



Universidad de Valladolid

Máster en Investigación en ingeniería de Procesos y Sistemas

Industriales

Trabajo Fin de Master

Elaboración de modelos de edificios a partir de nubes de puntos con software BIM, análisis y comportamiento.

Presentado por: Facundo José, LOPEZ

Dirigido por: Dr. Jaime Gómez García-Bermejo y

Dr. Eduardo Zalama



Valladolid, Septiembre del 2014

En Valladolid, a 1 de septiembre del 2014

Agradecimientos:

Expreso mis más profundo y sinceros agradecimientos a:

A la beca Erasmus Mundus programa PEACE, a la Universidad de Valladolid y a la Div. de Robótica y Visión Artificial del centro tecnológico CARTIF, por brindarme la oportunidad de iniciar mi formación como investigador.

A mis tutores, el Dr. Jaime Gómez García-Bermejo y el Dr. Eduardo Zalama, y a los demás docentes de Master en Investigación de Sistemas y Procesos Industriales por compartir sus conocimientos y experiencias durante mi periodo de formación.

A mis compañeros de clase: Alberto de Domingo, Roberto Pinillos, Arancha Marcru y Jessica Gonzales por compartir su tiempo y conocimientos conmigo.

A Sheila Sánchez, Lessa Henao y Jorge Madariaga, que se han convertido en mis hermanos, compartiendo conmigo grandes aventuras, amistad, cariño, predisposición, tiempo y experiencias.

A mis ex compañeros de piso Alejandro Gloriani, su esposa Carla Gonzales y Ana Lainez por sus consejos y apoyo incondicional.

A mi novia María Victoria Traffano Schiffo por su apoyo, amor y aliento por superarme día a día, soportando las distancias y nervios.

Finalmente a mis padres, hermanos y amigos que me brindaron su cariño y consejos desde Argentina.

Contenido:

Resumen

Lista de figuras

Capítulo 1: Introducción y Objetivos

1.1. Introducción	15
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivos Generales	17
1.2.2. Objetivos Específicos	17
1.3. Estructura del trabajo	18

Capítulo 2: Marco del estudio

2.1. Patrimonio histórico	19
2.1.1. Presentación	19
2.1.2. Finalidad	19
2.1.3. Composición	20
2.1.4. Potencialidad en el medio digital	21
2.2. Herramientas de medición	21
2.2.1. Presentación	21
2.2.2. Método convencional	22
2.2.3. Nuevos métodos de medición	23
2.3. Escaneado laser 3D	25
2.3.1. Presentación	25
2.3.2. Funcionalidad	25
2.3.3. Tecnología	26
2.3.4. Utilidad	27
2.4. Rehabilitación	28
2.4.1. Presentación	28
2.4.2. Motivos	28
2.4.3. Planificación	29
2.5. Tecnología BIM	30
2.5.1. Significado de “BIM”	30
2.5.2. Beneficios	32
2.5.3. Dimensiones “BIM”	34

2.5.3.1.	2D BIM o Planos y especificaciones	35
2.5.3.2.	3D BIM o Visualización 3D y coordinación del proyecto	37
2.5.3.3.	4D BIM o dimensión de programación	39
2.5.3.4.	5D BIM o Modelo basado en el cálculo del coste	40
2.5.3.5.	6D BIM o dimensión de sostenibilidad del proyecto	42
2.5.3.6.	7D BIM o Aplicaciones operacionales del ciclo de vida	44
2.5.4.	Usos de "BIM"	45
2.6. Impresoras 3D	49
2.6.1.	Presentación	49
2.6.2.	Modelos	49
2.6.3.	Modelos en la construcción	50
2.6.4.	Nueva Implementación	54

Capítulo 3: Antecedentes y claves del conocimiento actual

3.1. Consideraciones Iniciales	55
3.2. Sistemas "BIM"	55
3.2.1.	Autodesk	55
3.2.2.	Graphisoft	56
3.2.3.	Nemetschek	57
3.2.4.	Tekla	58
3.2.5.	Autodesk Revit	58
3.3. Autodesk Revit como aplicación BIM en el proyecto	59
3.3.1.	Generalidades	59
3.3.1.1.	Gestión del proyecto	59
3.3.1.2.	Organización espacial	60
3.3.1.3.	Visualización	61
3.3.1.4.	Modelado de la información del edificio	62
3.3.2.	Herramientas	63
3.3.2.1.	Análisis	63
3.3.2.2.	Colaboración	64
3.3.2.3.	Diseño	65
3.3.2.4.	Documentación	67
3.3.2.5.	Visualización	68
3.3.3.	Ventajas y desventajas	69

Capítulo 4: Metodología para la elaboración de modelos BIM de edificios

4.1.	Consideraciones Iniciales	72
4.2.	Metodología propuesta	72
4.2.1.	Adquisición de datos por escáner laser	72
4.2.2.	Proyecto de exportación de la nube de puntos para Revit	74
4.2.3.	Digitalización del modelo con plataforma Revit	75
4.2.3.1.	Insertar la nube de puntos a la plataforma	75
4.2.3.2.	Creación de elementos de diseño	77
4.2.3.3.	Modelado de objetos	79
4.2.3.4.	Elaboración de imágenes fotorrealistas	82
4.2.3.5.	Simulación térmica del modelo virtual	85

Capítulo 5: Experimentación y Resultados

5.1.	Consideraciones Iniciales	93
5.2.	Presentación del edificio	93
5.2.1.	Situación	93
5.2.2.	Emplazamiento	94
5.2.3.	Historia y descripción	95
5.3.	Resultados	96
5.3.1.	Toma de datos por escáner laser	96
5.3.2.	Digitalización del modelo con plataforma Revit	98
5.3.2.1.	Insertar la nube de puntos a la plataforma	98
5.3.2.2.	Modelar el edificio a partir de los elementos de Revit	103
5.3.2.3.	Elaboración de imágenes fotorrealistas	110
5.3.2.4.	Simulación térmica del modelo virtual	115

Capítulo 6: Conclusiones

6.1.	Conclusiones	126
6.2.	Perspectivas futuras	127

Capítulo 7: Referencias	129
--------------------------------	-----

Resumen:

Esta investigación, enmarcada en el campo del desarrollo de nuevas tecnologías, capaces de realizar mediciones y obtener modelos virtuales de los objetos con mayor precisión y rapidez, se centra en analizar e interpretar los distintos temas orientativos, partiendo desde las herramientas convencionales de medición, hasta las nuevas tecnologías de escaneado laser 3D, como así también el conocimiento de la importancia del patrimonio y la rehabilitación, la aplicación de los nuevos softwares de sistemas asistidos y la utilización de las impresoras 3D a gran escala.

Los resultados que hemos obtenido a partir de la elaboración de un modelo virtual 3D de una edificación ya existente, proyectado gracias a la introducción y posterior manipulación de una nube de puntos en un sistema BIM, nos brindaran una primera aproximación de la capacidad de los sistemas utilizados, a su vez estos servirán como base para mejorar la relación entre los sistemas BIM y las nuevas tecnologías de construcción, sean estas las impresoras 3D a gran escala.

Dichas impresoras 3D son motivos de investigación actualmente debido a su gran importancia tanto para la construcción, como para otras áreas, ya que con esta herramienta será posible lograr múltiples beneficios, que serán descriptos a lo largo del presente informe.

Palabras claves: BIM, Digitalización 3D, Escaneado laser e Impresión 3D.

Lista de figuras:

- Figura 1** - Representación esquemática del trabajo multidisciplinario en BIM.
Fuente: <http://itcformacionyconsultoria.com/tag/bim/>. 32
- Figura 2** - Demostración del funcionamiento BIM en una sección multidisciplinar.
Fuente: http://communities.bentley.com/other/old_site_member_blogs/bentley_employees/b/eduardo_cortess_blog/archive/2013/10/21/colaboraci-243-n-en-un-proyecto-bim-191-posible-o-imposible.aspx 33
- Figura 3** - Demostración de detección de interferencia dentro del modelo digital. Fuente: <http://www.bimworks.cl/spa/productos/informe-de-colisiones-e-interferencias/> 33
- Figura 4** - Demostración de modelado 3D de un proyecto.
Fuente: http://flowers.mostpopularimages.org/?im=3d-plan-drawing&image_id=16849895&system_id=3 33
- Figura 5** - Demostración del modelado de información para la Edificación.
Fuente: <http://mrmannoticias.blogspot.com.es/2011/09/bim-building-information-modeling.html> 33
- Figura 6** - Representación de imágenes fotorrealistas en BIM.
Fuente <http://autodesk-revit-architecture.softbull.com/imagenes> 34
- Figura 7** - Explicación de las distintas dimensiones posibles de manipular con BIM.
Fuente: <http://bradleybim.com/2013/11/24/download-mcgraw-hill-lean-construction-bim-report-2013/>. Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original. 35
- Figura 8** - Curva de Macleamy.
Fuente: <http://marcatects.com/bim/save-time-money/>. Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original. 36
- Figura 9** - Generación de vistas 3D desde cualquier ángulo para visualizar los espacios en el diseño.
Fuente: <http://www.autodesk.es/products/revit-lt/overview> 38
- Figura 10** - Secuencia de construcción y planificación 4D, agregando el factor tiempo del programa de construcción al modelo 3D.
Fuente: <http://www.bimgroup-peru.com/p/servicios-bimgroup.html> 40

Figura 11 - Representación esquemática de la relación entre las distintas dimensiones formando una 5D a partir de la adición de los datos financieros. Fuente: http://www.uscost.com/5d-bim-education/ Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original.	42
Figura 12 - Escala de la calificación energética. Fuente: http://certificadodeeficienciaenergetica.com/profesional/5237	43
Figura 13 - Procedimiento básico para la calificación energética. Fuente: http://certifikablog.com/2013/04/14/publicado-el-rd-2352013-que-aprueba-la-certificacion-de-la-eficiencia-energetica-de-los-edificios/	43
Figura 14 - Pirámide conceptual del BIM. Fuente: http://www.aristeo.com/?page_id=1739 . Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original, e inclusión de un nuevo bloque a la pirámide.	45
Figura 15 - Vista lateral del Edificio Ark. Fuente: http://www.construnario.com/	47
Figura 16 - Vista lateral del Edificio Ark Fuente: http://blog.atinne.com/	47
Figura 17 - Proyecto del Hamad International Airport Passenger Terminal Comple, realizado con plataforma BIM. Fuente: http://www.hok.com/design/type/aviation-transportation/hamad-international-airport/	48
Figura 18 - Impresora 3D RepRap. Fuente: http://webadictos.com/2012/05/28/que-son-y-como-funcionan-las-impresoras-3d/	50
Figura 19 - Impresora 3D Fab@Home. Fuente: http://u-n-o.blogspot.com.es/2007/01/impresora-3d.html	50
Figura 20 - Impresión 3D de estructuras de acero. Fuente: http://www.impresoras3d.com/los-ingenieros-de-arup-hacen-uso-de-la-impresion-3d-para-imprimir-estructuras-de-acero/#prettyPhoto	50

Figura 21 - Impresora capaz de crear jardines a la carta. Fuente: http://www.ecologiaverde.com/inventan-una-impresora-3d-que-crea-jardines-a-la-carta/	50
Figura 22 (A, B, C) - Impresora 3D Kamer Maker. Fuente: http://serviciosimpresion3d.wordpress.com/2013/05/05/en-amsterdam-ya-existe-la-mayor-de-las-impresoras-3d-para-hacer-edificios-modulares/	51
Figura 23 (A, B, C, D) - Impresora 3D de la empresa china Winsun, capaz de realizar viviendas. Fuente: http://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20140428/abci-casas-china-impresoras-201404281925.html	52
Figura 24 (A, B, C, D) - Composición y funcionamiento de un modelo de Contour Crafting. Fuente: http://www.contourcrafting.org/	54
Figura 25 (A, B) - Funcionamiento horizontal y vertical, del robot-impresora 3D anti gravedad. Fuente: http://blogthinkbig.com/impresion-3d-gravedad/	54
Figura 26 - Tabla comparativa de las características generales de varias aplicaciones BIM. Fuente: Propia del TFM.	71
Figura 27 - Levantamiento 3D a partir del escaneado laser. . Fuente: http://gifle.webs.upv.es/Investigacion.php	73
Figura 28 - Unión y proceso de la nube de punto obtenida por escaneado laser. Fuente: http://www.zspotmedia.ro/software-3d-reproiectare-rapidform-xor-p338.html Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original y supresión de información sobrante.	74
Figura 29 - Inserción de una nube de punto procesada al software Autodesk Revit. Fuente: Propia del TFM	76
Figura 30 - Elevación de muros en Autodesk Revit. Fuente: Propia del TFM	77
Figura 31 - Representación del método de modificación del tipo de muro. Fuente: Propia del TFM	78

Figura 32 - Representación del método de modelado de un objeto. Fuente: Propia del TFM	80
Figura 33 (A, B, C) - Diferencia entre la elaboración de un prototipo de columna, y una columna tratada como objeto. Fuente: Propia del TFM	81
Figura 34 - Representación del método de elaboración de imágenes fotorrealistas. Fuente: Propia del TFM	83
Figura 35 - Diferencia entre una imagen tratada y una no tratada. Fuente: Propia del TFM	84
Figura 36 - Representación del método de simulación térmica de un modelo virtual. Fuente: Propia del TFM	86
Figura 37 - Selección de la ubicación geográfica del proyecto y de la estación meteorológica más cercana. Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-291FB8FB-C7BB-4FA3-9691-344B82B2C81C	87
Figura 38 - Ventana de selección de los parámetros a modificar. Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-291FB8FB-C7BB-4FA3-9691-344B82B2C81C	87
Figura 39 - Selección de la opción ejecutar simulación en la herramienta de análisis. Fuente: Propia del TFM	88
Figura 40 - Selección de la opción resultados y comparaciones en la herramienta de análisis. Fuente: Propia del TFM	88
Figura 41 - Factores de rendimiento de construcción. Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-C9FEEA21-770F-472B-B2C7-0C9A54125800	89
Figura 42 - Emisiones de carbono anuales. Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-5ABAE8B3-6660-44F7-8619-4647C22F86A7	89
Figura 43 - Uso/Costo de energía anual. Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-878EA005-D387-4A46-B264-30327B51ED27	89

Figura 44 - Uso de energía: combustible	
Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-AE9F653C-0ED3-425F-A1A6-B1C156C31788	90
Figura 45 - Uso de energía: electricidad	
Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-6F3B6C34-490E-4262-A3F2-962ABA4C3D15	90
Figura 46 – Ahorro de energía	
Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-E0E5E98B-7B16-44A4-B9B1-5FA6030E779E	90
Figura 47 – Carga de calefacción mensual	
Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-35E67E58-B8F7-491C-A8AC-748E90A33E3F	90
Figura 48 - Consumo de electricidad mensual	
Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-B3D23AB2-495E-4FDE-A8CD-60D5BFABA900	91
Figura 49 - Rosa de los vientos	
Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-2AACFEA1-16BD-4A01-BD75-81B12E56A57C	91
Figura 50 – Medias meteorológicas diurnas.	
Fuente: http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-CD2301AB-39F1-4798-8321-615DD794BDBF	92
Figura 51 - Mapa de Castilla y León, Palencia y Santa María de Mave	
Fuente: http://www.xn—pateandoespaatkb.es/archivo7/espana/todas%20las%20ciudades/Provincia%20de%20Palencia.html	
Elaboración propia del TFM en la marcación y distribución de los mapas	94
Figura 52 (A, B) - Vista satelital y emplazamiento del edificio.	
Fuente: http://www.bing.com/maps/ . Elaboración propia del TFM en la marcación y distribución de los mapas.	94
Figura 53 - Planta principal del edificio.	
Fuente: Propia del TFM	96
Figura 54 (A, B) - Sectores del edificio.	
Fuente: http://www.arquivoltas.com/8-palencia/02-Mave01.htm	96

Figura 55 (A, B) - Proceso de adquisición de datos (exterior e interior)	
Fuente: A 3D SNAKE APPROACH FOR EXTRACTING PLANS OF HERITAGE BUILDINGS	97
Figura 56 - Planimetría de la nube de puntos 3D	
Fuente: Propia del TFM	97
Figura 57 (A, B) - Nube de puntos de la Iglesia Santa María la Real de Mave.	
Fuente: Propia del TFM	98
Figura 58 (A, B) - Inserción de la nube de puntos de la Iglesia Santa María la Real de Mave al software Autodesk Revit	
Fuente: Propia del TFM	99
Figura 59 - Planta de la nube de puntos de la Iglesia Santa María la Real de Mave.	
Fuente: Propia del TFM	99
Figura 60 - Corte perspectivado lateral norte de la nube de puntos.	
Fuente: Propia del TFM	100
Figura 61 - Elevación oeste de la nube de puntos delimitada con la herramienta grilla.	
Fuente: Propia del TFM	100
Figura 62 - Planta de la nube de puntos delimitada con la herramienta grilla.	
Fuente: Propia del TFM	101
Figura 63 (A, B) - Axonometría de la planta.	
Fuente: Propia del TFM	102
Figura 64 - Corte longitudinal con los detalles constructivos en transparencia	
Fuente: Propia del TFM	102
Figura 65 - Creación De los elementos constructivos de la Iglesia Santa María la Real de Mave en el software Autodesk Revit	
Fuente: Propia del TFM	104
Figura 66 - : Planta de la nube de punto junto los elementos constructivos del proyecto.	
Fuente: Propia del TFM	104
Figura 67 - Axonometría de los elementos constructivos junto a la nube de puntos	
Fuente: Propia del TFM	105

Figura 68 (A, B) - Creación de las columnas cruciformes	
Fuente: Propia del TFM	106
Figura 69 (A, B) - Planta principal del proyecto	
Fuente: Propia del TFM	107
Figura 70 (A, B, C, D, E, F) - Cortes y Elevaciones del proyecto Iglesia Santa María la Real de Mave.	
Fuente: Propia del TFM	109
Figura 71 (A, B) - Método de elaboración de imágenes fotorrealista en el proyecto Iglesia Santa María la Real de Mave	
Fuente: Propia del TFM	111
Figura 72 - Simulación de la trayectoria del sol.	
Fuente: Propia del TFM	112
Figura 73 (A, B, C) - Resultados obtenidos con la herramienta render.	
Fuente: Propia del TFM	113
Figura 74 (A, B, C) - Resultados obtenidos con la herramienta render, aplicando propiedades de resolución elevadas.	
Fuente: Propia del TFM	114
Figura 75 (A, B) - Representación del método de configuración para realizar simulación térmica de la Iglesia Santa María la Real de Mave.	
Fuente: Propia del TFM	116
Figura 76 - Representación de la selección de puesta en marcha y guardado de los resultados.	
Fuente: Propia del TFM	116
Figura 77 - Representación de la selección de resultados y comparaciones	
Fuente: Propia del TFM	117
Figura 78 – Tablas y diagramas correspondientes a los resultados obtenidos del análisis energético del proyecto de la Iglesia Santa María la Real de Mave	
Fuente: Propia del TFM	125

Capítulo 1

1.1. Introducción:

Para entender el enfoque de este trabajo, es necesario explicar el contexto en el que se desarrolla.

La constante evolución tecnológica, sumada al creciente interés por el diseño asistido ha situado a la computadora como una de las principales herramientas utilizadas en diversas áreas. Según [1] los primeros en dominar este arte de manipuleo fueron los arquitectos, ingenieros y aquellos relacionados a la construcción. Las computadoras son utilizadas como herramienta de diseño hace más de 30 años en el género de la construcción, en un principio su capacidad de representación era limitada, era capaz de esbozar algunas geometrías y hacer cálculos estructurales. Su evolución fue progresiva y en la actualidad la magnitud de la computadora como objeto y de los programas como herramientas nos brindan la capacidad de simular un prototipo rápido, como así también permiten obtener representaciones realistas de los diseños digitales.

Los cambios que han ido sufriendo, a lo largo de los años los métodos de representación, trajeron aparejado aumento en la magnitud como en la complejidad de los proyectos a realizar. Es por ello que a su vez los programas encargados de representar estos proyectos fueron evolucionando, logrando mejorar la gestión e intercomunicación entre especialistas, permitiendo elaborar correctamente una planificación y control entre todas las áreas involucradas en el proceso.

Dentro de las diversas metodologías de coordinación de proyectos se encuentra BIM, que por su complejidad y modo de empleo podría ser implementado para satisfacer estas necesidades. Del análisis de [2] interpretamos que, este sistema es capaz de reconstruir y elaborar una simulación virtual de algún proyecto constructivo, donde se une el modelo virtual con los elementos paramétricos, y se controlan los procesos de diseño, construcción y operación de un cierto proyecto durante sus distintas etapas de desarrollo. Una de las ventajas de ello es que al ser un diseño virtual podremos experimentar y hacer ajustes en el proyecto, previo a su posible construcción, ahorrando tiempo y evitando desperdicio de recursos. La plataforma BIM trabaja con interoperabilidad entre las distintas áreas incluidas, logrando mejorar la comunicación entre ellos y facilitando el traspaso de información a todos los participantes, respecto de los cambios en todo momento y durante todas las fases.

Este tipo de sistema rompe la barrera del 3D, ya que se puede estimar el tiempo (4D), costo (5D), sostenibilidad (6D) y vida útil (7D) del proyecto.

Parte del contexto de desarrollo de nuestro informes se basa en la metodología de construcción inversa, es por ello importante señalar que, el sistema BIM además de ser capaz de elaborar un proyecto a partir de los planos 2D, que por las características paramétricas del programa va a ir modelándose en tres dimensiones al mismo tiempo, permitiendo observar las imperfecciones posibles y solucionarlas en un lapso de tiempo menor, también puede, como se mencionó al principio, desarrollarse de manera inversa, partiendo de un modelo 3D como sería una posible nube de puntos y ello transformarlo en un modelo virtual (planos 2D, Perspectivas, 3D, etc.).

Una vez nombrada la nube de puntos, señalamos que la obtención de modelos tridimensionales y su medio ambiente, a partir de las tecnologías de escaneado laser, es un tema de investigación en constante avance. Es un tema de gran importancia ya que esta tecnología permite la extracción de gran cantidad de medidas precisas que reflejan con gran detalle la complejidad de los edificios relevantes. La aplicación de estos dispositivos abarca muchos aspectos, desde el modelado industrial hasta el patrimonio cultural.

Como parte de nuestro trabajo se basa en el modelo virtual de una iglesia con valor patrimonial cultural, es motivo suficiente señalar que el patrimonio arquitectónico está siempre presente y es de importancia nacional e internacional. A lo largo de los años, se ha buscado facilitar la labor de los arquitectos e ingenieros a la hora de afrontar la reinterpretación o reconstrucción del patrimonio histórico. En sus principios esto implicaba un arduo trabajo y estudio en el campo por parte de los profesionales y también un elevado coste económico. En la actualidad, como se remarcó anteriormente, la obtención de modelos virtuales de los edificios reales se hacen con mayor velocidad y precisión, gracias al empleo de escáneres laser.

Entender y aplicar estas herramientas en conjunto es beneficioso para la conservación, rehabilitación y restauración integral del patrimonio cultural, como se viene haciendo hace más de una década en España, con el plan de intervención Románico Norte. Gracias a esto en el futuro será posible poseer graficas de las dimensiones, formas y tal vez posibles funciones de los distintos espacios de las obras analizadas.

En el presente trabajo presentaremos un método para la extracción de una nube de puntos a partir de un escáner laser 3D, como así también una nueva metodología de obtención de un modelo tridimensional a partir de la utilización de un sistema BIM encargado de convertir la nube de puntos de un edificio preexistente, en un modelo

virtual capaz de brindarnos los distintos tipos de análisis que necesitemos interpretar. Siendo esta un metodología novedosa, que en la actualidad no es muy utilizada.

Relacionar estas tecnologías con las impresoras 3D es un avance muy importante para la construcción, ya que el funcionamiento en conjunto de estas herramientas, como será descrito más adelante aporta grandes beneficios a los distintos representantes del oficio.

1.2. Objetivos:

1.2.1. Objetivos Generales:

El objetivo general de este trabajo final de master es proyectar una metodología de trabajo para la elaboración de modelos BIM a partir del escaneado laser de algún edificio existente, y demostrar con ello las ventajas de utilizar estas herramientas, a la hora de abordar planes de rehabilitación, reconstrucción, etc.

También nos es importante mostrar su futura implementación en las nuevas tecnologías, es decir la relación entre los sistemas BIM y las impresoras 3D.

1.2.2. Objetivos Específicos:

Para lograr el objetivo general, es necesario que se cumplan principalmente los objetivos específicos. Los cuales son:

Necesidad en demostrar que con la utilización de los escáneres laser 3D, las nubes de puntos y los sistemas BIM es posible obtener detalles constructivos, morfología del edificio, espacialidad y función de los distintos sectores, aplicando la construcción de ingeniería inversa. Como así también demostrar que la utilización de las impresoras 3D servirá en el futuro como herramientas de reconstrucción y rehabilitación.

Para lograr lo descrito en el párrafo anterior debemos: documentar el uso de las herramientas señaladas, en los distintos sectores profesionales, describiendo sus ventajas y desventajas. Analizar su utilización en la actualidad, la disposición de bibliografía, artículos o guías que nos enseñen su diseño, desempeño e implementación en forma general.

Por último, elaborar una propuesta acorde al proyecto, siguiendo la metodología plasmada, basada en recoger datos de un escáner laser 3D existente y elaborar un modelo virtual en un sistema BIM.

1.3. Estructura del trabajo:

El presente trabajo se divide en siete capítulos, de los cuales el primero es el de introducción y objetivos, donde se expresa de manera sintética y general los temas que se tratarán en todo el documento, y también se plasman los objetivos propuestos.

En el capítulo marco del estudio se explicarán los distintos temas que hacen al concepto de esta investigación y las relaciones que existe entre ellos. Este capítulo se divide en seis apartados, donde cada uno desarrollará las tecnologías de la información utilizadas, como así también explicará los temas desde dos puntos de vista, uno general y otro técnico en relación al tema en cuestión.

En el siguiente capítulo hablaremos sobre los antecedentes y claves del conocimiento, en el explicaremos algunas aplicaciones que utilizan los sistemas BIM, para luego detallar el comportamiento de una ellas, demostrando sus herramientas, las ventajas que posee y el porqué de su elección.

Después de haber detallado y especificado cada una de las herramientas se propone una metodología para la elaboración de modelos BIM de edificios. Este capítulo es el encargado de describir y detallar el sentido de la propuesta de trabajo, en el expresaremos las distintas acciones que debemos realizar, para lograr modelar tridimensionalmente, un edificio existente, en un sistema BIM a partir de una nube de puntos.

En el capítulo de Experimentación y Resultados, enmarca los resultados obtenidos, al procesar una nube de puntos densa en una plataforma que trabaja con BIM. Al finalizar la metodología constructiva propuesta en el capítulo anterior, logramos un modelo virtual. Dicho modelo puede ser utilizado para realizar desde análisis estructurales, hasta análisis térmicos, como así también es posible utilizarlo en términos educativos e interactivos. La nube de puntos pertenece a la iglesia Santa María la Real de Mave un edificio perteneciente al Patrimonio Histórico Español, con calificación de bien de interés cultural (BIC) conforme a la ley 16/1985, de 25 de junio. Dicha iglesia está ubicada en Aguilar de campo, en la provincia de Palencia.

Acto seguido, en un nuevo capítulo realizaremos la conclusión final y abordaremos, lo que pensamos que serán las perspectivas futuras.

El último capítulo nos demuestra las referencias.

Capítulo 2

2.1. Patrimonio histórico:

2.1.1. Presentación:

Consideramos patrimonio a todo aquello que tiene un valor universal, desde el punto de vista histórico, en el arte o la ciencia, sean monumentos, edificios o paisajes. Generalmente se encuentran amenazados por las condiciones ambientales, la inestabilidad estructural, el aumento del turismo y del desarrollo, la mayoría de las veces los inmuebles, no posee documentación técnica.

Del análisis de [3] derivamos que el patrimonio cultural es el conjunto de bienes culturales materiales e inmateriales, que se encuentra sobre el territorio. Dichos bienes se constituyen en valores estimables que conforman sentidos y lazos de pertenencia, identidad y memoria para un grupo humano. Es la herencia recibida de los antepasados, que viene a ser el testimonio de su existencia, de su visión de mundo, de sus formas de vida y de su manera de ser, y es también el legado que se deja a las generaciones futuras.

2.1.2. Finalidad:

La finalidad básica del patrimonio es la de facilitar la comprensión de las sociedades pasadas y presentes, de forma que los elementos patrimoniales se definan como testigos y fuentes para su análisis, logrando con ello el conocimiento del pasado, la comprensión de nuestro presente y el origen de los posicionamientos futuros, vinculándonos con nuestras raíces culturales y tradiciones.

El contacto directo con los elementos patrimoniales, sea física o a través de la realización de un modelo virtual que emule la obra real, puede emplearse como fuente relevante de aprendizaje socio histórico, natural y científico-tecnológico. El uso de las distintas fuentes de información sean estas, oral, audiovisual, manejo de recursos históricos, científicos, tecnológicos, etc., pueden considerarse como herramientas relevantes para trabajar el patrimonio. Se utiliza también como herramienta de trabajo y aprendizaje, el desarrollo de trabajos de campo y de dinámicas de grupos, como los juegos de rol, simulación y talleres que permiten un alto grado de interacción, tanto de forma presencial como no presencial, mediante el empleo de las redes sociales, blogs, etc.

2.1.3. Composición:

Es importante señalar que el patrimonio se divide en:

- Patrimonio Natural
- Patrimonio Cultural

El Patrimonio Natural está constituido por las reservas de la biosfera, los monumentos naturales, las reservas y parques nacionales, y los santuarios de la naturaleza.

El Patrimonio Cultural es la herencia recibida de los antepasados, formada por los bienes culturales que la historia ha legado, a los cuales la sociedad le da importancia histórica, científica, simbólica o estética. El Patrimonio Cultural se divide en dos tipos, tangible e intangible.

El patrimonio tangible es la expresión de las culturas a través de grandes realizaciones materiales; este se puede clasificar en Mueble e Inmueble.

El patrimonio tangible mueble comprende los objetos arqueológicos, históricos, artísticos, etnográficos, tecnológicos, religiosos y aquellos de origen artesanal o folklórico que constituyen colecciones importantes para las ciencias, la historia del arte y la conservación de la diversidad cultural del país.

Por el sentido del presente informe es de nuestro interés el patrimonio tangible inmueble. Este está constituido por los lugares, sitios, edificaciones, obras de ingeniería, centros industriales, conjuntos arquitectónicos, zonas típicas y monumentos de interés o valor relevante desde el punto de vista arquitectónico, arqueológico, histórico, artístico o científico, reconocidos y registrados como tales. Estos bienes culturales inmuebles son obras o producciones humanas que no pueden ser trasladadas de un lugar a otro y en muchas ocasiones necesitan ser restaurados.

Patrimonio Intangible, engloba los modos de vida, los derechos fundamentales del ser humano, los sistemas de valores, las tradiciones y las creencias.

Llevar a cabo una obra de restauración o rehabilitación en algún inmueble considerado patrimonio histórico cultural es una tarea difícil, y los motivos son varios. Principalmente carecen de documentación técnica, ya que en la mayoría de los casos son obras antiguas, otro motivo es que son construcciones realizadas con otro criterio de diseño y exigencias completamente diferentes a los actuales, y proceder a rehabilitar con los mismos criterios estaríamos en falta con el código técnico de edificación actual. Otro inconveniente es que muchas veces las exigencias de

conservación son bastante consideradas, y plantear una restauración, remodelación o rehabilitación es un estudio bastante exhaustivo.

Más adelante describiremos las nuevas tecnologías encargadas de facilitar la elaboración de la documentación técnica para este tipo de obras, dejando en segundo plano los métodos de medición convencionales.

2.1.4. Potencialidad en el medio digital:

Del análisis del informe [4] interpretamos que el patrimonio se ha beneficiado en las últimas décadas con la incorporación de tecnologías en información y comunicación, gracias a estas nuevas herramientas es capaz de mostrar y difundir sus cualidades e interés a una gama más amplia de personas, ya que en esta era es más fácil llegar a la juventud a través de los ojos y por medio virtual.

Como hemos mencionado anteriormente, la incorporación del medio digital a esta disciplina trae beneficios. Las virtudes del medio digital son:

- la especialización, trata la generación de imágenes sintéticas por ordenador.
- la ingravidez, trata de la posibilidad de los autores de difundir su obra sin intermediarios, como ejemplo la a través de la telecomunicación.
- la interactividad. supone la participación del espectador en la obra.

De lo mencionado anteriormente, ampliamos diciendo que el mundo digital, delimita en una pantalla electrónica el mundo real. El espectador puede interactuar e intervenir de manera superficial, con su mano, en este nuevo entorno, ya que los nuevos dispositivos, como Tablet, Smartphone, etc., son capaces de soportar esta tecnología mencionada. Podrán recorrer la obra, introducirse en ella y vivirla.

2.2. Herramientas de medición:

2.2.1. Presentación:

Como explicamos en el apartado anterior el patrimonio histórico es un testimonio del pasado humano, los objetos pertenecientes a este patrimonio muestran una gran variedad en su naturaleza, dimensiones y complejidad, pueden dividirse en muebles e inmuebles; los primero son los objetos y piezas de museo y los segundo pueden ser los monumentos, yacimientos arqueológicos, centros históricos, etc. Consideramos al objeto arquitectónico como un documento capaz de informarnos su realidad física, y

además ser capaz de enseñarnos de alguna manera la circunstancia histórica y cultural de cuando fue concebido, como así también si se han producido transformaciones. Un monumento y su entorno sólo puede ser restaurado y protegido cuando ha sido completamente medido, documentado y monitorizado, así como sus datos almacenados en un apropiado sistema de gestión e información y con ello evitar pérdidas relevantes.

Del análisis de [5] interpretamos que, en la actualidad la importancia e interés que poseen los proyectos de recuperación y rehabilitación del patrimonio es un hecho y su documentación emplea diversos métodos de adquisición de datos espaciales. Algunos de esos métodos son la topografía convencional, fotogrametría y las actuales técnicas de escáner láser 3D terrestre. Para la realización de este tipo de estudio y documentación es crucial la elección de la tecnología apropiada (dependiendo del lugar, la envergadura de objeto de estudio y los recursos económicos), los procedimientos adecuados, el diseño del flujo de trabajo correcto y la calidad métrica del resultado final. La selección de unas u otras metodologías es un aspecto de difícil decisión, dependerá en algunos casos de su disposición u obtención. Es evidente que la combinación de estas técnicas supondría una alternativa interesante en muchos estudios de documentación patrimonial.

2.2.2. Método convencional:

Comenzaremos explicando que el levantamiento gráfico de edificios existentes se realiza desde los comienzos de la actividad arquitectónica, generalmente las construcciones antiguas y los edificios considerados como parte del patrimonio cultural son las obras de estudio. Como se mencionó en el apartado 2.2.1. la obtención de los planos originales de las edificaciones antiguas es un caso complicado, ya que se pudieron haber perdido, pueden resultar imprecisos o en algunos casos puede que nunca hayan existido.

En rasgos generales el levantamiento del edificio por métodos tradicionales, consistente en la realización de unos croquis previos y una posterior toma de medidas, y con ello ser capaz de realizar planos de plantas y alzados del edificio.

La toma de medidas se pueden realizar por varios métodos: alineación referenciada, descomposición poligonal por triangulaciones, radiación, replanteo de distancias parciales, acumuladas y totales, y realización de croquis que detallen las imperfecciones, los elementos constructivos y cualquier singularidad que haga a la esencia de la obra.

Algunas de las Herramientas de medida que se utilizan son:

- Flexómetro (varias medidas).
- Cinta métrica de 50 m (si la magnitud de la obra es grande).
- Papel en blanco y elementos capaces de diagramar.
- Escuadras.
- Se pueden utilizar distanciómetro Láser para realizar las medidas.

Para llevar a cabo un proceso de levantamiento grafico es necesario realizar un estudio de la configuración formal y constructiva del edificio, de manera que debe ser realizado por técnicos especializados en edificación para que los resultados sean adecuados. La precisión que obtendremos con este sistema de medición, dependerá del grado de minuciosidad con el que se realice el trabajo

En la actualidad existen métodos que nos brindan resultados más precisos que los obtenidos mediante los procedimientos tradicionales.

2.2.3. Nuevos métodos de medición:

Los constantes avances científicos, y junto a ello el desarrollo de nuevas tecnologías durante las últimas décadas, han modificado la forma tradicional de abordar y realizar las actividades humanas. La revolución tecnológica que dio paso a la era de la computación, trajo consigo la rápida evolución del mundo digital. Durante este periodo se comenzaron a utilizar las nuevas tecnologías para generar información geográfica, realizar levantamientos gráficos de obras complejas en menor tiempo, procesar la información de datos y elaborar proyectos con mayor facilidad, etc.

Para la realización de este apartado nos hemos enfocado en tres tipos de herramientas de medición, pero nos he importante nombrar algunas tecnologías para generar información geográfica. Se destacan: la percepción remota (imágenes de satélite), la moderna fotografía aérea, la fotogrametría digital y el sistema de posicionamiento global (GPS).

Métodos topográficos convencionales:

Es una ciencia geométrica capaz de plasmar en un plano la superficie terrestre y los hechos existentes como muros, calles, edificios, etc. [6]. La topografía supone una herramienta auxiliar indispensable para los estudios del patrimonio al poder establecer el marco de referencia de coordenadas y la medida de los puntos de control. Este método no sólo se limita a realizar los levantamientos de campo en terreno sino que

posee componentes de edición y redacción cartográfica, para que al confeccionar un plano este se pueda entender.

Las distintas herramientas de medición son: la cinta de medir, el podómetro, escuadra de agrimensor, o el paso de un punto a otro son utilizados en agrimensura. Para dar coordenadas de un punto se utiliza un sistema de coordenadas esféricas o polares que posteriormente nos permite obtener coordenadas cartesianas. Para ello necesitamos conocer dos ángulos y una distancia.

En la actualidad este método convencional es empleado junto al GPS ya que su empleo en forma separada puede quedar relegado a la reducida extensión del objeto, yacimiento, monumento y su entorno. Esto se debe principalmente al gran esfuerzo de campo que supone esta metodología.

Método de fotogrametría:

Al analizar [7] consideramos que la fotogrametría es un método basado en imágenes, la cuales proporciona una valiosa información semántica. Con ello es capaz de supera considerablemente en precisión y reducción de tiempos a sistemas directos tradicionales; y en capacidad de discriminación de información, fácil manejo y economía sistemas tecnológicamente más avanzados como el escáner láser. Una de sus principales desventajas es el post-proceso sobre todo cuando la textura de los objetos es pobre y su forma muy complicada.

Los resultados que obtenemos con la utilización de esta herramienta son estructuras alámbricas a partir de las cuales, en conjunto con la utilización de programas BIM, se generaran entidades graficas capaces de contener y proporcionar características dimensionales, propiedades físicas y materiales, facilitando operaciones de clasificación, medición, valoración y análisis estructurales; logrando la obtención de planos convencionales de planta, alzado o sección.

Técnica de escáner laser 3D:

No existen dudas del potencial de las técnicas láser, las ventajas se relacionan con su gran capacidad de adquisición de datos espaciales en un corto periodo de tiempo. Estos sistemas aparte de capturar información espacial, pueden adquirir la información radiométrica de los puntos medidos. Los escáneres laser producen una nube densa compuesta de miles o millones de puntos, que es capaz de generar modelos de superficie de gran detalle y fiabilidad. Esta tecnología no es óptima para la captura de

elementos lineales y en general la captura de información tan densa requiere un posterior filtrado y reducción de datos.

La aparición en los últimos tiempos de aplicaciones informáticas capaces de gestionar con solvencia las nubes de puntos generadas por el escáner ha potenciado enormemente el rendimiento de esta herramienta en la obtención de levantamientos útiles en el ámbito de la arquitectura y la arqueología.

En el próximo apartado se detallara minuciosamente este método de medición.

2.3. Escaneado laser 3D:

2.3.1. Presentación:

Como hemos mencionado en el primer apartado de este capítulo, la disposición de documentación completa en el caso del patrimonio cultural es imprescindible, ya que ayudaran a la comprensión de la evolución histórica del edificio. Sin embargo muchas veces los métodos de recuperación requieren mucho trabajo totalmente manual, el cual es caro y demanda mucho tiempo de elaboración.

En la actualidad la incorporación de nuevas tecnologías, como el escáner laser 3D son, una alternativa y un complemento a los métodos de medición clásicos como la topografía y fotogrametría, ya que estos han mostrado mejor desempeño en términos de grado de automatización, precisión y velocidad, incapaces de ser obtenidas por el hombre en tan poco tiempo. Es decir el escáner láser es una tecnología que se utiliza para la creación de modelos 3D de objetos históricos, reproduce la realidad directamente como puntos espaciales con alta densidad, en tiempo real, en un entorno digital, proporcionando información métrica y radiométrica.

Al día de hoy los sensores láser están jugando un papel muy importante, por el hecho de que no solo son utilizados en la construcción, sino también en el modelado industrial, la inspección de carreteras [8], el ocio y la medicina [9], y el patrimonio [10,11].

2.3.2. Funcionalidad:

El uso del escáner láser terrestre presenta varias ventajas, entre las que destacan la precisión y cantidad de datos obtenidos en poco tiempo, y la posibilidad de realizar distintos análisis.

Del análisis de [12] se deriva que, las prioridades son: la preservación de características métricas, la generación de planos arquitectónicos a escalas determinadas en diferentes softwares de digitalización, y finalmente la reproducción de un modelo 3D virtual capaz de emular el edificio real y del cual se pueda extraer información métrica, funcionamiento, composición y estado de los elementos, a su vez con la ventaja de que puede ser visualizado fácilmente. Los visualizadores permiten explorar el modelo y generar las vistas necesarias para una mejor comprensión del objeto de estudio

El escáner laser es un instrumento topográfico que permite obtener, en poco tiempo, gran cantidad de medidas en forma de millones de coordenadas espaciales en el sistema de referencia propio del instrumento.

De las distintas posiciones de este van a depender las coordenadas geométricas (X, Y, Z) de los puntos de una “nube”. A esta información pueden añadirse las coordenadas de color (R, G, B) de dicha nube obtenidas por medio de una cámara digital. Los datos extraídos irán formando distintas nubes parciales con cada posición respectiva, cada una de ellas se irán alineando para dar lugar a una nube global que describe el sitio, se crea un modelo digital 3D que resulta ser una réplica virtual de la superficie escaneada. [13]

Las imágenes obtenidas por la cámara serán ortogonales al barrido del láser, permitiéndose relacionar cada punto de la imagen 2d, con los puntos obtenidos gracias al escáner láser 3D. Las cámaras mencionadas anteriormente pueden ser internas o externas al escáner. Las cámaras externas son más flexibles y nos proporcionan mejor calidad. El color de las imágenes varía dependiendo de la luminosidad ambiental, y están limitadas por la resolución geométrica de la superficie. [14]

2.3.3. Tecnología:

Del análisis de [15] mencionamos que existen dos tipos de escáneres 3D, en función de si hay contacto o no con el objeto. Los escáneres 3D sin contacto se pueden dividir además en dos categorías principales: escáneres activos y escáneres pasivos, las tecnologías a desarrollar se encuentran dentro de los escáneres activos, y haremos hincapié únicamente en ellos.

Escáneres 3D sin contacto, activos:

La tecnología utilizada por estos escáneres de laser 3D son “diferencia de fase “y “tiempo de vuelo”.

El enfoque de la diferencia de fase se basa en la comparación entre la luz emitida y la recibida, y utiliza dicha medida para estimar la distancia. El haz láser emitido por este tipo de escáner es continuo y de potencia modulada. Esta tecnología es utilizada convenientemente para la gama de medición pequeña/mediana sobre todo cuando se necesita una gran cantidad de datos.

El enfoque del tiempo de vuelo se basa en medir el tiempo que tarda un impulso del láser en salir del sensor, llegar al objeto y regresar, calculando así la distancia de cada punto del panorama, permitiendo una alineación virtual de un panorama de cámara digital con la nube de puntos, mediante una coalineación de sensores, debido a que la cámara está integrada en el instrumento. [16]

2.3.4. Utilidad:

El abanico de utilidades de esta herramienta es muy amplio, abarca como se mencionó con anterioridad, en la industria, ingeniería inversa, documentación, entretenimiento, patrimonio cultural, medicina, generación de modelos digitales del terreno y/o elevación, etc.

Describiremos la utilización del escaneo láser en la rehabilitación con BIM: Gracias a la constante evolución de la tecnología, es posible aplicar el escaneo láser en diferentes etapas de un proyecto, en particular en los proyectos de mantenimiento y/o rehabilitación.

Un proyecto de esta envergadura se aplica hoy en día a los edificios antiguos, ya que en la mayoría de los casos estos no poseen la documentación necesaria para generar algún tipo de proyecto. Y con la aplicación de esto podrían generar hasta un modelo BIM 3D. Por otra parte, en los casos de edificios de modelado para la rehabilitación sería una herramienta valiosa, permitiendo este caso la reconstrucción completa del edificio, a través de la implementación de nube de puntos para un sistema BIM.

En estos casos el escaneo láser tiene como objetivo remediar los errores que son inherentes en el uso de documentos en 2D, aunque el modelado 3D lo realice el mismo operador.

2.4. Rehabilitación:

2.4.1. Presentación:

Como describimos en el anterior apartado cabe aclarar la importancia del patrimonio histórico, y el actual interés y auge por su rehabilitación, cobrando mayor protagonismo en volumen económico y dificultad técnica dentro de la industria de la construcción.

Los edificios sean estos viviendas unifamiliares o centros públicos, con el correr de los años empiezan a deteriorarse y es por ello que necesitan rehabilitaciones que mejoren la calidad de vida y la durabilidad, como así también en algunos casos mejorar su funcionalidad o modificar su aspecto con la utilización de nuevos materiales para estar acorde a la estética actual.

Podemos señalar que rehabilitar es más económico y sostenible que construir un edificio nuevo. Esto se debe en gran medida a que al rehabilitar, generamos ahorro energético y de contaminación en un 60% aproximadamente, en relación a la edificación de uno nuevo. El ahorro económico, la contribución a la sustentabilidad por el aporte de beneficios medioambientales a la hora de reducir emisiones contaminantes, como la posibilidad de reintegrar zonas anegadas o relacionar el edificio con la urbanización, han influido y potenciado en este fenómeno de rehabilitar como se ha señalado anteriormente.

2.4.2. Motivos:

Varios son los impulsos para que los edificios necesiten restaurar, rehabilitar o renovar sus fachadas. Pero generalmente los motivos principales son dos:

- **Motivos estéticos y de seguridad:** En el cual se trata la suciedad, desconchones, desplome de elementos a la vía pública. Este es utilizado principalmente en la restauración de edificios con carácter histórico, donde modificar la esencia de su imagen es un delito hacia el edificio, ya que el mínimo cambio modificaría su valor histórico.
- **Razones funcionales:** Aquí se tratan, mala accesibilidad, goteras, instalaciones obsoletas o estropeadas, mejorar el confort de la vivienda.

Aunque anteriormente hemos descrito sobre el patrimonio histórico, elaboraremos una breve reseña del mismo en relación a una posible rehabilitación. Para abordar una obra de rehabilitación de algún edificio con valor histórico es importante considerar las siguientes exigencias:

- **Autenticidad:** histórica, estética, constructiva y tecnológica;
- **Compatibilidad:** entre los materiales originales y los materiales incorporados.
- **Durabilidad de las soluciones aplicadas sin originar daños.**
- **Economía:** resolución oportuna de las anomalías (sustentabilidad).
- **Incremento de desempeño:** deben tener bajo impacto visual y mantener el proyecto original.

2.4.3. Planificación:

A la hora de planificar una rehabilitación es importante tener en cuenta lo ya explicado y comprender que las normas reglamentarias y las leyes de construcción fueron muy diferentes a lo largo de la historia. En la actualidad las normas están adecuadas a las construcciones nuevas y son de difícil actuación cuando se aborda una obra con valor histórico.

Del análisis de los trabajos [17, 18, 19] y en conjunto a lo abordado hasta el momento podemos citar la existencia de 5 pasos para intervenir en la preservación del patrimonio.

1. **Estudio histórico:** constituida por dos conjuntos: información de época e información específica.
2. **Diagnóstico:** la inspección es el primer paso para evaluar el estado de conservación del edificio.
3. **Fase de proyecto:** debemos considerar, la Integración de la preexistencia, reutilización de materiales y de elementos constructivos, mejoría de la eficacia de los elementos constructivos y la integración de nuevos materiales y técnicas.
4. **Fase de obra:** operaciones de derrumbamiento (si fuese necesario), elementos a preservar, elementos para reciclar.
5. **Obligaciones de mantenimiento:** elaboración de un plan de control, seguimiento y mantenimiento de los edificios con valor patrimonial, como así también de los demás edificios.

Continuando el hilo explicativo sobre la rehabilitación mencionaremos que esta incorpora dos pautas de actuación, una es la reforma y otra es la restauración. Es por ello que repetimos que gracias a la restauración devolvemos al inmueble su característica inicial, regresando a su aspecto original que pudo haber desaparecido por el paso del tiempo, y con la reforma mejoramos el valor de la vivienda.

Párrafos anteriores hablamos sobre la existencia de dos motivos que generalmente nos conducirían a una obra de rehabilitación, sin embargo existen otras razones igualmente importantes:

- Mejora del aspecto y del confort, devolviendo el valor real al inmueble tratado.
- Dotarlo de valor turístico, haciéndolo un escenario que conduzca a un rendimiento económico y social.
- Realzar la riqueza de la Arquitectura histórico-artística.
- Código Técnico de la Edificación.
- La existencia de modernos materiales y técnicas constructivas que agilizan la transformación.

En la actualidad los avances en las técnicas constructivas han ayudado a solucionar los inconvenientes contribuido a las intervenciones de estos inmuebles, pero es sumamente importante tener en cuenta que todo avances tecnológico lleva consigo mayores responsabilidades y exigencias a la hora de abordar las condiciones medioambientales, de calidad y de plazo que pesan actualmente en el sector.

2.5. Tecnología BIM:

En este apartado abordaremos el tema BIM, sus características y dimensiones. Con ello pretendemos demostrar la utilidad y la eficacia de la aplicación de esta tecnología.

2.5.1. Significado de “BIM”:

Cabe aclarar el significado del acrónimo BIM para comprender su aplicación y función. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) según el Instituto Nacional Estadounidense de Ciencias de la construcción es: *“A BIM is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such it serves as a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its lifecycle from inception onward”*. [20]

Su traducción en castellano puede interpretarse como: Modelado Integrado de Información para la Construcción. El cual es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. Posee información total del edificio, es capaz de brindar los conocimientos sobre las instalaciones y con ello forma una base fiable para las tomas de decisiones durante su ciclo de vida.

Referenciándonos en la historia damos a conocer que el concepto BIM ha existido desde los años 70, siendo utilizado por primera vez por el arquitecto Phil Bernstein. La primera implementación fue realizada por Graphisoft a través de su software ArchiCAD el año 1987. [21].

Con el uso de esta tecnología podremos crear maquetas tridimensionales con información paramétrica de sus elementos, con propiedades de materialidad, geometría, montos, costo o cualquier otro tipo de característica necesaria que pueda solicitar el cliente, logrando con ello que una simple representación gráfica se transforme en un proyecto virtual con condiciones reales. Es fundamental para lograr la implementación correcta de esta tecnología que exista comunicación y coordinación entre las partes que intervienen.

Por otra parte interpretando a [22] establecemos que BIM se basa en la creación de un modelo virtual de un determinado edificio. Donde el modelaje integral del edificio está conformado por herramientas, procesos y tecnologías, que se encarga del mismo desde su concepción hasta el final de su vida útil. La información del proyecto se comparte entre todos los responsables que participan, que en general son todos aquellos involucrados con el diseño, construcción y operación del proyecto. BIM es multidisciplinario, y la coordinación que facilita permite tener un intercambio de datos en tiempo real de manera coherente, precisa y completa, mejorando así aspectos como son la eficiencia y efectividad, como así también permitirá la detección de errores con mayor facilidad.

Hasta el momento no se ha mencionado pero el sistema BIM trabaja con interoperabilidad. Esta capacidad permite integrar cada sistema existente con cada sistema y versión nuevos. [23]. Para lograr esta característica, una vez modificado algún elemento debe ser resuelto y/o no tener errores en comparación al modelo modificado por otro usuario para llegar a una interoperabilidad completa. [24].

BIM además de ser un modelo en tres dimensiones (información gráfica) incorpora información relevante del proyecto (información no gráfica) la cual queda guardada en la base de datos del modelo. También podremos observar que el modelo digital

representa las características físicas y funcionales del proyecto, además como explicaremos más adelante integra el tiempo como una cuarta dimensión, el coste y presupuesto como quinta dimensión, la sustentabilidad como sexta y el ciclo de vida útil como séptima dimensión.

La siguiente imagen demuestra, como se relacionan las distintas partes que componen un proyecto, a partir de un programa BIM.



Fig.1: Representación esquemática del trabajo multidisciplinario en BIM.
Fuente <http://itcformacionyconsultoria.com/tag/bim/>.

2.5.2. Beneficios:

Como se mencionó en el apartado anterior BIM no es solo un programa de diseño de arquitectura, ingeniería o construcción, es mucho más que una tecnología 3D donde cada objeto tiene su información, su alcance aborda los ámbitos del ciclo de vida útil del edificio, la eficiencia térmica, el cómputo y presupuesto, y la programación. Considera los distintos aspectos del proyecto, desde la ilustración a la información geográfica del mismo, nos brinda la posibilidad de trabajar con interoperabilidad en tiempo real, estimulando la capacidad de trabajar en equipo. BIM tiene diversas ventajas por sobre otros modelos de diseño y construcción:

- Mejora la comunicación y coordinación interdisciplinaria del proyecto, a través de la visualización y el acceso simultáneo de información relevante para cada uno de los participantes.

- Permite realizar revisiones de constructibilidad efectivas, que antes eran impensables en proyectos de edificación.
- Permite tener toda la información sobre el proyecto de manera centralizada y no diseminada en diferentes lugares, evitando tener varias versiones de la misma información con las incompatibilidades que esto conlleva.
- Detecta y soluciona interferencias dentro del modelo digital, en lugar de encontrar estos problemas durante la etapa de construcción.

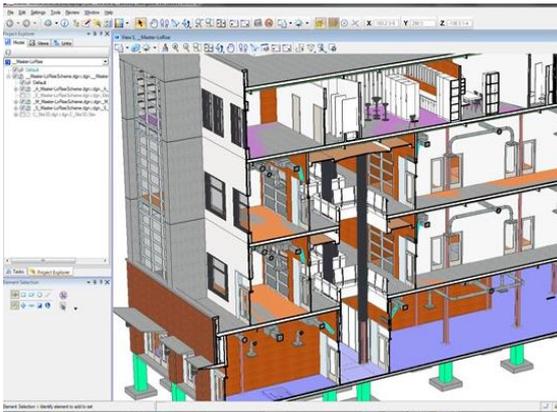


Fig.2: Demostración del funcionamiento BIM en una sección multidisciplinar.
Fuente: <http://communities.bentley.com/>

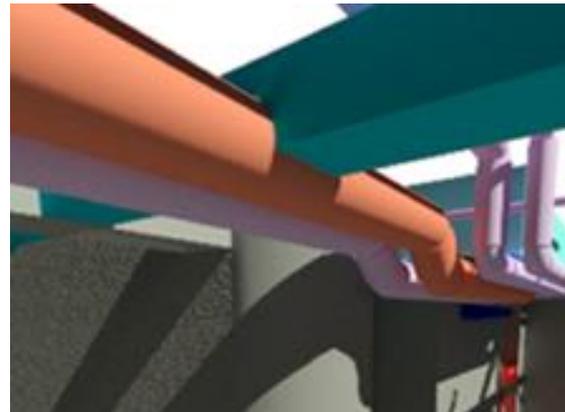


Fig.3: Demostración de detección de interferencia dentro del modelo digital.
Fuente: <http://www.bimworks.cl/>

- Construye el proyecto digitalmente, analizando diversas alternativas y buscando la manera más eficiente de llevar a cabo la construcción. (Programación 4D).
- Al trabajar con objetos paramétricos, existe un beneficio asociado a la rapidez en la que se puede crear y/o modificar la información contenida en el modelo.
- Menor tiempo asignado a la elaboración de documentos y traspaso de Información.
- Obtención de los planos del proyecto: de plantas, de secciones, de elevaciones, de detalles y vistas 3D isométricas, al mismo tiempo.



Fig.4: Demostración de modelado 3D de un proyecto.
Fuente: <http://flowers.mostpopularimages.org/>

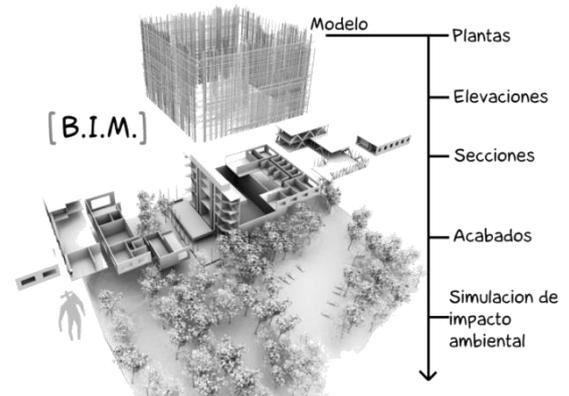


Fig.5: Demostración del modelado de información para la Edificación
Fuente: <http://mrmannoticias.blogspot.com.es/>

- Creación de imágenes fotorrealistas (renders), vistas de perspectivas, animaciones y escenas de realidad virtual para el marketing del edificio.
- Muestra importancia al papel de los propietario no sólo en los inicios del diseño de edificios, sino también en su planteamiento, mantenimiento y operación a largo de su ciclo de vida.

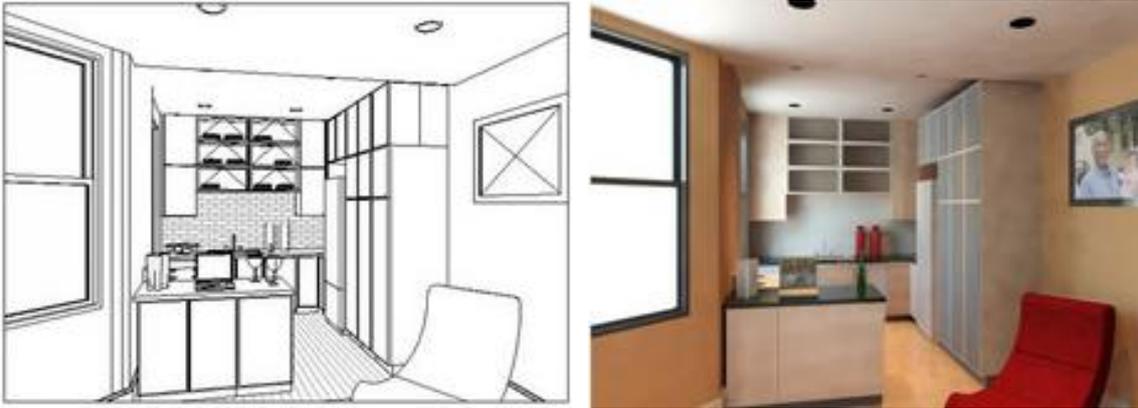


Fig.6: Representación de imágenes fotorrealistas en BIM.
Fuente <http://autodesk-revit-architecture.softbull.com/imagenes>

Las ventajas señaladas permitirán lograr mayor calidad en el trabajo desarrollado, ya que gracias a la interoperabilidad será posible disponer de mayor tiempo de diseño, el cual era antes utilizado en la elaboración de los planos.

Cabe aclarar que estos beneficios se verán reflejados a mediano o largo plazo, ya que existen una serie de costos asociados, que se deberán amortizar, como ser el costo de la obtención del software profesional, la capacitación para el aprendizaje de su uso, etc.

2.5.3. Dimensiones BIM:

En esta sección abordaremos las dimensiones BIM, y observaremos que gracias a ellas es posible lo descrito en los apartados anteriores de este tema.

Es importante aclarar que en general la gran mayoría desconoce la magnitud de los sistemas BIM y se comete el error de hablar siempre sobre 2D o 3D, pero BIM va más allá e implementa siete dimensiones (7D).

Entendemos que al hablar sobre **2D BIM** nos referimos a todo acerca de los planos y especificaciones, al interpretar **3D BIM** implicamos la visualización de los conflictos de diseño antes de iniciar cualquier trabajo de campo. Las dos dimensiones mencionadas anteriormente están en el consiente humano hace varios siglos, pero en la actualidad

además de ambas veremos la aplicación de **4D BIM** que es una dimensión de programación, donde entra en juego el tiempo de desarrollo del proyecto, una **5D BIM** la cual incluye la definición de costos basado en modelos, con un cálculo exacto de precios basado en la información de una medición precisa. La **6D BIM** se refiere a la contratación, análisis de la propiedad y la sostenibilidad del proyecto, como último mencionamos la **7D BIM**, esta analiza el ciclo de vida del edificio, incluyendo su operación y mantenimiento.

La siguiente imagen nos representa en forma sintetizada, los puntos que abordan cada dimensión.

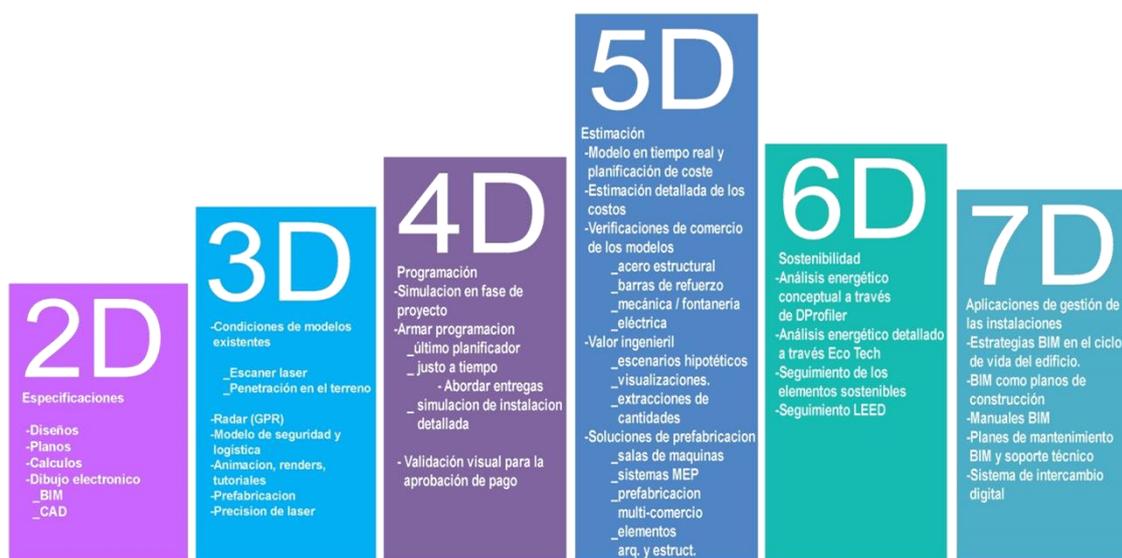


Fig.7: Explicación de las distintas dimensiones posibles de manipular con BIM.

Fuente: <http://bradleybim.com/2013/11/24/download-mcgraw-hill-lean-construction-bim-report-2013/>. Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original.

A continuación explicaremos detalladamente cada una de las dimensiones señaladas.

2.5.3.1. 2D BIM o Planos y especificaciones:

Las plataformas de modelado 2D y 3D son cuasi contemporáneos, pero la facilidad de uso y aprendizaje del primero hicieron que sea una herramienta más popular.

En la actualidad observamos que BIM y CAD imitan el proceso tradicional de diseño en papel y lápiz con dibujos electrónicos, creando gráficos en 2D. Pero ambos se diferencian ya que CAD trabaja con elementos gráficos como líneas, tramas, textos, etc., en forma independiente y BIM emula un proceso de construcción real, modelando el edificio virtual con elementos que compondrían a una construcción real, como ser muros, ventanas, cubiertas etc. Al ser estos elementos constructivos paramétricos y

estar guardados en un mismo modelo virtual, veremos que al producirse algún cambio en un plano, el mismo se repetirá en todo el proyecto modelado. Con lo descrito es posible mencionar que BIM ofrece más beneficios durante la construcción y operativa de los edificios.

El sistema CAD es una herramienta productiva y en ella es posible modelar en 3D. Pero al trabajar con líneas, tramas, textos en forma independiente hace que una de sus mayores dificultades sea realizar cambios en el proyecto terminado, ya que al producirse alguno tendría que ser modificado plano por plano. Sumado a ello el inconveniente de que los distintos profesionales encargados del diseño, cálculo y construcción trabajan por separados y que el software no consigue discernir conflictos entre copias dentro de un mismo proyecto. Aunque en la actualidad es la plataforma de diseño más utilizada entre los profesionales.

La anticipación de las decisiones de diseño tiene ventajas significativas sobre las prácticas actuales. En efecto, el coste de las modificaciones producidas en los proyectos de construcción va aumentando a medida que se vayan haciendo sobre el final de la etapa del proceso de construcción, esto lo veremos reflejado en la siguiente imagen:

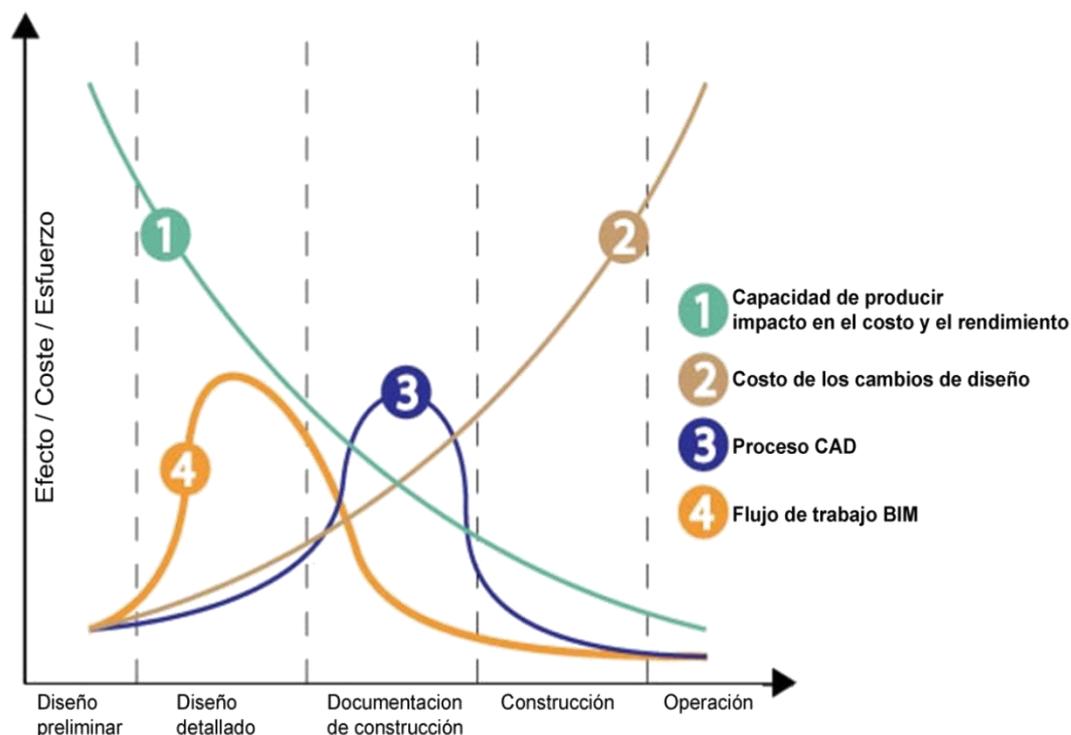


Fig.8: Curva de Macleamy.

Fuente: <http://marcatects.com/bim/save-time-money/>. Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original.

La grafica anterior compuesta por curvas fue elaborada por **Patrick MacLeamy**, en ella demuestra que el mayor esfuerzo en la fase de diseño beneficia a todo el

proyecto. Esto es posible ya que al brindar mayor importancia y dedicación al diseño es posible anticiparse a los acontecimientos y se pueden conocer los problemas del diseño antes de que lleguen a suceder. Pero el verdadero beneficio se dará en el coste, ya que este esfuerzo se llega a percibir como un valor añadido al proyecto.

Es por ello que remarcamos la importancia del cambio de CAD a BIM, ya que no solo es un cambio de sistema sino, que engloba una amplia gama de beneficios, los cuales se reflejarán a largo plazo.

2.5.3.2. 3D BIM o Visualización 3D y coordinación del proyecto:

A pesar de la facilidad y popularidad que benefician a las herramientas 2D, el resultado final de todo proyecto es su materialización, y es por ello que la tercera dimensión es visualmente la más atractiva, ya que es capaz de simular a modo de maqueta virtual el aspecto final de la obra a realizar.

Como hemos mencionado anteriormente en BIM cuando modelamos, lo hacemos desde su inicio en 3D, siendo posible crear vistas, analizar el edificio desde diferentes perspectivas, de modo tal que al producirse algún cambio en el modelo 3D, esta modificación se hará permanente para el resto de ella, por lo cual consideramos que el modelo tridimensional es la herramienta básica de trabajo.

Es importante señalar que en un sistema BIM la tercera dimensión es más que una herramienta netamente visual, ya que esta es utilizada para introducir y mostrar datos. La calidad de las imágenes que obtendremos de un modelo virtual en un sistema BIM dependerá en partes iguales, del software que usemos y del hardware del que disponemos.

Como hemos mencionado anteriormente los sistemas BIM trabajan con objetos como muros, losas, columnas, puertas, ventanas, etc., donde cada uno posee información y forma establecida, el conjunto de ellos representarán la geometría del edificio, logrando el modelo 3D, el cual se asemejará de manera perfecta al producto final, como lo hemos diseñado. Gracias a la capacidad que poseen los sistemas BIM de permitir realizar cambios en el modelo 3D y que se visualicen automáticamente en el modelo 2D genera una mejor percepción y coordinación a los usuarios BIM.

Los primeros pasos de BIM consistieron en la transición de CAD-2D a BIM-3D, donde su modo de trabajo era transformar la documentación del proyecto 2D terminado a una plataforma 3D. Ya que las plataformas CAD trabajan con geometría independiente y en un principio solo coordinaban las posibles 'colisiones' entre la estructura y los

sistemas de construcción, el traspaso de un programa a otro podía llegar a ser erróneo o contradictorio si no existía coordinación y empeño entre los trabajadores.

Con el avance de las tecnologías y en conjunto a la evolución de estos programas que aportaban los beneficios de la automatización, la generación de documentación y los sistemas de detección de colisiones, se comenzaron a coordinar los trabajos en un entorno BIM.

La mayoría de los objetos con los que se trabajan en BIM suelen ser objetos fabricados con anterioridad, cuya información está catalogada en PDF o CAD, y el modelado de estos a BIM demandan mucho tiempo. En la actualidad se está investigando la elaboración de objetos inteligentes, capaces de ser tratados por los programas BIM.

Como hemos explicado la importancia de la tercera dimensión está clara, y el paso de un sistema CAD a uno BIM es esencial para la evolución en la construcción. Para dar el salto de CAD-2D a BIM y comprender el verdadero impacto de este es necesario pasar por los siguientes pasos.

- **Filtro de datos:** Los datos de los modelos CAD son filtrados antes de ser importados en un sistema BIM.
- **Identificar geometría proyectada:** Este proceso se establece orientando varias vistas dentro de una caja de visualización que proporciona los tres planos - XY, YZ, ZX.
- **Alinear varias vistas geométricas:** Usa una técnica de traducción básica que incluye por lo general sólo un comando para mover al plano apropiado.
- **Extrusión:** Utilizado para modelar superficies complejas.

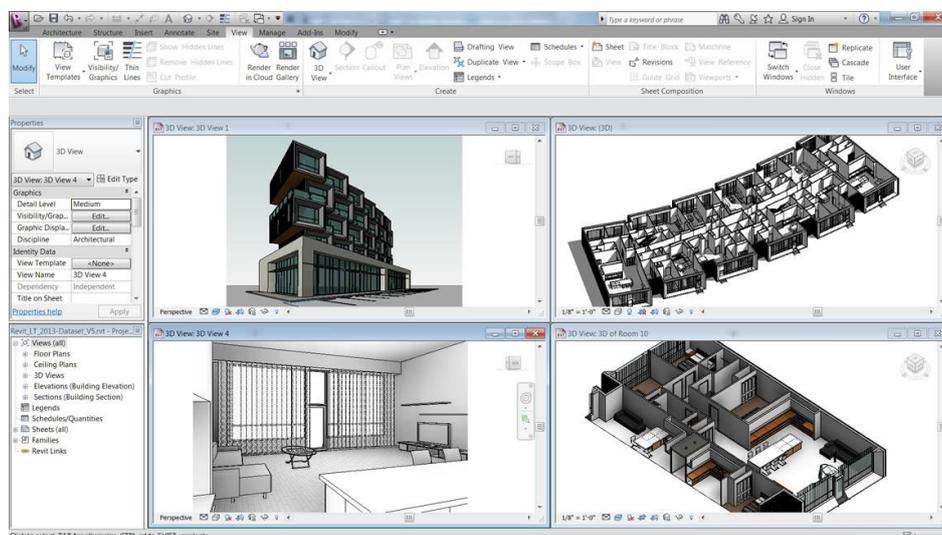


Fig.9: Generación de vistas 3D desde cualquier ángulo para visualizar los espacios en el diseño.

Fuente: <http://www.autodesk.es/products/revit-it/overview>

2.5.3.3. 4D BIM o dimensión de programación:

En los apartados anteriores hemos visto la importancia de los sistemas BIM, al manipular los proyectos tanto en 2D como en 3D, siendo este último el encargado de representar visualmente el aspecto que tendría el proyecto, cómo se integra en el paisaje actual, y crear un recorrido virtual capaz de mostrar a los visitantes como sería desenvolverse en el edificio, o como interactuarían unos objetos con otros. Como complemento de ello veremos la introducción de una nueva dimensión, la cual integra el tiempo en el proceso.

Cabe aclarar que a modo convencional la estimación del tiempo de duración de un proyecto es capaz de calcularse a grosso modo a partir de la geometría volumétrica del edificio y la experiencia combinada del Project Manager y el Jefe de Obra. Pero esta cuarta dimensión en BIM es capaz de:

- Relacionar la información 3D con la programación del proyecto.
- Hacer visible de forma intuitiva y comprensiva a través de guías sencillas simulaciones animadas en las que se indica:
 - Los plazos
 - Las operaciones de la obra
 - La cadena de suministro y los precios
 - La tasa de productividad
 - El personal necesario.

Es por ello que somos capaces de mencionar que aporta un alto nivel de inteligencia en el procesado y una fácil colaboración para el diseño y construcción de edificios. Esta herramienta no se trata únicamente de hacer presentaciones comprensibles, también permite:

- Realizar planificaciones improvisadas ante cualquier cambio y/o inconveniente que se produzca desde la puesta en marcha de la obra.
- Optimizar los flujos de trabajo.

La utilización de la cuarta dimensión BIM podría reducir la duración del proyecto en un 10%, esto es posible gracias a los atributos mencionados con anterioridad. Existen diferentes tipos de plataformas capaces de producir animaciones 4D con secuencias de construcción y planificación, como así también programas que permiten crear tablas de programación temporal como por ejemplo: Microsoft Project, Oracle Primavera, Vico Software, Innovaya Simulation, etc.

Es importante remarcar que a lo largo de este apartado hemos explicado lo que es una programación 4D (BIM 4D), y como existen una gran diferencia entre esta y una animación 4D.

Como se mencionó en el apartado de los beneficios, el rendimiento de los sistemas BIM se verán reflejados a mediano o largo plazo, y es por ello que si no se cuenta de antemano con estas herramientas, para un proyecto pequeño o de tamaño medio, el costo que produce el uso de tecnologías BIM es demasiado alto para ser viable. Con el correr de los años en conjunto a la constante evolución del sistema, los precios de adquisición serán menores y es por ello que veremos su utilización en mayor medida.

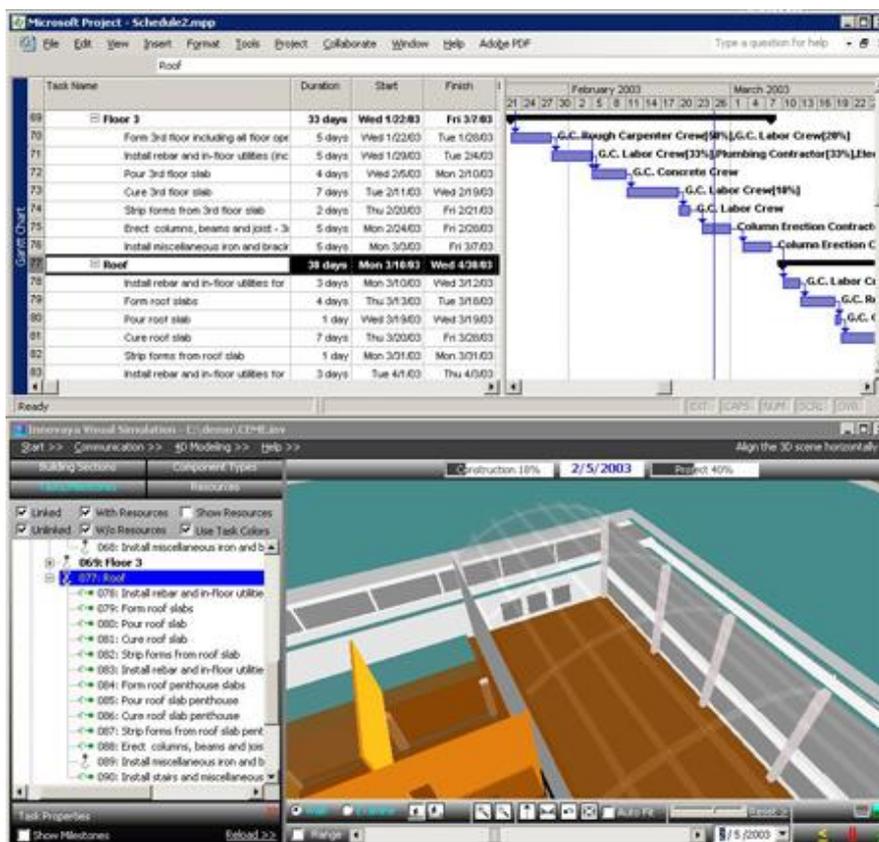


Fig.10: Secuencia de construcción y planificación 4D, agregando el factor tiempo del programa de construcción al modelo 3D.

Fuente: <http://www.bimgroup-peru.com/p/servicios-bimgroup.html>

2.5.3.4. 5D BIM o Modelo basado en el cálculo del coste:

Esta dimensión puede ser definida en términos de las funciones multidimensionales: ya que se considera como la suma entre 3D, 4D y el costo. La dimensión 3D por el uso de las dimensiones espaciales de ancho, largo y profundidad para representar un objeto, como también la programación de elementos; 4D por darnos la posibilidad de vincular los elementos 3D individuales con la línea de tiempo de ejecución de

proyectos, incluyendo la cantidad y programación de los recursos. Tanto los proyectistas, como los contratistas pueden usar BIM para la verificación, orientación y el seguimiento de las actividades de construcción.

Es por esto que decimos que 5D-BIM es la integración del diseño con el cálculo, previsión y cálculo de costos, incluyendo la generación de listas de cantidades, y la derivación de los índices de productividad y los costos laborales. Integrar esta dimensión permitirá:

- Ofrecer a los clientes la oportunidad de explorar varios escenarios diferentes.
- Estimar los costos que se puedan vincular al modelo BIM, de modo que un cambio en el diseño se refleje inmediatamente en el presupuesto y el programa.
- Trabajar en un "modelo vivo", lo que significa que un cambio en la geometría de la instalación (modelo 3D) cambiará los cálculos para el programa y el costo.
- Proporcionar a los equipos de proyecto con:
 - Los horarios de carga de recursos.
 - Las previsiones de flujo de caja.
 - El análisis preciso y detallado de los riesgos de proyecto.
 - Las previsiones de recursos para los principales subcontratistas.

El crecimiento y evolución de este sistema dependerá de la frecuencia de uso por parte de los técnicos, y/o de toda persona vinculada a la materia.

Por otro lado es interesante conocer también que los técnicos de sistemas BIM han desarrollado enlaces de interoperabilidad como el IFC. Este formato es capaz de realizar transacciones de datos siempre y cuando el software emisor de la información use el mismo código que el software que recibe la información. La transferencia de elementos de información complejos requiere un acuerdo más allá del propio formato IFC y, en muchos casos, no existe.

Del análisis del informe de [25] deducimos que aparte de la existencia de interoperabilidad entre las dos bases de datos respectivos, es necesario tener en cuenta la relación entre los profesionales involucrados para que el enlace entre dos programas funcione correctamente. En la actualidad la mayoría de los equipos que trabajan con BIM, lo hacen de manera deficientemente, produciendo diferentes derivadas en los programas de desarrollo de costo, esto se debe a que a pesar de

trabajar en forma colaborativa, cada uno realizar su parte del trabajo sin tener en cuenta el trabajo de los demás intervinientes.

Dado a las propiedades que hemos señalado podemos interpretar a esta dimensión como una nueva forma de trabajar con los grupos técnicos del proyecto y propietario, abarcando una gran cantidad de información y experiencias en el proyecto de una manera visualmente comunicativa.

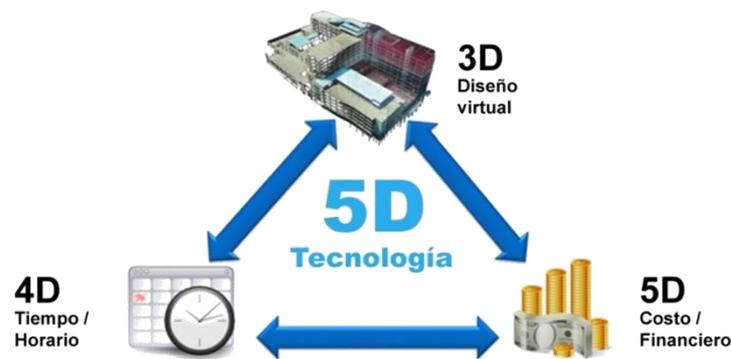


Fig.11: Representación esquemática de la relación entre las distintas dimensiones formando una 5D a partir de la adición de los datos financieros.

Fuente: <http://www.uscost.com/5d-bim-education/> Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original.

2.5.3.5. 6D BIM o dimensión de sostenibilidad del proyecto:

La utilización de esta sexta dimensión ayuda a realizar un análisis del consumo energético. Puede dar lugar a estimaciones más completas y precisas de energía durante el diseño y también en la construcción del proyecto. Esta herramienta nos permite crear variaciones e iteraciones en:

- la envolvente
- los materiales utilizados
- el tipo de combustible utilizado para enfriar/calentar la vivienda
- la huella de carbono que produce la totalidad del proyecto.

Del concepto de sustentabilidad de [26] deducimos que el desarrollo sostenible hace referencia al desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Es importante señalar que el sector de la edificación consume el 40% de la energía mundial y es el encargado de producir la mitad de CO₂ emitido a la atmósfera, estos datos nos demuestran el impacto ambiental que producen los edificios durante su ciclo de vida. Este consumo desmedido de energía acarrea consigo impactos económicos y sociales. Es por ello que la organización de normalización ASTM16, en su norma E2114-08, define que un edificio es considerado sostenible cuando aquel es capaz de

relacionar los requisitos necesarios para la construcción, con la capacidad de minimizar las perturbaciones y mejorar el funcionamiento de los ecosistemas, durante su periodo de construcción y ciclo de vida útil. También considera que es necesario que este tipo de edificio minimice los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

En la actualidad, es evidente la creciente preocupación por la crisis medio ambiental, y la construcción es uno de los principales consumidores de energía, es por ello que debemos ser capaces de crear edificios teniendo en cuenta el entorno que nos rodea, el impacto que producirían, el consumo de su materialización y su futuro mantenimiento.

En algunos países se han desarrollado certificados de eficiencia energética como el Leed. Este es un sistema de certificación desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (**US Green Building Council**).

Existen cuatro niveles de certificación, estos incorporan aspectos relacionados con: la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales.

En el caso de España se ha publicado el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, donde se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. La escala de la calificación energética son siete letras correlativas. De la letra A (edificio más eficiente energéticamente) a la letra G (edificio menos eficiente energéticamente). Además también constará, entre otros datos, información sobre el consumo de energía anual (kWh/año y kWh/m²) y sobre el consumo de CO₂ Anual (kgCO₂/año y kgCO₂/m²). Es obligatorio que la etiqueta energética acompañe a cualquier actividad comercial que se realice para vender o alquilar una vivienda, y también a los edificios públicos que ocupen más de 250 m² y sean frecuentados habitualmente por el público. La etiqueta energética y los certificados energéticos o certificados de eficiencia energética caducan a los 10 años de su emisión.



Fig.12: Escala de la calificación energética.
Fuente: <http://certificadodeeficienciaenergetica.com/profesional/5237>

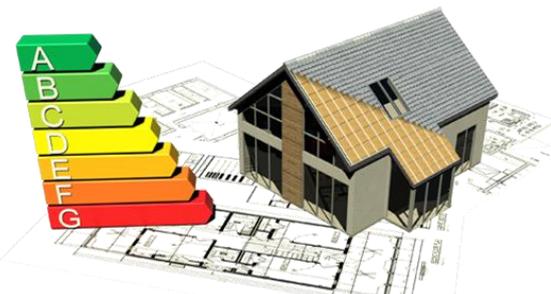


Fig.13: Procedimiento básico para la calificación energética.
Fuente: <http://certifikablog.com/>

Como veremos en la siguiente imagen la plataforma REVIT que trabaja con BIM ha incorporado esta dimensión y la implementación de esta herramienta conduciría a una reducción global del consumo energético, ya que como se dijo anteriormente es responsable de realizar los cálculos energéticos necesarios durante la fase de diseño de un proyecto, teniendo en cuenta todas sus características funcionales, arquitectónicas y de localización. También puede ser empleada como herramienta para rehabilitar eficientemente una obra ya construida.

2.5.3.6. 7D BIM o Aplicaciones operacionales del ciclo de vida:

La séptima dimensión nace con la idea de ser una herramienta que facilite al cliente final la gestión de las instalaciones durante todo su ciclo de vida. Permite extraer a los participantes el seguimiento de los datos activos relevantes realizados, tales como el estado del componente, especificaciones, manuales de mantenimiento / operación, datas de garantía, etc.

El período de construcción para cualquier edificio varía en función de los factores predominantes, sin embargo el período de operación de los proyectos será mucho mayor. Es por esta razón que los procedimientos de gestión de las instalaciones deben estar en el centro de cualquier política de BIM.

Al hablar del ciclo de vida de un edificio entendemos que este abarca desde la finalización de la fase de IPD (**Integrated Project Delivery**) y durará hasta la demolición. Entendemos IPD como el conjunto de métodos de trabajo que posee como finalidad lograr reducir los gastos y maximizar la eficiencia de todas las fases de diseño, fabricación y construcción. Generalmente esta etapa subsiste durante el periodo de construcción del proyecto, y podemos considerarla como la etapa de diseño, contratación, construcción y puesta en marcha.

7D-BIM es también la fase de gestión de activos del proceso BIM e incluye la gestión de las instalaciones, de los datos subcontratista y proveedor. Podemos señalar que gracias a esta dimensión facilitamos el proceso de mantenimiento normativo y preventivo de las instalaciones. Con la utilización de esta herramienta podemos de manera más fácil y rápida obtener:

- Piezas de recambio: ya que posee planillas donde se han especificado marcas, productos, dimensiones y composición de los objetos.

- Optimizar el ciclo de vida: porque ayuda a entender cómo realizar el seguimiento de equipos, sistemas y componentes, al integrar los datos sobre la esperanza de vida y los costos de reemplazo de los modelos.
- Gestionar el mantenimiento: los modelos BIM poseen toda información necesaria sobre el edificio y sus equipos.
- Gestionar el espacio: los modelos BIM poseen las dimensiones y ocupación de los espacios, esto facilitara la realización del cálculo para estimar la mano de obra necesaria para su materialización.
- Instalaciones y BIM, que permite al modelo BIM retener la utilidad lo largo del ciclo de vida del edificio.
- Etc.

Una vez que el proyecto se ha desarrollado, y contamos con las restantes dimensiones es decir las 2D, 3D, 4D, 5D y 6D, el propietario tendrá en su poder un modelo virtual de la futura construcción, que contendrá toda la información relevante para la gestión de la propiedad, sistemas y componentes de construcción para la vida de la instalación. Podríamos decir que el modelado de información (BIM) es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación.

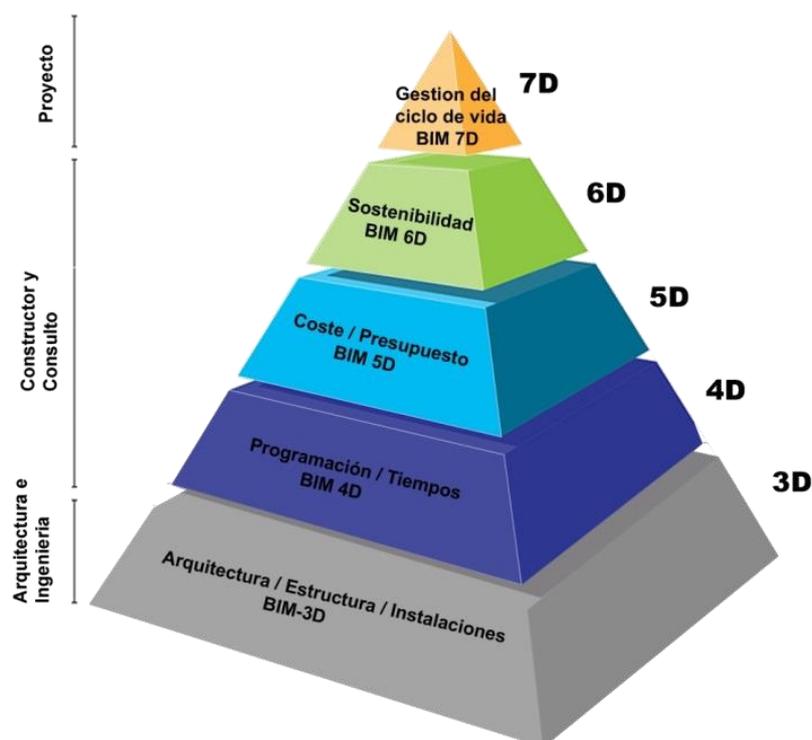


Fig.14: Pirámide conceptual del BIM.

Fuente: http://www.aristeo.com/?page_id=1739. Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original, e inclusión de un nuevo bloque a la pirámide.

2.5.4. Usos de “BIM”:

Los principales exponentes de la tecnología BIM son Finlandia, Noruega, Singapur y Estados Unidos, gracias al soporte e iniciativas privadas y gubernamentales asociadas al desarrollo de la industria de la construcción.

Del análisis de [27] se deriva que veremos reflejados estos avances en:

- Finlandia, ya que las inversiones públicas vienen costeadando la investigación de nuevas tecnologías desde los años 70. Además desde el año 2001 se han llevado a cabo una serie de proyectos pilotos para el desarrollo y estudio de BIM en la construcción.
- En Noruega, desde el año 2011 todos los proyectos públicos encargados deben ser presentados con programas BIM. Gracias a esta iniciativa el conocimiento de BIM en la industria de la construcción noruega se ha expandido al punto de que actualmente la mayoría de los proyectos razonablemente complejos usan esta tecnología.
- En Singapur, el panorama de implementación es similar a los anteriores, se espera que para el 2015 la mayoría de las construcciones públicas implementen BIM. El gobierno junto con la Autoridad de Construcción y Edificación (BCA), aportan motivaciones al uso y conocimiento de esta tecnología a empresas, profesionales y estudiantes.
- El caso de Dinamarca es distinto ya que establece desde el 2007 que todos los proyectos públicos de grandes envergaduras superiores a 750.000 € deben realizarse en BIM.

De la interpretación del sitio web [28] reflejamos que la implementación en Reino Unido es similar al caso anteriormente descrito. Aquellos proyectos financiados por el gobierno con un costo superior a 63 millones de € deben implementar la utilización de programas BIM. En los siguientes años se estima que ese valor disminuya a una décima parte con la recomendación de que este modelamiento sea realizado con BIM, si los beneficios obtenidos son mayores a la implementación de esta tecnología. Con esta modalidad se estima reducir un 20% del costo de construcción, e incentivar al sector privado utilizar estas herramientas.

En Estados Unidos, la modelación BIM es requerida en proyectos del Gobierno Federal desde el año 2007. La Administración de Servicios Generales (USGC, U.S. General Services Administration) exige el uso del BIM para todos sus proyectos, del mismo modo el cuerpo de ingenieros del ejército (U. S. Army Corp.) exigen BIM para

algunos tipos de sus edificaciones estándar. De esta manera el propio gobierno, por medio de algunas de sus entidades gubernamentales, pide los modelos BIM como entregables. Algunos estados de los EUA, refiriéndonos específicamente a estados como: Wisconsin, Texas y Ohio, han impulsado la creación de estándares propios para los entregables BIM en sus proyectos estableciendo un mismo lenguaje para el intercambio de información. Los modelos BIM con el tiempo han aumentado considerablemente su popularidad. De acuerdo con un estudio realizado por la revista [29] en América del Norte creció de 28% a 71% durante los años 2007 a 2012.

En Latinoamérica la falta de información necesaria, el desinterés y el no involucramiento de las empresas públicas, privadas y entidades gubernamentales, generan que la adopción del BIM en Latinoamérica aún no sea una realidad concreta. Sin embargo, ya existen iniciativas para la difusión y adopción de éstas tecnologías, siendo Chile el principal país latinoamericano en implementar, enseñar y difundir los programas que trabajan con BIM.

A continuación se describen a modo de ejemplo dos proyectos realizados con sistema BIM:

1. Edificio Ark:

Este edificio totalmente integrado y realizado con tecnología BIM, diseñado por el estudio Rice Daubney fue elegido como desarrollo arquitectónico del año en Australia. El diseño ganador es el primer edificio comercial de gran altura de Australia completamente diseñado, construido y entregado como modelo construido con software "Facilities Management", utilizando la tecnología BIM. El edificio ARK, ganador de Premio al Desarrollo Excelente, Urban Traskforce 200 y diseñado por Rice Daubney, rompe las fronteras y los retos tradicionales y establece nuevos parámetros de diseño. [30]



Fig.15: Vista lateral del Edificio Ark
Fuente: <http://www.construnario.com/>

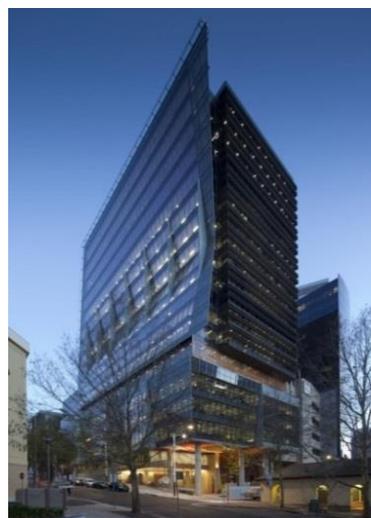


Fig.16: Vista lateral del Edificio Ark
Fuente: <http://blog.atinne.com/>

2. Hamad International Airport Passenger Terminal Complex. Doha, Qatar.

Desde 2004, los arquitectos HOK, ingenieros, planificadores, arquitectos paisajistas y diseñadores de interiores han colaborado en un esfuerzo por crear la mejor terminal de pasajeros del mundo.

El proyecto incluye 28,000 m² de galería comercial, un 2,200 m² de mezquita pública, dos hoteles de transferencia de cinco estrellas con 100 habitaciones, un spa, un garaje de 3.431 coches, cinco centros de operaciones, cuatro plantas de servicios públicos centrales y 70,000 m² de instalación de catering de vuelo. Posee 2 explanadas que incluyen 41 puertas de contacto y 20 puertas automáticas. El aeropuerto se inauguró en 2014 con una capacidad anual de 30 millones de pasajeros.

La utilización de BIM por parte de la empresa HOK permitió, a pesar de la compleja geometría, que este proyecto fuera viable, cumpla con las normativas y genere ahorros durante su construcción. [31]



Fig.17: Proyecto del Hamad International Airport Passenger Terminal Comple, realizado con plataforma BIM
Fuente: <http://www.hok.com/design/type/aviation-transportation/hamad-international-airport/>

Del análisis de [32] deducimos que, a pesar de este crecimiento, aún existe escasez de modelo de comunicación de información entre los elementos de diseño, contratistas y propietarios de proyectos. Esta mala comunicación se debe al hecho de que la implementación de esta tecnología es relativamente nueva e innovadora y hay un gran número de personas vinculadas al proyecto que nunca ha tenido algún contacto con este tipo de programa.

Tenemos que hacer que esto sea más eficaz y la creación de interfaces de contacto naturales simple y accesible a cualquier jugador sin una formación muy amplia que se requiera.

2.6. Impresoras 3D:

2.6.1. Presentación:

El avance de la impresión 3D es una tendencia imparable, afirmamos esto porque resulta imposible estimar cuál será el punto máximo de esta tecnología, que en un lustro ha incrementado más de un 300% su utilización, la misma ya se integró a nivel global.

En ellas tenemos, una tercera dimensión que permite dar volumen a los dibujos digitales previamente realizados. Poseen un Software especial gracias al cual el objeto se ira dividiendo en capas que luego serán impresas una encima de otra.

Estas tecnologías utilizan métodos que suelen ser aditivos, donde se irá añadiendo material para formar el objeto, existen otros métodos menos eficientes, que son sustractivos, donde el objeto se moldeara a partir de un material en bruto al cual se le da forma eliminando partes del mismo, esto conlleva al desperdicio de recursos.

2.6.2. Modelos:

Existen varios modelos de impresoras 3D, dentro de los más conocidos tenemos las de código libre e independiente como RepRap. Esta fue concedida con el pensamiento de que fuera capaz de reproducirse a sí misma, su funcionamiento e implementación fue evolucionando a través de los años. El tipo de archivo con el que trabaja es CAD: STL y los tipos de materiales que utiliza son dos: ABS y PLA.

Otro modelo de impresora 3D son las Fab@Home. Estas permiten a la gente personalizar objetos cotidianos, el tipo de archivo con el que trabaja es CAD: STL y los materiales manipulados son Líquidos y pastas que puedan ser extruidas por una jeringa como las siliconas, con extrusores especiales puede imprimir ABS Y PLA.

Las impresoras 3D de HP utilizan tecnologías de extrusión de plásticos y plástico ABS como las descritas anteriormente. Cabe mencionar que existen otros tipos de modelos capaces de manipular los mismos archivos y materiales que no serán mencionados para evitar redundancia en el tema. [33]

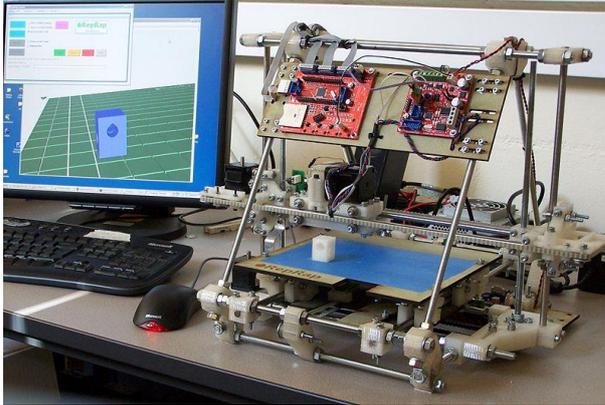


Fig.18: Impresora 3D RepRap.
Fuente: <http://webadictos.com/>

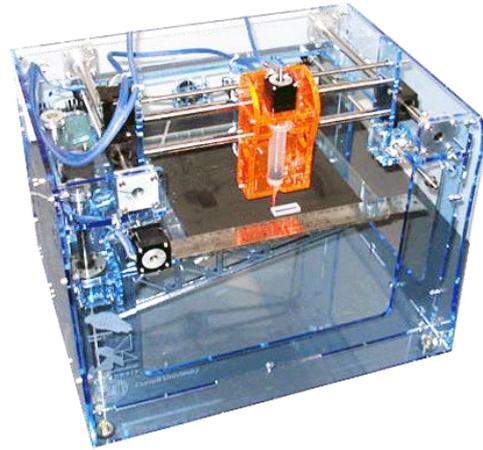


Fig.19: Impresora 3D Fab@Home
Fuente: <http://u-n-o.blogspot.com.es/>

En el mercado podemos encontrar impresoras capaces de manipular otros tipos de materiales.

Una empresa de origen inglés denominada Arup hace uso de la impresión 3D para imprimir estructuras de acero. Una nueva impresora 3D “Vader” trabaja con metal líquido, y en la actualidad se está desarrollando una impresora capaz de crear jardines a la carta. [34, 35]



Fig.20: Impresión 3D de estructuras de acero.
Fuente: <http://www.impresoras3d.com/>



Fig.21: Impresora capaz de crear jardines a la carta.
Fuente: <http://www.ecologiaverde.com/>

2.6.3. Modelos en la construcción:

Hemos desarrollado en el apartado anterior que en la actualidad las impresoras 3D están ya afianzadas en el mercado y que son utilizadas por varios ámbitos profesionales para la elaboración generalmente de elementos cotidianos y además que el uso de esta tecnología cubre un abanico muy amplio de posibilidades, pero es importante remarcar por el sentido del análisis que estas tecnologías todavía siguen en vía de desarrollo para el ámbito de la construcción.

Podemos establecer que los sistemas BIM como así también los sistemas de diseño asistido, permitieron crear animaciones virtuales con infografías y alta calidad, que podrían considerarse verdaderas maquetas digitales. La existencia de esta nueva tecnología de Impresión 3D y su compatibilidad con los sistemas de diseño virtual han permitido ahorrar tiempo, como así también han facilitado la elaboración de prototipos físicos detallados, que podrían utilizarse para el desarrollo y evolución de los proyectos. El constante avance en esta tecnología posibilitó la creación de modelos de estructuras y mecanismos complejos. Es por ello interesante mencionar su uso en la construcción.

Resulta interesante observar como alrededor del mundo se ha empezado a tomar conciencia de estas nuevas metodologías constructivas.

Abordaremos tres ejemplos que parten de la misma base, siendo esta la impresión 3D, pero que su implementación es diferente.

Como primer ejemplo citamos al estudio Dus Architects de origen holandés que está llevando a cabo la impresión 3D de una casa a la vera del canal Biuksloter en Ámsterdam, su creación consiste en la elaboración de filamentos de polipropileno, plásticos reciclados, etc. Que sustituyan a los elementos constructivos tradicionales. La máquina encargada de ello es la impresora 3D Kamer Maker, que se diferencia de las impresoras 3D convencionales por su grandes medidas. Medidas: 3,5 metros de alto por 2 metros de ancho. [36]



Fig.22 (A, B, C): Impresora 3D Kamer Maker.

Fuente: <http://serviciosimpresion3d.wordpress.com/2013/05/05/en-amsterdam-ya-existe-la-mayor-de-las-impresoras-3d-para-hacer-edificios-modulares/>

Si bien es notorio el avance producido por este estudio holandés, mencionamos como segundo ejemplo que: en el otro extremo del planeta existe una empresa de origen Chino llamada Winsun, la cual se encarga de demostrar que la impresión por capa a través de máquinas 3D pueden ser utilizadas en la construcción.

Para crear los inmuebles utilizan un material que mezcla cemento con fibra de cristal, que irán creando bloques. Esta máquina utilizada es capaz de crear diez casas de 200 metros cuadrados en un solo día, las dimensiones de esa impresora 3D son de ,6 metros de alto, 150 metros de largo y 10 metros de profundidad. [37]



A) Vivienda impresa



B) Celdas apiladas



C) Celdas apiladas



D) Vivienda impresa

Fig.23 (A, B, C, D): Impresora 3D de la empresa china Winsun, capaz de realizar viviendas.

Fuente: <http://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20140428/abci-casas-china-impresoras-201404281925.html>

Como tercer y último ejemplo describimos que en la universidad de California el doctor Behrokh Khosnevis de origen Iraní apuesta por un sistema que nos permitirá construir viviendas y edificios de forma más rápida, barata y en poco tiempo. Como venimos mencionando, la idea parte de la impresión en 3D, aunque un inconveniente es la instalación de esta máquina ya que posee un gran tamaño y esto conlleva a que sea más costosa su puesta en marcha.

Profundizando en esta metodología abordamos que el profesor de ingeniería industrial Behrokh Khosnevis es impulsor del proyecto Contour Crafting el cual consiste en

acelerar el proceso de construcción, utiliza el mismo modelo que las impresoras 3D para funcionar es decir basadas en CAD/CAM.

Para la puesta en marcha de la maquina es necesario la construcción virtual de la obra a realizar, como se mencionó anteriormente sigue los mismo pasos que una impresora 3D convencional.

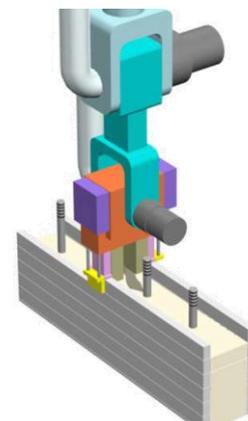
Estas impresoras son de gran tamaño y funcionan con una amplia gama de materiales, desde plástico ABS a la utilización de cemento modificado, que soporta el ritmo de construcción. La impresora consta de dos brazos telescópicos unidos por una viga transversal que aloja el cabezal de impresión. Los brazos se mueven tanto vertical como horizontalmente gracias a las grúas y guías que poseen ambos. La mezcla especial de hormigón de secado rápido llega directamente desde la cementadora a la boquilla y esta ira depositando por capas en las zonas determinadas, según el prototipo digital. Estos grandes robots pueden acoplarse de distintas formas y lograra con ellos diferentes tipologías de viviendas o edificios de varias alturas.

Al finalizar el funcionamiento de la impresora 3D, será necesaria la intervención humana para las instalaciones sanitarias, eléctricas, pluviales, de agua, como así también las aberturas y con esto se evitara la supresión de los puestos de trabajo. Al funcionar como una impresora 3D a gran escala, tendrá sus beneficios, como ser el ahorro de tiempo, el ahorro económico, minimiza los errores de cálculos, ahorro en la utilización de materiales y ahorro energético.

Este método a diferencia de los dos anteriores, todavía está en etapa de proyecto, pero entendemos que lo que antes era una utopía ahora es una realidad próxima a materializarse, afirmando esto gracias a los proyectos realizados por la empresa China ya mencionada. Cuando las impresoras 3D se estandaricen abarataran los costos de construcción y desbancaran por completo a los materiales convencionales. [38]



A) Funcionamiento



B) Detalle

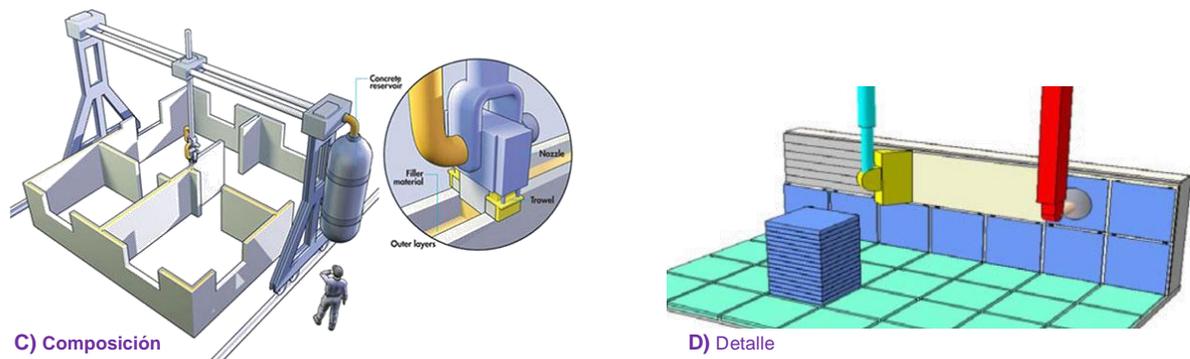


Fig.24 (A, B, C, D): Composición y funcionamiento de un modelo de Contour Crafting
Fuente: <http://www.contourcrafting.org/>

2.6.4. Nueva implementación:

En este apartado mencionamos las impresoras 3D verticales, veremos la existencia de un prototipo que todavía se encuentra en etapa de investigación y pruebas, que desafía la ley de la gravedad y dibujas objetos en el aire.

Este robot-impresora 3D antigraavedad fue diseñado en conjunto entre los diseñadores Petr Novikov y Sasa Jokic del IAAC , y el diseñador Joris Laarman. Lo novedoso de este nuevo sistema es la posibilidad de generar objetos tridimensionales en el aire. La impresora 3D está integrada por un brazo robótico articulado de gran formato, que permite movimientos en los 360 grados del espacio, también posee tecnología de extrusión con pistolas DIY, un sistema de dosificación por chorro y una boquilla de ajuste y fijación del material.

Puede generar curvas complejas y no necesita de un apoyo estructural durante la ejecución de la misma, este es otro factor que la diferencia de las impresoras 3D tradicionales. A pesar de sus grandes posibilidades creativas el proceso de impresión todavía es lento.

El material utilizado es un conglomerante especial, que puede crear objetos en superficies irregulares e incluso en posición vertical [39]

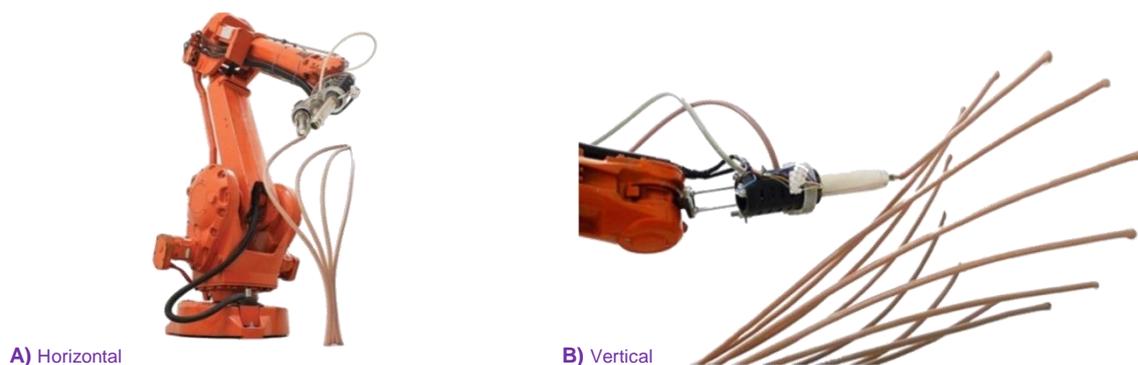


Fig.25 (A, B): Funcionamiento horizontal y vertical, del robot-impresora 3D anti gravedad.
Fuente: <http://blogthinkbig.com/impresion-3d-gravedad/>

Capítulo 3

3.1. Consideraciones Iniciales

Después de ser planteado los objetivos, como así también analizados y descritos en el capítulo anterior los temas relacionados a la esencia de este documento, se procederá llevar a cabo un estudio empírico donde explicaremos varios tipos de sistemas “BIM”, luego informaremos y descubriremos, el desempeño y funcionamiento de la plataforma REVIT.

3.2. Sistemas “BIM”

3.2.1. Autodesk:

Empezaremos comentando que AutoCAD nació como un programa de diseño asistido por ordenador a partir del programa MicroCAD y su creador es Michael Riddle. Para el año 1982 el programador John Walker compra el software AutoCAD y funda la actual Autodesk Inc. Una década luego de su adquisición Autodesk inc. lanza al mercado el 3D Studio R2, el cual es un programa de creación gráfica y animación 3D. El progreso de la empresa se debe en partes gracias a los constantes avances tecnológicos, como así también a la visión emprendedora de su creador, ya que para 1992 compra Generic CADD7 y AutoSketch (programas de dibujo en 2D) y con ello logra su rápido crecimiento.

En 1998 lanzan un programa, el cual deja de ser una mera representación gráfica, donde los objetos interactúan y tienen relación entre ellos. Dicho programa fue denominado AutoCAD Architectural Desktop. Se cree dado a su funcionamiento que dicho software puede ser el principio de la implementación BIM en Autodesk, que se completará, en 2002 con la integración de Revit e Inventor en Autodesk.

Cabe mencionar que Autodesk fue el encargado de crear el formato de trabajo DWG. Este es un formato de archivo binarios capaz de almacenar la información de los dibujos en dos y tres dimensiones de forma vectorial, el cual se ha convertido en un estándar de trabajo.

En la actualidad existen varias versiones del formato, y estas se han ido incorporando con las distintas versiones de AutoCAD a lo largo del tiempo.

Aunque por su naturaleza vectorial el formato DWG no sea adecuado para los procedimientos BIM, todos los programas con esta tecnología lo utilizan para realizar importaciones o exportación de datos. [40]

3.2.2. Graphisoft:

El desarrollo de Graphisoft comenzó en 1982 en Budapest, Hungría. Nace originalmente para Macintosh, con el objetivo de desarrollar un software modelador 3D para ordenador. Está reconocido como el primer software de CAD para computadora personal capaz de crear tantos dibujos en 2D así como 3D.

En 1993 sale al mercado ArchiCAD 4.16, siendo esta la primera versión del programa capaz de funcionar en Window y Macintosh. Para 1996 Graphisoft pasa a formar parte de IAI (Industrial Alliance for Interoperability), establecida por las principales compañías de CAD para el desarrollo de una normativa común para la industria de la construcción.

Este programa permite a los usuarios trabajar con objetos paramétricos con datos enriquecidos, cuyo concepto se basa en generar, no sólo dibujos 2D sino un modelo virtual completo del edificio, el cual conlleva toda una base de datos con información constructiva de todo tipo. Es decir permite crear "edificios virtuales" con elementos constructivos virtuales como paredes, techos, puertas, ventanas, muebles, etc. Los objetos paramétricos deben estar preparados previamente con herramientas que exigen conocimientos de programación. Por esto, la biblioteca que viene con el programa es bastante completa y, gracias a la flexibilidad de sus opciones, consigue cubrir la mayoría de los casos.

Los diseños 2D pueden ser exportados en cualquier momento, y los modelos 3D son almacenados siempre en la base de datos. Ya que este programa es un software BIM veremos que tiene la ventaja de actualizar automáticamente toda la documentación instantáneamente, es decir cualquier cambio que se produzca será modificado en los planos, alzados y secciones generados desde el modelo 3D. Tal y como lo hace Revit los detalles de diseño en 2D se hacen en otra sección del modelo, donde no interfiere con la representación 3D.

Conserva algunos vestigios de las herramientas de CAD tradicional, como el sistema de capas o el ploteado según conjuntos de plumillas, cosa que lo conecta con los usuarios de AutoCAD. Puede importar y exportar archivos con extensión DWG, DXF, IFC y SketchUp. [41]

3.2.3. Nemetschek:

La empresa, bajo la denominación Ingenieurbüro für das Bauwesen (oficina de estudios técnicos para la construcción) fue fundada en Múnich, en el año 1963 por el ingeniero Georg Nemetschek. Esta oficina de estudio fue una de las primeras empresas del sector de la construcción en utilizar ordenadores, los cuales poseían su propio software con el cual eran capaces de diseñar y calcular obras de ingeniería. Este software capaz de realizar cálculos integrados y elaborar componentes estandarizados para la construcción, fue presentado en la feria de Hannover en 1980. El (CAE) Fue el primer software de la historia capaz de realizar trabajos de ingeniería asistida por ordenador. A pesar de su temprana aparición, y mantener el liderazgo ante su competencia por un par de años, hacia 1982 es superado por otro software conocido como AutoCAD.

En 1981 es fundada la nueva empresa Nemetschek Programmsystem GmbH, dedicada a la comercialización de su software. Hacia 1984 sale al mercado el primer software de CAD, se llamaba Allplan V1. En un principio este software permite la planificación tridimensional de edificios. Con el tiempo destacó como su producto más famoso y extendido, ya que ha incorporado procedimientos BIM.

A finales de los años 90 realiza varias adquisiciones de empresas como Friedrich + Lochner GmbH, (dedicada al cálculo de estática), la empresa norteamericana Diehl Graphsoft (hoy: Nemetschek Vectorworks con el producto VectorWorks), en 2006 adquiere la empresa húngara Graphisoft, creadora de ArchiCAD.

En este sistema BIM los proyectos se guardan en diferentes carpetas, cada una de estas carpetas a su vez poseen varios archivos que contienen la información del modelo. Al poseer esta estructura se generan divisiones físicas del modelo generalmente por plantas y categorías de objetos. Un gran inconveniente que causa esta disposición es que limita las relaciones asociativas entre objetos paramétricos, puesto que a menudo se encontrarán en archivos diferentes.

Con este sistema cada usuario puede ocuparse de un archivo diferente, es decir trabajar en un área diferente del proyecto sin importar cuán grande sea.

Allplan es capaz de editar más de un archivo a la vez, aunque las nuevas entidades se crearán siempre en el archivo activo, que siempre es único. Esta manera de organizarse lo hace mucho menos ágil a la hora de navegar por el proyecto si lo comparamos con ArchiCAD y Revit. [42]

3.2.4. Tekla:

Hacia el año 1966 en Finlandia se crea “Teknillinen Laskenta Oy”, que se hizo más conocida por su abreviatura “Tekla”. Esta empresa fue una de las pioneras en el desarrollo de Procesos de Datos Automáticos. Dos décadas después de su fundación, desarrolla una tecnología a base de datos virtual, logrando que su base de datos relacionales tenga mayor velocidad.

Es lanzado en 2004 teniendo gran impacto en el mercado. Este es un programa de diseño asistido por computadora y fabricación asistida por computadora en 3D en tiempo real. Es utilizado para el diseño detallado, despiece, fabricación y montaje de todo tipo de estructura para la construcción.

Esta plataforma no dibuja simplemente líneas sino directamente sólidos paramétricos dentro de un sólo modelo 3D. Una vez modelada la estructura a construir, el programa es capaz de elaborar, planos generales, de despiece y de fabricación, así como listados de materiales y de piezas.

Al ser un software basado en BIM es capaz de actualizar todos los planos ante cualquier modificación que se lleve a cabo en el modelo. Puede importar modelos de otras aplicaciones BIM utilizando el formato IFC. [43]

3.2.5. Autodesk Revit:

Revit es actualmente una plataforma con tecnología BIM perteneciente a Autodesk. Su historia comienza en 1997 cuando un grupo de programadores, que anteriormente habían trabajado en Parametric Technology Corporation, decidieron unirse y crear un programa paramétrico para arquitectura. Con esa ideología crean una empresa denominada Charles River Software.

En sus principios desarrollan un programa capaz de crear muros e insertar puertas y ventanas y una que otra cosa más, este sería el primero de los intentos por crear una herramienta capaz de manejar elementos paramétricos.

En 1999 con la ayuda de otros colegas fundan Revit Technology Corporation que lanzo “Revit” con el eslogan “Revise Instantly” (cambios actualizados instantáneamente en todos los espacios del dibujo). El éxito de esta plataforma fue limitado debido a la costumbre entre los arquitectos de usar programas en 2D como AutoCAD o MicroStation.

El interés por este programa fue creciendo a medida que el concepto BIM se difundía entre los diseñadores y sus enormes ventajas eran más evidentes. Este creciente interés alarmó a la empresa Autodesk y en 2002 compró Revit Technology.

El gran éxito de este programa se debe a su motor de cambios paramétrico que ayudan a conseguir ventajas competitivas inmediatas, aportan mejor coordinación y calidad, y contribuyen a rentabilizar la labor de la construcción. Es una plataforma donde, a medida que se trabaja gráficamente, el modelo virtual va aportando información adicional que, permitirá a los profesionales de la construcción, cuantificar el alcance de los contenidos del proyecto y sus materiales.

Dicha plataforma utiliza un único archivo donde contendrá toda la información del proyecto. Dispone de una interfaz gráfica parametrizada que le permite modelar cualquier elemento con independencia de su uso. Al ser una plataforma basada en BIM es capaz de actualizar automáticamente las modificaciones realizadas en cualquier punto de vistas del modelo o planos, planificaciones, secciones, plantas, etc, es decir donde resulte más cómodo.

3.3. Autodesk Revit como aplicación BIM en el proyecto

3.3.1. Generalidades:

3.3.1.1. Gestión del proyecto:

Cuando hablamos de gestión es importante señalar la manera con que un sistema BIM modela o asiste en la creación de un proyecto virtual, que en la mayoría de los casos es un ente complejo, siendo factible controlarlo en su globalidad.

Es por ello que señalamos que en Revit la base de datos de un proyecto se guarda en un fichero único el cual poseerá el total de la información del modelo. La información de un modelo virtual está constituida por los elementos paramétricos que son llamados familia, pueden guardarse en una biblioteca individualizada y ser usados en otros proyectos. También posee un navegador de proyectos, el cual se manifiesta en forma de ventana y es el encargado de mostrar todos los elementos del proyecto, además posee las herramientas de diseño que se encargaran si es necesario en modificar el modelo.

Otras de las cualidades que debemos remarcar es una que se viene señalando a lo largo de este documento y es el de la posibilidad de trabajar en grupo en un mismo proyecto, es decir seremos capaces de trabajar con interoperabilidad si fuera necesario. El trabajo sobre el modelo será coordinado, donde cada usuario podrá trabajar una parte determinada del proyecto sin interferir en la del compañero. Al intentar modificar algún elemento que se esté trabajado, el programa nos advertirá que es una acción imposible de realizar ya que se está siendo tratada por otro usuario. Entonces nos es grato decir que esta plataforma es multidisciplinar, donde la información del edificio puede ser tratada por varias disciplinas relacionadas a la construcción.

Existen tres versiones de Revit, el Architecture, el MEP, y el Structure, en la actualidad el nuevo Revit 2014 engloba los tres tipos. Esta plataforma es capaz de vincular archivo de otros formatos como DWG, DGN, Dxf, Sat Y SKP, lo cual es útil a la hora de trabajar entre varios profesionales. [44]

3.3.1.2. Organización espacial:

Al mencionar la organización espacial en Revit y al ser este una plataforma de BIM sabremos que estamos hablando de un modelador tridimensional, pero como mencionamos con anterioridad el modelo debe ser tratado en su totalidad, es por ello que precisa de estrategias para mantener la coherencia del proyecto a partir de la correcta colocación de los elementos.

Otro objeto que compone a esta plataforma son los planes de trabajo, estos tienen forma rectangular y consisten en lograr que a partir de una cuadrícula personalizada se marquen la dirección de los ejes de coordenadas. El modelo arquitectónico se puede construir en las unidades que se desee, pudiendo cambiarlo en cualquier momento.

Al igual que los sistemas CAD posee las clásicas herramientas de traslación, rotación, escalar, copiar, división, extensión, etc., las cuales se manipulan de forma gráfica a través de cotas y referencias temporales. A diferencia de otros sistemas BIM, Revit trabaja con niveles de referencia los cuales generan mayor dinamismo a la hora de modelar, ya que seccionan al proyecto y sirven como plano de referencia a las vistas en planta, además es posible trabajar en todos los niveles de un edificio a la vez. A este conjunto de utilidades podemos sumarles los ejes de referencia que son utilizados

como ejes de replanteo o de estructura, y consisten en planos de referencias numerados.

Es posible generar restricciones en los objetos, por ejemplo es posible bloquear las cotas ya que estas al ser elementos de anotación deben poseer sus extremos vinculados a los elementos del modelo, también posee restricción de igualdad con el cual se puede garantizar la igualdad de los espacios. Al bloquear los elementos evitamos que ellos puedan moverse, cuando se generan restricciones en las alineaciones podremos establecer relaciones entre varios elementos de tal manera que cuando se mueva uno arrastre al resto. [44]

3.3.1.3. Visualización:

Al trabajar estos sistemas con modelos tridimensionales, y al ser estos manipulados a través de vistas gráficas estáticas y dinámicas, decimos que la visualización pasa a ser una herramienta muy importante, es por ello que señalaremos los distintos tipos que actúan sobre Revit y los elementos que la componen.

La visualización permite extraer información del edificio pero también permite modelar con ella. Existe un tipo de vista que denominaremos leyendas que son las encargadas de unir la información gráfica con la alfanumérica. Ya que el modelo se representa en su totalidad y su visualización depende de cada vista no es necesario vincular los elementos a algunas capas determinadas, como si lo hacen otros tipos de programas.

Como lo hemos discutido a lo largo de este capítulo una de las virtudes que posee Revit es de simular vistas reales, y sumado ello el poseer elementos paramétricos, permiten que cualquier cambio que se realice en el modelo, es transmitido instantáneamente a todas las vistas. Es decir el cambio se hace dentro del mismo entorno gráfico.

Al no utilizar capas Revit dispone de otras herramientas para controlar las características gráficas, dentro de las cuales se destacan la escala de representación la cual se especifica para que el programa dimensione adecuadamente las tramas, simulando a las medidas originales pero adaptadas a un ordenador o portátil. El nivel de detalles se divide en tres categorías, baja, media y alta. Esta característica dependerá de la escala y de lo que se desee mostrar. Dentro de lo que es visibilidad es factible señalar que los objetos se agrupan en categorías, y cada una de ellas está compuesta de subcategorías. Esto último mencionado permite compartir elementos de diseño a terceras personas.

Gracias a los gráficos de modelo avanzado Revit es capaz de mostrar en tiempo real la proyección la sombra de una vista, indicando la posición del sol respecto al edificio. Es posible controlar la extensión de la vistas, por ejemplo en las plantas y secciones se controla el plano de corte y la profundidad, y las vistas dinámicas disponen de una caja de recorte capaz de seccionar el modelo en tiempo real.

En esta categoría también contamos con herramientas de modificación, las líneas de una representación gráfica pueden ser tratadas tanto en las vistas como en los planos. Cada elemento posee un material y el mismo puede ser modificado, solo se necesita seleccionar la cara a modificar y designarle el material correspondiente. Es posible editar el perfil seleccionado, modificando el contorno del elemento, tanto en plantas como en alzado. En todas las vistas estáticas se pueden añadir elementos bidimensionales que se superponen a la vista.

Cuando hablamos de asignación de materiales es preciso señalar que estos juegan un papel muy importante para interpretar los elementos. Cada categoría, y a su vez cada subcategoría puede tener un material asignado. Cada material posee identidad, grafica, apariencia, comportamiento físico y térmico, y pueden ser utilizados para varias funciones. Las vistas de plantas, secciones, alzados son tratadas de la misma manera ya que estaríamos trabajando en dos dimensiones, aunque todas las vistas sean tridimensionales. En las vistas dinámicas podremos cambiar el punto de vista en cualquier momento de manera dinámica. [44]

3.3.1.4. Modelado de la información del edificio:

En este apartado haremos mención de como el modelo se organiza entorno a los objetos que contienen, entendiendo que solo alguno de ellos describen los elementos físicos del edificio. Lo que no se encargan de ello realizan las anotaciones, los sistemas de referencia espacio o las vistas que interactúan en el modelo. Los objetos paramétricos se organizan en categorías, familias, tipos, etc. Estos objetos paramétricos tienen posibilidades y características preestablecidas.

Otra de las cualidades que ofrece esta plataforma es ofrecer una interfaz de modelado muy coherente que sobre pasa la frontera entre el espacio de trabajo del edificio y sus componentes. Esta plataforma es capaz de conectarse con otras aplicaciones, por ejemplo el formato Adsk permite exportar a Inventor y AutoCAD Civil 3D, el GbXML nos relaciona con las herramientas de análisis energético como Green Building Studio

y Ecotec. FBX nos permite ser importado por 3DMAX y el IFC para el resto de los casos. [44]

3.3.2. Herramientas:

En este apartado explicaremos de forma sintética las distintas herramientas que componen el programa Autodesk Revit. Al ser Revit un sistema BIM mencionamos que su gama de utilidad es muy amplia. Las distintas herramientas que hacen al programa poseen sus propias características y a su vez se dividen en grupo.

Como veremos en los próximos capítulos, las herramientas que hemos utilizado para la elaboración de nuestro proyecto se encuentran en los grupos de análisis y visualización. Profundizaremos en estas herramientas en el siguiente capítulo.

Del análisis de la página oficial de Autodesk [45] determinamos que:

3.3.2.1. Análisis:

Este grupo aborda las siguientes herramientas:

- Energy Analysis for Revit: (Análisis energética para Revit)
Este tipo de herramientas nos permite realizar análisis energéticos con el cual seremos capaces de:
 - Tomar decisiones de diseño sostenible en las primeras etapas del proceso de diseño.
 - Comparar las estimaciones del consumo energético y los costes del ciclo de vida de las diferentes alternativas de diseño.
 - Los resultados de los análisis se presentan en un formato gráfico muy visual que facilita su interpretación.
- Análisis energético con elemento de construcción:
Una vez realizado el modelo virtual con los elementos paramétricos que posee el programa, en conjunto a los cambios realizados por el usuario dependiendo de material empleado, se procederá al análisis energético, la cual realizara una simulación completa, relacionando la ubicación geográfica, la temperatura promedio, la incidencia del sol, de los vientos, la humedad, la precipitación y también la época del año. Con ello lograremos lo explicado en la herramienta anterior.

- Análisis estructural para Revit:
Puede efectuar análisis estáticos para diversas construcciones desde la nube. Los resultados de los análisis sirven para fundamentar mejor las decisiones de diseño con mayor antelación dentro del proceso.
- Modelo analítico estructural:
Proporciona dos tipos de modelos, uno físico utilizado en la documentación y otro analítico compuesto por una representación 3D simplificada, componentes estructurales, geometría, propiedad de los materiales, etc., el cual es utilizado en el diseño y análisis estructural.

3.3.2.2. Colaboración:

Dentro de este grupo encontraremos:

- Vinculación de IFC:
Este es un nuevo tipo de herramienta, su función es vincular un archivo IFC con un proyecto de Revit existente. Al producirse un cambio en el archivo IFC y volverse a cargar en el proyecto, este se actualiza para mostrar los cambios. Permiten exportar los archivos al entorno Revit con los valores y las unidades correctas.
- Compartición de proyecto:
Con esta herramienta podremos compartir entre múltiples usuarios el mismo modelo avanzado de información de construcción y guardar su trabajo en un archivo central. Es importante remarcar que la compartición de proyecto potencia a todo el equipo vinculado a la construcción, ya que con esto, disminuyen el tiempo de obra, reducen los riesgos de errores, etc.
- Revit Server: (Servidor Revit)
Permite libre comunicación y trabajo entre los encargados del proyecto situados en distintos lugares a través de una red de área amplia (WAN).
- Integración con Vault:
Es una herramienta diseñada para funcionar con Revit. Agiliza la gestión de datos, desde la planificación hasta el diseño. Ayudando a lograr ahorro de tiempo, e incremento de la exactitud.

- Integración con Autodesk 360:
La función integrada 360 permite entre otras cosas, la renderización y el análisis energético.
- Certificación IFC.
- Vínculos bidireccionales, múltiples programas de análisis:
Gracias a la vinculación bidireccional, los resultados de los análisis actualizan el modelo automáticamente. Revit también se vincula a programas de diseño y análisis estructural de terceros. Pueden compartirse:
 - Condiciones de contorno y de transmisión de esfuerzos
 - Cargas y combinaciones de carga
 - Propiedades de material y de sección
- Comprobación de interferencias:
Permite detectar colisiones entre los elementos del modelo de Revit.

3.3.2.3. Diseño:

Dentro de este grupo se destacan:

- Recortar/Extender varios elementos:
Permitir su uso con varios elementos. Dependiendo del recorrido del cuadro de selección si es de izquierda a derecha, o de derecha a izquierda, serán seleccionados los elementos. Logrando con ello aumentar la productividad minimizando los pasos necesarios.
- Mejoras en elementos bloqueados:
Los elementos bloqueados no se pueden suprimir a menos que lo especifique. Para poder suprimir los elementos, antes se deben desbloquear. También puede suprimir objetos en un contexto no gráfico, como en una tabla de planificación.
- Informaciones de herramientas para parámetros de la familia:
Permite describir los parámetros y documentar su uso, facilitando el aprendizaje del producto.
- Ajuste del orden de los parámetros de familia:
Facilita la ubicación y distribución de los parámetros de familia dentro del cuadro de propiedades.

- Plantillas de vista temporales:
Reduce la necesidad de guardar y mantener vistas de trabajo. Esto le proporcionará más control sobre lo que se están visualizando.
- Métodos de cálculo de la pérdida de carga:
Permite calcular la pérdida a partir de dos ecuaciones la de Haaland o la de Colebrook.
- Configuración de código de montaje:
Permite modificar la ubicación del archivo txt., que nos indica la posición del montaje. Al abrir un documento, si no se encuentra el archivo de código de montaje, se utiliza la última versión que se haya cargado.
- Herramientas de diseño conceptual:
Puede dibujar con libertad, crear formas libres con más facilidad y manipular las formas interactivamente.
- Autodesk Exchange: (Cambios Autodek)
Permite acceder a más funciones de Revit y a una biblioteca de contenido ampliada.
- Precisión de la definición de modelos conforme a obra
Permiten definir y colocar con precisión los elementos de armazón estructural. Siendo posible realizar ajustes más precisos mientras se trabaja en el área de dibujo sin tener que calcular ni introducir manualmente los valores de los parámetros en la paleta Propiedades.
- Propiedades de sección estructural:
Pueden identificar el tipo de sección, y contener la definición clara y coherente de las propiedades de sección.
- Refuerzos para piezas:
Adición de piezas de hormigón de refuerzo.
- Componentes paramétricos:
Los componentes paramétricos, también denominados familias, constituyen la base de todos los componentes de construcción diseñados en Revit. Para su elaboración no es necesario escribir código ni utilizar ningún idioma de programación.

- Asociatividad bidireccional:
Toda la información del modelo se almacena en un solo lugar y cualquier dato que se modifique se cambia eficazmente en todo el proyecto.
- Herramientas de nube de puntos:
Conectan directamente las digitalizaciones láser al sistema BIM, lo que contribuye a agilizar los proyectos de rehabilitación y reacondicionamiento. Esta herramienta facilita el modelado exacto y seguro de la información para construcción.

3.3.2.4. Documentación:

En este grupo mencionaremos:

- Líneas ocultas mejoradas:
Permite visualizar fácilmente las líneas ocultas de los huecos en muros y suelos.
- Mejoras de revisión:
Permite suplantar las revisiones por bocetos en formas de nubes de revisión.
- Mejoras en las etiquetas:
Al mover los elementos las etiquetas acompañaran a cada uno de ellos, facilitando la elaboración de una planilla de construcción.
- Mejoras en tablas de planificación y cálculos de materiales:
Se realizaron mejoras que permiten planificaciones con las opciones Parámetros, Filtro y Totales generales.
- Imágenes en tablas de planificación:
Con esta herramienta podremos tener conocimiento visual del elemento que se utilizara en el modelo.
- Configuración de creación de notas clave:
Emite un indicador de advertencia si se produce un error al leer el archivo de notas, o al volver a cargarlo.

- Vistas duplicadas:

Se pueden duplicar las vistas realizadas, el nombre por defecto que poseen es el mismo que la original más el sufijo 1.

- Modelado de construcción:

Nos brinda la posibilidad de dividir y manipular objetos, como capas de muros y vaciados de hormigón, para representar con mayor precisión los métodos de construcción. Esto nos permitirá documentar con mayor facilidad los elementos del modelo.

- Cómputo de materiales:

Esta herramienta ayuda a calcular cantidades de materiales detalladas y a supervisarlas en las estimaciones de costes.

- Compatibilidad:

Es capaz de importa, exporta y vincular los datos con los formatos más extendidos, como DWG, DXF, DGN e IFC.

- Detalles estructurales:

Se pueden importar detalles desde un archivo CAD, o crearlos a partir de vistas de un modelo 3D o desde cero con las herramientas de dibujo 2D.

3.3.2.5. Visualización:

- Líneas de croquis:

Basta con pulsar un botón para lograr un aspecto informal de croquis dibujado a mano. Una vez activada esta herramienta es posible seguir trabajando.

- Mejoras en el anti-aliasing:

Esta herramienta nos ayudará a reducir el tiempo necesario para los cálculos y mejorar el rendimiento.

- Vistas desplazadas:

Nos permite visualizar con mayor nitidez los montajes de construcción y ver la secuenciación de construcción.

- Visualización de diseños:

Es posible generar imágenes con calidad casi fotográfica. Esta herramienta a su vez permite mejorar la presentación de los diseños.

- Renderización:

Es la herramienta por excelencia encargada de generar imágenes fotorrealistas, capaces de representarnos como quedaría un proyecto, o la composición misma de algún objeto. Ayuda a diseñadores, arquitectos, ingenieros y contratistas a reducir los plazos y los costes de los proyectos.

3.3.3. Ventajas y desventajas:

Una vez analizado los distintos puntos generacionales de la aplicación y explicadas algunas de sus herramientas esenciales para nuestro proyecto se procederá a mostrar las ventajas y desventajas del programa.

Ventajas:

- En el uso y prestaciones de la aplicación se percibe una estructura interna muy coherente.
- Facilidad de uso en comparación a otras aplicaciones
- Calidad de la representación lineal. Representaciones limpias y precisas del modelo en todas las vistas.
- Múltiples opciones de visualización
- Inmediatez en la transmisión de los cambios, hace que el trabajo con los objetos sea muy natural.
- Herramientas para el diseño conceptual, las familias de masa y las herramientas asociadas de vinculación de familias, hacen realidad el concepto de diseño conceptual
- Integración de herramientas de múltiples disciplinas. Existen tres módulos que abarcan el diseño arquitectónico, la construcción, las instalaciones y la estructura, con lo que la idea de un BIM multidisciplinar es una realidad. Como vimos anteriormente posee varias herramientas que cubren un amplio abanico de posibilidades.
- Unidades universales para todo el proyecto, afortunadamente, las medidas se pueden introducir en cualquier unidad siempre que se siga de la abreviación correspondiente.

- Se puede crear la propia biblioteca de elementos con total libertad y de manera sencilla, lo que es esencial

Desventajas:

- Trazado de muros poco flexible, dificultad a la hora de crear formas complejas.
- Unión de familias, elementos y componentes de masa.
- Dificultad a la hora de dibujar elementos de detalle, como contornos rellenos, en vistas axonométricas,
- El programa es incapaz de unir la geometría de familias de sistema que están vinculadas a geometrías no verticales de una masa.
- Al visualizar plantas y secciones se perciben los defectos producidos por la intersección de muros con geometrías vinculadas a masas complejas con los que no es posible una unión.
- Dificultad a la hora de realizar cálculos térmicos. El programa permite la ejecución de cálculo térmico únicamente si se trata de un modelo de masa o si el proyecto está realizado con los elementos/familias convencionales. Dejando al descubierto la incapacidad de realizar algún cálculo de esta índole al momento de mezclar las familias con, componentes y masas.
- Incapacidad para mostrar elementos en proyección posterior.
- Pocos formatos de importación y exportación admite exportación en formato DWG, DGN, DXF, DWF, FBX, TXT, SAT, IFC y gbXML. Con la importación la cosa no mejora mucho, sólo se añaden los formatos de imagen y el formato de Sketch-Up. Se puede insertar nube de puntos en varios formatos.
- Dificultades para identificar a los implicados en una restricción, al producirse una se muestra lo implicado pero no las caras afectadas.
- La aplicación de renderizado, por ejemplo, es de calidad muy inferior a la que ofrecen sus competidores.
- Biblioteca amplia pero poco variadas, hay pocas familias en cada tema.
- La biblioteca española es distinta a la inglesa en cuanto a nombre de las familias, siendo el problema que la mayoría de los tutoriales se refieren a los elementos situados en la biblioteca inglesa.

La siguiente tabla será capaz de demostrarnos en forma sintética una comparación de las características generales, entre los distintos programas mencionados a lo largo del capítulo.

	Estructura de la base de datos	Gestión del proyecto	Modelado literal	Modelado paramétrico libre	Conectividad con herramientas locales	Soporte CAD	Grado de desenvol.
Autodesk Revit	Un solo archivo	■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■	■ ■ ■
Graphisoft ArchiCAD	Un solo archivo	■ ■ ■ ■ ■	■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Nemetschek Allplan	Varios archivos	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Tekla Tekla Structures	Varios archivos	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■

Fig.26: Tabla comparativa de las características generales de varias aplicaciones BIM.
Fuente: Propia del TFM.

Hemos considerado a la plataforma Revit como la más adecuada para realizar nuestro proyecto por varios motivos. Uno de los motivos es que dicha plataforma puede ser descargada gratuitamente y de forma legal, en formato para estudiante desde la página oficial de Autodesk.

Otros de los motivos serian, si interpretamos el cuadro expuesto anteriormente, observaremos que el proyecto se guarda en un solo fichero, en comparación a Nemetschek y Tekla, siendo esto un factor muy importante, ya que el mismo poseerá la información total del modelo, siendo más sencilla la ubicación y manipulación de los elementos paramétricos que componen al proyecto.

Otro factor es el hecho de que posee elementos paramétricos llamados familias, que se agrupan en bibliotecas individualizadas. Estos elementos paramétricos permiten que los cambios que se realicen en el modelo sean transmitidos a todas las vistas, es decir el cambio se realiza dentro del mismo entorno gráfico.

Revit es capaz de mostrar la proyección de sombras en tiempo real, respecto a la posición del sol con el edificio, posibilitando imágenes fotorrealistas. Es capaz, y en relación a la incidencia del sol, y a otros factores realizar análisis energéticos.

Otra razón importante es la facilidad de uso en comparación a otras plataformas, y también a la capacidad de realizar análisis estructurales, de masas, iluminación, etc.

Capítulo 4

4.1. Consideraciones Iniciales

Una vez expuestos y desarrollados los conceptos y las herramientas que se tuvieron en cuenta para la elaboración del corriente proyecto, explicaremos la metodología de trabajo propuesta para lograr la creación de un modelo virtual a partir de una nube de puntos. Es importante entender que estas herramientas cumplen un papel muy importante en el género de la construcción y modelaje. Gracias a los escáneres láseres 3D será posible modelar, a partir de una nube de puntos cualquier objeto, edificio o superficie que se desee, y al ser posible manipular la misma en sistemas BIM, como se dijo en los capítulos pasados, nos encontraremos frente a un nuevo concepto de medición, interpretación y modelado virtual.

4.2. Metodología

4.2.1. Toma de datos por escáner laser:

En este apartado explicaremos la metodología en la toma de datos, a partir de un escáner laser. Ya que en el apartado 2.3 del segundo capítulo del presente informe se ha explicado, el funcionamiento, la tecnología y la utilidad de esta herramienta de medición, evitaremos ser repetitivos y se hará enfoque en su método de empleo.

Existe un principio común en la metodología básica para la captura de datos y el post proceso en la mayoría de los instrumentos de escáner laser 3D, es por ello que la técnica utilizada se divide en tres etapas.

La primera etapa consiste en: la planificación, donde se seleccionaran los puntos de escaneo, esto permitirá aumentar el área de captura, y con ello minimizar las interferencias posibles. Otra tarea de esta fase es la de temporalización de escaneo.

La segunda etapa es el trabajo de campo, que se divide en la toma de datos del escáner y la toma de datos topográficos para la georreferenciación. En esta fase se relacionan los datos obtenidos con el escáner, con la posición geográfica absoluta obtenida por medio de un GPS. Esta relación nos brinda nubes de puntos con coordenadas X-Y-Z y en su caso R-G-B.

El escáner es una herramienta que documenta una superficie por medio de láser, y la presencia de obstáculos puede impedir que se registren algunas partes del elemento, creando sombras en la nube de puntos. Es por ello necesario, como se dijo en la etapa anterior, posicionar en varios sitios el escáner, logrando con ello completar la zona oculta y abarcar la totalidad del elemento a registrar. Además la toma de datos por

parte del escáner, implica el fotografiado del área a escanear y la medición de puntos, estableciendo la densidad de puntos con los que se trabajara.

Una vez ubicado el Escáner laser 3D en sus puntos de análisis se procederá al escaneo del elemento, por la característica de esas herramientas los resultados que obtendrán estarán georreferenciados.

Para lograr lo dicho anteriormente el escáner se sitúa sobre un trípode, o sobre cualquier elemento que permanezca fijo durante su funcionamiento. Generalmente estas herramientas se manejan a través de una PC que nos permitirá en primera instancia visualizar los datos capturados, además de poder obtener información directamente de la nube de puntos en bruto.

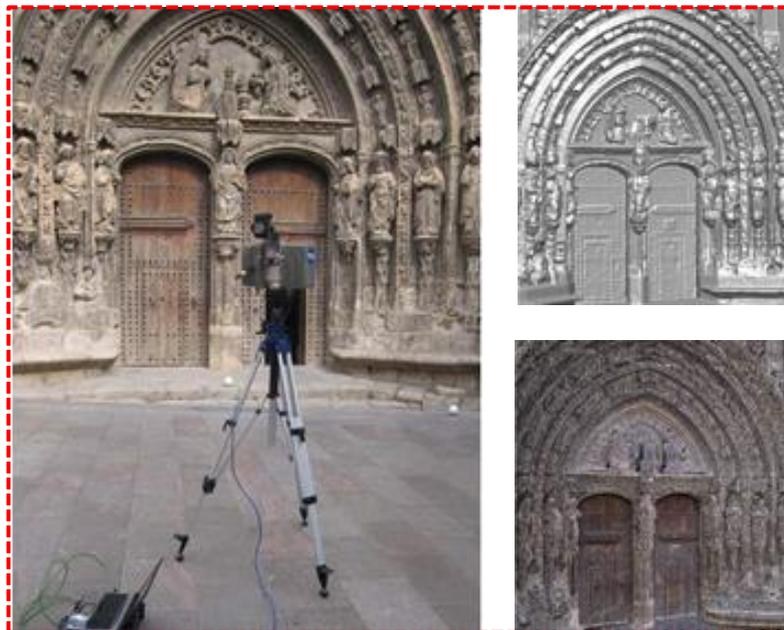


Fig.27: Levantamiento 3D a partir del escaneado laser. .

Fuente: <http://qifile.webs.upv.es/Investigacion.php>

La tercera etapa es el trabajo de gabinete, donde la información se procesa con el fin de obtener resultados, y evaluar su importancia y calidad.

Una de las ventajas más importante del escáner, es que a partir de la nube de puntos obtenemos una base de datos con enorme precisión y detalle, que es de mucha utilidad. La primera fase del procesado de esta, es la unión de los distintos escaneos que se hayan realizado. Luego se deberán eliminar, a partir de un proceso de filtración de manera manual y controlada, todos los elementos que interfieran o distorsionen los resultados de representación. Es posible triangular la nube de puntos y crear mallas, permitiendo una mejor visualización de la superficie documentada.

También se puede unir a ambos métodos, imágenes fotográficas obtenidas desde las cámaras que componen al escáner, logrando una mejor percepción del elemento documentado.

Una vez procesada la nube de puntos es posible exportarla, a otro software de digitalización virtual como por ejemplo los sistemas BIM. Allí se podrá modelar y dar forma al elemento escaneado.

La metodología de exportación y digitalización será explicada y detallada en los próximos apartados.

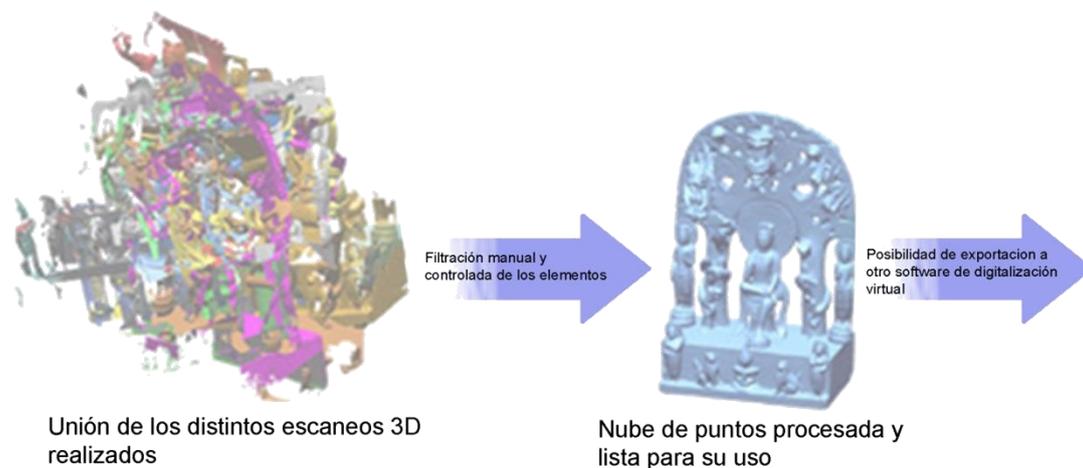


Fig.28: Unión y proceso de la nube de punto obtenida por escaneado laser.

Fuente: <http://www.zspotmedia.ro/software-3d-reproiectare-rapidform-xor-p338.html> Elaboración propia del TFM en la adaptación al castellano de la imagen original y supresión de información sobrante.

4.2.2. Proyecto de exportación de la nube de puntos para Revit:

Una nube de punto 3D es una descripción de los datos medidos por dispositivos de escaneo laser, que puede ser utilizado dentro de la industria de la construcción como un método para capturar el estado existente de un edificio. Los datos de dicha nube son utilizados en Revit como modelo de información de construcción, capaz de representar la geometría del edificio existente. Normalmente esta cualidad es considerada el punto de partida de los proyectos de renovación. Estas nubes se pueden insertar a un proyecto como cualquier otro dato de referencia.

4.2.3. Digitalización del modelo con plataforma Revit:

4.2.3.1. Insertar la nube de puntos a la plataforma:

En este apartado explicaremos los pasos a seguir para importar una nube de puntos a Revit.

Como primera medida se debe señalar en la barra de herramientas la función de insertar, donde se mostraran varios tipos de archivos que pueden incorporarse a la plataforma Revit. Ya que es de nuestro interés añadir una nube de puntos, debemos señalar la opción de insertar un archivo de nube de puntos. Al seleccionar el archivo deseado será posible, por medio de la opción posicionamiento elegir, como situar dicha nube en el proyecto, esto en relación a la ubicación de las elevaciones que vienen por defecto. Una vez realizado este proceso el programa nos indicara que debemos indexar, es decir convertir el archivo en datos brutos, donde Revit lo ejecuta automáticamente. Al terminar esta función, el programa indicara que el archivo ya está habilitado para ser tratado.

Una vez implantada la nube de puntos será posible crear de manera inversa un proyecto virtual, compuesto con los elementos paramétricos que nos ofrece la citada plataforma Revit.

Como primera medida es necesario que se detallen los pasos que se deben realizar con el modelo en nube de puntos. En un principio será seleccionado, en el explorador del proyecto, el plano de planta, donde se podrá percibir la morfología y espacios del proyecto. Posteriormente se deberá seleccionar una de las vistas, allí se pondrán niveles, y utilizando la herramienta de mover ajustaremos con precisión los mismos, partiendo como nivel 0.00 M el piso exterior. Luego se volverá al plano de planta y allí se delimitara la nube de puntos a partir de grillas, esta función denominada grilla se encuentra en la ventana de herramientas.

Una vez posicionados los niveles correctamente, será posible generar en el modelo 3D, una vista de las distintas plantas, permitiendo aislar una región particular de la nube y obtener una clara comprensión de las limitaciones que posee el proyecto en sus distintos niveles. Es posible lograr esta función, mediante la selección de cambio en la orientación de vista que nos brinda el modelo 3D.

El software Revit permite con la función cascada, ubicada en la ficha “ver” de la ventana de herramientas, percibir las plantas, secciones, alzados y vistas 3D, al mismo tiempo. Esto provoca ahorro en el tiempo de búsqueda de la documentación

técnica del proyecto, como así también una inmediata percepción de las modificaciones que se realizan. Esta tecnología de diseño permite crear los elementos del modelo, ajustándose a los planos que percibimos. Esto es posible ya que el programa empleado detecta la geometría de la nube de puntos, lo que permite añadir los elementos de construcción, muros, ventanas, techos, etc., en una vista, sección o elevación.

Al momento de modelar la nube de puntos con los elementos paramétricos, es posible que esta quede oculta dentro de los objetos, pero el programa a partir de la función de opciones de visualización gráfica, donde se podrá reducir la transparencia de las familias, permitirá observar con mayor claridad la geometría que ofrece la nube de puntos. Dicha función se encuentra en la herramienta de estilo visual.

Como desventajas que posee, se mencionara la imposibilidad de colocar cotas directamente, ya que esta tecnología no contiene elementos que puedan ser limitados. Los tipos de familia que se implementan, son ubicados mediante el uso de la nube de puntos como referencia y las herramientas de diseño para estimar una medida lógica. Una vez que se han comprendido los pasos, desde que se inserta la nube de puntos, hasta que se la modela, es notorio mencionar que el proceso de creación de planos es la parte más sencilla. Todo comienza con la introducción de datos para conformar el modelo arquitectónico, la creación de plantillas de trabajo, esquemas, y la incorporación de familias con objetos creados con anterioridad. Una vez creado el modelo es muy sencillo pedirle que nos brinde datos, ya sean en forma de planos o en forma de hojas de cálculo, tablas, o esquemas de color. Esto se debe a que BIM almacena los datos de una forma coherente en bases de datos.

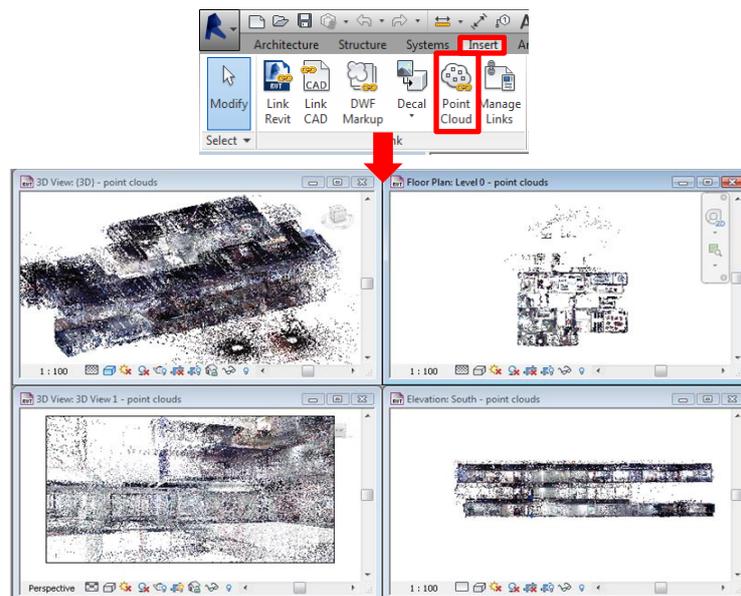


Fig.29: Inserción de una nube de punto procesada a la plataforma Autodesk Revit.
Fuente: Propia del TFM

4.2.3.2. Creación de elementos de diseño:

Después de ser insertada la nube de puntos, y que las plantas, vistas, secciones y alzados estén remarcadas por grillas y niveles, se pasa a los elementos de construcción.

En Revit Cada elemento de construcción pertenece a una categoría, es decir todos los tipos de muros, columnas, losas, techos, se agrupan en el mismo grupo de familia, predefinida por el programa. Es importante remarcar que las familias son elementos similares, pero difieren en su composición, por ejemplo dos muros de diferente materialización, son considerados de la misma categoría por ser paredes, pero cada uno se agrupa en una familia distinta. A su vez cada familia tiene diferentes tipos, donde cada uno posee las mismas características funcionales y constructivas, pero difieren en dimensión.

Las propiedades de estos elementos paramétricos podrán ser editadas en la ventana de propiedades, dichas modificaciones no comprometerán la forma y la función del objeto. Es decir si se modifica la altura de un tipo de muro, solo la pared seleccionada cambiara de altura, no todas las del mismo tipo, en cambio al modificar el espesor que tiene parámetro de tipo, será necesario crear un nuevo tipo de muro en particular.

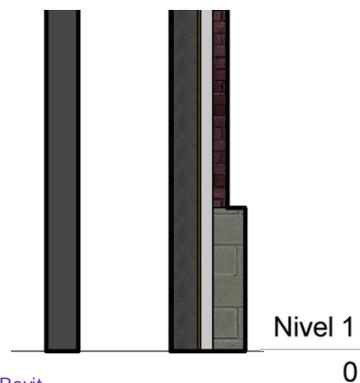


Fig.30: Elevación de muros en Autodesk Revit.
Fuente: Propia del TFM

Es notorio remarcar que el sistema Revit al igual que otros programas BIM, poseen en sus bibliotecas familias y tipos ya predefinidos. Debido al tipo de trabajo que se presenta en el presente informe, que parte de un edificio existente modelado en nube de puntos, se percibirá que generalmente las tipologías de elementos que traen los programas por defectos no son suficientes. Es decir será necesario crear nuevas familias y tipos de elementos, o modificar las existentes para lograr satisfacer las necesidades de proyección.

Al profundizar en la metodología de creación de elementos, es preciso explicar que para dibujar una pared es necesario señalar la herramienta de muros, donde se deberá elegir la familia y tipo de pared que corresponda con el proyecto.

Como se ha mencionado anteriormente, si por defecto los tipos de muros no concuerdan con lo que se necesita, se deberá crear un nuevo tipo. Esto será posible utilizando la función de editar tipo, donde a un muro existente, primero se lo duplicara y luego se cambiar de nombre. Al terminar este paso se modificaran las propiedades características, es decir el espesor, el material, la función, la altura, etc. De este modo se creara un nuevo tipo de familia.

Se debe tener en cuenta que para modificar el material del nuevo muro creado será necesario entrar en editar tipo, una vez estando allí será seleccionada la función de editar estructura, esa opción brindara la función de editar materiales, donde será posible seleccionar el adecuado o generar uno nuevo. Al modificar el tipo de material es posible agregar texturas, y parámetros de cálculos físicos y térmicos.

El espesor del nuevo muro será calculado, en relación a las distancia de las grillas propuestas, ya que estas sirven como referencia de medida y de forma. La altura de los muros dependerá de la cantidad de niveles propuestos, como así también las grillas señaladas, ya que estas pueden ser utilizadas horizontal o verticalmente. Los niveles a su vez dependerán de la morfología del proyecto. La función se encarga de dar el sentido estructural y la cantidad de capas que la componen, si el muro no es un solo bloque.

Del mismo modo con el que se trató a los muros, ya sea en su modificación o creación, será válida para cada elemento constructivo del proyecto, sean estos, suelo, pilares, cielorraso o techos.

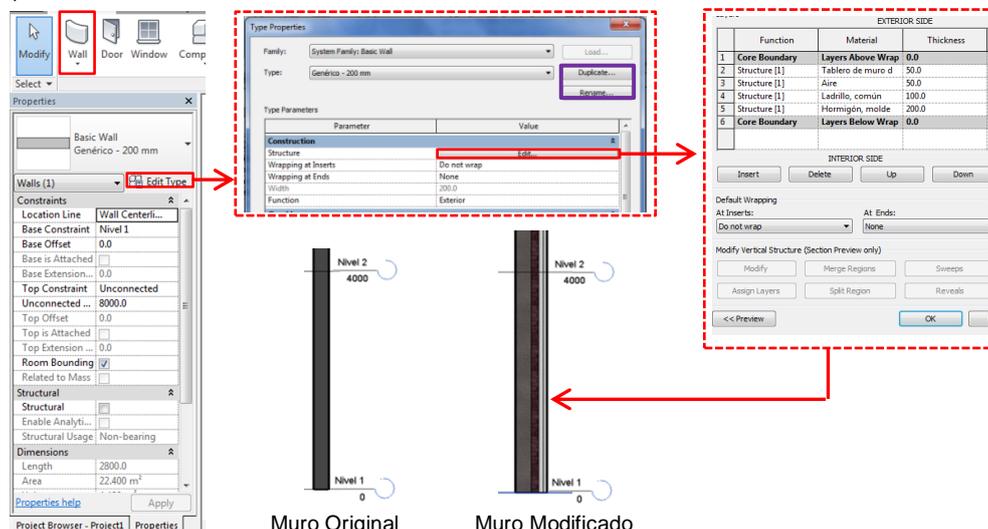


Fig.31: Representación del método de modificación del tipo de muro.

Fuente: Propia del TFM

Para diagramar el suelo, se necesita principalmente seleccionar la herramienta de suelo, en la ventana de herramientas. Una vez seleccionada la función, y modificado al tipo que corresponda, se trazara con las herramientas de dibujo, el contorno del mismo, siguiendo las grillas que demarquen el perímetro de la nube de puntos. Esto se realizara en la primera planta de nivel. La forma de diagramar de los techos se asemeja al del piso, por ello se evitara explicar y ser repetitivos.

Dentro del conjunto de familias, también se encuentran las ventas y puertas. Estas poseen el mismo inconveniente que los demás elementos, ya que la biblioteca de disposición es limitada, se deberán modificar o crear nuevos tipos, para satisfacer las necesidades del proyecto. Su ubicación dependerá de la nube de puntos como referencia, también de las grillas y niveles propuestos. Pueden ser tratados en planta, como en vistas. El movimiento de estos elementos, se realiza de la misma forma que los niveles, a través de la herramienta movimiento.

4.2.3.3. Modelado de objetos:

Como se ha explicado anteriormente los elementos de Revit se organizan en categorías, las familias y los tipos. Cada clase de objeto puede tener varias familias, a su vez cada familia tiene algunos tipos predefinidos, q generalmente son objetos estándares de la construcción. Sin embargo no siempre son suficientes, o deseadas las familias o tipos existentes, es por ello necesaria la construcción de elementos, de acuerdo con el propósito.

A continuación se explicara la creación de nuevos objetos en la familia de modelos genéricos.

Los elementos paramétricos, como muros y pilares son necesarios para modelar un proyecto. Estos elementos sin importar la familia, o al tipo que pertenezcan siempre se elevan de la misma manera, es decir en el caso de los muros, la plataforma Revit los crea rectos, curvos, o siguiendo la forma de una masa previamente fabricada, pero con el inconveniente que las terminaciones son lisas, sin decoración, y con el mismo espesor desde el principio hasta el final. En el caso de los pilares la metodología de elevación únicamente varia en la morfología de su base, pero su recorrido tiene el mismo problema que los muros. Debido a este inconveniente, y porque generalmente las obras ya edificadas no siempre poseen muros lisos, y en el caso de una edificación antigua, que está recubierta de molduras, es necesario modelar con los elementos genéricos.

Para diseñar un elemento en esta familia, primero se debe crear un nuevo tipo. Como primera acción se deberá seleccionar en la barra de herramientas, la función de componentes, una vez seleccionado se elige la opción de crear modelo en el lugar. Esta opción abrirá una ventana denominada, categoría de familias y parámetros, la cual desplegará una lista con todas las categorías de familia, en esta instancia será seleccionada la familia a modificar, la cual hemos señalado como modelos genéricos. Una vez seleccionado el nombre, se debe elegir el plano de trabajo donde se desee diseñar. La selección del mismo dependerá del nivel donde se está trabajando, si el dibujo del objeto se está realizando en planta, y de las grillas o secciones que posea el modelo de nube de puntos si el objeto se está diagramando en vistas 3D, elevaciones o secciones.

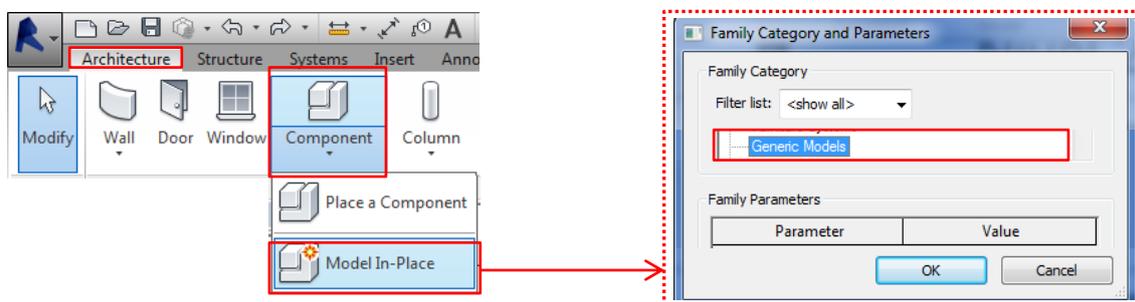


Fig.32: Representación del método de modelado de un objeto.
Fuente: Propia del TFM

Luego de finalizar los pasos anteriores, se debe proceder a la elaboración del objeto. La forma de los mismos, va a depender del sentido del proyecto, y como se ha mencionado anteriormente el modelado de un objeto genérico es para satisfacer las necesidades de salvar formas complejas. Es por ello que para diagramar un elemento, el programa posee en su ventana de herramientas varias funciones posibles de elegir.

Entre ella se encuentra la Extrusión, que consiste en crear un sólido 3D mediante la extrusión de una forma, o perfil en 2D, es decir el boceto de una forma en dos dimensiones se utiliza como base para lograr a partir de un punto de inicio y otro de final un objeto sólida con volumen.

Otra es la herramienta Blend, la cual crea una forma sólida 3D que cambia a lo largo de su longitud, ya que combina dos perfiles. Es decir crea un sólido volumétrico donde la base tendrá una forma y la cúspide otra.

La función giro de sólidos, es la encargada de crear formas 3D mediante el barrido de un perfil 2D alrededor de un eje.

Como cuarta opción el programa nos brinda el barrido sólido, este crea una forma 3D a partir de un boceto en 2D.

La herramienta de mezcla de barrido sólido, crea un sólido volumétrico a partir de la forma de partida, la forma final y la ruta 2D que se especifique.

Como última opción se encuentra la herramienta de formas vacías, esta peculiar función posibilita crear formas volumétricas, a partir de las mismas opciones antes descritas, pero con la particularidad de que estas serán formas vacías, utilizadas para eliminar partes de una forma sólida.

La forma de diagramar los bocetos en las distintas funciones señaladas, es la misma. Una vez seleccionada la opción correspondiente, se dibujara con la herramienta de dibujo, donde es posible seleccionar, líneas rectas, curvas, rectángulos, círculos, hexágonos, etc. Estos esquemas en 2D pueden ser tratados en cualquier vista del proyecto, es decir es posible utilizar estas herramientas, tanto en alzado, como en planta, o en el mismo modelo 3d. El resultado obtenido, en su origen carece de propiedades constructivas. Por ello, luego de generar la forma 3D es necesario seleccionar la ventana de propiedades, y dotar al objeto con algún material. En dicha ventana será posible dotar de altura al objeto, en la función de materiales y terminaciones, podría seleccionarse el material correspondiente.

Al elegir la opción de materiales se abrirá, la misma ventana que funciona para los muros, pilares, suelos, techos, etc., una de las particularidades de este sitio es brindar las mismas características y materiales, a todos los elementos del proyecto.

Cuando se finaliza la creación del modelo genérico, en primer lugar se debe asegurar que lo proyectado satisfaga las necesidades, y por otra parte revisar si los valores son los correspondientes. Luego se seleccionara la función de finalizar el modelo. En ese momento el objeto será una familia que integra el proyecto, el cual podrá ser manipulado con las herramientas de movimiento, copiado, rotación, etc.

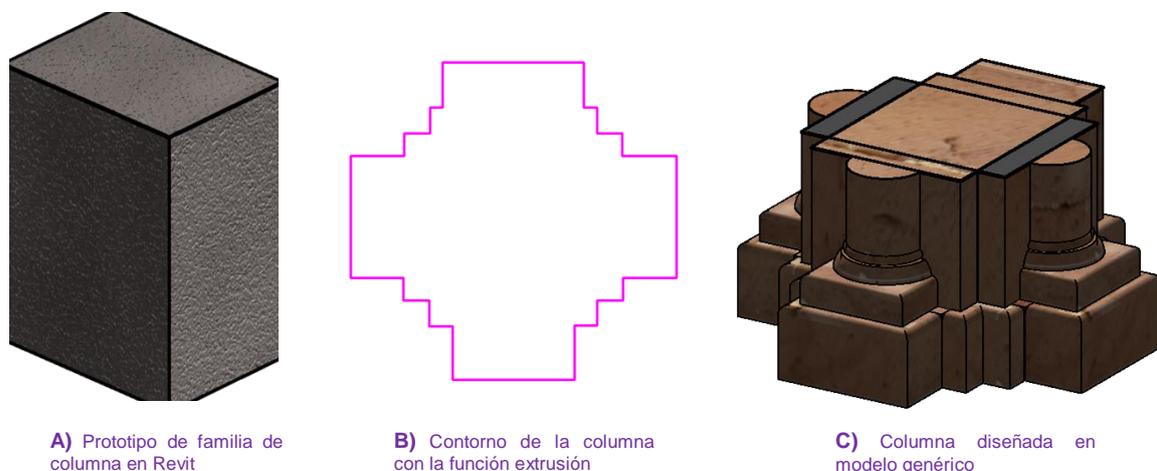


Fig.33 (A, B, C): Diferencia entre la elaboración de un prototipo de columna, y una columna tratada como objeto.
Fuente: Propia del TFM

4.2.3.4. Elaboración de imágenes fotorrealistas:

En este apartado serán detallado los pasos para realizar, en la plataforma Revit imágenes fotorrealistas, a partir de un modelo virtual previamente diseñado o insertado.

Las imágenes fotorrealistas generalmente se crean para presentar un proyecto a un cliente, compartirlo con integrantes del mismo equipo, para percibir la interacción entre los materiales utilizados, etc.

Para lograr una imagen fotorrealista en esta plataforma utilizada es necesario, principalmente tener conocimientos previos sobre la manera de empleo de la herramienta de renderizado, que es la encargada de lograr esta cualidad en una imagen. Luego se deberá seguir la siguiente metodología:

Como primer paso se deberá modelar en su totalidad una nube de puntos y conseguir un proyecto virtual acabado. Una vez terminado el modelo 3D los pasos son:

- Crear una vista 3D del modelo
- Especificar el aspecto de renderización de los materiales.
- Definir la iluminación del modelo de construcción.
- Definir la configuración de renderización.
- Modelizar la imagen (poner en funcionamiento la herramienta)
- Guardar la imagen obtenida.

Cuando se selecciona en la ventana de herramientas la opción de vista 3D el programa automáticamente, demuestra el modelo construido. (En esta vista se puede manipular la percepción del edificio, en relación a los ejes cardinales, si se mantiene presionada la tecla Shift del teclado y la ruedita del ratón) Este beneficio facilitara obtener distintas vistas del edificio.

Como se ha mencionado en el apartado 4.2.3.2, cada elemento u objeto, que componen al modelo, poseen características y propiedad. Dentro de estas cualidades se encuentran los materiales, que pueden ser modificados dependiendo de la necesidad del proyecto. Su forma de modificación fue descripta en el citado apartado, se evitara especificar en el tema para obviar ser repetitivos.

Para definir los demás pasos que se han señalados, es necesario abrir el cuadro de dialogo de renderización. La apertura de dicho cuadro se logra seleccionando, en la ventana de herramientas de vistas, la opción Render.

Después de que haya sido abierto, será necesario definir el área de vista que se desea renderizar, esta opción se logra marcando el cuadro vacío que dice región. Los beneficios que esta función brinda son para enfocar lo que se quiere realmente renderizar, probar los aspectos dados a los materiales, reducir la cantidad de tiempo en lograr una imagen, etc.

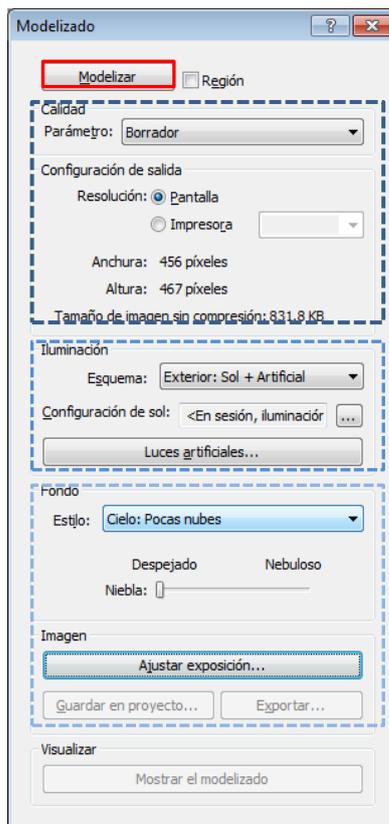
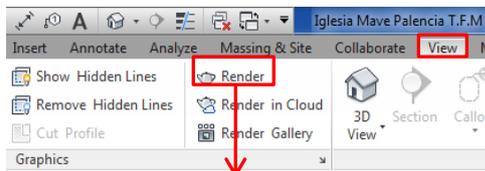


Fig.34: Representación del método de elaboración de imágenes fotorrealistas.
Fuente: Propia del TFM

Como señala el cuadro de dialogo, la primera opción a modificar será la calidad del parámetro, la función de esto es lograr una mayor calidad en la imagen q se espera obtener, se debe tener en cuenta que a mayor calidad, mayor será el tiempo de espera para que se genere el mismo.

Si dentro de esta opción es seleccionada la calidad personalizada, aparecerá una nueva ventana denominada parámetros de calidad de modelizado. En dicha ventana será posible modificar los parámetros de precisión de imagen, de número máximo de reflejos, número máximo de refracciones, precisión de reflejos borrosos, precisión de refracciones borrosas, activar sombras suaves, precisión de sombras suaves, cálculo de iluminación celeste o indirecta, precisión de iluminación indirecta, suavidad de iluminación indirecta, rebotes de iluminación indirecta, y si existe paso de luz diurna se seleccionarán ventanas, puertas y muros cortinas. Al lograr la calidad deseada se

seleccionará aceptar y se pasara a otra configuración.

El siguiente paso será seleccionar la opción de iluminación, donde se elegirá la configuración deseada. Si la elección es un esquema de iluminación solar, la posición de este podrá ser configurada también. Para lograr su configuración será necesario seleccionar en la barra de controles de vistas, la opción de camino del sol. Allí se podrá definir la ubicación geográfica específica, el día y la hora, con estos datos el programa sabrá si la incidencia del sol es con la intensidad de verano, otoño, invierno o primavera.

También es posible seleccionar esquema de iluminación que use luz artificial, o un combinado de luz artificial y luz natural.

Siguiendo en el cuadro de dialogo, luego de configurar la iluminación, se debe configurar el fondo. Esta opción consta de tres aspectos para configurar sus características, una es seleccionar como estilo un color uniforme, donde el mismo puede ser modificado. Otra opción es elegir como estilo el cielo con o sin nubes, donde será posible a través de deslizadores generar niebla. Como tercer aspecto se elegirá como estilo imagen, al seleccionar este estilo será posible elegir la opción de personalizar la imagen, allí arrastraremos o abriremos la imagen que se desee.

Una vez finalizado los pasos descritos y señalados anteriormente se llevara a cabo la modelización. Para lograr esto es necesario seleccionar la opción de renderizar. Al iniciarse el proceso de renderizacion el programa demuestra que la función se logra, renderizando un bloque de imagen a la vez. También detalla en un cuadro el progreso de la imagen. Es posible cancelar la función, seleccionando la opción de cancelar.

El último paso a realizar es el de guardar la imagen, para guardarla como una vista de proyecto se debe seleccionar en el cuadro de dialogo la opción de guardar, luego es necesario introducir un nombre y darle aceptar.



A) Imagen real de un modelo 3D realizado con la plataforma Autodesk Revit.



B) Resultado obtenido al modelizar con la herramienta render.

Fig.35 (A, B): Diferencia entre una imagen tratada y una no tratada.
Fuente: Propia del TFM

4.2.3.5. Simulación térmica del modelo virtual:

A continuación se explicará la metodología necesaria para lograr, la elaboración del análisis térmico de un modelo previamente diseñado o insertado, en la plataforma Revit.

La herramienta de análisis energético se encarga, como su nombre lo indica de realizar análisis de simulaciones energéticas tanto en masas conceptuales, como en elementos de la construcción, con el inconveniente de que no combina ambos estilos, es uno o el otro. Por el sentido del presente documento, se explicara únicamente la metodología de simulación con elemento de la construcción.

Este modo permite utilizar directamente los elementos constructivos del edificio, como así también usar los datos de propiedades térmicas de cada elemento. Así se podrán realizar análisis y comparar resultados con distintos materiales en fases avanzadas del proyecto, y lograr con ello construcciones sustentables. Se debe entender que al hablar de los elementos constructivos se hace referencia a muros, suelos, ventanas, puertas y techos únicamente.

Las limitaciones que poseen los modelos, previo a su análisis energético son:

- El tamaño del volumen del edificio a analizar no debe superar los 560.000m³, ya que sino el programa no podría procesar tanta información.
- La complejidad de sus detalles, es decir si hay elementos clave de la envolvente que utilizan familias in situ, serán omitidos o rechazados. Al hablar de familia in situ hacemos referencia a lo citado en el apartado 4.2.3.3 sobre modelos genéricos.
- Los pilares y los huecos en muros curvados, también serán omitidos para realizar el análisis energético.

Para lograr generar una simulación energética es necesario seguir la siguiente metodología: Como primer paso se deberá modelar en su totalidad una nube de puntos y conseguir un proyecto virtual acabado. Luego habrá que:

- Iniciar sesión en Autodesk 360
- Definir los elementos de construcción que se utilizaran como base.
- Modificar la configuración de energía de la construcción según sea necesario.
- Ejecutar la simulación energética.
- Especificar nombre para la ejecución.
- Examinar los resultados del análisis.

Para iniciar sesión, se debe escribir la identificación de Autodesk y la contraseña. (Si no se inicia sesión antes de ejecutar la simulación, el sistema solicitará que lo haga). La identificación se obtiene de dos maneras, una comprando el programa y la otra es descargándolo como versión de prueba para estudiantes, donde la validación dura 3 años.

Después de haber iniciado sesión, se seleccionará en la barra de herramienta la ficha de Analizar, allí se optará por la opción de análisis energético y se elegirá el modo de elementos de construcción.

Una vez seleccionado el modo de análisis, se deberá modificar la configuración de energía de la construcción. Para poder realizar esta modificación, es necesario seleccionar la opción de configuración de energía, que se encuentra ubicada en el grupo de Análisis energético.

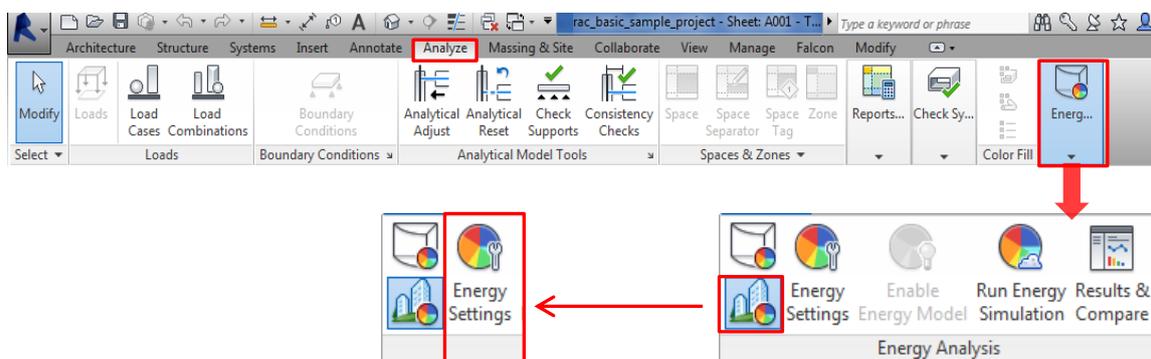


Fig.36: Representación del método de simulación térmica de un modelo virtual.
Fuente: Propia del TFM

Con esta función se podrá definir:

- A. La configuración de energía básica, donde será posible, dependiendo de la ocupación asignada a la construcción, elegir el tipo de edificio, ya sea religioso, vivienda familiar, centro deportivo, etc. También es posible configurar el plano del suelo, donde el seleccionado debe ser el que este al ras del suelo, ya que lo que esté por debajo del mismo será considerado subterráneo. Como último dentro de esta configuración es posible modificar la ubicación del proyecto, al seleccionar esta opción se podrá especificar la ubicación y seleccionar la estación meteorológica correspondiente, mediante la opción de servicio de información geográfica de internet. Estos parámetros influirán en el consumo energético, relacionado al proyecto.

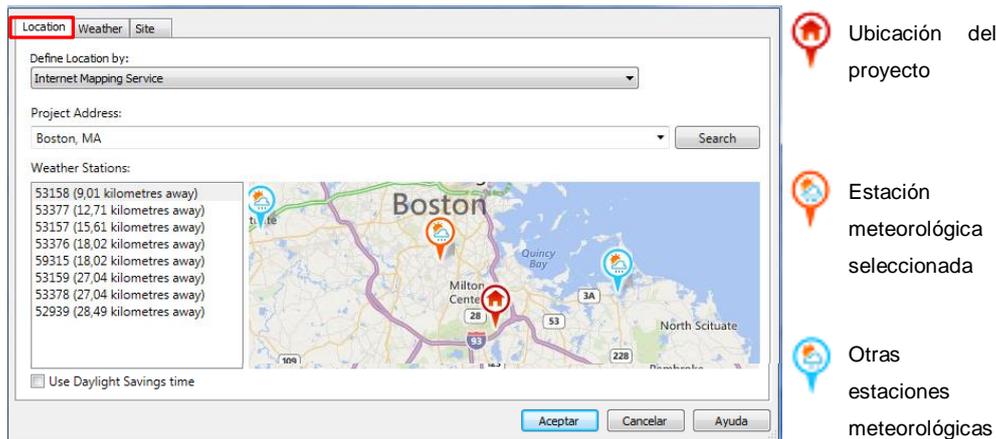


Fig.37: Selección de la ubicación geográfica del proyecto y de la estación meteorológica mas cercana.
 Fuente: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-291FB8FB-C7BB-4FA3-9691-344B82B2C81C>

B. En los parámetros de energía opcionales, será posible configurar la categoría de exportación, y también se podrán incluir los datos de las propiedades térmicas, de los materiales, de los elementos de construcción como muros, suelos, techos, etc.

- o Es importante señalar la manera de añadir propiedades térmicas a los elementos. Principalmente se debe seleccionar en el proyecto un elemento de construcción, por ejemplo un muro. Luego en la ventana de propiedades se debe seleccionar editar tipo, una vez estando allí será seleccionada la función de editar estructura, esa opción brindara la función de editar materiales, donde será posible seleccionar el adecuado o generar uno nuevo. Al modificar el tipo de material es posible, en los parámetros térmicos, editar sus propiedades. Una vez modificado sus valores, se elegirá aplicar y luego aceptar.

Dentro de los parámetros de energía opcionales, también es posible modificar la resolución de espacio analítico, la resolución de superficie analítica, las construcciones conceptuales.

Parameter	Value
Common	
Building Type	Single Family
Location	Boston, MA A
Ground Plane	Level 1 Living Rm.
Detailed Model	
Export Category	Rooms
Export Complexity	Simple with Shading Surfaces B
Include Thermal Properties	<input checked="" type="checkbox"/>
Project Phase	Working Drawings
Sliver Space Tolerance	304.8
Energy Model	
Analytical Space Resolution	200.0
Analytical Surface Resolution	200.0
Core Offset	3600.0
Divide Perimeter Zones	<input checked="" type="checkbox"/>
Conceptual Constructions	
Target Percentage Glazing	40%
Target Sill Height	750.0
Glazing is Shaded	<input type="checkbox"/>
Shade Depth	600.0
Target Percentage Skylights	0%
Skylight Width & Depth	914.4

Fig.38: Ventana de selección de los parámetros a modificar.
 Fuente: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-291FB8FB-C7BB-4FA3-9691-344B82B2C81C>

Al terminar de modificar estos parámetros, se seleccionará la opción de aceptar. Ya se ha elegido el modo de análisis, también se han configurados los parámetros acorde al proyecto, el paso siguientes es seleccionar en la barra de herramientas la ficha analizar, luego escoger el grupo de análisis energético, y elegir la opción de ejecutar simulación.



Fig.39: Selección de la opción ejecutar simulación en la herramienta de análisis.
Fuente: Propia del TFM

Una vez señalada esta función, aparecerá una ventana que se debe aceptar para crear el modelo analítico de energía y ejecutar la simulación energética. Inmediatamente el programa emitirá un aviso de que ya se ha generado el modelo analítico de energía, y que es necesario aceptar para seguir con la simulación. El siguiente paso es dotar de nombre al análisis, en el cuadro de dialogo “Ejecutar simulación energética”, en la opción Nombre de la ejecución.

Al finalizar la simulación, surgirá una indicación de que ha culminado el trabajo, al seleccionar esa ventana se abrirá el cuadro de resultados y comparaciones. Otro método para acceder al cuadro de resultados y comparaciones es el de elegir en el grupo de análisis energético, la opción de resultados y comparación. En dicho cuadro se podrán visualizar los resultados de simulaciones actuales o alguna analizada previamente.



Fig.40: Selección de la opción resultados y comparaciones en la herramienta de análisis.
Fuente: Propia del TFM

Al simular un proyecto por primera vez, se crea una carpeta y en ella se coloca el resultado del análisis. Si en un futuro se genera otra simulación utilizando los mismos valores, los resultados se archivarán en dicha carpeta, si los valores son modificados los resultados se guardaran en una nueva carpeta.

Para visualizar una simulación se deberá elegir el resultado correspondiente, dependiendo del nombre con que se lo haya designado, unos pasos antes. Estos resultados se encuentran en el panel de la izquierda de la ventana. Una vez seleccionada la simulación, esta presentará una serie de tablas y diagramas de análisis energético. Los cuales son:

- **Factores de rendimiento de construcción:** Esta tabla resume los principales factores que afectan al consumo de energía del modelo analizado. Los factores son varios y se percibirán en la siguiente imagen.

Ubicación:	Boston, MA
Estación meteorológica:	53158
Temperatura exterior:	Máx:82F/Mín:-10F
Área común del piso:	21,460pies cuadrados
Área de muro exterior	13,782pies cuadrados
Potencia de iluminación media	0.98 W/ft ²
Personas	93
Proporción de ventanas en exterior	0.29
Costo eléctrico	\$0.16/ kWh
Costo de combustible	\$1.54/U térmicas

Fig.41: Factores de rendimiento de construcción.

Fuente: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-C9FEEA21-770F-472B-B2C7-0C9A54125800>

- **Intensidad de uso de energía (EUI):** Esta tabla proporciona información sobre el uso de energía por unidad de área común del piso.
- **Costo/Uso de energía de ciclo de vida:** Esta tabla resume la estimación de uso y coste de energía durante la vida del edificio, calculada como 30 años.
- **Potencial de energía renovable:** Esta tabla resume la cantidad de electricidad que el modelo podría producir mediante el uso de paneles solares y turbinas eólicas. Estos análisis se basan en los datos de la estación meteorológica especificada para la ubicación del proyecto.
- **Emisiones de carbono anuales:** Este diagrama resume la estimación de emisiones de CO2 asociadas al consumo de energía del modelo analizado. Para este cálculo el programa utiliza datos de CARMA (Carbon Monitoring for Action)
- **Uso/Costo de energía anual:** Este diagrama compara el uso de energía estimado para combustibles de uso extendido y para electricidad.

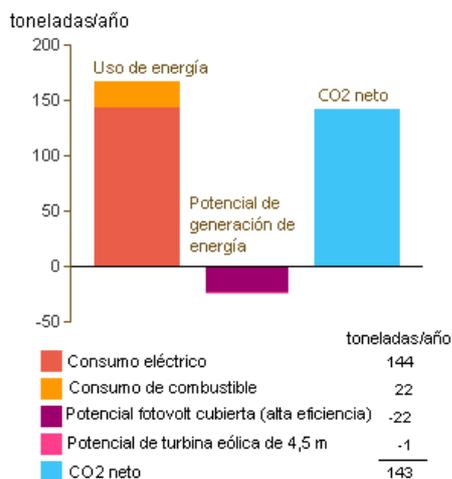


Fig.42: Emisiones de carbono anuales.

Fuente: <http://help.autodesk.com/>

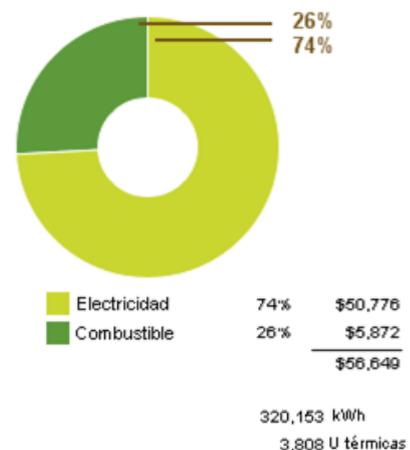


Fig.43: Uso/Costo de energía anual

Fuente: <http://help.autodesk.com/>

- **Uso de energía combustible:** Este diagrama compara el uso de combustible estimado para climatización y para agua caliente doméstica.
- **Uso de energía electricidad:** Este diagrama muestra el uso de electricidad estimado para usos principales, incluida la climatización, la iluminación y los equipos.

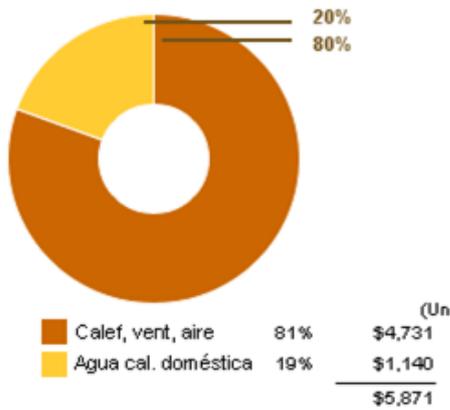


Fig.44: Uso de energía: combustible.
Fuente: <http://help.autodesk.com/>

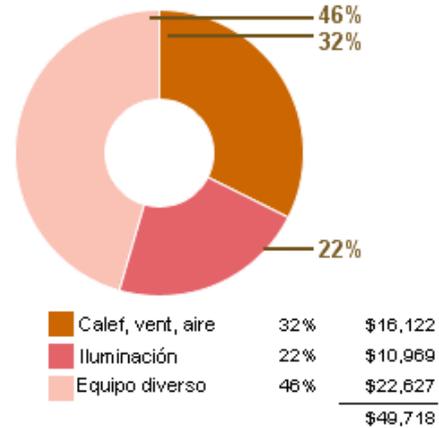


Fig.45: Uso de energía: electricidad.
Fuente: <http://help.autodesk.com/>

- **Ahorro de energía potencial:** Este diagrama es utilizado principalmente para realizar una comparación con otros edificios existentes, y demostrar si los elementos de diseño, construcción y sistemas de un edificio permiten ahorrar energía.

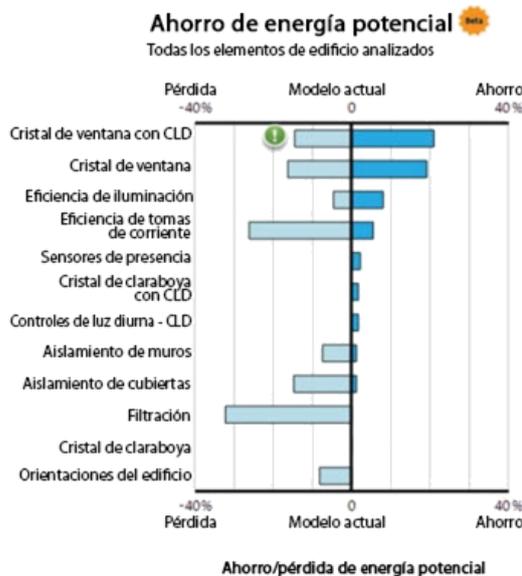


Fig.46: Ahorro de energía potencial.
Fuente: <http://help.autodesk.com/>

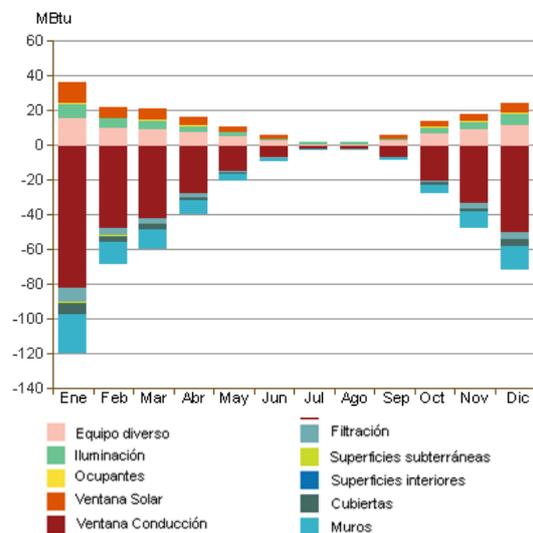


Fig.47: Carga de calefacción mensual.
Fuente: <http://help.autodesk.com/>

- **Carga de calefacción mensual:** Muestra las cargas acumuladas en el modelo analizado para cada mes.

- **Carga de refrigeración mensual:** Muestra las cargas acumuladas en el modelo analizado para cada mes.
- **Consumo de combustible mensual:** Muestra la estimación de uso de combustible del proyecto por mes.

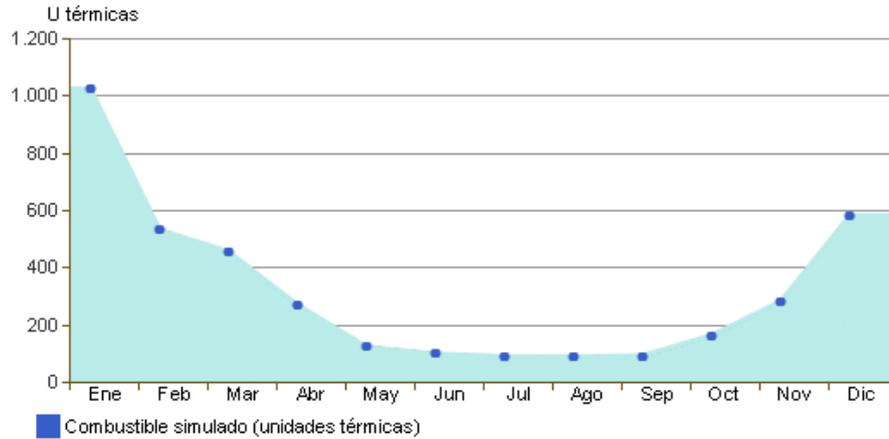


Fig.48: Consumo de combustible mensual.

Fuente: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-B3D23AB2-495E-4FDE-A8CD-60D5BFABA900>

- **Consumo de electricidad mensual:** Muestra la estimación de uso de electricidad del proyecto por mes.
- **Demanda máxima mensual:** Muestra la estimación de demanda máxima de electricidad por mes del proyecto.
- **Rosa de los vientos anual (Distribución de velocidad):** Una rosa de los vientos proporciona información gráfica sobre la velocidad y la dirección del viento. Estas rosas de los vientos utilizan 16 direcciones cardinales.

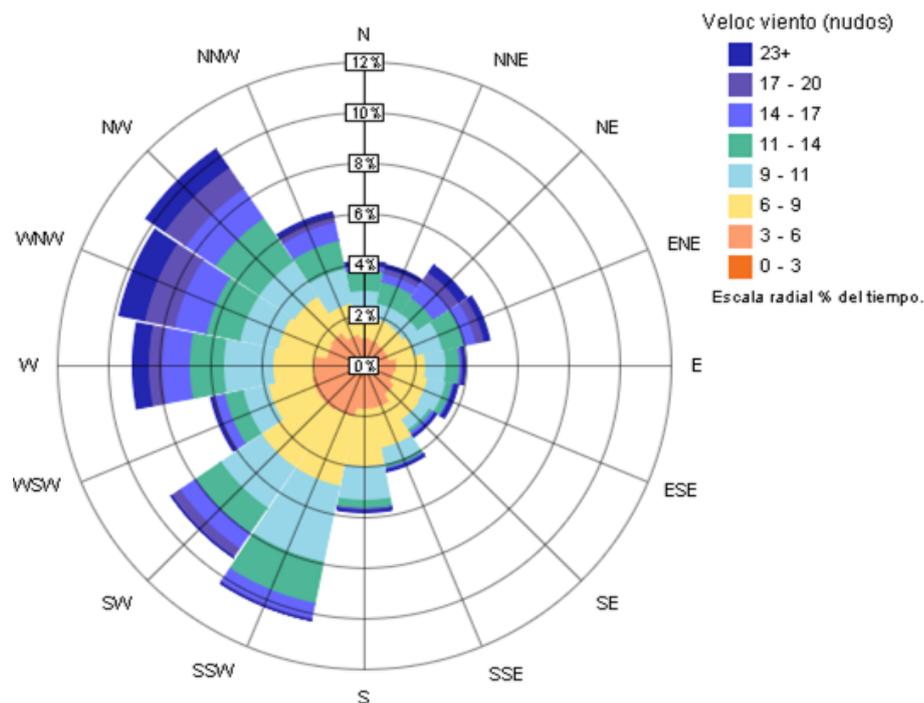


Fig.49: Rosa de los vientos anual

Fuente: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-2AACFEA1-16BD-4A01-BD75-81B12E56A57C>

- **Rosa de los vientos anual (Distribución de frecuencia):** Muestra los mismos datos que la de distribución de velocidad, pero en este caso la escala radial representa la frecuencia eólica. Además, el color de los segmentos representa horas en lugar de velocidad del viento.
- **Rosa de los vientos mensuales:** Estas rosas de los vientos muestran la distribución de frecuencia para cada mes del año.
- **Datos de diseño mensuales:** Este diagrama proporciona información sobre condiciones de diseño exterior.
- **Grupos de temperatura anual:** Muestra el número de horas al año que las temperaturas seca y húmeda caen por debajo de cierto intervalo de temperaturas.
- **Medias meteorológicas diurnas:** Muestra medias anuales de temperatura y radiación solar.
- **Humedad:** Muestra el intervalo anual de humedad relativa.

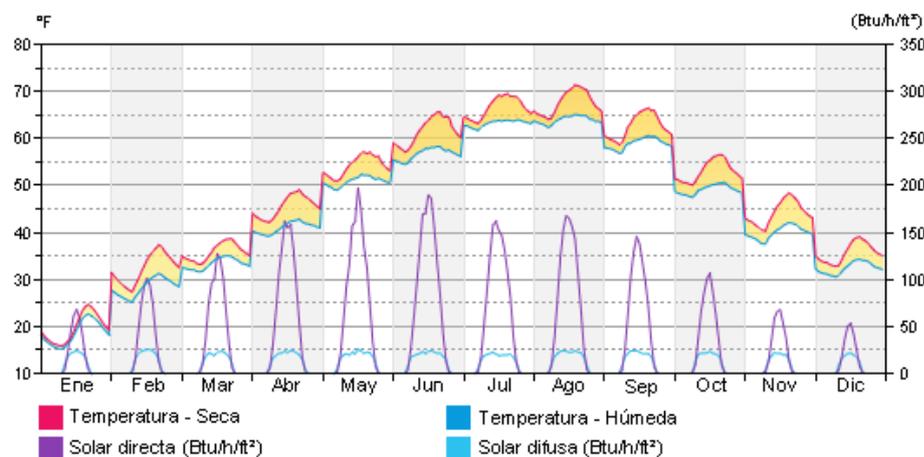


Fig.50: Medias meteorológicas diurnas

Fuente: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ESP/?guid=GUID-CD2301AB-39F1-4798-8321-615DD794BDBF>

Al finalizar la observación y el control de cada diagrama y tabla, el análisis energético concluye. Será posible hacer modificaciones, si es necesario, para lograrlo se deberán realizar cambios en los valores de los parámetros y en la configuración de energía.

Estos resultados pueden ser exportados en formato de archivo (DOE2, PDF, gbXML, o Energy Plus). Para ello se deberá seleccionar en el cuadro de diálogo y resultados la opción de exportar, ubicada en la barra de herramientas.

Cabe aclarar que las tablas y diagramas expuestas anteriormente corresponden a los resultados de una simulación energética modelo. Las mismas se encuentran en la página oficial de Autodesk, como así también dicha página nos brinda las explicaciones de cada tabla y diagrama.

Capítulo 5

5.1. Consideraciones Iniciales

Tras haber desarrollado todos los temas del trabajo, es importante demostrar cómo se aplican las herramientas a un caso de estudio real.

Para lograr su implementación fue necesario entender la importancia de ellas, en referencia, a su utilización en el patrimonio histórico estudiado, ya que la evolución cultural y social es un hecho, la conservación y estudio del patrimonio debería tratarse como algo corriente y evolutivo, para con ello no olvidar nuestras costumbres y enseñanzas pasadas.

Los datos que hemos utilizados consisten en una nube de puntos, que corresponde a la iglesia Santa María la Real de Mave, digitalizada en 2009. Esta información nos brindó la Div. de Robótica y Visión Artificial del centro tecnológico CARTIF. Como se demostrara con las siguientes imágenes, gracias a la nube de puntos manipulada en la plataforma Autodesk Revit 2014, el cual es un programa que utiliza sistema BIM, y a las fotografías captadas in situ, fue posible recrear un modelo visual, capaz de generar vistas 3D, alzados, plantas, datos técnicos, etc.

El objetivo final es proporcionar un modelo virtual 3D a partir de una nube de puntos, y con ello, realizar los distintos tipos de análisis necesario, como así también poder plantear estudios de rehabilitación, reconstrucción, etc., o el simple hecho de permitir en un futuro a los usuarios conocer y disfrutar del edificio en formato digital.

5.2. Presentación del edificio

5.2.1. Situación:

El monasterio de Santa María se sitúa en el pueblo de Santa María de Mave. Dicho pueblo es una localidad del municipio de Aguilar de Campo en la comarca de la Montaña Palentina. Se encuentra geográficamente a unos 10 km al sudeste de la ciudad Aguilar de Campoo, en el extremo nororiental de la provincia de Palencia, en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, España.

Santa María de Mave cuenta con 28 habitantes, y está a 872 m. de altitud.

El acceso más sencillo hacia el monasterio, es a través de la N-611 hasta Olleros de Pisuerga, donde se toma la carretera P-620. [46]



Fig.51: Mapa de Castilla y León, Palencia y Santa María de Mave

Fuente: <http://www.xn--pateandoespaa-tkb.es/archivo7/espana/todas%20las%20ciudades/Provincia%20de%20Palencia.html>
Elaboración propia del TFM en la marcación y distribución de los mapas.

5.2.2. Emplazamiento:

El templo se encuentra a la izquierda de la carretera P-620, dentro del conjunto del antiguo monasterio benedictino, actualmente muy transformado y convertido en hostel. Santa María de Mave viene a ser hoy un barrio de Mave, con unas pocas viviendas y la estación de ferrocarril. La iglesia se mantiene prácticamente intacta y en buen estado de conservación. [46]

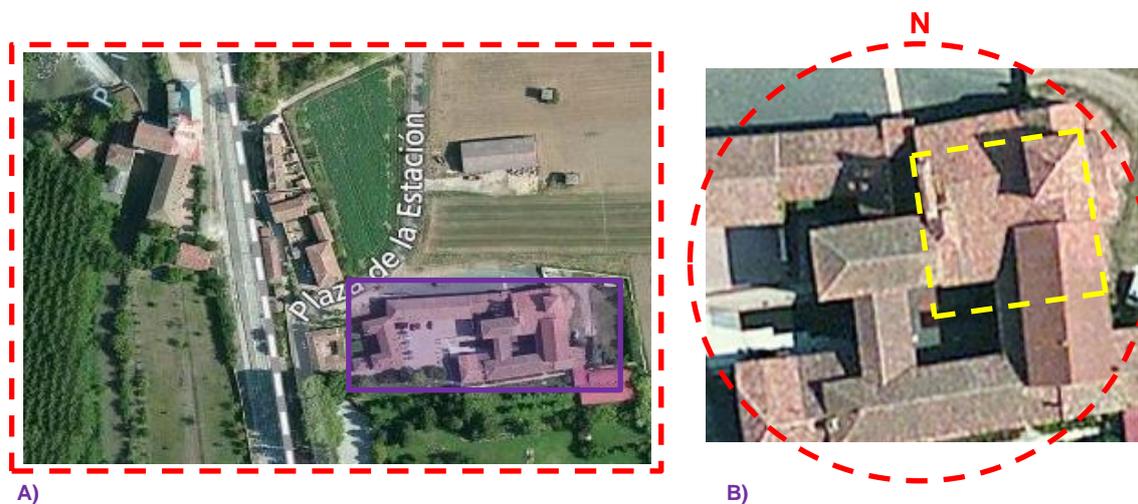


Fig.52(A, B): Vista satelital y emplazamiento del edificio.

Fuente: <http://www.bing.com/maps/>. Elaboración propia del TFM en la marcación y distribución de los mapas.

5.2.3. Historia y descripción:

La iglesia ubicada dentro del monasterio Santa María de Mave, es considerada una de las grandes joyas del románico monástico castellano-leones. Se considera que La fundación de este monasterio se realizó en la primera década del año mil, y su iglesia se terminó de construir entre los años 1.200 y 1208.

Del análisis de [47] y basándonos en fuentes históricas [48, 49, 50] mencionamos que, bajo el reinado de Alfonso VIII, doña Sancha Jiménez dona a Oña todo su patrimonio, en 1192 tras hacerse beata, se le concede a modo de préstamo de por vida el monasterio antes nombrado. En 1208 devuelve el monasterio restaurado, y se estipula que en ese año, se hace la nueva iglesia sobre la anterior que ya había, también románica, posiblemente del siglo XI.

En la actualidad, en el convento denotan las reformas producidas en los siglos XVI y XVII, periodo donde se ha edificado el actual claustro neoclásico, en sustitución del primitivo. El altar y sus laterales siguen siendo los restos del antiguo monasterio.

Mave siguió activo como priorato dependiente de Oña hasta la Desamortización de 1835. Uno de sus monjes quedó a cargo de la ya parroquia. Hoy día la iglesia es propiedad privada y las dependencias monásticas han sido transformadas en hostel. La iglesia presenta planta basilical de tres naves con tres tramos articulados, rematada por una cabecera triple de ábsides semicirculares, siendo el ábside y la nave central las de mayor tamaño y altura. A la estructura de dicha cabecera la refuerzan contrafuertes prismáticos. Uno en cada lateral, que alcanzan dos tercios de la altura del tambor, y dos en el central, donde cada uno se eleva hasta la altura de las ventanas, rematándose en talud, dejando el paso a unas finas pilastras. Sobre el crucero se eleva una torre linterna que se corona por medio de una cúpula en la que se pasa del cuadrado al octógono por medio de trompas en sus ángulos con ménsulas interpuestas.

Tres parejas de pilares cruciformes con semi-columnas adosadas en cada frente, exceptuando los formeros de las colaterales, delimitan los tres tramos longitudinales de las naves y los brazos del transepto. La nave central está compuesta de una bóveda de cañón, separada en tres tramos por arcos formeros doblados apuntados, que a su vez también comunican esta nave con las laterales.

La portada del templo se compone de cuatro arquivoltas apuntadas, con grandes dientes de sierra, como así también de baquetones y guardapolvo exterior. Estas molduras descansan sobre los capiteles de 8 columnas a ambos lados.

El conjunto está levantado en sillería de arenisca blanda y tono rojizo, siendo visibles las reparaciones posteriores en sillarejo y mampostería.

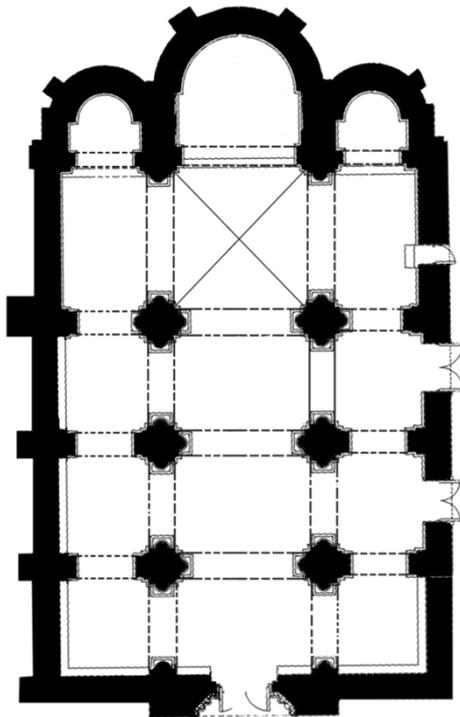


Fig.53: Planta principal del edificio.
Fuente: Propia del TFM



A) Torre linterna con la cúpula



B) Portada

Fig.54(A, B): Sectores del edificio
Fuente: <http://www.arquivoltas.com/8-palencia/02-Mave01.htm>

5.3. Resultados

5.3.1. Toma de datos por escáner laser:

En el apartado 4.2.1. del cuarto capítulo del corriente informe, hemos descrito la metodología necesaria, para abordar el escaneado laser de cualquier elemento. En dicho punto se describió el método de empleo, que utilizan en común la mayoría de los instrumentos de escáner laser 3D.

Al ser este apartado, parte del capítulo correspondiente a las experimentaciones y resultados, explicaremos el tipo de instrumento utilizado y la puesta en marcha de la herramienta en campo, como así también expondremos los datos obtenidos.

Damos a conocer que la iglesia Santa María la Real de Mave fue digitalizada en noviembre del 2009 por medio de un escáner laser LEICA HDS 3000, que utiliza tecnología “tiempo de vuelo” y una cámara digital Canon PowerShot G6 (7,1 megapíxeles) por encargo de la empresa Patrimonio y Restauración S.L.U.

La realización de la nube punto de este edificio conto con un total de 31 experimentos 3D (tomadas desde una distancia media de 20 m, con 4 mm de desviación estándar, más 14 millones de puntos orientados según su disposición cardinal) y 135 fotografías que se han tomado.

Estos datos fueron procesados y manipulados con las herramientas de la plataforma REVIT, el cual es un sistema BIM. El portátil utilizado posee memoria ram 4gb, procesador Intel Core i5 con sistema operativo Windows 7.



A)



B)

Fig.55(A, B): Proceso de adquisición de datos (exterior e interior)

Fuente: [Ref.14]

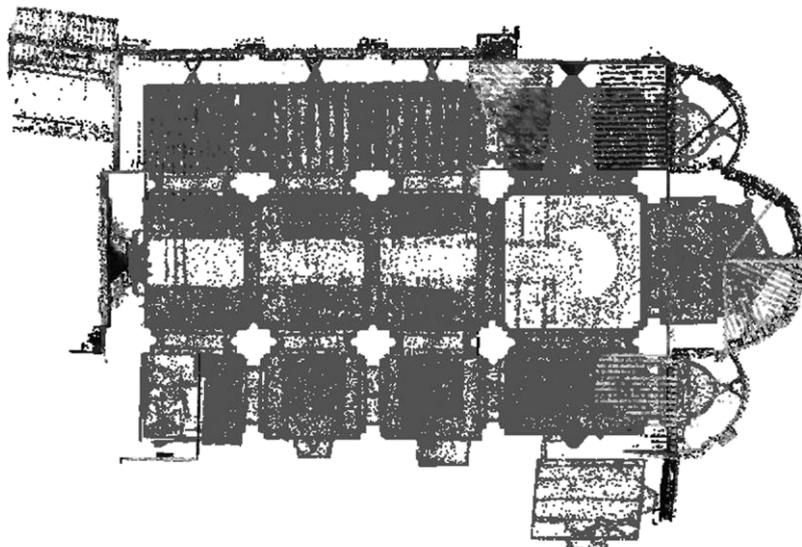


Fig.56: Planimetría de la nube de puntos 3D.

Fuente: Propia del TFM



A) Elevación este de la nube de puntos



B) Elevación oeste de la nube de puntos

Fig.57 (A, B): Nube de puntos de la Iglesia Santa María la Real de Mave.
Fuente: Propia del TFM

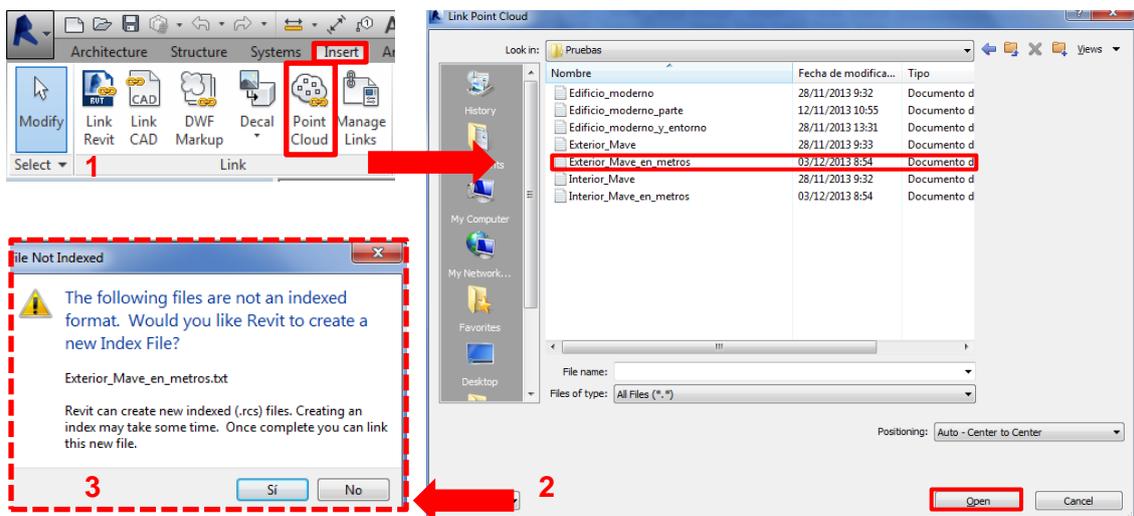
5.3.2. Digitalización del modelo con plataforma Revit

5.3.2.1. Insertar la nube de puntos al programa:

En el capítulo anterior fueron expuestos los pasos a seguir para insertar una nube de puntos, a continuación demostraremos por medio de imágenes un caso real.

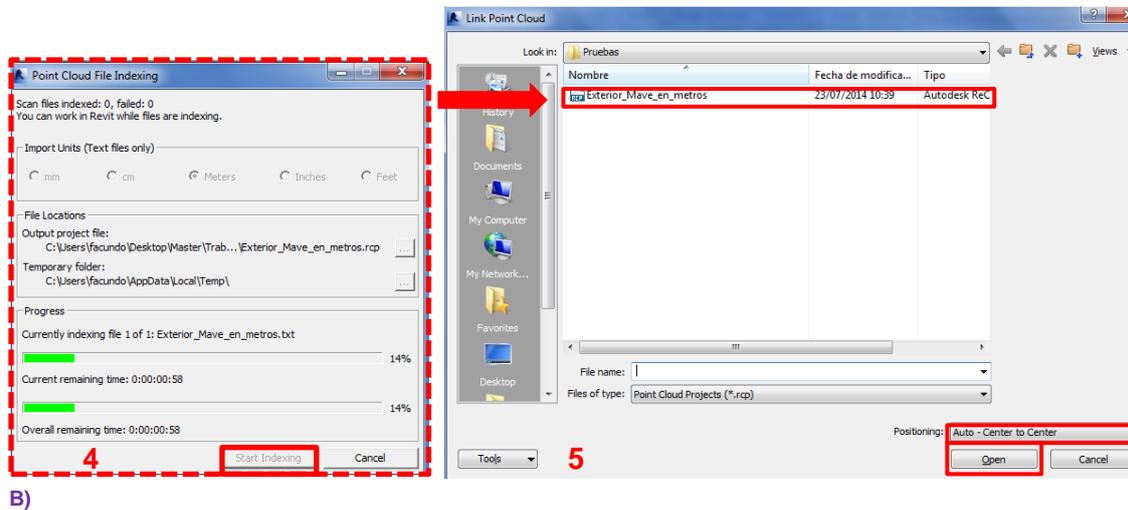
La nube de puntos expuesta, nos brindó la **Div. de Robótica y Visión Artificial** del centro tecnológico **CARTIF**, la misma nos fue otorgada en formato txt. Era necesario este tipo de formato, por razones de compatibilidad al momento de lectura del fichero por parte del programa utilizado.

Secuencia de imágenes:



A)

- 1- Selección de función insertar y elección de la opción nube de puntos.
- 2- Selección del archivo y apertura.
- 3- Este cuadro nos indica que se debe indexar.



B)

Fig.58 (A, B): Inserción de la nube de puntos de la Iglesia Santa María la Real de Mave al software Autodesk Revit
Fuente: Propia del TFM

- 4- Proceso de indexación del programa.
- 5- Archivo habilitado con formato REVIT. En este punto, es posible seleccionar el futuro posicionamiento de la nube de puntos.

Una vez realizado estos pasos, ejecutaremos el archivo en el programa.

Durante la elaboración del proyecto se prefirió trabajar en escalas de grises ya que la percepción de los elementos era mayor, pero es importante remarcar que en la nube de puntos tratada cada punto tenía un color específico (R, G, B).

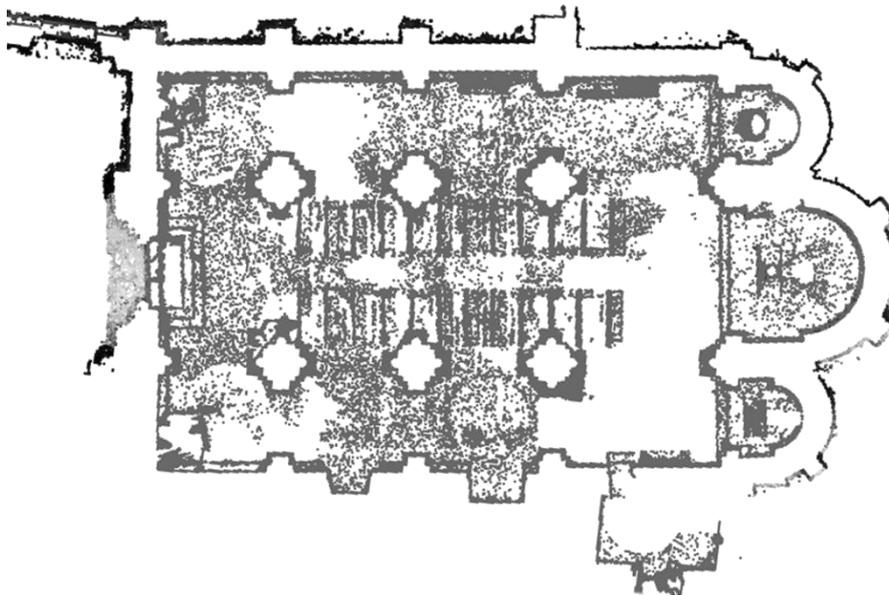


Fig.59: Planta de la nube de puntos de la Iglesia Santa María la Real de Mave.
Fuente: Propia del TFM

Podemos percibir, como la nube de puntos nos detalla de manera precisa y con exactitud milimétrica los distintos espacios, sean exteriores o interiores.

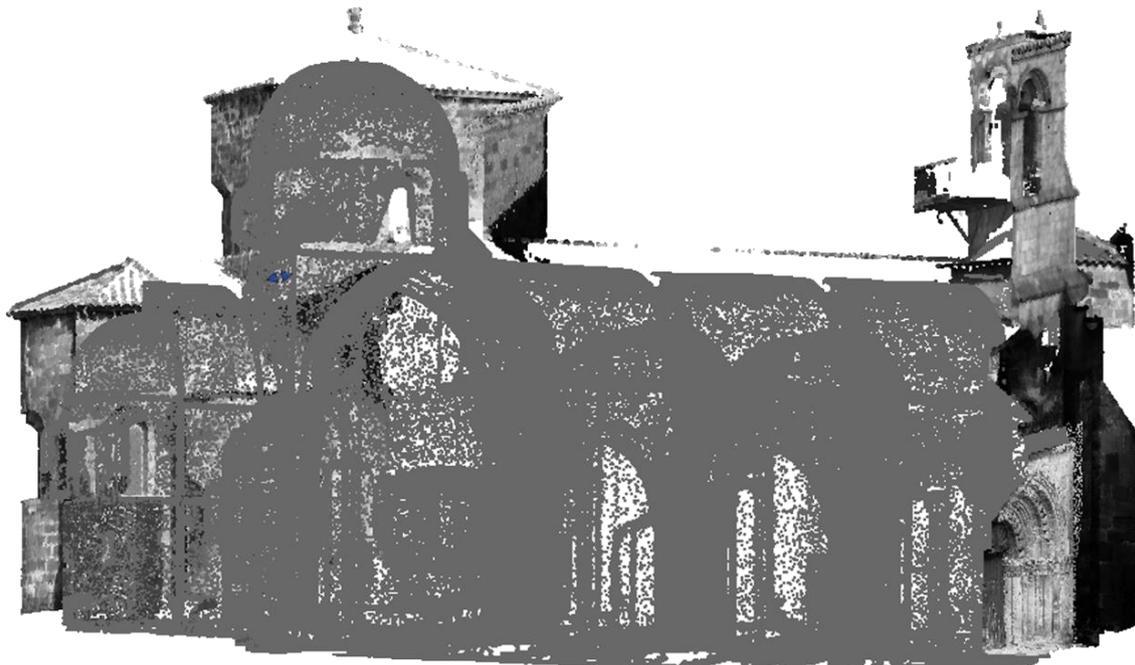


Fig.60: Corte perspectivado lateral norte de la nube de puntos.
Fuente: Propia del TFM

Como se interpreta en esta imagen, la nube de puntos nos demuestra las estructuras, los distintos elementos que la componen, como ser espesor de muros, columnas delimitantes, escalones, como así también arcos y bóvedas.

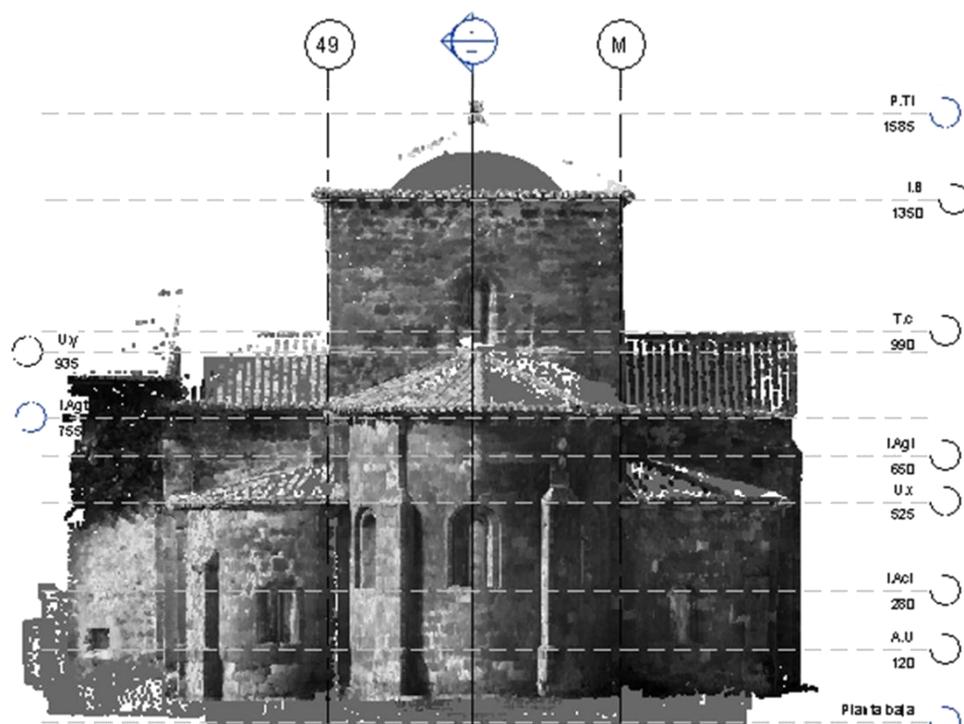


Fig.61: Elevación oeste de la nube de puntos delimitada con la herramienta grilla.
Fuente: Propia del TFM

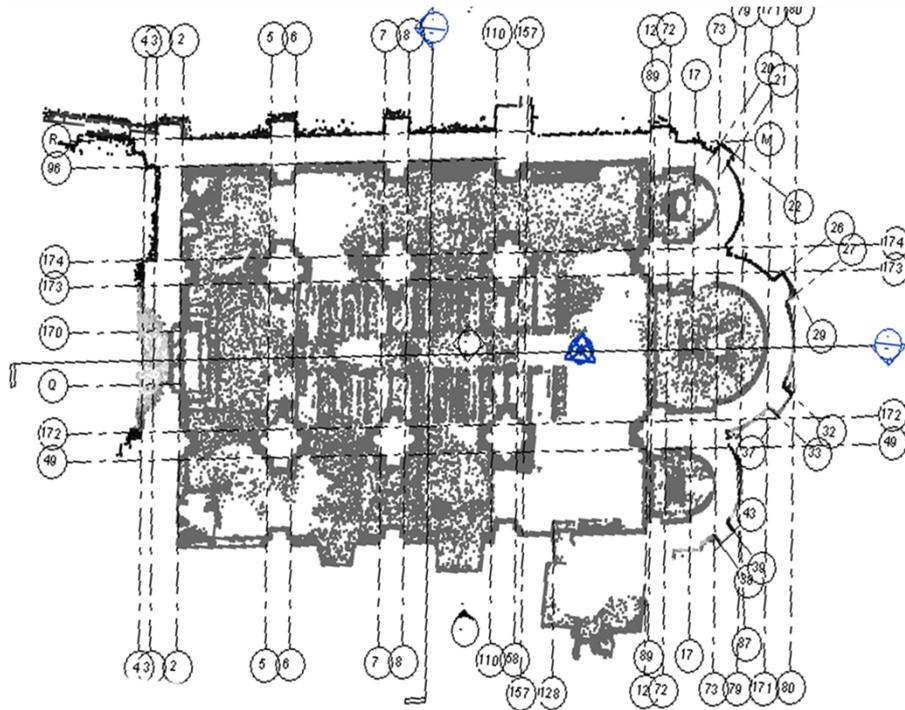
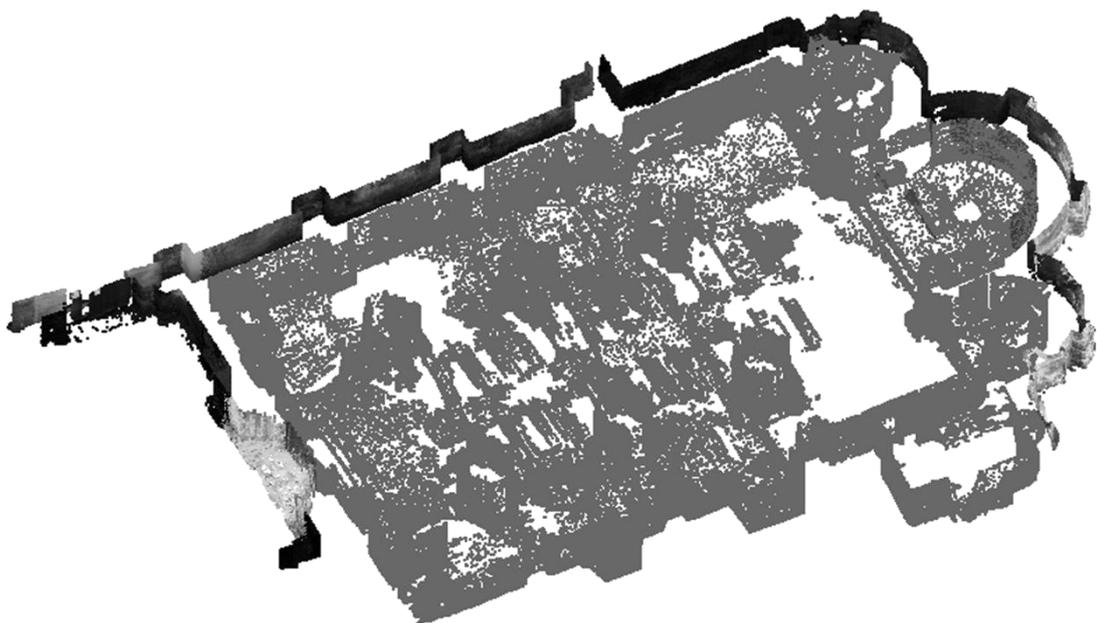


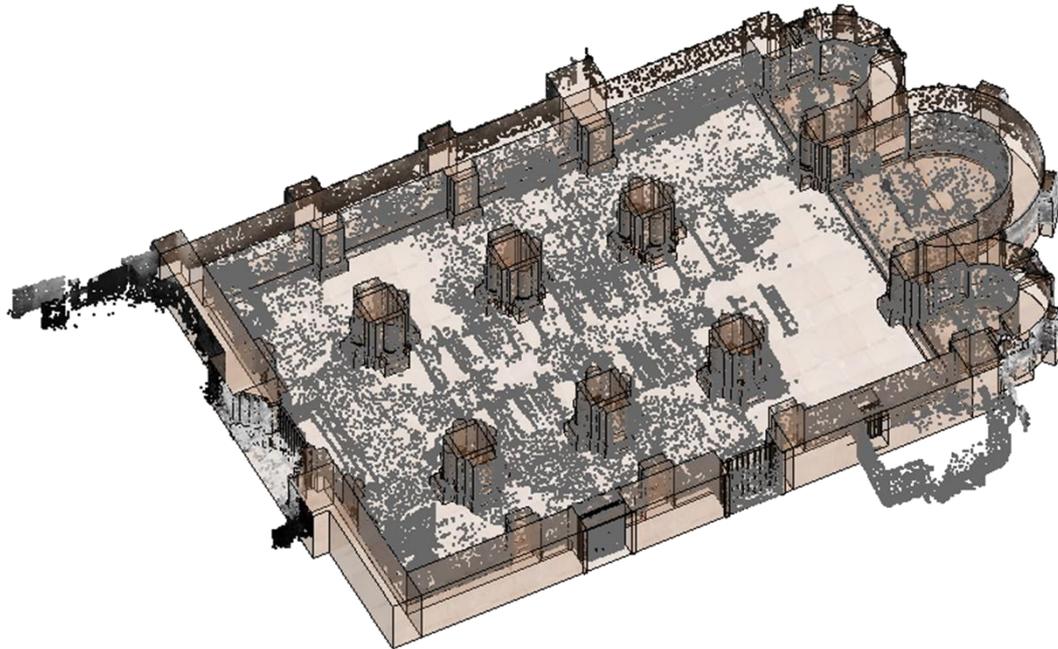
Fig.62: Planta de la nube de puntos delimitada con la herramienta grilla
Fuente: Propia del TFM

En las dos imágenes anteriores demostramos: una vista de la nube de puntos y la planta baja. Ambas fueron tratadas con la herramienta grillas, logrando con ella delimitar la superficie de la nube, para su posterior modelamiento.

La primera imagen es una vista y en ella además de las grillas, se demuestran los distintos niveles. El posicionamiento de esta herramienta va a depender de lo que se intente demostrar en el proyecto.



A) Planta axonometría de la nube de puntos



B) Planta axonometría de la nube de puntos con el modelo virtual en transparencia.

Fig.63 (A, B): Axonometría de la planta.
Fuente: Propia del TFM

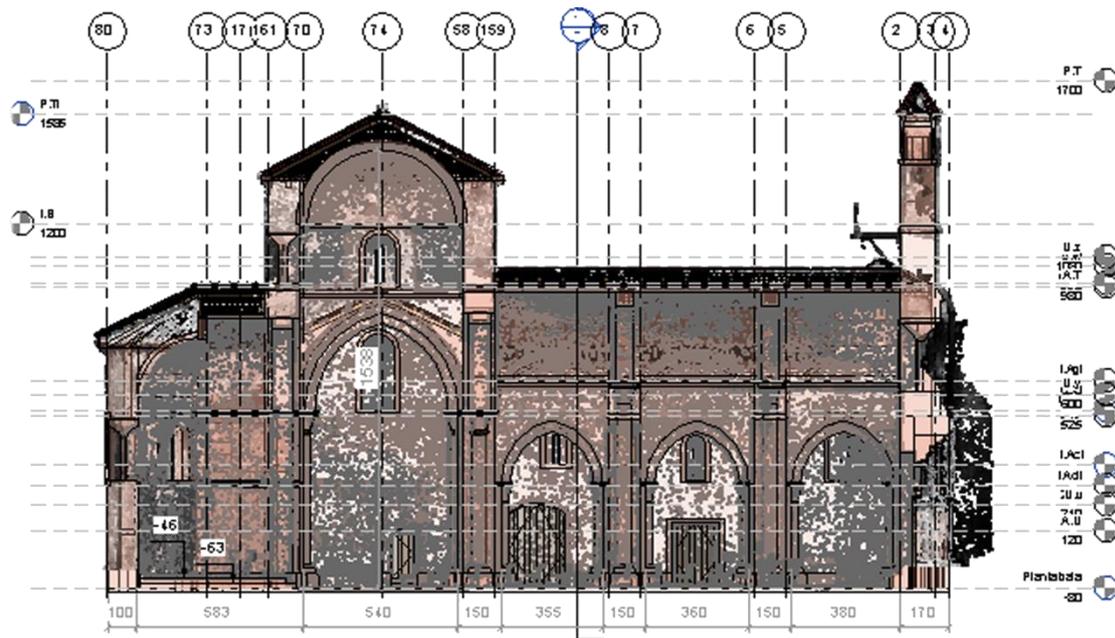


Fig.64: Corte longitudinal con los detalles constructivos en transparencia.
Fuente: Propia del TFM

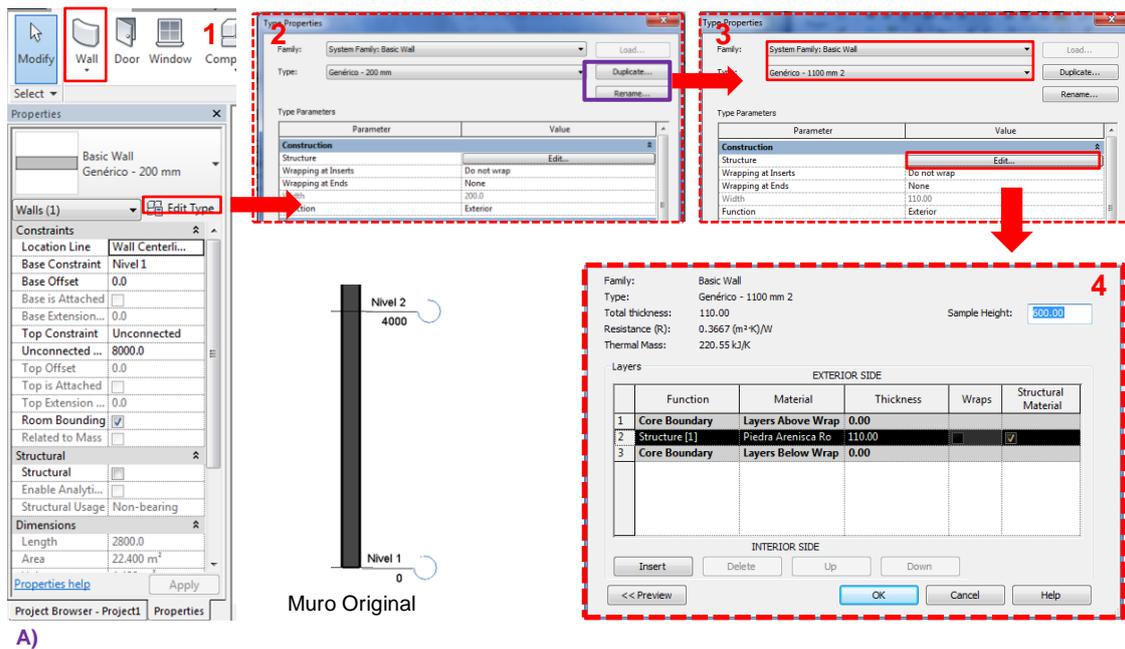
En esta última secuencia de imágenes se ha demostrado, con la primera, una vista 3D de la planta de la nube de puntos, donde se perciben las limitaciones del proyecto y su composición. En la segunda imagen, se observa con transparencia el modelo virtual ya construido. En la última imagen se perciben los detalles constructivos en transparencia, lo cual permite observar la nube de puntos en el fondo, ajustada a los elementos que materializan el proyecto.

5.3.2.2. Modelar el edificio a partir de los elementos de Revit:

Para modelar el edificio estudiado, ha sido necesario seguir las metodologías propuestas tanto en el apartado 4.2.3.2., como en el 4.2.3.3.

Esto se debe a que el edificio es una construcción antigua y el mismo posee varios detalles constructivos, imposibles de modelar con los elementos paramétricos de la plataforma como ser, muros, pilares, suelos y techos. Con el fin de crear estos detalles, se han utilizado los modelos genéricos.

Como se ha mencionado y demostrado anteriormente, primero se han remarcado con grillas y niveles, las plantas, alzados y secciones de la nube de puntos. Gracias a estas delimitaciones se ha podido llevar a cabo el proceso de modelamiento, ya que las herramientas antes señaladas, hicieron de referencia en las medidas de los distintos elementos. La siguiente secuencia de imágenes se ha propuesto para demostrar los resultados obtenidos.



- 1- Selección herramienta muro y en la ventana de propiedades elección de opción editar tipo.
- 2- Se duplicara el tipo de muro y se lo renombrara.
- 3- Al crear el nuevo tipo, se selecciona editar.
- 4- En esta nueva ventana se dotara de las propiedades necesarias al muro.

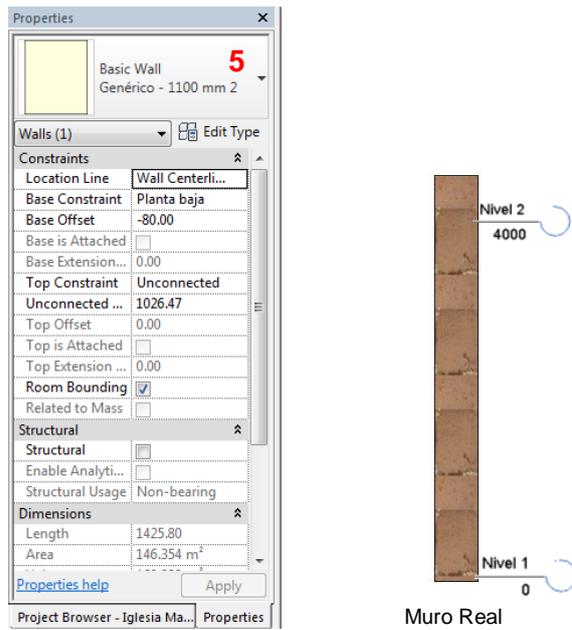


Fig.65 (A, B): Creación De los elementos constructivos de la Iglesia Santa María la Real de Mave en el software Autodesk Revit
Fuente: Propia del TFM

5- Esta es la ventana de propiedades final del nuevo muro creado.

La serie de imágenes propuesta anteriormente, es similar a la que se ha expuesto en el capítulo 4 y con ella se ha demostrado el método de creación de un nuevo tipo de muro.

Es importante comprender que en el proyecto, fue necesario crear varios tipos de muros, ya que el edificio posee paredes con distintos espesores.

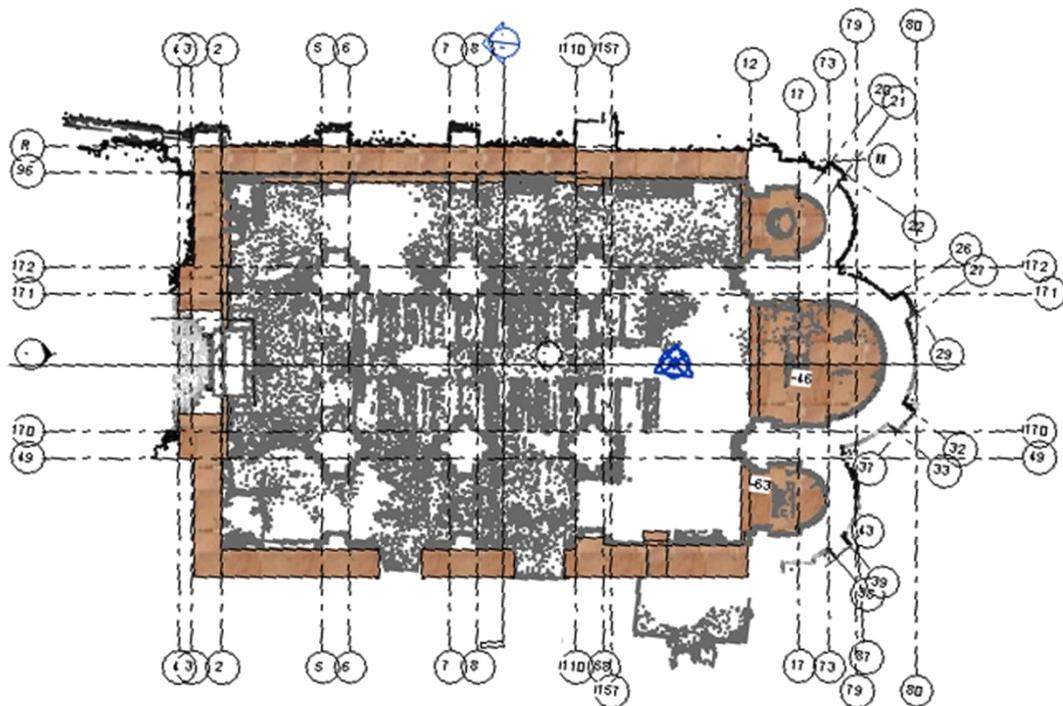


Fig.66: Planta de la nube de punto junto los elementos constructivos del proyecto.
Fuente: Propia del TFM

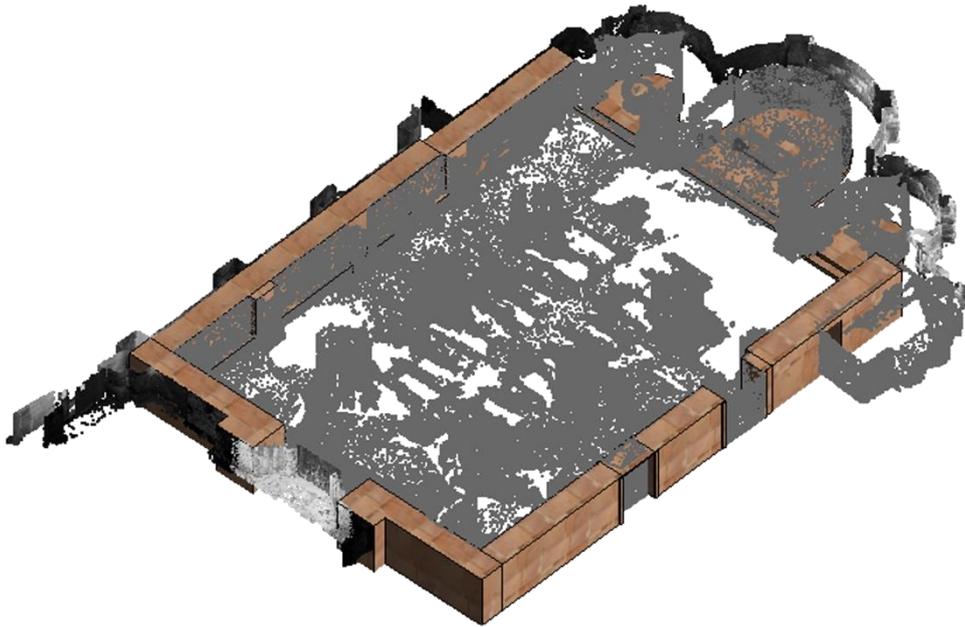


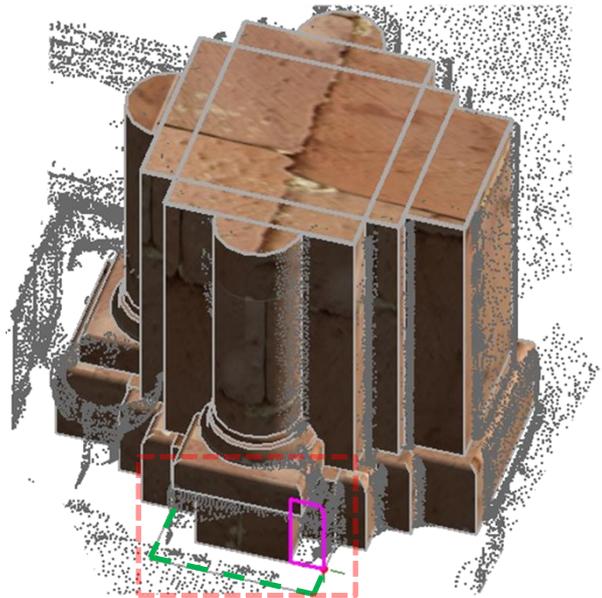
Fig.67: Axonometría de los elementos constructivos junto a la nube de puntos
Fuente: Propia del TFM

Como se ha mencionado anteriormente, una de las funciones de las grillas es referenciar la distancia entre un punto y otro, es por ello que en la primera imagen expuesta se observa, como los nuevos muros se encuentran referenciados por estas. Además es posible percibir que tanto las grillas, como la nube de puntos son utilizadas para modelar el piso del edificio. En la segunda imagen se distinguen dentro de la nube de puntos, los muros en altura, se ha indicado que esto es posible gracias a los niveles antes señalados.

Es importante señalar que en el apartado 4.2.3.3., se ha explicado detalladamente el método de creación de un modelo genérico, y el funcionamiento del mismo en un caso particular no difiere del antes mencionado.



A) Columna cruciforme junto a la nube de puntos.

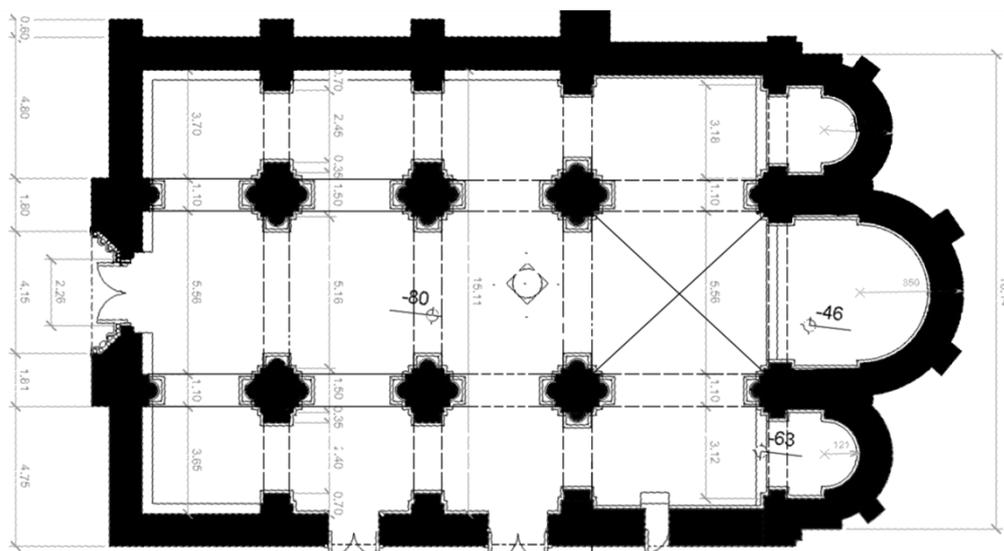


B) Base de la columna creada como objeto genérico.

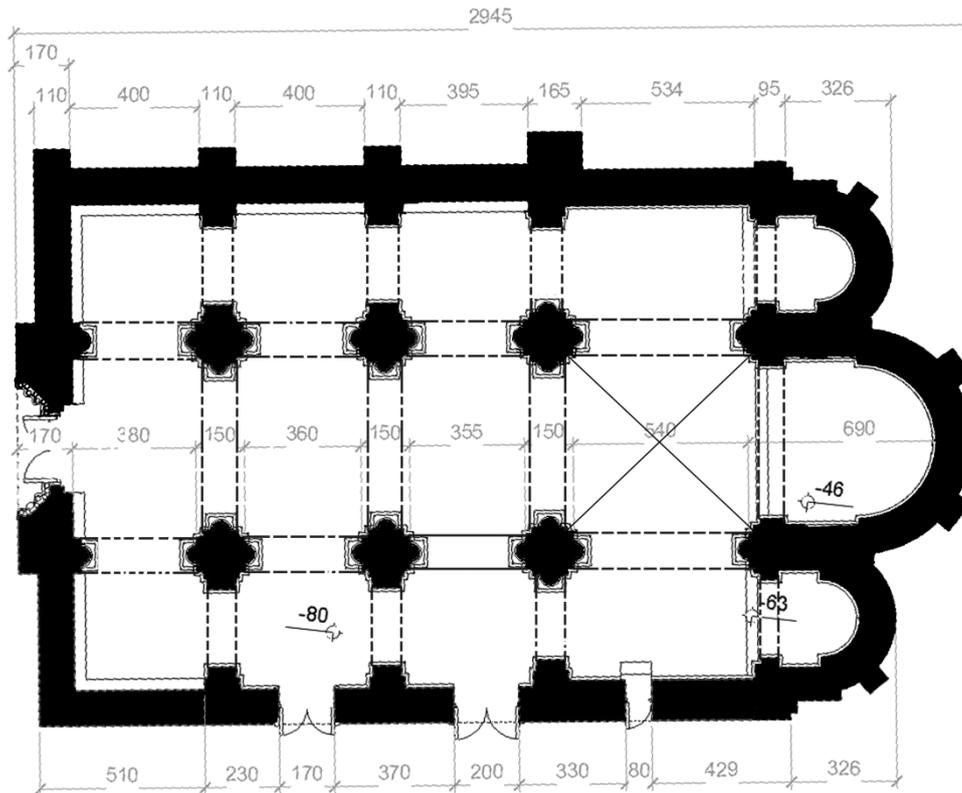
Fig.68 (A, B): Creación de las columnas cruciformes.
Fuente: Propia del TFM

Las imágenes que se han expuesto representan la creación de un modelo genérico, en este caso es una de las seis columnas cruciforme que componen el templo. El proyecto en sí posee varios objetos pertenecientes a la familia de modelo genérico, para la creación de ellos se utilizaron las seis funciones de diagrama que nos brinda esta herramienta. En la segunda imagen es posible percibir que el método utilizado para modelar la base de la columna es el de barrido sólido, ya que se aprecia un recorrido en planta y un boceto en alzado, que seguirá el camino marcado.

Con la serie de pasos expuestos anteriormente será posible modelar el edificio, y las imágenes del resultado obtenido serán expuestas a continuación:



A) Planta con cotas horizontales

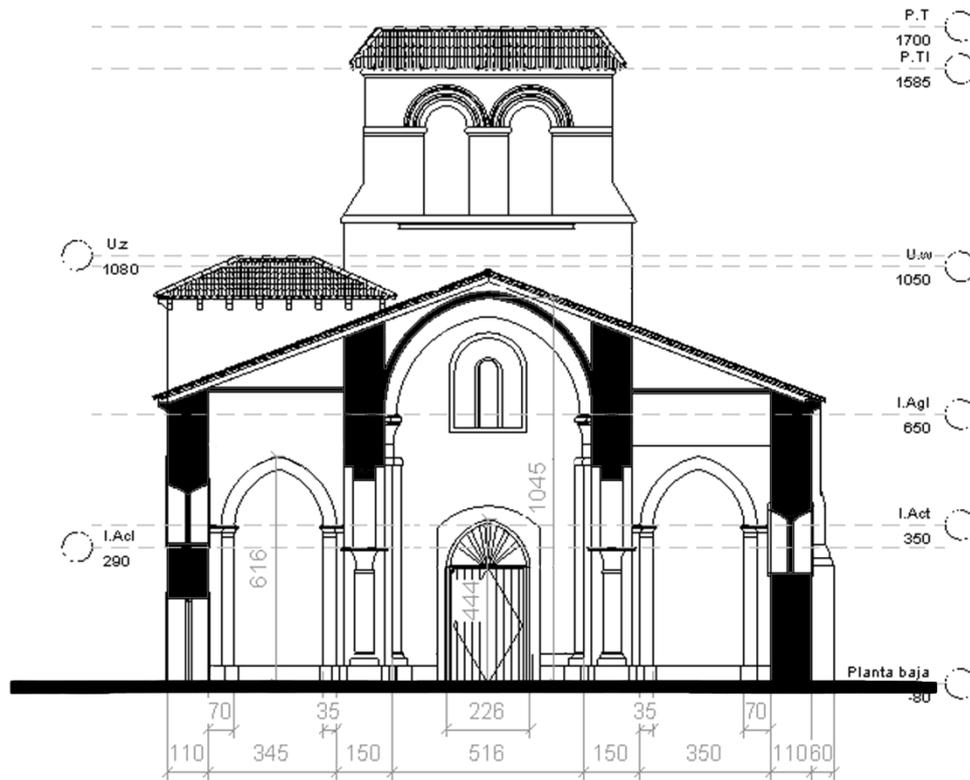


B) Planta con cotas longitudinales

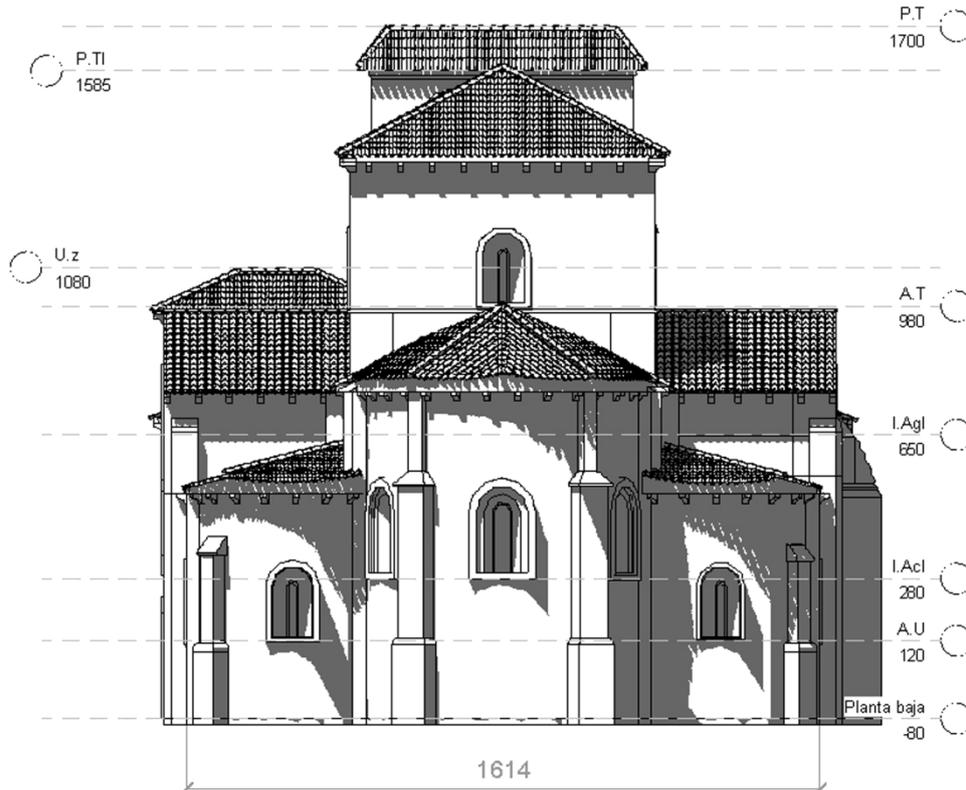
Fig.69 (A, B): Planta principal del proyecto.
Fuente: Propia del TFM



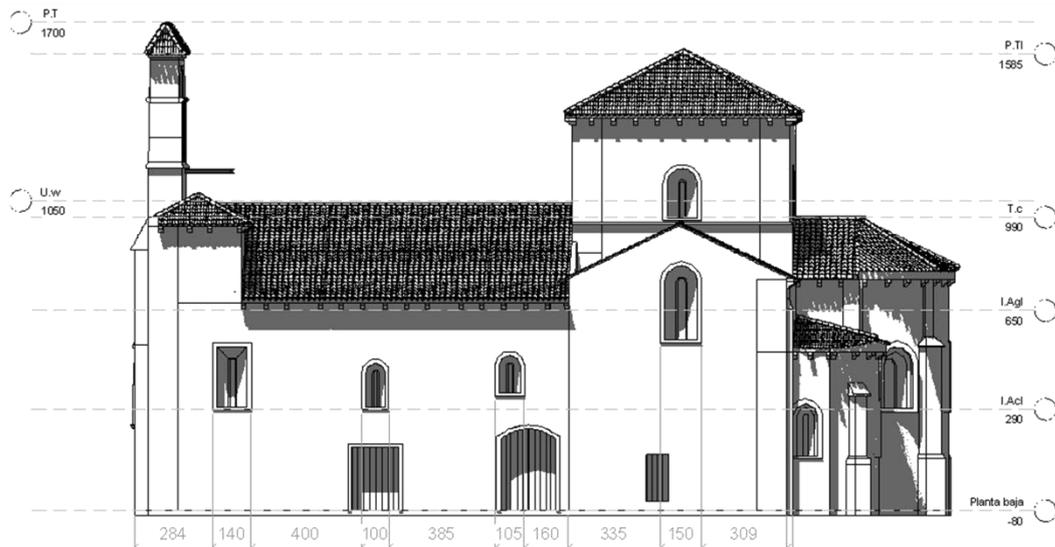
A) Elevación Este con sombra y alturas.



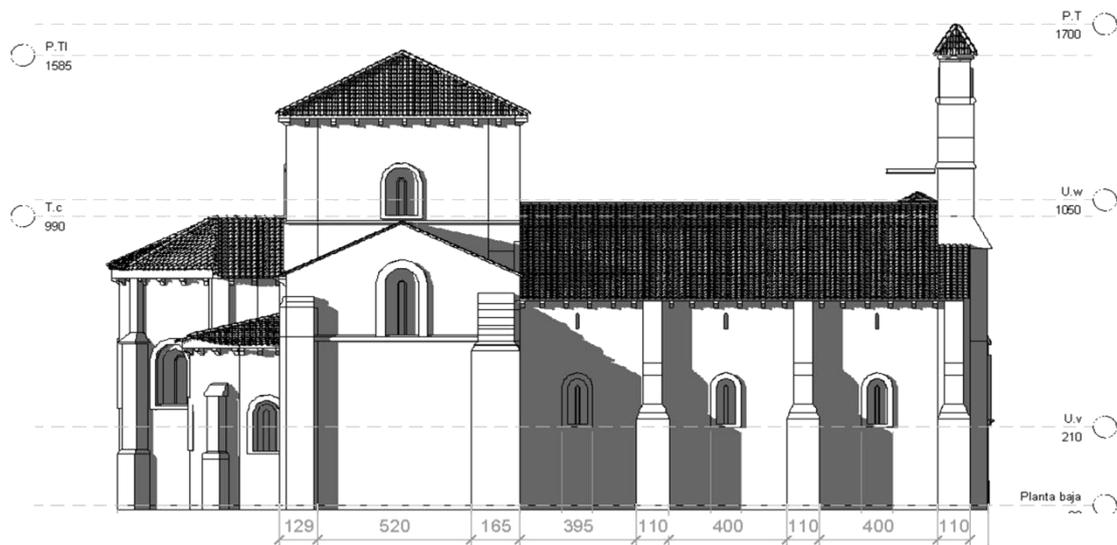
B) Corte lateral visto desde el oeste, con alturas y cotas.



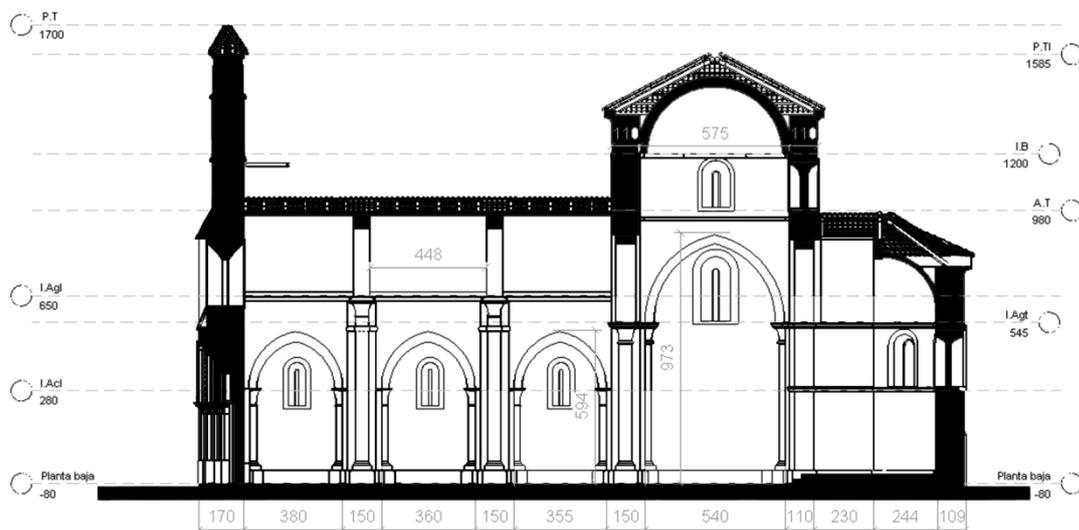
C) Elevación Oeste con sombras y alturas.



D) Elevación Norte con Sombras, aturas y cotas.



E) Elevación Sur con Sombras, aturas y cotas.



F) Corte longitudinal visto desde el Norte, con alturas y cotas.

Fig.70 (A, B, C, D, E, F): Cortes y Elevaciones del proyecto Iglesia Santa María la Real de Mave.
Fuente: Propia del TFM

5.3.2.3. Elaboración de imágenes fotorrealistas:

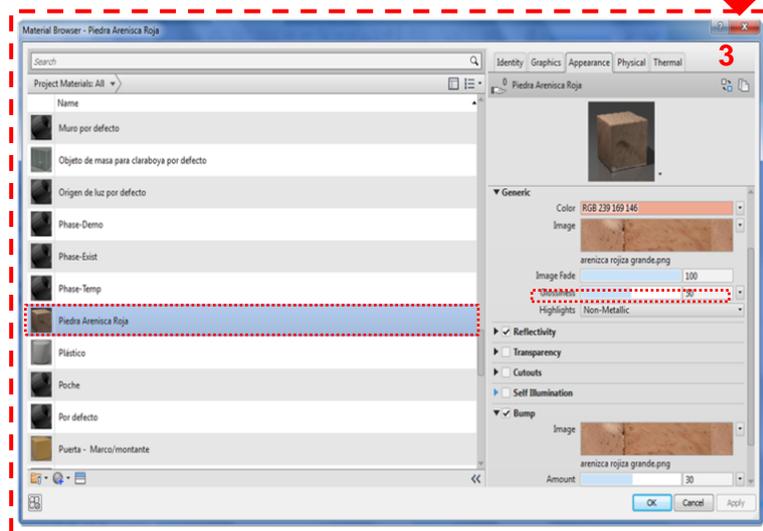
Una vez expuestas las herramientas con las que se ha modelado la iglesia, es necesario mencionar y describir, la función responsable de generar imágenes realistas del proyecto.

La metodología para lograr esta característica en las imágenes se han explicado en el apartado 4.2.3.4., por ello a continuación se expondrán los pasos utilizados en el edificio de estudio



- 1- Seleccionar el elemento a modificar, en este caso es un modelo genérico que compone una de las columnas.
- 2- En la ventana de propiedades, se elegirá la opción material.
- 3- En esta ventana será posible seleccionar el material deseado.

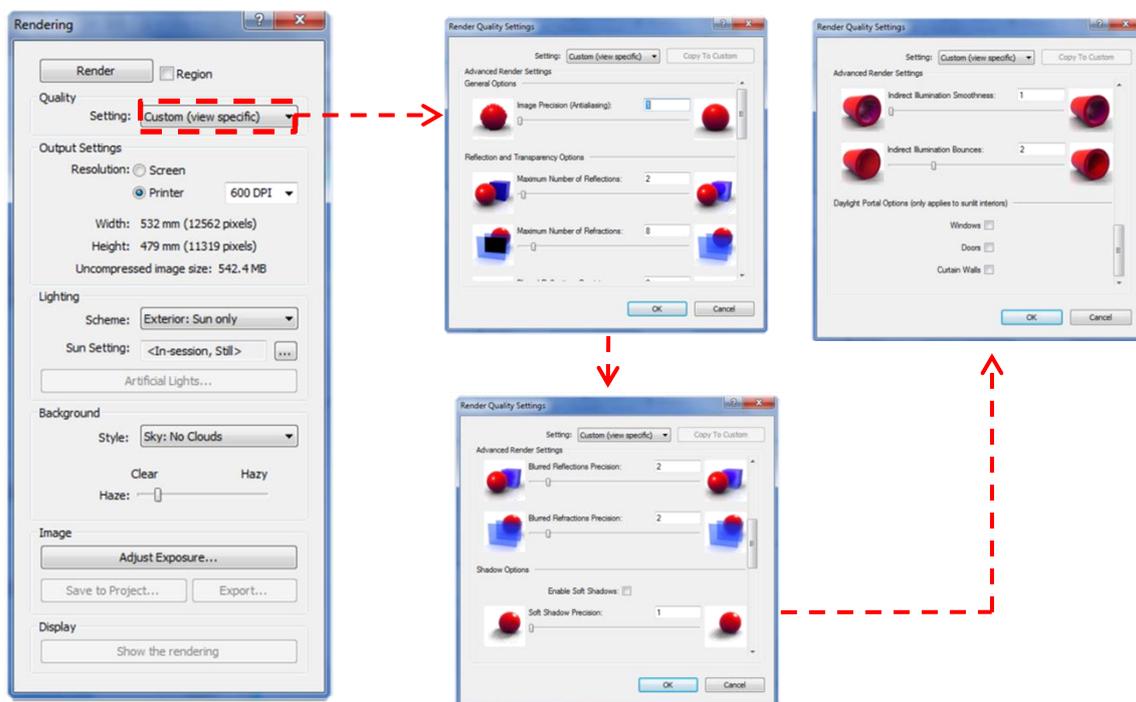
A)



Cabe aclarar que se ha tomado a modo de ejemplo el cambio de material de un objeto, donde el modo de selección de la opción modificar materiales varía entre este y un

elemento, ya sean muros, suelos, techos, etc. Una vez abierta dicha pestaña, se observara que esta es la misma para ambos casos. En ella veremos un conjunto de materiales q son posibles seleccionar o en consecuencia si no existiera en el fichero es posible crearlo.

En nuestro caso fue necesario crear el material Arenisca, ya que la plataforma Revit por defecto no poseía características del mismo. A dicho material se le ha otorgado identidad gráfica, apariencia, comportamiento físico y térmico. Al posicionarnos en la pestaña de la apariencia se pueden modificar varias variables como así también designar al material una fotografía real, el cual se repetirá en cada elemento al que se destine ese material modificado.



B)

Fig.71 (A, B): Método de elaboración de imágenes fotorrealista en el proyecto Iglesia Santa María la Real de Mave.
Fuente: Propia del TFM

Al finalizar la selección y configuración de los materiales, es necesario realizar un render para lograr las imágenes realistas del edificio.

Principalmente se debe abrir el cuadro de dialogo, en este caso en particular se ha seleccionado , como se percibe en la imagen anterior, calidad personalizada, donde se han modificado varios parámetros de iluminación, reflectancia, transparencia, brillo, etc., logrando con ello mejorar el aspecto de los materiales del edificio, antes de poner en marcha esta herramienta.

Otro aspecto que se ha modificado, es la incidencia del sol. Ya que es un edificio existente, se ha optado por ubicarlo geográficamente y a partir de allí trabajar con la trayectoria solar real y sus sombras.

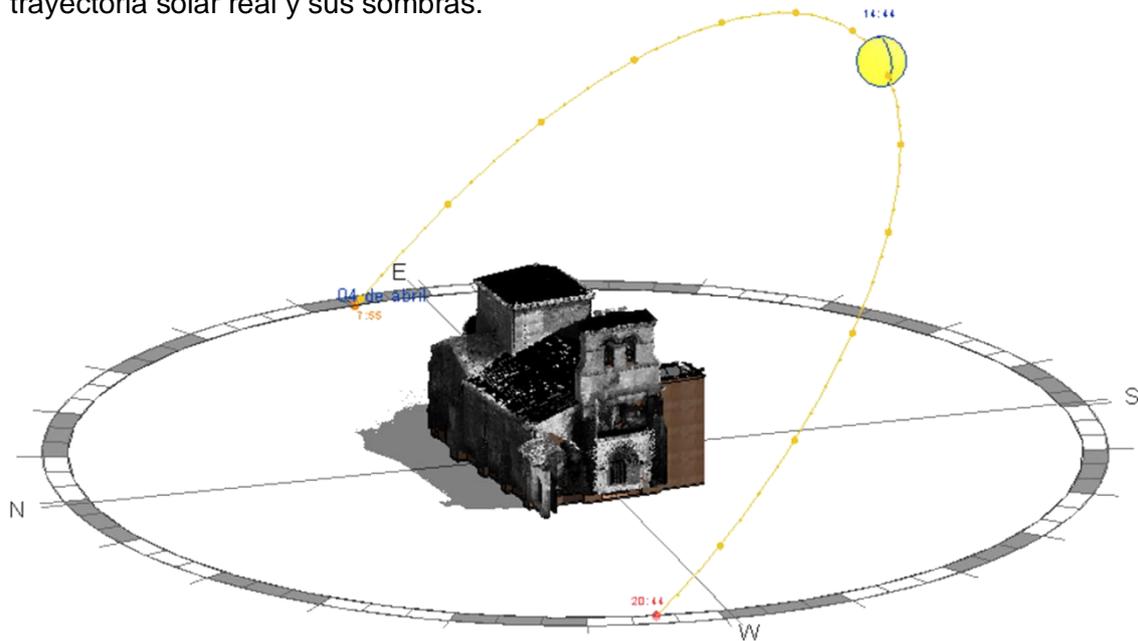


Fig.72: Simulación de la trayectoria del sol.
Fuente: Propia del TFM

Es posible realizar cambios en otros aspectos, como se ha descrito en el apartado de las metodologías, pero en este caso se ha optado por configurar los puntos antes mencionados únicamente.

Los resultados obtenidos una vez puesto en funcionamiento la herramienta de Render son los siguientes:



A) Corte pespectivado longitudinal de la Iglesia Santa María la Real de Mave. La incidencia del sol, la nobleza de los materiales y los detalles son un clon del original y esto es posible gracias a los avances q se están produciendo a nivel de representación 3D.



B) Corte transversal Oeste del Proyecto



C) Corte transversal Este del Proyecto

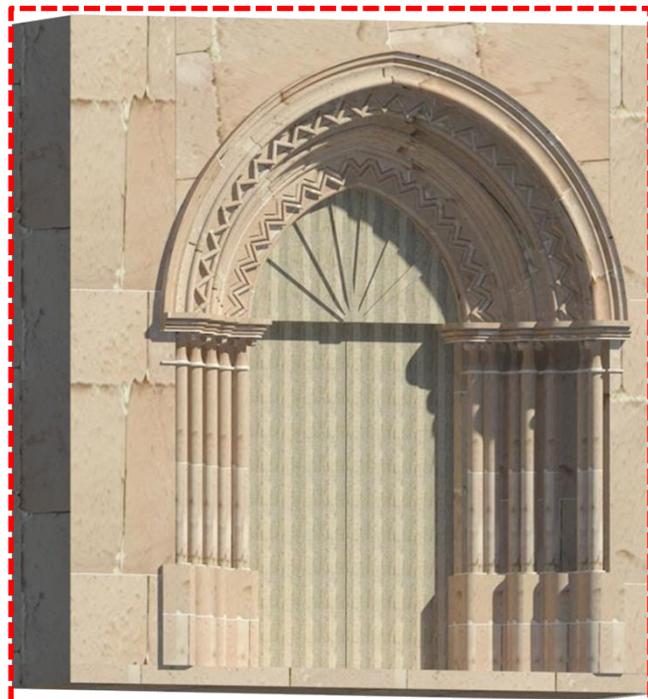
Fig.73 (A, B, C): Resultados obtenidos con la herramienta render.
Fuente: Propia del TFM



A) Perspectiva longitudinal



B) Imagen fotorrealista de una de las columnas cruciformes.



C) Imagen fotorrealista de la portada

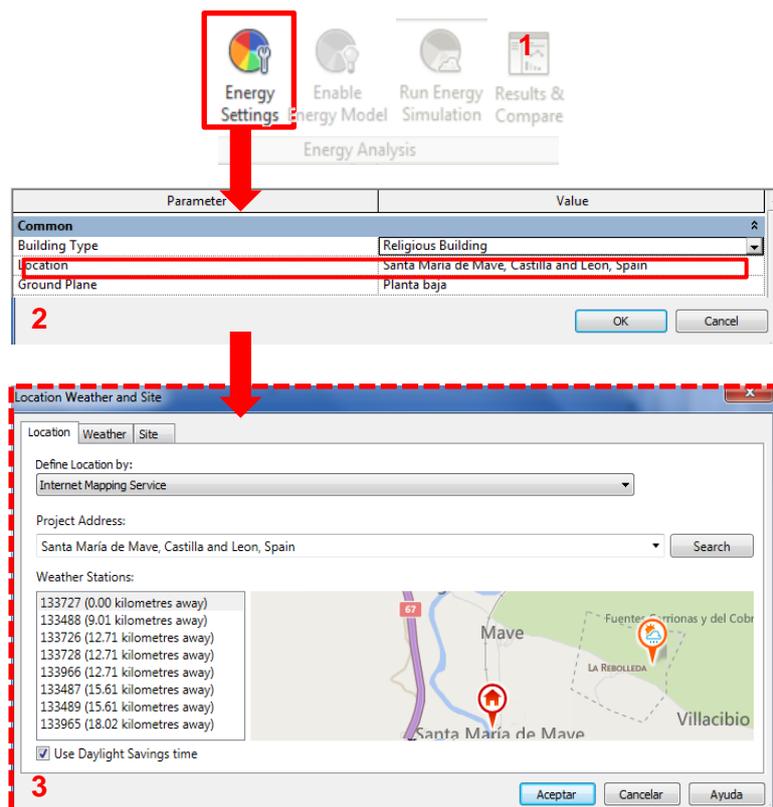
Fig.74 (A, B, C): Resultados obtenidos con la herramienta render, aplicando propiedades de resolución elevada.
Fuente: Propia del TFM

5.3.2.4. Simulación térmica del modelo virtual:

Cabe aclarar que en el apartado 4.2.3.5., se ha descrito la metodología de utilización de esta herramienta, es por esto que a continuación se demostrara como se ha implementado en el proyecto estudiado.

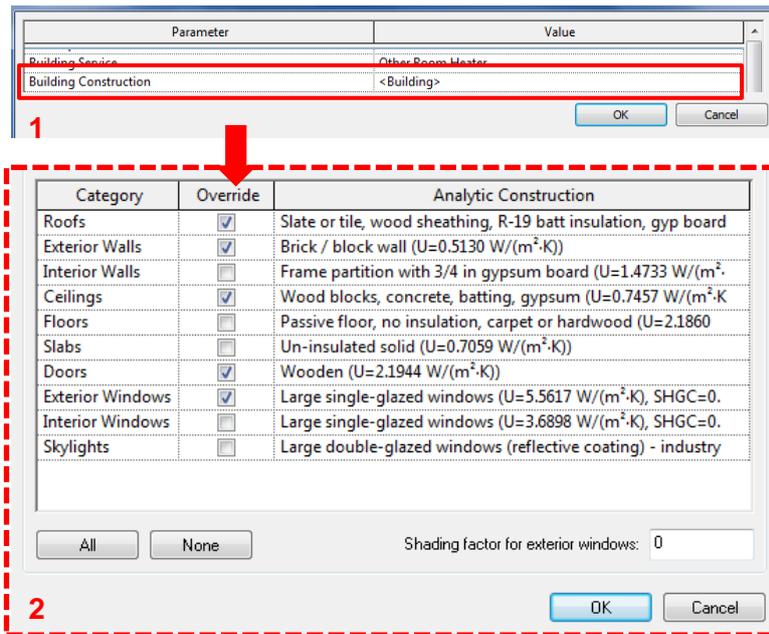
La simulación térmica es una herramienta que posee la plataforma Autodesk Revit, capaz de realizar análisis de simulaciones energéticas tanto en masas conceptuales, como en elementos de la construcción, sean estos últimos los muros, suelos, techos, ventanas y puertas. Es por ello importante remarcar, que ha sido necesario modelar un proyecto exclusivo para utilizar esta herramienta, ya que, el proyecto original por su complejidad y nivel de detalles, posee muros curvos, familias creadas in situ y pilares, no contando estos como elementos de cerramiento.

Una vez modelado correctamente el edificio, e ingresado a la cuenta Autodesk, se ha procedido a la simulación energética, y los resultados obtenidos son los siguientes:



A)

- 1- Selección, configuración de herramienta.
- 2- Selección ubicación.
- 3- Posicionamiento geográfico del edificio, con sus respectivas coordenadas.



B)

Fig.75 (A, B): Representación del método de configuración para realizar la simulación térmica de la iglesia Santa María la Real de Mave.

Fuente: Propia del TFM

1- Dentro de la configuración, seleccionamos en la función detalle de modelo, la opción Building.

2- En esta ventana serán seleccionados dependiendo de la categoría, el tipo analítico de construcción.

Al finalizar las configuraciones antes mencionadas, se pondrá en funcionamiento el análisis.

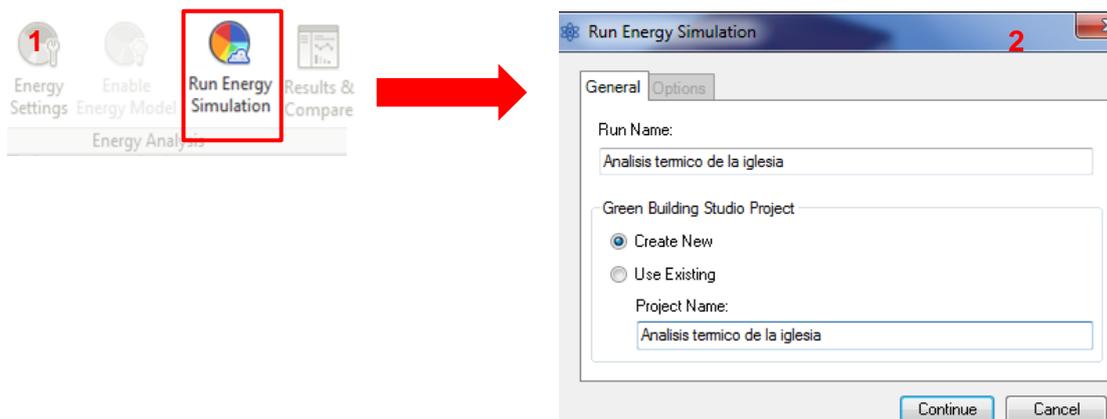


Fig.76: Representación de la selección de puesta en marcha y guardado de los resultados.

Fuente: Propia del TFM

1- Selección de la opción puesta en marcha.

2- Después de que se ha aceptado la creación del modelo analítico de energía, aparece la ventana señalada, donde se nombrará a la simulación.

El siguiente paso realizado ha sido visualizar los resultados obtenidos durante el analisis.

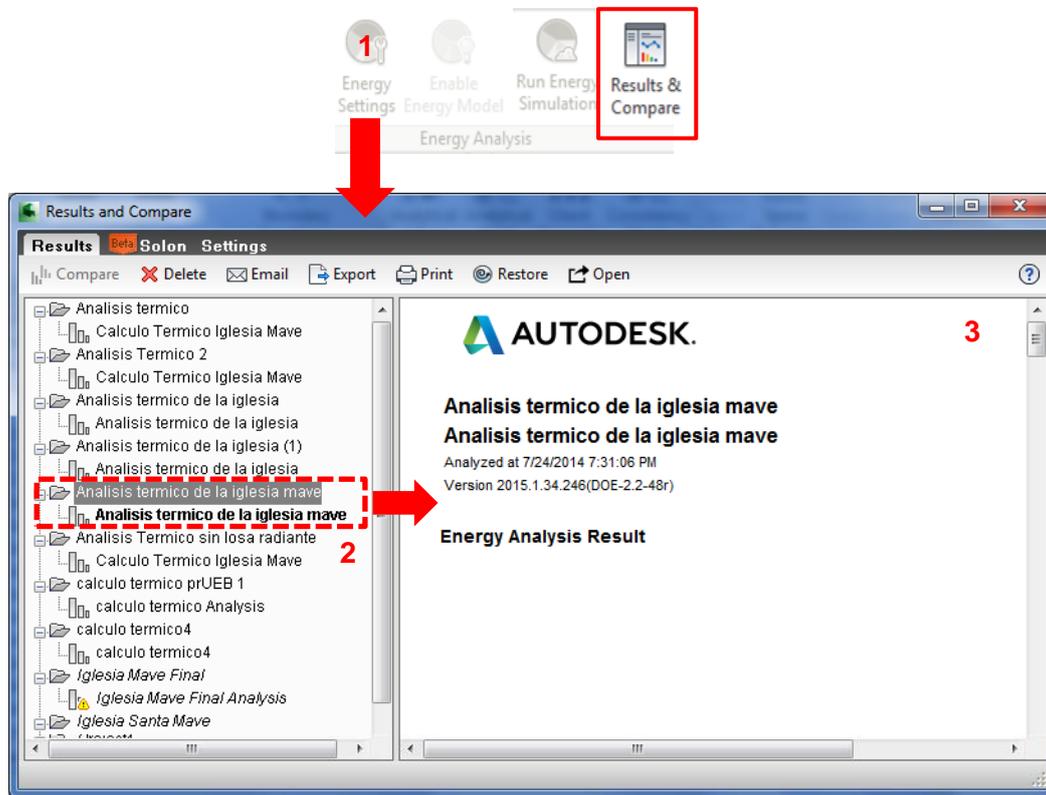


Fig.77: Representación de la selección de resultados y comparaciones.
Fuente: Propia del TFM

- 1- Selección de la opción resultados y comparaciones.
- 2- Selección del resultado a observar.
- 3- En la ventana enumerada se visualizan los resultados. Estos resultados son los que se expondrán a continuación:

Factores de rendimiento de construcción:

Location:	Santa María de Mave, Castilla and Leon, Spain
Weather Station:	133727
Outdoor Temperature:	Max: 33°C/Min: -7°C
Floor Area:	317 m²
Exterior Wall Area:	684 m²
Average Lighting Power:	16.68 W / m²
People:	252 people
Exterior Window Ratio:	0.02
Electrical Cost:	\$0.13 / kWh
Fuel Cost:	\$1.23 / Therm

A)

Intensidad de uso de energía:

Electricity EUI:	113 kWh / sm / yr
Fuel EUI:	1,150 MJ / sm / yr
Total EUI:	1,556 MJ / sm / yr

B)

Costo/Uso de energía de ciclo de vida:

Life Cycle Electricity Use:	1,865,239 kWh
Life Cycle Fuel Use:	19,051,420 MJ
Life Cycle Energy Cost:	\$206,377

*30-year life and 6.1% discount rate for costs

C)

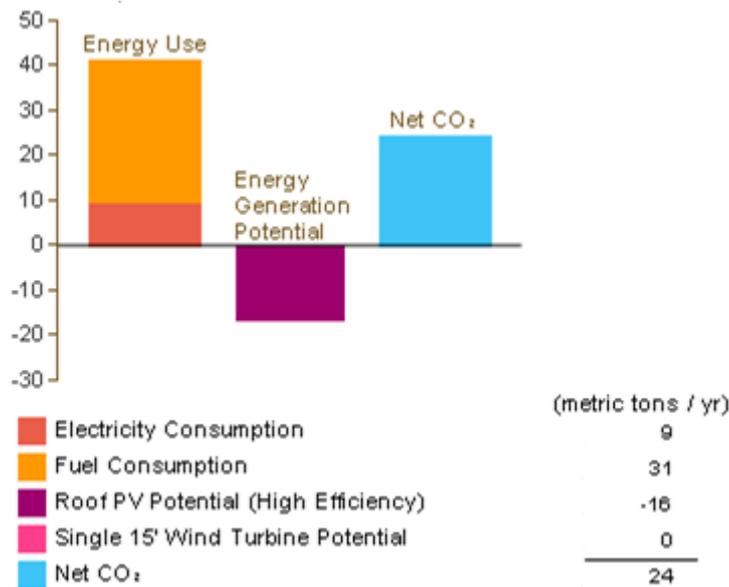
Potencial de energía renovable:

Roof Mounted PV System (Low efficiency):	36,047 kWh / yr
Roof Mounted PV System (Medium efficiency):	72,095 kWh / yr
Roof Mounted PV System (High efficiency):	108,142 kWh / yr
Single 15' Wind Turbine Potential:	1,604 kWh / yr

*PV efficiencies are assumed to be 5%, 10% and 15% for low, medium and high efficiency systems

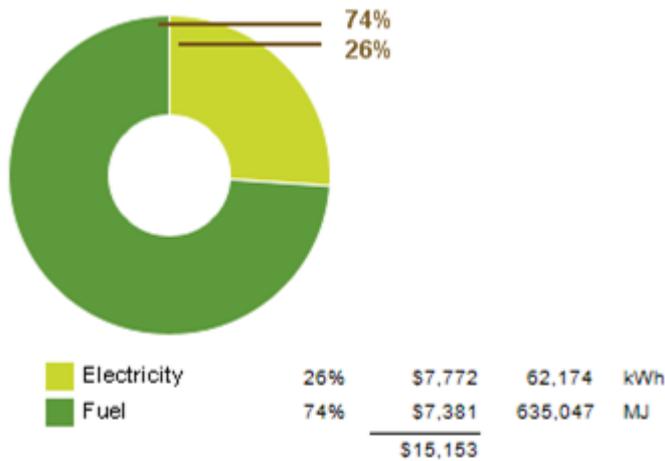
D)

Emisiones de carbono anuales:



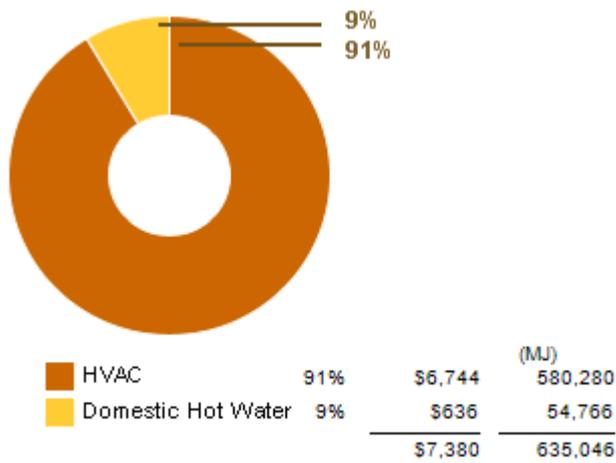
E)

Uso/Costo de energía anual:



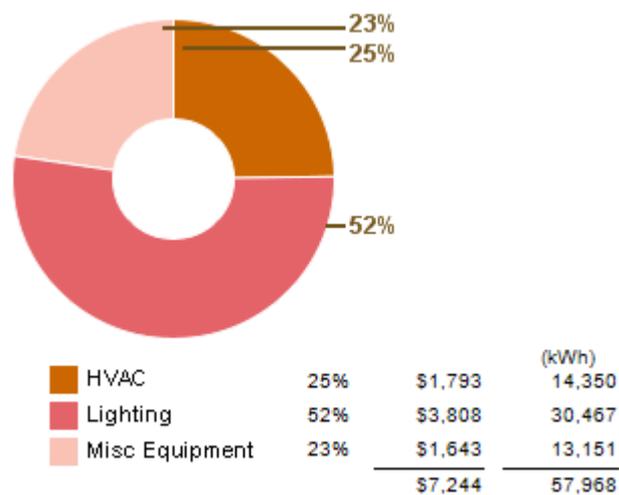
F)

Uso de energía: Combustible



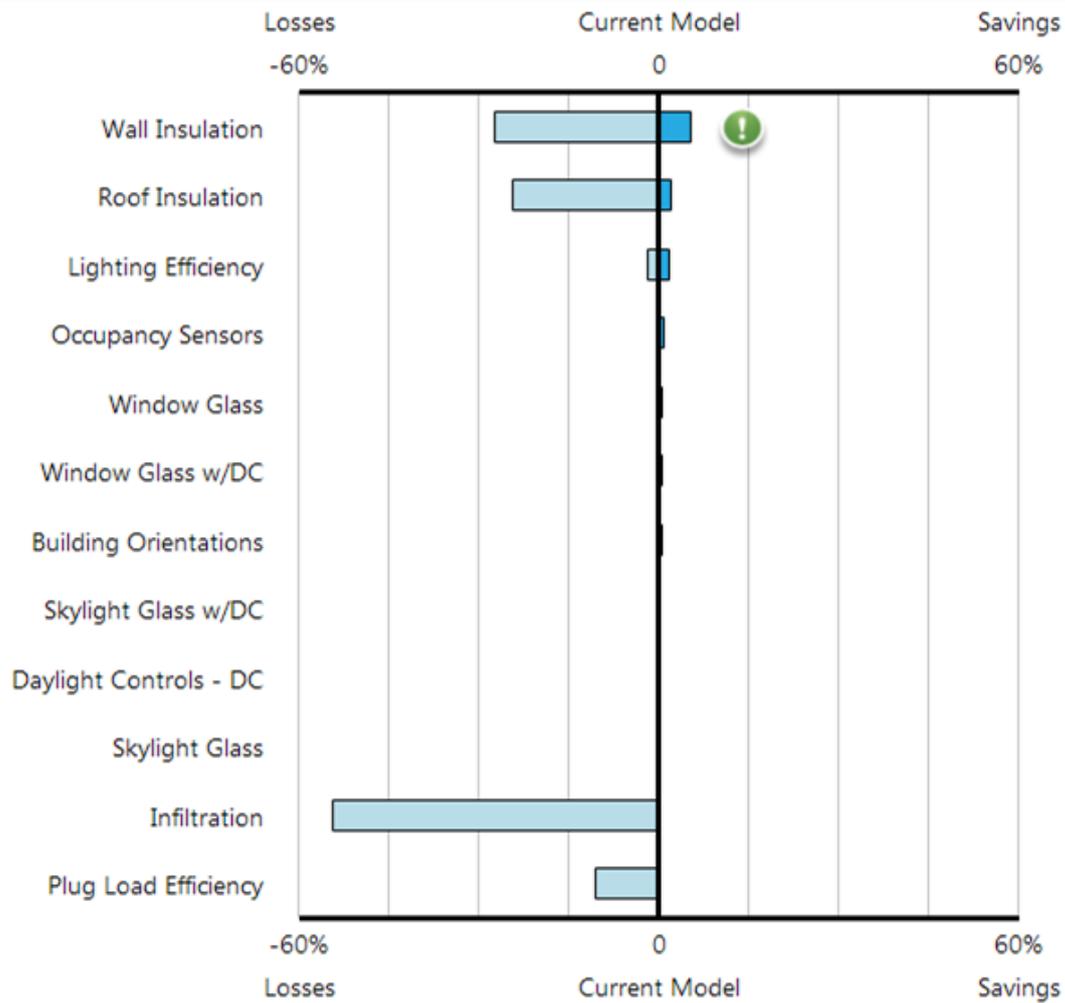
G)

Uso de energía: electricidad:



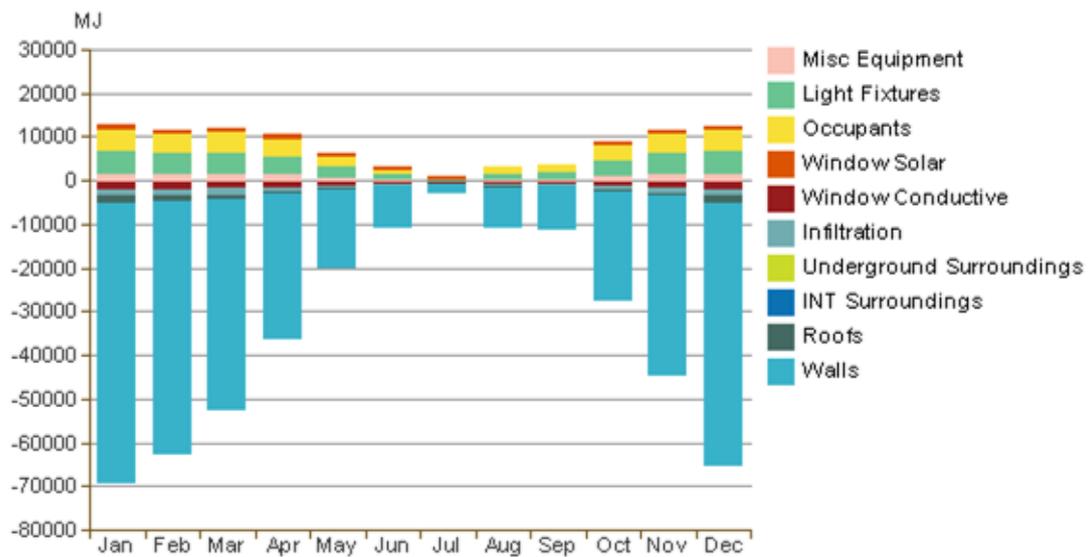
H)

Ahorro de energía potencial:



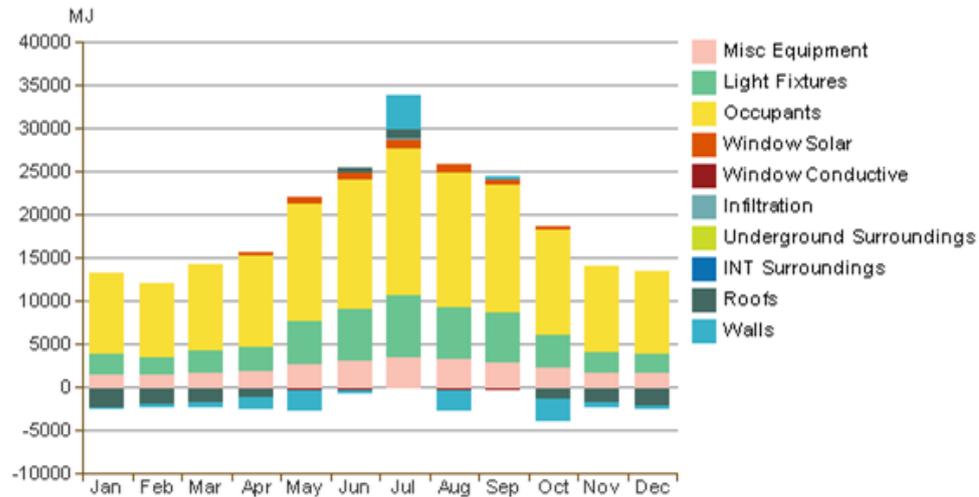
I)

Carga de calefacción mensual:



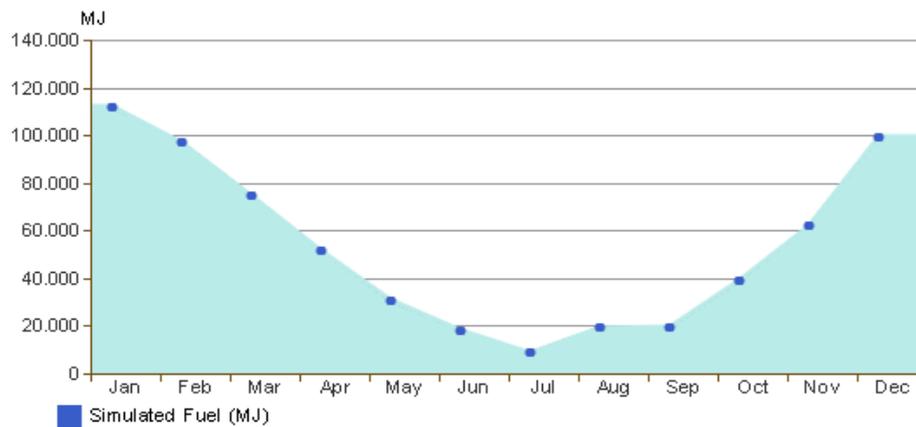
J)

Carga de refrigeración mensual:



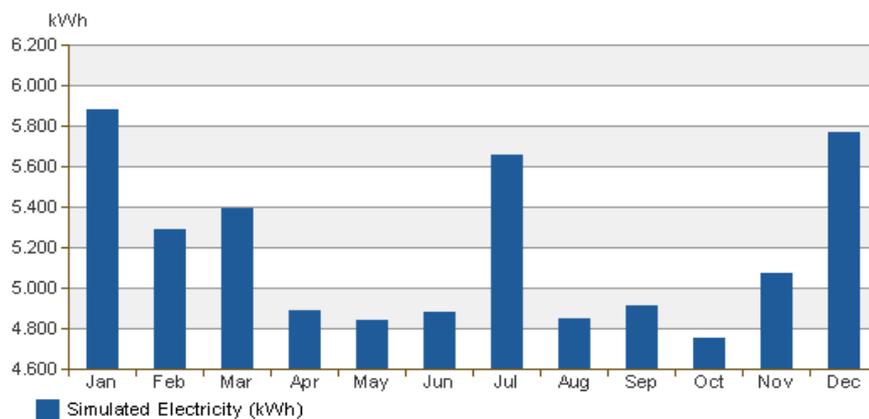
K)

Consumo de combustible mensual:



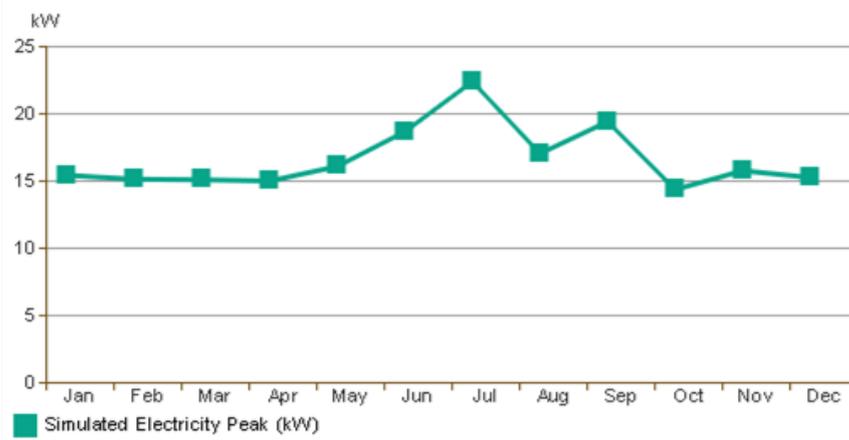
L)

Consumo de electricidad mensual:



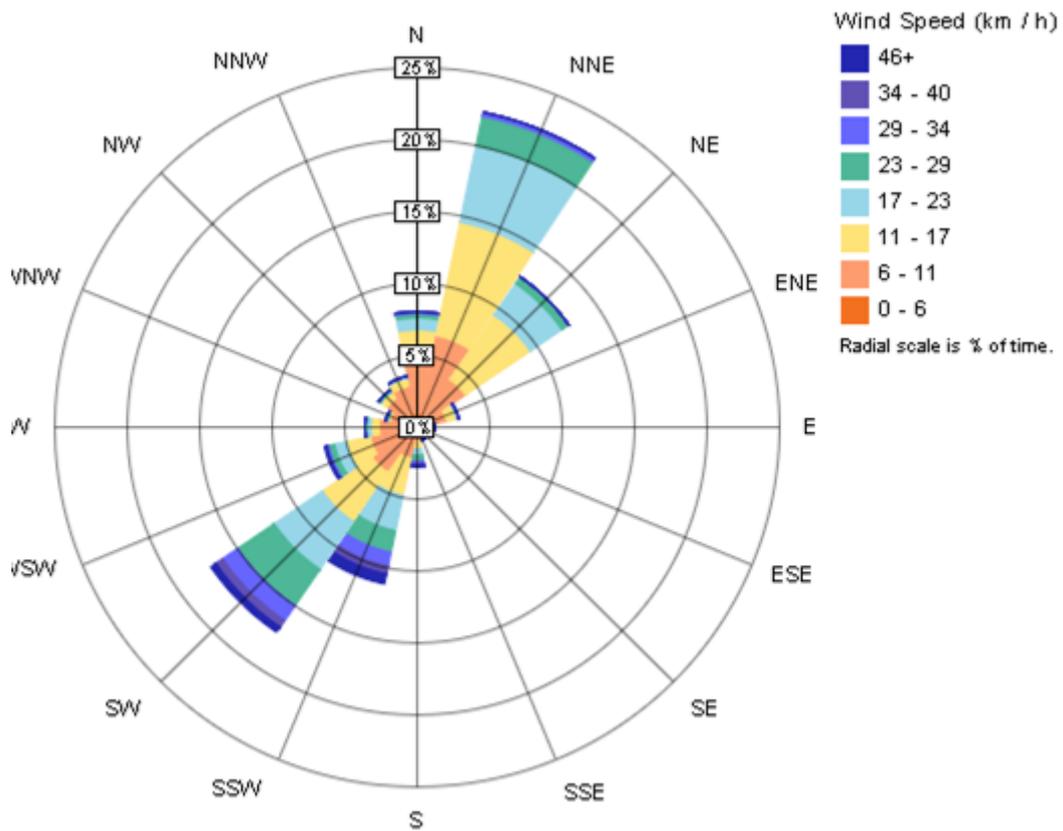
M)

Demanda máxima mensual:



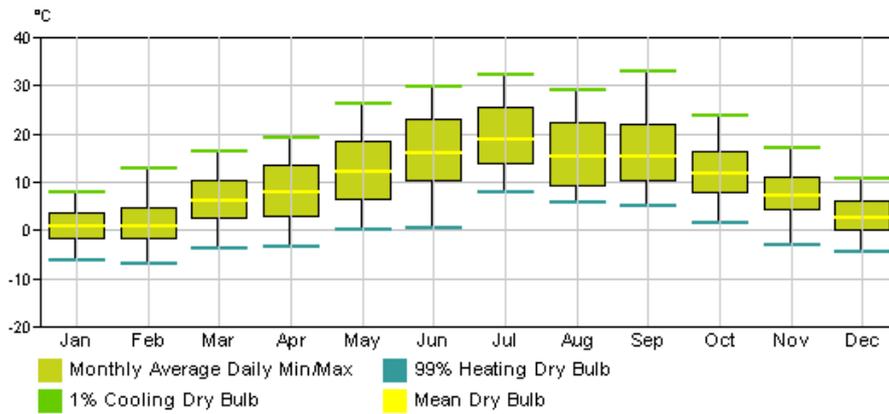
N)

Rosa de los vientos anual: (distribución de velocidad)



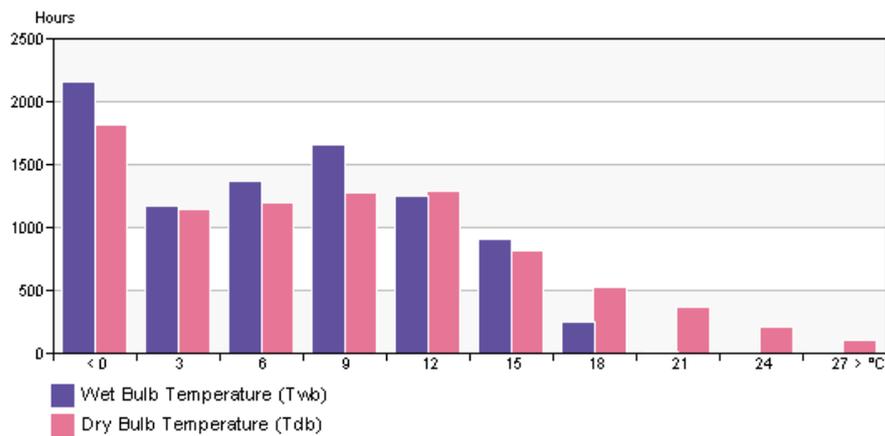
Ñ)

Datos de diseño mensuales:



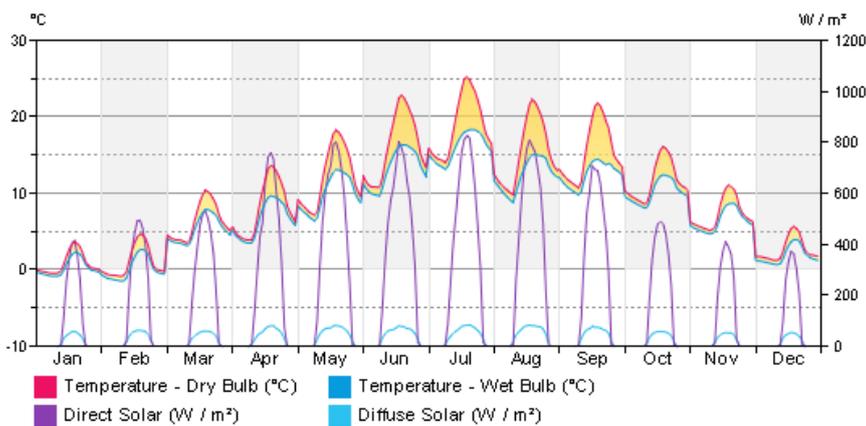
Q)

Grupos de temperatura anual:



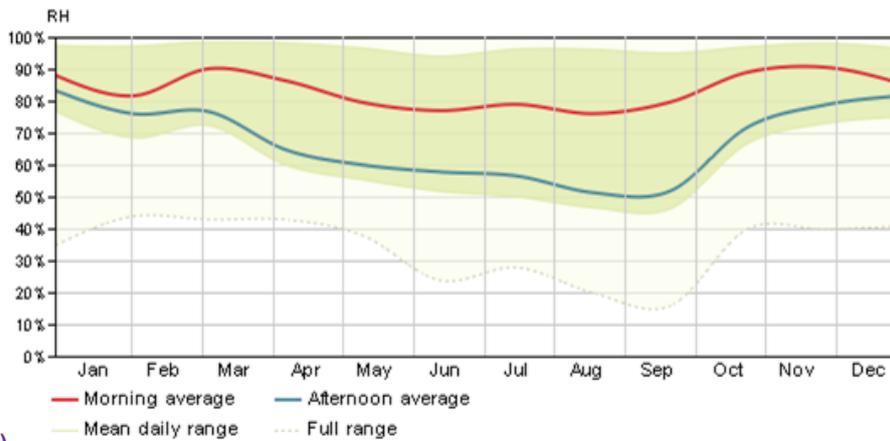
R)

Medias meteorológicas diurnas:



S)

Humedad:



T)

Fig.78 (A-T): Tablas y diagramas correspondientes a los resultados obtenidos del análisis energético del proyecto de la Iglesia Santa María la Real de Mave.
Fuente: Propia del TFM

Aclaraciones:

- Es importante señalar que en el apartado 4.2.3.5 se ha explicado el significado de cada una de las tablas y de los diagramas expuestos recientemente, con la diferencia que en dicho apartado solamente se han representado 10 graficas de las 21 correspondientes. En el presente apartado 5.3.2.4 no se ha vuelto a explicar el significado de cada uno de los resultados para evitar ser repetitivos y redundantes.
- Las gráficas correspondientes al apartado 4.2.3.5 son el resultado de una simulación energética realizado a un modelo propio de Revit.
- Las tablas y diagramas expuestos en el presente apartado son el resultado de un análisis energético realizado sobre el modelo virtual de la iglesia Santa María de Mave.
- Los datos que nos ofrecen son estimativos y no reflejan completamente la realidad, esto se debe a que existen varios parámetros incompatibles con construcciones antiguas, y en la actualidad el programa no es capaz de solucionarlos.
- Otro punto a señalar es que la información señalada depende de la actualización del centro meteorológico adoptado a la hora de seleccionar la ubicación geográfica del edificio.
- El tipo de moneda que exponen estas imágenes es el dólar.
- Es interesante remarcar que en el presente trabajo no se ha realizado un tratamiento de mejora energética para reducir el consumo, siendo esto motivo de estudio para continuar con la investigación, relacionándolo a las nuevas investigaciones sobre tecnologías de impresión 3D y a los conceptos de rehabilitación.

Capítulo 6

6.1. Conclusiones

Con este trabajo final de master, que tiene como objetivo elaborar una metodología de trabajo para la elaboración de modelos BIM a partir del escaneado laser, se pretende demostrar las ventajas de utilizar estas herramientas en el sector de la construcción, como ellas simplifican la labor de los ingenieros, constructores y arquitectos. Como así también la forma en que las mismas trabajan.

Estas tecnologías han evolucionado significativamente en los últimos años, y es la industria de la construcción quien persigue el constante desarrollo hacia la mejora de la calidad y la productividad de los procesos de construcción.

Como se ha explicado anteriormente en la actualidad tiene mayor rentabilidad, rehabilitar antes que construir, es por ello que estas herramientas, desde los escáneres laser, hasta los programas BIM son el futuro inmediato para la edificación. Partiendo de que el escáner laser es una herramienta de medición en tiempo real, capaz de barrer cualquier superficie y crear con ella una nube de puntos densa, la cual puede ser procesada e interpretada en un sistema BIM, logrando así la construcción del modelo virtual de una edificación ya existente, en menor tiempo.

Una vez construido el modelo virtual, el mismo podrá ser utilizado para la realización de análisis estructurales, análisis energéticos, de iluminación, etc., como así también en él se podrán medir e interpretar los distintos elementos constructivos y lograr a partir de las nuevas impresora 3D recrear si es necesario la pieza faltantes. O en el caso de interpretar a partir de la simulación térmica, que el edificio deba ser aislado, el mismo se tratara con mayor eficacia, cumpliendo con las normas de clasificación de eficiencia energética.

Estas nuevas formas de trabajo tienen un valor muy importante a nivel social y cultural, por lo que su uso que está en aumento, significa dar un paso hacia el futuro.

Como hemos mencionado con anterioridad gracias al interés prestado por la **Div. de Robótica y Visión Artificial** del centro tecnológico **CARTIF** y en conjunto a los conocimiento obtenidos a lo largo del presente informe, se llevó a cabo la elaboración de un proyecto real por medio de una plataforma de trabajo virtual que funciona con sistema BIM, en este caso se utilizó Autodesk Revit.

En alguno de los países nórdicos de Europa se utiliza esta herramienta, como principal medio de desenvolvimiento por parte de los constructores, esto se debe a los beneficios y la velocidad con que se puede trabajar.

El interés sustancial de este tipo de técnicas se debe al potencial e interés que tiene este tema en la actualidad. Es un excelente objeto de estudio debido a su complejidad y capacidad.

6.2. Perspectivas futuras

A lo largo del presente trabajo se ha demostrado una aproximación a lo que es el mundo BIM y su funcionamiento.

Estos sistemas deben mejorar su capacidad de exportación, ya que en muchos casos no son compatibles con otros softwares o al exportar datos importantes de los elementos constructivos se pierden en su traspaso.

Los sistemas BIM, y siendo más específicos la plataforma Revit sigue desarrollándose con fuerza año tras año, y se considera que las próximas versiones mejoraran su aspecto de conexión con otras plataformas virtuales.

Un factor positivo en vista al futuro es el constante avance en la integración a la tecnología de nube por parte de las empresas, logrando que la función de interoperabilidad de los programas citados se expanda y con ello conseguir mayor beneficio en el traspaso de información.

También es importantes entender que a medida que crezca la utilización de estas tecnologías, la mismas irán progresando y mejorado su rendimiento. Es por ello notorio remarcar que de cara al futuro la plataforma Revit será capaz de realizar simulaciones energéticas, constructivas, de iluminación en modelos con mayor complejidad.

Otro factor importante es el avance en la investigación sobre la compatibilidad entre la plataforma Revit y las impresoras 3D, ya que se ha demostrado que las futuras herramientas de construcción serán las impresoras 3D a gran escala, capaces de imprimir viviendas completas, como así también elementos de construcción.

El constante avance en estas tecnología en conjunto con la expansión de los sistemas BIM, posicionan a la construcción en un primer plano de investigación.

Como se ha demostrado anteriormente en la actualidad se está investigando sobre nuevos materiales capaces de ser manipulados por las impresoras 3D, logrando con ello un mayor vinculo entre esta tecnología y la construcción, ya que podrán ser utilizadas tanto para la reconstrucción como para la rehabilitación, creando desde los

elementos faltantes (molduras, revestimiento, ornamentación, etc.), hasta nuevos tipos de aislantes, unificando el proceso en un par de herramientas. También son motivo de estudio las impresoras verticales manipuladas por brazos robots.

Se estima que estas tecnologías no suplanten al hombre, sino que sean un apoyo en su labor, mejorando la calidad, seguridad y rapidez de la obra u objeto a construir.

Capítulo 7

7. Referencias:

- [1]: AKIN, O. Current Trends and Future Directions in CAD. En CAD and GIS Integration.s. l.: CRC Press, 2010, pp. 1-21.
- [2]: KYMMELL, W. Building information modeling. New York: McGraw-Hill, 2008.
- [3]: MINISTERIO DE CULTURA. Manual para Inventarios de Bienes Culturales Muebles/Inmuebles. Bogotá D.C, Colombia ISBN 958 – 8250 – 18 – 8, 2005
- [4]: BELLIDO GANT, María Luisa; RUIZ TORRES, David. Los museos y los nuevos medios: paradigmas del conocimiento y la difusión. Granada: 2013
- [5]: GRUSSENMEYER, P., LANDES, T., VOEGTLE, T., RINGLE, K. Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008, pp. 213-218
- [6]: Topografía. Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Topograf%C3%ADa>. [En línea] Acceso: 05/07/2014
- [7]: EL-HAKIM, S., GONZO, L. VOLTOLINI, F., GIRARDI, S., RIZZI, A., REMONDINO, F., WHITING, E. Detailed 3D Modelling of Castles. International Journal of Architectural Computing 5 (2). 2007, pp. 200-220
- [8]: CAI, H. & RASDORF, W. Modeling road centerlines and predicting lengths in 3-D using LIDAR point cloud and planimetric road centerline data. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2007
- [9]: PARK, H. S., LEE, H. M., ADELI, H. & LEE, I. A new approach for health monitoring of structures: terrestrial laser scanning. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2007, pp. 19-30
- [10]: TANG, P., HUBER, D., AKINCI, B., LIPMAN, R. & LYTLE, A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques. Automation in Construction. 2010, pp. 830-841
- [11]: ARIAS, P., CAAMAÑO, J. C., LORENZO, H. & ARMESTO, J. 3D modelling and section properties of ancient irregular timber structures by means of digital

photogrammetry. Computer - Aided Civil and Infrastructure Engineering 22 (8). 2007, pp. 597-611

[12]: BONORA, L., COLOMBO, L. y MARANA B. Laser Technology for cross-section survey in ancient buildings: a study for S.M. Maggiore in Bergamo. Turin, Italia, 2005.

[13]: GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO, J., ZALAMA, E. y FELIZ, R. Automated Registration of 3D Scans Using Geometric Features and Normalized Color Data. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2013, pp. 98-111

[14]: LERONES, M., LLAMAS, J., GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO, J., ZALAMA, E., CASTILLO OLI, J. Using 3D digital models for the virtual restoration of polychrome in interesting cultural sites. Journal of Cultural Heritage. 2014, pp. 196-198

[15]: Escaner 3D. Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ner_3D. [En línea] Acceso: 12/07/2014

[16]: BALLETTI, C., GUERRA, F., VERNIER, P., STUDNICKA, N., RIEGL, J. & ORLANDINI, S. Practical comparative evaluation of an integrated hybrid sensor based on photogrammetry and laser scanning for architectural representation. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2004, pp. 12-23

[17]: VELLEDA CALDAS, k. y ÁVILA SANTOS, C. La retratabilidad: la emergencia e implicaciones de un nuevo concepto en la restauración. Contribuciones a las Ciencias Sociales. 2013

[18]: MARTÍNEZ, E., CASTILLO, A., MARTÍNEZ, I., CASTELLOTE, M. Metodología para la intervención en elementos históricos: el caso de la espadaña del convento de Nuestra Señora de la Consolación (Alcalá de Henares-Madrid-España). Informe de la Construcción 65. 2013, pp. 359-366

[19]: MACIAS, V. y MARTÍNEZ, E. Actuaciones previas a la intervención en edificios históricos: dos ejemplos prácticos "Las Covachuelas" (Alcázar de Toledo) y Ayuntamiento del Cortijo de San Isidro (Aranjuez). Informe de la Construcción 63. 2011, pp. 21-34

[20]: NBIMS. "About the National BIM Standard-United States". <http://www.nationalbimstandard.org/about.php> [En línea] Acceso: 20/06/2014

- [21]: BIMERWORLD. "BIM chapter 1 (Part 2) - Origins of BIM."
<http://bimerworld.blogspot.com/2012/03/chapter-1-part-2-origins-of-bim.html>. [En línea]
Acceso: 22/06/2014
- [22]: EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, manager, designers, engineers and contractors (2). 2011.
- [23]: SCIENCES, N. I. O. B. United States National Building Information Modeling Standard. 2007, pp. 47.
- [24]: HARMELEN, F. V. Semantic web technologies as the foundation for the information infrastructure. Creating spatial information infrastructures. 2008, pp. 38-40
- [25]: G. VALDERRAMA, F. y SÁNCHEZ ACOSTA, E. Algunas experiencias, tres claves y una propuesta para integrar el modelo BIM y el presupuesto. Primer Congreso Nacional BIM - EUBIM. Valencia, 2013.
- [26]: ONU. Nuestro futuro común: Informe Brundtland en 1987. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>. [En línea] Acceso: 05/07/2014
- [27]: Finland, Norway, Singapore, USA lead progress in construction. BIMsight. <http://www.bimsightblog.com/finland-norway-singapore-usa-lead-progress-in-construction-industry/>. Publicado por JUHOLA, V., 2011. [En línea] Acceso: 16/07/2014
- [28]: Uso obligatorio de BIM para todos los proyectos del gobierno. Construction-Manager. <http://www.construction-manager.co.uk/news/bim-be-compulsory-all-projects/>. [En línea] Acceso: 06/07/2014
- [29]: McGraw-Hill Construction. El valor del negocio de BIM en Norte America: análisis de varios años de tendencia y valoración de los usuarios (2007-2012). <http://construction.com/about-us/press/bim-adoption-expands-from-17-percent-in-2007-to-over-70-percent-in-2012.asp>. [En línea] Acceso: 06/07/2014
- [30]: Edificio Ark. Atinne-blog. <http://blog.atinne.com/2010/10/el-edificio-ark-realizado-con-archicad-elegido-como-desarrollo-arquitectonico-del-ano/#more-1875>. [En línea] Acceso: 07/07/2014
- [31]: Aeropuerto Internacional Hamad. Hok. <http://www.hok.com/design/service/architecture/hamad-international-airport/>. [En línea] Acceso: 07/07/2014

- [32]: GU, N., LONDON, K. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. Automation in construction. 2010, pp. 988-999
- [33]: CALDERÓN AVENDAÑO, A. Democratización de la impresión 3d con fotopolímeros. 2012
- [34]: Impresora 3D. Ecología Verde. <http://www.ecologiaverde.com/inventan-una-impresora-3d-que-crea-jardines-a-la-carta/> [En línea] Acceso: 05/07/2014
- [35]: Impresoras 3D. Arup. <http://www.impresoras3d.com/los-ingenieros-de-arup-hacen-uso-de-la-impresion-3d-para-imprimir-estructuras-de-acero/#prettyPhoto>. [En línea] Acceso: 05/07/2014
- [36]: Impresoras a gran escala. 3D Print canal house. <http://3dprintcanalhouse.com/smart-building-2>. [En línea] Acceso: 20/07/2014
- [37]: ABC.es. <http://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20140428/abc-casas-china-impresoras-201404281925.html>. [En línea] Acceso: 05/07/2014
- [38]: BEHROKH, K. Automated construction by contour crafting – related robotics and information technologies. Automation in Construction. 2004, pp. 5-19
- [39]: Brazos Robots. Think Big. <http://blogthinkbig.com/impresion-3d-gravedad/> [En línea] Acceso: 05/07/2014
- [40]: Softwares. Autodesk. <http://www.autodesk.es/>. [En línea] Acceso: 20/07/2014
- [41]: Software. Graphisoft. <http://www.graphisoft.com/2014/>. [En línea] Acceso: 20/07/2014
- [42]: Softwares. Nemetschek. <http://www.nemetschek.com/>. [En línea] Acceso: 20/07/2014
- [43]: Softwares. Tekla. <http://www.tekla.com/>. [En línea] Acceso: 20/07/2014
- [44]: COLOMA PICÓ, E. Tecnología BIM para el diseño Arquitectónico. 2012
- [45]: Herramientas REVIT. Autodesk. <http://www.autodesk.es/products/revit-family/features/architectural-design/design/list-view>. [En línea] Acceso: 21/07/2014
- [46]: Monasterio de Santa María de Mave. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/rabiespierre/5212373546/> [En línea] Acceso: 25/07/2014

[47]: Monasterio de Santa María de Mave. Wikipedia.

http://es.wikipedia.org/wiki/Monasterio_de_Santa_Mar%C3%ADa_de_Mave

[En línea] Acceso: 25/07/2014

[48]: Santa María de Mave. Arquivoltas. [http://www.arquivoltas.com/8-palencia/02-](http://www.arquivoltas.com/8-palencia/02-Mave01.htm)

[Mave01.htm](http://www.arquivoltas.com/8-palencia/02-Mave01.htm) [En línea] Acceso: 26/07/2014

[49]: Santa María de Mave. Arte guías.

<http://www.arteguias.com/monasterio/santamariamave.htm> [En línea]

Acceso: 26/07/2014

[50]: Memoria Histórica del Monasterio de Santa María de Mave. Románico Norte.

[http://www.romaniconorte.org/es/contenido/index.asp?iddoc=1082.](http://www.romaniconorte.org/es/contenido/index.asp?iddoc=1082) [En línea]

Acceso: 26/07/2014