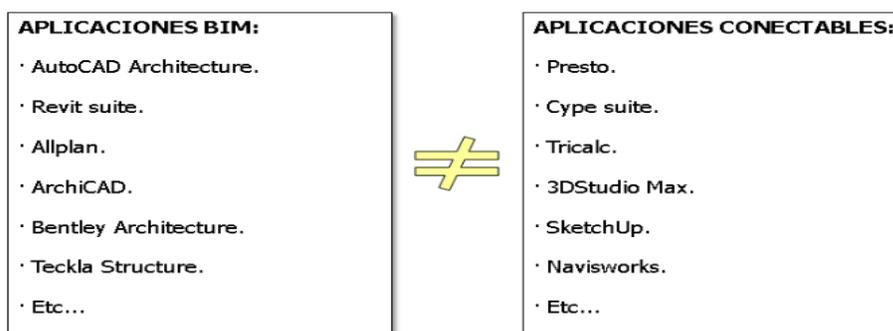
Software BIM

Una herramienta BIM es poco más que un sistema de gestión de base de datos con una interfaz gráfica de usuario (Weygant, 2011, citado en Ariza y Ariza, 2016). Un software BIM está basado en objetos y permite establecer bases de datos relacionales, dichos objetos deben corresponder a categorías o clases constructivas o arquitectónicas (Alarcón Lopez, Martínez Cava, y Martínez Gomez, 2013 citado en González, 2015).

Por otro lado, están las herramientas que no se adaptan del todo al BIM, pero están preparadas para conectarse con aplicaciones BIM (ver figura 7) y extraer de los modelos información que les sea útil. “Por ejemplo, la aplicación de mediciones Presto, es capaz de leer las mediciones incluidas en los modelos de ArchiCAD y aplicarles partidas y precios, gracias a que este último es capaz de vincular partidas de medición a elementos constructivos” (Coloma, 2008).

Figura 8

Aplicaciones BIM y Aplicaciones conectable



Nota. Recuperado de Coloma (2008).

Autodesk Revit Architecture. Permite realizar un modelo 2D y 3D inteligente para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructuras. Su uso se aplica en la arquitectura, estructura, mecánica, fontanería, electricidad y coordinación. La implementación del uso de fases, permiten determinar el proceso de obra de un proyecto o de una remodelación (Osca, 2017).

Graphisoft ArchiCAD. Permite a los usuarios trabajar con objetos paramétricos, usualmente llamados “Smart objects”. Crear representaciones virtuales mediante elementos constructivos inteligentes, tales como paredes, techos, puertas, ventanas, etc. Usando un sistema de capas o la forma de plotteado mediante plumillas al igual que Autocad (Osca, 2017).

NemetschekAllplan. La versión actual 2017, cuenta con un administrador de tareas para la asignación y seguimiento de tareas a los participantes del grupo de trabajo. El control de colisiones detecta errores de planificación en una etapa temprana. Los dibujos 2D y 3D se pueden parametrizar con PythonParts basados en el lenguaje de programación Python (Allplan, 2017)

Bentley Architecture. La organización del modelo BIM es flexible. Separa los modelos tridimensionales de los bidimensionales y la actualización en uno y otro sentido es manual. La navegación por los diseños se realiza por medio de hipervínculos en modelos y dibujos que vinculan especificaciones, cálculos de ingeniería y documentación sobre equipos a los modelos y diseños para contribuir a las operaciones de construcción (Bentley, s.f)

Bienes Patrimoniales

La definición elaborada por la Conferencia Mundial de la UNESCO sobre el Patrimonio Cultural (Declaración de México, 1982, art.23, citado en Almagro et al.,

2014) menciona “el Patrimonio Cultural de un pueblo comprende las obras de sus artistas, arquitectos, músicos, escritores y sabios, así como las creaciones anónimas, surgidas del alma popular, y el conjunto de valores que dan sentido a la vida, es decir, las obras materiales y no materiales que expresan la creatividad de ese pueblo; la lengua, los ritos, las creencias, los lugares y monumentos históricos, la literatura, las obras de arte y los archivos y bibliotecas”. Es la herencia cultural del pasado, mantenida en el presente y transmitida a las generaciones venideras (UNESCO, 2017, citado en Building SMART, 2018)

Bienes Inmuebles

El Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (2011) define a los bienes inmuebles como:

Aquellas obras o producciones humanas, que no se pueden trasladar de un lugar a otro y están íntimamente relacionadas con el suelo. Los bienes inmuebles conservan valores históricos, culturales y simbólicos con características tipológicas, morfológicas y técnico-constructivas de singular importancia como arquitectura: civil, religiosa, vernácula, industrial, funeraria, haciendas y yacimientos arqueológicos.

En esta categoría se ubican pueblos y ciudades, parques, plazas, caminos, vías y puentes, cementerios, haciendas y molinos que por sus características estéticas, tecnológicas, constructivas, de autenticidad, valoración social y testimonial, encierran valores particulares que permiten interpretar las formas de pensar, de ser y hacer de las sociedades a lo largo del tiempo

Documentación tradicional

En la ciudad de Quito del registro e inventario del patrimonio arqueológico, arquitectónico y urbanístico se encarga el Instituto Metropolitano de Patrimonio (IMP)

(IMP, 2010). Siguiendo las directrices “Instructivo para fichas de registro e inventario para Bienes Inmuebles” publicado en 2011 por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC). Con la finalidad de brindar directrices normatizadas para el levantamiento de información patrimonial a nivel nacional que posterior se procesa en el Sistema de Información del Patrimonio Cultural Ecuatoriano (SIPCE) (INPC, 2011). En el anexo A se presenta el formato de la ficha usada para el registro e inventario de bienes patrimoniales inmuebles.

Modelo de información de construcción histórica/patrimonial (HBIM)

Definición

Heritage/Historic Building Information Model (HBIM) es una adaptación del BIM para la gestión de información de edificaciones patrimoniales. El concepto H-BIM comenzó a ser desarrollado desde el 2009 por Murphy et al. (citado en Murphy, McGoven y Pavía, 2013), indicando que el objetivo que persigue el HBIM es el modelado y documentación de los elementos arquitectónicos, de acuerdo con las tipologías artísticas, históricas y constructivas de la edificación patrimonial.

Adecuación de BIM al patrimonio

La principal característica del BIM es la integración de información cuantitativa y cualitativa al modelo 3D de los elementos que lo componen; de las relaciones que pueden establecerse entre ellos y de sus vínculos con documentos externos (Castellano, 2013) por consecuente, HBIM debe seguir los mismos principios básicos. En 2018 la Building SMART publicó la “Guía de usuario BIM aplicada al Patrimonio Cultural” para promover la correcta adaptación del BIM al patrimonio. A continuación se describen algunas pautas claves para la adecuación de BIM al patrimonio histórico construido:

Sistema de información. La información que se implementará sobre el modelo, se define con claridad según los tipos de datos (historia, arqueología, arquitectura, arte, etc.) así como al tipo de trabajos que se desarrollaran con dicha información (investigación, protección, conservación y difusión) que se establecen según el objetivo que persiga el HBIM. Los más comunes son los relativos a: gestión de la información digital, obtención de mediciones y presupuestos, simulación y análisis de las distintas hipótesis constructivas, visualización del modelo 3D con su información asociada y gestión de la explotación y el mantenimiento.

La base de datos debe estar estructurada en base a la secuencia de transformaciones que puede sufrir el bien, así toda la información quedará ordenada de un modo coherente con la propia naturaleza de los bienes culturales. De preferencia se recomienda usar plataformas online que permitan una accesibilidad en tiempo real y un trabajo colaborativo. Por ello, también es necesario establecer formatos abiertos y estándares BIM comunes para la información digital.

Niveles de desarrollo. La representación gráfica de la edificación depende del nivel de detalle requerido. Los niveles de desarrollo específico (LOD) se clasifican en función de los datos que contienen; es decir que, cada nivel representa un cierto grado de detalle de información. La estrategia consiste en subdividir al modelo en las partes necesarias para posteriormente asociar los distintos tipos de datos del sistema de información que esté planificado implementar.

LOD 100. El primer nivel y el más básico o sencillo, pues el modelo no tiene subdivisión alguna, es un elemento unitario. Generalmente son mallas tridimensionales obtenidas de levantamientos con escáner láser o fotogrametría. Al no tener elementos que lo componen tiene menos ventajas para la gestión de la información, pero es el que requiere menor cantidad de recursos para su creación.

LOD 200. En este nivel el modelo unitario se divide en sus cuerpos constructivos fundamentales, es decir, las principales partes que componen el edificio como columnas, alas, pandas, torres, etc. Y su secuencia de transformaciones genérica como las fases, etapas, periodos históricos de cada uno de los cuerpos fundamentales.

LOD 300. El modelo se divide según sus elementos constructivos como por ejemplo: cimentaciones, muros, estribos, vanos, bóvedas, tejados, etc.; componentes más específicos del edificio. A más de su secuencia de transformaciones entre los grados genéricos: fases, etapas, periodos de dichos elementos, actividades y unidades estratigráficas.

LOD 400. El modelo se divide según sus materiales constructivos como sillares, mampuestos, carpinterías, losas, vidrio, madera, hierro, etc.; estos correspondientes a los elementos constructivos. A más de la secuencia de transformaciones entre los grados genéricos: fases, etapas, periodos históricos y actividades (intervención).

LOD 500. El modelo se divide según sus materiales constructivos y su secuencia de transformaciones con el grado de mayor detalle, es decir la descripción de sus unidades estratigráficas. Ese nivel corresponde al máximo nivel de detalle en información, siendo el que cuenta con todos los parámetros necesarios para la gestión de la información. Pero, es el que requiere una mayor cantidad de recursos para su creación.

Modelo 3D centralizado. Durante todo el proyecto se trabaja con un único modelo 3D centralizado que contiene toda la información virtual acerca de la construcción. La estrategia de modelado variará dependiendo de si se van a incorporar

datos constructivos, patológicos, estratigráficos, etc.; del nivel de detalle requerido (LOD) y recursos disponibles. El modelo se puede realizar a partir de proyecciones bidimensionales (documentación de plantas, secciones y alzados del bien) o datos tridimensionales (nubes de puntos o mallas).

La adquisición de datos para generar un modelo con mayor nivel de precisión se realiza con fotogrametría terrestre o aérea y el escáner láser; y de ser posible se apoya con fuentes documentales históricas, descripciones, referencias, croquis grabados y fotografías. La precisión de un modelo 3D se refiere a la exactitud métrica, es decir, que las dimensiones y la geometría del modelo virtual sea lo más cercano a las dimensiones del objeto real.

Dimensiones del HBIM

Las dimensiones se refieren a la forma en que los datos están vinculados al modelo de información. Mientras se avanza ascendentemente en las dimensiones se proporciona una comprensión más completa del proyecto (Merchán et al., 2018). A continuación se describen las modificaciones que según Merchán et al. (2018), el BIM debe sufrir para transformarse en HBIM.

2D. En HBIM, es necesario comenzar con una etapa de documentación donde se recopila toda la información histórica del edificio. Aunque esta sea difícil de hallar, es importante su obtención ya que es la base para toda la planificación de desarrollo del proyecto. Esta dimensión trata de dibujos 2D y especificaciones. El resultado son planos arquitectónicos o referentes y necesarios para el proyecto.

3D. Se centra en la obtención de un modelo 3D del edificio patrimonial. Para ello se pueden usar diferentes tecnologías de capturar (laser, fotogrametría) y el procesamiento. A más de visualizar el edificio en tres dimensiones, debe permitir

actualizaciones de las modificaciones realizadas por el todos los participantes del proceso (inversores, diseñadores, contratistas, gerentes y propietarios).

4D. Incorpora el factor tiempo para planificación. En HBIM se aplica por ejemplo para un proyecto de restauración, que permite la asignación y seguimiento de las actividades y los plazos de tiempo que se deben cumplir. A de más se puede realizar simulaciones de diferentes procesos y encontrar problemas inesperados a tiempo para predecir peligros del proyecto.

5D. Se aborda estimación de costes correspondientes a los índices de productividad, gastos en materiales y mano de obra, etc; para establecer presupuestos, analizar riesgos y provisionar recursos. Cualquier cambio en el diseño de modelo se refleja inmediatamente en el presupuesto y al ser compartido con todos los involucrados se evitan discrepancias y minimizan errores presupuestarios.

6D. Aborda la sostenibilidad en cuanto a eficiencia energética. En HBIM esta dimensión necesita una especial dedicación pues al ser edificaciones antiguas, la mayoría de ellos no están sujetos a las normas de certificación de eficiencia energética. Por lo tanto, la adaptabilidad de esta dimensión dependerá mucho de las características estructurales del edificio.

7D. Cubre la gestión del edificio a lo largo de su ciclo de vida, para un edificio patrimonial, este ciclo se reduce al uso, mantenimiento y reparación. Con esta dimensión la gestión se convierte en un manual a seguir para aplicar dichos procesos. Estos criterios y datos permiten el análisis de esperanza de vida y los costos de reemplazo.

Figura 9

Dimensión de BIM vs dimensiones HBIM

Nota. Recuperado de Merchán et al. (2018).

Técnicas para registro 3D

La visualización en tres dimensiones se introdujo a partir de la aparición de software de diseño gráfico, como AutoCad, que permitió observar, manipular y producir imágenes en tres dimensiones a través de la pantalla de un computador. La ventaja de usar técnicas como la fotogrametría, escaneo laser o con luz estructurada, es la generación de superficies virtuales de alta resolución de manera no invasiva para los bienes. También ofrecen la posibilidad de tomar medidas exactas y análisis, como comparaciones geométricas mediante un software especializado (Dueñas, 2014).

A más, es posible observar información condensada sin perder detalle y realizar acercamientos sin tener que calcular escalas para cada apreciación, lo que permite una visualización general del objeto y de ciertos elementos desde cualquier punto de vista

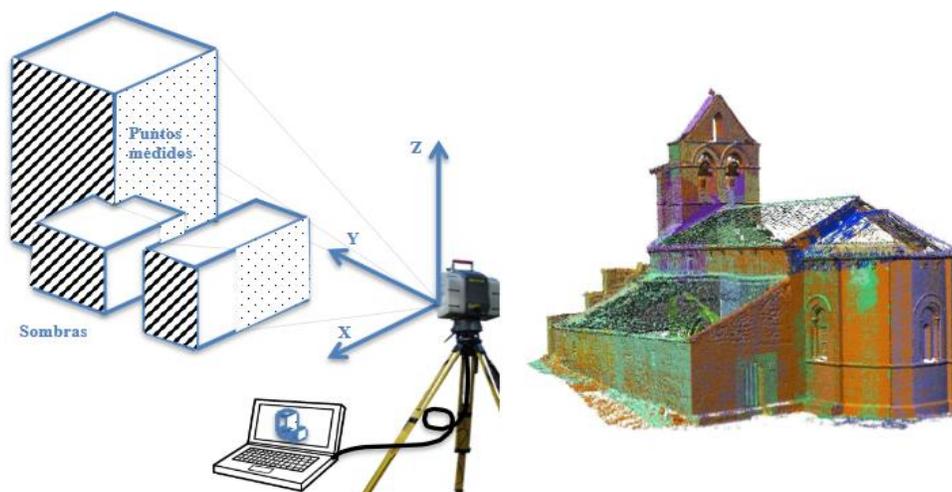
(Dueñas, 2014). La selección de una técnica para la captura de datos gráficos dependerá de las características del objeto, nivel de detalle, plazos de tiempo, recursos económicos y otros factores (López, 2018).

Escaneo laser terrestre

A diferencia del aéreo, este se configura sobre un trípode y no sobre una plataforma aérea. El principio básico mediante el que trabajan estos escáneres es que la fuente del láser emite un haz de luz sobre la superficie del objeto. Este haz rebota y es captado por un sensor óptico (Hanus, 2012, citado en Dueñas, 2014). Mientras el equipo se va desplazando en una dirección, una cámara va registrando la deformación de dicho haz reflejado en el objeto. Un software especializado interpreta las deformaciones y genera una imagen tridimensional bajo la forma de millones de puntos (nube de puntos) con coordenadas geométricas (X, Y, Z), en un entorno digital, con información métrica y radiométrica (Morita y Bilmes, 2015; López, 2018).

Figura 10

Funcionamiento del escaneo laser



Nota. Recuperado de López (2018).

Las principales ventajas de esta tecnología son la alta precisión geométrica, la productividad por el gran volumen de datos medidos en tiempos muy cortos. Sin embargo, existen aspectos en contra que aun hacen de esta técnica poco aplicada. El alto costo de los equipos, personal especializado para su manejo, dificultad de portabilidad, inconvenientes al escanear superficies altamente reflectivas, transparentes u oscuras; son algunas de las desventajas (López, 2018).

Fotogrametría de rango corto

Concepto. La Fotogrametría es una disciplina que abarca conceptos, métodos, procesos y tecnologías para la obtención de fotografías o imágenes digitales aéreas, terrestres o de satélite, con el objetivo de obtener medidas geométricas precisas, exactas y fiables para la producción cartográfica o la reconstrucción de entidades espaciales (Balaguer, s.f).

La fotogrametría tiene una subespecialización llamada fotogrametría de rango corto que se aplica para objetos de unos pocos decímetros hasta 200 metros en su tamaño (Lerma, 2010, citado en Dueñas, 2014). A una distancia superior a 10 cm y menor de 300 m (Balaguer, s.f). Su aplicación se da en el estudio de procesos de cambio o la reconstrucción de objetos arquitectónicos, en medicina, diseño industrial, ingeniería civil, entre otros. En la arquitectura se aplica para la conservación del patrimonio cultural y arquitectónico, teniendo una precisión al 1 cm en el extremo más grande en fotogrametría arquitectónica. Con las fotografías se pueden realizar mediciones de edificios y fachadas, documentación de edificios históricos, medición de deformaciones, modelizado 3D de monumentos, y más (Balaguer, s.f).

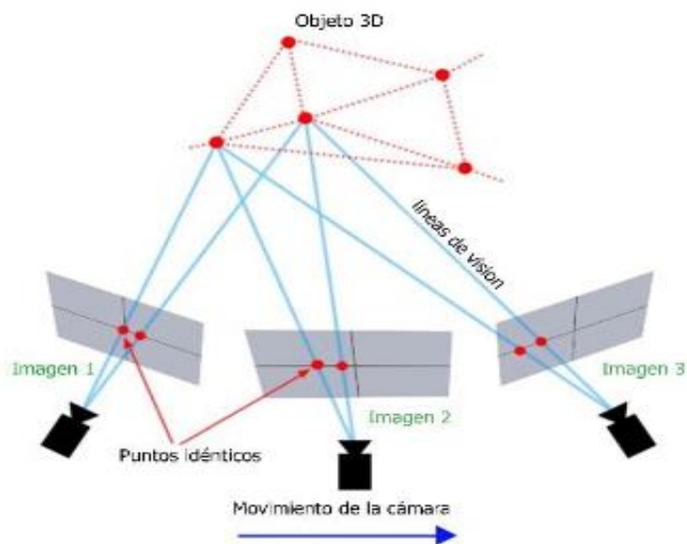
Modelación 3D. Se basa en la triangulación, donde las líneas de visión de la cámara ubicada en varios lugares se unen en un punto en común en el objeto (zona de solapamiento entre dos fotografías), la intersección de las líneas de visión

determinan la ubicación tridimensional del punto (López, 2018). En la fotogrametría digital este proceso se automatiza al emplear algoritmos que detectan las características en común entre cada par fotográfico; posterior calcula la posición y orientación de cada fotografía para lograr la reconstrucción de la escena 3D (Morita y Bilmes, 2015).

Haciendo uso de técnicas de perspectiva, reglas de iluminación, reconocimiento de patrones automáticos se obtienen nubes de puntos, cada uno de estos puntos con coordenadas en X, Y, Z. A esta técnica para estimar estructuras tridimensionales a partir de imágenes bidimensionales se le conoce como Structure from Motion (SfM) (Lowe, 1999, citado en Dueñas, 2014).

Figura 11

Funcionamiento del Structure from Motion



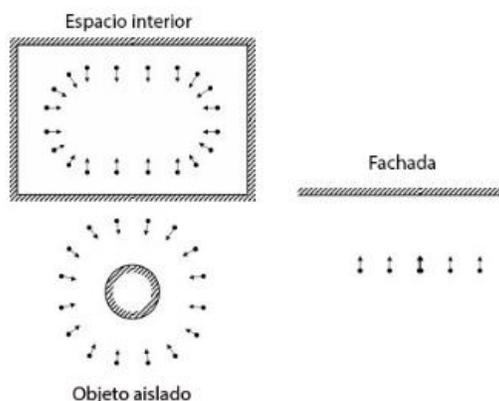
Nota. Recuperado de Dueñas (2014).

Implementando los algoritmos de los propios programas se genera una nube de puntos tridimensional con información volumétrica y colorimétrica de la escena o el objeto; con varios formatos (LAS, E57, TXT, XYZ, LAZ, FWS, FLS, XYB, PLY, PTS, PTX). Es el producto del modelado en bruto, el más ligero y la base de los modelos 3D, por lo que nos conviene tener acceso a la misma (Charquero, 2016).

La unión de los puntos de la nube genera una serie de polígonos que conforman una malla con o sin textura que puede ser modificada, pintada, etc. La malla es una entidad cuya morfología se puede editar recortándola, o haciendo una retopología de su superficie. Esta malla con valores en las tres dimensiones es el modelo 3D que se encuentre con formatos habituales de DAE, 3DS, FBX, PLY, OBJ, STL, SVG (Charquero, 2016).

Figura 12

Disposición de la cámara según el escenario



Nota. Recuperado de Agisoft PhotoScan User Manual citado en Charquero (2016)

Las imágenes se toman a una distancia corta y constante del objeto y de manera sucesiva por lo que los ejes de las imágenes forman un ángulo convergente lo que

permite que un detalle aparezca en múltiples imágenes (Balaguer, s.f). Para tomas en exteriores lo ideal es mientras el sol no este brillando o en días nublados (Roldan, 2019). La toma de cada foto se realiza cada 10° o cada $1/10$ a $1/15$ de la distancia al objeto (Waldhäusl y Ogleby, 1994 citado en Rincón & Arévalo, 2014)

No es necesario calibrar la cámara antes de tomar las fotos basta con una adecuada configuración de esta para obtener unos resultados favorables (Soler, 2013; Charquero, 2016 citado en Roldan, 2019). Es adecuado una ISO de 100 para eliminar ruido (Charquero, 2016). Una gran cantidad de superposición y tomar la escena desde múltiples puntos de vista (3 o más) (Santos, 2014)

Sistema de coordenadas: el sistema de coordenadas objeto suele establecerse con una orientación arbitraria con coordenadas calculadas por el programa. No siempre son necesario puntos de apoyo y control fotogramétrico a menos que sea necesario conocer la posición espacial del objeto (Balaguer, s.f). Para ello se debe emplear una cámara especializada o un método de observación GNSS.

El método estático rápido es usado para apoyo en la Fotogrametría, Cartografía, Geodesia., proyectos de alta precisión. Es un posicionamiento relativo donde se calculan coordenadas de uno o más receptores con relación a otro fijo de coordenadas conocidas (Vázquez, 2014). Es adecuado para bases de distancias ≤ 10 a 15km con un tiempo de observación de 30 min, con 5 satélites y ángulo de elevación de 15° ; se aumenta dos minutos de observación por cada km de distancia. Con ello, la precisión estará en el rango de 1 a 10cm (LEICA, s.f).

Ventajas y desventajas. Trabajos de (Hanke y Oberschneider, 2002; Kersten, 2006; Luhmann et al., 2013, citados en López, 2018) sostienen algunas de las ventajas de esta técnica; costes bajos o moderados de las cámaras digitales, portabilidad

de equipos, alta calidad y detalle de los datos resultantes, corto tiempo de registro y la mayor disponibilidad de software comercial y de código abierto, entre otras. Por otra parte (Grussenmeyer et al., 2008; Furukawa et al., 2009, citados en Lopéz, 2018) mencionan entre las desventajas que el postproceso genera un gran esfuerzo manual que consume mucho tiempo y que para obtener modelos 2D o 3D de alta precisión es necesario combinarlos con mediciones topográficas o empíricas precisas.

Software para modelación 3D

Una vez obtenidas las fotografías se necesita de un software apropiado para procesarlas y que sea capaz de crear un modelo 3D del objeto. Existen programas gratuitos como COLMAP, Meshroom, Multi-View Environment, OpenMVG, Regard3D, VisualSFM, 3DF Zephyr (gratuito y comercial); que permiten modelar en 3D a partir de fotografías, con la excepción que no incluyen herramientas geoespaciales como los programas comerciales.

Agisoft PhotoScan. Metashape en su última versión; permite procesar imágenes digitales y generar una reconstrucción 3D del entorno, mediante la combinación de técnicas de fotogrametría digital y visión por computador; además de generar la textura fotográfica. La versión profesional incluye funcionalidades para la generación de productos geomáticos como ortofotos georeferenciadas de alta resolución y modelos digitales de terrenos de con densidad y detalle excepcionales (Agisoft, 2014).

Pix4D. A partir de un conjunto de imágenes con solape, genera nubes de puntos en común entre ellas para construir ortomosaicos y modelos digitales de superficie (MDS) y del terreno (MDT) para generar cartografía 2D y modelos 3D. La versión Pix4Dmapper Pro es el software específico para cartografía a partir de imágenes tomadas con dron. Permite convertir las imágenes en mapas 2D georeferenciados y altamente precisos y en modelos 3D (Holguín, 2017).

PhotoModeler. El programa permite crear modelos tridimensionales a partir de fotografías y el mismo se encarga del procesamiento de las mismas. Los modelos se crean por cualquier de estas tres técnicas: se puede unir manualmente características comunes entre imágenes, generar automáticamente un modelo 3D a partir de objetivos codificados o generar nubes de puntos a partir de imágenes superpuestas (Valeiras, 2012; Castro, 2019).

Control de calidad

Ariza & Ariza (2016) realiza una propuesta de elementos de la calidad y método de control para datos BIM. Desde la perspectiva de la Información Geográfica basada en La Norma Internacional ISO 19157, la calidad de datos desde la perspectiva de los datos de producto basada en La norma internacional ISO 8000 y el método NIST basado en estadísticos para controlar datos BIM cualitativos y cualitativos. A continuación se describen los elementos para evaluar la calidad, basados ISO 19157 y la ISO 8000.

Figura 13

Elementos de calidad propuestos para datos BIM

Categoría	Normas existentes			Propuesta básica para datos BIM		
	Elemento	19100	8000	Propuesta	Elemento	Categoría
Elementos generales	Uso (1)	X				Elementos generales
	Propósito (1)	X				
	Linaje (1)	X	X	X	Linaje	
Compleción	Comisión	X		X	Comisión	Compleción
	Omisión	X		X	Omisión	
C. Lógica	C.L. Conceptual	X		X	C.L. Conceptual	C. Lógica
	C.L. Dominio	X		X	C.L. Dominio	
	C.L. Formato	X		X	C.L. Formato	
	C.L. Topológica	X				
E. Posicional	E.P. Absoluta	X		X	E.P. Absoluta	E. Métrica
	E.P. Relativa	X	X	X	E.P. Relativa	
	E.P. Malla	X				
E. Temática				X	F. Geométrica	E. Temática
	C. Clasificación	X		X	C. Clasificación	
	C.A. Cualitativo	X		X	C.A. Cualitativo	
	E.A. Cuantitativo	X		X	E.A. Cuantitativo	
E. Temporal	E.M. Tiempo	X				E. Temporal
	C. Temporal	X				
	V. Temporal	X				
Usabilidad	Usabilidad	X		X	E. Fecha	--
Integridad	Integridad		X			--

Notas: (1) Estos elementos ya no se indican en ISO 19157, el linaje y propósito aparecen en ISO 19115.

Nota. Recuperado de Ariza y Ariza (2014).

Tabla 2

Descripción de elementos de calidad para datos BIM

N°	Parámetros	Descripción
1	Linaje o procedencia	Proporcionar información relevante para la credibilidad y la reputación. Para el caso de HBIM permitirá conocer la autoría de ciertas actividades o procesos destacados como una restauración relevante. En el área geoespacial incluye referencias de procesos datados y fuente de la información.
2	Omisión (Ausencia de ciertos datos)	Algún elemento no está en el contemplado en el modelo BIM o HBIM pero realmente existe en el mundo real. Significa no considerar de un ítem relevante del mundo real, que puede parecer no significativo pero tiene algún valor cultural (omitir un sillar relevante, un escudo heráldico, etc.).
3	Comisión (Existencia de datos en exceso)	El modelo BIM o HBIM presenta piezas demás que no existen en la vida real. Puede ser la inclusión de un ítem que realmente no debería aparecer, esta inclusión puede implicar la compra del bien con el consiguiente coste adicional.
4	Consistencia conceptual	Referido a que los elementos del modelo BIM deben seguir reglas lógicas y propias de una construcción. Por ejemplo las arquetas de desagüe deben

N°	Parámetros	Descripción
		estar siempre conectadas a un tubo de desagüe, porque así es la lógica de la construcción.
5	Consistencia de dominio	Los valores registrados para cualquier atributo deben estar dentro del dominio lógico de valores para dicho atributo. Si se tiene una lista con materiales para una puerta como madera, hierro, vidrio. Solo se puede utilizar uno de los elementos de la lista; el uso de cualquier otro material es un error de consistencia de dominio.
6	Consistencia de formato	Los registros se codifican siguiendo las reglas de los formatos establecidos en las especificaciones para garantizar una lógica en la estructura de los datos y el manejo de todos sin necesidad de transformaciones para su uso.
7	Exactitud posicional absoluta	Requiere de un sistema de referencia de coordenadas y de una proyección, para tener la posición real de la construcción en la Tierra.
8	Exactitud posicional relativa	Referido a que la posición de los objetos BIM es precisa y relativa entre ellos, comparado con la posición que tienen en el mundo real. Es decir, la distancia entre una puerta D y una ventana V debe ser precisa

N°	Parámetros	Descripción
9	Fidelidad geométrica	La fidelidad en formas incluye tolerancias de fabricación en función del aspecto se podrán definir diferentes medidas (rugosidad, redondez, altura, anchura, etc.)
10	Corrección de la clasificación	Referido a la correcta asignación de clases a los objetos del conjunto de datos BIM. Así mismo para atributos o los niveles inferiores de categorización. Si hay una clasificación de estructuras verticales, que no se confunda en su asignación un tabique con un muro
11	Corrección atributos cualitativos	Corrección de las cualidades registradas en los atributos de los objetos. Si se registra el material de un zócalo y su valor real es mármol que no se registre como granito
12	Exactitud de los atributos cuantitativos	Referido a los valores cuantitativos que de los atributos de cada objeto. Por ejemplo, para un valor de transmisividad térmica o luminosa, la medida que se registre debe ser lo más exactos posibles, evitando un sesgo y asegurando la precisión en la medida
13	Exactitud temporal	Trata de que las fechas se registren de la manera más exacta y fiel posible a la realidad

Nota. Recuperado de Ariza y Ariza (2014).

Método NIST

En 2009 el General Services Administration (GSA) contrato al Instituto Nacional de Tecnología de Estándares (NIST, por sus siglas en Inglés) para desarrollar un método que permita gestionar más de 1600 construcciones y procesos correspondientes a captura 3D, y producción de información espacial y geométrica (Cheok y Franaszek, 2009 citado en Ariza & Ariza, 2016). “De manera general el método trabaja con proporciones y consiste en realizar un muestreo aleatorio, simple o estratificado, y comprobar el número de casos de mediciones fuera de tolerancia frente a los valores dados en unas tablas” (ver figura 14) (Ariza y Ariza, 2016).

Cada dato cualitativo tiene que pasar por dos criterios de aceptación. Un dato BIM se establece fuera de especificaciones si no cumple con el criterio 1 y 2. Si la decisión es "dentro de la tolerancia" en un criterio y "fuera de tolerancia" en otro criterio, la decisión final es "dentro de la tolerancia" (Cheok y Franaszek, 2009). Para datos cuantitativos se aplica solo el primer criterio.

Criterio 1. Se determina si está o no dentro de tolerancia establecida por la entidad evaluadora.

Dentro de la tolerancia

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{modelo3D}| \leq tolerancia \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Fuera de la tolerancia

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{modelo3D}| > tolerancia \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Criterio 2. (Intervalo de confianza de la referencia) se basa en la incertidumbre estadística de las mediciones hechas en la edificación física (medida de referencia).

Dentro de la tolerancia

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{modelo3D}| \leq S_{Mf} * t_{\alpha,v} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Fuera de la tolerancia

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{modelo3D}| \geq S_{Mf} * t_{\alpha,v} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde;

Δ = diferencia de medidas físicas y medidas del modelo 3D

S_{Mf} = desviación estándar de las medidas de referencia

$t_{\alpha,v}$ = percentil de la distribución t – Student de significación α

v = grados de libertad

(número de repeticiones en la medición menos 1)

Para aceptar o rechazar un conjunto de datos BIM cualitativos o cuantitativos, que ya pasaron control por ambos criterios, y se encontraron algunos fuera de especificación, se aplica el modelo estadístico Binomial. “Para datos cuantitativos como cualitativos, el proceso se basa en contar el número F de casos de eventos-fallo. Debido a la aleatoriedad del proceso de muestreo se considera que los eventos-fallo sigue el modelo de una “distribución Binomial” de la ecuación 2.5 (Ariza y Ariza, 2016).

$$P[F > mc | F \rightarrow B(n, \pi)] = \sum_{k=mc+1}^n \binom{n}{k} \pi^k (1 - \pi)^{n-k} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde;

F = Número de casos del evento fallo (no cumple especificaciones)

mc = número de casos medidos

$n =$ tamaño de la muestra

$\pi =$ probabilidad que el error sea mayor que la tolerancia

La propuesta se complementa estableciendo intervalos de confianza o intervalo de Clopper-Pearson. Dada la relación entre la función de distribución Binomial y la distribución Beta, el intervalo de Clopper-Pearson se puede indicar mediante la ecuación 2.6. Los intervalos presentes en la figura 17, también pueden ser determinados utilizando el paquete R (R Development Core Team, 2009, citado en Ariza y Ariza, 2016) a través de la instrucción *exactci* del paquete PropCIs (Scherer, 2015, citado en Ariza y Ariza, 2016).

$$B\left(\frac{\alpha}{2}; x; n - x + 1\right) < \pi < B\left(1 - \frac{\alpha}{2}; x + 1; n - x\right) \text{ Ecuación 2.6}$$

Donde;

$x =$ número de sucesos

$n =$ número de pruebas

$B_{q,v,w} = q$ cuantil de la distribución Beta con parámetros q, v, w

Figura 14

Límites de aceptación método NIST

# of defects (d)	Sample Size, n															
	48	50	64	75	80	100	101	104	117	150	175	200	225	250	270	285
0	6.1	5.8	4.6	3.9	3.7	3	2.9	2.8	2.5	2	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1
1	9.5	9.1	7.2	6.2	5.8	4.7	4.6	4.5	4	3.1	2.7	2.3	2.1	1.9	1.7	1.7
2	12.5	12.1	9.5	8.2	7.7	6.2	6.1	5.9	5.3	4.1	3.6	3.1	2.8	2.5	2.3	2.2
3	15.4	14.8	11.7	10	9.4	7.6	7.5	7.3	6.5	5.1	4.4	3.8	3.4	3.1	2.8	2.7
4	18.1	17.4	13.7	11.8	11.1	8.9	8.8	8.6	7.7	6	5.2	4.5	4	3.6	3.4	3.2
5	20.7	19.9	15.7	13.5	12.7	10.2	10.1	9.8	8.8	6.9	5.9	5.2	4.6	4.2	3.9	3.7
6	23.2	22.3	17.7	15.2	14.3	11.5	11.4	11.1	9.9	7.7	6.7	5.8	5.2	4.7	4.3	4.1
7	25.7	24.7	19.6	16.8	15.8	12.7	12.6	12.3	10.9	8.6	7.4	6.5	5.8	5.2	4.8	4.6
8	28.1	27	21.4	18.4	17.3	14	13.8	13.5	12	9.4	8.1	7.1	6.3	5.7	5.3	5
9	30.4	29.3	23.3	20	18.8	15.2	15	14.6	13	10.2	8.8	7.7	6.9	6.2	5.7	5.4
10	32.8	31.6	25.1	21.6	20.3	16.4	16.2	15.8	14.1	11	9.5	8.3	7.4	6.7	6.2	5.9

Nota. Recuperado de Cheek y Franaszek (2009).

Para usar la tabla se debe establecer un valor π que indique el porcentaje máximo de defectos que puede existir en el conjunto de datos BIM. En la figura 14, la línea quebrada y negrita divide la tabla en dos mitades triangulares. La superior, es la zona de aceptación, donde es $p \leq \pi$, y la inferior representa el tamaño de muestra y defectos que generan el rechazo estadístico del conjunto de datos (Ariza y Ariza, 2016).

Muestra

Según Ariza y Ariza (2016) el muestreo puede ser aleatorio, simple o estratificado. Y de acuerdo con la tabla estadística (ver figura 14) desarrollada por el NIST, es necesario como mínimo una muestra de 64 para entrar en un límite de aceptación al 95% de confianza. El NIST recomienda 3 repeticiones en las mediciones; en contraste con repeticiones de 5 a 10 realizadas por la Universidad Carnegie Mellon (CMU), las diferencias entre ambos fueron de 6mm (Cheok y Franaszek, 2009).

Teorema del límite central

El teorema establece que: “si una muestra es lo bastante grande ($n > 30$), sea cual sea la distribución de las variables, la distribución de la media muestral será aproximadamente una normal” (Rovira, 2003, pág. 6 citado en Lisintuña y Molina, 2017).

Amenazas de bienes patrimoniales

La amenaza es “un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales” (Ibidem citado en Díaz, 2016). El manual de referencia sobre gestión de riesgo de desastres para el patrimonio mundial, define a la amenaza como un fenómeno que encierra la potencial causar de

trastornos o daños a los bienes culturales, siendo esta la fuente externa de un riesgo (UNESCO, 2014, citado en Carvajal, 2019).

Los bienes patrimoniales inmuebles están permanente expuestos a diferentes amenazas naturales (ennegrecimiento por emisión de partículas a la atmósfera; presión turística, corrosión, etc.) y antrópicas (robos, vandalismo, manifestaciones, conflictos armados, contaminación) (Rueda, 2014). En el caso del patrimonio los desastres causados por las amenazas desatan efectos en las personas y los bienes; directamente en sus valores patrimoniales, ecosistemas y contexto. Influyendo en la economía por la pérdida de ingresos del turismo y los medios de vida de la población que dependen de ello (Carvajal, 2019).

Amenazas naturales

Son aquellas en las que no interviene la actividad humana, como sismos, erupciones volcánicas, algunos tipos de inundaciones, deslizamientos, entre otros (SGR, 2015, citado en Carvajal, 2019). Además de los procesos naturales de gran poder de destrucción existen condiciones ambientales y climáticas permanentes que surgen de la ubicación de un sitio monumental y que conllevan a su deterioro y erosión (ICOMOS, 2000).

González et al. (2006) menciona que en un edificio patrimonial, los factores externos actúan todos al mismo tiempo con mayor o menor intensidad en los procesos de degradación. Los principales son el viento por transportar partículas que actúan de abrasivo; el agua, por actuar como un medio de transporte de contaminantes y los cambios térmicos.

Los cambios bruscos y altas temperaturas (19°C), son causantes de la degradación mecánica de la piedra, vía expansión hídrica-contracción térmica (Papida,

Murphy & May, 2000, citado en Tatis & Barbosa, 2013). Generan un gradiente térmico provocando dilataciones en la piedra provocando microfisuras (González et al., 2006). Por otro lado, las zonas con mayor presencia de costras negras, producidas por la acumulación de la contaminación, son más susceptibles a absorber mayor cantidad de radiación solar (Tatis & Barbosa, 2012).

Las intensas lluvias también son un factor que amenaza la integridad de los bienes. El estado de deterioro del inmueble, la ausencia de canales de recolección de aguas lluvias y sobrecubiertas, fisuras que permiten el ingreso de la humedad, entre otros. Son causantes del desplome de muros y desprendimiento de enlucidos (IMP, 2019). Este problema se da en gran medida por la falta de mantenimiento a los inmuebles por parte de los propietarios. El colapso de cielos rasos, deformaciones y pandeos en la estructura de la cubierta, entrepisos y muros, colapso parcial del techo y entrepisos que ponen en riesgo la estructura de la edificación y su permanencia en pie (IMP, 2017).

Figura 15

Colapso de construcciones por lluvias



Nota. Recuperado de Instituto Metropolitano de Patrimonio (2019).

Amenazas Antrópicas

Las actividades humanas son las que representan la mayor fuente de riesgos para el patrimonio, desde la ubicación de actividades dañinas en las cercanías de un monumento hasta su total erosión o destrucción (ICOMOS, 2000). La contaminación ambiental atmosférica, es una de las que más afecta al patrimonio en zonas industriales y urbanas, como consecuencia de las combustiones, aparecen dióxido de azufre y dióxido de carbono (González et al., 2006).

Una lluvia acida se considera como tal, cuando su pH es inferior a 5.6 (Seinfeld, 1998 citado en García et al, 2013). El dióxido de azufre presente en esta, se transforma en sulfato de calcio y este puede precipitar en forma hidratada como yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); si dicha precipitación tiene lugar en los poros y grietas, produce el efecto «cuña» que incide fuertemente en los procesos de alteración y deterioro de monumentos históricos (Robert, M. et al., 1996, citado en González et al., 2006). En 2013, García et al, en agua lluvias con pH de 5.33 a 5.9, obtuvo concentraciones de 0.002 ppm para SO_2 . Bravo et al. (2003) simulando irrigación de lluvia acida con pH de 4.6, sobre roca caliza, obtuvo una recesión superficial promedio de 4.4 $\mu\text{m}/\text{año}$.

Otras acciones más directas como las manifestaciones y hurto de piezas, atentan contra el patrimonio. En octubre del 2019 en Quito, un grupo de manifestantes, protagonizó una protesta que afectó a los bienes con garabatos de pintura, intento de derrocar monumentos, levantamiento de piedras, grafitis, etc (El Comercio, 2020). Una breve evaluación realizada por el IMP, indicó que los daños patrimoniales en el Centro Histórico de Quito ascendían a 200 00 dólares. Por ejemplo, el Monasterio de El Carmen Bajo, construido en 1745, con de piedras de 300 años de antigüedad, fueron

arrancadas para ser utilizadas como proyectiles contra las fuerzas del orden. Dejando daños irreparables a la construcción (Portafolio, 2019).

Por otra parte, la pérdida de parte y/o piezas patrimoniales por parte de turistas que se llevan como recuerdo, y el tráfico ilícito; generan grandes afectaciones económicas e históricas. El INPC señala que los robos y hurtos se reportan generalmente dentro de iglesias, museos y conventos. Como las denuncias se hacen mediante llamadas anónimas, redes sociales o noticias; no se dan sentencias en contra de los responsables (Bravo, 2021).

Figura 16

Afección al patrimonio por manifestaciones



Nota. Recuperado de El Comercio (2020).

Capítulo II

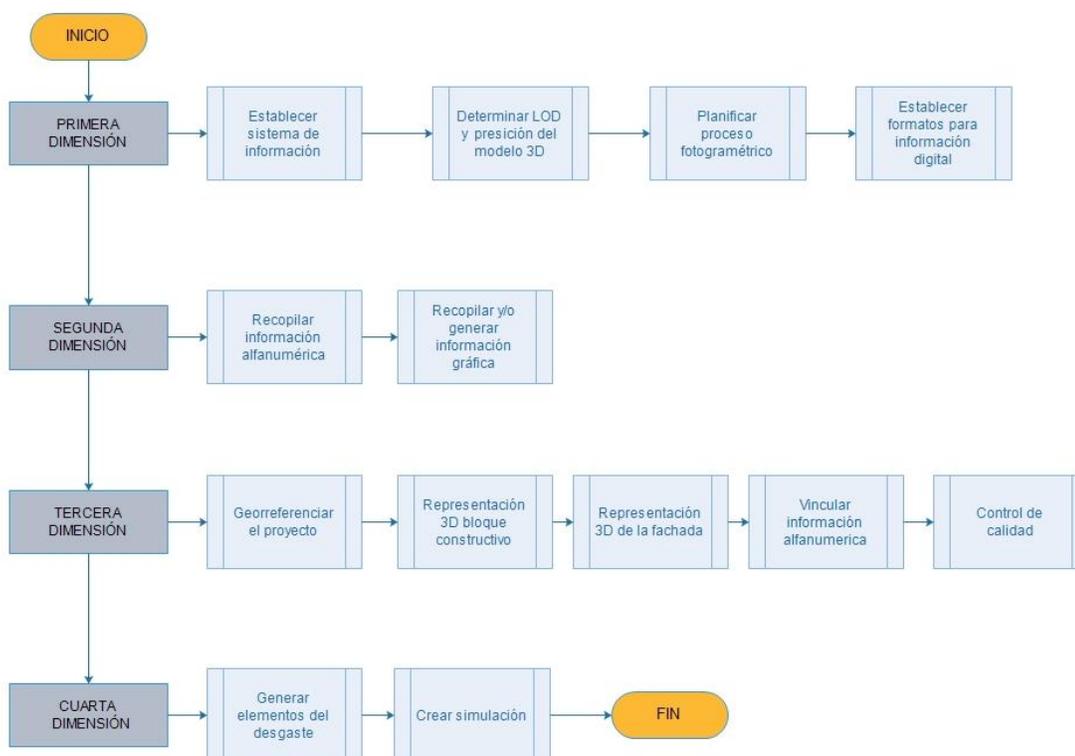
Metodología

Procedimiento general

En la figura 17 se presenta el procedimiento general a seguir para el diseño del modelo de información geoespacial. El modelo se desarrolla en base a la primera dimensión (1D) de BIM, la segunda (2D), tercera (3D) y cuarta dimensión (4D) del HBIM. Finalmente los productos y el modelo e información, se difunden por la web y medios físicos.

Figura 17

Procedimiento general del proyecto



Primera dimensión (1D)

Una primera dimensión en HBIM no existe; sin embargo, en BIM se establece como una etapa de planificación e investigación. Se toma en cuenta esta dimensión para el modelo de información geoespacial, para definir estrategias e insumos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Sistema de información

El modelo de información geoespacial consta de información gráfica y alfanumérica. Para estructurar la información patrimonial alfanumérica, se toma de guía la ficha de registro e inventario de bienes inmuebles del INPC (ver anexo A). Para la información patrimonial gráfica es necesaria la cartografía de lotes y construcciones. A más de la ortofoto de la fachada de cada edificación.

El campo 18 “Vulnerabilidad” de la ficha de registro INPC, que consta de riesgos naturales y antrópicos, deja la posibilidad para añadir otros que se crean inconvenientes. Para el caso de estudio, en la tabla 3 se presenta los campos propuestos para la ampliación de amenazas naturales y antrópicas, más no riesgos. Sin embargo; solo la temperatura, radiación y lluvia ácida (SO₂) se consideran para inferir el deterioro del bien.

Tabla 3

Amenazas propuestas

N°	Amenaza	Tipo	Característica
1	Amenazas naturales	Temperatura	Temperatura anual en la zona de estudio (°C)

		Radiación	Radiación anual en la zona de estudio (W/m^2)
		Precipitación	Precipitación anual en la zona de estudio (mm/año)
		Lluvia ácida	Concentración anual SO_2 en la zona de estudio (ug/m^3)
2	Amenaza antrópica	Manifestaciones	Presupuesto para rehabilitación por evento (\$dólares/evento)
		Hurto	Cantidad de piezas perdidas al año (N° piezas/año)

Nivel de detalle y precisión

La representación 3D se realiza con nivel de desarrollo LOD 300. Es decir, la edificación debe tener la representación de sus elementos constructivos fundamentales. Al no existir normativa para cartografía 3D se toma como referencia la precisión que establece el IGM para cartografía 2D; 3mm de la escala en horizontal. Para la escala establecida de 1:500 el error máximo aceptable es 15cm.

Proceso fotogramétrico

El proceso fotogramétrico abarca la toma de fotografías para la generación de ortofotos y la obtención de puntos de apoyo fotogramétrico.

Toma de fotografías. Para fotografiar las edificaciones se usa una cámara HUAWEI ALE-L23 (ver tabla 4). En horario de 6 am a 8 am para evitar la obstrucción peatonal y tomando en cuenta las consideraciones del apartado 2.5.2.3.

Tabla 4

Especificaciones de la cámara

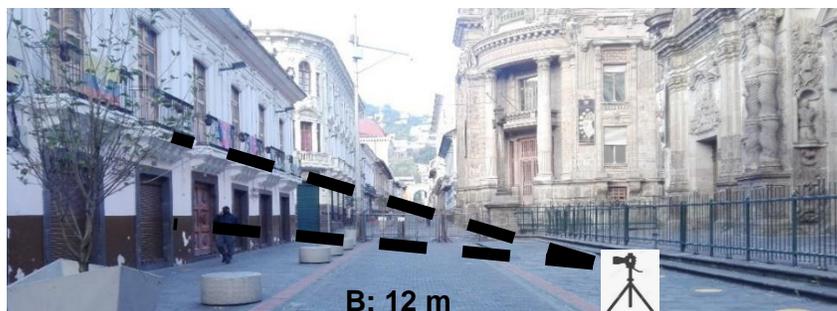
Distancia focal	CCD	ISO	Resolución	Pixel	Formato de imagen
4 mm	4.82x3.68 mm 0.24 in	Automático	13 Mp 4160x3120	1.157 um	JPG

Nota. Recuperado de Devicespecifications (s.f)

La distancia a la cual se fotografían las fachadas se mantiene en lo posible 12 m. (ver figura 18). Con la ecuación 3.1 se calcula el GSD, con un ancho del sensor =4.42mm, altura de vuelo=12m, distancia focal=4mm y ancho de imagen en pixeles=3120.

Figura 18

Distancia al objeto



$$GSD = \frac{\text{ancho sensor} * \text{altura vuelo} * 100}{\text{dis focal} * \text{ancho pixel}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$GSD = \frac{4.82mm * 12m * 100}{4mm * 3120pix}$$

$$GSD = \frac{0.46cm}{pix}$$

Con un GSD de 4.6 mm y con la cámara en disposición vertical se asegura un traslapo longitudinal de 88.83% y traslapo transversal de 99.47%, calculados con la ecuación 3.3 y 3.4 respectivamente. Dónde: B es el avance entre foto, calculada con la ecuación 3.2; L, el N° de pixeles en sentido longitudinal; p, el recubrimiento longitudinal; T, el N° de pixeles en sentido transversal y q, el recubrimiento transversal.

*Avance entre foto (B) = distancia al objeto * (1 / 10)* **Ecuación 3.2**

$$Avance\ entre\ foto = 12m * 0.1$$

$$Avance\ entre\ foto = 1.2$$

$$B = L * GSD * \left(1 - \frac{P}{100}\right) \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$1.2\ m = 3120 * 0.0046m * \left(1 - \frac{P}{100}\right)$$

$$p = 100 - \frac{100 * 1.2m}{3120 * 0.0046m}$$

$$p = 91.64\%$$

$$S = T * GSD * \left(1 - \frac{q}{100}\right) \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$10cm = 4160 * 0.46cm * \left(1 - \frac{q}{100}\right)$$

$$q = 100 - \frac{100 * 10cm}{4160 * 0.46cm}$$

$$q = 99.48\%$$

Para la cantidad de fotografías y tiempo de toma, la planificación se realiza individualmente para cada edificación. Con la ecuación 3.5 se calcula en número de fotografías por pasada; donde la longitud edificación se obtiene de la cartografía de construcción. Con la ecuación 3.6 se calcula el número total de fotografías; dónde, los puntos ciegos son áreas de las fachadas que la fotografía en paralelo no registra. Y con la ecuación 3.7 se calcula el tiempo de toma, para lo cual cada fotografía se realiza en 12s.

$$N^{\circ} \text{ fotos por pasada} = \frac{\text{longitud edificacion}}{B} + 1 \quad \text{Ecuación 3.5}$$

$$N^{\circ} \text{ total de fotos} = (N^{\circ} \text{ fotos por pasada} * N^{\circ} \text{ pasadas}) + \text{puntos ciegos}$$

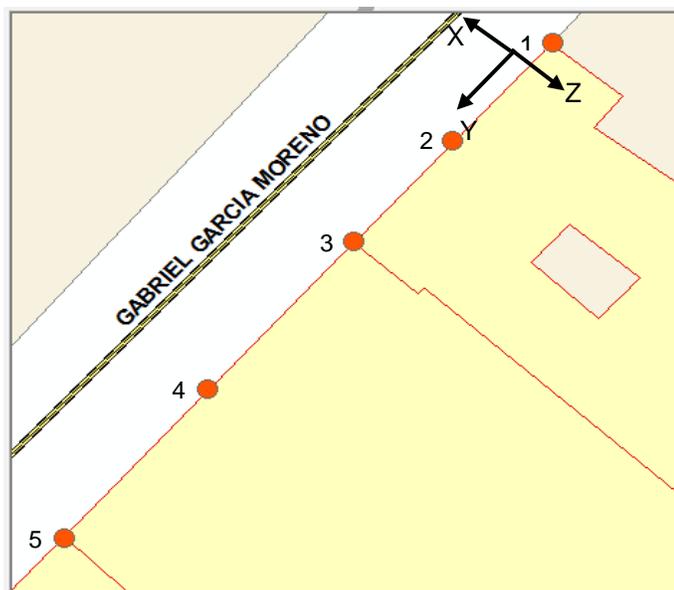
Ecuación 3.6

$$\text{Tiempo de toma} = N^{\circ} \text{ total de fotografias} * 12s \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Puntos de apoyo fotogramétrico (GCP's). Cada fachada necesita un mínimo de 3 GCP para ser georreferenciada en el software Agisoft Metashape. Se usa un sistema de coordenadas local, y se determinan coordenadas para las esquinas y una aproximadamente a la mitad, para cada construcción. Teniendo como origen el punto 1 de coordenadas (0, 0, 0), en la esquina inferior izquierda de la Casa Parroquial “El Sagrario”. Cada punto se mide con una cinta de precisión $\pm 0.5\text{cm}$.

Figura 19

GCP's de referencia



Formatos de información digital

Toda la información que se vincule al modelo de información debe presentarse en formatos estándar o comunes. Independientemente del origen de los datos, estos debe ser transformados para su vinculación al modelo. Para el caso de estudio, los insumos serán fotografías en *JPG y cartografía en *DWG 2010.

Segunda dimensión (2D)

Se recopila y/o genera toda la información establecida como requerimiento en el apartado 3.1.1.

Información patrimonial gráfica

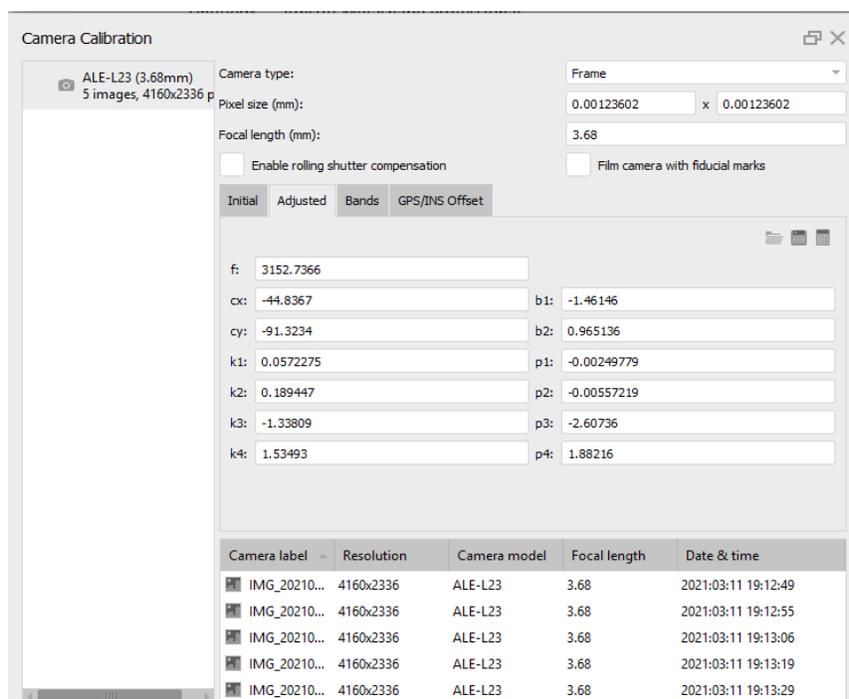
La información gráfica de lotes y construcciones se obtiene de la cartografía de libre acceso del Geoportal del DMQ. Las ortofotos de las fachadas se generan por fotogrametría.

Generación de ortofotos

Previamente a la generación de la ortofoto se calibra la cámara en el software Agisoft Metashape, versión de prueba. Se cargan fotografías de un tablero de ajedrez y con la herramienta Lens-Calibrate lens, se obtiene el certificado de calibración y se guarda.

Figura 20

Calibración de la cámara



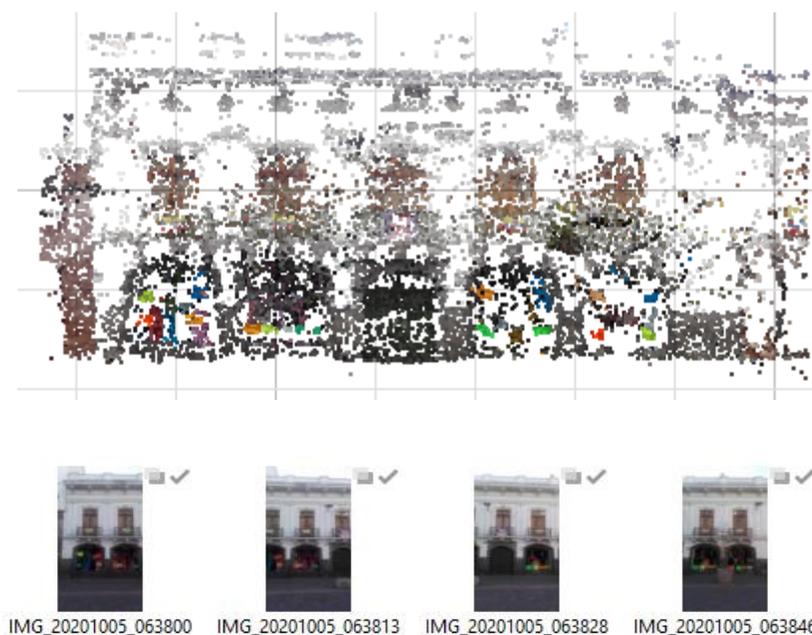
En un nuevo proyecto se carga el certificado de calibración y se trabaja siguiendo el flujo que sugiere la pestaña Workflow. A continuación, se describe cada uno de los procesos ejecutados para la obtención de las ortofotos; tomando como ejemplo la construcción denominada “Local M&M”:

Alineación de fotografías. Las 18 fotografías cargadas se alinean en el programa con una precisión alta. El programa detecta los TIE points (puntos comunes

entre las imágenes) estima la posición y orientación de cómo fueron tomadas las fotografías. Generando una nube de puntos dispersa de la fachada y marcando con un visto en la parte superior las fotografías que se alinearon correctamente.

Figura 21

Alineación de fotografías



Georreferenciación. Los GCP se importan desde el panel Reference. Cada GCP se ubica en cada fotografía donde sea identificable, según la posición correspondiente, esquinas y mitad de la construcción aproximadamente. Todos ubicados sobre la línea de fábrica.

Figura 22

Ubicación GCP's



Nube de puntos. Se genera con la opción alta para el parámetro de calidad y filtrado en leve para evitar que los pequeños detalles se clasifiquen como valores atípicos y se pierdan en la representación. El resultado es una representación 3D más robusta y a color; conformada por puntos, cada uno con coordenadas x,y,z.

Figura 23

Nube de puntos



Malla tridimensional. La malla 3D a partir de la nube de puntos se genera por la conexión de estos mediante triángulos o cuadriláteros. Se realiza en una calidad alta y la fuente de datos los mapas de profundidad. A la representación 3D se le puede o no generar textura para dar color lo más parecido a la realidad y mejorar la estética del modelo.

Figura 24

Malla tridimensional texturizada



Ortofoto. Se crea a partir de la malla tridimensional y el resultado es una imagen con proyección ortogonal. Debido a las limitaciones existentes para realizar la toma de fotografías, las zonas que no fueron cubiertas generan huecos en la imagen.

Figura 25

Ortofoto de la fachada

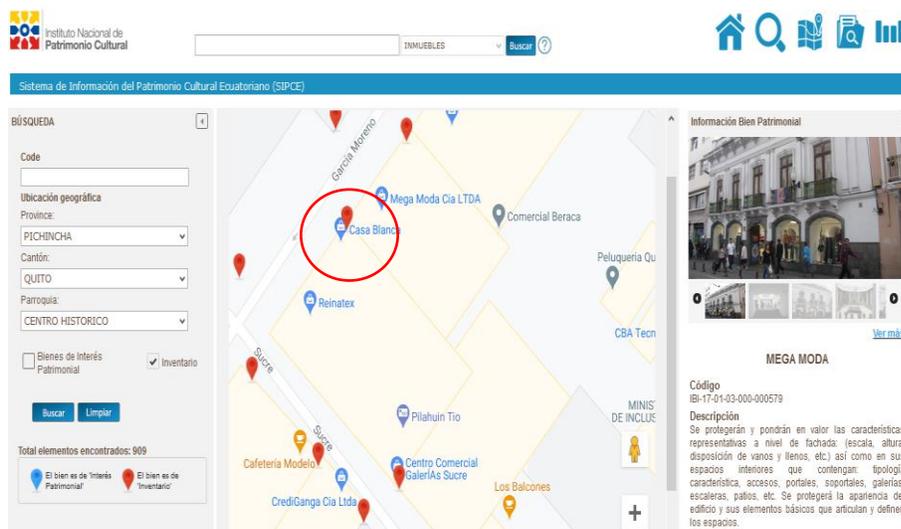


Información alfanumérica

Información patrimonial. La información patrimonial para cada construcción, registrada bajo el formato establecido por el INPC, se obtiene de la página oficial del SIPCE. Desde el módulo de visita, con la herramienta de “Búsqueda de bienes patrimoniales en mapa”, se ubica la construcción y se despliega una ficha digital con el registro de información patrimonial. En la figura 26, se presenta la ficha para el local “M&M” (Mega Moda).

Figura 26

Información patrimonial del SICPE



Amenazas naturales y antrópicas. Los datos de concentración de SO_2 (compuesto de la lluvia ácida), temperatura y radiación; se obtienen de la página de la Secretaría de Ambiente del DMQ de las 9 estaciones de la red de monitoreo atmosférico. Las concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tienen registros desde el 2014 hasta 2020 con mediciones cada hora los 30/31 días del mes. La temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la radiación (W/m^2) tienen registros desde 2018 hasta 2020 con mediciones cada hora los 30/31 días del mes.

Los valores de SO_2 de la tabla 5, se promedian anualmente obteniendo 7 registros para cada estación. Los valores de temperatura de la tabla 6 y radiación de la tabla 7, se promedian anualmente, obteniendo 3 registros para cada estación. Los valores se tabulan y se representan en un mapa por medio de barras verticales.

Tabla 5*Concentración anual de SO₂ (ug/m³)*

N°	Estación	Este	Norte	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	Carapungo	784154.5	9989089.6	3.712	3.238	3.501	2.297	2.459	1.990	2.036
2	Cotocollao	778585.2	9988075.9	3.256	2.645	3.230	1.527	1.987	1.876	1.746
3	Belisario	779388.8	9980085.4	4.278	3.767	4.326	2.822	3.336	2.489	2.739
4	Tumbaco	789413.0	9976764.6	3.642	3.412	2.406	1.774	2.280	2.154	2.246
5	Centro	777160.5	9975660.3	4.016	3.795	3.836	3.788	4.377	2.786	2.429
6	El Camal	777159.9	9972341.2	7.541	7.338	8.698	6.155	6.947	4.625	4.215
7	Los Chillos	782727.8	9966808.2	8.389	8.976	9.244	4.835	5.261	3.984	3.788
8	Guamaní	772548.1	9963399.3	2.639	2.531	3.168	1.999	2.490	2.067	1.746

Tabla 6*Promedio anual de Temperatura (°C)*

N°	Estación	Este	Norte	2018	2019	2020
1	Carapungo	784154.5	9989089.6	14.986	15.284	15.242
2	Cotocollao	778585.2	9988075.9	14.193	14.504	14.511
3	Belisario	779388.8	9980085.4	14.285	14.476	14.512
4	Tumbaco	789413.0	9976764.6	16.766	17.097	17.049
5	Centro	777160.5	9975660.3	14.594	14.884	14.888
6	El Camal	777159.9	9972341.2	14.339	14.625	14.660
7	Los Chillos	782727.8	9966808.2	16.142	16.418	16.439

N°	Estación	Este	Norte	2018	2019	2020
8	Guamaní	772548.1	9963399.3	12.441	12.650	12.736

Tabla 7

Promedio anual de Radiación (W/m2)

N°	Estación	Este	Norte	2018	2019	2020
1	Carapungo	784154.5	9989089.6	219.309	224.871	228.076
2	Cotocollao	778585.2	9988075.9	220.202	224.787	227.822
3	Belisario	779388.8	9980085.4	196.712	203.465	210.464
4	Tumbaco	789413.0	9976764.6	205.848	222.430	222.400
5	Centro	777160.5	9975660.3	194.227	203.320	210.242
6	El Camal	777159.9	9972341.2	198.106	205.514	210.792
7	Los Chillos	782727.8	9966808.2	194.878	211.847	214.678
8	Guamaní	772548.1	9963399.3	184.732	198.239	203.218

Tercera dimensión (3D)

Para esta etapa es necesario emplear un software BIM, para el caso se usa ArchiCAD 22, versión de prueba.

Georreferenciación

Creado un nuevo proyecto, en la pestaña Opciones-Preferencias del proyecto, se despliega la opción. Ubicación de proyecto y se agregan la información de los campos de la figura 27. Con ello, todo lo que se modela queda georreferenciado en coordenadas geográficas.

Figura 27

Configurar ubicación del proyecto

Ubicación del Proyecto

Nombre del Proyecto: Modelo de informacion geoespacial

Dirección Completa: Avenida García Moreno Entre Sucre y Eugenio

Latitud: 0.22121600° S

Longitud: 78.51360800° O

Zona Horaria (UTC): (UTC-05:00) Bogotá...Quito, Rio Branco

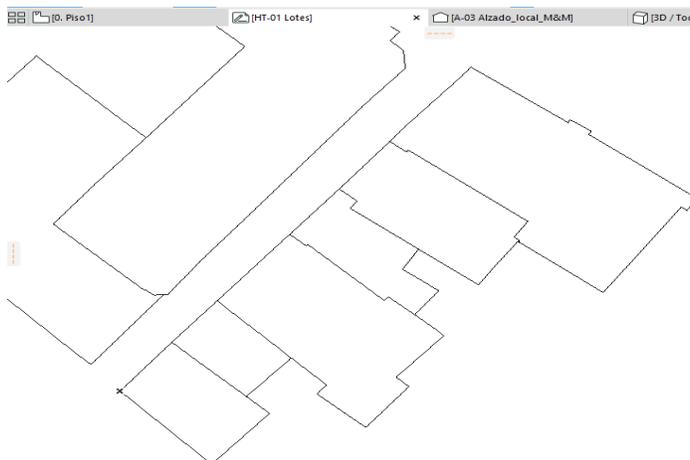
Altitud (Nivel del Mar): 2817.000 m

Norte del Proyecto: 90.000°

Nota: Cambiar la Ubicación del Proyecto afectará a la posición del Sol, incluida en las Vistas 3D y Cámaras con Fecha y Hora almacenada.

Modelación 3D

Importación de insumos gráficos 2D. En una nueva hoja de trabajo con la opción "Documento-Dibujo", se carga la cartografía de lotes centrandolo el curso en el origen (ver figura 28); se importa de la misma manera la cartografía de construcciones. Para importar la ortofoto, se crea una hoja nueva de trabajo y se carga la imagen con la herramienta figura. La imagen se escala con la distancia horizontal de la fachada principal, según la cartografía de construcciones (ver figura 29).

Figura 28*Importación Cartografía***Figura 29***Importación Ortofoto*

Representación 3D de lotes y bloques constructivos. Sobre la cartografía de lotes y construcción respectivamente, con la herramienta forma se va dibujando por el perímetro de cada polígono (ver figura 30). La forma 3D del lote se genera dándole una

altura de -0.5m y la construcción toma la altura que tendría en la realidad según el escalamiento realizado a la ortofoto (ver figura 31).

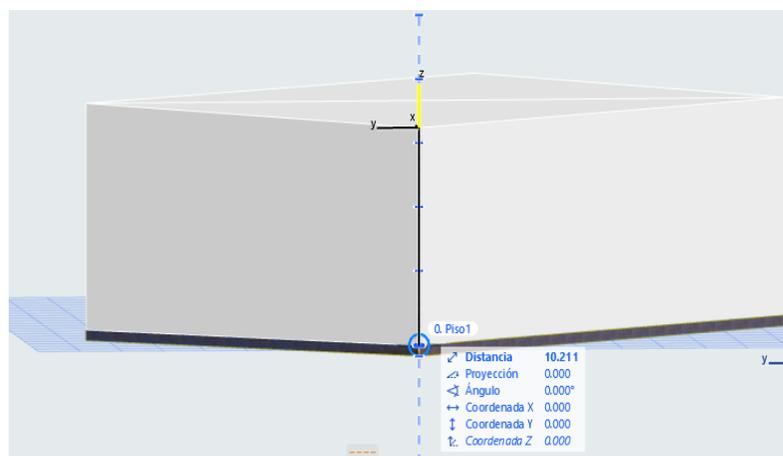
Figura 30

Perímetro de lote y bloque constructivo



Figura 31

Representación 3D bloque constructivo



Representación 3D de la fachada principal. Con la herramienta Alzado, se crea el alzado de la fachada y se conmuta con la hoja de trabajo que contiene la ortofoto de la construcción correspondiente. Sobre esta “plantilla”, se va trazando en 2D los elementos constructivos de la fachada (ver figura 32). El valor de profundidad se toma como la media de tres medidas realizadas al modelo 3D generado en el paso 3.2.1.1 (ver figura 33). En la vista 3D, se modifica la posición, profundidad, color, etc. de cada elemento constructivo; generando el modelo 3D final como se indica en figura 34 y 35.

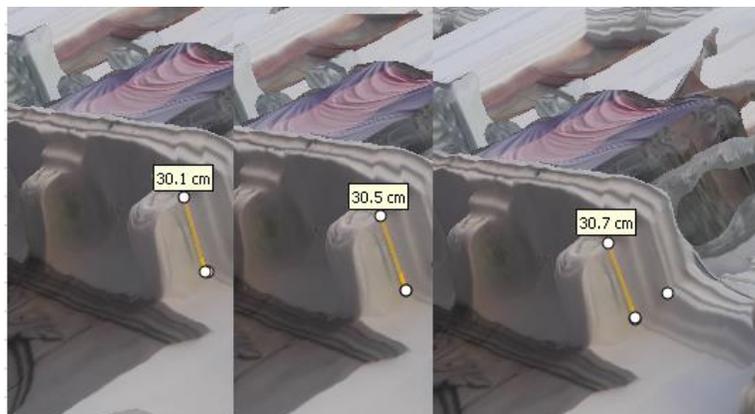
Figura 32

Alzado fachada



Figura 33

Medición de profundidad

**Figura 34**

Vista frontal fachada 3D



Figura 35

Vista lateral fachada 3D

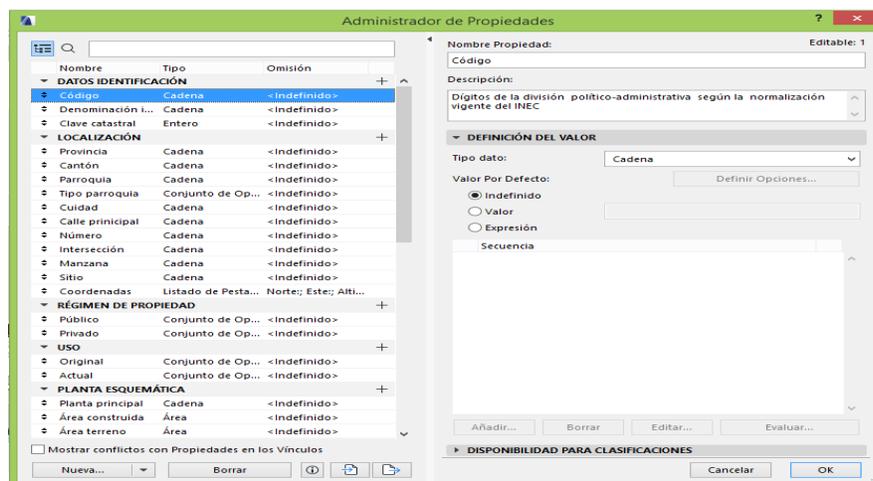


Vincular información alfanumérica

Información patrimonial. Con la opción administrador de propiedades, se incorpora al modelo los campos de la ficha INPC del anexo A. Los grupos de la ficha se representan como grupos y los campos como propiedades. Dependiendo de la propiedad, a cada una se le asigna un tipo de dato y el valor que le corresponde según lo obtenido en el apartado 3.2.2.1. No toda la información está completa y/o libre en el SIPCE. Por lo tanto, se llenan solo los campos con datos disponibles.

Figura 36

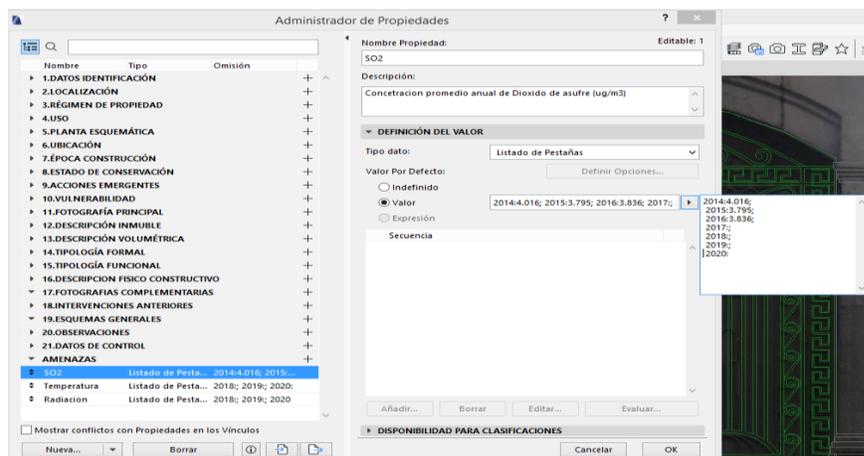
Propiedades modelo 3D según formato INPC



Amenazas naturales y antrópicas. Las amenazas se incorporan como propiedades y los valores promedios correspondientes a la estación de monitoreo “Centro”, obtenidos en el apartado 3.2.2.2, se registran por medio del administrador. El tipo de dato es “Listado de pestañas” para poder listar cada año con su respectivo valor.

Figura 37

Amenazas como propiedades



Control de calidad datos HBIM

Método de control NIST. El método se aplica controlar la exactitud posicional y fidelidad geométrica requeridos en el apartado 3.3.4.2. Con una muestra de 83; 42 para fidelidad geométrica y 41 para exactitud posicional.; la medida de cada dato se repite 3 veces y la media se toma como el valor de referencia para el control de calidad. El dato se evalúa para los dos criterios siguientes:

Primer Criterio. Se realiza 3 mediciones en ancho, al arco de piedra de la puerta de la construcción Local M&M, la media es la medida de referencia (ver figura 38). La medida modelo 3D es la medida única que tiene el elemento en la representación 3D (ve figura 39). Aplicando la ecuación 2.1 del apartado 2.7.1 se halla la diferencia de medidas. Esta discrepancia se califica como dentro de tolerancia, si es menor o igual a la tolerancia de 15 cm (precisión escala 1:500).

Figura 38

Medida real



Figura 39

Medida modelo 3D



$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{modelo3D}| \leq tolerancia$$

$$|\Delta| = |25.1 - 29.1| \leq 15cm$$

4 cm ≤ 15 cm **Dentro de tolerancia**

Segundo criterio. Para aplicar la ecuación 2.3, se obtiene el valor de $t = 4.303$ (95% de confianza con 2 grados de libertad) y la desviación estándar (S_{Mf}) de las 3 medidas del ancho de la puerta. La diferencia de medidas está dentro de la tolerancia si, el producto de t y la desviación, es mayor o igual a la diferencia entre la medida real del ancho de la puerta y la medida virtual.

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{modelo3D}| \leq S_{Mf} * t_{\alpha,v}$$

$$|\Delta| = |25.1 - 29.1| \leq 0.1cm * 4.303$$

3.13 cm ≤ 0.43 cm **Fuera de tolerancia**

Si el dato incumple el criterio 1 y 2 se rechaza y marca como un defecto; caso contrario se acepta. Con un valor de $\pi=5\%$ de defectos admisibles, el conjunto de los 83 datos, se acepta si el valor de $\pi \geq p$. Donde p , es la valor hallado en la tabla de la Figura 12, con $n=83$ y d = número de defectos encontrados.

Elementos de la calidad. Las 4 representaciones 3D de las construcciones se trabajan cómo una sola unidad durante todo el control de calidad. De acuerdo con lo expuesto en el apartado 2.7 y la tabla 2, se sugiere que los datos BIM cumplan con 13 elementos de calidad. Estos se adaptan para el objetivo del caso de estudio que es la documentación 3D basada en HBIM; por lo tanto no todos los elementos son aplicables. A continuación en la tabla 8, se describe el control realizado para cada elemento:

Tabla 8

Control elementos de calidad

N°	Elemento	Control
1	Linaje o procedencia	Verificar que el origen de la información patrimonial, datos de amenazas, cartografía, ortofotos; sea de fuentes primarias o secundarias confiables.
2	Omisión	Con una muestra de 32 (ver apartado 2.7.3) 8 elementos constructivos por cada edificación. Se verifica la presencia de todos los elementos constructivos en la edificación 3D correspondiente.
3	Comisión	No aplica

N°	Elemento	Control
4	Consistencia Conceptual	No aplica
5	Consistencia de dominio	Verificar que los valores registrados en las propiedades, sean y se limiten a los establecidos en el formato del INCP (ver anexo A)
7	Exactitud posicional absoluta	La ubicación geográfica de las edificaciones se verifica cargando el modelo a Google Earth, con la opción Interoperabilidad-enviar modelo a Google Earth
8	Exactitud posicional relativa	Aplicar el método NIST para control de datos cuantitativos, descrito en el apartado 3.3.4.1
9	Fidelidad geométrica	
10	Corrección de la clasificación	Información no disponible para verificación
11	Corrección de atributos cualitativos	Información no disponible para verificación
12	Exactitud de atributos cuantitativos	No aplica
13	Exactitud temporal	Información no disponible para verificación

Cuarta dimensión (4D)

Teniendo en cuenta que esta dimensión gira en torno al tiempo, se realiza la simulación, del deterioro que las construcciones sufren al estar expuestas permanentemente a amenazas antrópicas: SO₂, compuesto de la lluvia acida.

Simulación del deterioro

La simulación se realiza para el enmarcamiento de la puerta del Local "Mega Moda (M&M)"; tomando como tasa de desgaste de 4.4 $\mu\text{m}/\text{año}$ (ver apartado 2.8.2), por 7 años para los cuales se tiene registros. Se instala el goodie "Simulador de edificación". Con vista en planta, se crea nuevas tareas de tipo demolición, y con la opción "Link", se enlazan los elementos a la tarea. El proyecto se guarda y se crea la animación en formato mp4.

Figura 40

Simulador de edificación

Tasks	Type	Progress	Start Date	Finish Date
Desgaste 7 año	Demolish	100%	01/01/2020	31/12/2020
Desgaste 6 año	Demolish	100%	01/01/2019	31/12/2019
Desgaste 5 año	Demolish	100%	01/01/2018	31/12/2018
Desgaste 4 año	Demolish	100%	01/01/2017	31/12/2017
Desgaste 3 año	Demolish	100%	01/01/2016	31/12/2016
Desgaste 2 año	Demolish	100%	01/01/2015	31/12/2015
Desgaste 1 año	Demolish	100%	01/01/2014	31/12/2014

Current Date: 01/03/2021

Show Built Show All

Link

Unlink

Show Linked Tasks

Select Linked Items

Select Unlinked Items

New Task

Delete Task

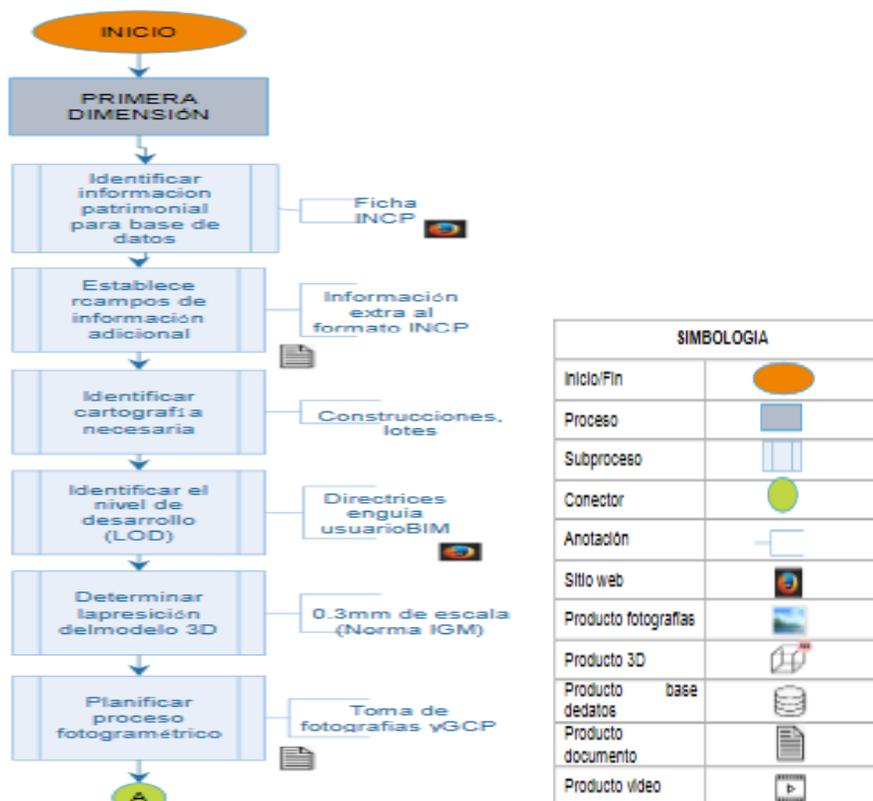
Diseño del modelo de información geoespacial

Con las 4 dimensiones desarrolladas, se crea el flujograma de trabajo guía para que el modelo de información geoespacial pueda ser replicado. Se establecen los

subprocesos y la simbología que representa cada uno de los componentes para cada dimensión. En la figura 38, se presenta el ejemplo con la 1 dimensión (1D).

Figura 41

Subprocesos dimensión (1D)



Difusión del modelo de información geoespacial

Difusión web

La página se programa en lenguaje html, permitiendo la salida de información textual, imágenes de los mapas, flujograma del modelo de información geoespacial, video de simulación 4D; y se inserta el código generado en la página Sketchfab para la visualización de los modelos 3D.

Figura 42

Diseño página web



Difusión física

Para la distribución física, se crea un documento que permite conocer de manera general la propuesta del modelo de información geoespacial. El diseño se basa en la página web del apartado 3.6.1 y del material multimedia se coloca capturas de pantallas.

Figura 43

Diseño folleto

Modelo de Información Geoespacial para Documentación 3D del patrimonio edificado

Quito, la cuna del arte colonial del Ecuador a través del IMP registra información patrimonial por medio de fotografías y fichas que sirven de insumos para realizar planes de gestión y manejo de bienes patrimoniales (INPC, 2011).

Heritage/ Historic Building Information Model (HBIM) es una adaptación del BIM para la gestión de información de edificaciones patrimoniales. El concepto H-BIM comenzó a ser desarrollado desde el 2009 por Murphy et al. (citado en Murphy, McGovern y Pavia, 2013), indicando que el objetivo que persigue el HBIM es el modelado y documentación de los elementos arquitectónicos, de acuerdo con las tipologías artísticas, históricas y constructivas de la edificación patrimonial.

Propuesta

Un modelo de información geoespacial basado en HBIM, propone trabajar sobre una representación 3D del bien patrimonial, que se vincula con su información alfanumérica. Esto influye a corto o largo plazo en la planificación de proyectos, planes de acción ante amenazas naturales y antrópicas, detección temprana de inconvenientes y establecer soluciones pertinentes, resultando todo en una reducción y optimización de recursos (Aguilla y Chalán, 2019).

La metodología propuesta, basada en la primera dimensión (1D) del BIM y las tres siguientes (2D, 3D, 4D) en HBIM; pretende ser una guía en cuanto a la adaptación de estos modelos para el registro y documentación 3D de bienes patrimoniales; más no en la modelación 3D.

Construcciones 3D



Capítulo IV

Resultados y discusiones

Primera dimensión (1D)

Proceso fotogramétrico

Toma de fotografías. Aplicando las ecuaciones del apartado 3.1.3.1; se obtuvo la cantidad de fotografías y el tiempo necesario para la captura de información (ver anexo B). A continuación se presenta los resultados para cada construcción:

- Casa Parroquial “El Sagrario”

$$N^{\circ} \text{ fotos por pasada} = \frac{21.77m}{1.2m} + 1 = 19$$

$$N^{\circ} \text{ total de fotos} = 19 + 3(3 \text{ por obstáculo y } 1 \text{ pared lateral}) = 23$$

$$\text{Tiempo de toma} = 23 * 12s = 276s \rightarrow 4.6min$$

La construcción presentaba una pared lateral, que en una solo fotografía podía ser capturada.

- Centro comercial “Pasaje Amador”

$$N^{\circ} \text{ fotos por pasada} = \frac{31.99 m}{1.2m} + 1 = 28$$

$$N^{\circ} \text{ total de fotos} = [28 * 2(N^{\circ} \text{ pasadas})] + 10 (\text{ balcon, ventana}) = 66$$

$$\text{Tiempo de toma} = 66 * 12s = 792s \rightarrow 13.2min$$

Debido a la altura de la edificación, fue necesario realizar dos pasadas.

- Local “M&M”

$$N^{\circ} \text{ fotos por pasada} = \frac{19.96m}{1.2m} + 1 = 18$$

$$\text{Tiempo de toma} = 18 * 12s = 216s \rightarrow 3.6min$$

- Local "Renitex"

$$N^{\circ} \text{ fotos por pasada} = \frac{23.20m}{1.2m} + 1 = 21$$

$$\text{Tiempo de toma} = 21 * 12s = 252s \rightarrow 4.2min$$

$$\text{Tiempo total de toma} = \sum \text{tiempos de toma} = 25.6 \text{ min}$$

El tiempo total 23.6 min fue un tiempo ideal, donde no se tomó en cuenta imprevistos como repetición de fotografías o espera por despeje de obstáculos. Por lo que el tiempo real llegó a ser el doble de lo planificado.

Puntos de apoyo fotogramétrico (GCP's). Se obtuvieron 9 GCP's de referencia en coordenadas locales. La información de cada punto se muestra en su correspondiente monografía, adjunta en el anexo C. En la tabla 9 se presentan las coordenadas de cada uno.

Tabla 9

Coordenadas de los GCP's

N°	Ubicación referencial	Coordenadas locales (m)		
		x	y	z
1	Esquina inferior izquierda, construcción Casa Parroquial "El Sagrario"	0	0	0

N°	Ubicación referencial	Coordenadas locales (m)		
		x	y	z
2	Mitad inferior puerta principal entrada al Casa Parroquial " El Sagrario"	0	10.78	0
3	Esquina divisora de predios, centro comercial "Pasaje Amador" y "Casa Parroquial El Sagrario"	0	21.76	0
4	Mitad inferior puerta principal entrada al Centro Comercial "Pasaje Amador"	0	37.75	0
5	Esquina divisora de predios, centro comercial "Pasaje Amador" y local "M&M"	0	53.74	0
6	Mitad inferior puerta verde local "M & M"	0	63.72	0
7	Esquina divisora de predios, local "RENITEX" y local "M & M"	0	73.3	0
8	Debajo del tubo a la derecha de la puerta de madera local "RENITEX"	0	85.3	0

N°	Ubicación referencial	Coordenadas locales (m)		
		x	y	z
9	Esquina inferior derecha construcción local "REINATEX"	0	96.9	0

Segunda dimensión (2D)

Información patrimonial gráfica

Generación de Ortofotos. A continuación se presenta la ortofoto de cada construcción y la precisión alcanzada en la georreferenciación:

Figura 44

Ortofoto Casa Parroquial El Sagrario



En precisión se tiene 7.038 cm lineales, valor aceptable para la escala establecida.

Figura 45

Georreferenciación Casa Parroquial El Sagrario

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)
✓ 1	0.000000	0.000000	0.000000	0.005000	0.041819
✓ 2	0.000000	10.780000	0.000000	0.005000	0.082005
✓ 3	0.000000	21.760000	0.000000	0.005000	0.079909
Total Error					
Control points					0.070378

Figura 46

Ortofoto Pasaje Amador

En precisión se tiene 7.514 cm lineales, valor aceptable para la escala establecida.

Figura 47

Georreferenciación Pasaje Amador

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)
✓ 3	0.000000	21.760000	0.000000	0.005000	0.053564
✓ 4	0.000000	37.750000	0.000000	0.005000	0.105365
✓ 5	0.000000	53.740000	0.000000	0.005000	0.054469
Total Error					
Control points					0.075139

Figura 48

Ortofoto Local M&M

En precisión se tiene 7.328 cm lineales, valor aceptable para la escala establecida.

Figura 49

Georreferenciación Local M&M

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)
✓ 5	0.000000	53.740000	0.000000	0.005000	0.049291
✓ 6	0.000000	63.720000	0.000000	0.005000	0.099984
✓ 7	0.000000	73.300000	0.000000	0.005000	0.060693
Total Error					
Control points					0.073280

Figura 50*Ortofoto Local Renitex*

En precisión se tiene 7.674 cm lineales, valor aceptable para la escala establecida.

Figura 51*Georreferenciación Local Renitex*

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)
✓ 7	0.000000	73.300000	0.000000	0.005000	0.057207
✓ 8	0.000000	85.300000	0.000000	0.005000	0.107219
✓ 9	0.000000	96.900000	0.000000	0.005000	0.053853
Total Error					
Control points					0.076744

Información alfanumérica

Información patrimonial. Al no ser posible recopilar toda la información patrimonial, solo se llenaron ciertos campos de las propiedades para cada construcción como se presenta más adelante en el apartado 4.3.2.1.

Amenazas naturales y Antrópicas. Para la estación 5 “Centro” ubicada en el área de interés, la temperatura media anual, presenta en el 2018 un valor promedio de

14.59 °C, en el 2019 un valor promedio de 14.88 °C y en el 2020 un valor promedio de 14.89°C; lo que, evidencia un incremento. Según lo indicado en el apartado 2.8.1, la temperatura promedio de 14.89°C no representaría una amenaza, comparado con el parámetro de 19°C. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que los cambios de temperatura debido a las diferentes épocas, si influye al deterior (ver figura 52).

Por otro lado, la radiación media anual, presenta en el 2018 un valor promedio de 194.23 W/m², en el 2019 un valor promedio de 203.32 W/m² y en el 2020 un valor promedio de 210.24 W/m². La radiación solar al estar ligada directamente con la temperatura, se infiere que no representa una amenaza, pero se toma la misma consideración que la temperatura (ver figura 53) (ver anexo D).

Figura 52

Amenaza natural (Temperatura)

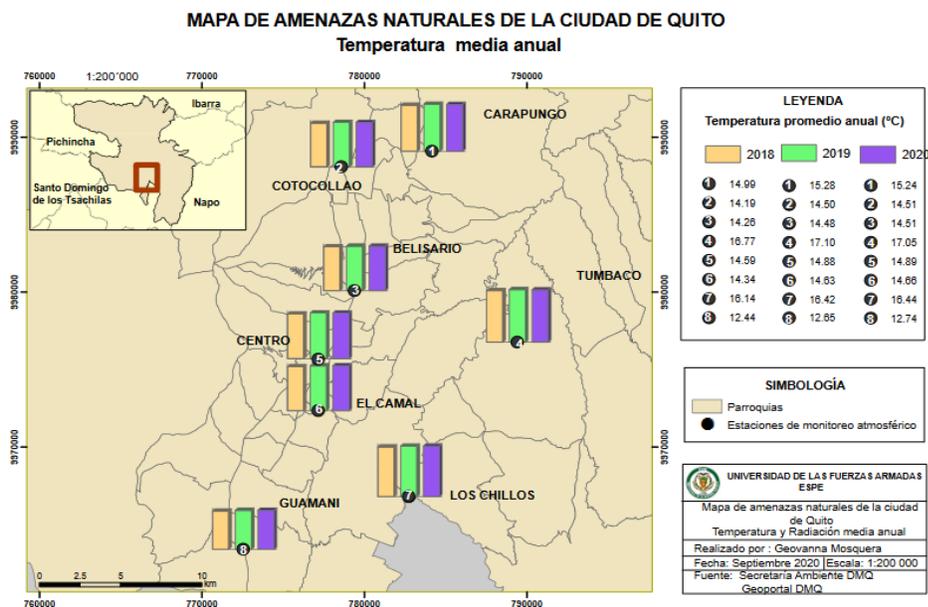
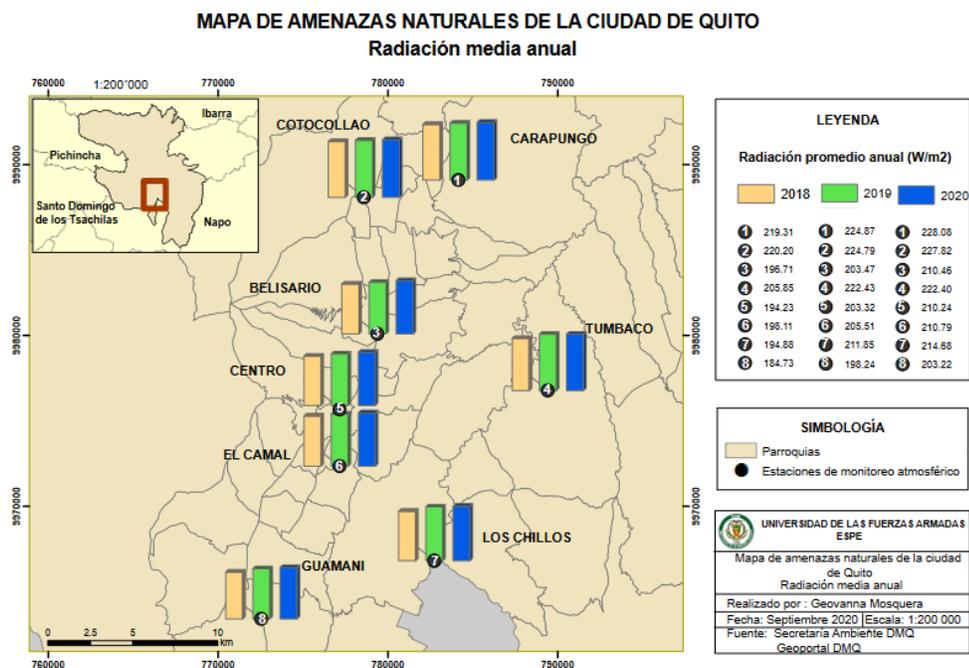


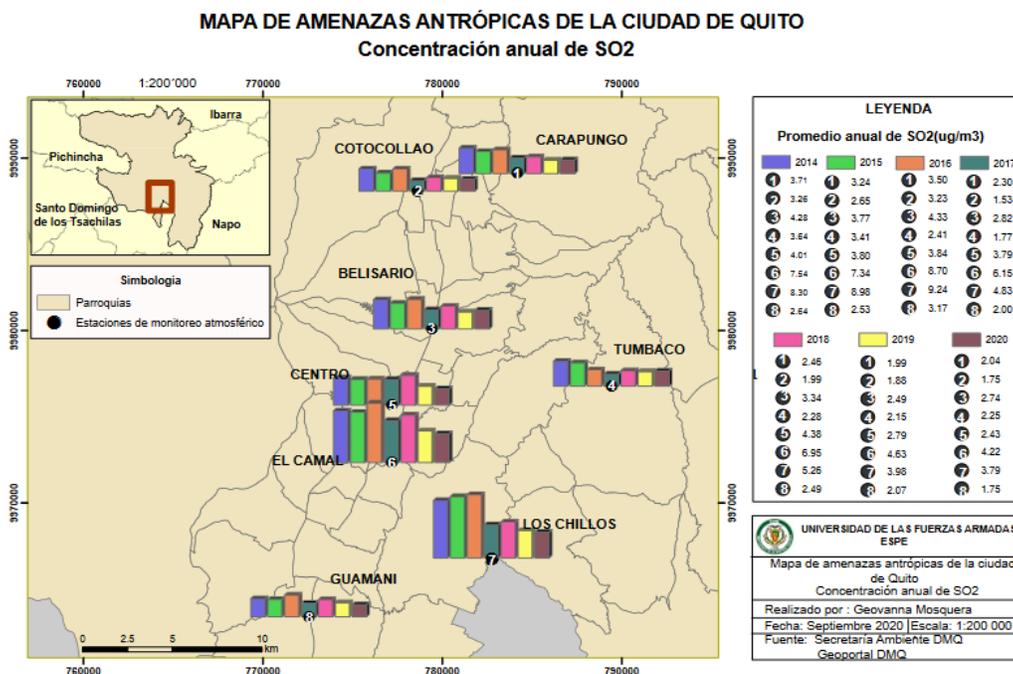
Figura 53

Amenaza natural (Radiación)



Para la estación 5 “Centro” ubicada en el área de interés, la concentración anual de SO_2 , presenta en 2014 un valor promedio de 4.01 ug/m^3 , en 2015 un valor de 3.41 ug/m^3 , en 2016 un valor de 2.41 ug/m^3 , en 2017 1.77 ug/m^3 , en 2018 un valor de 4.38 ug/m^3 , en 2019 un valor de 2.79 ug/m^3 y en 2020 un valor de 2.43 ug/m^3 ; lo que, evidencia un descenso en la concentración los últimos tres años. Según lo indicado en el apartado 2.8.2, una lluvia se considera acida para una concentración de SO_2 $0,0002 \text{ ppm}$ (0.52 ug/m^3). Los valores obtenidos en la investigación de 2.43 ug/m^3 , superan hasta en 4 veces el dato de referencia. Por lo que se puede inferir que, los bienes sufren desgaste a causa de la lluvia ácida (ver anexo E).

Figura 54

Amenaza antrópica (SO₂)

Tercera dimensión (3D)

Modelado 3D

A continuación se presenta el modelo 3D de cada construcción, conformada por el lote, el bloque constructivo y los elementos constructivos de la fachada principal. En los modelos 3D se tiene la representación de los elementos constructivos que conforman la fachada principal de cada construcción. Los detalles en los diseños de los elementos, se omitieron por no ser significativos para los fines que persigue la investigación (ver anexo F).

Figura 55

Representación 3D Casa Parroquial “El Sagrario”



Figura 56

Representación 3D Pasaje Amador

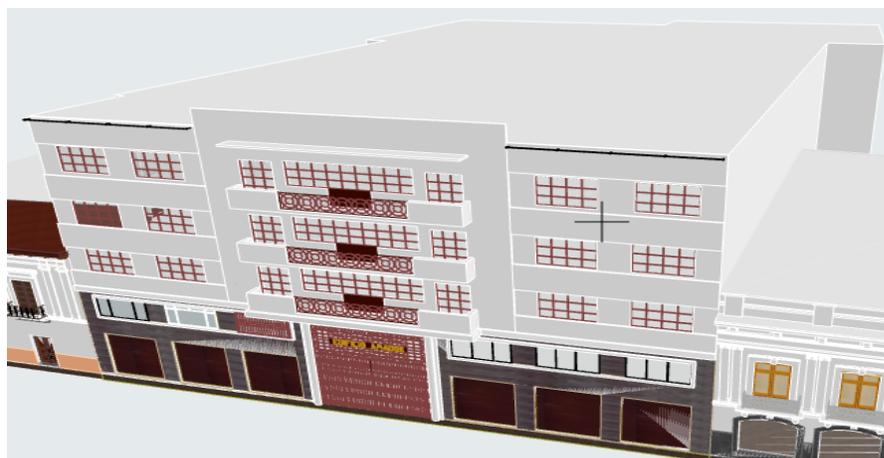


Figura 57

Representación 3D local "M&M"



Figura 58

Representación 3D local "Renitex"

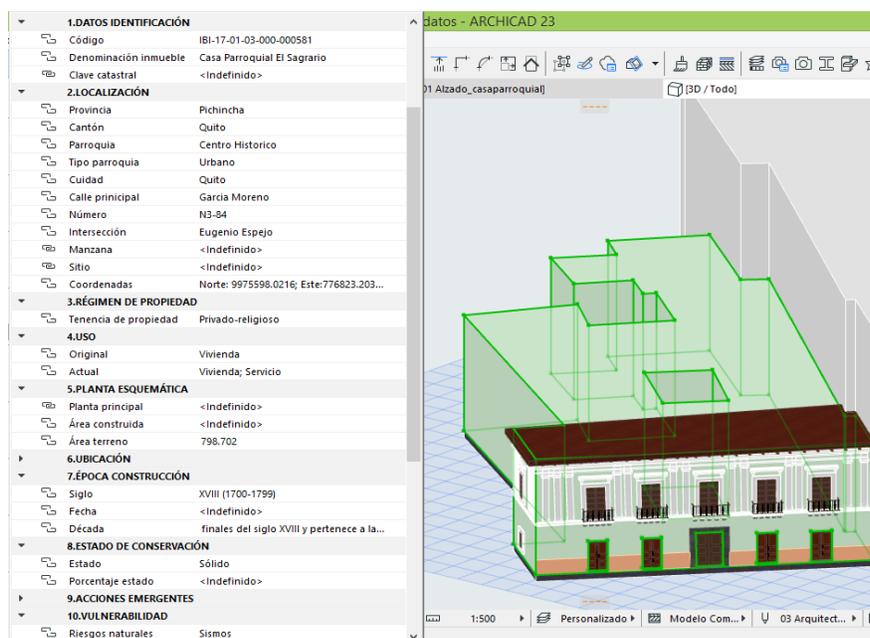


Vincular información alfanumérica

Información patrimonial. La información extraída del SIPCE no se encontró completa para los 21 campos de la ficha de registro INPC. Esta, se vincula solo al bloque constructivo, es decir, solo al seleccionar este elemento se despliega todo el registro (ver anexo G). A continuación se presentan la información que fue posible transcribir a las propiedades indicadas en la figura 36.

Figura 59

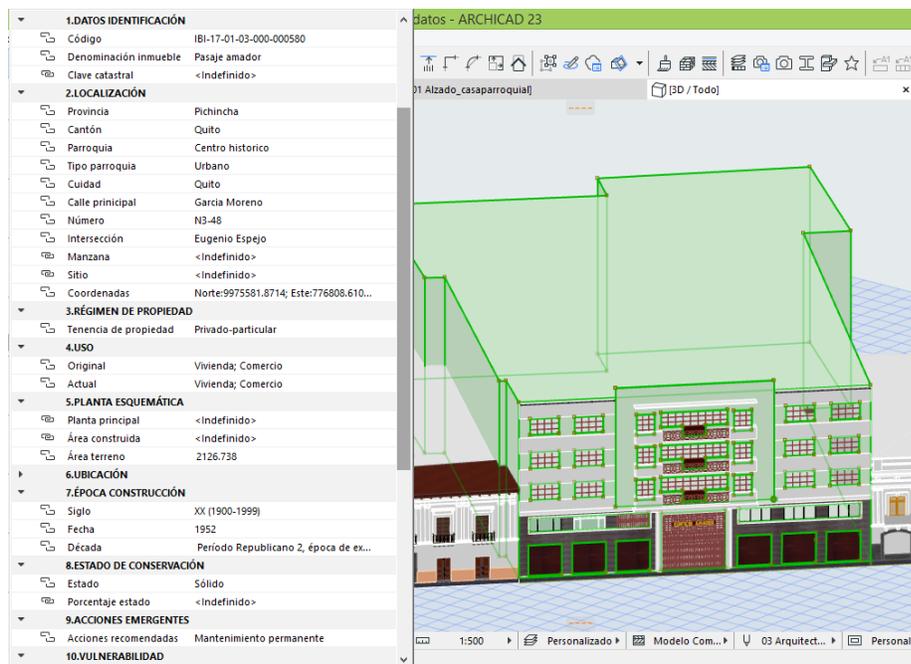
Propiedades Casa Parroquial “El Sagrario”



De la construcción registrada en el SIPCE como CASA PARROQUIAL EL SAGRARIO, se tiene solo 12 grupos con al menos un propiedad con información. Las propiedades sin información se marcan como <Indefinido>.

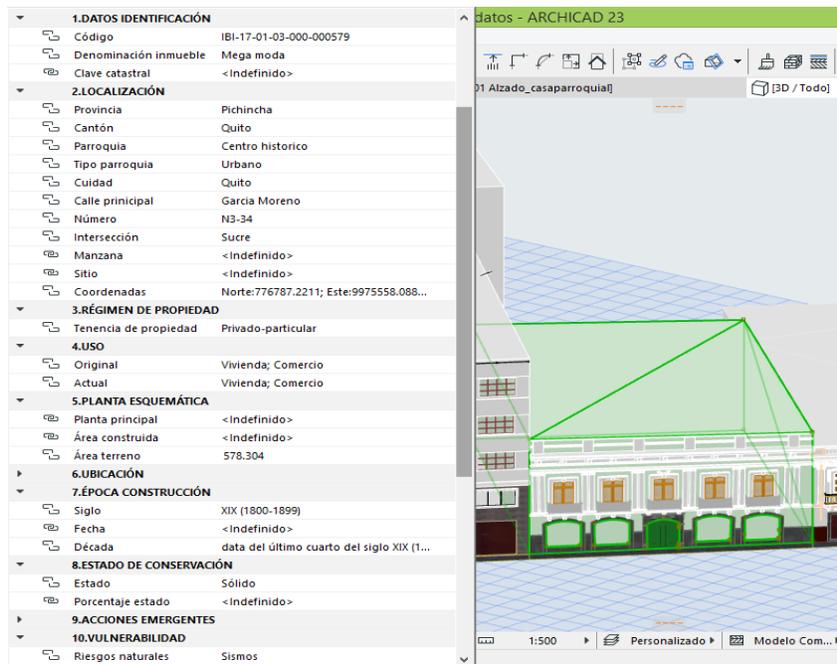
Figura 60

Propiedades Centro comercial "Pasaje Amador"



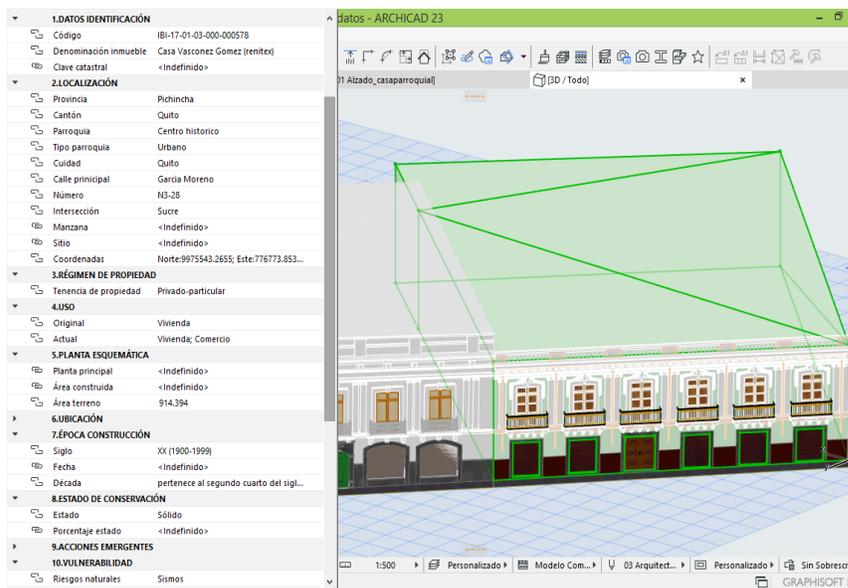
De la construcción registrada en el SIPCE como PASAJE AMADOR, se tiene solo 13 grupos con al menos un propiedad con información. Las propiedades sin información se marcan como <Indefinido>.

Figura 61

Propiedades local "M&M"

La construcción registrada en SIPCE como MEGA MODA, se tiene solo 12 grupos con al menos un propiedad con información. Las propiedades sin información se marcan como <Indefinido>.

Figura 62

Propiedades local "Renitex"

La construcción registrada en SIPCE como CASA VASCONEZ GOMEZ, se tiene solo 12 grupos con al menos un propiedad con información. Las propiedades sin información se marcan como <Indefinido>.

Amenazas naturales y antrópicas. En las figuras 63, 64, 65; correspondientes a las amenazas: SO₂, temperatura y radiación respectivamente, se muestra el listado de valores promedios anual para cada uno. Teniendo 7 registros, un dato por año, para SO₂, 3 registros para temperatura y 3 registros para radiación.

Figura 63

SO2 como propiedad

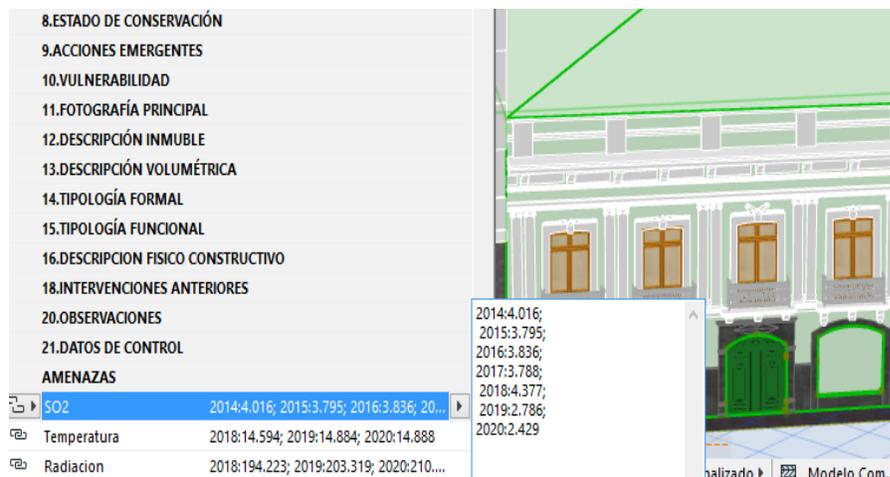


Figura 64

Temperatura como propiedad

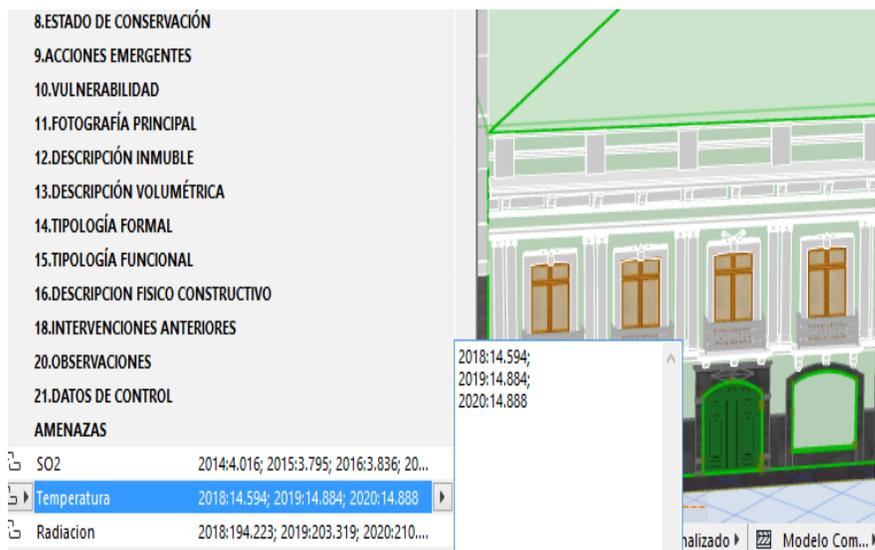
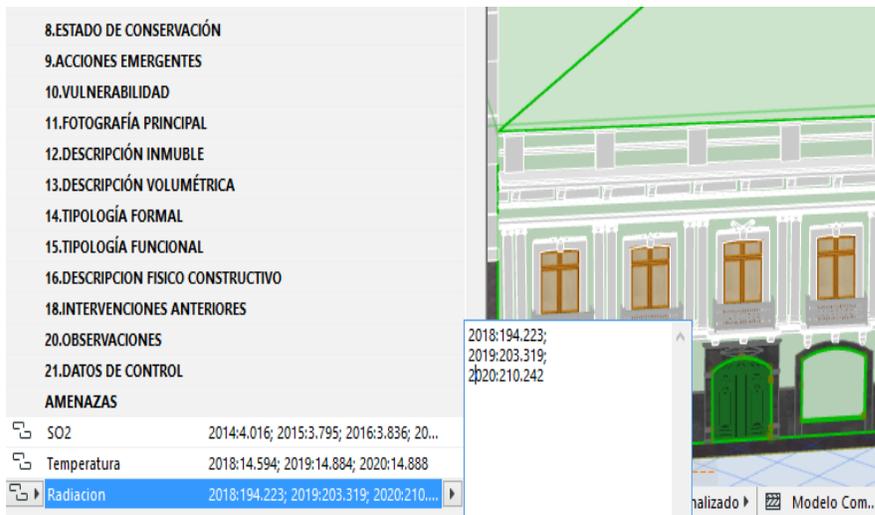


Figura 65

Radiación como propiedad**Control de calidad datos HBIM**

Método de control NIST. La tabla completa del control de calidad para las 83 muestras, 42 para exactitud posicional y 41 para fidelidad geométrica, se presenta en el anexo H. De manera general se tiene que, de las 83 muestras, todas pasaron al menos uno de los dos criterios evaluados; resultando 0 defectos (d). Al ser el valor de $p > \pi$, el conjunto de datos de acepta al 95% de confianza. De manera general, se tiene un error promedio de 3.07 cm.

Figura 66

Método de control NIST

ACEPACIÓN CONJUNTOS DATOS																
Se considera admisible hasta un 5% de valores fuera de especificación																
N° defectos	Muestra	Valor p	Valor π	Decisión												
0	83	4.15	3.7	EL VALOR DE (p) ES MENOR QUE (p), ACEPTAR CONJUNTO												
# of defects	Sample Size, n															
(d)	48	50	64	75	80	100	101	104	117	150	175	200	225	250	270	285
0	6.1	5.8	4.6	3.9	3.7	3	2.9	2.8	2.5	2	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1

Elementos de la calidad. Se presentan los resultados para los 9 elementos de calidad aplicables para el caso de estudio, según el apartado 3.3.4.2.

Linaje o procedencia. En la tabla 11, se muestran los 4 insumos que se usaron a la base de datos. Todos con fuentes entre primarias y secundarias.

Tabla 10

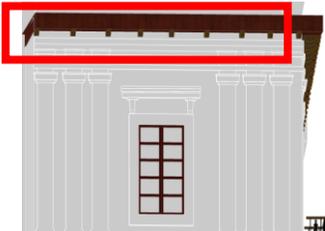
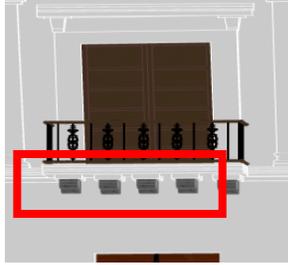
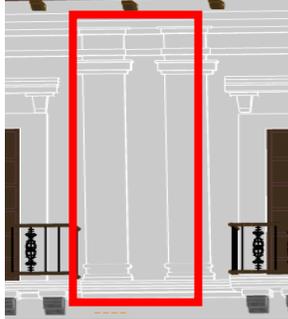
Elemento de control: linaje

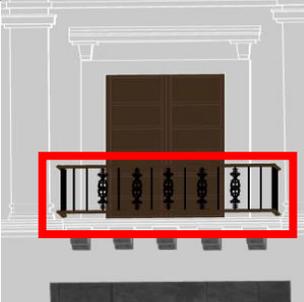
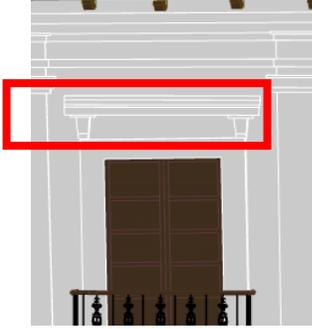
N°	Parámetro	Resultado
1	Ortofotos	Se obtuvieron por medio del procesamiento de fotografías tomadas por el autor (fuente primaria)
2	Cartografía	Se obtuvo de la página oficial del Geoportal del DMQ (fuente secundaria)
3	Amenazas	Los datos se obtuvieron de la página oficial de la Secretaria Ambiente del DMQ (fuente secundaria)
4	Información patrimonial	Se obtuvo de la página oficial del SIPCE (fuente secundaria)

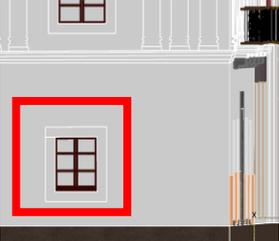
Omisión. En la tabla 12, se muestran los 32 elementos muestra de la construcción real y su correspondiente representación 3D. Todos los elementos están presentes.

Tabla 11

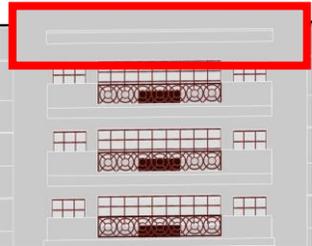
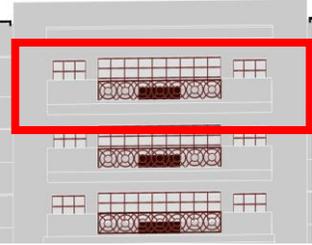
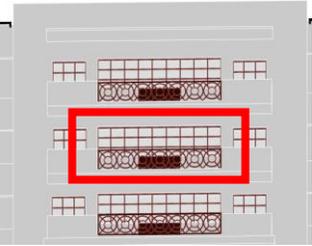
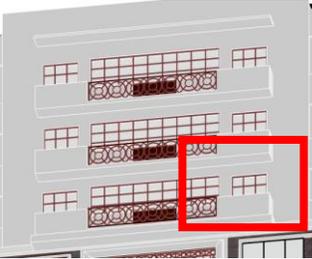
Elemento de control: omisión

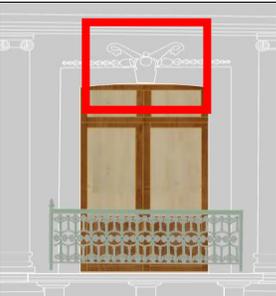
N°	Descripción	Real	Virtual
Casa Parroquial "El Sagrario"			
1	Canesillos		
2	Ménsulas balcón 1		
3	Pilastras ventana 3		

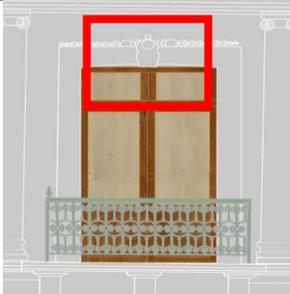
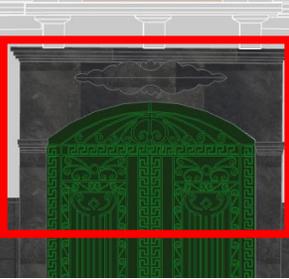
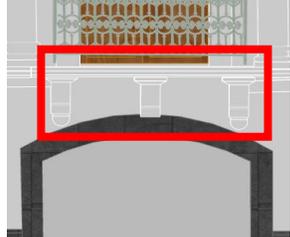
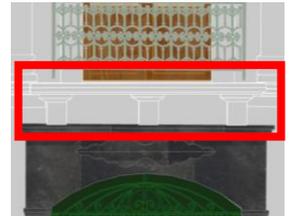
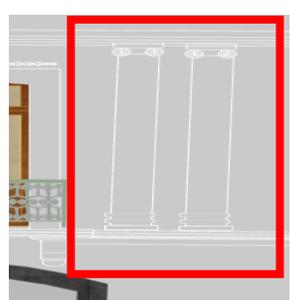
N°	Descripción	Real	Virtual
4	Barandal balcón 4		
5	Balcón 2		
6	Cornisilla superior ventana 5		
7	Pilastras ventana 1		

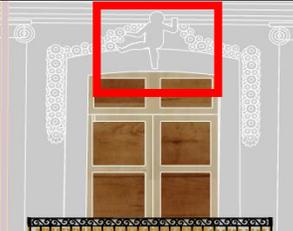
N°	Descripción	Real	Virtual
8	Ventana lateral inferior		

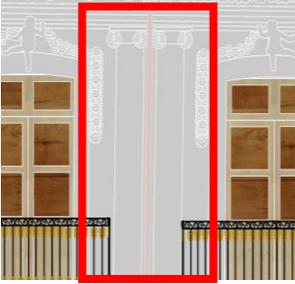
Centro Comercial "Pasaje Amador"

9	Volado superior		
10	Balcón 1 superior		
11	Barandal balcón 2		
12	Ventada derecha balcón 3		

N°	Descripción	Real	Virtual
13	Enmarcamiento puerta		
14	Barandal superior		
15	Ventana piso 2 izquierda		
16	Ventana piso 2 derecha		
Local "M&M"			
17	Elemento del enmarcamiento ventana 3 izquierda		

N°	Descripción	Real	Virtual
18	Elemento del enmarcamiento ventana 4 izquierda		
19	Enmarcamiento puerta		
20	Ménsulas balcón 1		
21	Ménsulas balcón 3		
22	Pilastras finales		

N°	Descripción	Real	Virtual
23	Pilastras iniciales		
24	Mensulas superiores		
Local "Renitex"			
25	Adorno del 1° balcón izquierdo		
26	Barandales del balcón 1 izquierdo		
27	Pilastras finales derechas		

N°	Descripción	Real	Virtual
28	Mésulas balcón 2		
29	Friso decorado		
30	Enmarcamiento ventana 3 izquierdo		
31	Pilastras entre balcón 3 y 4		
32	Puerta de madera		

Consistencia de dominio. En la tabla 13, se presenta la comparación entre los rangos de valores establecidos por el INPC y los valores que constan en las propiedades. Esto solo es aplicable para los campos que tienen definido su dominio, como un conjunto de opciones o listado de pestañas. Siendo así, de los 12 grupos que se completaron en el apartado 4.3.2.1, solo 9 tenían las características para pasar por consistencia de dominio. Todas concuerdan con el dominio establecido.

Tabla 12

Elemento de control: consistencia de dominio

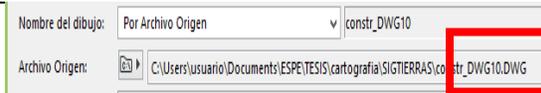
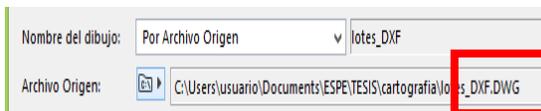
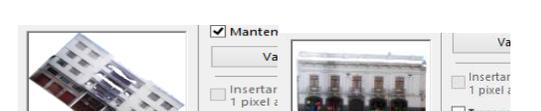
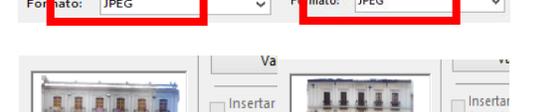
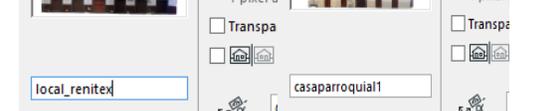
N°	Nombre del grupo	Dominio INPC	Dominio en la propiedad
1	Localización	<div data-bbox="621 978 865 1178"> <p>2. DATOS DE LOCALIZACIÓN</p> <p>Provincia: CARCHI</p> <p>Parroquia: TULCÁN</p> <p>Urbana <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Rural: <input type="checkbox"/></p> <p>CoordenadasWG584 Z17S : X</p> </div> <div data-bbox="621 1209 865 1388"> <p>2. DATOS DE LOCALIZACIÓN</p> <p>Provincia: CARCHI</p> <p>Parroquia: TULCÁN</p> <p>Urbana <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Rural: <input type="checkbox"/></p> <p>CoordenadasWG584 Z17S : X</p> </div> <p>CoordenadasWG584 Z17S : X (Este) 197329</p> <p>Y (Norte) 10089719 Z (Altitud) 2914</p>	<div data-bbox="873 978 1377 1073"> <p>Tipo parroquia Urbano</p> <p>Ciudad Quito</p> <p>Urbano <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Rural <input type="checkbox"/></p> </div> <div data-bbox="873 1209 1377 1325"> <p>Coordenadas Norte:776787.2211; Este:9975558.088...</p> <p>3.RÉGIMEN DE PROPIEDAD</p> <p>Tenencia de propiedad Privado-particular</p> </div>
3	Régimen de propiedad	<div data-bbox="621 1602 865 1837"> <p>3. RÉGIMEN DE PROPIEDAD</p> <p>Público:</p> <p>Estatal</p> <p>Privado</p> <p>Particular <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Religioso <input type="checkbox"/></p> </div>	<div data-bbox="873 1602 1377 1703"> <p>Tenencia de propiedad Privado-particular</p> <p>4.USO</p> <p>Original Vivienda; Comercio</p> <p>Público-estatal <input type="checkbox"/></p> <p>Privado-particular <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Privado-religioso <input type="checkbox"/></p> </div>

N°	Nombre del grupo	Dominio INPC	Dominio en la propiedad																																																																					
4	Uso	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">4. USOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Original:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CULTURAL</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>VIVIENDA</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>COMERCIO</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>SERVICIOS</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Actual:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ABANDONADO</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>VIVIENDA</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>COMERCIO</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>SERVICIOS</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	4. USOS		Original:		CULTURAL	<input type="checkbox"/>	VIVIENDA	<input type="checkbox"/>	COMERCIO	<input type="checkbox"/>	SERVICIOS	<input type="checkbox"/>	Actual:		ABANDONADO	<input type="checkbox"/>	VIVIENDA	<input type="checkbox"/>	COMERCIO	<input type="checkbox"/>	SERVICIOS	<input type="checkbox"/>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Original</td> <td>Vivienda; Comercio</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Vivienda</td> </tr> <tr> <td>Actual</td> <td>Vivienda; Comercio</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Comercio</td> </tr> <tr> <td>5.PLANTA ESQUEMÁTICA</td> <td></td> <td><input type="checkbox"/> Servicios</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/> Cultural</td> </tr> <tr> <td>Actual</td> <td>Vivienda; Comercio</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Vivienda</td> </tr> <tr> <td>5.PLANTA ESQUEMÁTICA</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Comercio</td> </tr> <tr> <td>Planta principal</td> <td><Indefinido></td> <td><input type="checkbox"/> Servicio</td> </tr> <tr> <td>Área construida</td> <td><Indefinido></td> <td><input type="checkbox"/> Cultural</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/> Abandonado</td> </tr> </tbody> </table>	Original	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda	Actual	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Comercio	5.PLANTA ESQUEMÁTICA		<input type="checkbox"/> Servicios			<input type="checkbox"/> Cultural	Actual	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda	5.PLANTA ESQUEMÁTICA		<input checked="" type="checkbox"/> Comercio	Planta principal	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Servicio	Área construida	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Cultural			<input type="checkbox"/> Abandonado																				
4. USOS																																																																								
Original:																																																																								
CULTURAL	<input type="checkbox"/>																																																																							
VIVIENDA	<input type="checkbox"/>																																																																							
COMERCIO	<input type="checkbox"/>																																																																							
SERVICIOS	<input type="checkbox"/>																																																																							
Actual:																																																																								
ABANDONADO	<input type="checkbox"/>																																																																							
VIVIENDA	<input type="checkbox"/>																																																																							
COMERCIO	<input type="checkbox"/>																																																																							
SERVICIOS	<input type="checkbox"/>																																																																							
Original	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda																																																																						
Actual	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Comercio																																																																						
5.PLANTA ESQUEMÁTICA		<input type="checkbox"/> Servicios																																																																						
		<input type="checkbox"/> Cultural																																																																						
Actual	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda																																																																						
5.PLANTA ESQUEMÁTICA		<input checked="" type="checkbox"/> Comercio																																																																						
Planta principal	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Servicio																																																																						
Área construida	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Cultural																																																																						
		<input type="checkbox"/> Abandonado																																																																						
6	Época de construcción	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">7. ÉPOCA CONSTRUCCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Siglo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Anterior al Siglo XVI</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>XVI (1500 - 1599)</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>XVII (1600 - 1699)</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>XVIII (1700 - 1799)</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>XIX (1800 - 1899)</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>XX (1900 - 1999)</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>XXI (2000 en adelante)</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	7. ÉPOCA CONSTRUCCIÓN		Siglo		Anterior al Siglo XVI	<input type="checkbox"/>	XVI (1500 - 1599)	<input type="checkbox"/>	XVII (1600 - 1699)	<input type="checkbox"/>	XVIII (1700 - 1799)	<input type="checkbox"/>	XIX (1800 - 1899)	<input type="checkbox"/>	XX (1900 - 1999)	<input checked="" type="checkbox"/>	XXI (2000 en adelante)	<input type="checkbox"/>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Siglo</td> <td>XIX (1800-1899)</td> <td>Anterior XVI</td> </tr> <tr> <td>Fecha</td> <td><Indefinido></td> <td>XVI (1500-1599)</td> </tr> <tr> <td>Década</td> <td>data del último cuarto del siglo XIX (1...</td> <td>XVII (1600-1699)</td> </tr> <tr> <td>8.ESTADO DE CONSERVACIÓN</td> <td></td> <td>XVIII (1700-1799)</td> </tr> <tr> <td>Estado</td> <td>Sólido</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> XIX (1800-1899)</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje estado</td> <td><Indefinido></td> <td>XX (1900-1999)</td> </tr> <tr> <td>9.ACCIONES EMERGENTES</td> <td></td> <td>XXI (2000 en adelante)</td> </tr> </tbody> </table>	Siglo	XIX (1800-1899)	Anterior XVI	Fecha	<Indefinido>	XVI (1500-1599)	Década	data del último cuarto del siglo XIX (1...	XVII (1600-1699)	8.ESTADO DE CONSERVACIÓN		XVIII (1700-1799)	Estado	Sólido	<input checked="" type="checkbox"/> XIX (1800-1899)	Porcentaje estado	<Indefinido>	XX (1900-1999)	9.ACCIONES EMERGENTES		XXI (2000 en adelante)																														
7. ÉPOCA CONSTRUCCIÓN																																																																								
Siglo																																																																								
Anterior al Siglo XVI	<input type="checkbox"/>																																																																							
XVI (1500 - 1599)	<input type="checkbox"/>																																																																							
XVII (1600 - 1699)	<input type="checkbox"/>																																																																							
XVIII (1700 - 1799)	<input type="checkbox"/>																																																																							
XIX (1800 - 1899)	<input type="checkbox"/>																																																																							
XX (1900 - 1999)	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																							
XXI (2000 en adelante)	<input type="checkbox"/>																																																																							
Siglo	XIX (1800-1899)	Anterior XVI																																																																						
Fecha	<Indefinido>	XVI (1500-1599)																																																																						
Década	data del último cuarto del siglo XIX (1...	XVII (1600-1699)																																																																						
8.ESTADO DE CONSERVACIÓN		XVIII (1700-1799)																																																																						
Estado	Sólido	<input checked="" type="checkbox"/> XIX (1800-1899)																																																																						
Porcentaje estado	<Indefinido>	XX (1900-1999)																																																																						
9.ACCIONES EMERGENTES		XXI (2000 en adelante)																																																																						
7	Estado de conservación	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">8. ESTADO DE CONSERVACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sólido</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Deteriorado</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Ruinoso</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	8. ESTADO DE CONSERVACIÓN		Sólido	<input type="checkbox"/>	Deteriorado	<input type="checkbox"/>	Ruinoso	<input type="checkbox"/>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Estado</td> <td>Sólido</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Sólido</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje estado</td> <td><Indefinido></td> <td>Deteriorado</td> </tr> <tr> <td>9.ACCIONES EMERGENTES</td> <td></td> <td>Ruinoso</td> </tr> </tbody> </table>	Estado	Sólido	<input checked="" type="checkbox"/> Sólido	Porcentaje estado	<Indefinido>	Deteriorado	9.ACCIONES EMERGENTES		Ruinoso																																																				
8. ESTADO DE CONSERVACIÓN																																																																								
Sólido	<input type="checkbox"/>																																																																							
Deteriorado	<input type="checkbox"/>																																																																							
Ruinoso	<input type="checkbox"/>																																																																							
Estado	Sólido	<input checked="" type="checkbox"/> Sólido																																																																						
Porcentaje estado	<Indefinido>	Deteriorado																																																																						
9.ACCIONES EMERGENTES		Ruinoso																																																																						
8	Tipología formal	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">14. TIPOLOGÍA FORMAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arquitectura monumental civil</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Arquitectura monumental religiosa</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Arquitectura civil</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Arquitectura religiosa</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Arquitectura tradicional</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Arquitectura vernácula</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Cementerios</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Haciendas</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Rutas</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Molinos</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Puentes</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	14. TIPOLOGÍA FORMAL		Arquitectura monumental civil	<input type="checkbox"/>	Arquitectura monumental religiosa	<input type="checkbox"/>	Arquitectura civil	<input checked="" type="checkbox"/>	Arquitectura religiosa	<input type="checkbox"/>	Arquitectura tradicional	<input type="checkbox"/>	Arquitectura vernácula	<input type="checkbox"/>	Cementerios	<input type="checkbox"/>	Haciendas	<input type="checkbox"/>	Rutas	<input type="checkbox"/>	Molinos	<input type="checkbox"/>	Puentes	<input type="checkbox"/>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tipología</td> <td>Arquitectura civil</td> <td>Arquitectura monumental civil</td> </tr> <tr> <td>15.TIPOLOGÍA FUNCIONAL</td> <td></td> <td>Arquitectura monumental religiosa</td> </tr> <tr> <td>Tipología</td> <td>Vivienda; Comercio</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Arquitectura civil</td> </tr> <tr> <td>16.DESCRIPCION FISICO CONSTRUCTIVO</td> <td></td> <td>Arquitectura religiosa</td> </tr> <tr> <td>Elemento constructivo</td> <td><Indefinido></td> <td>Arquitectura tradicional</td> </tr> <tr> <td>Estado de conservación</td> <td><Indefinido></td> <td>Arquitectura vernácula</td> </tr> <tr> <td>18.INTERVENCIONES ANTERIORES</td> <td></td> <td>Cementerios</td> </tr> <tr> <td>Cimientos</td> <td><Indefinido></td> <td>Haciendas</td> </tr> <tr> <td>Pisos</td> <td><Indefinido></td> <td>Rutas</td> </tr> <tr> <td>Cielo raso</td> <td><Indefinido></td> <td>Molinos</td> </tr> <tr> <td>Entrepisos</td> <td><Indefinido></td> <td>Puentes</td> </tr> <tr> <td>Estructura</td> <td><Indefinido></td> <td>Parques</td> </tr> <tr> <td>Muros/paredes/tabiques</td> <td><Indefinido></td> <td>Plazas</td> </tr> <tr> <td>Cubiertas</td> <td><Indefinido></td> <td>Industrial</td> </tr> <tr> <td>Instalaciones</td> <td><Indefinido></td> <td>Túneles</td> </tr> </tbody> </table>	Tipología	Arquitectura civil	Arquitectura monumental civil	15.TIPOLOGÍA FUNCIONAL		Arquitectura monumental religiosa	Tipología	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Arquitectura civil	16.DESCRIPCION FISICO CONSTRUCTIVO		Arquitectura religiosa	Elemento constructivo	<Indefinido>	Arquitectura tradicional	Estado de conservación	<Indefinido>	Arquitectura vernácula	18.INTERVENCIONES ANTERIORES		Cementerios	Cimientos	<Indefinido>	Haciendas	Pisos	<Indefinido>	Rutas	Cielo raso	<Indefinido>	Molinos	Entrepisos	<Indefinido>	Puentes	Estructura	<Indefinido>	Parques	Muros/paredes/tabiques	<Indefinido>	Plazas	Cubiertas	<Indefinido>	Industrial	Instalaciones	<Indefinido>	Túneles
14. TIPOLOGÍA FORMAL																																																																								
Arquitectura monumental civil	<input type="checkbox"/>																																																																							
Arquitectura monumental religiosa	<input type="checkbox"/>																																																																							
Arquitectura civil	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																							
Arquitectura religiosa	<input type="checkbox"/>																																																																							
Arquitectura tradicional	<input type="checkbox"/>																																																																							
Arquitectura vernácula	<input type="checkbox"/>																																																																							
Cementerios	<input type="checkbox"/>																																																																							
Haciendas	<input type="checkbox"/>																																																																							
Rutas	<input type="checkbox"/>																																																																							
Molinos	<input type="checkbox"/>																																																																							
Puentes	<input type="checkbox"/>																																																																							
Tipología	Arquitectura civil	Arquitectura monumental civil																																																																						
15.TIPOLOGÍA FUNCIONAL		Arquitectura monumental religiosa																																																																						
Tipología	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Arquitectura civil																																																																						
16.DESCRIPCION FISICO CONSTRUCTIVO		Arquitectura religiosa																																																																						
Elemento constructivo	<Indefinido>	Arquitectura tradicional																																																																						
Estado de conservación	<Indefinido>	Arquitectura vernácula																																																																						
18.INTERVENCIONES ANTERIORES		Cementerios																																																																						
Cimientos	<Indefinido>	Haciendas																																																																						
Pisos	<Indefinido>	Rutas																																																																						
Cielo raso	<Indefinido>	Molinos																																																																						
Entrepisos	<Indefinido>	Puentes																																																																						
Estructura	<Indefinido>	Parques																																																																						
Muros/paredes/tabiques	<Indefinido>	Plazas																																																																						
Cubiertas	<Indefinido>	Industrial																																																																						
Instalaciones	<Indefinido>	Túneles																																																																						
9	Tipología funcional	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">15. TIPOLOGÍA FUNCIONAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vivienda</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Culto</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Educativa</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Comercio</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Servicios</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Salud</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Funeraria</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Productiva</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Recreativa</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Administrativa</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Cultural</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	15. TIPOLOGÍA FUNCIONAL		Vivienda	<input type="checkbox"/>	Culto	<input type="checkbox"/>	Educativa	<input type="checkbox"/>	Comercio	<input type="checkbox"/>	Servicios	<input type="checkbox"/>	Salud	<input type="checkbox"/>	Funeraria	<input type="checkbox"/>	Productiva	<input type="checkbox"/>	Recreativa	<input type="checkbox"/>	Administrativa	<input type="checkbox"/>	Cultural	<input checked="" type="checkbox"/>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tipología</td> <td>Vivienda; Comercio</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Vivienda</td> </tr> <tr> <td>16.DESCRIPCION FISICO CONSTRUCTIVO</td> <td></td> <td><input type="checkbox"/> Culto</td> </tr> <tr> <td>Elemento constructivo</td> <td><Indefinido></td> <td><input type="checkbox"/> Educativa</td> </tr> <tr> <td>Estado de conservación</td> <td><Indefinido></td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Comercio</td> </tr> <tr> <td>18.INTERVENCIONES ANTERIORES</td> <td></td> <td><input type="checkbox"/> Servicios</td> </tr> <tr> <td>Cimientos</td> <td><Indefinido></td> <td><input type="checkbox"/> Salud</td> </tr> <tr> <td>Pisos</td> <td><Indefinido></td> <td><input type="checkbox"/> Funeraria</td> </tr> <tr> <td>Cielo raso</td> <td><Indefinido></td> <td><input type="checkbox"/> Productiva</td> </tr> <tr> <td>Entrepisos</td> <td><Indefinido></td> <td><input type="checkbox"/> Recreativa</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/> Administrativa</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/> Cultural</td> </tr> </tbody> </table>	Tipología	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda	16.DESCRIPCION FISICO CONSTRUCTIVO		<input type="checkbox"/> Culto	Elemento constructivo	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Educativa	Estado de conservación	<Indefinido>	<input checked="" type="checkbox"/> Comercio	18.INTERVENCIONES ANTERIORES		<input type="checkbox"/> Servicios	Cimientos	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Salud	Pisos	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Funeraria	Cielo raso	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Productiva	Entrepisos	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Recreativa			<input type="checkbox"/> Administrativa			<input type="checkbox"/> Cultural												
15. TIPOLOGÍA FUNCIONAL																																																																								
Vivienda	<input type="checkbox"/>																																																																							
Culto	<input type="checkbox"/>																																																																							
Educativa	<input type="checkbox"/>																																																																							
Comercio	<input type="checkbox"/>																																																																							
Servicios	<input type="checkbox"/>																																																																							
Salud	<input type="checkbox"/>																																																																							
Funeraria	<input type="checkbox"/>																																																																							
Productiva	<input type="checkbox"/>																																																																							
Recreativa	<input type="checkbox"/>																																																																							
Administrativa	<input type="checkbox"/>																																																																							
Cultural	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																							
Tipología	Vivienda; Comercio	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda																																																																						
16.DESCRIPCION FISICO CONSTRUCTIVO		<input type="checkbox"/> Culto																																																																						
Elemento constructivo	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Educativa																																																																						
Estado de conservación	<Indefinido>	<input checked="" type="checkbox"/> Comercio																																																																						
18.INTERVENCIONES ANTERIORES		<input type="checkbox"/> Servicios																																																																						
Cimientos	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Salud																																																																						
Pisos	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Funeraria																																																																						
Cielo raso	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Productiva																																																																						
Entrepisos	<Indefinido>	<input type="checkbox"/> Recreativa																																																																						
		<input type="checkbox"/> Administrativa																																																																						
		<input type="checkbox"/> Cultural																																																																						

Consistencia de formato. En la tabla 13, se muestran los formatos establecidos en el apartado 3.1.4 y su comparación con los formatos de la información presente en la base de datos. Todas concuerdan con el formato establecido.

Tabla 13

Elemento de control: consistencia de formato

Tipo información	Formato establecido	Formato presente
Cartografía	DWG 2010	
Imágenes	JPG	
		
		
		
		

Exactitud posicional absoluta. De acuerdo con la cartografía de Google Earth, la posición absoluta de las construcciones es precisa. En la figura 67, La Casa Parroquial “El Sagrario”, se ubica a la izquierda de la Iglesia “El Sagrario”, y seguido a la

derecha las otras tres construcciones. Todas, sobre la calle García Moreno, lo cual es correcto con la ubicación real de estas.

Figura 67

Comprobación posición absoluta



Exactitud posicional relativa y fidelidad geométrica. Estos dos elementos se evaluaron en conjunto con el método NIST del apartado 4.3.3.1. El conjunto de 83 muestras, 42 para exactitud posicional y 41 para fidelidad geométrica, se aceptó con 0 defectos encontrados al 95% de confianza. Esto indica que, todos los datos tuvieron una discrepancia entre la medida real y la medida virtual menor a 15 cm.

Cuarta dimensión (4D)

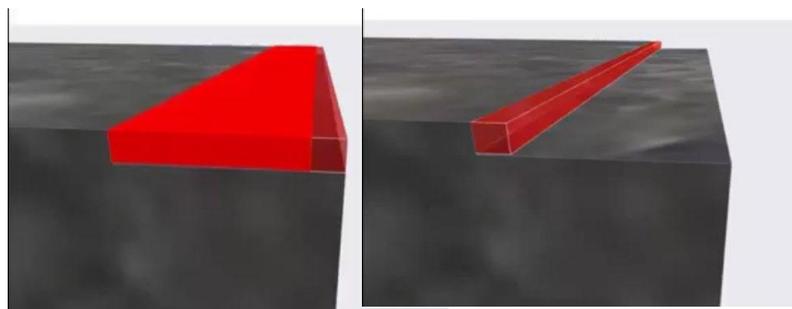
Simulación de deterioro

En el video de la simulación, al cual se puede acceder en el link de la página web del apartado 4.6.1; se evidencia el desgaste de material que sufre el elemento constructivo. Donde los elemento en rojo, son el material que se perdería por año (ver

figura 68). Al estar la simulación basada en datos teóricos de otras investigaciones, el resultado no demuestra la realidad del desgaste en los bienes patrimoniales intervenidos para el caso de estudio.

Figura 68

Simulación de deterioro

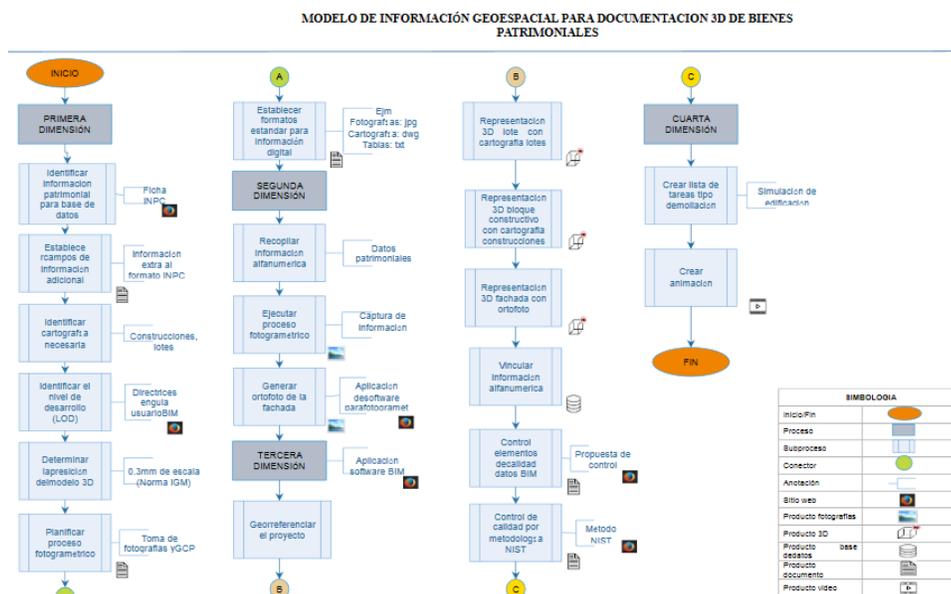


Diseño del modelo de información geoespacial

En la figura 69 se presenta el flujograma de todos los subprocesos seguidos en cada una de las 4 dimensiones. Todo el conjunto de procedimientos conceptualizan el modelo de información geoespacial con fines de documentación 3D. En los subprocesos donde se ha creído necesario ampliar información, se anexa un link de ayuda. Además de la simbología usada para representar los productos obtenidos en cada paso (ver anexo I).

Figura 69

Modelo de información geoespacial



Difusión del modelo de información geoespacial

Difusión web

Los resultados obtenidos en la investigación se difunden en la red a través de la página web subida a un servidor gratuito. La página brinda información teórica del modelo de información geoespacial, el pdf del flujograma de trabajo, los modelos 3D, los mapas de amenazas y el video de la simulación 4D. Todos disponibles para su descarga (ver anexo J). En el siguiente link se puede acceder a la página

<https://difusionweb.000webhostapp.com/>

Difusión física

El documento completo se presenta en el anexo D. En la figura 70, se muestra una captura del folleto con información general sobre la propuesta del modelo de información geoespacial desarrollado en el proyecto (ver anexo K).

Figura 70

Documento físico (folleto)

Modelo de Información Geoespacial para Documentación 3D del patrimonio edificado

Quito, la cuna del arte colonial del Ecuador a través del IMP registra información patrimonial por medio de fotografías y fichas que sirven de insumos para realizar planes de gestión y manejo de bienes patrimoniales (INPC, 2011).

Heritage Historic Building Information Model (HBIM) es una adaptación del BIM para la gestión de información de edificaciones patrimoniales. El concepto H-BIM comenzó a ser desarrollado desde el 2009 por Murphy et al. (citado en Murphy, McGowan y Pavia, 2013), indicando que el objetivo que persigue el HBIM es el modelado y documentación de los elementos arquitectónicos, de acuerdo con las tipologías artísticas, históricas y constructivas de la edificación patrimonial.

Propuesta

Un modelo de información geoespacial basado en HBIM, propone trabajar sobre una representación 3D del bien patrimonial, que se vincula con su información alfanumérica. Esto influye a corto o largo plazo en la planificación de proyectos, planes de acción ante amenazas naturales y antrópicas, detección temprana de inconvenientes y establecer soluciones pertinentes, resultando todo en una reducción y optimización de recursos (Auquilla y Chalán, 2019).

La metodología propuesta, basada en la primera dimensión (1D) del BIM y las tres siguientes (2D, 3D, 4D) en HBIM; pretende ser una guía en cuanto a la adaptación de estos modelos para el registro y documentación 3D de bienes patrimoniales; más no en la modelación 3D.

Construcciones 3D



Amenaza a los bienes patrimoniales

Los bienes patrimoniales sufren desgaste de material por la constante exposición a la lluvia ácida y cambios de temperatura. Por ello, en la cuarta dimensión (4D), se simula el deterioro a causa del SO₂ presente en la lluvia ácida y evidenciado en el Centro Histórico. Al estar la simulación basada en datos teóricos de otras investigaciones, el resultado no demuestra la realidad del desgaste en los bienes patrimoniales intervenidos del Centro Histórico para el caso de estudio.

DESCARGAS

Los modelos 3D, el video de simulación, el mapa de amenazas y el flujograma de trabajo para replicar el desarrollo del modelo de información, están disponibles en la página web: <https://difusionweb.000webhostapp.com/>



Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El modelo de información geoespacial no es más que una conceptualización de los procesos que se han creído básicos y necesarios para la documentación 3D de bienes patrimoniales. Pretende ser una guía en cuanto a la adaptación del BIM y HBIM, más no en el proceso de modelación 3D.

La investigación teórica en fotogrametría de rango corto, solo enumera ciertas consideraciones para realizar la toma de fotografías. Tomando como modelo, el plan de vuelo que se realiza en fotogrametría digital, se desarrolló una planificación más técnica y con fundamento matemático en cuanto a la obtención del GSD, traslapos, avance entre fotografías, número de pasadas y tiempo de toma.

En el control de calidad por el método NIST, el conjunto de los 83 elementos constructivos, se aceptaron con cero defectos al 95% de confianza. Lo que indica que, la discrepancia entre la medida real y la medida virtual fue menor a 15 cm. Teniendo un error promedio de 3.07 cm.

De los 13 elementos de control de calidad sugeridos para la metodología BIM y HBIM 6 no fueron aplicables. Tres de ellos, comisión, consistencia conceptual y exactitud de atributos cuantitativos, no se tomaron en cuenta por no alinearse con el objetivo que persigue la investigación. Los otros tres, corrección de la clasificación, corrección de atributos cualitativos y exactitud temporal, no fueron posibles ejecutar por carencia de información para el control.

Los modelos 3D de las edificaciones patrimoniales, tiene un Nivel de Detalle de 300. Es decir, se llegó hasta la representación de todos los elementos constructivos que conforman la fachada de cada construcción. Mientras que; la información patrimonial tomada del SIPCE, no se encuentra completa. Por lo que, se registran de 12 a 13 campos de los 21 establecidos en ficha INPC.

El valor de amenaza natural: temperatura promedio de 14.79°C, resultó no ser significativo comparado con el valor de 19°C, que se considera una temperatura alta y amenazante para la integridad del bien. El valor de radiación de 202.60 W/m², no tuvo un parámetro de comparación. Pero al estar directamente ligado con la temperatura, se infiere y asume el mismo criterio y no se considera amenazante. Sin embargo; se puede afirmar que, la constante exposición a cambios de temperatura debido a las diferentes épocas, si influye en el deterioro de construcciones. De manera general, ambas amenazas presentar tendencia de incremento.

El valor de amenaza antrópica: SO₂ (lluvia ácida) promedio con 3.58 ug/m³, resultó no ser significativo para el valor de 0,002 ppm (5.2 ug/m³), que se considera concentración promedio de lluvia ácida. Sin embargo; la constante exposición al SO₂, si genera deterioro. De manera general, esta amenaza presenta una tendencia decreciente desde 2018, año que se decretó como vía solo peatonal la García Moreno.

La simulación para ejemplificar la funcionalidad de la cuarta dimensión (4D), se realizó con datos teóricos de otras investigaciones; donde, se indica un desgaste de material de 4.4 um/año. Por lo tanto, los resultados del 4D no reflejan un deterioro que sufran los bienes intervenidos del Centro Histórico.

La difusión web realizada en la red por medio de una página web permite que cualquier persona que posea el link y con acceso a Internet, pueda visualizar y

descargar el flujograma de trabajo seguido en la investigación y los productos.. Mientras que la difusión por medio de un folleto informa de manera general la propuesta del proyecto e incentiva a visitar la página web.

Los bienes patrimoniales intervenidos poseen un gran valor intrínseco por ser insignes representantes de periodos con relevancia histórica y representar valor para el sector turístico. El ser declarado como patrimonios históricos por la UNESCO, hace necesario que se aumenten los esfuerzos por conservar su integridad física y arquitectónica por parte de instituciones públicas y privadas.

Recomendaciones

Establecer de principio el propósito para el cual se realiza el modelo de información, ya que es la base para toda la planificación y determinación de metodologías para ejecutar los procesos.

En el caso de migrar el registro de bienes patrimoniales tradicional a un modelo como el propuesto en la investigación, es necesario que los campos sea modifiquen para adaptarse a la forma de registro que brinda el software BIM. A más de considerar la incorporación de nuevos campos, que son posibles registrar al trabajar modelos 3D.

En cuanto a la planificación fotogramétrica, usar una cámara con una resolución mayor a 16 MP para contar con mejor calidad de fotografías, y por ende un mejor ortomosaico. Revisar en campo, que las fotografías tomadas sean claras y hayan sido bien enfocadas, para de ser necesario repetir la toma en el mismo momento.

Para la elección del software BIM y la versión, es necesario saber cuáles son los requerimientos bajo los cuales el programa puede ser instalado y funcionar adecuadamente. A más de conocer que herramientas poseen, pues no todos los programas BIM abarcan todas las dimensiones.

Referencias Bibliográficas

- Acuña, F. (2016). *Aplicación del modelo BIM para proyectos de infraestructura vial*. (Tesis de pregrado). Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador
- Agisoft (2014). Agisoft PhotoScan. Recuperado el 03 de abril de 2020, de <https://www.agisoft.es/products/agisoft-photoscan/>
- Almagro, P., Dávila, E., Guerrero, G., Medina, I., Regalado, E., Ruíz, Z., Salvador, J. y Sancho, F. (2014). Análisis Computacional del Patrimonio Cultural del Ecuador. 13th Summer Institute of the PRSCO 2014. Congreso llevado a cabo en Loja, Ecuador.
- Allplan (2018). Allplan Engineering 2017. Recuperado el 24 de marzo de 2020, de <https://www.allplan.com/es/productos/features-engineering/>
- All3DP. (2019). Los 13 mejores programas de arquitectura 3D. Recuperado el 13 de abril de 2020, de <https://all3dp.com/es/1/arquitectura-3d-mejores-sofware/#freecad-arch>
- Alvarado, K. (2015). La comunidad frente al proceso de musealización de Centros Históricos. El caso del barrio La Chilena, Quito, Ecuador. *Revista Planeo*. (25).
- Álvarez, S. (s.f). Consultoría y modelado BIM. Recuperado el 20 de marzo de 2020, de <https://www.r3arquitectura.com/Paginas/CONSULTORIAYMODELADOBIM.html>
- Arguello, M., Auz, C., Cepeda, R., Jaramillo, D., Morales, S., Ortí, Á., Rodríguez, M. y Salazar, I. (2016). La Calle de las 7 Cruces. Historia y Leyendas, Patrimonio Histórico del Ecuador. Proyecto de Investigación. Unidad Educativa Ángel Polibio Chaves.

- Ariza, F. y Ariza, I. (2016). Datos BIM: propuesta de elementos de la calidad y método de control. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. 17.
- Aquilla, M y Chalán, D. (2019). *Análisis de factibilidad para la integración de un modelo BIM y aplicación de la tercera y cuarta dimensión en un edificio patrimonial*. (Tesis de pregrado). Cuenca, Ecuador: Universidad Católica de Cuenca
- Balaguer, M. (s.f). *Fotogrametría de Objeto Cercano. Conceptos básicos*. Valencia, España: Editorial UPV.
- Bravo, H., Soto, A., Sosa, R. y Sánchez, P. (2003). Efecto de la lluvia ácida en el material constituyente de los monumentos Mayas mexicanos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. (4).4. 195-205.
- Bravo, D. (2021). Bienes patrimoniales robados van a 9 países. Recuperado el 09 de marzo de 2021, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/seguridad/bienes-patrimoniales-robados-a-paises.html>
- Bentley. (s.f). Solución multidisciplinar de diseño y análisis de edificios. Recuperado el 24 de marzo de 2020, de <https://www.bentley.com/es/solutions/building-design-and-analysis>
- Bentley. (s.f). Solución multidisciplinar de diseño y análisis de edificios. Recuperado el 24 de marzo de 2020, de <https://docs.bentley.com/LiveContent/web/MicroStation%20Help-v12/es/GUID-9D8510D1-0694-4E38-86FA-C120B6EC7228.html>

- Bermejo, J. (2018). *Aplicación de la metodología BIM al proyecto de la construcción de un corredor de transporte para un complejo industrial-modelo BIM 4D planificación*. (Tesis de maestría). Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- BIM Community. (2018). ¿De dónde ha salido el concepto de BIM? Recuperado el 17 de febrero de 2020, de <https://www.bimcommunity.com/news/load/845/where-did-the-bim-concept-come-from>
- Building SMART. (2018). Guía de usuario BIM aplicado al patrimonio cultural.
- Carvajal, E. (2019). *La gestión de riesgos como herramienta para la protección y conservación del patrimonio edificado monumental religioso. Caso de estudio: Conjunto Conventual San Francisco Quito*. (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Castellano, M. (2013). Hacia el Modelado de Información Patrimonial. Generación de modelos de información del patrimonio inmueble en el momento de su protección jurídica. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*. (26). 266-277.
- Castro, L. (2009). Los 10 mejores programas de fotogrametría. Recuperado el 03 de marzo de 2020, de <https://www.3dnatives.com/es/mejores-sofwareas-programas-fotogrametria-190920192/>
- Certíficate BIM (2016). Acerca de BIM. Recuperado el 19 de marzo de 2020, de <https://www.certificatibim.com/acerca-de-bim/>
- Cebrián, J. (1994). Modelos de Información Geográfica. *Estudios Geográficos*. (55)215.267-282
- Charquero, A. (2016). Práctica y usos de la fotogrametría digital en Arqueología. *Revista DAMA*. 1. 139-157.

Cheok, G y Franaszek, M. 2009. Evaluation of an Acceptance Sampling Method for 2D/3D Building Plans. National Institute of Standards and Technology (NIST).

Coloma, E. (2008). *Introducciones a la Tecnología BIM*. Cataluña, España: Editorial Universidad de Cataluña.

DeviceSpecifications. (s.f). HuaweiP8Lite-características y especificaciones. Recuperado el 25 de abril de 2020, de <https://www.devicespecifications.com/es/model/b95e33c3>

Díaz, D. (2016). *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble: aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno*. México D.F, México: ENCRYM-INAH

Dueñas, M. (2014). *Registro arqueológico en 3D mediante la fotogrametría de rango corto*. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.

Duque, A. (2017). Metodología BIM: Modelado de la información para edificación. *Revista digital INESEM*.

Dynamo. (2016). Programación gráfica de código abierto para diseño. Recuperado el 16 de abril de 2020, de <https://dynamobim.org/>

El Comercio. La Siete Cruces y su Centro Histórico. Recuperado el 16 de marzo de 2020, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/siete-cruces-y-historico-recorrido.html>

Félix, M., Valdeón, L., Rojo, A., Armisen, A. y García, B. (2016). Plataforma virtual para el diseño, planificación, control, intervención y mantenimiento en el ámbito de la

conservación del patrimonio histórico “PetroBIM”. Congreso Euro-Americano REHABEND 2016. Congreso llevado a cabo en Burgos, España.

Fundación Museos de la Ciudad. (s.f). Museo de la Ciudad. Recuperado el 22 de junio del 2020, <http://www.museociudadquito.gob.ec/mvseo/>

García, M., Ramírez, H., Ulloa, H., García, O., Meulennert, A. y Alcalá, J. (2013). Concentración de contaminantes SO₂, NO₂ y correlación con H⁺, SO₄-2 y NO₃- durante la temporada de lluvias en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*. 29. (4). 81-88

Gómez, J. (2013). Los modelos urbanos 3D y CityGML. Recuperado el 07 de marzo de 2020, <https://www.altergeosistemas.com/blog/2013/11/04/modelos-ciudades-3d-citygml/>

González, C. (2015). Building Information Modeling: *Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos*. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

González, M., Iñigo, A., García, A., García., J., Molina., E., Vicente, S. y Rives, V. (2006). Caracterización y estudios de deterioro/conservación de materiales pétreos en monumentos históricos. II Congreso del GEIIC. Investigación en Conservación y Restauración. Congreso llevado a cabo en Barcelona , España.

Jiménez, C. (2019). BIM: la revolución del modelado 3D. *Revista Smart Building*.

Holguín, A. (2017). Aplicaciones de Pix4D. Recuperado el 03 de marzo de 2020 de, <https://www.cursosteledeteccion.com/aplicaciones-de-pix4d/>

- ICOMOS. (2000). informe mundial 2000 de ICOMOS sobre monumentos y sitios en peligro. Recuperado el 09 de abril de 2020, de https://www.icomos.org/risk/world_report/2000/trends_spa.htm
- IMP. (2010). Aproximación a la historia de la Conservación y Restauración en el Ecuador. Recuperado el 17 de febrero de 2020, de <http://www.patrimonio.quito.gob.ec>
- IMP. (2017). Falta de mantenimiento ocasiona afecciones a las viviendas. Recuperado el 09 de marzo del 2021, de <http://www.patrimonio.quito.gob.ec/?p=2766>
- IMP. (2019). IMP interviene con trabajos emergentes en inmueble patrimonial. Recuperado el 09 de marzo del 2021, de <http://www.patrimonio.quito.gob.ec/?p=5518>
- INPC. (2011). Guía Metodológica para la elaboración de Planes de Gestión y Manejo de los Centros Históricos de las ciudades medias en Ecuador. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.
- INPC. (2011). *Instructivo para fichas de registro e inventario de bienes inmuebles*. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. Quito, Ecuador: Ediecuatorial
- INPC. (2017). Sistema de Información del Patrimonio Cultural Ecuatoriano (SIPCE) Manual de usuario modulo consulta. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.
- Instituto de la Ciudad. (2018). Paseo de las 7 Cruces. Percepciones sobre el Proyecto de Peatonización del CHQ. Recuperado el 16 de marzo de 2020, de <https://www.institutodelaciudad.com.ec/coyuntura-sicoms/192-paseo-de-las-7-cruces-percepciones-sobre-el-proyecto-de-peatonizacion-del-chq.html>

- La Nueva España. (2015). Las piedras hablan en la era digital. Recuperado el 01 de abril de 2020, de <https://www.lne.es/oviedo/2015/11/27/piedras-hablan-digital/1847557.html>
- La Hora. (2013). Pasaje Amador será recuperado. Recuperado el 16 de marzo de 2020, de <https://lahora.com.ec/noticia/1101498234/pasaje-amador-ser-recuperado>
- La Hora. (2009). El camino de la libertad. Recuperado el 16 de marzo de 2020, de <https://www.lahora.com.ec/frontEnd/main.php?idRegional=1&idSeccion=914444>
- La Hora. (2017). Cultos y leyendas de Quito. Recuperado el 16 de marzo de 2020, de <https://m.lahora.com.ec/quito/noticia/1102098902/cultos-y-leyendas-de-quito->
- Lee, Y. (1999). Information modeling from design to implementation. National Institute of Standards and Technology.
- LEICA. (s.f). Guía para mediciones en modo estático y estático rápido.
- León, A. (2018). *Utilización de técnicas VDC (Virtual Design Techniques) para el desarrollo avanzado de estudios de seguridad y salud en proyectos de construcción*. (Tesis de maestría). Universidad de La Rioja. Logroño, España
- Lisintuña, J. y Molina, G. (2017). *Análisis y aplicación de ingeniería inversa en objetos con scanners 3D para el apoyo de conservación del Patrimonio Cultural del Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador.
- López, F. (2018). *Reconstrucción tridimensional del patrimonio arquitectónico mediante la utilización de los sistemas BIM y HBIM. Validación con dos casos de estudio: la Iglesia Santa María la Real de Mave y el Castillo de los Comuneros de Torre Lobatón*. (Tesis de doctorado). Valladolid, España: Universidad de Valladolid

- López, H. (2016). Casa Parroquial de El Sagrario. Recuperado el 17 de febrero, de <http://losladrillosdequito.blogspot.com/2016/08/casa-de-manuela-canizares-casa.html>
- López, H. (2015). Casa Cornejo Cevallos. Recuperado el 17 de febrero, de <http://losladrillosdequito.blogspot.com/2015/02/casa-cornejo-cevallos.html>
- López, O., Miranda, D. y Vilaret, A. (2014). El Patrimonio Cultural Arquitectónico de Quito, los detalles que irremediamente se pierden. *Revista EIDOS*.
- Martínez, M. (2018). *Modelado BIM del Patrimonio Arquitectónico para la intervención del Teatro Romano de Sagunto*. (Tesis de pregrado). Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia
- Merchán, P., Salamanca, S., Merchán M.J., Pérez, E & Moreno, D. (2018). Pasado. Presente y futuro de los HBIM. Actas de las XXXIX Jornadas de Automática. Congreso llevado a cabo en Badajoz, España.
- Moreno, G. (2017). Implementación de BIM en la etapa de diseño. TYCH. Ingeniería y Construcciones.
- Morita, M y Bilmes, G. (2015). Técnicas de registro 3d para documentación de objetos patrimoniales. IV Congreso Iberoamericano y XII Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio. Congreso llevado a cabo en La Plata, Argentina.
- Murphy, M., McGovern, E. y Pavía, S. (2013). Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *SIFT Diario de Fotogrametría y Teledetección*. 76. 89-102

Nieto, J., Moyano, J., Rico, F y Antón, D. (2013). La necesidad de un modelo de información aplicado al patrimonio arquitectónico. 1º Congreso de Nacional de BIM-EUBIM 2013. Congreso llevado a cabo en Valencia, España.

RAE. (s.f). Modelo. Recuperado el 24 de marzo de 2020, de <https://dle.rae.es/modelo>

TOXIMED. (2017)¿Qué es gestión de la información? Centro de Toxicología y Biomedicina de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. Recuperado el 18 de febrero de 2020, de <https://instituciones.sld.cu/toximed/2017/04/16/que-es-gestion-de-la-informacion/>

Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, España: Editorial Ilustre Colegio de Geólogos.

Ordenanza Metropolitana N° 0260. Expedida el 4 de junio del 2008

Ortiz, A., Peralta, E., y Moreira, P. (2004). *Ciudad de Quito. Guía de Arquitectura*. Quito, Ecuador: Junta de Andalucía.

Osca, C. (2017). *Incidencia del BIM en el proceso proyecto-construcción de arquitectura: una vivienda con REVIT*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Peinado, Z., Serrano, J. y Peinado, A. (2014). Gestión del Patrimonio Cultural Arquitectónico 3D mediante estándares abiertos. El torreón de La Muela de Ágreda (Soria). *Revista electrónica de Patrimonio Histórico*. 14. 99-119.

Pérez, L. (2019). *Posibilidades de la metodología BIM en la ingeniería civil*. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

PetroBIM. (2013). Módulos. Recuperado el 01 de marzo de 2020, de <http://petrobim.com/modulos/>

- Portafolio. (2019). Millonarias pérdidas en Ecuador aumentan por protestas. Recuperado el 09 de marzo de 2021, de <https://www.portafolio.co/internacional/millonarias-perdidas-en-ecuador-aumentan-por-protestas-534505>
- Prieto, I., Egusquiza, A., Delgado, F. y Martínez, R. (2013). CityGML como modelo de datos para la representación, intercambio y visualización de información sobre el patrimonio arquitectónico. *Revista virtual de Arqueología*. (3)5.
- Rincón, I. y Arévalo, B. (2014). Modelado de objetos arqueológicos: una propuesta usando fotogrametría digital. *INGENIO UFPSO*. 7.
- Roldan, M. (2019). Fotogrametría Digital terrestre de rango cercano aplicada como una herramienta de análisis en un basurero prehispánico del sitio arqueológico San Pedro, Sucre. (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Rueda, E. (2014). Propuesta de Mapa de Riesgos de Bienes Patrimoniales Inmuebles expuestos a Amenazas de Origen natural. *Enfoque UTE*. (5)1. 30-48
- Santos, C. (2014). Aplicación arquitectónica de la fotogrametría digital para levantamiento gráfico y fotogramétrico de fachadas en PALACETE PRYTZ. (Tesis de pregrado). Universidad de Alicante. Alicante, España.
- Secretaria General de Comunicación de la Presidencia del Ecuador. (2019). Gobierno Nacional impulsa la economía naranja y el desarrollo cultural en el país. Recuperado el 17 de febrero de 2020, de <https://www.comunicacion.gob.ec/gobierno-nacional-impulsa-la-economia-naranja-y-el-desarrollo-cultural-en-el-pais/>

Tatis, R. y Barbosa, A. (2013). Enfoque químico del deterioro y biodeterioro de rocas calcáreas conformantes de monumentos patrimoniales de importancia histórica y cultural. *Luna azul*. 36. 247-284.

Últimas noticias (2016). Los pasajes, los primero centros comerciales de la ciudad. Recuperado el 17 de febrero del 2020 de <https://www.ultimasnoticias.ec/noticias/pasajes-centros-comerciales-centro-quito.html>

UNIANDES. (s.f). Autodesk ReCap. Recuperado el 03 de marzo de 2020, de <https://software.uniandes.edu.co/autodesk-recap/>

Valeiras, J. (2012). Photomodeler, nueva herramienta en levantamiento arquitectónico. *Revista EGE*. 7.

Vázquez, J. (2014). Fundamentos del sistema GPS. *Fortop Topografía, S.L.* 1 (5).