

TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

© JULIA DESIREE VELASTEGUI CÁCERES
LUIS ALEJANDRO VELASTEGUI CÁCERES



TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Julia Desiree Velastegui Cáceres

Luis Alejandro Velastegui Cáceres

TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

© Autores

Julia Desirre Velastegui Cáceres. Docente de la Universidad
de las Fuerzas Armadas ESPE.

Luis Alejandro Velastegui Cáceres. Docente de la
Universidad Nacional de Chimborazo.

Casa Editora del Polo - CASEDELPO CIA. LTDA.

Departamento de Edición

Editado y distribuido por:

Editorial: Casa Editora del Polo

Sello Editorial: 978-9942-816

Manta, Manabí, Ecuador. 2019

Teléfono: (05) 6051775 / 0991871420

Web: www.casedelpo.com

ISBN: 978-9942-621-89-4

DOI: <https://doi.org/10.23857/978-9942-621-89-4>

© Primera edición

© Septiembre - 2024

Impreso en Ecuador

Revisión, Ortografía y Redacción:

Lic. Jessica Mero Vélez

Diseño de Portada:

Michael Josué Suárez-Espinar

Diagramación:

Ing. Edwin Alejandro Delgado-Veliz

Director Editorial:

Lic. Henry Darío Suárez Vélez

Todos los libros publicados por la Casa Editora del Polo, son sometidos previamente a un proceso de evaluación realizado por árbitros calificados.

Este es un libro digital y físico, destinado únicamente al uso personal y colectivo en trabajos académicos de investigación, docencia y difusión del Conocimiento, donde se debe brindar crédito de manera adecuada a los autores.

© **Reservados todos los derechos.** Queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de este contenido, por cualquier medio o procedimiento. parcial o total de este contenido, por cualquier medio o procedimiento.

Comité Científico Académico

Dr. Lucio Noriero-Escalante
Universidad Autónoma de Chapingo, México

Dra. Yorkanda Masó-Dominico
Instituto Tecnológico de la Construcción, México

Dr. Juan Pedro Machado-Castillo
Universidad de Granma, Bayamo. M.N. Cuba

Dra. Fanny Miriam Sanabria-Boudri
Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle, Perú

Dra. Jennifer Quintero-Medina
Universidad Privada Dr. Rafael Bellosó Chacín, Venezuela

Dr. Félix Colina-Ysea
Universidad SISE. Lima, Perú

Dr. Reinaldo Velasco
Universidad Bolivariana de Venezuela, Venezuela

Dra. Lenys Piña-Ferrer
Universidad Rafael Bellosó Chacín, Maracaibo, Venezuela

Dr. José Javier Nuvaéz-Castillo
Universidad Cooperativa de Colombia, Santa Marta,
Colombia

Constancia de Arbitraje

La Casa Editora del Polo, hace constar que este libro proviene de una investigación realizada por los autores, siendo sometido a un arbitraje bajo el sistema de doble ciego (peer review), de contenido y forma por jurados especialistas. Además, se realizó una revisión del enfoque, paradigma y método investigativo; desde la matriz epistémica asumida por los autores, aplicándose las normas APA, Sexta Edición, proceso de anti plagio en línea Plagiarisma, garantizándose así la cientificidad de la obra.

Comité Editorial

Abg. Néstor D. Suárez-Montes
Casa Editora del Polo (CASEDELPO)

Dra. Juana Cecilia-Ojeda
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela

Dra. Maritza Berenguer-Gouarnaluses
Universidad Santiago de Cuba, Santiago de Cuba, Cuba

Dr. Víctor Reinaldo Jama-Zambrano
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ext. Chone

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I	15
METODOLOGÍA DEL ESCÁNER LÁSER TERRESTRE	15
1.1 Planificación para la toma de datos in situ	15
1.1.1 Análisis del objeto de estudio	17
1.1.2 Posiciones óptimas del escáner láser.....	18
1.1.3 Posiciones óptimas de los puntos de referencia	20
1.1.4 Gestión de los datos geoespaciales	21
1.2 Trabajo en campo	22
1.2.1 Estacionamiento del escáner	22
1.2.2 Resolución.....	25
1.2.2.1 Filtrado inicial	26
1.3 Toma de datos.....	27
1.3.1 Escaneado de un objeto	27
1.3.2 Escaneado de las esferas y puntos de referencia..	28
1.4 Registro y georeferenciación.....	29
1.5 Procesamiento de la nube de puntos.....	32
1.5.1 Depuración de los datos	34
1.5.2 Modelado 3D directo a partir de la nube de puntos	36
CAPÍTULO II	41
GENERACIÓN DE LOS MODELOS TRIDIMENSIONALES Y AMBIENTES VIRTUALES.....	41
2.1 Modelos Tridimensionales	41
2.1.1 Edificaciones	42
2.1.1.1 Representación mediante software scene	42
2.1.1.2 Representación mediante software trimble real works	45
2.1.2 Patrimonio edificado	48
2.1.2.1 Representación mediante software scene	48

2.1.2.2 Representación mediante software trimble realworks	51
2.1.3 Zonas subterráneas.....	55
2.1.3.1 Representación mediante software scene	55
2.1.3.2 Representación mediante software trimble realworks	60
2.2 Entornos Virtuales	63
2.2.1 Video Creator	64
2.2.1.1 Edificiaciones	67
2.2.1.2 Patrimonio Edificado.....	70
2.2.1.3 Zonas Subterráneas	72
CAPÍTULO III.....	75
MODELADO BIM Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	75
3.1 Documentación arquitectónica mediante tecnologías de información geográfica	75
3.2 Tecnología bim en la ingeniería y arquitectura	76
3.2.1 Análisis Estructural y Tipología.....	81
3.3 Lineamientos para documentación arquitectónica .	87
3.4 Levantamiento de información in situ.....	88
3.5 Procesamiento de datos	93
3.6 Generación Modelo Bim	99
3.7 Documentación Arquitectónica	103
3.8 Aplicación en la evaluación estructural	105
3.9 Consideraciones Generales	110
CAPÍTULO IV.....	112
APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA INGENIERÍA.....	112
4.1 Tecnologías de información geográfica para análisis de variables climáticas	112
4.2 Descripción Univariada.....	117
4.2.1 Análisis del objeto de estudio	117

4.2.2	Medidas de dispersión.....	119
4.2.3	Otras estadísticas de resumen	121
4.3	Descripción Bivariada	124
4.4	Análisis Espacial.....	129
	BIBLIOGRAFÍA.....	141

PRESENTACIÓN DEL LIBRO

El presente libro está dedicado al estudio y aplicación de las tecnologías de información geográfica en la creación de modelos tridimensionales y Building Information Modeling (BIM) en los campos de la ingeniería y la arquitectura. Este libro surge como respuesta a la necesidad creciente de comprender y utilizar eficazmente herramientas avanzadas que están redefiniendo los estándares de precisión y eficiencia en la industria de la construcción contemporánea.

A lo largo de sus páginas, se exploran detalladamente los principios fundamentales y las metodologías avanzadas que permiten la adquisición, procesamiento y aplicación de datos geoespaciales para la generación de modelos tridimensionales precisos y la implementación de modelos BIM de nivel ingenieril. Este enfoque no solo busca proporcionar una base teórica sólida, sino también ofrecer una visión práctica y aplicada que facilite la implementación efectiva en contextos profesionales y académicos.

Particular énfasis se pone en la evaluación estructural y la tipología de edificaciones, áreas críticas donde estas tecnologías emergentes han demostrado un impacto significativo al permitir análisis detallados y decisiones informadas basadas en datos precisos y actualizados. A través de estudios de caso representativos y ejemplos concretos, se ilustra cómo estas herramientas pueden

transformar el diseño, la construcción y la gestión de proyectos, optimizando recursos y mejorando la eficiencia operativa desde la fase inicial hasta la gestión del ciclo de vida de las infraestructuras.

En el ámbito de la ingeniería, especialmente en el análisis de variables climáticas, las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) han emergido como herramientas indispensables para entender y enfrentar los desafíos ambientales contemporáneos.

Este libro explora cómo estas herramientas permiten a los ingenieros no solo visualizar y analizar datos climáticos a diferentes escalas espaciales y temporales, sino también integrar estos datos con modelos predictivos avanzados. Desde la evaluación de riesgos climáticos hasta la planificación de infraestructuras resilientes, las aplicaciones de las tecnologías de información geográfica en ingeniería ofrecen soluciones precisas y basadas en datos para mitigar impactos adversos y mejorar la adaptación frente a fenómenos meteorológicos extremos.

Este compendio está destinado a profesionales de la ingeniería, arquitectura y disciplinas afines, así como a académicos y profesionales interesados en explorar las fronteras de la innovación tecnológica en su campo. Esperamos que este libro sirva como recurso indispensable para comprender y aplicar efectivamente las tecnologías de

información geográfica en la Ingeniería y Arquitectura, impulsando así el avance continuo y la excelencia en la práctica y la investigación en la construcción y el diseño urbano.

Con entusiasmo y dedicación, invitamos a los lectores a embarcarse en este viaje académico y profesional hacia un futuro donde la integración de tecnologías avanzadas y el conocimiento especializado contribuyan a la creación de entornos contruidos más resilientes, eficientes y sostenibles.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de información geográfica (TIG) han revolucionado la ingeniería y la arquitectura, permitiendo la recopilación, análisis y visualización de datos espaciales de manera sin precedentes. "Tecnologías de Información Geográfica para la Ingeniería y Arquitectura" es una guía integral para profesionales, estudiantes y académicos interesados en aplicar estas tecnologías en sus proyectos. Este libro aborda desde los fundamentos hasta las aplicaciones avanzadas de las TIG, con un enfoque especial en el escaneo láser terrestre y el modelado tridimensional, ofreciendo un recurso valioso para mejorar la precisión, eficiencia y creatividad en el diseño y gestión de infraestructuras.

El primer capítulo se centra en la planificación y ejecución de la toma de datos con escáner láser terrestre. Cubre la planificación in situ, incluyendo el análisis del objeto de estudio, la determinación de las posiciones óptimas del escáner y los puntos de referencia, y la gestión de los datos geoespaciales. También aborda el trabajo en campo, como el estacionamiento del escáner, la configuración de la resolución y el filtrado inicial. La toma de datos se describe detalladamente, abarcando el escaneado de objetos y puntos de referencia, el registro y la georeferenciación, y el procesamiento de la nube de puntos, desde la depuración de datos hasta el modelado 3D.

El segundo capítulo explora la creación de modelos tridimensionales y entornos virtuales. Detalla los procesos para representar edificaciones, patrimonio edificado y zonas subterráneas utilizando software especializado como Scene y Trimble RealWorks. Además, describe cómo crear entornos virtuales interactivos usando herramientas como Video Creator, proporcionando una plataforma visual potente para la presentación y análisis de proyectos arquitectónicos y de ingeniería.

El tercer capítulo introduce la documentación arquitectónica mediante TIG y profundiza en el uso de la tecnología BIM (Building Information Modeling) en ingeniería y arquitectura. Aborda el análisis estructural, la tipología de construcciones y los lineamientos para la documentación arquitectónica. También describe el levantamiento de información in situ, el procesamiento de datos, la generación de modelos BIM y su aplicación en la evaluación estructural, proporcionando un marco integral para la gestión de proyectos desde su concepción hasta su ejecución.

El último capítulo se dedica a las aplicaciones prácticas de las TIG en la ingeniería, con un enfoque particular en el análisis de variables climáticas. Cubre la descripción univariada y bivariada de los datos, así como el análisis espacial, demostrando cómo estas herramientas pueden mejorar la comprensión y gestión de factores ambientales y su impacto en proyectos de ingeniería.

CAPÍTULO I

METODOLOGÍA DEL ESCÁNER LÁSER TERRESTRE

1.1 Planificación para la toma de datos in situ

Para efectuar el escaneo láser de manera efectiva, es esencial poseer un conocimiento detallado tanto del equipo como del procedimiento. Mientras ciertos pasos del proceso se ejecutan automáticamente, otros requieren un esfuerzo considerable. El flujo de trabajo recomendado para el escaneo láser implica la segmentación en varias etapas clave con el objetivo de asegurar la producción de resultados finales de alta calidad.

Un procedimiento estándar para la planificación del escaneo láser terrestre debe incluir al menos los siguientes puntos:

- Definición clara de los objetivos del escaneo.
- Realización de un análisis exhaustivo del área a ser escaneada.
- Selección adecuada de técnicas de medición y equipamiento necesario.
- Implementación de estrategias efectivas para la gestión de los datos recolectados.

Determinar los objetivos implica establecer claramente los propósitos y metas que se desean alcanzar en una determinada actividad o proyecto. Es fundamental definir de manera precisa qué se espera lograr y cuáles son los

resultados esperados al finalizar el proceso. Cuando se emprende el escaneo de un objeto, es crucial entender las necesidades particulares del cliente que se buscan satisfacer. Para alcanzar una comprensión completa de estas necesidades, es fundamental abordar algunas preguntas fundamentales:

- ¿Cuál es la razón por la que el cliente necesita que el objeto sea documentado?
- ¿Cuáles son los propósitos concretos que se desean lograr mediante los datos obtenidos de esta documentación?
- ¿Qué resultados específicos se esperan obtener como producto final?

El motivo subyacente detrás de la necesidad de documentar un objeto proporciona una perspectiva clara sobre los resultados esperados y la precisión requerida. Los clientes pueden ver el escaneo láser como una herramienta ideal para resolver sus problemas o, por el contrario, pueden mostrar escepticismo hacia esta tecnología prefiriendo métodos más convencionales y comprobados.

En términos de la documentación y los resultados finales esperados, es esencial definir con precisión los entregables requeridos, que pueden abarcar desde planos detallados en 2D hasta modelos complejos en 3D e incluso animaciones tridimensionales. En algunos casos específicos, el cliente

puede solicitar únicamente la nube de puntos sin procesar para archivarla y respaldar su trabajo previo.

Antes de comenzar el proceso de escaneo, es crucial realizar una planificación detallada que considere la densidad de puntos necesaria. A menudo se considera la opción de escanear con la máxima densidad posible para obtener la resolución más alta disponible, aunque esto conlleva un incremento significativo en el tiempo de captura. Por lo tanto, es imperativo evaluar cuidadosamente si esta alta intensidad de captura es realmente esencial según las especificaciones y requerimientos específicos de cada proyecto.

1.1.1 Análisis del objeto de estudio

Para realizar la documentación de un objeto de manera efectiva, es fundamental recopilar una cantidad exhaustiva de información. Esto proporciona una comprensión clara de la complejidad del objeto y del tiempo requerido para completar la tarea. La resolución necesaria y la precisión de la documentación dependen de la escala del levantamiento o de la mínima entidad que debe ser reconocida en los productos finales.

Es útil contar con notas de campo, informes, mapas, fotografías o videos del lugar para evaluar posibles riesgos durante la captura, así como referencias de levantamientos

anteriores realizados con otras técnicas como mediciones manuales, GPS o estación total.

No solo es importante conocer detalles del objeto a documentar, sino también de su entorno circundante. El lugar puede estar ubicado en una zona dispersa con múltiples obstrucciones que limiten las posiciones accesibles para el equipo, o puede haber restricciones temporales que afecten el acceso al sitio. Además, las limitaciones máximas y mínimas del alcance del escáner influyen en las ubicaciones posibles de despliegue del equipo.

Con toda esta información recopilada, se puede tomar una decisión informada sobre la técnica más adecuada a aplicar. Aunque el escaneo láser es una técnica avanzada y altamente eficaz, no siempre representa la solución más efectiva. Se opta por esta técnica en casos que involucren estructuras de superficies complejas, la necesidad de entregar documentos en 3D, datos que requieran ser utilizados por equipos multidisciplinarios para diversos propósitos, o cuando existan restricciones significativas de acceso al lugar.

1.1.2 Posiciones óptimas del escáner láser

Una vez recopilada toda la información del sitio a documentar y decidido que el escaneo láser es la mejor técnica para el trabajo, es crucial planificar cuidadosamente la ubicación y los puntos de referencia del equipo.

Las posiciones ideales para colocar el escáner deben seleccionarse de manera que aseguren una cobertura máxima y una alta precisión, al mismo tiempo que se minimizan las inicializaciones necesarias. La precisión de las mediciones depende del tamaño de la huella láser, destacando la importancia del ángulo de incidencia y del alcance para determinar la posición óptima del escáner.

Investigaciones detalladas recomiendan un análisis meticuloso para configurar el escáner de manera que se logre la precisión requerida. A continuación, se presentan algunas reglas fundamentales para la colocación del escáner:

- Asegurarse de que las posiciones cubran la mayor área posible sin obstáculos en la línea de visión y con la menor cantidad de sombras posible.
- Verificar que se cumplan los alcances mínimo y máximo para garantizar la precisión necesaria. La distancia entre el escáner y el objeto afecta directamente la precisión y la resolución, siendo menor a mayor distancia.
- Minimizar los ángulos de intersección pequeños, ya que ángulos muy agudos pueden dificultar la reflexión adecuada del haz láser.
- Reducir la cantidad de veces que se detiene y reanuda el escáner durante el proceso.

- Además, es fundamental considerar otros factores importantes como el entorno (vibraciones, viento), la altura del escáner sobre el suelo y la visibilidad de los puntos de referencia naturales o artificiales.
- La correcta planificación del posicionamiento del escáner y de los puntos de referencia asegura una captura de datos eficiente y precisa, crucial para alcanzar los objetivos del proyecto de escaneo láser.

1.1.3 Posiciones óptimas de los puntos de referencia

Además de determinar las posiciones óptimas para el escáner, la elección y configuración adecuada de los puntos de referencia son igualmente cruciales en el proceso de escaneo láser. Los puntos de referencia desempeñan un papel fundamental en el registro preciso de los escaneos realizados desde diferentes posiciones, y existen diversas opciones disponibles, como esferas y dianas (retroreflectantes, esféricas, de papel, prismáticas, entre otras).

Es fundamental distribuir ampliamente las esferas y dianas en el terreno, no solo en las direcciones de los ejes X e Y, sino también en la dirección del eje Z. Este aspecto a menudo se pasa por alto y todas las dianas pueden terminar colocadas simplemente en el suelo, lo cual no es ideal.

Algunas configuraciones de dianas no garantizan una solución única durante el registro. Las empresas suelen ofrecer dianas especiales retroreflectantes y esféricas diseñadas para reflejar de manera óptima el haz láser. El escáner puede detectar estas dianas automáticamente y, con un escaneo de alta resolución, determinar su centro exacto ajustando una superficie primitiva a la nube de puntos medida.

Independientemente de la técnica de registro utilizada, se recomienda identificar al menos cuatro puntos de referencia bien distribuidos en cada escaneo. Esto asegura una mayor precisión y confiabilidad en el registro de los datos capturados, crucial para obtener resultados exactos y coherentes en proyectos de escaneo láser.

1.1.4 Gestión de los datos geoespaciales

Los datos obtenidos durante el escaneo se almacenan en dispositivos como SD, SDHC™ y SDXC™, permitiendo una transferencia fácil y segura al PC. Antes de iniciar la captura de datos, el operador del equipo puede ajustar los parámetros de escaneo utilizando un deslizador, lo cual le permite equilibrar las necesidades de calidad y tiempo. Este deslizador establece niveles de calidad mediante diferentes frecuencias de medición o aplicando compresión de ruido adicional.

Moviendo el deslizador hacia arriba se reduce el ruido en los datos de escaneo, lo que mejora la calidad, pero también incrementa el tiempo requerido para completar el proceso. Por otro lado, mover el deslizador hacia abajo reduce el tiempo de escaneo sacrificando algo de calidad.

FARO ofrece una poderosa herramienta llamada WebShare a través del software SCENE, que facilita compartir los datos escaneados en Internet de manera simple y segura. En un área de acceso protegido, los usuarios registrados como clientes o colaboradores pueden visualizar, descargar y evaluar los datos del escaneo utilizando el programa gratuito SCENE LT. El uso de WebShare es completamente gratuito y ofrece una forma eficiente de colaboración y análisis de datos escaneados.

1.2 Trabajo en campo

1.2.1 Estacionamiento del escáner

El proceso de estacionamiento de un escáner sigue un procedimiento similar al de una estación total, y comprende los siguientes pasos:

Montaje del trípode: Se abre el trípode y se extienden las patas asegurándose de que esté ubicado en una superficie estable. Si se escaneará la superficie del suelo, es preferible colocar el trípode en una posición elevada para obtener un mejor ángulo de inclinación.

Verificación de la batería y tarjeta de almacenamiento: Antes de colocar el escáner en el trípode, es importante verificar que la batería esté cargada y que la tarjeta de almacenamiento de datos esté lista para usar.

Sujeción del escáner: Se coloca el escáner sobre el trípode y se asegura mediante los seguros disponibles en la base nivelante del trípode.

Nivelación del escáner: Ajustando la longitud de dos patas del trípode se procede a nivelar el escáner. La burbuja de nivelación debe estar centrada dentro del círculo interior para asegurar una posición precisa.

Preparación para el escaneo: Una vez nivelado y asegurado correctamente, el equipo está listo para iniciar el escaneo del objeto requerido.

Este proceso asegura que el escáner esté correctamente instalado y nivelado, garantizando condiciones óptimas para la captura precisa de datos durante el escaneo láser.

Es fundamental asegurarse de que la tarjeta de almacenamiento SD esté correctamente insertada en el equipo antes de iniciar la configuración para garantizar que se capturen todos los puntos durante el escaneo. La fuente de energía puede provenir de una batería interna, un generador externo o directamente de la red eléctrica.

El escáner que se utilizará es de última generación, lo cual implica que integra en una sola unidad el controlador, el almacenamiento de datos y la batería. Esta integración simplifica considerablemente el proceso de configuración y asegura una operación eficiente y confiable durante todo el proceso de escaneo.

Una vez que el equipo está preparado para capturar los datos del área que se va a documentar, es crucial especificar los parámetros que se utilizarán en el proceso de escaneo.

Aunque la mayoría de los escáneres modernos pueden recolectar datos girando 360°, este nivel de captura no siempre es necesario, por lo que es importante definir claramente el área específica que se desea escanear. Por ejemplo, el FARO Laser Scanner Focus3D 120 cuenta con un campo de visión horizontal/vertical de 360°/305° y dispone de un panel de control que permite definir rápidamente el área de escaneo de manera aproximada.

Normalmente, el área a escanear se define utilizando los controles del escáner. Mediante este método, se puede analizar en la pantalla la extensión vertical y horizontal del objeto que se va a estudiar. En la pantalla, se encuentran tres botones que facilitan el ajuste y la funcionalidad para determinar el área de escaneo del objeto con precisión.

1.2.2 Resolución

La resolución en el contexto del escaneo láser se define como la distancia entre dos puntos consecutivos medidos, lo cual determina la densidad de puntos en la nube resultante. Esta medida es crucial, ya que determina el nivel de detalle más pequeño que puede ser discernido en el producto final, y está directamente influenciada por la escala del objeto a modelar.

En superficies uniformes, como una pared, se requiere menos densidad de puntos para modelar con precisión, mientras que en superficies irregulares se necesitan más puntos, a veces superando la capacidad de captura del escáner. A medida que se incrementa la resolución deseada del producto final, se aumenta la cantidad de puntos que deben ser escaneados, lo que conlleva un mayor tiempo de captura y un incremento en el tamaño de los datos almacenados.

La mayoría de los escáneres utilizan un ángulo constante entre dos puntos consecutivos, definido en coordenadas polares. Por lo tanto, la resolución de modelado está predeterminada para una distancia específica desde el objeto hasta el escáner. Los puntos escaneados a mayores distancias tendrán una resolución más baja, mientras que aquellos más cercanos al escáner mostrarán una resolución más alta, capturando detalles finos con mayor precisión.

En resumen, la resolución en el escaneo láser es fundamental para determinar el nivel de detalle que puede ser registrado y representado en el modelo final. Esto tiene implicaciones significativas en términos de tiempo de escaneo, tamaño de los datos y la exactitud del modelo generado.

1.2.2.1 Filtrado inicial

Durante el proceso de escaneo de objetos, los datos pueden ser depurados utilizando filtros primarios, también conocidos como filtros de hardware, que incluyen:

Contorno Nítido: Este filtro activa dinámicamente la eliminación de mediciones incorrectas en los bordes de los objetos durante el escaneo. Su función principal es eliminar los puntos de escaneo que pueden surgir cuando el láser impacta en dos objetos, particularmente en los bordes donde se produce un contacto entre ellos.

Cielo Nítido: Este filtro dinámico está diseñado para eliminar puntos de escaneo que se originan cuando el láser no toca ningún objeto, como suele ocurrir al escanear el cielo. Este filtro es útil para limpiar los datos capturados en áreas donde no hay objetos presentes, asegurando así que solo se registren datos relevantes para el objeto principal de escaneo.

Estos filtros son herramientas fundamentales para mejorar la precisión y la calidad de los datos obtenidos durante el escaneo láser, ayudando a eliminar mediciones no deseadas y garantizando una representación más precisa del objeto escaneado en el resultado final.

1.3 Toma de datos

1.3.1 Escaneado de un objeto

Una vez definido el campo de escaneo y configurada la resolución adecuada, se inicia el proceso de escaneo, el cual es completamente automático. Al presionar el botón "Start Scan" en el escáner, este se desplaza hacia el punto de inicio y comienza a recopilar puntos de datos.

Estos puntos se almacenan en la memoria interna del escáner, y al finalizar el proceso se genera una representación 2D del área escaneada que puede ser visualizada en la pantalla. La duración del escaneo varía según la resolución seleccionada y el tamaño del área escaneada, oscilando típicamente entre cinco minutos y varias horas.

Durante el tiempo de escaneo, es recomendable tomar notas detalladas del levantamiento o realizar un croquis del entorno. Estas notas y croquis deben incluir descripciones precisas de los objetos escaneados, las ubicaciones de las esferas numeradas y los puntos de estacionamiento del

escáner. Además, es importante registrar cualquier condición externa específica que pueda haber afectado el escaneo, así como los ajustes realizados durante el proceso.

1.3.2 Escaneado de las esferas y puntos de referencia

Las dianas y esferas utilizadas en el escaneo láser están fabricadas con un material altamente reflectante, lo que les confiere una mayor reflectividad en comparación con los objetos circundantes. Estas estructuras se designan como puntos de referencia artificiales para registrar las nubes de puntos generadas durante el escaneo. En algunos casos, en lugar de esferas, se emplean puntos de referencia naturales o detalles geométricos altamente distintivos, que pueden ser localizados con precisión debido a sus características específicas.

Los escáneres de última generación, basados en la tecnología de tiempo de fase, son capaces de escanear 360° de su entorno con alta velocidad y resolución, completando el proceso en un tiempo promedio de entre 5 y 10 minutos. Las esferas y dianas se escanean con alta resolución, lo que elimina la necesidad de realizar escaneos adicionales de estos elementos.

En el entorno de oficina, los datos recopilados se analizan y se comparan con los croquis y notas tomadas en el campo. Es recomendable iniciar el trabajo realizando una copia de seguridad de los escaneos originales, conservándolos como

respaldo. Es crucial añadir metadatos al respaldo, junto con la documentación de campo y los datos recogidos durante la fase de preparación.

Antes de proceder al procesamiento de las nubes de puntos, es necesario descartar del conjunto de datos aquellos escaneos que puedan estar afectados por condiciones ambientales extremas o grandes obstrucciones. Además, cualquier ruido presente en los escaneos debe ser eliminado antes de realizar el registro, ya que podría comprometer la precisión del mismo.

1.4 Registro y georeferenciación

Con frecuencia, objetos de gran tamaño requieren múltiples posiciones de escaneo para ser completamente documentados, lo cual implica realizar varios estacionamientos del escáner. Cada posición de estacionamiento se define dentro del sistema de coordenadas del equipo, y para alinear varios escaneos de un objeto, es crucial conocer con precisión la ubicación y orientación del equipo en un sistema de coordenadas externo, ya sea local o global.

Relacionado con el registro de los escaneos está el proceso de georeferenciación de todos los datos, que otorga coordenadas a los puntos en un sistema de referencia fijo. Existen diversas metodologías para llevar a cabo este registro dependiendo del software utilizado.

El método más común implica el uso de esferas o dianas colocadas en el lugar de estudio para alinear las nubes de puntos. Para realizar la georreferenciación, es necesario medir los puntos de referencia utilizando técnicas topográficas y transformarlos a un sistema de coordenadas fijo.

En el registro indirecto, se requiere un mínimo de tres puntos de referencia que estén presentes en ambas nubes de puntos que se desean registrar. Es importante destacar que un mayor número de puntos de referencia ayuda a minimizar los errores durante el registro.

En lugares de fácil acceso, la colocación de esferas o dianas no representa un problema significativo. Sin embargo, en situaciones donde estos instrumentos no están disponibles, se pueden improvisar utilizando objetos cuya superficie pueda ajustarse a una forma geométrica ideal.

En áreas inaccesibles, se pueden utilizar entidades o blancos naturales, como bordes de ventanas o cornisas, que son identificados con precisión como puntos de interés en la estructura a escanear. Sin embargo, el registro con blancos naturales tiende a ser menos efectivo que con esferas o dianas artificiales debido a la divergencia del haz láser y a la identificación subjetiva de entidades comunes, especialmente en escaneos con ángulos pronunciados.

Cuando dos nubes de puntos tienen un solape del 30 al 40%, se puede aplicar la técnica Iterative Closest Point (ICP) para alinear ambos conjuntos de datos. Este método requiere que el operador identifique al menos tres pares de puntos correspondientes en las dos nubes de puntos, aunque estos nunca serán exactamente los mismos puntos. El algoritmo ICP itera sobre todas las distancias entre los puntos de las nubes y estima la transformación necesaria para minimizar el error y alinear los conjuntos de datos.

En el escaneo de estructuras lineales extensas que requieren múltiples posiciones de escaneo, pequeños errores en el registro de cada par consecutivo de nubes de puntos pueden acumularse y generar errores globales significativos.

Algunos equipos están equipados con funciones similares a una estación total, permitiendo el cálculo directo de la posición y orientación del escáner. Esto se logra estacionando el escáner sobre un punto conocido utilizando una plomada láser y determinando la orientación mediante el escaneo de un único punto de referencia en la siguiente ubicación. Esta técnica reduce la necesidad de utilizar esferas y dianas, evitando los requisitos adicionales de configuración y eliminando la necesidad de que las nubes de puntos se superpongan.

1.5 Procesamiento de la nube de puntos

El procesamiento de datos provenientes de escaneos láser implica transformar la nube de puntos cruda registrada en un resultado final útil y comprensible. Este producto final puede adoptar diversas formas:

Nube de puntos depurada: Es la representación directa de todos los puntos escaneados en el espacio, cada uno con coordenadas específicas y valores de reflectividad. Puede ser utilizada para análisis detallados o como punto de partida para otros tipos de modelos.

Planos 2D estándar: Incluyen planos, elevaciones, secciones transversales y otros formatos que representan vistas bidimensionales del objeto escaneado. Estos planos son útiles para la documentación arquitectónica y la ingeniería civil, proporcionando información clara sobre las dimensiones y la geometría del objeto.

Modelos 3D totalmente texturizados: Representan una reconstrucción tridimensional detallada del objeto escaneado, incluyendo información de textura que mejora la visualización y comprensión del modelo. Este proceso, aunque más complejo y que requiere más tiempo, ofrece una representación visual más realista y detallada.

El proceso de transformación de la nube de puntos puede dividirse en dos enfoques principales:

Extracción directa desde la nube de puntos: Los resultados finales se obtienen directamente de los puntos escaneados, sin necesidad de crear un modelo tridimensional intermedio. Esto es útil cuando se requiere una representación precisa de la geometría capturada.

Creación de un modelo tridimensional: Primero se genera un modelo tridimensional a partir de la nube de puntos, y luego se extraen los resultados finales del modelo. Este método puede ser preferible cuando se necesita una representación visual más detallada y manipulable del objeto escaneado.

Los escáneres láser modernos proporcionan además información adicional como valores de color en formato RGB, que se utilizan para mejorar la visualización y la interpretación de los modelos. Esto permite distinguir mejor las estructuras y detalles dentro de la nube de puntos, facilitando su análisis y uso.

Para visualizar y explorar los datos escaneados y las nubes de puntos, el software SCENE ofrece varias vistas:

Vista Rápida: Permite analizar escaneos simples rápidamente, mostrando el área escaneada desde la posición del escáner. Esta vista es ideal para una evaluación inicial sin necesidad de cargar todos los datos de escaneo de manera completa de inmediato.

Vista Planar: Muestra el contenido de un solo escaneo de manera similar a la vista rápida, pero enfocándose en una representación bidimensional que puede parecer distorsionada debido a la técnica de proyección utilizada.

Vista 3D: Proporciona una representación tridimensional más precisa de los puntos escaneados y los modelos CAD. A diferencia de las vistas anteriores, la vista 3D ofrece una perspectiva más cercana a la realidad, lo que facilita la comprensión espacial y la evaluación de la estructura escaneada.

Cada una de estas vistas tiene sus propias aplicaciones y limitaciones en términos de manipulación y análisis de datos, lo que permite a los usuarios elegir la representación más adecuada según sus necesidades específicas de visualización y trabajo con los escaneos láser.

1.5.1 Depuración de los datos

Los escaneos láser generan millones de mediciones que, debido a diversas causas, pueden variar en precisión. La exactitud de cada medición no puede ser completamente perfecta, y es crucial conocer el nivel de precisión alcanzado y cómo se puede mejorar. Algunas de las causas que afectan la medición incluyen:

Ruido en los valores analógicos: A medida que se incrementa el número de puntos medidos, las mediciones

tienden a desviarse del valor verdadero debido al ruido inherente en los datos.

Diámetro del punto de impacto del láser: El láser no produce un punto de impacto infinitesimal, sino que tiene un cierto diámetro. Esto puede llevar a que el escáner reciba luz láser reflejada desde puntos diferentes, lo cual introduce errores en la medición.

Para mejorar la precisión, a veces se pueden aplicar correcciones basadas en el tipo de error específico presente en los datos. Sin embargo, en muchos casos, los puntos de escaneo afectados no pueden corregirse.

Los filtros juegan un papel crucial en el proceso al corregir o eliminar puntos de escaneo basados en parámetros de ajuste específicos. Estos filtros examinan cada punto escaneado y determinan su calidad según criterios predefinidos. Si un punto escaneado no cumple con los estándares establecidos, puede ser eliminado.

Para identificar puntos de escaneo inexactos, los filtros activos comparan cada punto con los puntos de su entorno circundante, definido por la técnica de registro del escáner. Esto usualmente se realiza en las filas y columnas representadas en la vista planar, facilitando la detección y corrección de errores.

La creación de secciones transversales, planos y elevaciones implica tomar cortes de la nube de puntos y proyectarlos sobre un plano. Posteriormente, el técnico interpreta y conecta estos puntos para formar figuras geométricas como líneas, arcos y polígonos. Esta interpretación depende en gran medida de la escala del escaneo y requiere un conocimiento profundo de la estructura escaneada o acceso a material fotográfico complementario.

Aunque las versiones modernas de software utilizan algoritmos para automatizar estos procesos, es fundamental aplicar ciertas restricciones para asegurar resultados precisos y satisfactorios. La combinación de habilidades técnicas y herramientas computacionales avanzadas permite aprovechar al máximo la información capturada mediante escáneres láser para diversas aplicaciones en ingeniería, arquitectura y otras disciplinas.

1.5.2 Modelado 3D directo a partir de la nube de puntos

El conocimiento previo de la forma de un objeto tridimensional permite describirlo utilizando primitivas geométricas que se identifican automáticamente a partir de una nube de puntos. Este enfoque es particularmente valioso en aplicaciones como el escaneo de instalaciones industriales complejas, por ejemplo, plantas petroquímicas, donde se puede suponer que las tuberías tienen una sección

circular y las conexiones entre componentes siguen formas específicas predefinidas.

El proceso de modelado tridimensional tiene como objetivo final generar una malla superficial del objeto a partir de la nube de puntos, la cual consiste en una estructura compuesta por pequeños triángulos que conectan los puntos escaneados. Este proceso se desarrolla mediante varios pasos secuenciales:

Reducción de ruido y eliminación de errores groseros:

Se realiza un filtrado inicial para eliminar mediciones incorrectas y reducir el ruido presente en los datos escaneados, mejorando así la precisión general del modelo.

Muestreo: Se seleccionan puntos clave de la nube de puntos para crear una nueva representación más manejable y optimizada, lo cual facilita el siguiente paso de creación de la malla.

Mallado: Los puntos seleccionados se conectan entre sí para formar una malla tridimensional utilizando principalmente triángulos o cuadriláteros. Este proceso es fundamental para crear una superficie continua y visualizable del objeto escaneado.

Eliminación de vacíos: Se corrigen las áreas donde faltan datos dentro de la nube de puntos, asegurando que la superficie modelada sea completa y precisa, evitando

huecos que puedan comprometer la integridad del modelo final.

Optimización de la malla: Se ajusta el número de triángulos en la malla para optimizar el rendimiento computacional y la visualización del modelo, asegurando que se mantenga una buena relación entre detalle y eficiencia.

Durante el proceso de creación de la malla, el número de triángulos puede aumentar significativamente en comparación con la cantidad inicial de puntos de la nube de puntos. Por ejemplo, un solo escaneo por fase puede resultar en más de veinte millones de triángulos, lo cual requiere a menudo técnicas de reducción posterior para mejorar la eficiencia en la manipulación y visualización del modelo.

Existen varios métodos y algoritmos avanzados para el muestreo y la creación de mallas a partir de datos de escaneo. Estos métodos utilizan criterios matemáticos como el de Delaunay para garantizar que la malla resultante sea óptima en términos de estructura y conexión de los puntos escaneados.

En la actualidad, se han desarrollado algoritmos más sofisticados que permiten triangular grandes conjuntos de datos de manera eficiente, minimizando el uso de memoria y mejorando la precisión del modelo tridimensional final.

A pesar de la cuidadosa planificación de los escaneos para evitar áreas ocultas, la creación de mallas a partir de nubes de puntos puede introducir pequeños agujeros o vacíos debido a la falta de datos suficientes en ciertas áreas. Para abordar este problema, se han desarrollado algoritmos específicos que utilizan técnicas de interpolación para rellenar estos vacíos y garantizar una superficie continua y precisa en el modelo final.

La comprensión detallada de las especificaciones técnicas del proyecto es esencial para seleccionar adecuadamente el escáner láser, la resolución y los métodos de registro más apropiados. Esto asegura la obtención de un producto final de alta calidad que cumple con las expectativas y requisitos del cliente.

El control de calidad durante todas las etapas del proceso de medición y procesamiento es crucial para garantizar la precisión y la fiabilidad de los datos obtenidos. Cada posición del escáner debe ser minuciosamente revisada y comparada con los resultados esperados, y la documentación meticulosa en campo, como croquis detallados, fotografías de referencia y comprobaciones dimensionales, facilita las fases posteriores del proceso de modelado y documentación.

En resumen, la implementación de un riguroso proceso de control de calidad para los levantamientos con escáner láser

es fundamental para asegurar resultados precisos y satisfactorios en la modelización y documentación de estructuras tridimensionales complejas en diversos campos industriales y de ingeniería.

CAPÍTULO II

GENERACIÓN DE LOS MODELOS TRIDIMENSIONALES Y AMBIENTES VIRTUALES

2.1 Modelos Tridimensionales

La generación de modelos tridimensionales mediante escáner láser es un proceso fundamental en la captura precisa y detallada de la geometría de objetos y entornos físicos. Este método utiliza tecnología avanzada para recopilar datos tridimensionales de alta resolución, que luego se procesan para crear representaciones digitales precisas de la superficie y estructura de los objetos escaneados.

El escáner láser funciona emitiendo pulsos de luz láser hacia el objeto desde diferentes posiciones y registrando el tiempo que tarda cada pulso en rebotar y regresar al escáner. Basándose en el tiempo de vuelo de los pulsos láser, el escáner calcula las distancias y genera una nube de puntos tridimensionales que representan la superficie del objeto escaneado. Esta nube de puntos contiene coordenadas XYZ que describen la posición espacial de cada punto medido.

Una vez que se ha recopilado la nube de puntos, se procede al procesamiento de los datos. Este proceso incluye la limpieza de datos para eliminar errores y ruido, la alineación y registro de múltiples escaneos si es necesario, y la creación de una malla tridimensional que conecta los puntos

para formar una superficie continua. La malla tridimensional está compuesta por triángulos o cuadriláteros que se ajustan a los puntos de la nube, lo que permite una representación visual suave y detallada del objeto escaneado.

Además de la geometría, algunos escáneres láser también capturan información sobre el color y la textura de la superficie mediante cámaras integradas o mediante la reflectividad de los objetos escaneados. Esta información adicional puede ser útil para aplicaciones de modelado 3D que requieren una representación visual realista y detallada del objeto.

En resumen, la generación de modelos tridimensionales con escáner láser combina precisión técnica con avanzadas capacidades de captura de datos para crear representaciones digitales precisas de objetos físicos en entornos variados. Este proceso es esencial en diversas industrias, incluyendo la arquitectura, la ingeniería, la construcción, la arqueología y muchas más, donde la precisión y el detalle son cruciales para el análisis, el diseño y la documentación de estructuras y entornos complejo.

2.1.1 Edificaciones

2.1.1.1 Representación mediante software scene

Para utilizar el software Scene en la representación de edificios mediante escáner láser, se inicia creando un nuevo

proyecto desde la pestaña Archivo, seleccionando Nuevo y luego Proyecto. Es crucial elegir una ubicación adecuada para la carpeta que contendrá todos los datos del proyecto y asignarle un nombre específico. Una vez creado el proyecto, se procede a importar los escaneos realizados a través de la opción Importar en la pestaña Archivo.

Los escaneos importados necesitan ser cargados individualmente dando doble clic sobre cada uno para visualizarlos. Una vez cargados, aparece un indicador de un cuadrado verde junto al nombre del escaneo. Para unificar todos los escaneos de manera manual, se utilizan esferas como puntos de referencia. Cada esfera se identifica y registra en cada escaneo, marcándola con la herramienta Marcar esfera de registro. Este proceso se realiza meticulosamente para todas las esferas, asegurando su correcta identificación y ajuste.

Luego de marcar las esferas, se procede a la colocación de escaneos forzando la alineación basada en los nombres de los objetivos manuales. Automáticamente, se generan pestañas adicionales como ScanManager, ScanFit y SphereFit, proporcionando información detallada sobre el registro y ajuste de los escaneos.

El apartado ScanManager ofrece una visión general de la calidad del ajuste de los escaneos, indicando el nombre del escaneo, el uso de datos del clinómetro y la ausencia de

referencias externas para el ajuste. La pestaña ScanFit muestra los resultados detallados del escaneo, incluyendo la tensión promedio de cada registro, con semáforos verdes indicando un ajuste óptimo.

La opción de Vista por Correspondencia permite visualizar todos los escaneos unificados junto con las posiciones del escáner y las esferas correspondientes. Las estadísticas ponderadas muestran valores mínimos, máximo, medio y desviación estándar de la tensión, siendo óptima cuando el semáforo está en verde.

Cada escaneo incluye la opción ScanFit, que detalla el ajuste específico de cada escaneo, mostrando semáforos junto a los parámetros clave para validar su precisión. La sección SphereFit proporciona información detallada sobre las esferas utilizadas, asegurando que cumplan con los parámetros establecidos mediante semáforos verdes.

Posteriormente, se visualiza la nube de puntos en 3D una vez unificados los escaneos, eligiendo la opción de vista adecuada desde el menú Ver. Para finalizar, se exportan los puntos de escaneo en formato XYZ desde la pestaña Scans, opción Importar/Exportar, seleccionando el formato deseado y la ubicación para guardar el archivo exportado (Figura 2.1).

Figura 2.1.- Nube de puntos unificadas de La Casona



Fuente: Autores

Este proceso completo con Scene no solo asegura una representación precisa y detallada de edificios mediante escaneo láser, sino que también permite una gestión eficiente y visualización completa de los datos capturados, facilitando así su uso en diversas aplicaciones de diseño, análisis y documentación arquitectónica e ingenieril.

2.1.1.2 Representación mediante software trimble real works

Para utilizar el software Trimble RealWorks en la representación de edificios mediante escaneo láser, se comienza abriendo un archivo existente desde la pestaña Archivo y seleccionando la opción Abrir. En la ventana que aparece, se muestra una lista de archivos disponibles para su visualización.

Una vez visualizados los datos del archivo, se emplea la herramienta Sampling Tool para depurar la nube de puntos. Al seleccionar esta herramienta, se abre un diálogo adicional que facilita la eliminación de puntos no deseados del modelo. Se procede con el método Topography-Based Sampling y se utiliza la herramienta Polygonal Selection para identificar y seleccionar los puntos ajenos al objeto deseado (ruido). Los puntos seleccionados se confirman haciendo clic en la opción In y se finaliza la selección con Close Tool.

Para eliminar definitivamente los puntos no deseados de la nube de puntos, se ajusta el Vertical Filtering Tolerance deslizando el cursor hasta el extremo negativo, cambiando los puntos seleccionados a color rojo. Luego, se utiliza la opción Erase Unwanted para eliminar estos puntos de la nube. Se puede recargar los puntos de referencia para visualizar la nube de puntos depurada y se tiene la opción de continuar eliminando cualquier ruido remanente o crear una nueva nube de puntos haciendo clic en Create, seguido de Close.

Una vez obtenida la nube de puntos depurada, se procede al modelamiento de entidades geométricas. Se activan las herramientas de modelación seleccionando el modo Modeling en la barra de herramientas y utilizando la Cloud Based Modeler Tool. En el WorkSpace, se emplea la Segmentation Tool para identificar el área específica que se

va a modelar y se elige el tipo de geometría deseada para esa área.

Al seleccionar la opción Fit, se materializa el modelamiento del área elegida y, si es correcto, se procede a crear la geometría haciendo clic en Create. Para las formas geométricas como cilindros y rectángulos, se repite este proceso. En el proceso de modelamiento, también se utiliza la opción de Extrusión a través de las herramientas de Drawing Tool para expandir las geometrías según sea necesario.

Para duplicar las entidades geométricas modeladas previamente, se selecciona la figura y se activa la Duplicator Tool. En el cuadro de diálogo Duplicator, se elige el método de duplicación, se define la trayectoria y se ajustan los parámetros necesarios antes de hacer clic en Create para generar la duplicación.

Concluido este proceso de modelamiento, se obtiene el modelo de las edificaciones (Figura 2.2) con todas las geometrías diseñadas anteriormente, listo para su análisis y visualización detallada dentro del entorno de Trimble RealWorks.

Figura 2.2.- Representación 3D segmentada de La Casona



Fuente: Autores

2.1.2 Patrimonio edificado

2.1.2.1 Representación mediante software scene

Para utilizar eficazmente el software Scene en la representación detallada del patrimonio edificado, como iglesias, mediante escaneo láser, se inicia con la configuración de un nuevo proyecto desde la pestaña Archivo. Aquí se selecciona la opción Nuevo y se procede a establecer la ubicación de la carpeta donde se almacenarán todos los datos y cambios asociados con el escaneo. Es crucial definir un nombre significativo para el proyecto antes de iniciar su creación, lo cual asegura una gestión organizada de los datos recopilados.

Una vez configurado el proyecto, se procede a importar los escaneos previamente realizados seleccionando la opción

correspondiente en la pestaña Archivo. Esta acción abre una ventana que permite seleccionar los archivos de escaneo necesarios para el proyecto. Cada escaneo importado debe ser cargado individualmente haciendo doble clic sobre él, lo cual se visualiza claramente en una ventana donde un indicador visual confirma que los datos están completamente cargados y listos para su procesamiento.

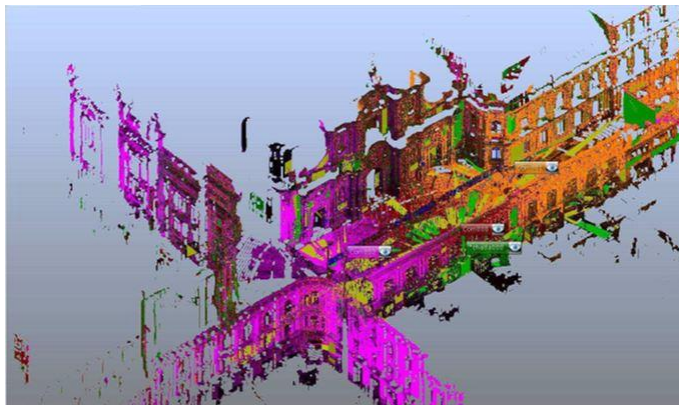
El siguiente paso crítico es la correspondencia automática de los escaneos. Esto se logra mediante la selección de la opción adecuada dentro del software, que automáticamente busca y establece relaciones entre las referencias artificiales y naturales utilizadas en los escaneos individuales. Este proceso garantiza una alineación precisa y coherente de todos los datos escaneados, optimizando así la calidad y precisión del modelo final.

Una vez completada la unificación automática de los escaneos, el software genera nuevos archivos detallados que proporcionan información crucial sobre el ajuste realizado. Entre estos archivos, ScanManager ofrece una visión general de los escaneos registrados, destacando aspectos como el uso de datos del clinómetro para el registro y la evaluación de la calidad del ajuste. Información adicional incluye detalles sobre la tensión promedio de cada registro y la evaluación de los resultados del escaneo, donde indicadores visuales como semáforos verdes confirman la idoneidad del ajuste realizado.

La funcionalidad de Vista por Correspondencia (Figura 2.3) permite una visualización integrada de todos los escaneos unificados, mostrando las posiciones relativas de los escáneres y las referencias utilizadas. Esta vista detallada incluye estadísticas ponderadas que proporcionan valores mínimos, máximos, medios y desviación estándar de la tensión, siendo el valor medio de referencia óptimo, como indican los semáforos en verde.

Cada escaneo individual está organizado en carpetas específicas dentro de AutoFeatures, que contienen información detallada sobre elementos como esferas, planos, rectángulos y esquinas utilizadas en el proceso de ajuste. Estos datos son esenciales para la comprensión y verificación de la precisión del modelo generado.

Figura 2.3.- Unificación de nube de puntos de la Iglesia La Compañía de Jesús



Fuente: Autores

Para la visualización tridimensional de la nube de puntos resultante, se accede a opciones avanzadas de visualización en el software Scene, permitiendo una exploración detallada y completa del conjunto de puntos escaneados desde múltiples perspectivas.

Finalmente, el proceso concluye con la exportación de los puntos de escaneo en el formato requerido, asegurando la disponibilidad de datos procesados para su uso futuro. Este proceso integral, utilizando el software Scene, proporciona una metodología robusta y eficiente para la representación precisa del patrimonio edificado, como iglesias, mediante tecnología de escaneo láser, destacando su relevancia en aplicaciones académicas y profesionales para la preservación y documentación del patrimonio cultural.

2.1.2.2 Representación mediante software trimble realworks

En el entorno de trabajo de Trimble RealWorks, la vista predeterminada muestra una disposición inicial de todos los escaneos realizados, proporcionando una perspectiva integral del proyecto en curso. Para comenzar un nuevo proyecto, se accede a la pestaña Archivo, donde se selecciona la opción Abrir para visualizar y cargar el archivo específico del proyecto. Esta acción abre una ventana que lista todos los archivos disponibles, permitiendo al usuario

elegir el archivo adecuado para su visualización y manipulación.

Una vez cargados los datos del archivo, la ventana de visualización presenta dos ventanas auxiliares diseñadas para facilitar la gestión eficiente de las nubes de puntos generadas durante el escaneo. Este entorno de trabajo permite al usuario explorar y examinar detalladamente los datos capturados, esenciales para el análisis y modelado posterior.

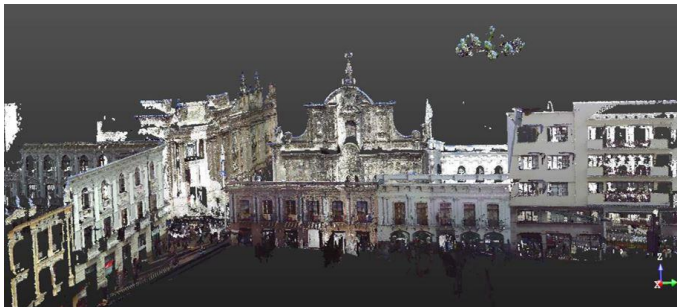
El siguiente paso crucial es depurar la nube de puntos obtenida del escaneo. Para ello, se emplea la herramienta Sampling Tool, la cual proporciona un diálogo adicional para la eliminación de puntos no deseados del modelo. La operación comienza con la selección del método de muestreo Topography-Based Sampling, seguido por la utilización de la Segmentation Tool. Esta última permite identificar y seleccionar los puntos no deseados del modelo mediante la herramienta Polygonal Selection, que crea un polígono para aislar y eliminar el ruido de fondo. Una vez seleccionados los puntos no deseados, se confirman dentro del polígono utilizando la opción In y se finaliza la selección con Close Tool (Escape).

Posteriormente, al reactivar la ventana Sampling, se ajusta la tolerancia de filtrado vertical mediante la herramienta Vertical Filtering Tolerance, deslizando el cursor hasta el

punto mínimo deseado. Esta acción resalta los puntos seleccionados en rojo, indicando aquellos que serán eliminados definitivamente con la opción *Erase Unwanted*, optimizando así la calidad y precisión de la nube de puntos resultante.

Una vez depurada la nube de puntos de la fachada de la iglesia u otro patrimonio edificado, se procede a generar una nueva versión de la misma mediante la opción *Create* (Figura 2.4). Este proceso finaliza con la creación y cierre para consolidar los cambios realizados.

Figura 2.4.- Segmentación de nubes de puntos de la Iglesia La Compañía de Jesús



Fuente: Autores

El siguiente paso implica la creación de mallas a partir de la nube de puntos seleccionada. Este proceso se realiza utilizando la herramienta *Mesh Creation Tool*, que proporciona un cuadro de diálogo para configurar el método de proyección adecuado, como *Plane-Based Projection*. El usuario elige un plano de proyección a lo largo del eje X y activa opciones como *Display Edges*, *Display Points* y

Remove Discontinuities para optimizar la visualización y estructura de la malla resultante. Tras previsualizar la malla generada, se procede a su creación con un clic en Create, seguido de Close para finalizar el proceso.

Este procedimiento se repite según sea necesario para generar mallas adicionales utilizando métodos de proyección alternativos como Screen View-Based Projection y Station-Based Projection. Cada método preserva los detalles esenciales de la nube de puntos original, asegurando la fidelidad y precisión del modelo tridimensional generado.

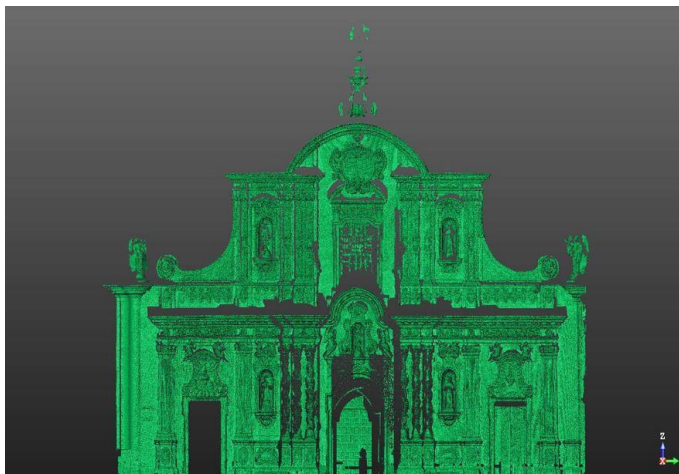
Para consolidar las mallas individuales en una entidad única, se seleccionan las tres mallas generadas y se utiliza la opción Create a Merged Mesh disponible en la pestaña Tools. Este proceso requiere unos minutos de procesamiento, al término de los cuales se visualiza una malla unificada que integra todos los detalles capturados con alta precisión y fidelidad.

Finalmente, para refinar aún más el modelo tridimensional, se utiliza la herramienta Mesh Editing Tool, que permite al usuario aplicar ajustes como suavizado (Smooth) y eliminación de picos (Remove peaks) en la malla seleccionada (Figura 2.5). Los cambios aplicados se confirman con un clic en Apply y se cierran con Close, asegurando que el modelo final cumpla con los estándares

de calidad y precisión requeridos para aplicaciones en la preservación y documentación del patrimonio arquitectónico.

Este proceso exhaustivo y detallado con Trimble RealWorks proporciona una metodología robusta y eficiente para capturar, depurar y modelar estructuras complejas como iglesias y otros edificios históricos, destacando por su capacidad para preservar con precisión los detalles arquitectónicos y estructurales esenciales.

Figura 2.5.- Creación de malla de la fachada de la Iglesia La Compañía de Jesús



Fuente: Autores

2.1.3 Zonas subterráneas

2.1.3.1 Representación mediante software scene

Dentro de la interfaz inicial del programa Scene, la vista por defecto proporciona una perspectiva global de todos los

escaneos previamente realizados, permitiendo al usuario obtener una visión completa y panorámica del proyecto en curso desde el inicio. Para comenzar un nuevo proyecto, se accede a la pestaña Archivo, donde se selecciona la opción Nuevo y luego Proyecto. Es aquí donde se debe especificar la ubicación de la carpeta que albergará este nuevo proyecto. Esta carpeta es crucial ya que en ella se guardarán y organizarán todos los datos y cambios relacionados con el escaneo, y es además donde se definirá un nombre adecuado para el proyecto antes de proceder con su creación.

Una vez que el proyecto ha sido creado, el siguiente paso implica la importación de los escaneos previamente realizados. Para esto, se vuelve a la pestaña Archivo y se selecciona la opción Importar. Esto abrirá una ventana desde la cual se pueden seleccionar los escaneos específicos que se desean incorporar al proyecto en curso. Es importante notar que aunque los datos de los escaneos se importan en este punto, estos no se cargan automáticamente para su visualización. Para hacerlo, el usuario debe hacer doble clic en cada uno de los escaneos importados, lo cual abrirá una ventana de visualización donde un indicador visual, representado por un cuadro verde junto al nombre del escaneo, señalará que los datos están efectivamente cargados y disponibles para su análisis detallado.

El siguiente paso crucial es la creación automática de correspondencias entre todos los escaneos importados. Este proceso se inicia haciendo clic derecho en la categoría de escaneos, seleccionando la opción Operaciones y luego Preprocesando, seguido por Preprocesar escaneos previamente. Durante este proceso, el software realizará una búsqueda activa de las esferas de referencia utilizadas en cada uno de los escaneos importados, estableciendo automáticamente las correspondencias necesarias entre todas ellas. Una vez que se han realizado estos ajustes y se han guardado los cambios, el software generará nuevos archivos que detallan la información del ajuste realizado. Uno de estos archivos es conocido como ScanManager, que proporciona una vista general de todos los escaneos registrados y la calidad de los ajustes obtenidos. Dentro del ScanManager, las pestañas específicas proporcionan información detallada sobre cada escaneo, incluyendo el uso de datos de clinómetro para el registro y la evaluación de la ausencia de referencias externas para ajustes adicionales.

Para una evaluación más minuciosa, el usuario puede acceder a la opción de Vista por Correspondencia, que permite observar visualmente todos los escaneos unificados junto con las posiciones precisas de los escáneres y las esferas utilizadas en el proceso de alineación. Además, una tercera pestaña dentro del ScanManager muestra estadísticas detalladas sobre las tensiones y discrepancias entre los pares de referencias utilizados para cada escaneo,

proporcionando valores mínimos, máximos, medios y desviaciones estándar de las tensiones. La visualización de semáforos verdes indica que las tensiones medias están en rangos óptimos, validando así la precisión de las correspondencias establecidas.

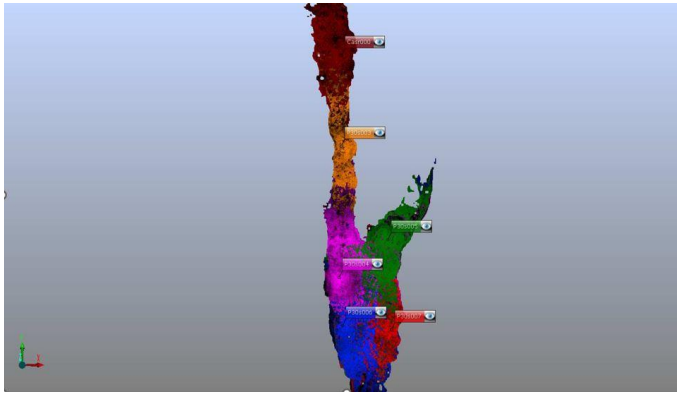
Dentro de cada escaneo individual, la herramienta ScanFit ofrece un análisis detallado del ajuste de cada escaneo, presentando datos esenciales como el nombre del escaneo, junto con indicadores visuales que confirman la validez y precisión de los parámetros configurados. Esto incluye la posibilidad de visualizar diagramas que muestran la distribución y la ubicación precisa de las esferas de referencia naturales y artificiales en relación con el escáner utilizado para cada escaneo.

Además de la correspondencia automática, el software ofrece la opción de realizar este proceso de manera manual, permitiendo al usuario identificar y marcar individualmente cada esfera de referencia utilizada en los escaneos. Este enfoque manual garantiza un control más detallado y personalizado, donde cada esfera se registra con información específica como nombres personalizados, códigos de identificación únicos y parámetros detallados de ajuste, incluyendo la posición precisa de cada esfera dentro del escaneo.

Una vez completada la fase de unificación de escaneos, el siguiente paso es la creación de la nube de puntos del proyecto. Este proceso implica aplicar parámetros predefinidos para filtrar puntos dispersos y redundantes, lo cual es esencial para optimizar la calidad y precisión de la nube de puntos final generada por el software. Este paso es crucial para garantizar que la representación tridimensional resultante capture de manera precisa todos los detalles estructurales y arquitectónicos de las zonas subterráneas, como catacumbas.

Finalmente, una vez que se ha completado y revisado la nube de puntos generada, se procede a exportar los datos de escaneo en el formato deseado, generalmente XYZ Ascii Files (*.xyz). Este proceso se realiza seleccionando la opción correspondiente dentro de la pestaña de escaneos y especificando la ubicación donde se guardará el archivo exportado. La confirmación de la exportación asegura que el archivo generado esté disponible para su uso futuro, proporcionando así una base sólida para cualquier análisis adicional o aplicaciones prácticas dentro del proyecto de modelamiento de zonas subterráneas (Figura 2.6).

Figura 2.6.- Unificación de escaneos realizados en zonas subterráneas correspondientes a las cavernas El Castillo



Fuente: Autores

2.1.3.2 Representación mediante software trimble realworks

Dentro de la interfaz inicial de Trimble RealWorks, la vista predeterminada proporciona una visión integral del proyecto en curso, permitiendo al usuario obtener una perspectiva general de todos los datos de escaneo desde el inicio. Para comenzar a trabajar con un archivo existente, se selecciona la pestaña Archivo y se hace clic en Abrir, lo que despliega una lista completa de los archivos disponibles para su visualización.

La ventana de visualización de datos del archivo presenta dos ventanas auxiliares diseñadas para facilitar la gestión de las nubes de puntos obtenidas durante el escaneo. Uno de los primeros pasos en el proceso de modelamiento es la Segmentación de la Nube de Puntos, especialmente crucial

cuando el tamaño del archivo original dificulta su manejo eficiente. Utilizando la herramienta Segmentation Tool, la nube de puntos se divide en tres partes distintas para mejorar su manipulación. Para realizar esta segmentación, se emplea la opción Rectangular Selection dentro de la herramienta, permitiendo al usuario seleccionar áreas específicas de interés dentro del modelo escaneado. Al aceptar la selección con la opción In y posteriormente creando una nueva nube de puntos mediante la opción Create, se logra una separación efectiva que facilita el trabajo con datos más manejables y específicos.

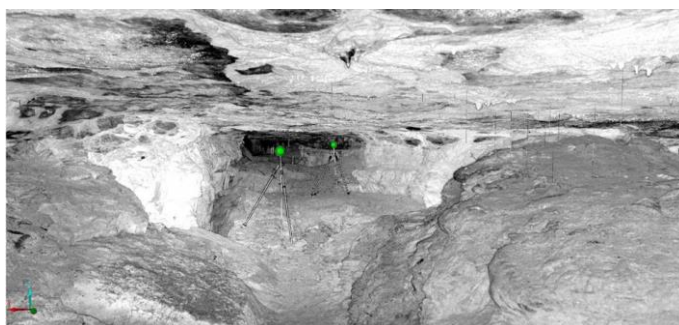
Una vez segmentadas las nubes de puntos, se procede con la Depuración de la Nube de Puntos para eliminar elementos no deseados, como los puntos de escaneo de esferas y personas que no forman parte del modelo objetivo. La herramienta Sampling Tool juega un papel crucial en este proceso al permitir al usuario identificar y eliminar estos puntos no deseados de manera eficiente. Utilizando métodos como el Topography-Based Sampling, se seleccionan y eliminan los puntos que no pertenecen al objeto de interés, mejorando así la calidad general de la nube de puntos depurada. Después de la selección inicial, los puntos restantes se procesan utilizando el Vertical Filtering Tolerance, ajustando los parámetros para asegurar que solo los puntos necesarios permanezcan en el modelo final.

Tras completar la depuración, se realiza un proceso de unificación de las nubes de puntos segmentadas en una sola entidad cohesiva. Esto se logra seleccionando las sub-nubes generadas y utilizando la opción Merge Clouds dentro de la pestaña Edit, lo que combina las partes individuales en una única nube de puntos consolidada. Este paso es esencial para garantizar una representación unificada y coherente del modelo tridimensional final.

Para manejar de manera más eficiente la cantidad masiva de puntos en la nube de puntos resultante, se aplica un proceso de Muestreo de la Nube de Puntos. Esto implica la selección de la herramienta Sampling Tool y la aplicación de métodos como el Random Sampling, donde se conserva un porcentaje específico de puntos del total original (Figura 2.7). Este enfoque reduce significativamente la cantidad de puntos mientras mantiene la representación esencial del modelo, mejorando así la eficiencia del manejo de datos sin comprometer la calidad del resultado final.

En resumen, el proceso de desarrollo de modelos tridimensionales con Trimble RealWorks implica una serie de pasos detallados y específicos, desde la segmentación inicial y depuración de la nube de puntos hasta la unificación y muestreo final, cada uno diseñado para optimizar la precisión y eficiencia en el modelamiento de zonas subterráneas como catacumbas.

Figura 2.7.- Representación 3D de áreas subterráneas mediante procesamiento de nubes de puntos obtenidas con el escáner láser terrestre



Fuente: Autores

2.2 Entornos Virtuales

La creación de un entorno virtual comprende el proceso de concepción, diseño y desarrollo de una interfaz digital que permite la interacción y visualización en tiempo real de objetos generados por computadora. Este ambiente no se limita únicamente a los componentes tradicionales de su interfaz, como texto, gráficos, sonidos, animaciones y enlaces, sino que su valor principal reside en el impacto final que tiene al ser implementado. Las características fundamentales de un entorno virtual incluyen:

- Representación en un formato gráfico tridimensional, que permite una visualización realista y detallada de los objetos y escenarios.
- Comportamiento dinámico y ejecución en tiempo real, lo que implica que los elementos del entorno pueden

responder instantáneamente a las acciones del usuario.

- Funcionamiento interactivo que involucra activamente al usuario dentro del entorno digital, permitiéndole explorar, interactuar y modificar el entorno según sus acciones.
- Capacidad para ofrecer una experiencia inmersiva y multisensorial, donde el usuario se siente completamente inmerso en el entorno virtual, interactuando con él de manera natural y realista.

La generación de un ambiente virtual implica la aplicación de tecnologías avanzadas de modelado y renderización 3D, así como el uso de motores gráficos y herramientas de desarrollo que permiten crear escenarios complejos y realistas. Este proceso no solo requiere habilidades técnicas para la creación y programación del entorno, sino también una comprensión profunda de los principios de diseño de experiencia de usuario y de la psicología de la interacción humana con interfaces digitales.

2.2.1 Video Creator

Para maximizar la divulgación de los modelos tridimensionales, es esencial desarrollar presentaciones virtuales que integren estos modelos en entornos interactivos, mejorando significativamente la percepción visual de los proyectos diseñados.

Trimble RealWorks incluye una herramienta para la generación de videos a partir de modelos tridimensionales, utilizando el formato Audio Video Interleave (.avi). Este software permite ajustar la resolución y la compresión del video según las necesidades específicas del usuario.

Los videos se crean seleccionando objetos específicos directamente desde la vista en 3D, lo que puede incluir elementos como nubes de puntos, mallas o geometrías diversas.

Para iniciar el proceso en Trimble RealWorks, acceda a la herramienta Video Creator desde el menú Media Tools en la interfaz del programa. Al abrirse el cuadro de diálogo correspondiente, se presentarán opciones detalladas para configurar los parámetros del video.

La 3D View de Trimble RealWorks se divide en dos ventanas distintas: la ventana superior, conocida como Main View, muestra la escena completa del modelo tridimensional; mientras que la ventana inferior, denominada Video Editing y Preview, permite ajustar atributos específicos del objeto y visualizar el keyframe actual desde la perspectiva de una cámara definida.

En el modo de navegación Examiner de Trimble RealWorks, la ventana superior muestra la escena global con un keyframe inicial predeterminado. Tanto la opción "Head Always Up" como el modo de proyección "Perspective" están

configurados automáticamente. El keyframe inicial está posicionado para alinearse con la posición actual del keyframe, con ajustes menores según sea necesario.

Para agregar nuevos keyframes, utilice la ventana inferior para explorar la escena y encontrar el ángulo de visión adecuado. En el cuadro de diálogo "Video Creation", seleccione el icono "Add New Keyframe" para incorporar un nuevo keyframe en la ventana superior. Repita este proceso según sea necesario para definir múltiples keyframes.

En el modo de navegación Examiner de Trimble RealWorks, cada nuevo keyframe añadido automáticamente establece una trayectoria visualizada como una curva de color rojo, la cual conecta los keyframes previamente definidos.

Además de añadir keyframes, especifique la duración del video en segundos y seleccione la velocidad de reproducción deseada (x1, x2, x4, x10) desde la pestaña desplegable ubicada debajo del campo de Duración para completar la configuración del video.

Para proceder con la creación del video, primero se debe hacer clic en "Create", lo cual abrirá el cuadro de diálogo "Save Video File". Luego, se selecciona la ubicación deseada para guardar el video y se ingresa un nombre en el campo "File Name". A continuación, se elige el formato de archivo deseado desde la lista desplegable bajo "File of Type" y se especifica la resolución del video, que puede ser

Web small, Web large, DVD, HD 720p, HD 1080p, o una opción personalizada para ajustes específicos. Después, se configura el códec según sea necesario para comprimir el video y se realizan ajustes adicionales si son requeridos. Finalmente, se completa el proceso haciendo clic en "Save" para guardar el video con todas las especificaciones definidas.

Los modelos tridimensionales pueden ser exportados a formatos específicos utilizando software de acceso libre, permitiendo así la difusión y compartición de los datos generados.

2.2.1.1 Edificiaciones

En el modo de navegación Examiner de Trimble RealWorks, la ventana superior muestra una vista completa de la escena con un keyframe inicial configurado. Ambas ventanas están ajustadas con las opciones "Head Always Up" y proyección "Perspective" como configuración predeterminada. El keyframe inicial se coloca de manera que coincida con la posición actual del keyframe, ajustándose si es necesario para alinearse correctamente.

Para exportar el modelo tridimensional en diversos formatos:

DXF File (*.dxf)

Para exportar un modelo 3D en formato DXF utilizando Trimble RealWorks, se procede visualizando todas las entidades geométricas en la vista 3D y seleccionándolas desde la lista de elementos disponibles. Luego, se accede a la pestaña File y se elige la opción Export Selection. Se especifica el formato como Solids AutoCAD Files (*.dxf), se define la ubicación y el nombre del archivo, y se completa el proceso haciendo clic en Guardar. En la ventana "Export as DXF file", se configura "Selected geometries" en el campo Export of y se selecciona "Meters" en Unit, seguido de hacer clic en Export para finalizar la exportación.

VRML Files (*.wrl)

Google SketchUp 8 se inicia utilizando su configuración por defecto. Luego, se accede al menú File, se selecciona Import, y se elige el archivo AutoCAD deseado, ajustando las unidades a Metros y marcando la opción Preserve drawing origin. Después de completar la importación, se selecciona nuevamente File, seguido de Export, y se elige la opción 3D Model. Posteriormente, se selecciona el formato VRML File (*.wrl), se configuran las opciones según sea necesario, y finalmente se hace clic en Export para guardar el archivo en el formato seleccionado.

Google Earth File (*.kmz)

En Trimble RealWorks, se procede seleccionando la opción File, luego Export, y seguidamente se elige la opción 3D Model. Posteriormente, se selecciona el formato Google Earth File (*.kmz), se ajustan las opciones correspondientes en el cuadro de diálogo según las necesidades específicas del usuario, y finalmente se hace clic en Export para guardar el modelo en el formato deseado.

3D PDF File (*.pdf)

Se procede personalizando la plantilla para incorporar el modelo 3D dentro del archivo PDF, introduciendo detalles como el nombre del modelo, instituciones involucradas y los autores pertinentes. Una vez completada la configuración según los requisitos específicos, se selecciona la opción Export 3D PDF para guardar el archivo, asegurando así que el modelo tridimensional esté integrado de manera adecuada en el documento final en formato PDF.

AVI Files (*.avi)

Desde la ventana List, se seleccionan los objetos que se desean incluir en el video, como por ejemplo la nube de puntos, en Trimble RealWorks. Luego, se accede a Media Tools y se selecciona Video Creator. En el cuadro de diálogo correspondiente, se opta por el modo Step By Step en la pestaña Define Navigation Path. Utilizando las funciones de

Pan y Rotate disponibles en la ventana inferior, se establece la posición inicial y se añaden keyframes según sea necesario utilizando la opción Add New Keyframe.

Una vez configurado el recorrido visual deseado, se reproduce preliminarmente el video con Play para verificar la secuencia y los movimientos definidos. A continuación, se define la duración del video y la velocidad de reproducción adecuadas antes de proceder a hacer clic en Create para generar el video final.

Finalmente, en el cuadro de diálogo Save Video File, se introduce un nombre para el archivo y se elige la opción DVD en la pestaña Resolution, seguido de hacer clic en Guardar para exportar el video en el formato seleccionado.

Cada método de exportación ofrece una manera efectiva de distribuir y compartir modelos tridimensionales creados con Trimble RealWorks, adaptándose a diferentes necesidades de visualización y presentación de datos.

2.2.1.2 Patrimonio Edificado

Para la creación de videos en formato AVI (*.avi) utilizando Trimble RealWorks, se inicia seleccionando los objetos específicos desde la lista disponible en la ventana List, enfocándose particularmente en una vista parcial de la nube de puntos aún no depurada. Luego, accede a la pestaña Media Tools y selecciona la opción Video Creator. Dentro del

cuadro de diálogo de esta herramienta, se opta por el modo Step By Step Mode en la pestaña Define Navigation Path.

Durante la configuración de la trayectoria del video, se establece la posición inicial utilizando comandos de Pan y Rotate en la ventana inferior para definir el primer keyframe. Posteriormente, se procede a añadir nuevos keyframes seleccionando la opción Add New Keyframe según sea necesario. Este proceso se repite ajustando las posiciones de los keyframes adicionales mediante los comandos de visualización hasta obtener una secuencia visual coherente y satisfactoria para la narrativa del video.

Para revisar la secuencia antes de la generación final, se utiliza la función Play para previsualizar el video. Una vez confirmada la disposición y la secuencia de los keyframes, se ajustan la duración y la velocidad de reproducción según los requisitos específicos del proyecto. Posteriormente, se procede a crear el video definitivo haciendo clic en Create en el cuadro de diálogo Save Video File.

Durante la configuración de la exportación del video, se ingresa un nombre descriptivo en el campo File name y se selecciona la resolución adecuada desde la pestaña desplegable Resolution, como por ejemplo la opción DVD. Finalmente, al hacer clic en Save, se completa el proceso y aparece un cuadro de diálogo que muestra las propiedades del video generado, confirmando así la finalización exitosa

del procedimiento de creación de video en Trimble RealWorks.

2.2.1.3 Zonas Subterráneas

La técnica para exportar los modelos tridimensionales en formatos específicos varió según cada tipo de archivo generado. A continuación, se presenta una síntesis detallada de este procedimiento para cada uno de los modelos creados.

DXF File (*.dxf)

Para exportar el modelo tridimensional en formato DXF, primero se visualiza la nube de puntos en la 3D View. Luego, se seleccionan los puntos desde la ventana List y se accede a la pestaña File para hacer clic en Export Selection. En la ventana emergente, se elige el formato E57 Files (*.e57) y se especifica la ubicación y nombre del archivo antes de hacer clic en Save. Una vez exportado, se utiliza el programa SCENE para importar el archivo, seleccionando la opción Archivo y luego Importar datos de escaneo. Después de abrir el archivo importado, el modelo tridimensional se visualiza correctamente con los atributos definidos en Trimble RealWorks.

VRML Files (*.wrl)

Para exportar el modelo en formato VRML, se utiliza la opción de importar/exportar puntos del escaneo desde la pestaña Scans. Se selecciona el formato VRML Files (*.wrl), se define la ubicación de guardado y se hace clic en Exportar. Una vez completado el proceso, el archivo exportado se encuentra disponible en la carpeta de trabajo.

AVI Files (*.avi)

Para generar un video en formato AVI, primero se seleccionan los objetos relevantes en la ventana List, mostrando la nube de puntos depurada en su totalidad. Luego, se accede a la pestaña Media Tools y se selecciona la opción Video Creator. Dentro del cuadro de diálogo de esta herramienta, se elige el modo Step By Step Mode en la pestaña Define Navigation Path. Se establece la posición inicial del video utilizando comandos de Pan y Rotate en la ventana inferior y se añaden nuevos keyframes según sea necesario. Después de ajustar la secuencia de keyframes y previsualizar el video, se define la duración y la velocidad de reproducción antes de hacer clic en Create. Finalmente, se especifica el nombre del archivo en el cuadro de diálogo Save Video File, se selecciona la resolución deseada y se guarda el video en formato DVD.

En resumen, cada uno de estos procesos de exportación permite generar modelos tridimensionales y videos en

diferentes formatos, optimizando así la visualización y difusión de datos obtenidos en ambientes virtuales de áreas subterráneas.

CAPÍTULO III

MODELADO BIM Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

3.1 Documentación arquitectónica mediante tecnologías de información geográfica

La documentación arquitectónica en la actualidad es de suma importancia sobre todo en el ámbito patrimonial, ya que permite obtener un registro exhaustivo de toda la información arquitectónica, lo más preciso y ajustado a la realidad posible; convirtiéndose en una metodología que permite documentar, evaluar, simular y acercarnos a una caracterización completa de un objeto arquitectónico.

El uso de herramientas más avanzadas de documentación se vuelve cada vez más necesario, por ello, el presente manual es un trabajo fruto de nuestra experiencia en el uso de herramientas tecnológicas como el escáner láser 3d y su emparejamiento con un software BIM, acoplándolos para un mejor estudio de un bien patrimonial o arquitectónico.

A través del presente documento, brindamos una metodología de trabajo y una secuencia de pasos aplicables en el uso de dichas herramientas, tomando como ejemplo de estudio a la Iglesia de Balbanera, elaborando un procedimiento que pueda ser replicado en diferentes edificaciones patrimoniales que lo requieran.

Finalmente, es un trabajo dirigido a la academia, con el fin de implementar y aprender el uso de nuevas formas de trabajo con herramientas tecnológicas actuales que permitan agilizar procesos de levantamiento de información y ayude a obtener resultados más ajustados a la realidad.

3.2 Tecnología bim en la ingeniería y arquitectura

El Building Information Modeling (BIM), o Modelado de la Información de Construcción, se refiere a un conjunto de herramientas tecnológicas que proporcionan información precisa sobre edificios en diversas etapas como diseño, construcción u operación (Coloma Picó, 2008). En el ámbito del patrimonio arquitectónico y cultural, las nuevas tecnologías están mejorando la precisión y facilitando la documentación necesaria, a pesar de haber sido inicialmente costosas y difíciles de manejar (Amaro, Aguilar, & Barrera, 2012). Hoy en día, estas herramientas son más accesibles y versátiles, lo que contribuye a su uso extendido en diversos trabajos y etapas de vida útil (Alonso, 2018; García-Molina et al., 2021).

El modelo BIM optimiza la eficiencia y precisión del flujo de trabajo con herramientas técnicas accesibles, permitiendo la obtención de documentación gráfica y datos exactos para análisis y diagnóstico integral de edificaciones patrimoniales (Nieto et al., 2014; Castán & Hernández, 2022). Desde fachadas hasta estructuras interiores, el BIM facilita la

correcta conservación, mantenimiento y restauración de estos edificios (Pan & Zhang, 2023).

El término BIM tiene sus raíces desde la década de 1970, donde se comenzó a utilizar modelos paramétricos para mejorar la programación y adquisición de materiales (Oya, 2015). En los años 1980, Autodesk introdujo AUTOCAD, revolucionando la forma de trabajo en la construcción al pasar del papel y lápiz a las herramientas tecnológicas. Graphisoft innovó con ARCHICAD, el primer programa capaz de crear elementos en 2 y 3 dimensiones utilizando el concepto BIM, marcando así el inicio de una diversidad de programas que hoy compiten por ofrecer las mejores soluciones para los profesionales del sector (Oya, 2015).

En el contexto del levantamiento de edificios de alto valor patrimonial, se destaca la importancia crucial del detalle en los elementos existentes, dada su significativa relevancia arquitectónica y arqueológica. Esto requiere varios estudios y una documentación exhaustiva para garantizar su adecuada conservación (Chen et al., 2023).

En la actualidad, la obtención de estos datos se ha simplificado gracias al uso de diferentes hardware y software, mejorando tanto el almacenamiento como la precisión de la información obtenida. En los campos de la ingeniería y la arquitectura, los modelos y sistemas BIM han ganado relevancia, permitiendo la integración de un único modelo de información que abarca aspectos geográficos,

geométricos y alfanuméricos para el estudio y análisis de edificios patrimoniales (Nieto et al., 2014).

La arquitectura patrimonial se distingue por características únicas que requieren ser cuidadosamente catalogadas y documentadas debido a su gran valor arquitectónico, lo que las hace excepcionales y singulares. Para lograr un nivel tan alto de detalle y precisión, es fundamental emplear herramientas avanzadas de tecnología y diseño disponibles en software como CAD o BIM (Acuña et al., 2023). Estas herramientas permiten a los técnicos obtener información gráfica precisa que puede utilizarse para reconstrucción futura y para evaluaciones destinadas a la conservación (Rahmani et al., 2022).

La implementación de un modelo BIM en edificaciones patrimoniales posibilita la captura integral de datos en todas las fases del edificio, desde sus cimientos hasta los detalles exteriores. Esta información es de suma importancia para los bienes patrimoniales, ya que facilita un análisis exhaustivo del edificio, identificando problemas como deformaciones, vestigios y permitiendo evaluar su estructura para intervenciones y conservación a lo largo del tiempo (Chen et al., 2024).

Aunque estos estudios han contribuido significativamente a la preservación del patrimonio cultural construido, la falta de conocimiento por parte de las autoridades ha limitado su acceso a estas nuevas herramientas tecnológicas. Sin

embargo, es importante destacar que el costo a largo plazo de utilizar estas herramientas tecnológicas es menor en comparación con los estudios de campo tradicionales y el tiempo requerido para la documentación exhaustiva (Al-Ashmori et al., 2020).

En muchos casos, los detalles de un bien patrimonial no son visibles a simple vista, lo que subraya la necesidad de un análisis meticuloso que permita una observación detallada de cada aspecto del edificio. Aquí es donde las herramientas tecnológicas emergen como cruciales en el levantamiento de información del patrimonio arquitectónico, proporcionando modelos representativos que se acercan a la realidad y centralizando toda la información en una base de datos para futuros estudios y análisis (Nieto et al., 2014).

El término "levantamiento" tiene sus raíces en el ámbito topográfico, donde se refiere al proceso de obtención de datos de un objeto para su representación gráfica en tres dimensiones o mediante un sistema de proyección (Buill, Nuñez, & Rodriguez, 2007). En el contexto del levantamiento arquitectónico, el escáner láser se ha convertido en una herramienta directa y efectiva, aunque inicialmente su elevado costo limitó su utilización, a pesar de que su vida útil y su capacidad para ser utilizados en múltiples edificaciones podrían hacerlo económicamente viable, especialmente para gobiernos locales interesados en conservar su patrimonio arquitectónico (Amaro et al., 2012).

Este dispositivo tecnológico se emplea in situ, colocándolo en diversos puntos para capturar información detallada del bien patrimonial, que luego puede ser manipulada según las necesidades técnica (Cruz-Ramírez et al., 2023). El escáner láser realiza un escaneo mediante un haz de láser que captura miles de puntos por segundo, generando una nube de puntos en 3D compuesta por cientos de miles de mediciones individuales en una superficie. Estas mediciones están georreferenciadas mediante un sistema de coordenadas (x, y, z), permitiendo la creación de un modelo tridimensional detallado del edificio (Mañana et al., 2008).

Aunque inicialmente utilizado principalmente en proyectos de ingeniería y en el diseño de infraestructuras, el escáner láser ha sido fundamental para el levantamiento patrimonial, destacándose como una herramienta exitosa para la conservación de edificios históricos, a pesar de sus costos iniciales.

Su capacidad para obtener datos e información detallada lo ha hecho versátil tanto en el ámbito del Patrimonio Cultural como en el levantamiento del Patrimonio Construido. En la actualidad, los escáneres más comúnmente utilizados en levantamientos arquitectónicos son los de medio alcance, que pueden cubrir distancias entre 0,1 metros y 150 metros con un error posicional de +/- 2mm, y los de largo alcance, que alcanzan distancias de 0,1 metros a 2 kilómetros con un error posicional de +/- 6mm (Sánchez et al., 2016).

3.2.1 Análisis Estructural y Tipología

El análisis estructural se define como la evaluación de cómo las cargas aplicadas afectan a las estructuras y sus componentes. Este proceso utiliza conocimientos de mecánica aplicada, matemáticas y ciencias de los materiales para predecir la respuesta estructural, analizando deformaciones, fuerzas internas y reacciones.

Gracias a los avances en métodos computarizados, ahora es posible realizar análisis estructurales con un alto nivel de precisión. Los nuevos métodos numéricos de cálculo han permitido desarrollar capacidades avanzadas de análisis, las cuales se aplican en la práctica de la ingeniería estructural. Estos métodos no solo describen las capacidades y limitaciones de las estructuras, sino que también permiten comparar diferentes enfoques de análisis (Lourenco & Pereira, 2020).

- **Análisis Estático Lineal**

Según la Ley de Hooke, las estructuras y materiales experimentan deformaciones cuando se someten a cargas, estableciendo que en un análisis lineal estático los materiales obedecen esta ley. Este tipo de análisis asume que los desplazamientos y deformaciones son insignificantes, permitiendo obtener valores precisos. Es común aplicar este enfoque a estructuras de ingeniería civil que experimentan niveles bajos de esfuerzo, típicamente bajo cargas diarias.

Para materiales que muestran mayor resistencia bajo cargas específicas, el análisis lineal elástico utiliza la Ley de Hooke para determinar la respuesta estructural, independientemente del nivel de esfuerzo alcanzado. Sin embargo, este enfoque presenta desafíos en estructuras de mampostería, ya que estos materiales tienden a agrietarse con esfuerzos muy bajos.

En estructuras de mampostería, este método puede identificar áreas con concentraciones de esfuerzos que podrían resultar en grietas. Esto facilita la evaluación del daño provocado por estas grietas, permitiendo ajustar la rigidez en áreas afectadas o simular el efecto de una grieta completa. Aunque este enfoque ofrece la ventaja de una evaluación rápida, no es adecuado para estructuras de mampostería y tierra, que tienen baja resistencia a la tracción. La dificultad radica en definir todas las áreas donde la estructura está sometida a esfuerzos de tracción, ya que grandes grietas podrían causar un comportamiento estructural frágil (Lourenco & Pereira, 2020).

- **Análisis No Lineal**

El análisis no lineal se caracteriza por una relación no lineal entre la fuerza y el desplazamiento, donde los desplazamientos actuales dependen de los desplazamientos previos. Este método busca equilibrar las fuerzas internas y externas mediante un vector de desplazamiento, discretizando el sistema en el espacio mediante elementos

finitos y en el tiempo mediante incrementos (Araque de los Ríos & Arzola de la Peña, 2013).

Para alcanzar el equilibrio en cada incremento, se emplea un algoritmo que propone una solución incremental interactiva. En este tipo de análisis, el vector de fuerza interna depende no linealmente de los desplazamientos, al igual que el vector de fuerza externa, debido a que tanto la magnitud como la dirección de la carga varían con el desplazamiento. Esto resulta en desplazamientos y deformaciones que pueden tener características ilimitadas, lo que permite determinar con mayor precisión la capacidad real de carga de la estructura (Rodríguez, 2016).

El material se describe mediante relaciones entre el esfuerzo y la deformación, y este tipo de análisis se utiliza cuando las deformaciones superan el límite elástico del material. Existen varios métodos para evaluar características no lineales, donde la rigidez y las fuerzas de desequilibrio se utilizan para determinar los incrementos en el vector de desplazamiento, definiendo así las interacciones estructurales.

Este comportamiento no lineal se define a través de ecuaciones que consideran el equilibrio, la cinemática y la constitutiva del sólido o estructura. El análisis numérico de este comportamiento no lineal se realiza mediante software de mecánica computacional no lineal (Núñez, 2023).

En el contexto estático, este análisis no lineal se aplica para estudiar patrones de agrietamiento, movimiento y fluctuación en muros de albañilería y en la estructura general de edificaciones. Es particularmente útil para evaluar el comportamiento frente a acciones sísmicas, características de la ubicación geográfica específica. Con este análisis, se pueden evaluar desplazamientos para identificar zonas críticas de fallo en la estructura, permitiendo verificar el estado final del edificio y desarrollar medidas de refuerzo ante la ocurrencia de sismos.

- **Análisis Pushover**

El método de análisis no lineal sísmico se utiliza para evaluar cómo una estructura responde a cargas de gravedad y a patrones de carga cíclica que simulan las fuerzas inerciales asociadas a su masa durante un sismo (Vega, 2021). Durante este análisis, se consideran tanto el comportamiento elástico como el inelástico de la estructura.

En términos prácticos, este método simula cómo las fuerzas sísmicas actúan sobre la estructura a lo largo del tiempo. Inicialmente, las cargas de gravedad y otras cargas estáticas se aplican, seguidas por la aplicación de cargas cíclicas o monotónicas que simulan las fuerzas inerciales generadas por el sismo. Estas fuerzas aumentan gradualmente hasta alcanzar su máximo, lo que se conoce como condición de carga máxima.

Durante el análisis, se estudia especialmente el patrón de carga lateral que genera cortante en la base de la estructura debido a la acción del sismo. Este enfoque permite evaluar cómo la estructura se deforma y responde a las fuerzas sísmicas, considerando tanto el comportamiento elástico inicial como las posibles deformaciones inelásticas que puedan ocurrir cuando la estructura se somete a cargas sísmicas severas (Izquierdo et al., 2023).

El análisis pushover en el contexto sísmico se centra en graficar la relación entre la resistencia y la deformación en un punto representativo de la estructura, típicamente en el nivel del techo o donde se espera el mayor desplazamiento durante un evento sísmico. Esta curva estática-pushover proporciona información crucial sobre la capacidad dúctil del sistema estructural, indicando el mecanismo de falla, el nivel de carga y la deformación en los puntos críticos (Núñez, 2023).

Al evaluar la seguridad sísmica, es crucial seleccionar un patrón de carga que simule de manera adecuada las fuerzas inerciales que actuarán sobre la estructura durante un terremoto. Dos patrones comunes son aquellos proporcionales a la masa de la estructura y aquellos proporcionales a la primera forma modal (Izquierdo et al., 2023). Sin embargo, los análisis pushover tienen limitaciones, como la incapacidad para captar cambios en

las características dinámicas no lineales a medida que evoluciona el daño en la estructura.

La distribución lateral de la carga sísmica equivalente influye significativamente en los resultados del análisis pushover. Por ejemplo, una carga proporcional a la masa puede generar más daño por fractura, mientras que una carga proporcional a la distribución modal puede afectar más las zonas superiores de la estructura.

Comparando los resultados del análisis pushover con los del análisis dinámico no lineal, se puede observar que los patrones de carga proporcionales a la masa ofrecen una estimación razonable de la resistencia al corte entre ambos métodos (Vega, 2021). En términos de capacidad de desplazamiento, el análisis pushover evalúa esta capacidad independientemente del patrón específico de distribución de carga, lo cual lo hace un enfoque práctico y efectivo para la evaluación sísmica.

Para estructuras de mampostería, el análisis pushover se considera especialmente adecuado debido a su capacidad para modelar esquemas de distribución de carga que son proporcionales a la masa de la estructura, lo que permite una evaluación estructural más precisa y relevante para este tipo de construcciones (Lourenco & Pereira, 2020).

3.3 Lineamientos para documentación arquitectónica

Dentro del proceso para la documentación arquitectónica se requiere definir los objetivos para delimitar el alcance respecto al área de estudio, para ello se toma en consideración lo siguiente:

- Definir una cronología de actividades, necesarias en procesos de planeación, modelamiento y evaluación, de una edificación analizada bajo un proyecto de documentación arquitectónica.
- Determinar los mecanismos de coordinación del trabajo realizado en campo, así como en gabinete, para lograr un mejor control y mayor eficiencia operativa en las tareas de levantamiento y procesamiento de datos, dentro del proyecto de documentación y rehabilitación de edificaciones.
- Establecer una herramienta de consulta ágil y expedita para la aplicación y de tecnologías de documentación 3D, y su enlace con procesos de modelamiento BIM y evaluación estructural.

El flujo de trabajo para el levantamiento de información utilizando un escáner láser comienza con la planificación detallada del área a escanear, asegurando que todos los puntos clave y requisitos sean cubiertos. Una vez en el sitio, se realiza la configuración y calibración del escáner láser para garantizar mediciones precisas. El escaneo se lleva a cabo desde múltiples posiciones estratégicas para capturar

todos los detalles del entorno en tres dimensiones, generando una nube de puntos densa que representa fielmente la estructura o el terreno. Posteriormente, se realiza el registro y la alineación de los diferentes escaneos para crear un modelo tridimensional coherente y preciso. Finalmente, los datos escaneados se procesan utilizando software especializado para realizar mediciones, análisis de datos y generar modelos BIM (Building Information Modeling) o representaciones virtuales que pueden ser utilizadas para diseño, planificación y gestión de proyectos arquitectónicos, ingeniería civil, conservación del patrimonio, entre otras aplicaciones. Este enfoque no solo mejora la precisión y la eficiencia del levantamiento de información, sino que también proporciona una representación detallada y exacta del entorno escaneado.

3.4 Levantamiento de información in situ

Al proyectar un escaneo como elemento de levantamiento para un proceso de documentación, se deberán considerar tanto las posibles ubicaciones del escáner láser, como las de los puntos de referencia que se vayan a utilizar, las mismas que deberán garantizar la precisión del levantamiento.

Para asegurar un proceso de escaneo láser efectivo, es crucial que las estaciones se ubiquen estratégicamente para garantizar una cobertura máxima y sin interrupciones. Es fundamental verificar la precisión del escáner de acuerdo con su alcance y el nivel de detalle requerido; a distancias mayores, la precisión y la resolución pueden disminuir.

Reducir al mínimo las inicializaciones de las estaciones ayuda a optimizar el tiempo y los recursos durante el escaneo. La altura del escáner sobre el suelo debe ajustarse mediante un trípode, dependiendo de la elevación del objeto a escanear (Figura 3.1). Es esencial asegurar la visibilidad de puntos de referencia naturales o artificiales para facilitar la alineación y el registro posterior de los escaneos.

Figura 3.1.- Posicionamiento del escáner láser terrestre para levantamiento de información in situ



Fuente: Autores

Los puntos de referencia deben colocarse estratégicamente en zigzag en relación con la posición del escáner, nunca de forma lineal para evitar la pérdida de referencias en la escena. Para objetos con dos diámetros diferentes, es recomendable ubicar las esferas grandes más alejadas del punto de escaneo y las pequeñas en zonas intermedias. En

la documentación de campo, es crucial etiquetar claramente las esferas para cada escena, asegurando que puedan ser identificadas y correlacionadas entre pares de escaneos durante el proceso de unificación de escenas. Se debe establecer un mínimo de tres puntos de referencia entre pares de escenas para reducir el error; más puntos de referencia aumentan la precisión del registro y la alineación de los datos escaneados.

En ocasiones el trabajo se verá interrumpido por distintas circunstancias, por las cuales se deberá parar el levantamiento para retomar después, las principales consideraciones a tomar en cuenta serán:

- Colocar coordenadas en cada esfera, la opción ideal sería usando un GPS de precisión puesto que garantiza fallas milimétricas.
- Ubicar distintivos en los puntos a reconocer como pintura, estacas, o establecer puntos fijos con marcas.
- No utilizar GPS estacionario, debido a que genera un error de 5m por no tener red geodésica propia.
- Garantizar al menos cuatro puntos de referencia para evitar la necesidad de traslape de puntos.

Al dar paso al proceso de toma de datos, se necesita configurar el equipo bajo parámetros de escaneo que permitan un mejor y más exacto levantamiento, en base al área u objeto que se encuentre en proceso de documentación.

El Faro Laser Scanner Focus 3D 130, presenta un campo de visión vertical/horizontal de $360^{\circ}/305^{\circ}$, que se pueden modificar según la definición del área que se necesita escanear. Se deberá siempre revisar la configuración de los ángulos, ya que el escáner ubica la configuración de escaneo anterior como determinada para próximos escaneos. Las áreas de escaneo se establecerán en grados, ajustando los ángulos de levantamiento en sentido horizontal y vertical, considerando la disposición del escáner sobre el suelo donde no habrá puntos de levantamiento. De este modo los ángulos admisibles estarían contenidos en el siguiente rango: Vertical: -62.5° a 90° Horizontal: 0° a 360°

La resolución corresponde a la distancia entre 2 puntos, de esta dependerá la densidad de la nube de puntos, se debe tomar en cuenta que la resolución será directamente proporcional a la calidad del escaneo. Según el tipo de superficie y el detalle necesario, la configuración de resolución tomará los siguientes rasgos:

- Superficies uniformes: Menor cantidad de puntos, por correspondencia necesitará una menor resolución y tiempo de captura.
- Superficies irregulares: Necesidad de levantar una mayor cantidad de puntos, donde demandará una mayor resolución, tiempo y datos de almacenaje.

Al realizar la configuración del perfil es necesario realizar una evaluación del objeto para determinar si el perfil es interior o exterior, esto definirá la base de la configuración y los entregables. Se tomarán a consideración algunas opciones de configuración, de las que se debe llevar un registro por escena si se ha realizado algún cambio en sus parámetros, estas son: clinómetro, altímetro, brújula, GPS, color. Estas se deberán mantener activadas como recomendación y llevar apuntes por escaneo si se llegase a desactivar alguna, necesario para tomar en cuenta al ingresar los datos de escaneo al software, además el escaneo con color se deberá usar siempre, sólo se desactivará al generar un escaneo en lugares oscuros.

La medición ponderada es un error que se presenta al trabajar en una distancia promedio de 50m, donde reflejan separaciones de puntos entre 5mm y 50mm. Para eliminar este error, dentro del modelado se genera una triangulación o un reconocimiento de formas primitivas a través de un mallado, generando una mayor densidad de puntos.

Se trata del tipo de iluminación que va a percibir el escáner durante el proceso de escaneo, será configurada en base al clima y horario del mismo. Se debe evitar trabajar al momento en el que el sol se encuentra en su máximo punto de radiación (12-13 pm), debido a que la gran radiación del horario afecta a los aparatos electrónicos y aumenta el error de medición.

Una vez obtenidos los datos computacionales de todos los escaneos realizados al objeto, se procede a la combinación de las nubes de puntos de cada escena, este proceso se realiza bajo técnicas de registro que permiten obtener una nube de puntos unificada, cada uno de estos escaneos se genera en torno a puntos que se definen a través del sistema de coordenadas que presenta el equipo, permitiendo así obtener una nube completa y precisa. La selección de técnicas de registro se hará en base al levantamiento realizado en campo, según la configuración del equipo, el estacionamiento de escenas, y la calidad del levantamiento. Estas podrían ser directa o indirecta, según los elementos usados al momento del levantamiento, definiendo puntos de referencia, número de elementos en común entre escaneos, o la utilización de otros equipos que colaboren al escaneo.

3.5 Procesamiento de datos

Cada una de las escenas planteadas durante un proceso de escaneo, brindan una carpeta autónoma con datos de levantamiento por planos que llevan la extensión FLS, de este modo, todas las carpetas resultantes, deben ser llevadas a un proceso de unificación de escenas dentro del software Trimble RealWorks Advance, con el objetivo de obtener una nube de puntos general del objeto en formato RWP.

Se aplica bajo una configuración del escáner que esté determinada sobre puntos de control definidos. Por lo que

requerirá de una base técnica para la posición y orientación del escáner láser. Por tanto, esta técnica reduce el número de elementos de referencia y no necesita un traslape de puntos entre planos de escaneo, evitando los requerimientos de configuración.

Este proceso nos permite unir todos los archivos obtenidos del escáner en una sola nube de puntos, para lo cual, una vez importados los archivos FLS y analizado los porcentajes de traslape y error, se deberá seguir con la siguiente secuencia: Revisar cada escaneo importado y activar todas las carpetas de escaneo para generar un registro con un escaneo de vista previa, en este caso se ha usado un registro por planos, debido a la confiabilidad del traslape que presenta el escaneo. Se seleccionarán los archivos y en la pestaña Registro, se dará clic en la opción auto registro con planos. Analizar el porcentaje de traslape entre escenas y el error nominal, exportar el informe de registro como archivo de block de notas. Posterior al análisis y exportación del informe, se procede a obtener la nube de puntos cruda con los datos de los escaneos.

El procesamiento de la nube de puntos se realiza en base a la necesidad de obtener una nube depurada de elementos que no sean necesarios para el producto que se busca obtener dentro de los objetivos de entregables. Esta nube procesada se puede identificar con diferentes formatos:

- Nube de puntos depurada
- Planos 2D (planos, elevaciones, secciones, entre otros)
- Modelados 3D texturizados

El equipo de escaneo permite obtener una gran cantidad de puntos establecidos en el espacio, cada uno con coordenadas específicas resultantes del choque del láser con el objeto escaneado, por lo que garantiza una gran precisión en el manejo de información para documentación arquitectónica. Este proceso brinda resultados con información de color en valores RGB, dónde en primera instancia al obtener una nube unificada con datos crudos, se puede tornar difícil el manejo de tanta información existente, por lo que se puede generar diversas representaciones en base a colores que faciliten la identificación de elementos para la visualización y depuración de la nube.

La depuración es una acción que permite corregir o eliminar puntos mediante diversos parámetros de ajuste dentro de la configuración del software, esta puede trabajar por medio de filtros: por intensidad, por radio, superposición, etc. Estos filtros examinan los puntos levantados durante el escaneo, si estos puntos presentan características de inexactitud al ser sometidos a una comparativa con los puntos del área del objeto, entonces el punto se elimina.

Los muestreos son técnicas que permiten la optimización de la nube de puntos generando una depuración de puntos

donde se pueda eliminar puntos innecesarios, debido a que una densidad muy alta de puntos demandaría demasiados recursos informáticos al pasar a la fase de mallado, puesto que, produciría una cantidad sobredimensionada de triángulos durante el proceso. Se debe considerar que en un escaneo se puede tener más de veinte millones de triángulos, por lo que el muestreo permite reducir la densidad de puntos y proporcionalmente de triángulos, por lo que se realiza con el objetivo de generar una nueva nube de puntos que sea más manejable y amigable con el consumo de recursos informáticos.

Una vez obtenida la nube de puntos cruda, se empezará la segmentación, para lo cual se deberá encender la nube de puntos y cambiar el tipo espacio de trabajo de Registro a Producción. Luego, se dará clic en la pestaña editar y se escogerá la herramienta segmentación. El proceso de segmentación, se usará para eliminar todos los elementos que estén demás en la nube de puntos hasta dejar un elemento libre de imperfecciones. Una vez depurado el elemento, se procede a generar muestreos que permitan la eliminación de puntos coincidentes. Para esto, dentro de la pestaña editar se escogerá Muestreo, y en los parámetros se configurará el tipo de depuración a realizar (Figura 3.2).

La nube de puntos completamente depurada se deberá guardar e exportar como un documento. e57 para su posterior importación en un software BIM. Para esto, con la

nube seleccionada, se deberá dar clic en la pestaña inicio, luego en la opción exportar y posteriormente en exportar selección, se escogerá el destino y en tipo de archivo se colocará. e57.

Figura 3.2.- Nubes de puntos unificadas y segmentadas de la fachada de patrimonio edificado



Fuente: Autores

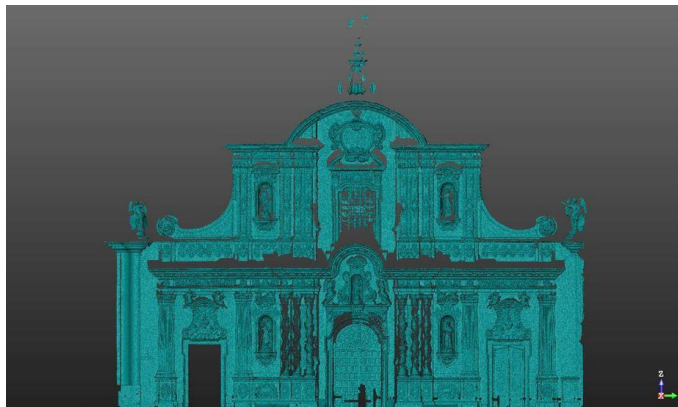
El mallado es un proceso que se usa para generar mallas a partir de nubes de puntos, donde sus conexiones pueden ser por medio de triángulos o cuadriláteros, para la creación de ñas mallas establece un criterio donde un punto puede estar en una sola esfera circunscrita de un triángulo del mallado, no deben coincidir puntos en otra esfera del modelado.

Si dentro del análisis se establece la necesidad de obtener superficies de elementos como esculturas o fachadas a detalle, se puede configurar un mallado por triangulaciones. Para este proceso se deberá seleccionar la nube depurada completamente, posteriormente se dará clic en la pestaña superficies y elegirá la opción Creación de Mallas. Si se

necesita obtener un mallado de patrimonio edificado como en este caso, deberá seleccionar la nube de puntos y elegir un mallado sin proyección, además, podrá realizar una vista previa de la malla creada al desactivar la opción “mostrar nube”. Una vez aprobada, se procederá a la creación del mallado en la opción crear (Figura 3.3).

Debido a la ubicación del escáner en distintas posiciones, el escaneo puede llegar a producir zonas donde no se encuentren puntos, de este modo, es necesaria una eliminación de vacíos que se identifican como huecos dentro de la nube de puntos por falta de datos. Estas zonas vacías, que no contienen información, se pueden rellenar de forma plana, conectando bordes con triángulos o utilizando una superficie curva, haciendo que estos triángulos se usen tanto en la creación de los bordes como en el relleno de los vacíos, a través de una superficie suave.

Figura 3.3.- Mallado texturizado de la fachada de la Iglesia La Compañía de Jesús



Fuente: Autores

3.6 Generación Modelo Bim

Considerando que el modelado BIM no solo es la creación y asignación de superficies, como condicionante para la generación de un modelado BIM real, se debe tener en cuenta que los materiales de construcción serán útiles desde el modelamiento hasta la cuantificación de obra de los distintos componentes de la construcción como forjados, muros, vigas, ventanas, puertas, cubiertas, etc (Figura 3.4).

Figura 3.4.- Generación modelo BIM en Patrimonio Edificado



Fuente: Autores

En este procedimiento se realizó una visita a campo para definir la materialidad de cada elemento constructivo, bajo esta consideración, y con la ayuda de un esclerómetro, se procedió a realizar ensayos a compresión en cada material de la iglesia, para obtener valores referenciales de carga que nos permitiesen identificar sus demás características en la NEC. Estos coeficientes serán utilizados posteriormente

para caracterizar e identificar materiales y sus resistencias, al ingresar la información interoperativa entre los softwares ArchiCAD y DIANA.

El programa por el cual nos hemos inclinado para la generación del modelo BIM, será ArchiCAD, la ventaja de este software es la interoperabilidad y lectura de formatos que lo hace sumamente útil a la hora de importar y exportar información entre distintos programas. La configuración inicial del programa es importante, ya que esta será la que nos facilitará la utilización del software durante todo el proceso de generación del modelo BIM, por tal razón los aspectos iniciales de gran importancia como, unidades y entorno de trabajo, altura de pisos e información general del proyecto, serán fundamentales para empezar el proceso de modelamiento (Figura 3.5).

Figura 3.5.- Nubes de puntos procesadas de interiores y exteriores de la iglesia



Fuente: Autores

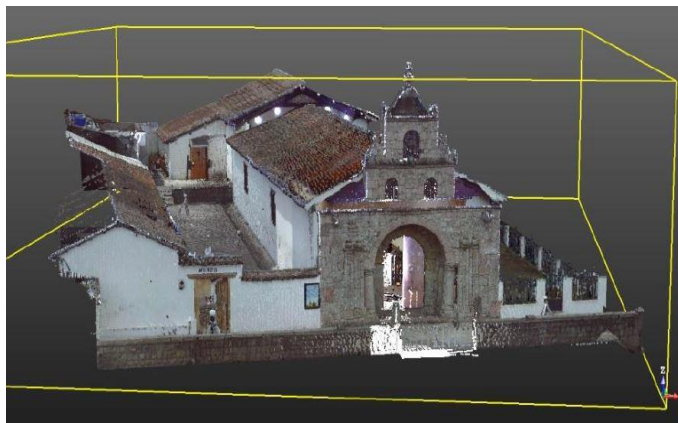
Por defecto ArchiCAD maneja una configuración basada en normas y unidades de países extranjeros, por lo cual, es necesario realizar una configuración inicial de este proceso; en este caso, se ha trabajado con un perfil previamente configurado de tal forma que las herramientas de diseño, unidades de medida y plumillas de representación gráfica, nos ayuden a sistematizar el proceso de modelamiento.

Una vez generada la nube de puntos en el programa Trimble RealWorks, procederemos a importar hacia ArchiCAD, este procedimiento se lo podrá realizar una vez generada la configuración inicial; la nube de puntos se convertirá en la base para el modelamiento de la iglesia, lo beneficioso de este procedimiento, es que permite al modelador la obtención de aristas e intersecciones de referencia, que son de gran utilidad para un modelamiento preciso. Existen un sin número de formatos para la lectura de nubes de puntos, ArchiCAD por defecto, reconoce 2 formatos: .xyz y .e57, en el presente estudio se empleó el formato .e57, debido a que Trimble RealWorks exporta este formato permitiendo interoperabilidad con ArchiCAD, la nube de puntos se emplazará georreferenciada en el espacio de modelo tanto en coordenadas como en elevaciones bajo el sistema de coordenadas configurado por el escáner laser.

En el modelado BIM intervienen 2 factores importantes del diseño, el primero es la herramienta de diseño entre las cuales se encuentran: forjados, muros, ventanas, vigas,

columnas puertas etc. Estas herramientas de diseño van a la par con su caracterización, en este proceso se podrá definir cualidades de materialidad, superficies, material de construcción, representación en 2D y 3D etc (Figura 3.6). Para el correcto proceso de modelado se deberá utilizar las distintas vistas que permite el programa: Vista en planta, en alzado, en sección y ventana tridimensional. A continuación, se puntualiza un listado de elementos necesarios para obtener un modelado con información a detalle.

Figura 3.6.- Modelo 3D del Patrimonio Edificado mediante tecnología escáner láser



Fuente: Autores

Al hablar de la utilización de un software BIM, no solo se habla de visualización y Documentación, sino más bien del aprovechamiento de las bondades del BIM, la generación de esquemas de cuantificación de componentes, elementos de construcción, materiales de construcción, superficies, vanos y mobiliario, son de fácil generación una vez que se haya

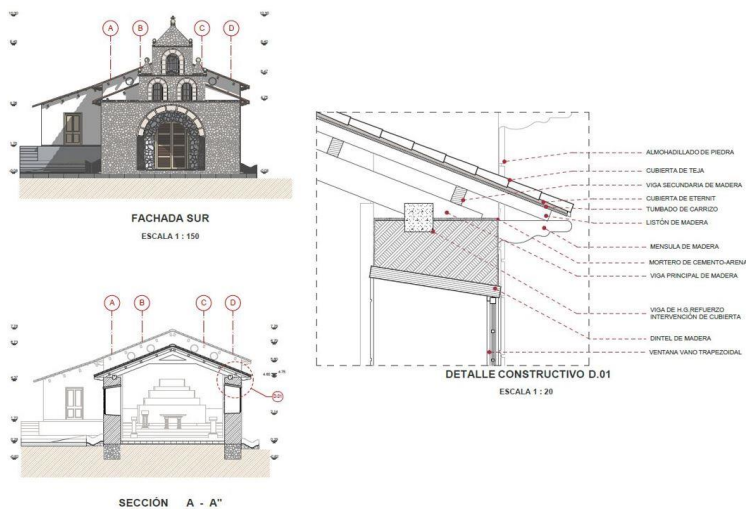
realizado correctamente el proceso de modelado y caracterización de elementos.

Se selecciona cada elemento de diseño y se caracterizando de tal manera que tenga un nombre, un material de construcción y una superficie.

3.7 Documentación Arquitectónica

Lo beneficioso de utilizar un programa BIM es la automatización y el ahorro de tiempo y recursos, para la documentación arquitectónica existen varios apartados que una vez generado el modelo 3D nos permitirán generar: Plantas, Alzados, Detalles constructivos, Alzados interiores, Isometrías, Perspectivas, Diagramas MEP y esquemas de cuantificación de materiales (Figura 3.7).

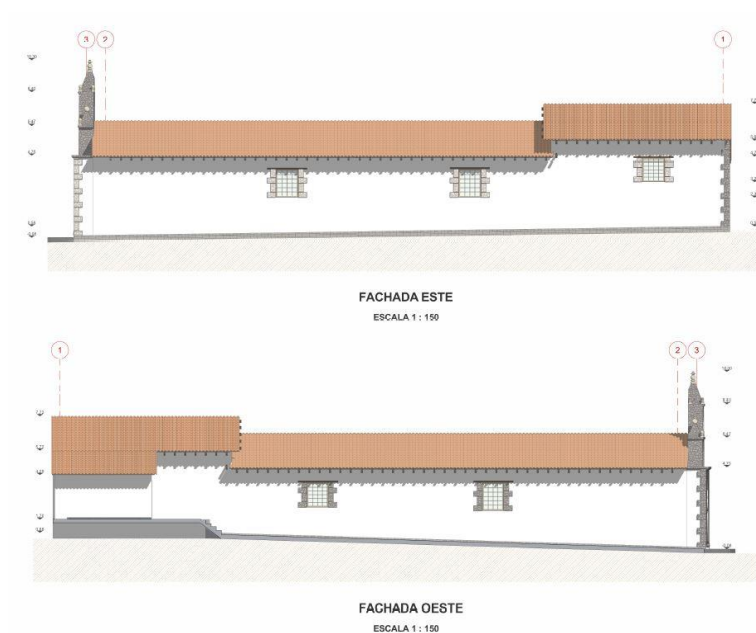
Figura 3.7.- Documentación arquitectónica del patrimonio edificado



Fuente: Autores

Con el modelado BIM a detalle se procederá al apartado de vistas de modelo, en este apartado se deberá generar todas las vistas que se quiere documentar, implantación, cortes, alzados, detalles, perspectivas y el listado de componentes para posteriormente generar un libro de planos con los tamaños y formatos que se necesite trazar, finalmente se genera un grupo de trazado con el formato de exportación (Figura 3.8).

Figura 8.- Documentación fachada Este/Oeste del patrimonio edificado



Fuente: Autores

La exportación es un tema de gran utilidad ya que esta permite el uso de programas especializados para cada área de estudio, en este caso se ha elegido el programa DIANA

FEA con una licencia educacional válida por un año. El software en el que se realizará el análisis permite el modelamiento dentro de su interfaz, pero esta, al ser de alto consumo de recursos informáticos, necesitará de un proceso de purgado y optimización del modelado para su exportación, configurando características de material de los elementos necesarios para la simulación y el posterior análisis de la edificación.

Para realizar el análisis estructural será necesario purgar el modelado de tal forma que permanezcan elementos de incidencia estructural como cimentación, muros, vanos, vigas y peso de la cubierta. Este modelado se exportará con formato .IFC que permite exportar las características y cualidades asignadas previamente en el programa y reconocerlas en DIANA FEA.

3.8 Aplicación en la evaluación estructural

Al orientar el trabajo de documentación hacia un análisis de la estructura, se debe tomar una cronología de configuraciones que permitan realizar una evaluación de los elementos no lineales, con el objetivo de determinar los puntos donde la estructura posiblemente llegaría a fallar ante un eventual sismo. De este modo, se detallará a continuación el proceso de configuración dentro del programa DIANA FEA, proceso que se realizará una vez importado el modelado en formato .e57 proveniente de ArchiCAD.

Una vez importado el archivo BIM, se debe realizar un chequeo de las geometrías para tratar de eliminar posibles errores o aristas existentes que puedan provocar errores durante el análisis estructural, estas se corregirán a través de un redibujo en el programa Diana.

Al mantener la interoperabilidad entre programas, es beneficioso que el modelo se importe con características de materialidad asignadas, a las cuales se deberá ir configurando con sus condicionantes de resistencia y tipología según el tipo de elemento que estemos configurando. Para esta configuración se llevarán los siguientes pasos: realizar la asignación del material creado según su clase, verificar que todos los elementos se encuentren con su material identificado.

Sumado a todo esto, se deberá analizar la composición de los muros y unir muros sueltos con caras coplanares, para que la estructura actúe en conjunto al momento del análisis, cada elemento con características compartidas se deberá unir para generar un solo bloque de evaluación por tipo.

Al estar todos los materiales con su característica propia, se puede continuar con la configuración material de los elementos, para determinar las resistencias que pueda presentar el mismo. Se debe definir en primer punto las características de acción del material y en segundo lugar, se colocarán los parámetros de resistencia.

La configuración de los apoyos será importante para definir la acción que tendrá el elemento con el suelo, para lo cual se necesitará colocar las restricciones de los soportes.

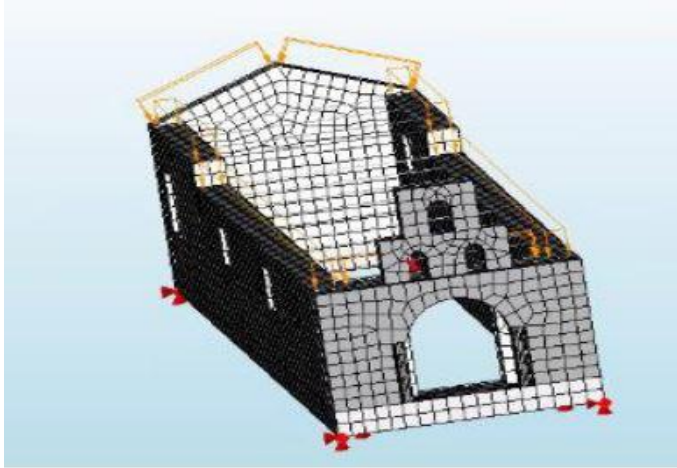
Una vez terminado el modelo en conjunto con la caracterización de materiales y el tipo de elemento se deberá iniciar la inclusión de las cargas que actuarán sobre la estructura, además de los requerimientos que componen los apoyos de la edificación en el suelo. Para esto, es necesario, crear un material auxiliar con características de Concret and Masonry lineal elástico isotrópico para ir generando cargas globales sobre la estructura. Para la configuración de las fuerzas que interactúen en la estructura, se deberán añadir cargas globales o distribuidas según su tipología, y configurarlas desde las pestañas Add Load-Add Global load, considerando su acción en el modelado.

Realizada la caracterización los materiales, se debe definir y configurar la malla que vaya a procesar la segmentación de los elementos para realizar los análisis de la estructura. Esta deberá tomar en cuenta los recursos informáticos que exigirá el transcurso del análisis para definir la sección de la división del mallado.

Para la configuración de las fuerzas se debe considerar tres tipos de fuerzas que actúen sobre la estructura, dos casos Push, correspondientes a una aceleración equivalente en función de la gravedad en el eje X y el eje Y respectivamente, junto con la carga gravitacional del peso

propio de la estructura sumado al peso de la cubierta (Figura 3.9).

Figura 3.9.- Configuración de fuerzas que actúan sobre la estructura



Fuente: Autores

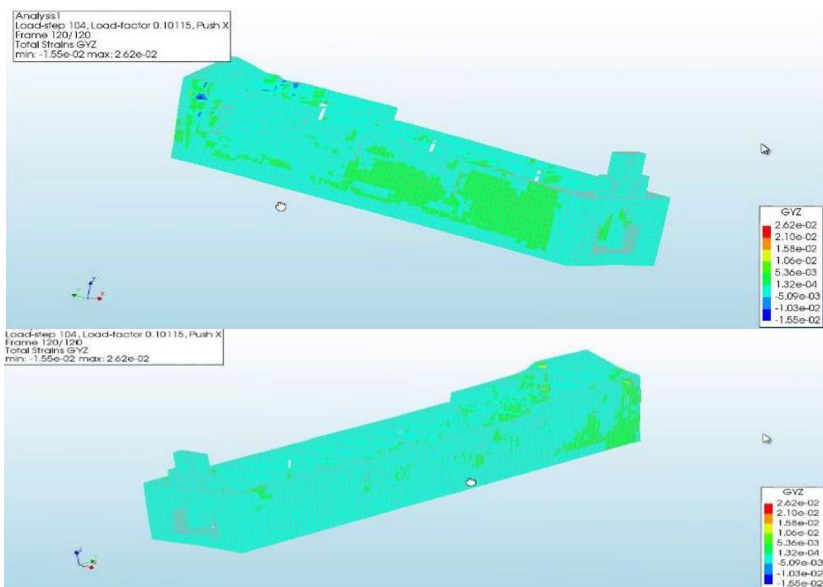
Considerando la influencia de las fuerzas sísmicas actuando en dos ejes del plano estructural, se implementarán dos análisis separados para examinar cómo la estructura responde a estas cargas. Inicialmente, se llevará a cabo el análisis del peso propio de la estructura, que representa la carga fundamental, seguido de la incorporación de la carga de la cubierta para evaluar su efecto adicional sobre la estructura.

Posteriormente, se procederá al análisis Pushover (Figura 3.10), el cual se configura utilizando una aceleración sísmica correspondiente a 0.005 veces la aceleración de la

gravidad. Este análisis está diseñado para simular el comportamiento no lineal de la estructura bajo cargas sísmicas significativas. Durante este proceso, se buscará alcanzar un estado de equilibrio dinámico mediante la convergencia entre la energía absorbida por la estructura y los desplazamientos resultantes, teniendo en cuenta las propiedades no lineales de los materiales involucrados.

Este enfoque permitirá obtener una comprensión detallada de cómo la estructura reacciona frente a eventos sísmicos y cómo se redistribuyen las fuerzas a través de los diferentes elementos estructurales. Además, proporcionará información crucial para mejorar el diseño y la capacidad de respuesta de las estructuras frente a futuros eventos sísmicos.

Figura 3.10.- Análisis pushover del patrimonio edificado



Fuente: Autores

En cuanto a la evaluación de los resultados, se deberá comparar cada uno de los análisis que se hayan propuesto, para determinar así los elementos que se encuentren mayormente afectados y poder desarrollar un esquema de zonas de posible intervención para el mejoramiento de la estructura.

Estos análisis serán evaluados a través de los efectos que presenten las aceleraciones dadas en el eje X o Y, sobre la edificación, donde se podrá revisar los resultados determinados en función de los desplazamientos, los esfuerzos, las deformaciones y las cortantes que actúen sobre los elementos constructivos.

De este modo será posible identificar los tipos de fallo que pueda tener la estructura, dados en los elementos que presenten una mayor concentración de esfuerzos, para así poder analizar sus efectos.

3.9 Consideraciones Generales

La integración del escáner láser 3D con software de interoperabilidad BIM ha permitido capturar con alta precisión y detalle, integrándola a un sistema de documentación que asegura la preservación digital completa de sus características técnico-constructivas.

Este archivo digital resulta invaluable al proporcionar información detallada sobre áreas susceptibles a deformaciones o alteraciones, así como una documentación

exhaustiva de todos los elementos morfológicos, tanto ornamentales como estructurales. Además, incluye la identificación de fallas durante el proceso constructivo, como desviaciones en la verticalidad de elementos.

La adopción del software BIM ha facilitado la generación de un modelo tridimensional que permite identificar cada componente constructivo utilizado en la edificación. El uso de esta herramienta informática ha optimizado significativamente el tiempo y los recursos invertidos, marcando un avance decisivo en la preferencia por el BIM sobre el CAD.

El modelo BIM resultante se convierte en una herramienta crucial para la cuantificación precisa de materiales de construcción, proporcionando a los profesionales información confiable y actualizable que puede ser utilizada en futuras intervenciones. Esta metodología asegura que toda la información relevante pueda ser fácilmente localizada, evaluada y modificada en un solo documento, permitiendo actualizaciones globales al realizar cambios en componentes o características constructivas.

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA INGENIERÍA

4.1 Tecnologías de información geográfica para análisis de variables climáticas

La calidad de vida es un concepto multidimensional que abarca diversos aspectos del bienestar humano, incluyendo condiciones socioeconómicas, salud, ambiente y satisfacción personal. Entre estos factores, el clima juega un papel crucial como determinante ambiental que puede influir significativamente en la percepción de calidad de vida de las personas y comunidades (Abd El Karim et al., 2020).

En la literatura académica, se reconoce que el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita no proporciona una explicación completa de la calidad de vida en un país. En su lugar, se hace hincapié en la necesidad de evaluar múltiples indicadores que abarquen aspectos más amplios del bienestar humano. Estos indicadores incluyen la salud, el empleo, la calidad del trabajo a lo largo de la vida, los ingresos, el consumo, el ambiente y la vivienda, la educación, la seguridad, el estado de derecho, la corrupción, así como los valores morales, éticos, espirituales y culturales, junto con la igualdad de género y el disfrute del tiempo libre (Roy et al., 2022).

Diversos intentos se han realizado para desarrollar índices alternativos no monetarios que combinen una variedad de factores para medir el bienestar social y económico. Sin embargo, estos esfuerzos han enfrentado desafíos significativos al intentar asignar valores a factores intangibles y al lidiar con sesgos en la selección y ponderación de indicadores (Esmeray & Eren, 2021).

Algunos estudios han invocado la Declaración Universal de los Derechos Humanos como marco inicial para identificar los elementos esenciales que deben considerarse en la medición de la calidad de vida. A pesar de esto, aún persisten retos en la identificación precisa de indicadores y en la determinación de cómo estos deben ser ponderados (Sapena et al., 2021).

Las encuestas de satisfacción con la vida han sido utilizadas como herramienta para entender la percepción subjetiva del bienestar. Aunque estas encuestas han demostrado ser útiles, han sido objeto de críticas relacionadas con la falta de comparabilidad cultural, el efecto de las diferencias lingüísticas y otros factores psicológicos que podrían influir en los resultados (Hassan et al., 2022).

En lugar de considerar simplemente un puntaje promedio de satisfacción con la vida, se ha sugerido utilizar los resultados de estas encuestas para derivar pesos que reflejen la importancia relativa de diversos determinantes del bienestar, como la salud, el bienestar material, la estabilidad política y

la seguridad, las relaciones familiares y comunitarias, así como el clima, la seguridad laboral, la libertad política y la igualdad de género.

En relación con el clima, se ha discutido su impacto en la calidad de vida, reconociendo que las preferencias climáticas pueden variar considerablemente entre individuos y sociedades (Larkin et al., 2021).

La mayoría de los estudios sobre clima y calidad de vida han focalizado en áreas urbanas específicas, mientras que los índices de calidad de vida a menudo consideran regiones o países en su conjunto (Maku et al., 2023).

Para este tipo de estudios es recomendado seleccionar zonas que tengan la mayor cantidad de datos geoespaciales y alfanuméricos abiertos y adicional contar con una ubicación geográfica que permita analizar diversos escenarios en cuanto a variables climáticas.

La ubicación del área de estudio contribuye a su clima diverso y algo intrincado. La convergencia del aire continental seco y el aire marítimo húmedo sobre esta región resulta en variaciones significativas de temperatura y cambios frecuentes en el clima a lo largo del día.

En general, las regiones más cercanas al Océano Atlántico experimentan temperaturas más suaves, aunque con niveles más altos de lluvia y viento. Por el contrario, las áreas del

este tienden a ser más secas y menos ventosas, pero también más frescas en temperatura.

Los datos provienen del sitio web de datos abiertos, <https://data.gov.uk/>, el cual se basa en la Asociación para el Gobierno Abierto (Open Government Partnership, OGP) establecida en 2011 para proporcionar una plataforma internacional a reformadores domésticos comprometidos con hacer que sus gobiernos sean más abiertos, responsables y receptivos a los ciudadanos. Desde entonces, la OGP ha crecido de ocho a 65 países participantes.

En particular, se publicaron datos mensuales históricos para 34 estaciones meteorológicas, desde principios de 1900 (algunas desde 1853) hasta la actualidad. Estos datos incluyen la temperatura media máxima (Tmax), la temperatura media mínima (Tmin), la precipitación total (lluvia) y la duración total de la luz solar (sol).

Estos datos fueron sometidos a una etapa de preprocesamiento en la cual los datos mensuales se transformaron en datos anuales: se calculó el promedio anual solo para Tmax y Tmin, mientras que, para la duración de la luz solar y la precipitación, se obtuvo el total anual de horas y milímetros.

Una vez disponibles los datos anuales, fue posible construir índices para un período más largo. En este caso de estudio, se eligió un período de 30 años. El conjunto de datos

resultante incluyó el promedio de lluvia (mm), el promedio de duración de la luz solar (horas), y el promedio de Tmax y Tmin (grados Celsius) para cada estación.

Desafortunadamente, hubo datos faltantes. En esos casos, se aplicó el mismo criterio: si faltaban dos medidas mensuales en el mismo año, ese año no se consideraba para el promedio final. El objetivo de este enfoque fue evitar resultados sesgados relacionados con la variación de los valores durante las estaciones del año.

Dado que el objetivo es analizar las variables climáticas seleccionadas y su comportamiento en las diferentes regiones, se creó una cuadrícula de superficie mediante interpolación. La interpolación es un procedimiento utilizado para predecir los valores de las celdas en ubicaciones donde faltan puntos de muestra. Se basa en el principio de autocorrelación espacial o dependencia espacial, que mide el grado de relación o dependencia entre objetos cercanos y distantes. Este tipo de correlación se utiliza para determinar el grado de similitud entre objetos dentro de un área, el nivel de interdependencia entre variables y la naturaleza de esta interdependencia.

Normalmente, diferentes métodos de interpolación producen resultados distintos. Por esta razón, se desataca dos métodos de interpolación diferentes: Peso de Distancia Inversa y Kriging Ordinario. Una vez creada la superficie, se

transforma cada celda a un punto, utilizando software GIS tipo open-source, lo que nos permitió calcular estadísticas para cada región.

4.2 Descripción Univariada

4.2.1 Análisis del objeto de estudio

La descripción univariada se refiere al análisis estadístico que se centra en una sola variable a la vez. En el contexto del análisis de datos, este término se utiliza para describir y analizar las características y distribución de una única variable sin considerar la relación con otras variables.

La estadística más comúnmente utilizada para resumir dónde se encuentra el centro de una distribución es la media, que es simplemente el promedio aritmético de los valores de los datos.

La mediana es el número que separa la mitad superior de una muestra de datos de la mitad inferior. Tomando juntas la media y la mediana se obtiene una indicación de la influencia de los valores extremos en un conjunto de datos (Tabla 4.1). Si las dos medidas del centro están cerca una de la otra, entonces los valores extremos no desempeñan un papel importante.

Tabla 4.1.- Medidas de ubicación

	<i>Temperatur a máxima</i>	<i>Temperatura mínima</i>	<i>Precipitaci ón</i>	<i>Duración luz solar</i>
Media	12,99	6,17	887,27	1439,31
Mediana	13,23	6,31	820,24	1445,47
Mínimo	6,59	2,77	565,4	1161,84
Máximo	15,18	8,54	1777,4	1883,83

Elaboración: Autores

- **Temperatura mínima**

En este caso, la media es de 6,17 grados Celsius y la mediana es de 6,31 grados Celsius. Dado que las dos medidas tienen el mismo valor, se puede suponer que los valores extremos no jugarán un papel en los cálculos.

- **Precipitación**

En este caso, la media es de 887,27 mm y la mediana es de 820,24 mm. Aunque hay más de 61 unidades de diferencia entre las dos medidas, considerando también que el valor mínimo es de 565,4 mm y el valor máximo es de 1777,4 mm, se puede suponer que los valores extremos no jugarán un papel importante en los cálculos.

- **Duración de la luz solar**

En este caso, la media es de 1439 horas y la mediana es de 1445 horas. Solo hay 6 unidades de diferencia entre las dos medidas, por lo que se puede suponer que los valores extremos no jugarán un papel en los cálculos.

4.2.2 Medidas de dispersión

Además de describir dónde se encuentra el centro de la distribución, una descripción estadística completa también debe informar cómo están dispersos los valores de los datos alrededor de ese centro. Las estadísticas comúnmente utilizadas para describir la dispersión son la varianza y la desviación estándar. Al igual que la media y todas las demás estadísticas que involucran un promedio de los datos, la varianza y la desviación estándar son sensibles a los valores extremos.

En cuanto a la varianza, un valor de cero indica que todos los valores son idénticos. Otra medida de dispersión es el rango, que es la diferencia entre los números más altos y más bajos en un conjunto de datos (Tabla 4.2).

Tabla 4.2.- Medidas de dispersión

	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación	Duración luz solar
Desviación estándar	1,69	1,38	323,48	194,5
Varianza muestral	2,87	1,91	104641,1	37857,42
Rango	8,59	5,77	1212	721,99

Elaboración: Autores

- **Temperatura máxima**

En este caso, la varianza es de 2,78, lo cual es bajo e indica que los puntos de datos están muy cerca de la media y entre sí. Además, la desviación estándar se utiliza para cuantificar la cantidad de variación o dispersión de un conjunto de valores de datos. Una desviación estándar cercana a 0 indica que los puntos de datos tienden a estar muy cerca de la media del conjunto. La desviación de la media del Tmax es de 1,66. El rango, que es la diferencia entre los valores más altos y más bajos, en este caso es de 8,59.

- **Temperatura mínima**

En este caso, la varianza es de 1,92, que es aún más baja que en el caso anterior. Además, la desviación de la media del Tmin es de 1,91 y el rango es de 5,77.

- **Precipitación**

En este caso, la varianza es muy alta, 104641,1, lo que indica que los puntos de datos están muy dispersos respecto a la media y entre sí; cómo se puede ver también en los valores de la desviación estándar (323,48) y el rango (1212).

- **Duración de la luz solar**

También en este caso, la varianza es alta, 37857,42, pero menor que en el conjunto de datos de precipitación. La desviación estándar es de 194,5 y el rango es de 721,99.

4.2.3 Otras estadísticas de resumen

El coeficiente de variación es una medida estandarizada de dispersión. Se expresa como un porcentaje y se define como la razón entre la desviación estándar y la media. En cuanto al sesgo (skewness), es una medida de asimetría. El valor de sesgo puede ser positivo o negativo, lo que indica la forma de la distribución.

- **Temperatura máxima**

En este caso (Figura), el coeficiente de variación es del 12,80% (inferior al 50%), por lo que se podría asumir que la media (12,99) caracteriza la distribución de la muestra. Además, considerando la desviación estándar (1,69) y el

coeficiente de variación, se puede concluir que Tmax no tiene una variabilidad alta.

Además, el sesgo es negativo (-1,79), por lo que la distribución mostrará una cola de valores bajos, como se puede ver en el histograma anterior. La interpretación cualitativa del sesgo es complicada, por lo que puede resultar útil comparar la media y la mediana. Si la media < mediana, hay un sesgo negativo; si la media > mediana, hay un sesgo positivo. En este caso de estudio, la media (12,99) es menor que la mediana (13,3), por lo que el sesgo es negativo.

- **Temperatura mínima**

En este caso, el coeficiente de variación es del 21,95% (inferior al 50%), por lo que se podría asumir que la media (6,17) caracteriza la distribución de la muestra. Además, considerando la desviación estándar (1,91) y el coeficiente de variación, se puede concluir que Tmin no tiene una variabilidad alta.

Además, el sesgo es bajo y negativo (-0,72), por lo que la distribución mostrará una cola muy corta de valores bajos, como se puede ver en el histograma a continuación. La media (6,17) es ligeramente menor que la mediana (6,31), por lo que el sesgo es negativo.

- **Precipitación**

En este caso, el coeficiente de variación es del 39,43% (ligeramente inferior al 50%), por lo que se podría asumir que la media (887,27) da una caracterización moderada de la distribución de la muestra. Además, considerando la desviación estándar (323,48) y el coeficiente de variación, se puede concluir que los valores de Tmax muestran cierta variabilidad.

Además, el sesgo es positivo (1,59), por lo que la distribución mostrará una cola de valores altos, como muestra el histograma a continuación. La media (887,27) es mayor que la mediana (820,24).

- **Duración de la luz solar**

En este caso, el coeficiente de variación es del 13,46% (inferior al 50%), por lo que se podría asumir que la media (1439,31) caracteriza la distribución de la muestra. Además, considerando la desviación estándar (194,56) y el coeficiente de variación, se puede concluir que Tmax no tiene una variabilidad alta.

El sesgo es positivo (0,16), por lo que la distribución mostrará una cola muy corta de valores altos. En resumen, la medida con mayor variabilidad es el total de lluvia (mm) y la que tiene menor variabilidad es Tmax.

4.3 Descripción Bivariada

El coeficiente de correlación ilustra una medida cuantitativa de algún tipo de correlación y dependencia, es decir, las relaciones estadísticas entre dos o más variables aleatorias. Cuando existe una fuerte relación entre x e y , sus valores aumentan o disminuyen simultáneamente (Tabla 4.3).

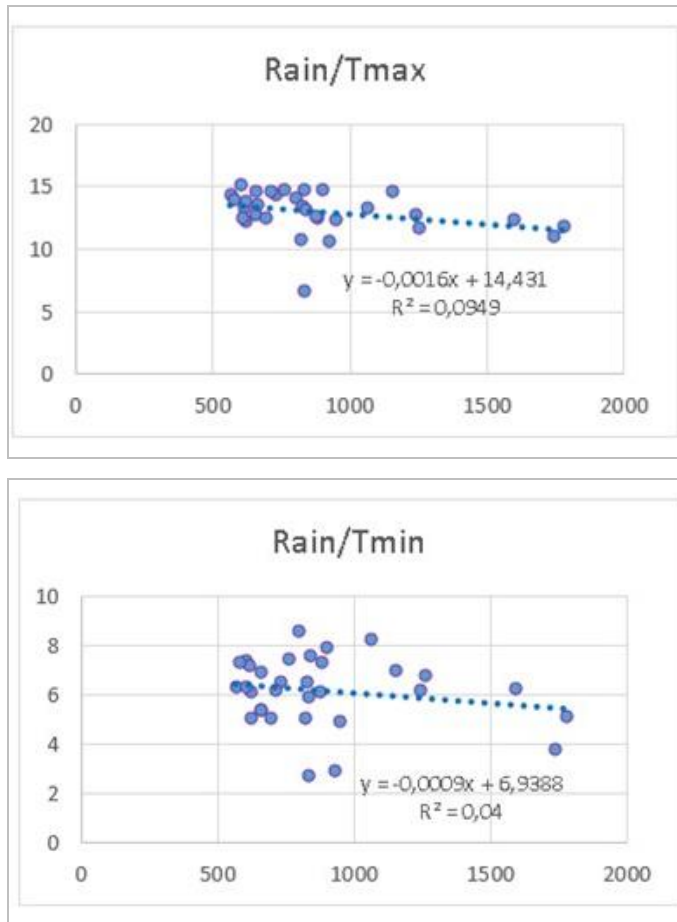
Tabla 4.3.- Coeficientes de correlación

<i>Correlation coefficient</i>	<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	<i>Precipitación</i>
<i>Tmax</i>			
<i>Tmin</i>	0,740548		
<i>Precipitación</i>	-0,30807	-0,19998	
<i>Duración luz solar</i>	0,448344	0,590782	-0,50381

Elaboración: Autores

Cuando este coeficiente es pequeño, como en el caso de la relación entre la precipitación y la temperatura (T_{max} y T_{min}), las posibilidades son dos: o bien no hay una relación entre x e y (son independientes) o la relación no es lineal. Para verificar estas opciones, es necesario generar diagramas de dispersión (Figura 4.1).

Figura 4.1.- Diagramas de dispersión de precipitación/temperatura máxima y mínima



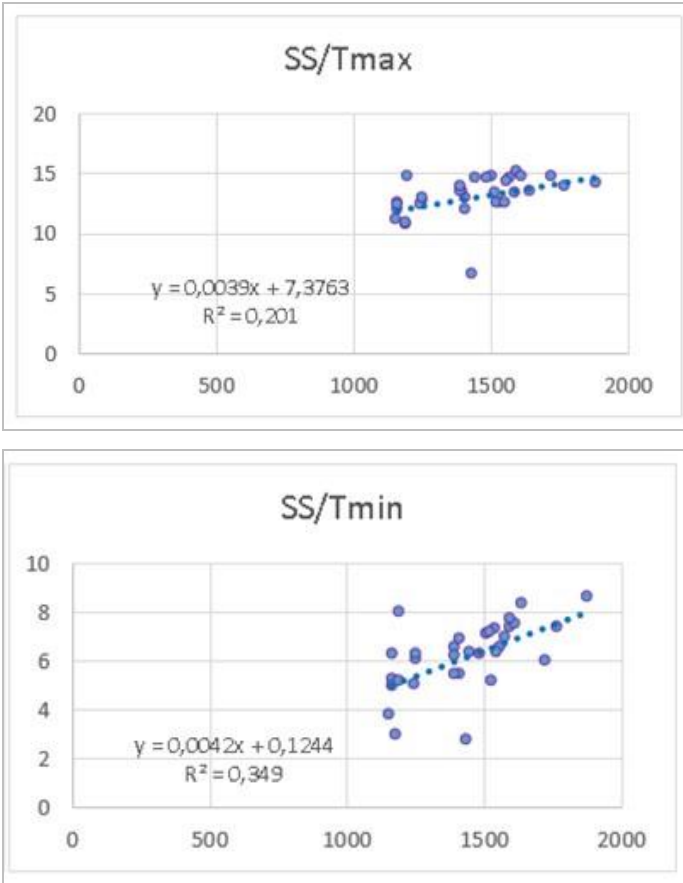
Fuente: Autores

Los diagramas de dispersión son un tipo de gráficos matemáticos que utilizan coordenadas cartesianas para mostrar valores relacionados con dos conjuntos de datos diferentes. En este caso, muestran una relación baja entre la precipitación y la temperatura en el período de 30 años, ya que los coeficientes de determinación (R^2) son muy bajos para ambas medidas: Tmax (0,094) y Tmin (0,04). Esto

significa que la variable explicativa (precipitación) explica solo el 9% y el 4% de la variabilidad de las variables dependientes (temperatura).

La correlación entre los valores de duración de la luz solar y la temperatura presenta coeficientes más altos: Tmax 0,44 y Tmin 0,59, lo que puede indicar que existe una relación entre estas variables hasta cierto punto. Para verificar esto, es importante analizar los respectivos diagramas de dispersión (Figura 4.2). Como se ilustra, muestran relaciones moderadas entre la duración de la luz solar y la temperatura en el período de 30 años, ya que los coeficientes de determinación (R^2) están por encima del 20% para ambas medidas: Tmax (0,20) y Tmin (0,34). Esto significa que la variable explicativa (duración de la luz solar) explica el 20% y el 34% de la variabilidad de la variable dependiente (temperatura).

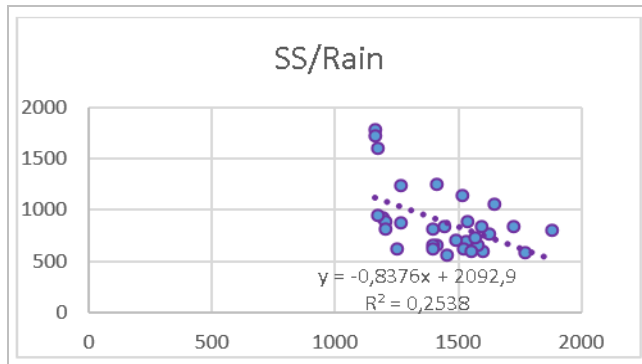
Figura 4.2.- Diagramas de dispersión temperatura y duración de luz solar



Fuente: Autores

En cuanto a la relación entre la duración de la luz solar y la precipitación, también es moderada, ya que su coeficiente de correlación es -0,50. El diagrama de dispersión (Figura 4.3) muestra un coeficiente de determinación (R^2) cercano a 0,25, lo que significa que la variable explicativa (duración de la luz solar) explica el 25% de la variabilidad de la variable dependiente (precipitación).

Figura 4.3.- Diagrama de dispersión precipitación/luz solar

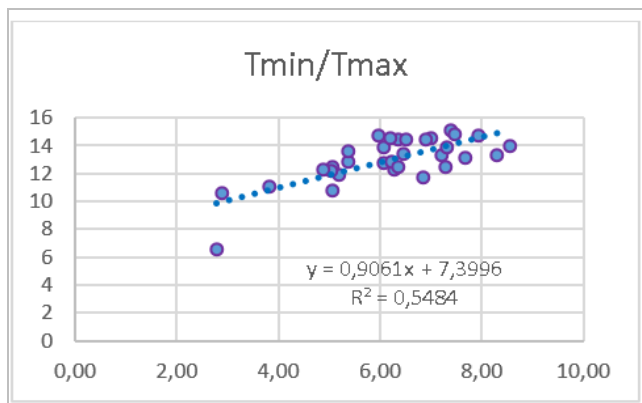


Fuente: Autores

Finalmente, la única relación que muestra un coeficiente de correlación alto (0,74) es la que existe entre Tmax y Tmin. El diagrama de dispersión (Figura 4.4) ilustra la existencia de una relación relativamente alta, ya que el coeficiente de determinación resultante (R^2) es 0,54.

Esto significa que la variable explicativa (Tmin) explica el 54% de la variabilidad de la variable dependiente (Tmax).

Figura 4.4.- Diagrama de dispersión de índices de temperatura



Fuente: Autores

4.4 Análisis Espacial

Hay dos categorías de técnicas de interpolación: determinísticas y geoestadísticas (Jalili Pirani & Modarres, 2020). Las técnicas pertenecientes a la primera categoría crean superficies basadas en puntos medidos o muestreados o en fórmulas matemáticas (Shahmohammadi-Kalalagh & Taran, 2021; Çubukçu et al., 2022). Por ejemplo, el Peso por Distancia Inversa (IDW), que se basa en el grado de similitud entre las celdas (Masoudi, 2021).

Las técnicas de interpolación geoestadística, como el Kriging, se basan en estadísticas y se utilizan para modelar superficies de predicción más avanzadas que también incluyen alguna medida de certeza o precisión de las predicciones (Zakeri & Mariethoz, 2021; Xing et al., 2022; Maiti & Mitra, 2023).

Específicamente, el IDW se debe utilizar cuando el conjunto de puntos es lo suficientemente denso para capturar la extensión de la variación local de la superficie necesaria para el análisis (Rata, 2020). El IDW determina los valores de las celdas mediante una combinación ponderada lineal de puntos de muestra, donde el peso es función de la distancia entre un punto de entrada y la ubicación de la celda de salida (Yang et al., 2020).

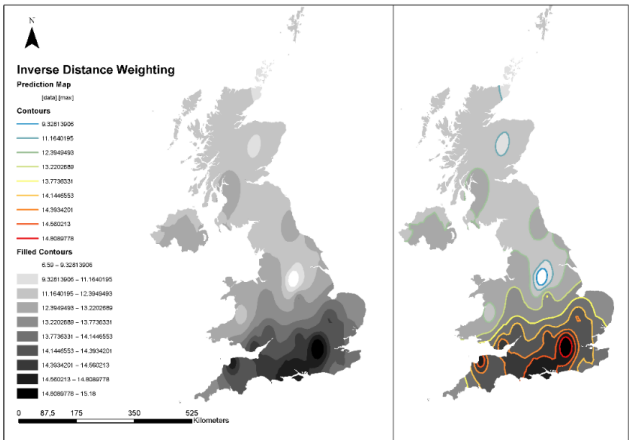
Desde luego, esto significa que, a mayor distancia, menor será la influencia de la celda en el valor de salida. Por otro

lado, el Kriging asume que la distancia o dirección entre los puntos de muestra refleja una correlación espacial que se puede utilizar para explicar la variación en la superficie (Pereira et al., 2022). Ajusta una función a un número específico de puntos dentro de un radio determinado para determinar el valor de salida para cada ubicación. Este método es más apropiado cuando se espera que los datos tengan una correlación espacial de distancia o sesgo direccional (Khan et al., 2023).

- **Temperatura máxima**

En los siguientes mapas (Figura 4.5), los valores altos se encuentran en la parte sur de la región y los valores bajos tienden a estar en el norte. El mapa de contornos (derecha) ayuda a identificar la proximidad existente en el área de estudio. La cercanía de las líneas de contorno en la esquina sureste de la región indica un gradiente pronunciado y llama la atención sobre el hecho de que el valor más alto de los datos (15,18 °C) está muy cerca del valor más bajo (6,59 °C).

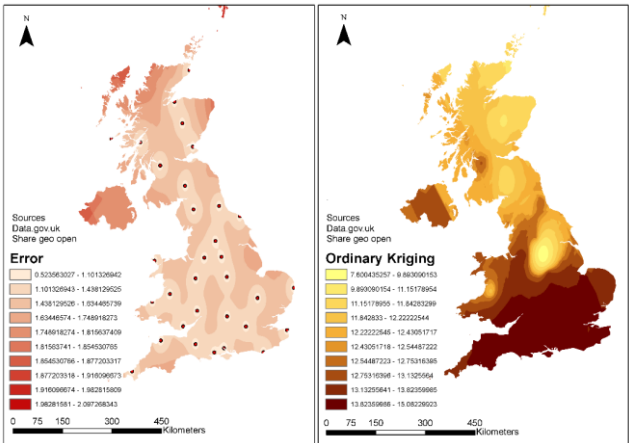
Figura 4.5.- IDW temperatura máxima



Fuente: Autores

Como en los mapas anteriores, el Mapa de Kriging Ordinario (Figura 4.6) muestra una clara tendencia: los valores altos están ubicados en el área sur, mientras que los valores bajos tienden a estar en la parte norte de la región. El Mapa de Error (izquierda) presenta valores altos en el norte.

Figura 4.6.- Kriging Ordinario temperatura máxima

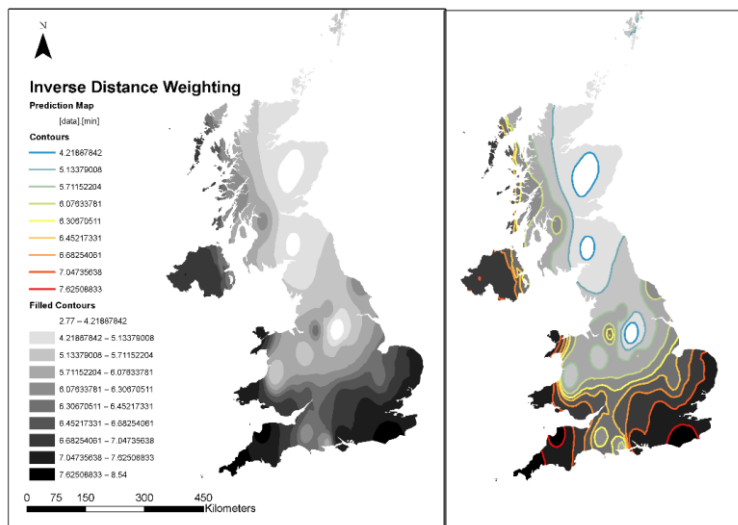


Fuente: Autores

- **Temperatura mínima**

La Figura 4.7 ilustra cómo los valores más bajos se encuentran en la parte norte de la región y los valores más altos tienden a estar ubicados tanto en la parte sureste como en la suroeste.

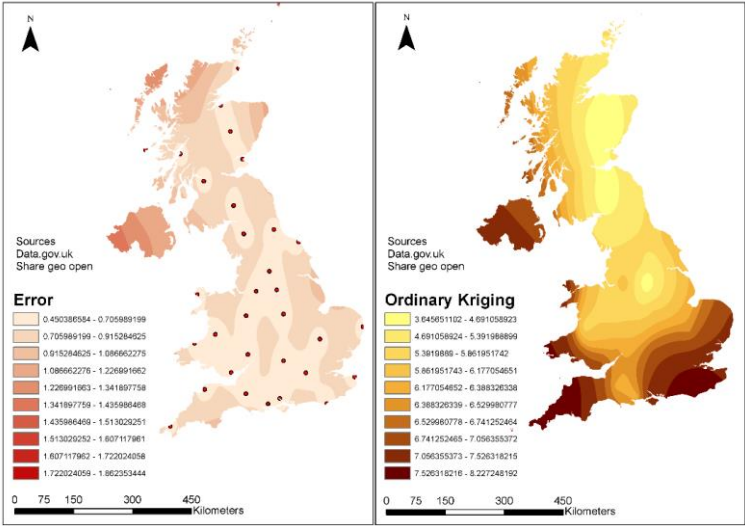
Figura 4.7.- IDW temperatura mínima



Fuente: Autores

Es notable en el Mapa de Kriging Ordinario (Figura 4.8) que presenta la misma tendencia que se identificó en el IDW de Tmin. En otras palabras, los valores altos tienden a estar ubicados en las esquinas sureste y suroeste. Mientras que los valores bajos están dispersos en la parte central y septentrional de la región. El Mapa de Error (izquierda) muestra valores altos ubicados en el norte de Irlanda debido a la falta de datos.

Figura 4.8.- Kriging Ordinario temperatura mínima

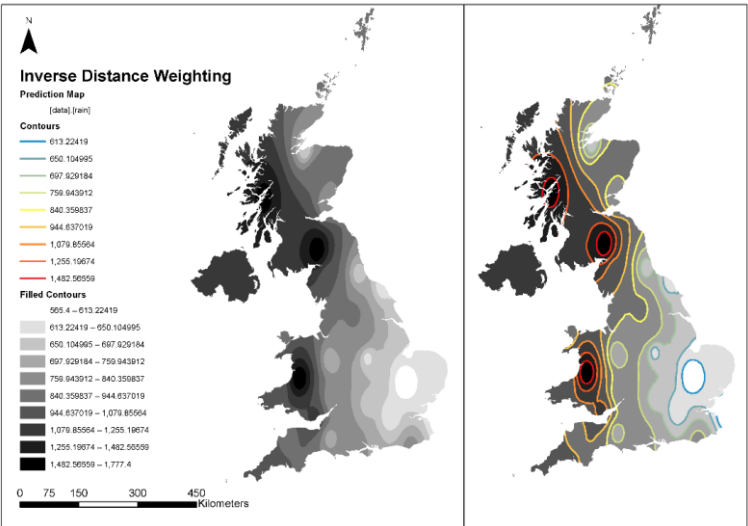


Fuente: Autores

- **Precipitación**

En este caso, los valores bajos se encuentran al este de la región, mientras que los valores altos tienden a ubicarse en el oeste (Figura 4.9). En el Mapa de Contornos (derecha), la cercanía de las líneas de contorno en la parte suroeste y noroeste de la región indica un gradiente pronunciado que llama la atención sobre el hecho de que el valor más alto de datos (1777.4 mm) está muy cerca del valor más bajo de datos (565.4 mm).

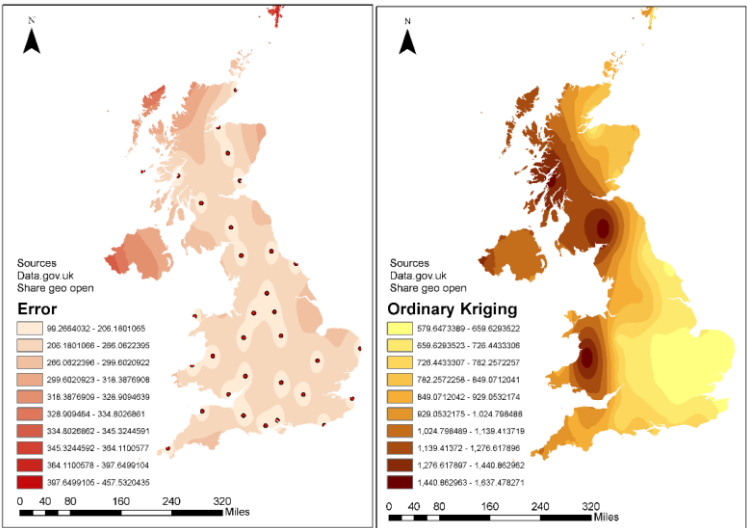
Figura 4.9.- IDW precipitación



Fuente: Autores

En el Mapa de Kriging Ordinario (Figura 4.10), se puede observar que los valores más altos tienden a ubicarse en el oeste de la región, mientras que los valores más bajos tienden a estar en el este de la región, lo cual es coherente con los resultados anteriores. El Mapa de Error (izquierda) muestra los mismos resultados que en los casos de Tmax y Tmin.

Figura 4.10.- Kriging Ordinario precipitación

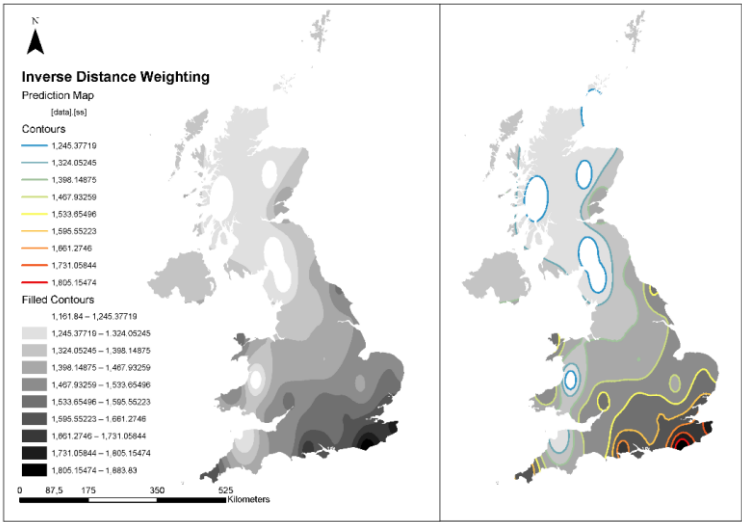


Fuente: Autores

- **Duración luz solar**

En la Figura 4.11, es notable que los valores más altos se encuentran en la parte sureste de la región y los valores más bajos tienden a ubicarse en el norte de la región. La cercanía de las líneas de contorno en la esquina sureste indica un gradiente pronunciado, llamando la atención sobre el hecho de que el valor más alto de datos (1883.83 horas) está muy cerca del valor más bajo de datos (1161.84 horas).

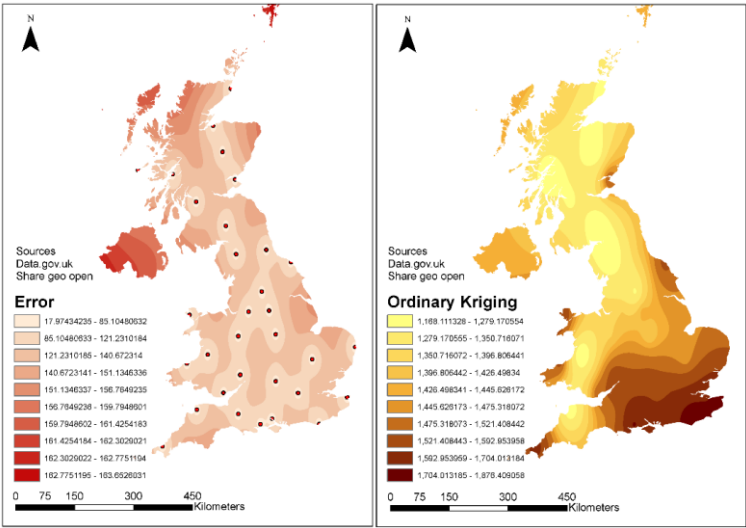
Figura 4.11.- IDW duración luz solar



Fuente: Autores

En el Mapa de Kriging Ordinario (Figura 4.12), se puede apreciar que los resultados corroboran las conclusiones obtenidas mediante el método IDW. Respecto al Mapa de Error (izquierda), se evidencian nuevamente valores elevados para Irlanda del Norte, atribuibles a las mismas causas mencionadas anteriormente, lo cual subraya la consistencia de los hallazgos a lo largo del análisis de la duración de la luz solar en la región.

Figura 4.12.- Kriging Ordinario duración luz solar



Fuente: Autores

En el análisis de variables climáticas, la elección entre Kriging Ordinario e Inverse Distance Weighting (IDW) desempeña un papel crucial debido a sus diferencias en precisión y enfoque metodológico.

El Kriging Ordinario se destaca por su capacidad para modelar la estructura de correlación espacial inherente en los datos climáticos, lo que lo convierte en una herramienta preferida cuando se busca precisión espacial y se dispone de datos suficientes para definir claramente la variabilidad geográfica.

Este método no solo proporciona estimaciones más precisas en áreas con correlaciones espaciales bien definidas, sino que también evalúa la incertidumbre asociada mediante la

estimación de la varianza local, ofreciendo así una evaluación más completa de la fiabilidad de los resultados.

Por otro lado, IDW ofrece una solución más directa y fácil de implementar, especialmente útil en casos donde la distribución de los puntos de datos es irregular y no se dispone de información detallada sobre la estructura de correlación espacial. Aunque menos sofisticado en términos de modelado espacial, IDW permite una rápida interpolación basada únicamente en la distancia de los puntos vecinos, proporcionando estimaciones útiles en entornos con menos datos disponibles o cuando la precisión absoluta no es crítica.

La interpretación de los resultados obtenidos mediante ambos métodos es fundamental para aplicaciones prácticas. Mientras que el Kriging Ordinario ofrece una visión más detallada y robusta de la distribución espacial de variables climáticas, IDW proporciona una aproximación eficiente para situaciones donde la simplicidad y la rapidez son prioritarias.

Estos métodos, Kriging Ordinario e Inverse Distance Weighting (IDW), son herramientas fundamentales en el análisis de variables climáticas para la planificación de infraestructuras resilientes debido a su capacidad para modelar y predecir patrones espaciales de variables climáticas clave.

En el contexto de la planificación de infraestructuras resilientes, la precisión en la estimación de variables climáticas como temperaturas extremas, precipitaciones y duración de la luz solar es crucial para diseñar estructuras que puedan resistir eventos climáticos extremos y cambios ambientales a largo plazo.

El Kriging Ordinario, al considerar la estructura de correlación espacial de los datos climáticos, proporciona estimaciones más precisas de la variabilidad climática a lo largo de un área geográfica. Esto permite identificar áreas propensas a ciertos tipos de eventos climáticos, como tormentas intensas o olas de calor, facilitando la implementación de medidas de adaptación específicas en la infraestructura. Por ejemplo, la distribución precisa de temperaturas extremas predichas por el Kriging Ordinario puede influir en el diseño de sistemas de refrigeración o calefacción más eficientes y resilientes.

Por otro lado, IDW ofrece una aproximación rápida y efectiva para interpolaciones donde la distribución de puntos de datos es menos uniforme. Aunque menos sofisticado en términos de modelado espacial comparado con el Kriging Ordinario, IDW sigue siendo útil para proporcionar estimaciones preliminares de variables climáticas en áreas con poca cobertura de datos. Esto es esencial en la planificación inicial de infraestructuras resilientes, donde se requiere una evaluación rápida de riesgos climáticos

potenciales y la necesidad de medidas de adaptación tempranas.

En conjunto, la combinación de Kriging Ordinario e IDW permite a los planificadores de infraestructuras considerar de manera más precisa y completa los impactos climáticos esperados en diferentes ubicaciones geográficas. Esta información robusta y detallada es fundamental para diseñar infraestructuras que puedan soportar los desafíos futuros del cambio climático y promover la resiliencia frente a eventos climáticos extremos, asegurando así la sostenibilidad y funcionalidad a largo plazo de las infraestructuras planificadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abd El Karim, A., & Awawdeh, M. M. (2020). Integrating GIS accessibility and location-allocation models with multicriteria decision analysis for evaluating quality of life in Buraidah city, KSA. *Sustainability*, 12(4), 1412.
2. Acuña, L. A., Molina, R. I., Valdés, M. G., & Acevedo, S. A. (2023). Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción. *Tecnología en Marcha*, 36(3), 66-77.
3. Amaro, J., Aguilar, M., & Barrera, J. (2012). Nuevas Tecnologías y Métodos tradicionales en el levantamiento de Patrimonio Arquitectónico. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 1.
4. Alonso, J. I. S. J. (2018). Levantamiento, tecnología y documentación de la arquitectura. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 23(34), 240-251.
5. Al-Ashmori, Y. Y., Othman, I., Rahmawati, Y., Amran, Y. M., Sabah, S. A., Rafindadi, A. D. U., & Mikić, M. (2020). BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 1013-1019.
6. Araque de los Ríos, O. J., & Arzola de la Peña, N. (2013). Estado del arte sobre la integridad estructural de uniones soldadas y modelos de propagación de grietas para la gestión de vida en estructuras.

Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 21(2), 279-292.

7. Buill, F., Nuñez, A., & Rodriguez, J. (2007). *Fotogrametría arquitectónica*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
8. Castán, M. Q., & Hernández, L. A. (2022). Metodología de captura y procesado para el desarrollo de una base de datos gráfica 3D del patrimonio arquitectónico. *Ge-conservacion*, 21(1), 72-84.
9. Chen, Z. S., Zhou, M. D., Chin, K. S., Darko, A., Wang, X. J., & Pedrycz, W. (2023). Optimized decision support for BIM maturity assessment. *Automation in Construction*, 149, 104808.
10. Chen, Z., Chen, L., Zhou, X., Huang, L., Sandanayake, M., & Yap, P. S. (2024). Recent technological advancements in BIM and LCA integration for sustainable construction: a review. *Sustainability*, 16(3), 1340.
11. Coloma Picó, E. (2008). Introducción a la Tecnología BIM. *Revista de Investigación en Educación*, 10.
12. Cruz-Ramírez, L. C., Uribe-Piedras, V., & Zárate-Martínez, J. F. (2023). Modelos de nubes de puntos con Escáner Láser Terrestre (TLS) aplicado en el registro del patrimonio construido: Implicaciones del Flujo de trabajo en la calidad de los resultados. *Revista Arquitectura+*, 8(15), 37-52.

- 13.Çubukçu, E. A., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2022). Digital elevation modeling using artificial neural networks, deterministic and geostatistical interpolation methods. *Turkish Journal of Engineering*, 6(3), 199-205.
- 14.Esmeray, E., & Eren, S. (2021). GIS-based mapping and assessment of noise pollution in Safranbolu, Karabuk, Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 15413-15431.
- 15.García-Molina, D. F., González-Merino, R., Rodero-Pérez, J., & Carrasco-Hurtado, B. (2021). Documentación 3D para la conservación del patrimonio histórico: el castillo de Priego de Córdoba. *Virtual Archaeology Review*, 12(24), 115-130.
- 16.Hassan, T. H., Salem, A. E., & Abdelmoaty, M. A. (2022). Impact of rural tourism development on residents' satisfaction with the local environment, socio-economy and quality of life in Al-Ahsa Region, Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 4410.
- 17.Izquierdo, F. L. A., Castilla, J. S., Villadiego, M. L., & Valverde, J. A. B. (2023). Interacción Suelo Estructura: una Revisión del Estado del Arte. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 6564-6577.
- 18.Jalili Pirani, F., & Modarres, R. (2020). Geostatistical and deterministic methods for rainfall interpolation in

- the Zayandeh Rud basin, Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 65(16), 2678-2692.
- 19.Khan, M., Almazah, M. M., Ellahi, A., Niaz, R., Al-Rezami, A. Y., & Zaman, B. (2023). Spatial interpolation of water quality index based on Ordinary kriging and Universal kriging. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 14(1), 2190853.
- 20.Larkin, A., Gu, X., Chen, L., & Hystad, P. (2021). Predicting perceptions of the built environment using GIS, satellite and street view image approaches. *Landscape and Urban Planning*, 216, 104257.
- 21.Lourenco, P., & Pereira, J. (2020). Proyecto de Estabilización Sismorresistente. *Portugal Engineering Journal*, 1.
- 22.Macků, K., Burian, J., & Vodička, H. (2023). Implementation of GIS tools in the quality of life assessment of Czech municipalities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(2), 43.
- 23.Maiti, P., & Mitra, D. (2023). Ordinary kriging interpolation for indoor 3D REM. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(10), 13285-13299.
- 24.Mañana, P., Rodriguez, A., & Blanco, R. (2008). Una experiencia en la aplicación del láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia

de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela).

25. Masoudi, M. (2021). Estimation of the spatial climate comfort distribution using tourism climate index (TCI) and inverse distance weighting (IDW)(case study: Fars Province, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(5), 363.
26. Nieto, J., Moyano, J., & Fernandez, P. (2014). Implementación de las nuevas Técnicas de Levantamiento en el Sistema BIM (Bulding Information Modeling). *Revista de Innovación y Competitividad*, 5.
27. Núñez, A. J. (2023). Metodologías de evaluación estructural por desempeño sísmico en edificaciones de concreto reforzado: estado del arte. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(2), 256-264.
28. Oya, T. (2015). Impacto del Bim en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura: un Proyecto con Revit.
29. Pan, Y., & Zhang, L. (2023). Integrating BIM and AI for smart construction management: Current status and future directions. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(2), 1081-1110.
30. Pereira, G. W., Valente, D. S. M., Queiroz, D. M. D., Coelho, A. L. D. F., Costa, M. M., & Grift, T. (2022). Smart-map: An open-source QGIS plugin for digital

mapping using machine learning techniques and ordinary kriging. *Agronomy*, 12(6), 1350.

31. Rahmani, I., & Herumanta, B. (2022). Comparison of estimation of reinforced concrete structure working costs based on the concept of Computer-Aided design (CAD) and Building Information Modeling (BIM). *Indonesian Journal of Multidisciplinary Science*, 1(10), 1237-1244.
32. Rata, M., Douaoui, A., Larid, M., & Douaik, A. (2020). Comparison of geostatistical interpolation methods to map annual rainfall in the Chélif watershed, Algeria. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 1009-1024.
33. Rodríguez, Mario. (2016). Una revisión crítica de la práctica de diseño por sismo de estructuras en Mexico. *Ingeniería sísmica*, (94), 27-48.
34. Roy, S., Bose, A., Majumder, S., Roy Chowdhury, I., Abdo, H. G., Almohamad, H., & Abdullah Al Dughairi, A. (2022). Evaluating urban environment quality (UEQ) for Class-I Indian city: An integrated RS-GIS based exploratory spatial analysis. *Geocarto International*.
35. Sánchez, M., Gil, E., Municio, C., & Fernández, N. (2016). Aplicaciones del escaneado láser en Patrimonio Histórico-Artístico. *Patrimonio y Desarrollo*, 4.
36. Sapena, M., Wurm, M., Taubenböck, H., Tuia, D., & Ruiz, L. A. (2021). Estimating quality of life dimensions

- from urban spatial pattern metrics. *Computers, Environment and Urban Systems*, 85, 101549.
37. Shahmohammadi-Kalalagh, S., & Taran, F. (2021). Evaluation of the classical statistical, deterministic and geostatistical interpolation methods for estimating the groundwater level. *International Journal of Energy and Water Resources*, 5(1), 33-42.
38. Vega, Edwin. (2021). Evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante Análisis Estático No lineal Pushover: Estudio de caso. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(50), 56-90.
39. Xing, L., Gardoni, P., & Zhou, Y. (2022). Kriging metamodels for the dynamic response of high-rise buildings with outrigger systems and fragility estimates for seismic and wind loads. *Resilient Cities and Structures*, 1(1), 110-122.
40. Yang, W., Zhao, Y., Wang, D., Wu, H., Lin, A., & He, L. (2020). Using principal components analysis and IDW interpolation to determine spatial and temporal changes of surface water quality of Xin'anjiang river in Huangshan, China. *International journal of environmental research and public health*, 17(8), 2942.
41. Zakeri, F., & Mariethoz, G. (2021). A review of geostatistical simulation models applied to satellite remote sensing: Methods and applications. *Remote Sensing of Environment*, 259, 112381.



Julia Desiree Velasteguí Cáceres

Doctora en Tecnologías de la Información Geográfica. Master of Science in Geospatial Technologies. Ganadora de becas otorgadas por la Comisión Europea y la República Popular China. Instructora de cursos de tecnologías geoespaciales en el área de Ingeniería, Arquitectura y recursos naturales. Ha participado en proyectos de investigación con universidades a nivel nacional e internacional. Actualmente Profesora en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en el Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Autora de artículos científicos en revistas indexadas (SCOPUS/WoS).



Luis Alejandro Velasteguí Cáceres

Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo. Ingeniero Civil de la Escuela Superior Politécnica del Ejército. Máster Universitario en Ingeniería Sísmica Dinámica de Suelos y Estructuras de la Universidad Politécnica de Madrid, Máster en Gestión de Proyectos de Desarrollo de la Escuela Politécnica de Chimborazo, Máster en Cálculo de Estructuras de Obras Civil de la Universidad a Distancia de Madrid. Ganador de becas internacionales otorgadas por la OEA (Organización de Estados Americanos). Ha trabajado en diferentes proyectos de investigación en el campo de la Ingeniería y Arquitectura. Autor de artículos científicos en revistas indexadas (SCOPUS/WoS).

ISBN: 978-9942-621-89-4



9 789942 621894