



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*

# PLANIFICACIÓN TEMPORAL DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE MODELOS 4D EN ENTORNOS NO ESTRICTAMENTE BIM

MASTER INTERUNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN  
DE PROYECTOS

TUTOR: DR ELISEO PABLO VERGARA GONZALEZ

ÁNGEL FANDIÑO

OVIEDO, JULIO DE 2024

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento en general a todo el cuerpo docente del Máster Universitario en Dirección de Proyectos que me han prestado su apoyo en todo momento.

Mi agradecimiento con especial mención a mi tutor de dirección de Trabajo de Fin de Master el doctor D. Eliseo Pablo Vergara Gonzalez por su labor como tutor, apoyo y disposición incondicional que me ha brindado desde el primer momento que sin su apoyo y gran conocimiento de la materia no hubiera sido posible realizar este Trabajo de fin de Máster.

También quisiera mostrar mi agradecimiento al Director del Máster al Doctor D. Joaquin Manuel Villanueva Balseira por su colaboración y empatía durante todo el desarrollo del Máster, lo que me ha facilitado poder llegar hasta el final.

También me gustaría mostrar mi sincero agradecimiento a D. Francisco de Asís Ortega Fernández por su amabilidad y disposición en cualquier momento.

Agradecer enormemente su colaboración a D. Rafael Teresa Chinchilla, arquitecto técnico project manager y creador de software y de la extensión **SketchUp4Dpro** quien con su ayuda desinteresada me ha facilitado poder entender, comprender y aplicarla perfectamente a este trabajo de fin de máster.

Por último, agradecer a mi familia y especialmente a mis hijas Paula, Laura y mi esposa Patricia por su paciencia infinita y comprensión y por apoyarme en alcanzar este reto que ha supuesto gran dedicación y la merma de muchas horas de vida familiar.



## RESUMEN

Para alcanzar un nivel óptimo en proyectos de ingeniería, construcción y otros campos afines, es crucial implementar una planificación meticulosa. Esto no solo asegura resultados favorables, sino que también contribuye a la reducción de costos y al cumplimiento de los plazos establecidos. A lo largo de los años, los proyectos han avanzado en su metodología, buscando subsanar errores no contemplados durante la etapa de diseño. Estos descuidos suelen generar gastos innecesarios y aumentos significativos en el presupuesto inicial.

En este trabajo, nuestro objetivo es realizar la planificación de la ejecución de un EDAR (Estación Depurada de Aguas Residuales) de Calvia Mallorca, partiendo de un modelado 3D con SketchUp y una extensión creada por Don Rafael Teresa Chinchilla Arquitecto técnico Project Manager y creador de software de aplicaciones a los proyectos de construcción. Este enfoque se centra en la utilización de entornos virtuales que sin llegar a ser BIM propiamente, nos permite modelar el proyecto y, además, integrar la planificación creada con MS Project. Nuestro propósito es obtener una visión integral de la evolución del proyecto, llegando a integrar el 3D Y 4D como lo establece la metodología BIM.

## ABSTRACT

To achieve an optimal level in engineering, construction, and other related fields, meticulous planning is crucial. This not only ensures favorable results but also contributes to cost reduction and adherence to established deadlines. Over the years, projects have advanced in their methodologies, seeking to address errors not considered during the design phase. These oversights often generate unnecessary expenses and significant increases in the initial budget.

In this work, our objective is to plan the execution of a WWTP (Wastewater Treatment Plant) in Calvia, Mallorca, starting from a 3D model using SketchUp and an extension created by Don Rafael Teresa Chinchilla, Technical Architect, Project Manager, and creator of construction project application software. This approach focuses on using virtual environments that, while not strictly BIM, allow us to model the project and integrate the planning created with MS Project. Our aim is to obtain a comprehensive view of the project's evolution, integrating 3D and 4D as established by the BIM methodology.

## PALABRAS CLAVE

PLANIFICACION 4D- MODELADO 4D- BIM 4D



## ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN .....	2
1.1	LA METODOLOGÍA BIM .....	4
1.2	LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) .....	7
1.3	LOS MODELOS 4D .....	11
2	OBJETO DEL TRABAJO .....	16
3	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	17
3.1	SISTEMA DE DEPURACIÓN .....	18
3.2	LÍNEA DE FANGOS .....	18
4	SOFTWARE DE MODELADO 3D .....	22
5	ESTRATEGIA DE MODELADO .....	27
5.1	LA ORGANIZACIÓN DE LOS ARCHIVOS .....	27
5.2	GENERACIÓN DE LOS OBJETOS .....	28
5.3	LA ORGANIZACIÓN DEL ESQUEMA EN EL MODELO .....	30
5.4	LA ORGANIZACIÓN DE LAS CAPAS EN EL MODELO .....	36
6	EL MODELO 3D DE LA EDAR DE CALVIA .....	41
6.1	MODELADO DE LA OBRA CIVIL .....	47
6.2	MODELADO DE LAS INSTALACIONES .....	51
7	LA PLANIFICACIÓN 4D .....	53
7.1	ESTRATEGIAS DE PLANIFICACIÓN 4D .....	53
8	CONCLUSIONES .....	63
9	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....	64



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1 – EJEMPLO DE COLISIÓN ENTRE LAS CONDUCCIÓN DE AIRE ACONDICIONADO Y LAS BAJANTES DE PLUVIALES. ....	3
FIGURA 1.2- CASO REAL DE UNA COLISIÓN QUE LLEGÓ A SER EJECUTADA EN EL PARKING DE UN CONOCIDO SUPERMERCADO. ....	4
FIGURA 1.3- LAS VISTAS 2D PUEDEN OBTENERSE A PARTIR DE CORTES EN EL MODELO 4D.....	5
FIGURA 1.4- DESDE EL MODELO BIM ES POSIBLE OBTENER TANTAS VISTAS 2D -PLANOS- COMO SE DESEE. ....	6
FIGURA 1.5- ÁREAS DE INTERÉS DE LOS MODELOS BIM.....	7
FIGURA 1.6- TIPOS DE INFORMACIÓN EN UN MODELO BIM .....	8
FIGURA 1.7- NIVELES DE DESARROLLO (LOD) BIM.....	9
FIGURA 1.8- LAS DIMENSIONES DE LOS MODELOS BIM.....	13
FIGURA 1.9- DIFERENTES FASES DE LAS CONSTRUCCIÓN.....	14
FIGURA 1.10- EJEMPLO DE MODELO Y SU EJECUCIÓN REAL .....	15
FIGURA 2.1-METODOS .....	16
FIGURA 3.1- VISTAS EXTRAIDAS DEL PROYECTO DE LA EDAR .....	18
FIGURA 3.2- VISTA EN PLANTA DE LA EDAR DE CALVIA.....	19
FIGURA 3.3- MODELO DE LA EDAR DE CALVIA INCLUIDO EN EL PROYECTO (VISTA 1) .....	20
FIGURA 3.4- MODELO DE LA EDAR DE CALVIA INCLUIDO EN EL PROYECTO (VISTA 2) .....	21
FIGURA 4.1- TRIMBLE CONNECT, DONDE SE MUESTRA EL CASO DE UN MODELO FEDERADO FORMADO POR TRES MODELOS INDEPENDIENTES.....	24
FIGURA 4.2- IMÁGENES 3D DEL DISEÑO DEL ESCENARIO DEL TEATRO PARA LA SERIE GLEE. FUENTE: ..	26
FIGURA 5.3- IMPORTACION DE LA IMAGEN A SKETCHUP .....	28
FIGURA 5.2- PLANO 2D AUTOCAD .....	28
FIGURA 5.4-. MODELO CREADO CON SKETCHUP .....	28
FIGURA 5.5- MODELO CREADO CON SKETCHUP Y TEXTURIZADO.....	28
FIGURA 5.6- PLANO IMPLANTACION GENERAL .....	29
FIGURA 5.7- MODELADO DEL TERRENO POR ETIQUETAS .....	30



FIGURA 5.8- IMAGEN EXTRAIDAD DE LA PLANIFICACION MSPROJECT. ....	31
FIGURA 5.9- MODELADO DEL TERRENO SKETCHUP .....	33
FIGURA 5.10. IMAGEN EXTRAIDAD DE LA PLANIFICACION MSPROJECT .....	33
FIGURA 5.11- MODELADO EXCAVACIÓN REACTOR BIOLÓGICO .....	33
FIGURA 5.12- MODELADO EXCAVACIÓN REACTOR BIOLÓGICO-DECANTADORES –EDIFICIO SOPLANTES Y BOMBEO DE RECIRCULACION. ....	34
FIGURA 5.13- MODELADO EXCAVACIÓN REACTOR BIOLÓGICO-DECANTADORES – EDIFICIO SOPLANTES Y BOMBEO DE RECIRCULACION .....	34
FIGURA 5.14- MODELADO REACTOR BIOLÓGICO .....	35
IMAGEN. 5.1. VISTA AEREA DEL REACTOR BIOLOGICO CIMENTACION Y FUNCIONAMIENTO (ARCHIVO EDAR DE CALVIA MALLORCA) .....	35
FIGURA 5.15- MODELADO DECANTADORES SECUNDARIOS .....	36
IMAGEN .5.2. VISTA AEREA DE LA CONSTRUCCION DE LOS DECANTADORES SECUNDARIOS. (ARCHIVO EDAR DE CALVIA MALLORCA) .....	36
FIGURA 5.16- BANDEJA PREDETERMINA DE LA INTERFAZ DE SKETCHUP .....	37
FIGURA 5.17-. BANDEJA PREDETERMINA DE LA INTERFAZ DE SKETCHUP .....	37
FIGURA 5.18- BANDEJA PREDETERMINA DE LA INTERFAZ DE SKETCHUP .....	38
FIGURA 5.19- MODELADO DE LA PRIMERA FASE .....	38
FIGURA 5.20-BANDEJA PREDETERMINADA SKETCHUP .....	39
FIGURA 5.21- MODELADO DE LA SEGUNDA FASE .....	39
FIGURA 5.22 BANDEJA PREDETERMINA DE LA INTERFAZ SKETCHUP .....	40
FIGURA 5.23-MODELADO TERCERA FASE .....	40
FIGURA 6.1- MODELADO BOMBEO DE CABECERA .....	41
FIGURA 6.3 MODELADO DE REACTOR BIOLOGICO .....	41
FIGURA 6.2- MODELADO EQUIPO DE PRETRATAMIENTO .....	41
FIGURA 6.4-MODELADO POZO REPARTO .....	41
FIGURA 6.5- MODELADO DEPOSITO AGUA REGENERADA .....	42
FIGURA 6.6- MODELADO TRATAMIENTO TERCARIO .....	42
FIGURA 6.8-MODELADO EDIFICIO DESHIDRATACION .....	42



FIGURA 6.9-MODELADO EDIFICIO SOPLANTES .....	42
FIGURA 6.7-MODELADO FILTROS ARENA.....	42
FIGURA 6.10-MODELADO BOMBEO FANGOS .....	42
FIGURA 6.11-MODELADO DECANTADOR .....	43
FIGURA 6.12-MODELADO ESPESADOR FANGOS .....	43
FIGURA 6.14-MODELADO DESODORIZADOR .....	43
FIGURA 6.13-MODELADO TOLVA FANGOS.....	43
FIGURA 6.15-MODELADO COMPLETO DE LA EDAR, CONDIFERENTES PUNTOS DE VISTA .....	44
FIGURA 6.16-MODELADO COMPLETO EDAR, CON DIFERENTES PUNTOS DE VISTA .....	45
FIGURA 6.17- MODELADO COMPLETO DE LA EDAR, CON DIFERENTES ANGULOS DE VISTA.....	45
FIGURA 6.19-MODELADO COMPLETO DE LA EDAR, DIFERENTES PUNTOS DE VISTA.....	46
FIGURA 6.18- MODELADO COMPLETO DE LA EDAR, CON DIFERENTES ANGULOS DE VISTA.....	46
FIGURA 6.20-PLANO DE AUTOCAD INSERTADO EN SKETCHUP.....	47
FIGURA 6.21-HERRAMIENTAS DE SKETCHUP .....	47
FIGURA 6.22-INSERCIÓN DE PLANO DE CIMENTACION EN SKETCHUP.....	48
FIGURA 6.23- EJECUCION DE LA EXCAVACION EN SKETCHUP .....	48
FIGURA 6.25-EJECUCION DE LA ESTRUCTURA EN SKETCHUP.....	49
FIGURA 6.24- EJECUCIÓN DE LA CIMENTACION SKETCHUP .....	49
FIGURA 6.26- VISUALIZACION DE LAS SECCIONES EDIFICIO DESHIDRATACION .....	50
FIGURA 6.28-TABLA DIAMETROS DE TUBOS NORMALIZADOS.....	51
FIGURA 6.27-HERRAMIENTAS DE SKETCHUP .....	51
FIGURA 6.29-MODELADO DE TUBERIA DESODORIZADO .....	51
FIGURA 6.29-MODELADO DE TUBERIAS PARA TOLVA DE FANGOS .....	52
FIGURA 7.1-INTERFAZ DE SKETCHUP .....	54
FIGURA 7.2-PANTALLA DE SKETCHUP CON LA INSERCIÓN DE LA EXTENSION SKETCHUP4DPRO.....	55
FIGURA 7.3-ACCION DE IMPORTAR LA PLANIFICACION DESDE MS PROJECT A SKETCHUP .....	57
FIGURA 7.4-ASIGNACION DE LAS TAREAS A LA EXTENSION SKETCHUP4DPRO.....	57
FIGURA 7.5-COMPROBACION DE TARES ENTRE MS PROJECT Y SKETCHUP.....	58



FIGURA 7.6- ARCHIVO DE MS PROJECT CON LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	58
FIGURA 7.7- SOLICITUD DE INFORMACION A LA EXTENSION DE LA DURACIÓN DEL PROYECTO .....	59
FIGURA 7.8-CONTROL DE FECHA DE LA EVOLUCION DEL PROYECTO EN UN PERIODO DETERMINADO ...	59
FIGURA 7.9- CONTROL DE FECHA DE LA EVOLUCION DEL PROYECTO EN OTRAS FASES .....	60
FIGURA 7.10- CONTROL DE FECHA DE LA EVOLUCIÓN DEL PROYECTO DE UN UNICO ELEMENTO “EDIFICIO DE SOPLANTES” .....	61
FIGURA 7.11- CONTROL DE LA EVOLUCIÓN DEL PROYECTO UTILIZANDO EL CURSOR “STATUS” OBRA AL 17% DE EJECUCION.....	61
FIGURA 7.12- CONTROL DE LA EVOLUCIÓN DEL PROYECTO UTILIZANDO EL CURSOR “STATUS” OBRA AL 24% DE EJECUCION.....	62
FIGURA.7.13-CONTROL DE LA EVOLUCION DEL PROYECTO UTILIZANDO EL CURSOR”STATUS”OBRA AL 35% DE EJECUCION.....	62



## GLOSARIO

<b>CPM</b>	<i>Critical Path Method.</i>
<b>BIM</b>	<i>Building Information Modeling</i>
<b>EDAR</b>	<i>Estacion Depuradora de Aguas Residuales</i>
<b>VDC</b>	<i>Virtual Design and Construction</i>
<b>CAD</b>	<i>Computer-Aided Design</i>
<b>LOD</b>	<i>Level Of Development</i>
<b>ECD/CDE</b>	<i>Entorno Común de Datos ECD, (Common Data Environment - CDE)</i>
<b>WIP</b>	<i>Work in Progress/ Trabajo en progreso</i>
<b>IFC</b>	<i>Industry Foundation Classes</i>
<b>MEP</b>	<i>Mechanical, Electrical, and Plumbing-Aire acondicionado-electricidad y fontanería.</i>



## 1 INTRODUCCIÓN

El proceso de diseño de construcciones ha venido incrementando su complejidad desde la Segunda Guerra Mundial, reflejando la creciente complejidad intrínseca de las construcciones y de los procesos involucrados en su diseño, construcción y gestión.

Estas complejidades se deben a la constante expansión de conocimientos teóricos, tecnológicos y organizacionales, y a las prácticas utilizadas por cada una de las distintas profesiones relacionados con la construcción, así como por el impacto creciente de las decisiones tomadas por uno de los participantes en el proceso de diseño y construcción tienen sobre el resto de los agentes intervinientes.

Es evidente que este incremento de la complejidad de los propios procesos de diseño y construcción, agudiza el problema de **deficiencias en la documentación de los proyectos**, dando lugar a retrasos en la ejecución, incremento de los costes, fricciones entre las diferentes partes y, eventualmente, problemas legales; y provoca un aumento de la necesidad de mejorar la comunicación y coordinación de las actividades involucradas en la construcción.

Habitualmente, en el proceso de diseño y construcción intervienen un elevado número de organizaciones independientes –promotor, dirección facultativa, contratista principal, subcontratistas, ayuntamientos, consejerías, ministerios, etc.–, y dentro de esas organizaciones existen también un elevado número de agentes que pudieran considerarse independientes entre sí –arquitectos, calculistas de estructuras, ingenieros responsables de las diferentes instalaciones, paisajistas, etc.–, **cada uno de los cuales genera su propia documentación gráfica en 2D e interactúa con el resto de una forma compleja.**

Dentro de este escenario fragmentado, los dibujos arquitectónicos y de ingeniería en 2D han persistido durante cientos de años como la representación básica utilizada por todos los participantes en la industria de la construcción.

Todas las empresas relacionadas con la construcción, las instituciones financieras y de seguros, las normas, los códigos y los materiales de referencia, se organizan en torno a los dibujos en 2D y sus convenciones de formato.

Sin embargo, en general, se reconoce que, en la práctica, debido a esta fragmentación de la documentación, no es posible verificar la consistencia de los dibujos en 2D.

En las siguientes imágenes pueden verse dos planos CAD 2D de una misma planta de un mismo edificio. El de la izquierda representa los conductos de climatización. El de la derecha las bajantes de pluviales.

Los planos son de gran calidad y detalle, pero por una cuestión inherente a la propia naturaleza 2D, no son capaces de representar adecuadamente cómo se solventará la intersección entre una conducción y la otra.

Cada representación se refiere a un modelo independiente no conectados entre sí, por lo que presentan estas incoherencias. Algo tan sencillo de solucionar sobre el papel, deberá ser resuelto en obra, con los problemas y conflictos que ello puede acarrear.

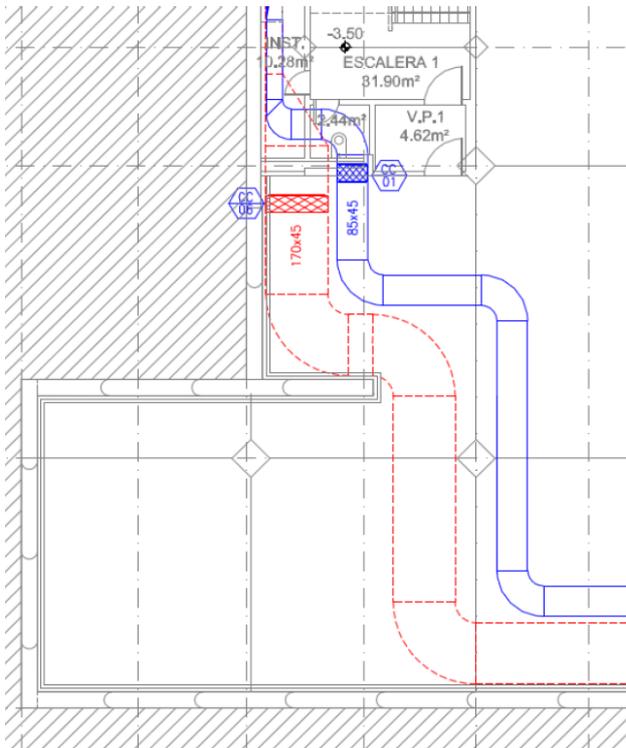
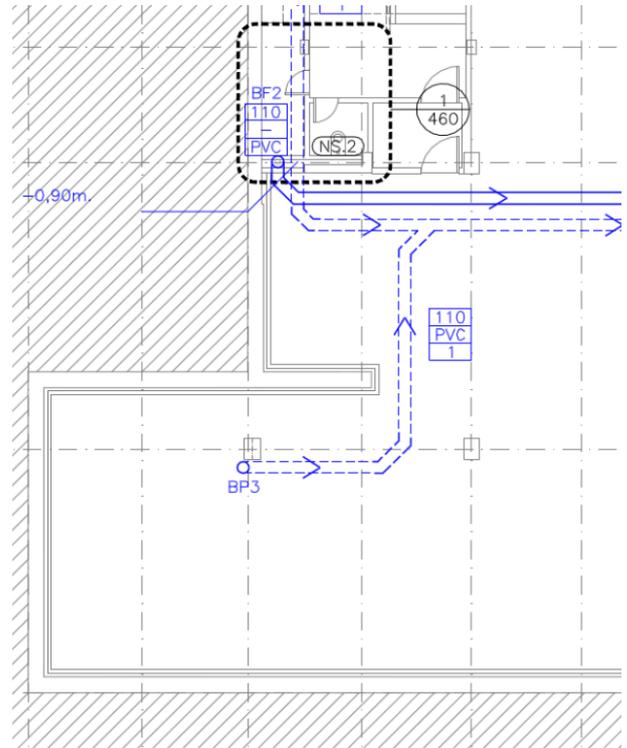


FIGURA 1. 1 – EJEMPLO DE COLISIÓN ENTRE LAS CONDUCCIÓN DE AIRE ACONDICIONADO Y LAS BAJANTES DE PLUVIALES.



EJEMPLO DE COLISIÓN ENTRE LAS CONDUCCIÓN DE AIRE ACONDICIONADO Y LAS BAJANTES DE PLUVIALES.



figura 1.2- Caso Real de una Colisión que Llegó a ser Ejecutada en el Parking de un Conocido Supermercado.

## 1.1 LA METODOLOGÍA BIM

De un tiempo a esta parte, algunos gestores de proyectos han comenzado a explorar el uso de las tecnologías **VDC (Virtual Design and Construction)** como son los modelos 3D/4D, para reducir los problemas inherentes a las limitaciones de las 2D, y tratar de lograr una mayor eficiencia y productividad en sus proyectos.

El empleo de herramientas **VDC** (específicamente modelos 3D y 4D) genera importantes beneficios a la hora de evitar conflictos y mejorar la coordinación en obra, debido a que la **construcción virtual** permite a los ingenieros examinar, desde la fase de diseño, los problemas que muy probablemente se presentarán en la fase de ejecución, y más importante aún, permite disponer de una documentación de calidad, completa, una documentación que ahora es 3D, y no 2D como venía siendo lo habitual.

la idea es la de generar un modelo único que contenga toda la información del edificio para que, en vez de crear múltiples representaciones-modelo, haya suficiente con uno. De él saldrán representaciones, las cuales en realidad serán diferentes tipos de vistas del modelo central.

Los problemas mostrados en el apartado anterior proceden del hecho de que cada dibujo CAD es una “vista” independiente del proyecto. Tan independiente que pudieran representar elementos inconsistentes como en la imagen anterior.

La solución pasa por el hecho de que se obtengan los planos 2D desde un único modelo que haya sido diseñado como “coherente”.

Si el modelo 3D es coherente, las vistas 2D obtenidas a partir de diferentes cortes a dicho modelo, también son coherentes.

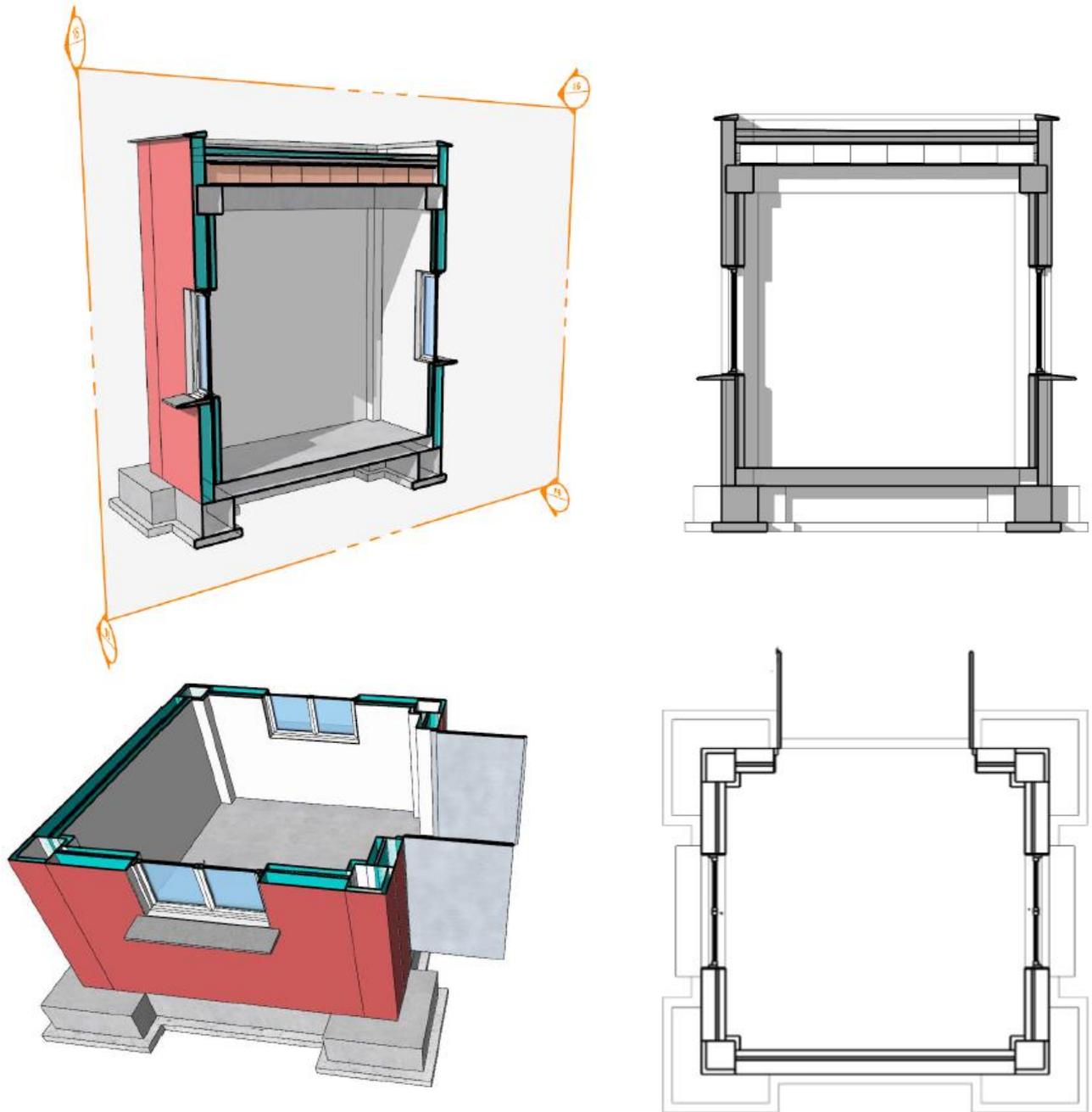


FIGURA 1.3- LAS VISTAS 2D PUEDEN OBTENERSE A PARTIR DE CORTES EN EL MODELO 4D.

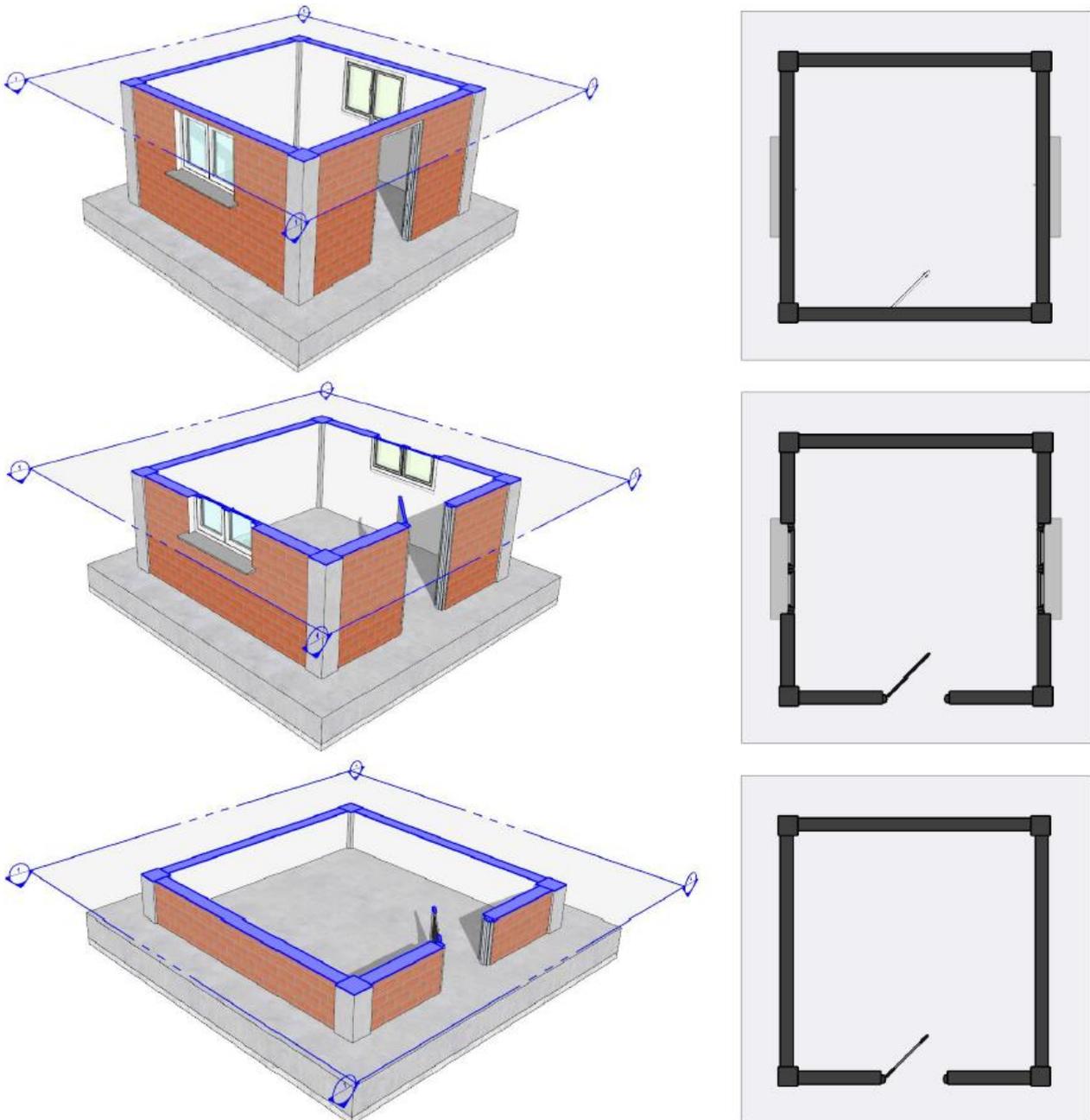


FIGURA 1.4- DESDE EL MODELO BIM ES POSIBLE OBTENER TANTAS VISTAS 2D -PLANOS- COMO SE DESEE.

**Building Information Modeling (BIM)** es una representación digital de las características físicas y funcionales de una determina instalación, edificio o infraestructura. Un modelo de información de construcción (BIM) es una representación digital de características físicas y funcionales de una instalación. Como tal sirve como

recurso de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación que forma un base confiable para decisiones durante su ciclo de vida desde el inicio en adelante.

Una premisa básica de BIM es la colaboración de diferentes partes interesadas. BIM es un proceso en el que diferentes actores trabajan juntos, intercambian información de manera eficiente (datos y geometría) y colaboran para proporcionar un proceso de construcción más eficiente (por ejemplo, menos errores, construcción más rápida) pero también edificios más eficientes que producen menos desechos y son más baratos, pero también más fácil de operar.

Con esa visión, la clave no es el modelado tridimensional en sí, sino la información desarrollada, administrada y compartida, en apoyo de una mejor colaboración.

Otra premisa es el hecho de que se trata de un modelo paramétrico

Una definición de los modelos paramétricos sería la que dice que son aquellos que están constituidos por elementos que poseen parámetros -e información- que pueden ser modificados.

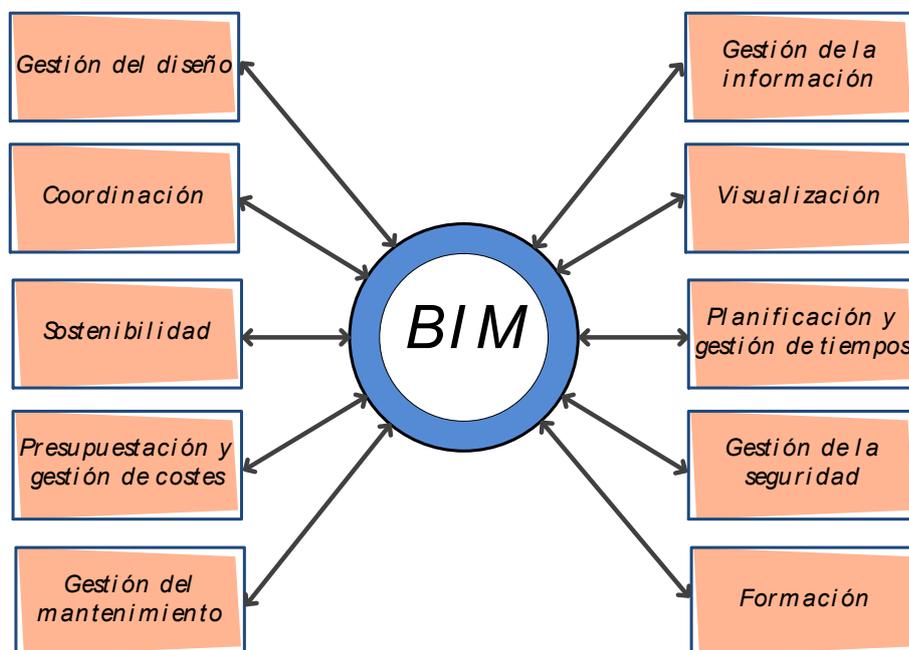


FIGURA 1.5- ÁREAS DE INTERÉS DE LOS MODELOS BIM

## 1.2 LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD)

Sin una buena coordinación de documentación y de ejecución, la estructura resultante suele ser de calidad inferior con numerosos problemas durante la construcción, así como durante las operaciones. Al utilizar tecnología BIM, estos dos procesos de coordinación pueden alinearse, pero hacerlo requiere una comprensión del concepto de nivel de desarrollo (LOD).

El concepto de nivel de desarrollo (*Level of Development* - LOD) soluciona varios problemas que se presentan cuando un modelo se utiliza como una herramienta de comunicación o de colaboración, es decir, cuando una persona distinta del autor extrae información de él.

Durante el proceso de diseño, los sistemas y componentes del proyecto se desarrollan desde una idea conceptual vaga hasta llegar a una descripción precisa. Sin embargo, no existía una manera simple de definir en qué punto de este camino de desarrollo se encontraba el modelo. Es cierto que el autor lo sabe, pero otros, a menudo, lo desconocen. Por ello es fácil malinterpretar el detalle con el que se encentra modelado un elemento.

En un modelo, un componente genérico colocado aproximadamente puede tener exactamente el mismo aspecto que un componente específico ubicado exactamente, por lo que es necesario algo más que la apariencia para notar la diferencia.

Un modelo BIM puede incluir tres tipos de información:

**G:** Información geométrica.

**D:** Se refiere a datos no geométricos incluidos en el modelo BIM, por ejemplo, energía, normativa, estimación de precios, precios unitarios, datos para el cumplimiento del CTE, etc.

**F:** Se refiere a datos y gráficos no incluidos en el modelo BIM

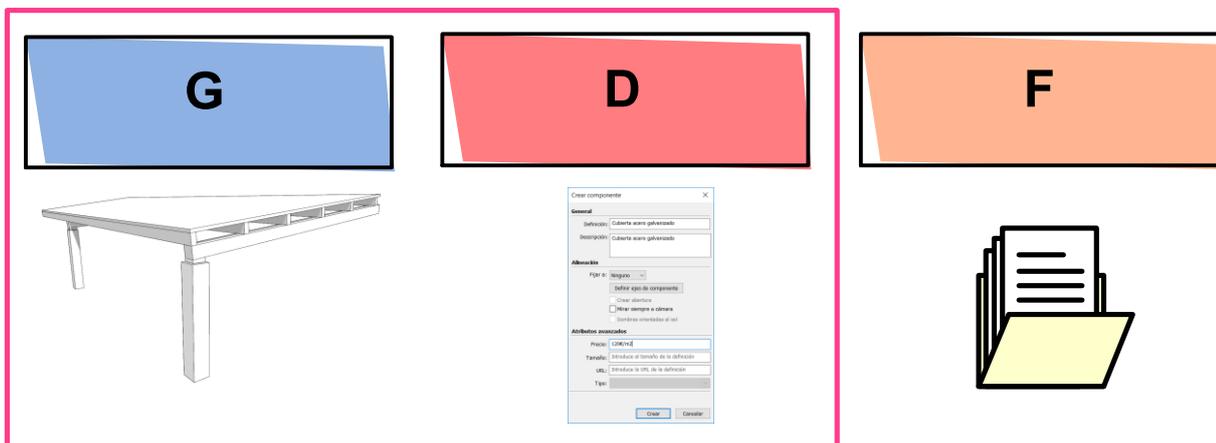


FIGURA 1.6- TIPOS DE INFORMACIÓN EN UN MODELO BIM

En el nivel **LOD 001** el elemento objeto se define con respecto a la totalidad del emplazamiento y su entorno, mediante elementos de referencia o de forma literal o numérica.

El nivel **LOD 100** se corresponde con el nivel de **diseño conceptual**. El elemento del modelo puede ser representado mediante un símbolo u otra representación genérica.

El nivel **LOD 200** se corresponde con nivel de **anteproyecto**, y se representa mediante un sistema, objeto o montaje genérico con, aproximadamente, las mismas cantidades, tamaños, forma, localización y orientación. No suele asociarse al elemento información no gráfica

El nivel **LOD 300** se corresponde con nivel de **proyecto básico**. El elemento del modelo está gráficamente representado por un sistema, objeto o montaje específico, en términos de cantidad, tamaño, forma, localización y orientación. Puede asociarse al elemento información no gráfica.

El elemento del modelo está gráficamente representado por un sistema, objeto o montaje específico, en términos de cantidad, tamaño, forma, localización, orientación e interfaces con otros sistemas del proyecto. Puede asociarse al elemento información no gráfica.

El nivel **LOD 300** especifica que los elementos constructivos se encuentran correctamente definidos, pero **no incluye el nivel de detalle necesario para la plena coordinación**.

La información necesaria para el nivel **LOD 400** puede no existir hasta bastante después, ya durante la fase de ejecución, creando así un vacío de información.

El nivel **LOD 350** cierra esta brecha, y muestra cómo los elementos van a ser montados o fijados

El nivel **LOD 400** se corresponde con el nivel de **proyecto de ejecución**. El elemento del modelo está gráficamente representado por un sistema, objeto o montaje específico, en términos de cantidad, tamaño, forma, localización, cantidad, y orientación, detallando la información de fabricación, montaje e instalación. Puede asociarse al elemento información no gráfica.

El nivel **LOD 500** se corresponde con el nivel de **proyecto "as built"**. El elemento del modelo es una representación fiel en términos de tamaño, forma, localización, cantidad, y orientación del proyecto ya finalizado. Puede asociarse al elemento información no gráfica.

El nivel de definición geométrica es análogo al **LOD 400**, representando el elemento objeto un sistema, objeto o montaje existente en su estado actual, con datos verificados in situ de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación, y detallado completo de su fabricación, puesta en obra, montaje o instalación.



FIGURA 1.7- NIVELES DE DESARROLLO (LOD) BIM



La metodología BIM hace que sea posible integrar en un único modelo toda la información pertinente proyecto: arquitectura, estructura, instalaciones, etc.

De hecho, se basa en la colaboración entre las diferentes figuras que intervienen en las distintas fases del ciclo de vida de una estructura, con el fin de añadir, eliminar, actualizar o modificar la información en el modelo.

Todo esto es posible gracias a las clases IFC: un formato de base de datos y de intercambio de información, abierto, no propietario, capaz de facilitar la cooperación entre aplicaciones de software utilizadas por los distintos participantes en un proyecto de construcción, y que lleva implícita la clasificación de todo aquello que forma una construcción, permitiendo el intercambio de información entre diferentes aplicaciones in riesgo de pérdida de datos.

IFC es, también, una norma internacional, *EN ISO16739: 2017- Industry Foundation Classes (IFC)*, para el intercambio de datos en las industrias de construcción y gestión de activos.

IFC no es un "solo presionar el botón". La importación o exportación IFC requiere un considerable número de ajustes que se deben configurar para que sean útiles. Por lo tanto, incluso con IFC, la persona que transmite el modelo debe determinar qué se intercambia, verificar la información dentro del archivo IFC y comentarla.

Con la implantación de la metodología BIM aparece una mayor necesidad de formación, tanto previa como continua, además de ser necesario un cambio de filosofía de trabajo hacia un mayor rigor y colaboración entre los diferentes agentes. Aparece así el concepto de BIM Management como un elemento imprescindible para dirigir y coordinar el proceso BIM.

BIM Management se basa, actualmente, en dos conceptos: el Entorno de Colaboración (EdC) y el Plan de Ejecución BIM (PEB).

El **Entorno de Colaboración EdC, (Common Data Environment - CDE)**, es la herramienta usada para recoger, administrar e intercambiar el modelo, los datos no gráficos y toda la documentación (es decir, toda la información del proyecto creada en un entorno BIM) entre todos los miembros del equipo del proyecto, facilitando la colaboración y ayudando a evitar duplicados y errores.

La individuación del autor de cada información dentro del EdC es fundamental. De esta manera todos los agentes saben quién produce cada información y qué rol tiene la misma dentro del proceso.

El EdC debe satisfacer los siguientes aspectos:

- 1.- Accesibilidad, según las reglas preestablecidas, por todos los actores involucrados en el proceso;
- 2.- Trazabilidad y sucesión histórica de las revisiones realizadas sobre los datos contenidos;
- 3.- Soporte de una amplia gama de tipos y formatos y su elaboración;
- 4.- Excelente nivel de consulta y facilidad de acceso, recuperación y extrapolación de datos (protocolos abiertos de intercambio de datos);
- 5.- Conservación y actualización en el tiempo;
- 6.- Garantía de confidencialidad y seguridad.

Cada proyecto tendrá su entorno de colaboración (EdC) en un sistema integrado de gestión formado por distintos entornos de colaboración cuyo propietario es el promotor.



Será en el pliego del proyecto donde se describa las características del entorno de colaboración, tanto sus características técnicas (software, servidores, seguridad), como las de los procesos que van a tener lugar sobre ese entorno (acceso a la información, modificación, comunicación, protocolos de seguridad, etc.)

### 1.3 LOS MODELOS 4D

La planificación<sup>1</sup> y programación<sup>2</sup> en un proyecto implica la secuenciación de una serie de actividades en el espacio y el tiempo. Sin embargo, es habitual que dicho trabajo se realice atendiendo únicamente al tiempo –definido en función de los recursos disponibles–.

Tradicionalmente, la herramienta utilizada para planificar y programar un proyecto son los diagramas de barras, como el conocido diagrama de Gantt<sup>3</sup>, que permiten visualizar cómo las tareas o actividades se relacionan entre sí en una secuencia determinada, de forma que es posible calcular el camino más largo desde el inicio del proyecto hasta el fin para completar el proyecto. Es el denominado Camino Crítico.

Sin embargo, como ya se ha dicho, estos métodos tradicionales sólo plantean el uso de la variable *tiempo* para la planificación y programación del proyecto, olvidando la relación que tiene la variable *espacio* con la duración de las actividades en la construcción.

Este variable espacio, olvidada de forma sistemática, implica que la finalización de una tarea no sólo viene determinada por el tiempo en que, de forma objetiva, puede completarse el trabajo, sino que también está condicionado por las interferencias espaciales que en el área de trabajo se puedan producir por la competición por el espacio libre con otras tareas que también están ejecutándose.

Así, un modelo 4D, un subconjunto del conjunto de modelos nD, es el resultado de enlazar un modelo tridimensional con la cuarta dimensión temporal (Koo y Fischer, 1998<sup>4</sup>). A diferencia de los tradicionales diagramas de barras o de redes, donde no es posible representar adecuadamente las dimensiones espaciales y temporal, el modelo 4D simula virtualmente la propia ejecución del proyecto de construcción, y muestra como los diferentes elementos deben ser ejecutados y en qué secuencia (Adjei-Kumi y Retik, 1997<sup>5</sup>), permitiendo a los participantes en el proyecto visualizar dinámicamente el progreso de la construcción, controlar dicho progreso y optimizarlo si fuera el caso (Ding et al., 2012<sup>6</sup>).

---

<sup>1</sup> Por planificación de proyectos se entiende la división del proyecto en tareas, su vinculación entre ellas estableciendo precedencias.

<sup>2</sup> Por programación de proyectos se entiende el establecimiento de un calendario de inicio y fin de cada una de las tareas.

<sup>3</sup> Henry Laurence Gantt (1861-1919), fue discípulo de Frederick Winslow Taylor. Sus investigaciones más importantes se centraron en el control y planificación de las operaciones productivas mediante el uso de técnicas gráficas, entre ellas el llamado diagrama de Gantt. Su obra principal, publicada en 1913, se titula "Work, Wages and Profits" (Trabajo, salarios y beneficios).

<sup>4</sup> Koo, B., Fischer, M., 1998. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. CIFE Technical Report #118 August, Stanford University.

<sup>5</sup> Adjei-Kumi, T., Retik, A., 1997. A library-based 4D visualization of construction processes, Proc., Information Visualization Conf., Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, N.J., 315–321.

<sup>6</sup> Ding, L.Y., Zhou, Y., Luo, H.B., Wu, X.G., 2012. Using nD technology to develop an integrated construction management system for city rail transit construction. Automation in Construction 21, 64-73



Al aunar en un único modelo las tres dimensiones espaciales y una cuarta dimensión temporal, estos modelos 4D, dan como resultado, en la práctica, una auténtica construcción virtual.

Los beneficios de estos modelos 4D son numerosos y muy importantes, por lo que merece la pena que nos detengamos explicarlos brevemente.

**1.- Visualización e interpretación de la secuencia de construcción.** El modelo 4D es capaz de mostrar cómo los diferentes componentes en 3D se organizan, paso a paso, a medida que avanza el tiempo, para dar lugar a la construcción. A medida que el modelo 4D simula visualmente la construcción del proyecto, las partes involucradas pueden analizar la planificación generada, detectar aquellos problemas que pudieran surgir como consecuencia de la creación de una incorrecta planificación.

Por otro lado, al ver el modelo 4D, los técnicos son capaces de comprender mejor la lógica detrás de la secuencia de tareas. El modelo 4D permite detectar contradicciones en la lógica de la programación original que de otra manera se hubieran pasado por alto.

**2.- Anticipación de los conflictos espaciales durante la construcción.** Los conflictos espaciales ocurren cuando equipos de diferentes especialidades concurren en un mismo lugar o zona de trabajo, interfiriéndose entre sí. Estos conflictos causan una reducción en la productividad de las actividades involucradas.

Los métodos de planificación tradicionales no pueden mostrar estos conflictos, ya que los datos que manejan son sólo temporales, no espaciales. Los modelos 4D pueden mostrar las limitaciones espaciales existentes tanto en la parcela donde la obra se está llevando a cabo, como en la propia construcción una vez comience a erigirse.

Autores como *Zhang y Hu (2011<sup>7</sup>)*, han analizado la detección de estos conflictos, y otros, como *Jaafari et al., (2001<sup>8</sup>)*, han aprovechado esta característica de los modelos 4D para proponer su uso como una herramienta de entrenamiento para personal sin experiencia en la generación de planificaciones

**3.- Visualización el impacto de los cambios en la planificación.** Los cambios en la planificación son, por desgracia, una práctica habitual. Una vez que la modificación ha sido decidida, debe ser incorporada en la planificación. Debido a su naturaleza de "construcción virtual", los modelos 4D permiten visualizar, de una forma clara y evidente, el efecto que un cambio tiene sobre el resto de la planificación, al no poder construir virtualmente un elemento sin que haya finalizado el anterior, tal como ocurriría en la realidad.

**4.- Asignación de recursos y equipos a las localizaciones espaciales.** La mayor parte de las localizaciones de obra, habitualmente delimitadas por vallas, están ocupados por materiales de construcción y equipos de gran tamaño que pueden dificultar y entorpecer la maniobrabilidad de camiones, excavadoras, grúas, etc. Por ello, un uso adecuado del espacio de obra, establecido ya desde la fase de planificación, puede suponer una gran ventaja.

Los modelos 4D pueden utilizarse para gestionar adecuadamente los espacios de trabajo y programar la distribución de equipos y material, así como los tiempos de entrega de los diferentes materiales con

---

<sup>7</sup> Zhang, J.P., Hu, Z.Z., 2011. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies, *Automation in Construction* 20,155–166

<sup>8</sup> Jaafari, A., Manivong, K.K., Chaaya, M., 2001. VIRCON: interactive system for teaching construction management. *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management*, 127(1), 66–75.

el fin de no congestionar la zona de trabajo. El modelo 4D permite, mediante la generación de escenarios alternativos, y visualizar qué espacios estarán disponibles en cada momento.

Autores como *Ma et al.*, (2005<sup>9</sup>), que analizaron la optimización de diseños de localizaciones de obra, *Mallasi* (2006<sup>10</sup>), que analizó la congestión de los espacios de obra, o *Wang et al.*, (2004<sup>11</sup>), que han estudiado la planificación de la utilización de los recursos mediante modelos 4D, son algunos de los investigadores que han tratado este tema.

**5.- Ejecución de diferentes secuencias de construcción.** El verdadero valor del modelo 4D radica en la capacidad de integrar todos los factores que afectan a la secuencia de construcción en un único medio. Los planificadores pueden realizar su análisis mediante la generación y ejecución de múltiples escenarios que se pueden utilizar para determinar el mejor enfoque posible para solucionar los problemas detectados.

*Koo y Fischer* (1998<sup>12</sup>), trabajaron sobre el proceso de descubrimiento de las inconsistencias en la programación de actividades. Por su parte, *Golparvar-Fard et al.*, (2009<sup>13</sup>), lo hicieron sobre el seguimiento de las discrepancias en el progreso del proyecto, mientras que *Vaughn* (1996<sup>14</sup>), trabajó sobre la generación de escenarios alternativos para desarrollar la mejor solución de planificación.



FIGURA 1.8- LAS DIMENSIONES DE LOS MODELOS BIM

(FUENTE [HTTPS://ECONOVA-INSTITUTE.COM/LAS-SIETE-DIMENSIONES-DE-BIM/](https://ECONOVA-INSTITUTE.COM/LAS-SIETE-DIMENSIONES-DE-BIM/))

<sup>9</sup> *Ma, Z., Shen, Q., Zhang, J., 2005. Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects, Automation in Construction 14 (3), 369–381.*

<sup>10</sup> *Mallasi, Z., 2006. Dynamic quantification and analysis of the construction workspace congestion utilizing 4D visualization, Automation in Construction 15, 640–655.*

<sup>11</sup> *Wang, H.J., Zhang, J.P., Chau, K.W., Anson, M., 2004. 4D dynamic management for construction planning and resource utilization, Automation in Construction 13 (5), 575–589.*

<sup>12</sup> *Koo, B., Fischer, M., 1998. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. CIFE Technical Report #118 August, Stanford University.*

<sup>13</sup> *Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., Arboleda, C.A., Lee, S., 2009. Visualization of construction progress monitoring with 4D simulation model overlaid on time-lapsed photographs, J. Comput. Civ. Eng. 23 (6), 391–404.*

<sup>14</sup> *Vaughn, F., 1996. 3D and 4D CAD modelling on commercial design-build projects, in Vanegas, J and Chinowsky, P. (eds) Computing in Civil Engineering Congress 3, Anaheim, California. June, pp. 390–6.*

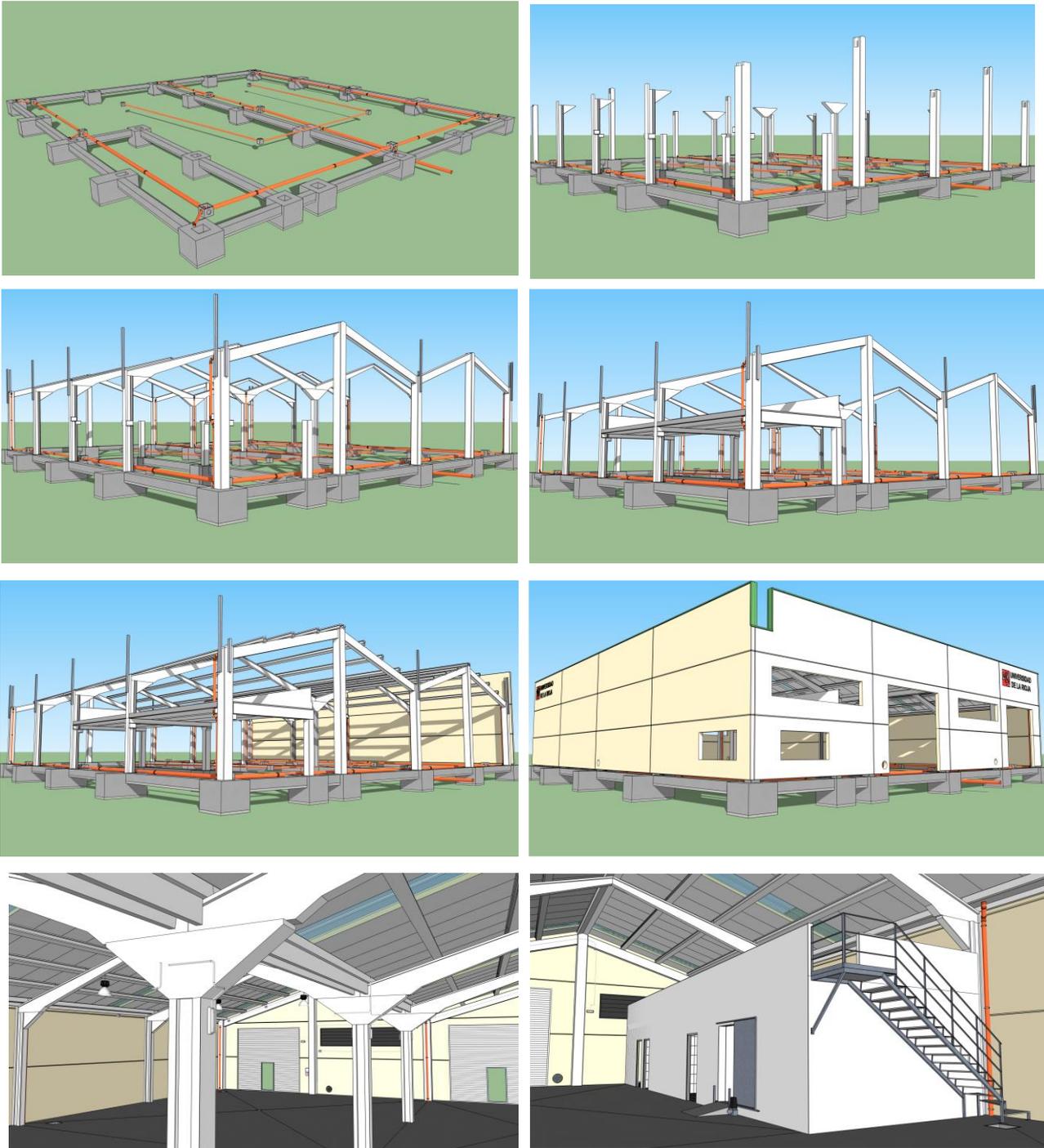


FIGURA 1.9- DIFERENTES FASES DE LAS CONSTRUCCIÓN



FIGURA 1.10- EJEMPLO DE MODELO Y SU EJECUCIÓN REAL

Las tecnologías nD son una herramienta muy útil a la hora de integrar la seguridad en el proyecto ya que permite anticiparse a riesgos durante el proceso de construcción que sobre el plano en 2D no son fáciles de ver (Bansal, 2011<sup>15</sup>).

A la vista del modelo 4D, los coordinadores en materia de seguridad y salud pueden detectar áreas donde se pueden producir accidentes y ejecutar medidas de prevención (como la colocación de señales de advertencia, restringir el acceso, la incorporación de medidas de seguridad, etc). Pero lo más importante, es que mediante la visualización de los tiempos y la ubicación de los trabajadores a través del modelo 4D, los coordinadores

<sup>15</sup> Bansal, V.K., 2011. Application of geographic information systems in construction safety planning, *International Journal of Project Management* 29 (2011) 66–77.



en materia de seguridad y salud pueden percibir cuando existe peligro de que diferentes equipos de trabajo se interfieren entre sí, pudiendo crear, inadvertidamente, situaciones peligrosas.

Autores como *Benjaoran y Bhokha (2010<sup>16</sup>)*, han tratado extensamente este tema.

Un primer paso en este sentido lo ha dado la empresa constructora norteamericana *Turner Construction Company<sup>17</sup>*, que ha logrado que el *New York City Department of Buiding* apruebe el primer plan de seguridad en 3D/BIM. Este plan permite a los inspectores de seguridad que realicen visitas virtuales al proyecto de construcción y lo revisen en tiempo real.

Este departamento de la ciudad de Nueva York ha presentado recientemente una iniciativa de seguridad que anima a los contratistas que trabajan en grandes proyectos a presentar en 3D/BIM los planes de seguridad de la construcción. Esta iniciativa hace que este departamento sea uno de los primeros en aceptar y revisar los planes de seguridad de esta manera.

En palabras de Robert LiMandri, Comisionado de este departamento, el uso de 3D Planes de seguridad es un paso revolucionario hacia la mejora de la seguridad de la construcción

La constructora Turner creó los planes -que muestran la ubicación de las vallas en la obra, la protección perimetral, las grúas, los montacargas y otros equipos y materiales de construcción detallados- con herramientas de modelado 3D, y los presentó al *Department of Buiding* electrónicamente, tanto en formato 3D y 2D. La presentación digital hace que el número de visitas sea menor y el proceso de aprobación se vea agilizado, permitiendo que la comunicación entre los inspectores, supervisores y la propia Turner sea más intensa gracias al uso de imágenes 3D. Más importante aún, los modelos virtuales ayudan a identificar los potenciales riesgos de seguridad antes en el proceso de revisión y antes del inicio de la construcción. Los documentos aprobados en 2D y los modelos 3D, han sido almacenados en la red, donde los inspectores del departamento pueden acceder a ellos vía dispositivos móviles.

## 2 OBJETO DEL TRABAJO

El objeto del presente trabajo es determinar un posible flujo de trabajo para la planificación temporal de proyectos de construcción en un entorno que no se puede considerar totalmente BIM al carecer de lagunas de las características básicas de un modelo BIM.

Pero en nuestro caso abarcaremos hasta el 4D, donde nos permitirá llegar a tener una visión del proyecto hasta su planificación.

Concretamente utilizaremos un plugin creado por Don Rafael Teresa Chinchilla, creador del plugin **SketchUp4DPro**



FIGURA 2.1-METODOS

<sup>16</sup> *Benjaoran, V., Bhokha, S., 2010. An integrated safety management with construction management, Automation in Construction 48, 395–403.*

<sup>17</sup> <http://www.turnerconstruction.com/>



### 3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El desarrollo del presente Trabajo Fin de Master en adelante TFM parte de el **(PROYECTO DE LAS OBRAS DE AMPLIACIÓN Y REMODELACIÓN DE LA E.D.A.R DE CALVIÀ)**, siendo autor del proyecto el ingeniero de caminos, canales y Puertos, D. Jose María Montojo Montojo.

El objeto del presente proyecto de construcción es definir y valorar en grado suficiente las obras necesarias para la ejecución y puesta en funcionamiento de la estación depuradora de aguas residuales urbanas ampliada y mejorada que se ubica en el término municipal de Calvià, en el emplazamiento de las actuales instalaciones de depuración en explotación, compatible con los nuevos requerimientos de capacidad, accesibilidad, y sostenibilidad, y así mismo compatible, durante la fase de construcción, con el mantenimiento del tratamiento que a día de hoy se viene realizando en la instalación existente. Esta infraestructura mejorada y ampliada es necesaria para dar un tratamiento adecuado a las aguas residuales de las poblaciones de Calvià y Es Capdellà, de forma que se consiga la calidad del efluente que se requiere para su vertido, así como para obtener un agua regenerada de calidad suficiente para cubrir las demandas de agua de riego agrícola.

La EDAR de Calvià fue construida en los años 80 para tratar un caudal de 500 m<sup>3</sup>/d y una carga en torno a los 4.000 habitantes equivalentes. En su momento la depuradora presentaba un alto grado de obsolescencia (tanto en su obra civil como en sus equipos electromecánicos) y no estaba preparada para tratar adecuadamente los caudales de agua residual previstos para el futuro. Por encargo de Calvià 2000 S.A., la empresa Ecosistemas 2000 redactó un "Proyecto de Remodelación de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Calvià", con fecha de mayo de 2010. Este proyecto incluía la modernización y ampliación de la planta, así como el desmantelamiento de la pequeña depuradora de aguas residuales de Es Capdellà y su sustitución por una estación de bombeo y una conducción de impulsión hasta la EDAR de Calvià.

En su momento se ejecuto el desmantelamiento de la depuradora de Es Capdellà, la estación de bombeo y la impulsión hasta la EDAR de Calvià, por lo que en esta depuradora se tratan las aguas residuales de ambos núcleos urbanos, quedando pendiente las obras de la EDAR de Calvia.

Por temas administrativos hubo que esperar para poder realizar los trabajos que estaban pendientes y en el año 2015 la administración de Calvia convoco una licitación.

En junio de 2017 Calvià 2000 convocó un concurso abierto para la licitación de un contrato de servicios con el siguiente objeto:

- Servicio de ingeniería para la redacción de los proyectos de las obras de tratamiento terciario en EDAR de Sta. Ponça, y ampliación y remodelación de EDAR de Calvià.
- Servicio de asistencia técnica de control y vigilancia y servicio de coordinación de seguridad y salud de las obras mencionadas.

Siendo la empresa CIOPU SL la adjudicataria de este contrato, que se formalizaria el 15 de octubre de 2017.



### 3.1 SISTEMA DE DEPURACIÓN

A la EDAR de Calvià llega un colector de hormigón de diámetro 300 mm, situado por encima de la cota del terreno, que aporta las aguas residuales generadas en las poblaciones de Calvià y de Es Capdellà.

En la actualidad, la EDAR tiene una capacidad de tratamiento de 500 m<sup>3</sup>/día. Dispone de un pretratamiento equipado con un tamiz automático, un reactor biológico con dos turbinas de aireación y dos decantadores tronco-piramidales estáticos. El agua tratada puede recibir un tratamiento de desinfección en el laberinto de cloración y se acumula en un depósito de 200 m<sup>3</sup> equipado con dos bombas para la evacuación del efluente.

El efluente es evacuado a través de una conducción de 534 m de longitud, de polietileno PE-100 DN140, hasta el Barranc des Pas de sa Mula. En un punto intermedio de dicha conducción existe una arqueta con conexiones de tres acometidas DN 63 para la reutilización de las aguas tratadas, para uso agrícola.

### 3.2 LÍNEA DE FANGOS

El funcionamiento de la línea de fangos es el siguiente:

El fango en exceso se purga del tratamiento biológico hasta un espesador. Existen 4 eras de secado, que no se utilizan. El fango es evacuado del espesador mediante un camión cuba y llevado hasta la EDAR de Santa Ponça. La parcela está dotada de agua potable y acometida eléctrica, se encuentra urbanizada y dispone de vallado perimetral. Tanto los elementos de obra civil como los equipos instalados están en un estado deficiente.

A continuación, presentamos imágenes extraídas de la documentación del proyecto como son planos 3D de baja resolución donde podemos ver a groso modo la envergadura del proyecto sobre el cual vamos a trabajar.

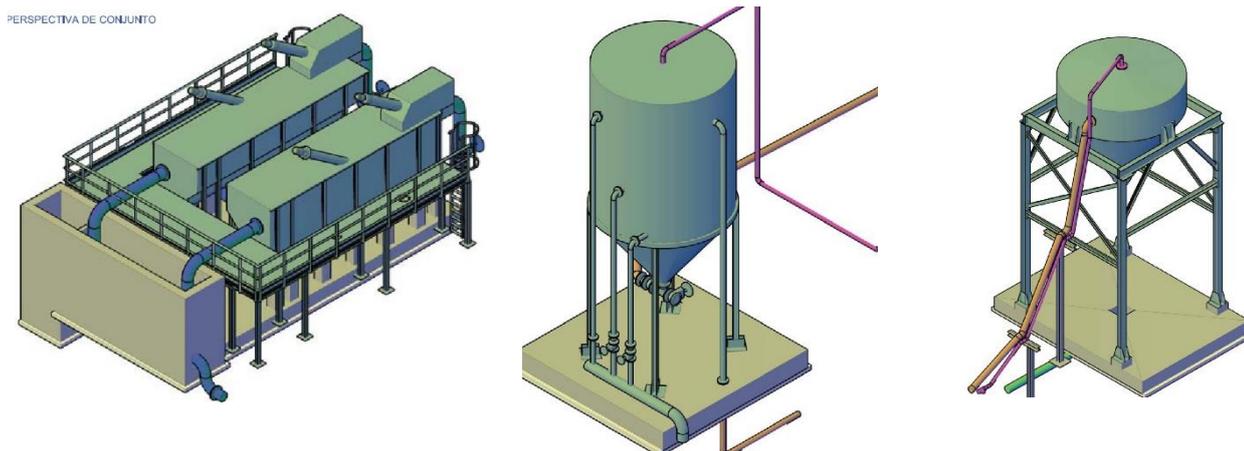


FIGURA 3.1- VISTAS EXTRAIDAS DEL PROYECTO DE LA EDAR

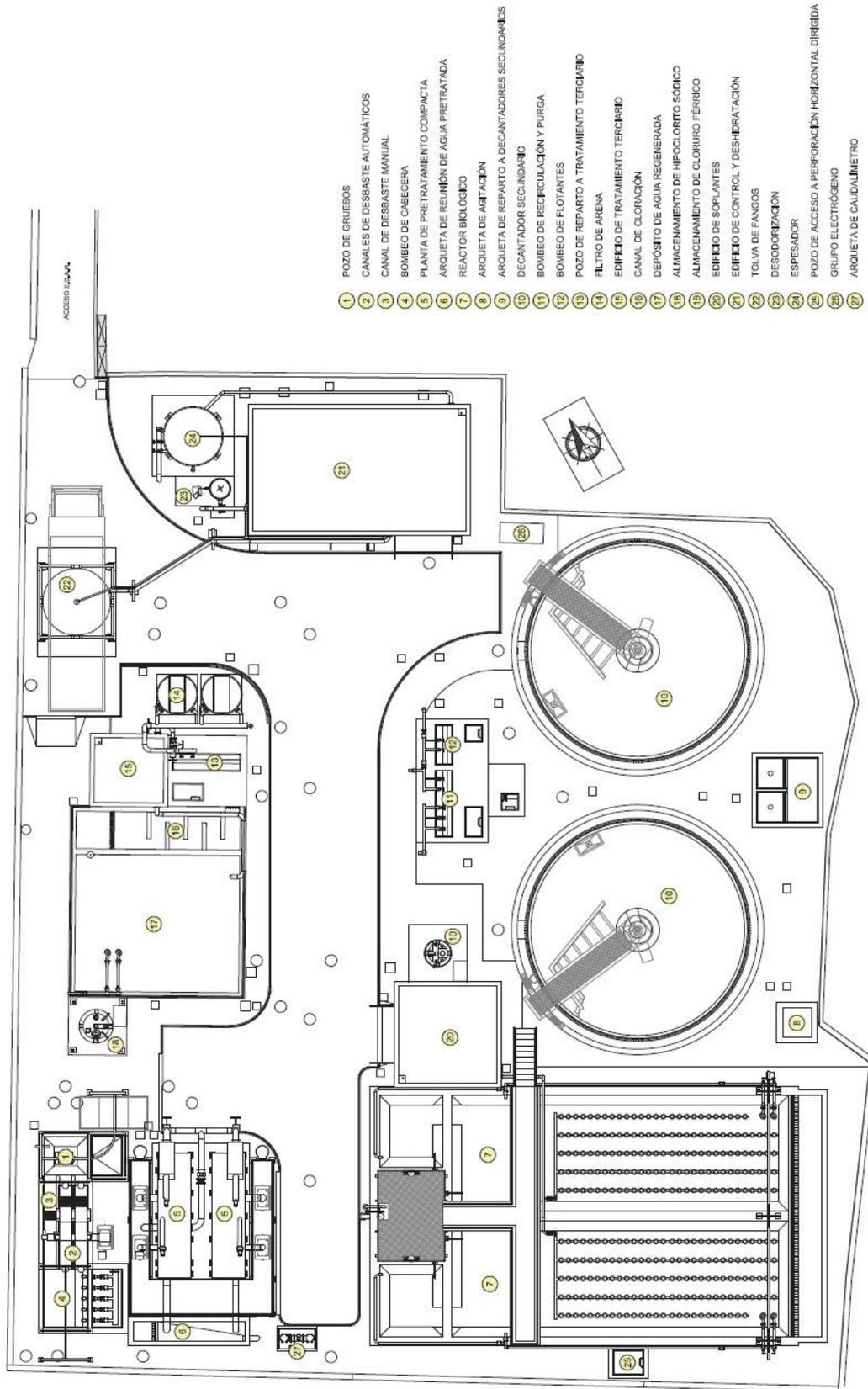


FIGURA 3.2- VISTA EN PLANTA DE LA EDAR DE CALVIA

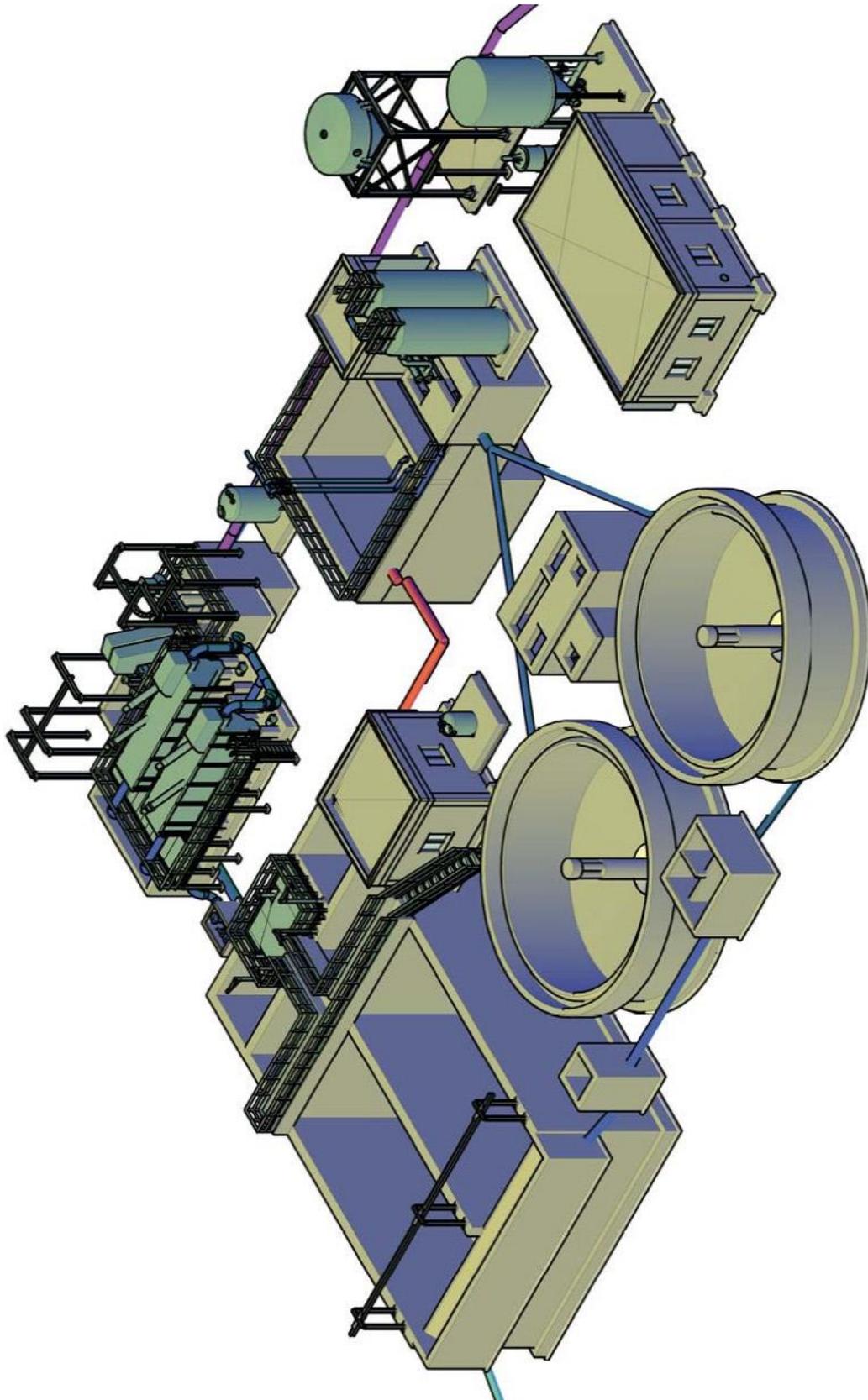


FIGURA 3.3- MODELO DE LA EDAR DE CALVIA INCLUIDO EN EL PROYECTO (VISTA 1)

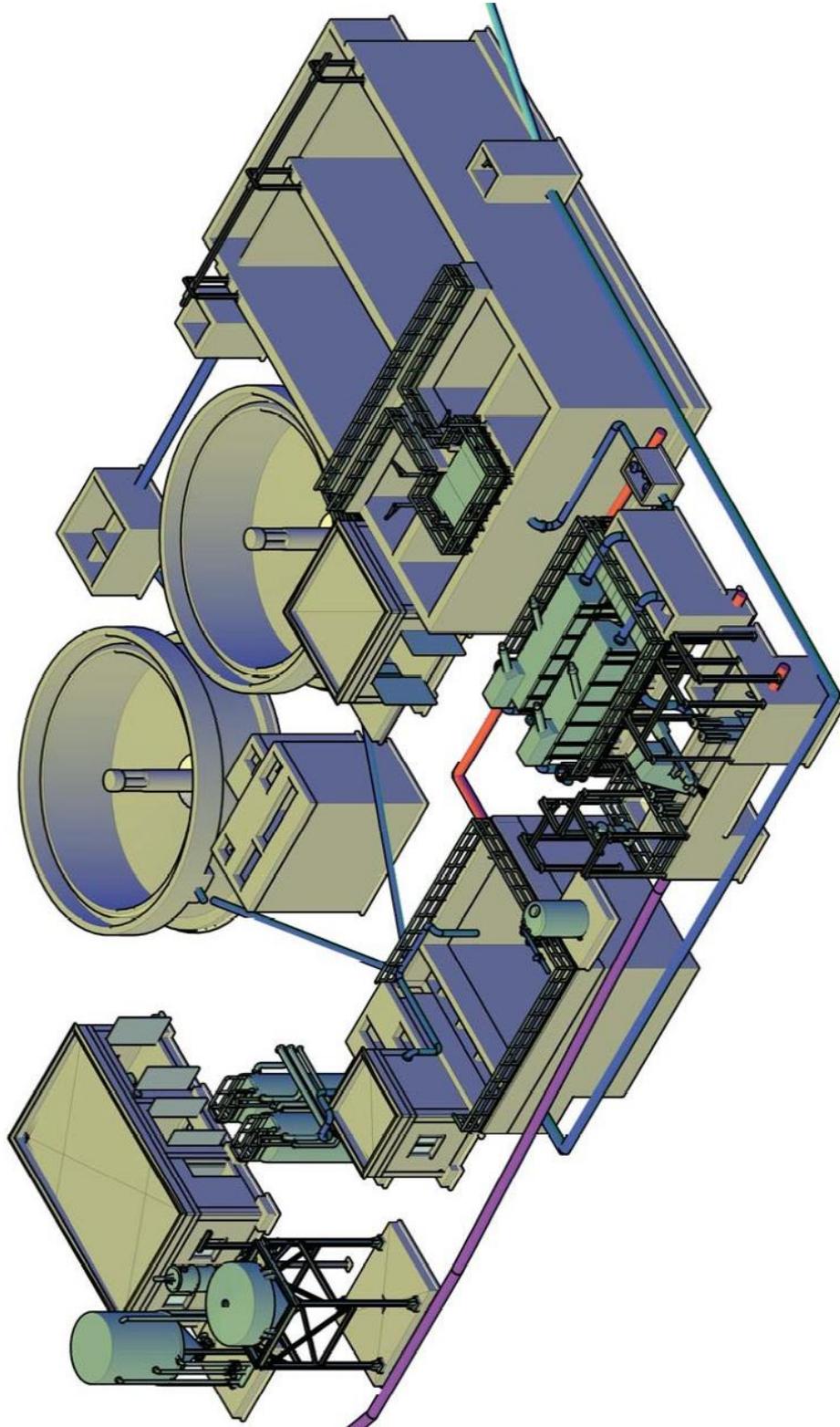


FIGURA 3.4- MODELO DE LA EDAR DE CALVIA INCLUIDO EN EL PROYECTO (VISTA 2)



## 4 SOFTWARE DE MODELADO 3D

Existen diversos software de modelado BIM reconocidos por la industria de la construcción como eficaces para el cometido que se plantea.

Dos características comunes a la mayor parte de estos softwares son las siguientes:

A.- Tienen un coste de adquisición o de alquiler de las licencias extraordinariamente alto, pudiendo necesitar un pequeño estudio de arquitectura o ingeniería 2 o 3 de estas licencias.

B.- Son muy complejos de utilizar por lo que su implantación en una empresa requiere una gran cantidad de horas de formación.

Estas dos características llevan a las siguientes consecuencias:

- 1.- Ha ralentizado las empresas al mundo BIM, muy especialmente en el caso de las PYMES.
- 2.- Existe un movimiento hacia software BIM de código abierto y gratuito, que aún no se ha consolidado.

No todos los proyectos requieren un software tan complejo y potente como, por ejemplo, Autodesk Revit, por eso en muchos casos los profesionales se decantan por soluciones más asequibles, pero mejor adaptados a proyectos pequeños y medianos.

El software que tiene una mayor difusión, probablemente, por ser propiedad de Autodesk, es Revit.

Sin embargo, son muchos los que piensan que el coste del alquiler anual de las licencias es exagerado, además de que su considerable dificultad de uso hace que, en un proyecto de dimensiones habituales, no se exploten todas las capacidades de un software tan potente

También es cierto que las preferencias, en algunas ocasiones vienen determinadas ya sea por los gustos personales de los profesionales, ya sea por la "cultura" de uso de un determinado software en un país en concreto

Dado que este trabajo plantea la posibilidad de aplicar metodologías BIM en un entorno no estrictamente BIM, se ha tomado como software de modelado 3D el software Trimble SketcUp.

SketchUp es un programa de modelado 3D para una amplia gama de aplicaciones tales como la arquitectura, mecánica, película civil, así como diseño de videojuegos - y está disponible en libre, así como versiones de "profesionales".

SketchUp fue inicialmente desarrollado por la compañía Last Software, ubicada en Boulder, Colorado, co-fundada en 1999 por Brad Schell y Joe Esch. Su primera versión fue lanzada al mercado en agosto de 2000, con el propósito general de ofrecer una herramienta para la creación de edificios en 3D.

Google adquirió Last Software el 14 de marzo de 2006, con el fin declarado de desarrollar un "plug-in" para Google Earth.

El 9 de enero de 2007, Google lanzó SketchUp 6, con nuevas herramientas, así como una versión beta de Google SketchUp LayOut.

El 17 de noviembre de 2008, apareció SketchUp 7, con la integración de componentes de Google 3D Warehouse, nueva versión de LayOut, LayOut 2, y los llamados "componentes dinámicos".

El 1 de septiembre de 2010, se presentó SketchUp 8.

El 26 de abril de 2012, Trimble anunció que compraría SketchUp a Google. El 1 de junio de 2012, Trimble completó la adquisición de SketchUp.



Lo primero que se debe tener en cuenta es que SketchUp no modela sólidos, sino que sólo trabaja con superficies, caras y planos unidos, formando paralelepípedos, esferas, cilindros, etc, todos ellos huecos. Esto, como todo, puede ser una ventaja o un inconveniente, según el caso, ya que nos permite entrar dentro de un cuerpo y trabajar en él desde dentro, cosa que en un programa que trabaje con sólidos no sería posible.

Lo segundo que se debe saber al modelar con SketchUp es qué no es un programa de dibujo vectorial.

SketchUp sólo trabaja con poliedros y líneas poligonales, cuya precisión se puede definir para cualquier elemento en cualquier momento, pero, aunque lo que se representa en pantalla parezca una circunferencia, es un polígono y si se acerca el punto de vista por medio de un zoom, se verá una línea poligonal.

Tampoco es un programa de dibujo paramétrico. Cualquier elemento que se quiera modificar, debe ser modificado de manera manual o redibujándolo, aunque la versión Profesional de SketchUp sí puede trabajar con elementos paramétricos denominados Componentes Dinámicos.

Evidentemente, no es un software BIM, ni es un CAD 3D ni un programa de modelado en sólido, ya que no trabaja con volúmenes sólidos propiamente dichos. Tampoco es un programa de diseño paramétrico, aunque en la versión profesional sí tenemos la opción de trabajar con algunos elementos paramétricos. De hecho, sólo es una herramienta de diseño y representación rápida en 3D que en proyectos de índole medio-pequeña es perfecto como herramienta de trabajo.

Precisamente es debido a esto que algunos arquitectos en Estados Unidos, muy habituados a trabajar en proyectos de este tipo debido a la cantidad de casas unifamiliares que se construyen por las características de la industria de la construcción del país, están utilizándolo como herramienta de diseño 3D en detrimento de otros paquetes de software CAD o de modelado en sólido de prestigiosos fabricantes y con licencias de pago

De lo que sí dispone SketchUp, y es una característica que lo acerca a la metodología BIM es un **Entorno Común de Datos**.

Como ya se ha visto, el **Entorno Común de Datos ECD, (Common Data Environment - CDE)**, es la fuente acordada de información para cada activo o proyecto, para reunir, gestionar y repartir cada contenedor de información a través de un procedimiento establecido.

Según este procedimiento, la información contenida en el CDE podrá tener diferentes estados:

- 1.- Estado "Trabajo en Curso" (WIP).** Se aplica a la información que se está desarrollando por el equipo de trabajo.
- 2.- Estado "Compartido" (S).** Se aplica a la información que puede ser consultada por todas las partes apropiadas.
- 3.- Estado "Publicado" (P).** Se aplica a la información que ha sido autorizada para su uso.
- 4.- Estado "Archivo" (ARC).** Se aplica a la información que se ha compartido y publicado y que queda registrada.

En el caso de SketchUp, su EDC es **Trimble Connect**, la herramienta de colaboración de Trimble.

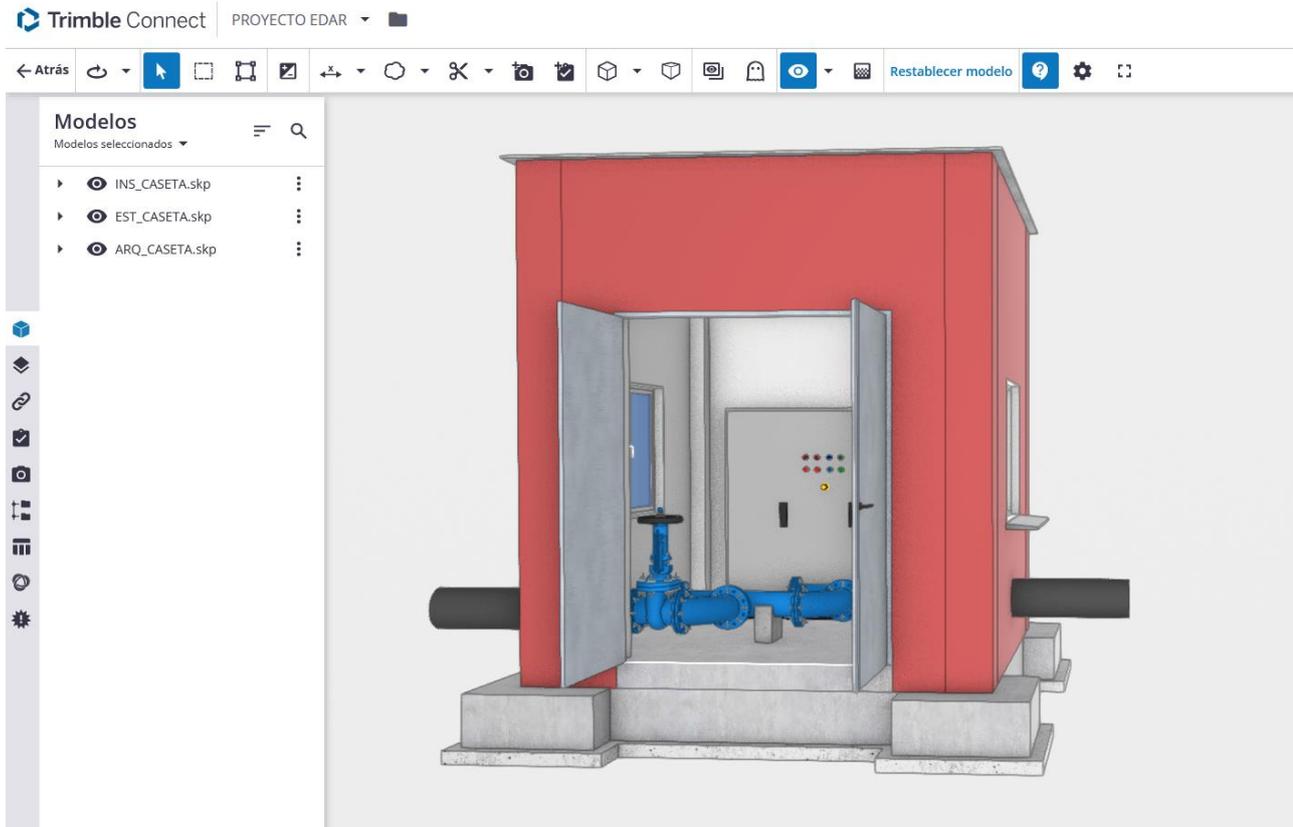


FIGURA 4.1- TRIMBLE CONNECT, DONDE SE MUESTRA EL CASO DE UN MODELO FEDERADO FORMADO POR TRES MODELOS INDEPENDIENTES

SketchUp 2014 introdujo, en su momento, un sistema abierto de "clasificación" que permite construir modelos hechos a base de componentes que contiene la información del modelo almacenado de una manera estructurada. Al tratarse de un sistema abierto, puede ser en cualquier forma estructurada que se desee. Trimble denomina a esta combinación de componentes y datos estructurados "Information Modeling".

Trimble ha construido un flujo de trabajo especial alrededor de las IFC<sup>18</sup>, un sistema de clasificación abierta para la gente que está haciendo BIM en la industria de la construcción. Puede clasificar los componentes en sus modelos con los tipos de la CFI, asignar y editar los atributos correspondientes a los componentes y luego exportar los modelos resultantes en el formato IFC para su uso en otras herramientas BIM.

---

<sup>18</sup> El modelo de datos IFC (Industry Foundation Classes), desarrollado por buildingSMART, es una especificación abierta, internacional y estandarizada para los datos de BIM (Building Information Modelling) que se intercambian y comparten entre aplicaciones de software utilizadas por los diversos participantes en un proyecto de construcción.

Es estándar IFC se puede utilizar para intercambiar y compartir datos BIM entre aplicaciones desarrolladas por diferentes proveedores de software sin tener que soportar numerosos formatos nativos. Como un formato abierto, la IFC no pertenece a un único proveedor de software, es neutral e independiente de los planes de un proveedor de software en particular.

El estándar IFC ha sido registrado por ISO como ISO 16739:2013.



Pero no es necesario utilizar las IFC, sino que el usuario es libre de utilizar cualquier esquema publicado para clasificar los componentes en los modelos, como puede ser COBie<sup>19</sup>, gbXML para la edificación sustentable, o CityGML para la simulación urbana. O bien, es posible que el propio usuario desee desarrollar su propio sistema de clasificación.

Una vez que se han clasificado los objetos del modelo, es posible exportarlo usando las IFC, y leer el modelo con otra aplicación.

Es un gran paso hacia la conversión de SketchUp en un sistema completo BIM.

Otra de las ventajas de SketchUp sobre Revit es su facilidad de manejo gracias a su interface intuitiva, sobre todo para los usuarios acostumbrados a usar programas de modelado en sólido y dibujo paramétrico. A esto hay que sumarle la propiedad de poder modelar de manera muy rápida, algo muy importante cuando se trata de comunicar una idea a alguien o presentar un modelo rápido para ser analizado sobre la marcha.

Debido a la considerable facilidad de uso de este software, no sólo se está utilizando en los sectores para los que fue inicialmente diseñado –arquitectura, construcción, ingeniería, paisajismo, urbanismo, etc.-, sino que se ha extendido a otros sectores que, en principio, parecían menos proclives a su uso –diseño de videojuegos, carpintería, educación, etc.-.

Pero lo que resulta ciertamente curioso, es su gran éxito en el campo del diseño de escenarios tanto para cine como para programas de televisión, probablemente debido a su facilidad de uso, rapidez de modelado, y alta calidad de visualización.

Otro ejemplo de diseñador de escenarios que utiliza ampliamente SketchUp en su trabajo es Randy Wilkins. Wilkins es un veterano de Hollywood que ha trabajado en películas tales como "TRON: Legacy", "La Red social", "El curioso caso de Benjamin Button" y "Atrápame si puedes".

Como el mismo cuenta en una entrevista<sup>20</sup>, empezó a utilizar SketchUp cuando vio que otros diseñadores de escenarios lo utilizaban, así que abandonó sus dibujos realizados a mano –como los que realizó para la película "El curioso caso de Benjamin Button"–, así como su viejas maquetas de poliestireno expandido.

---

<sup>19</sup> COBie-Construction-Operations Building Information Exchange. Cobie es un modelo de datos, no orientado a la geometría del edificio, que ayuda a la captura y registro de datos importantes del proyecto en el punto de origen, incluidas las listas de equipos, hojas de datos de productos, las garantías, las listas de piezas de repuesto, y los programas de mantenimiento preventivo. Esta información es esencial para apoyar las operaciones, mantenimiento y gestión de activos, una vez construido el activo está en servicio

<sup>20</sup> <http://sketchupdate.blogspot.com.es/2011/03/sketchup-pro-case-study-randy-wilkins.html>

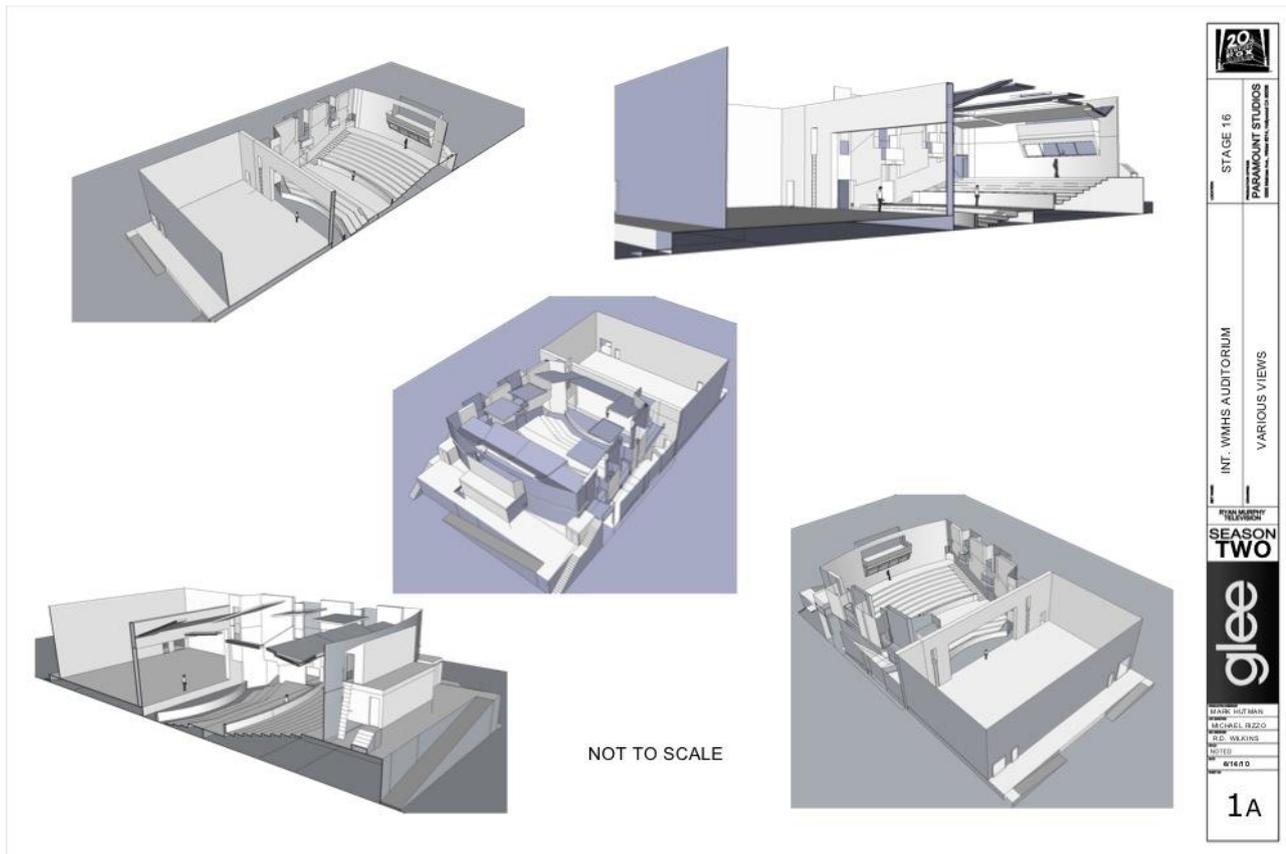


figura 4.2- Imágenes 3D del diseño del escenario del teatro para la serie GLEE.

Fuente: [HTTP://SKETCHUPDATE.BLOGSPOT.COM.ES/2011/03/SKETCHUP-PRO-CASE-STUDY-RANDY-WILKINS.HTML](http://sketchupdate.blogspot.com.es/2011/03/sketchup-pro-case-study-randy-wilkins.html)

Otro ejemplo de ello sería el director de arte y diseñador de escenarios Alan Hook – *Iron Man 3*, *Flight of the Phoenix*, *Syriana*, entre otras-. Interrogado Alan Hook por la característica que más le atrae de SketchUp, respondió “fácil de usar”<sup>21</sup>.

Otros directores de arte o diseñadores de escenarios que utilizan SketchUp habitualmente en sus proyectos son Adriana Dardas -*Flight of the Phoenix*, *CSI: Miami*, *Chuck*, etc.-, John B. Vertrees diseñador de escenarios senior -*Agentes de SHIELD*, *CSI: Miami*, *House M.D.*, etc.-, Darren Gilford, diseñador de producción de *TRON Legacy*, ilustrador de *Oceans 13*, *Aeon Flux*, *Pearl Harbor*, *The Italian Job*, etc.-, Kenneth Larson diseñador de escenarios senior -*The New Girl*, *American Horror Story*, etc.-, Masako Masuda –*Memorias de una geisha*, *El curioso caso de Benjamin Button*, *Erin Brockovich*, *Deep Impact*, *Jurassic Park*, *El último mohicano*, etc.-, entre otros.

Como puede apreciarse, es una herramienta muy apreciada por aquellos profesionales sin formación técnica, o con formación técnica fuera del área de conocimiento de modelado 3D, lo que lo hace muy interesante

<sup>21</sup><http://www.sketchupartists.org/spotlight/artists/alan-hook-film-and-television-design-with-google-sketchup/>. Consultada el 23-08-2014.



para la aplicación de coordinación, donde diferentes profesionales, deberían poder desarrollar sus ideas y mostrárselas al resto del equipo mediante esta herramienta

## 5 ESTRATEGIA DE MODELADO

El modelo del edificio es la columna del proyecto utilizando el sistema BIM, (*Building Information Modeling*).

Dicho procedimiento como se ha comentado anteriormente se obtiene mediante programas como Revit, All Plan, ArchiCad, entre otros. en nuestro caso trabajamos con SketchUp, que no llega a ser una herramienta BIM pero nos permite realizar varios trabajos como es unir el modelado 3D y 4D siendo esta ultima la temporalización del proyecto.

A la hora de modelar es importante utilizar el mismo criterio constructivo que se utilizaría en la realidad, es decir ejecutamos de forma virtual cada una de las tareas que haríamos en la realidad para llevar a cabo un proyecto.

Por ejemplo:

Cuando comenzamos con los cimientos del edificio, las tareas previas como la limpieza del terreno, la excavación, y otras actividades iniciales deben estar en diferentes niveles. Esto nos permite identificar cada tarea individualmente y compararlas adecuadamente durante el desarrollo del proyecto. De esta manera, aseguramos que todas las tareas del proceso constructivo se coordinen sin interferir entre sí.

Además, cada una de las tareas que forman parte del proyecto (modelado) es importante ir colocándolas en capas diferentes, así evitaremos conflictos a la hora de poder ver pros y contras que podríamos encontrarlos, y que si desarrollamos en planos 2D difícilmente los identificaríamos.

### 5.1 LA ORGANIZACIÓN DE LOS ARCHIVOS

Es recomendable organizar los diferentes archivos que, o bien se utilizan para obtener la información para realizar el modelo, o bien son el propio modelo, como habitualmente se estructura un CDE (*Common Data Environment* – Entorno Común de datos) en la metodología BIM.

La organización es la que se muestra a continuación:

- 1.- *WIP (Work in Progress)*. Donde se almacenarán los archivos que se estén creando del proceso constructivo del proyecto
- 2.- Archivos IFC- intercambio de datos en la industria de la construcción.
- 3.- Archivos MEP- disciplinas de ingeniería que se encargan del diseño y la implementación de los sistemas mecánicos, eléctricos y de fontanería en un edificio
- 4.- Archivos con extensiones como rvt (Revit entre otros).

## 5.2 GENERACIÓN DE LOS OBJETOS

Durante el modelado, los objetos generados deben ser agrupados en “Grupos” o “Componentes” siguiendo una lógica similar a la lógica constructiva del modelo.

Los objetos generados en el presente proyecto han sido creados a partir de los planos del proyecto que están hechos en AutoCad 2D, dichos planos se han extraído en formato de imagen y se han escalado dentro de SketchUp de forma que se pudiera modelar partiendo de la imagen del plano.

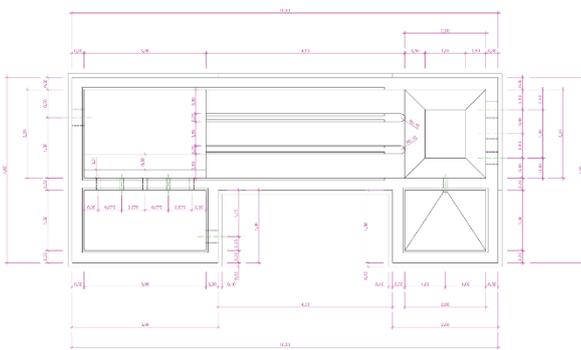


FIGURA 5.3- IMPORTACION DE LA IMAGEN A SKETCHUP

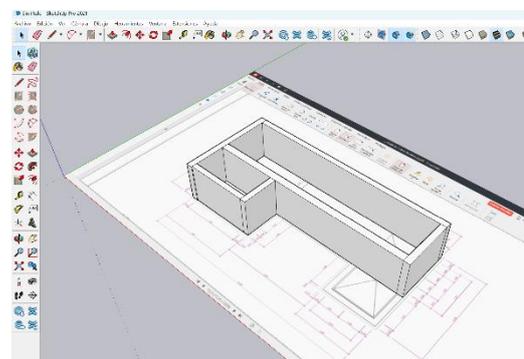


FIGURA 5.1- PLANO 2D AUTOCAD

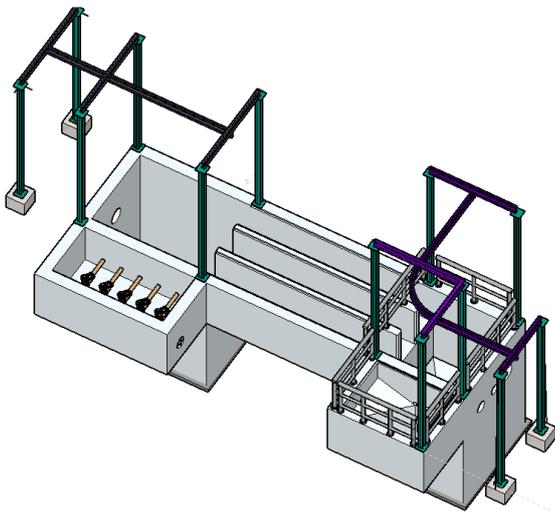


FIGURA 5.4-. MODELO CREADO CON SKETCHUP

Para

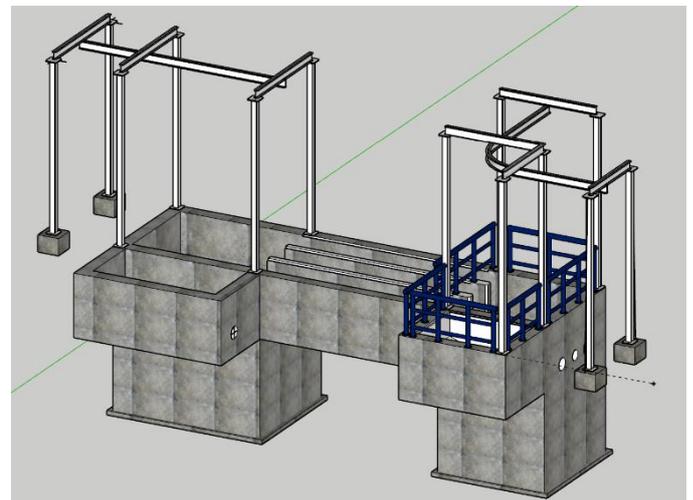


FIGURA 5.5- MODELO CREADO CON SKETCHUP Y TEXTURIZADO.

poder crear los modelos de las imágenes (5.2;5.3;5.4 y 5.5) se ha realizado un procedimiento constructivo tal y como se ejecutaria en la realidad.

A continuación, podemos observar en las imágenes (5.1 ;5.2) los trabajos previos y posteriormente el bombeo de cabecera ejecutado.



Zona de ejecución del Bombeo de cabecera.



IMAGEN 5.1 VISTA AREA DE ZONA ACTUACION CALVIA)

IMAGEN 5.1. BOMBEO DE CABECERA EJECUTADO (ARCHIVO EDAR

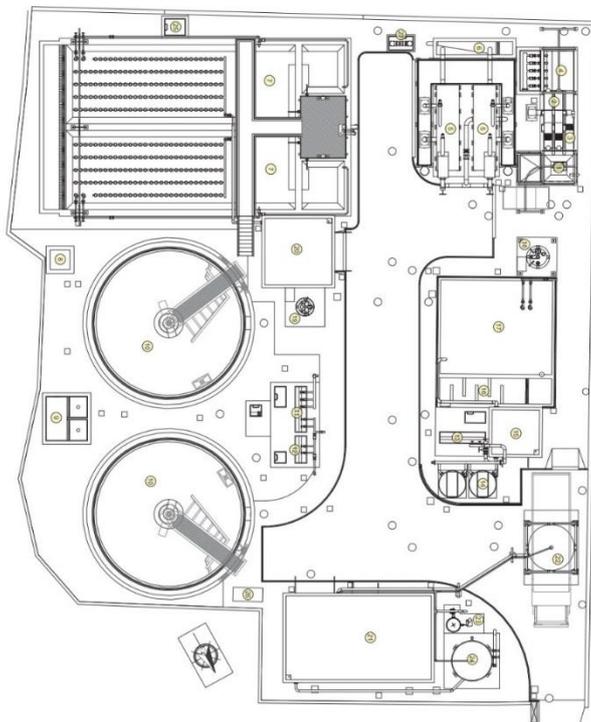


FIGURA 5.6- PLANO IMPLANTACION GENERAL

Para poder realizar una planificación desde SketchUp, es importante pensar que cada figura que vamos a crear debemos tener claro cómo se ejecutaría en la realidad. A partir de ese momento, cada figura creada debe tener un nombre y convertirse en parte de ese proyecto. En SketchUp, al igual que en otro programa utilizado para trabajar con el sistema de trabajo BIM, no se dibuja, sino que se "construye virtualmente".

### 5.3 LA ORGANIZACIÓN DEL ESQUEMA EN EL MODELO

El modelado del proyecto se compone de figuras geométricas que como ya se comentó anteriormente se convierten de forma virtual en el proceso de una ejecución de obra, es decir dibujamos cada una de las partes que componen cíclicamente una construcción, en este caso concreto modelamos y generamos cada tarea en una capa que formara parte de terreno, hormigones en losas, muros, pilares, etc. Debemos crear tantas capas como tareas necesarias para poder construir.

En el presente trabajo se han creado capas en función del proceso constructivo, además de la planificación que se ha previsto para poder ejecutar cada una de las tareas marcadas en el proyecto.

A continuación vemos el ejemplo del inicio del modelado del terreno en SketchUp, partimos de un terreno sin limpieza



FIGURA 5.7- MODELADO DEL TERRENO POR ETIQUETAS

para poder empezar a modelar, debemos organizar el trabajo como lo haríamos en cualquier programa de arquitectura, ingeniería civil, (AutoCAD; archiCAD, Revit, etc.), en nuestro caso en SketchUp la forma de organizar el trabajo es creando "etiquetas, componentes y grupos".



Una **etiqueta** en SketchUp, hace la función de una capa como en (AutoCAD; archiCAD, Revit, etc.), cada objeto que hacemos debe tener una etiqueta.

Un **grupo** son muchas entidades (líneas, caras, etc.) que durante el modelado para crear objetos se van agrupando y se convierten en una única pieza, una vez hemos creado un grupo podemos editarlo, moverlo, e integrarlo con otros objetos si fuese necesario.

Un **componente**, es muy similar al grupo, pero este se crea cuando tenemos el mismo elemento repetidas veces (pilares, placas de anclaje, tornillos, etc.) y si necesitamos modificar dicho objeto cuando lo hacemos en la matriz, se modifican todos a la vez, ahorrando trabajo en el modelado.

Estas tres herramientas debemos organizarlas para que el flujo de trabajo que vamos a integrar con la planificación coincidan.

Los archivos generados en SketchUp, se han creado siguiendo los criterios antes mencionados de forma que la planificación creada en Ms Project, coincida como aparece en la imagen adjunta, (Figura 5.9.),

1		FASE1-REACTOR_BIO_DECANTADORES-ED.SOP	33		FASE	64		FASE-3-MONTAJE DE EQUIPOS
2	✓	DESBRUCE Y LIMPIEZA		?	2-PRERATAMIENTO-BOMBEO.CAB-DEPOSITO	65		H.LIMPIEZA-filtro-arena
3		EXCAVACION-reactor_bio	34		DESBRUCE Y LIMPIEZA	66		H.LIMPIEZA-tolva-fangos
4		EXCAVACION-decantadores	35		EXCAVACION-bombeo-cabecera-Preratiament	67		H.LIMPIEZA-espesador
5		EXCAVACION Ed_soplantes	36		EXCAVACION -Ed.control-pozo.-R.-Deposito.Ag	68		H.LIMPIEZA-desodorizador
6		EXCAVACION-BOMBEO_recirculación	37		EXCAVACION Ed_Control-Losa.tolva-Filtro_Aren	69		CIMENTACION- filtro arena
7		COMPACTACION-reactor_bio	38		COMPACTACION-bombeo-cabecera-Preratiament	70		CIMENTACION- tolva-fangos
8		COMPACTACION-decantadores	39		COMPACTACION-Ed.control-pozo.-R.-Deposito.	71		CIMENTACION- espesador
9		COMPACTACION-soplantes	40		COMPACTACION	72		CIMENTACION- desodorizador
10		COMPACTACION-bombeo_recircu			Ed_Control-Losa.tolva-Filtro_Arena	73		MONTAJE-filtro-arena
11		H.LIMPIEZA-reactor_bio	41		H.LIMPIEZA-bombeo-cabecera	74		MONTAJE-tolva-fangos
12		H.LIMPIEZA-decantadores	42		H.LIMPIEZA-Preratiament	75		MONTAJE-espesador
13		H.LIMPIEZA-Ed_soplantes	43		H.LIMPIEZA-Deposito.Agua	76		MONTAJE-desodorizador
14		H.LIMPIEZA-Bombeo_recirculación	44		H.LIMPIEZA-pozo de reparto	77		CONEXIÓN- tuberias filtro arena
15		CIMENTACION- reactor-bio	45		H.LIMPIEZA Ed-tratamiento-terciario	78		CONEXIÓN- tuberias tolva-fangos
16		CIMENTACION- decantador-1	46		CIMENTACION-bombeo-cabecera	79		CONEXIÓN- tuberias espesador
17		CIMENTACION- decantador-2	47		CIMENTACION-Preratiament	80		CONEXIÓN- desodorizador
18		CIMENTACION- Ed_soplantes	48		CIMENTACION-Deposito.Agua			
19		CIMENTACION- bombeo_recirculación	49		CIMENTACION-pozo de reparto			
20		H.MUROS-reactor_bio	50		CIMENTACION Ed-tratamiento-terciario			
21		H.MUROS-decantador-1	51		MUROS-bombeo-cabecera			
22		H.MUROS-decantador-2	52		MUROS-Preratiament			
23		H.MUROS-bombeo_recircu	53		MUROS-Deposito.Agua			
24		H.PILARES_ED_SOPLANTES	54		MUROS-pozo de reparto			
25		H.VIGAS_SOPLANTES	55		H.PILARES_ED_tratamiento-terciario			
26		H.FORJADO_SOPLANTES	56		H.VIGAS_tratamiento-terciario			
27		ALBAÑILERIA-ED.soplantes	57		H.FORJADO_tratamiento-terciario			
28		CARPINTERIA MET.-reactor	58		ALBAÑILERIA-Ed-tratamiento-terciario			
29		CARPINTERIA MET.-decant-1	59		CARPINTERIA MET.-bombeo_cabecera			
30		CARPINTERIA MET.-decant-2	60		CARPINTERIA MET.-preratiament			
31		CARPINTERIA MET.-bombeo_recircu	61		CARPINTERIA MET.-Deposito-agua			
32		REVESTIMIENTO-ED-Soplantes	62		CARPINTERIA MET.-pozo-reparto			
			63		REVESTIMIENTO-Ed. Tratamiento-terciario			

FIGURA 5.8- IMAGEN EXTRAIDA DE LA PLANIFICACION MSPROJECT.



En cada una de las fases, se planifica la ejecución de cada construcción, teniendo en cuenta todos los pasos y elementos necesarios que lleva el proceso constructivo.

las fases se dividen en:

**PRIMERA FASE:**

- 1-Reactor biológico
- 2- Decantadores (1-2)
- 3- Bombeo de recirculación y purga
- 4-Edificio de Soplantes.

**SEGUNDA FASE**

- 5-Bombeo de cabecera
- 6-Pretratamiento
- 7-Deposito de agua regenerada
- 8-Pozo de reparto
- 9-Tratamiento terciario
- 10-Edificio control de deshidratación

**TERCERA FASE**

- 11-Filtro de arena
- 12-Espesador de fangos
- 13-Tolva de fangos
- 14- Desodorizador

La **fase 1 y la fase 2** se ha planificado los trabajos de obra civil, y la **fase 3** los trabajos de montaje de equipos y conexiones.

Tal y como hemos visto anteriormente en las imágenes (figura 5.8), la planificación de MS Project, debe coincidir con el modelado, ya que posteriormente se vinculan los archivos generados en (MS Project-Gantt Project, etc.) con las etiquetas y esquemas de SketchUp.

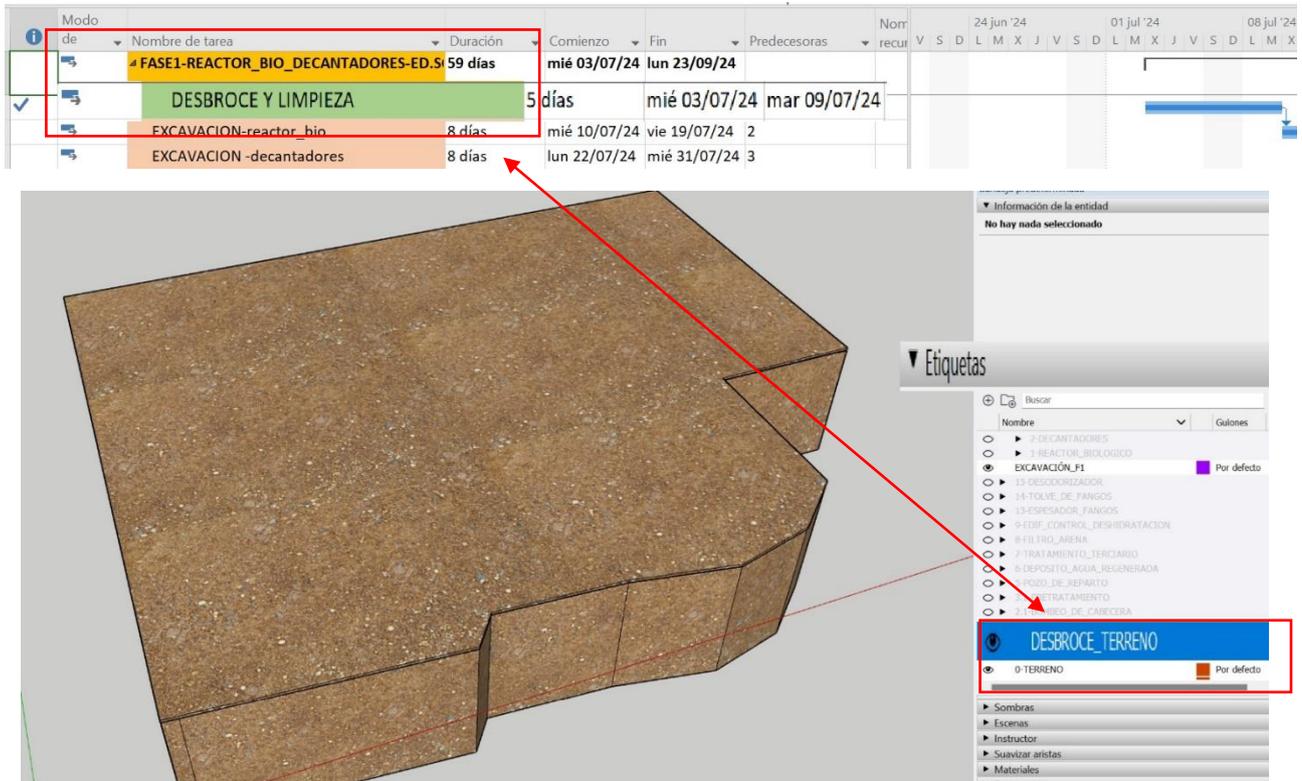


FIGURA 5.9- MODELADO DEL TERRENO SKETCHUP

Siempre hay coincidencia de tareas entre los dos programas de trabajo.



FIGURA 5.10. IMAGEN EXTRAIDA DE LA PLANIFICACION MSPROJECT



FIGURA 5.11- MODELADO EXCAVACIÓN REACTOR BIOLÓGICO



1	→	<b>FASE1-REACTOR_BIO_DECANTADORES-ED.SOP</b>
2	✓ →	DESBROCE Y LIMPIEZA
3	→	EXCAVACION-reactor_bio
4	→	EXCAVACION -decantadores
5	→	EXCAVACION Ed_soplantes
6	→	EXCAVACION-BOMBEO_recirculación

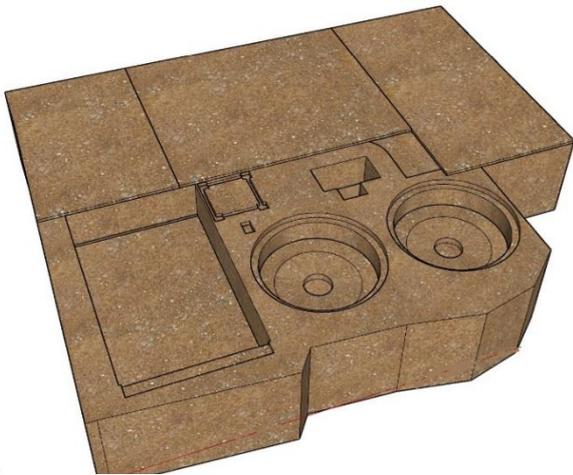
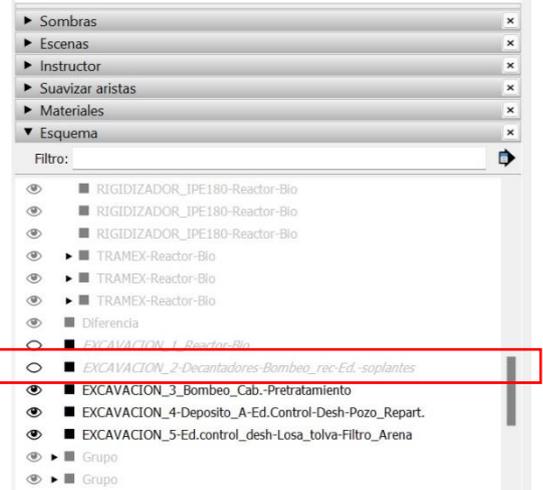


FIGURA 5.12- MODELADO EXCAVACIÓN REACTOR BIOLÓGICO-DECANTADORES –EDIFICIO SOPLANTES Y BOMBEO DE RECIRCULACION.

15	→	CIMENTACION- reactor-bio
16	→	CIMENTACION- decantador-1
17	→	CIMENTACION- decantador-2
18	→	CIMENTACION- Ed_soplantes
19	→	CIMENTACION- bombeo_recirculación

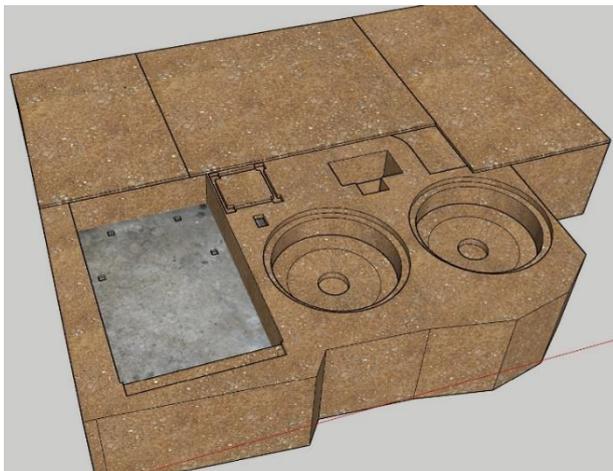
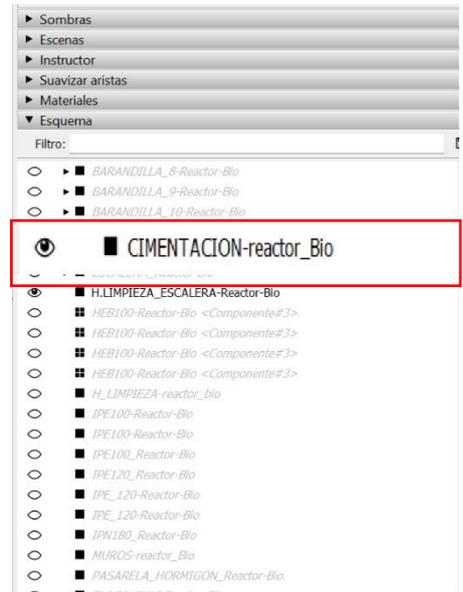


FIGURA 5.13- MODELADO EXCAVACIÓN REACTOR BIOLÓGICO-DECANTADORES –EDIFICIO SOPLANTES Y BOMBEO DE RECIRCULACION

El procedimiento a seguir durante todo el proceso del modelado del proyecto es el mismo, hasta llegar a planificar toda la obra.

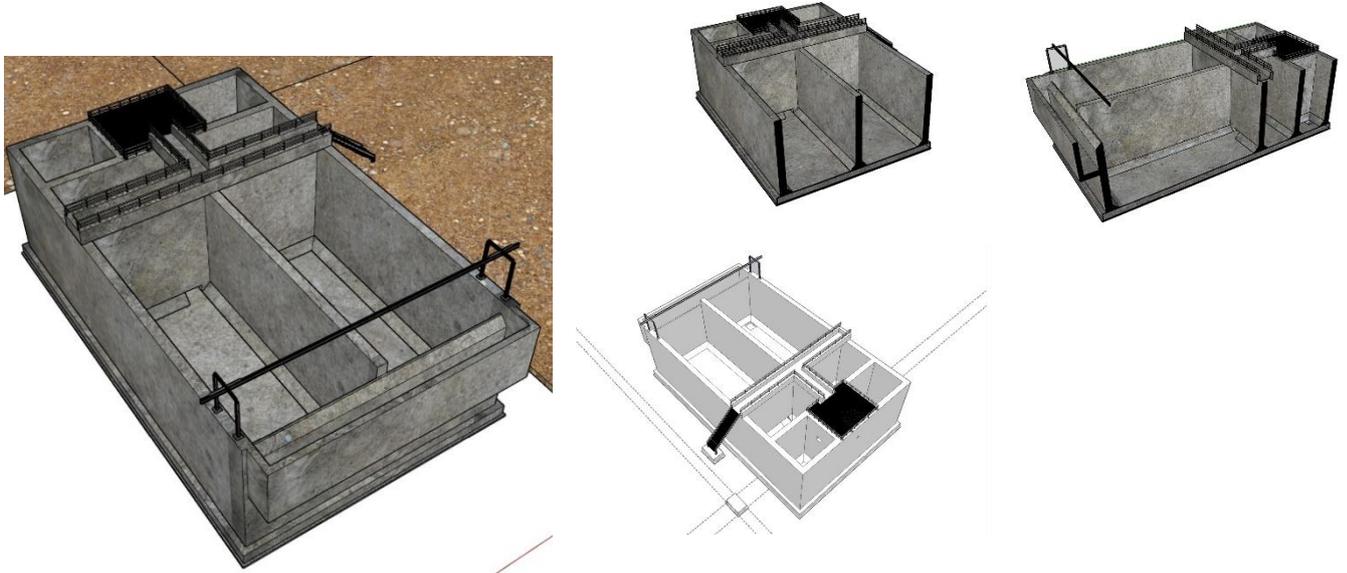


FIGURA 5.14- MODELADO REACTOR BIOLÓGICO



IMAGEN. 5.1. VISTA AEREA DEL REACTOR BIOLÓGICO CIMENTACION Y FUNCIONAMIENTO (ARCHIVO EDAR DE CALVIA MALLORCA)



FIGURA 5.15- MODELADO DECANTADORES SECUNDARIOS



IMAGEN .5.2. VISTA AEREA DE LA CONSTRUCCION DE LOS DECANTADORES SECUNDARIOS. (ARCHIVO EDAR DE CALVIA MALLORCA)

## 5.4 LA ORGANIZACIÓN DE LAS CAPAS EN EL MODELO

A continuación se va a describir el proceso de trabajo llevado a cabo para modelar el proyecto de la Estación Depuradora de Aguas Residuales EDAR.

Las capas del modelo en SketchUp se les conoce como “etiquetas, grupos y componentes” como lo hemos comentado en el apartado anterior cada una de ellas tiene una función importante en el proceso del modelado.

El procedimiento a seguir ha sido crear las etiquetas y posteriormente grupos, necesarios para poder crear objetos que utilizaremos como recursos.

Desde la interfaz de SketchUp en la bandeja predeterminada figura (5.16) seleccionamos etiquetas y empezamos a crear cuantas capas necesitemos, cada acción ejecutada en el programa debe tener un nombre.



FIGURA 5.16- BANDEJA PREDETERMINA DE LA INTERFAZ DE SKETCHUP

En el presente trabajo se ha diseñado dentro de las etiquetas cuatro carpetas cada una de ellas corresponde a las tres las tres fases que aparecen en la planificación de MS Project.

Dentro de cada fase están los elementos que conforma cada una de las actuaciones que se han de ejecutar del proyecto. En cuanto a la fase "0" EMPLAZAMIENTO-EDAR, esta carpeta hace referencia al modelado del terreno, que esta creado para poder trabajar sobre el, y asi poder ubicar cada una de las construcciones que forman parte de la EDAR. Esta fase no nos afectara en absoluto a la planificación, ya que el terreno existe.

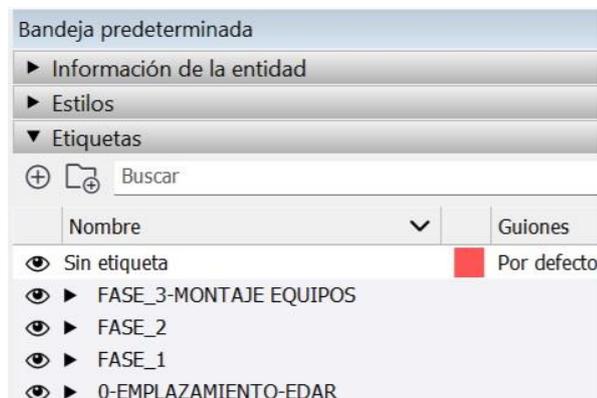


FIGURA 5.17-. BANDEJA PREDETERMINA DE LA INTERFAZ DE SKETCHUP

En las imágenes adjuntas se puede comprobar las diferentes fases y sus correspondientes construcciones en la interfaz de sketchUp

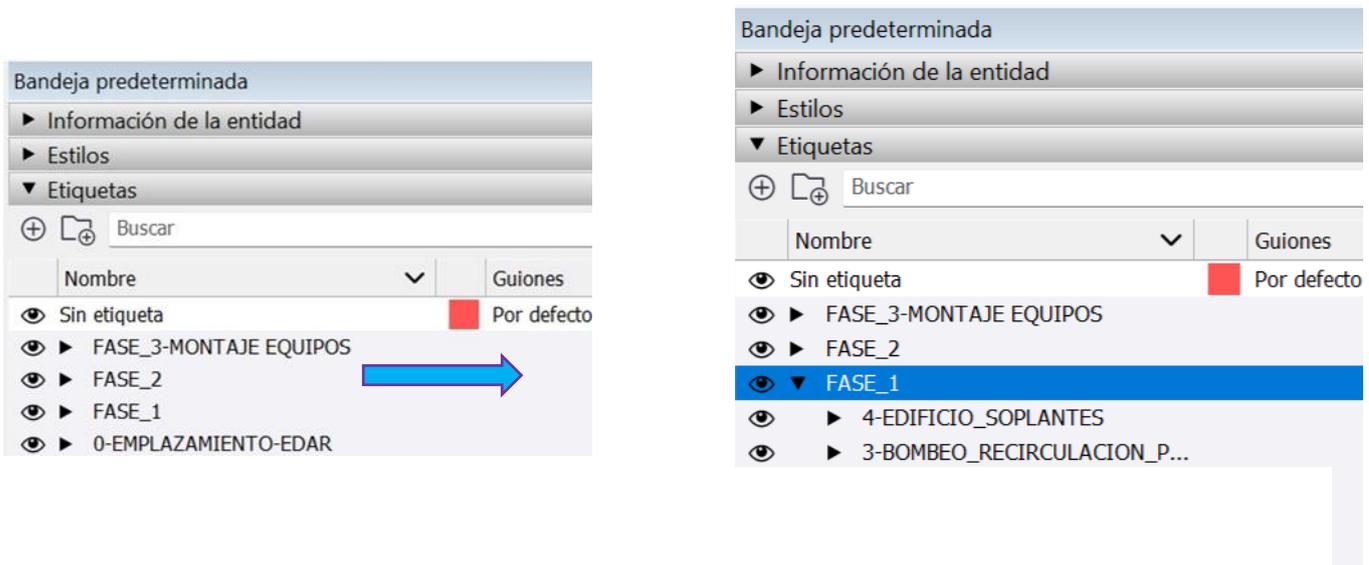


FIGURA 5.18- BANDEJA PREDETERMINA DE LA INTERFAZ DE SKETCHUP

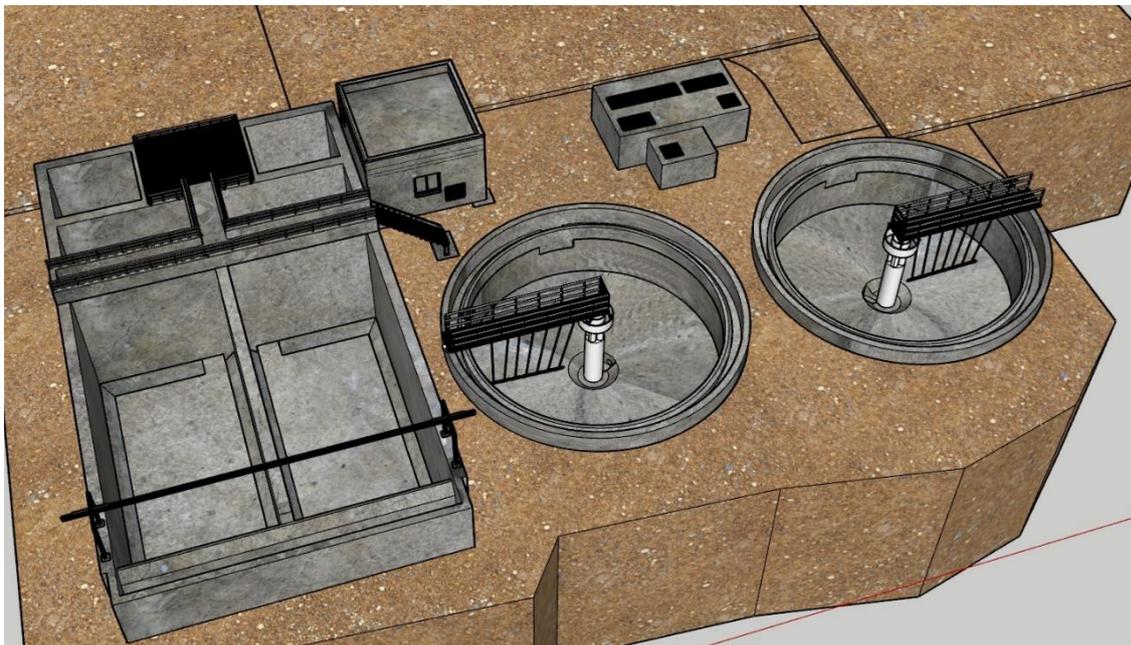


FIGURA 5.19- MODELADO DE LA PRIMERA FASE

En los casos en el cual el modelo en 3D no este en condiciones correctas para elaborar un modelo en 4D, se cambiarán algunos criterios de modelado con el objetivo de optimizar la precisión del modelo final. Es importante recalcar que, al comienzo de modelar un proyecto, se debe saber con antelación cuál será su

propósito, de esta forma se podrá acotar y desestimar algunos elementos propios del modelo (nivel de detalle), lo cual nos da la posibilidad de ahorrar tiempo en el proceso de modelado.

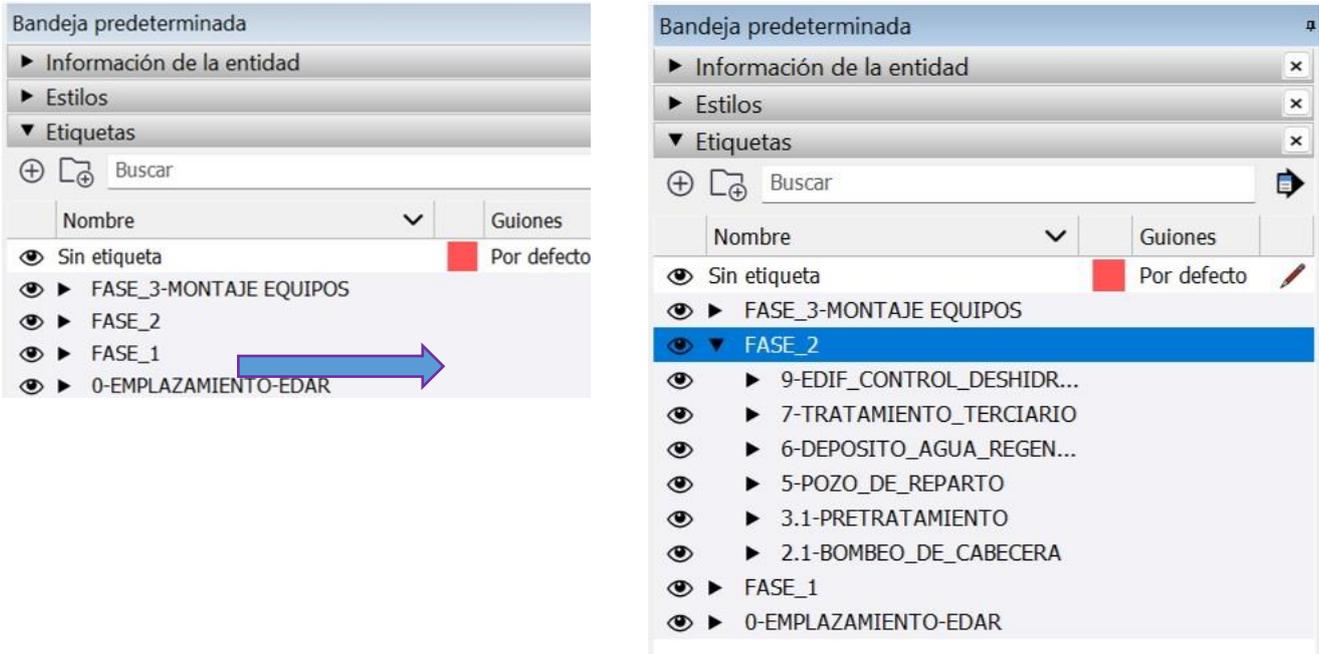


FIGURA 5.20-BANDEJA PREDETERMINADA SKETCHUP

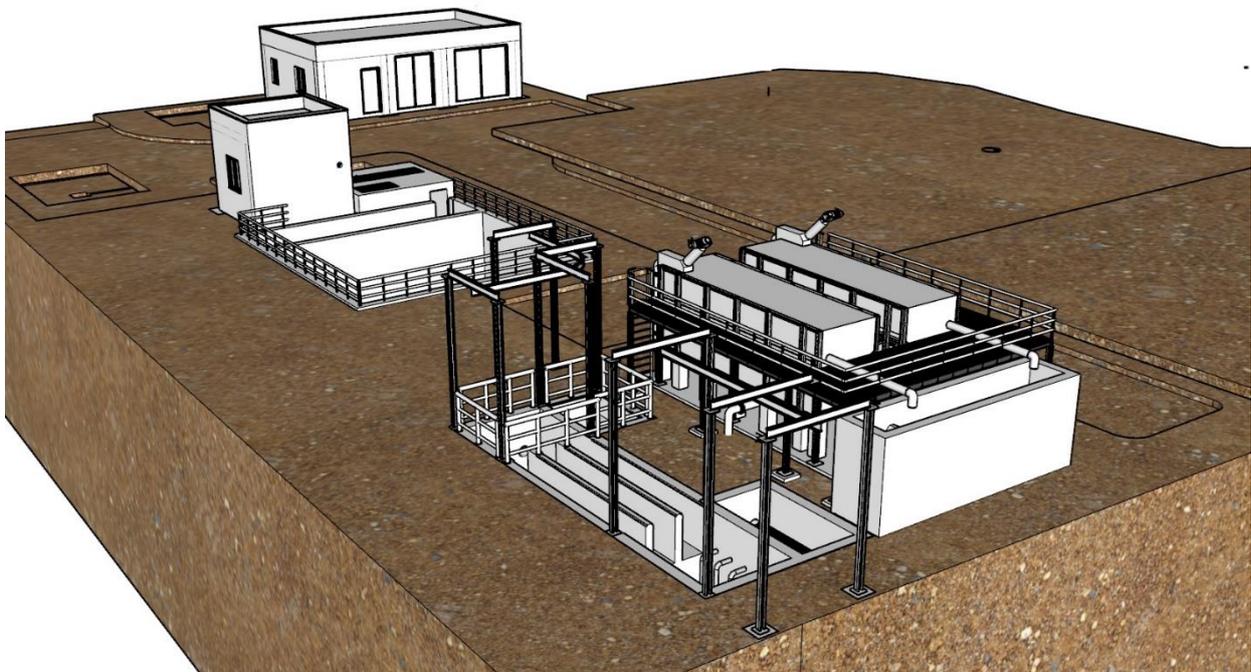


FIGURA 5.21- MODELADO DE LA SEGUNDA FASE

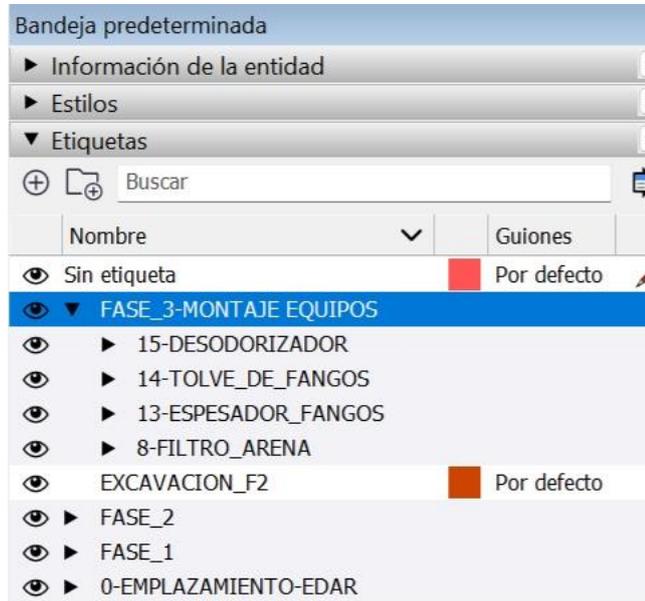
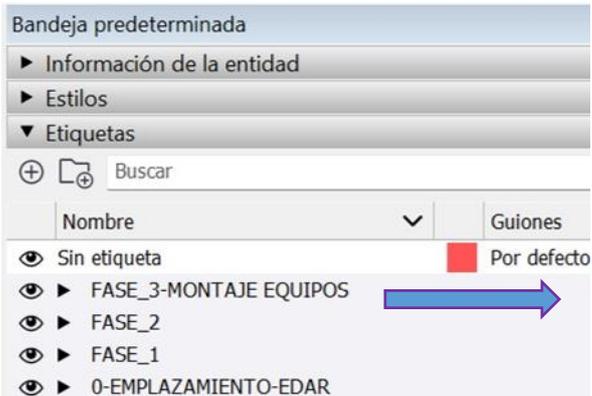


FIGURA 5.22 BANDEJA PREDETERMINADA DE LA INTERFAZ SKETCHUP

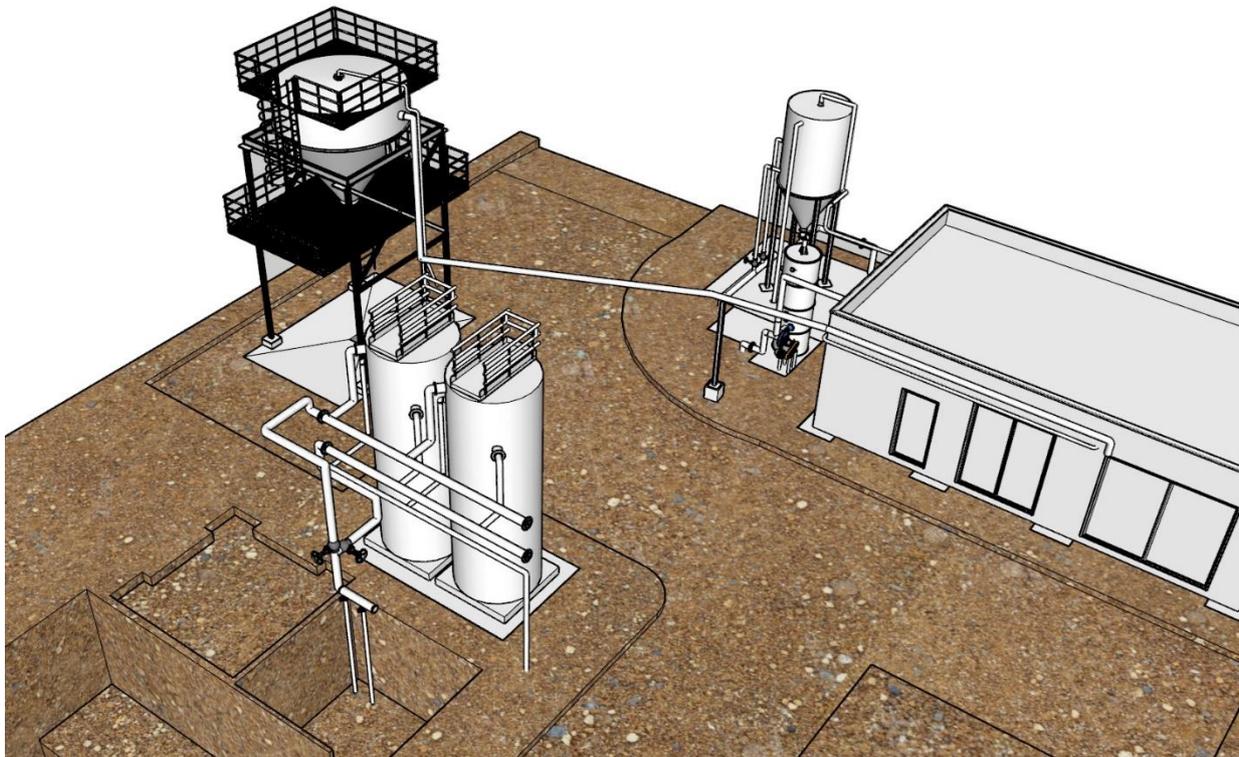


FIGURA 5.23-MODELADO TERCERA FASE

## 6 EL MODELO 3D DE LA EDAR DE CALVIA

La planificación 4D se basa en la construcción de un plano en 4 dimensiones (x, y, z, t) utilizando herramientas que funcionan simultáneamente con otras herramientas de planificación como Microsoft Project u otro programa de planificación.

. Este modelo 3D no es sólo una referencia, sino también una herramienta utilizada en la planificación del proyecto, ya que contiene una lista de objetos 3D comparables a las construcciones. Podemos elegir estos modelos que hemos convertido en recursos y darles trabajo, o participar directamente en la construcción.

Los beneficios de utilizar modelos 3D en la planificación son similares a los del uso de BIM en otras disciplinas.

BIM y sus objetivos tienen cuatro áreas principales: capacidades de modelado, la capacidad de optimización basada en simulaciones, la capacidad de coordinación entre diferentes expertos de una misma organización y la capacidad de comunicar resultados internos o externos.

Con SketchUp, vamos a poder ver el proceso constructivo y la duración de las tareas que conforman cualquier obra.

A continuación, vemos cada una de las construcciones que conforman la EDAR.

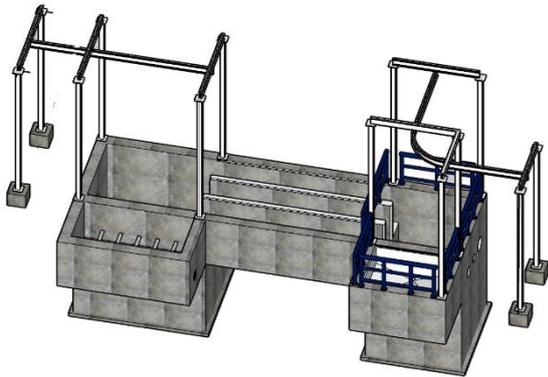


FIGURA 6.1- MODELADO BOMBEO DE CABECERA

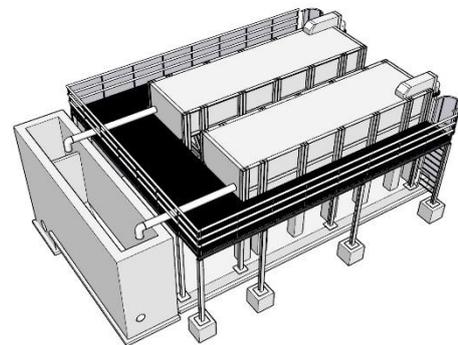


FIGURA 6.2- MODELADO EQUIPO DE PRETRATAMIENTO

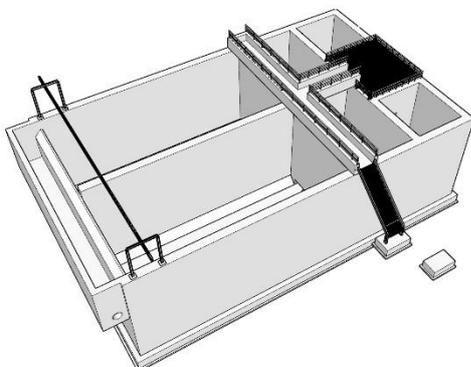


FIGURA 6.3 MODELADO DE REACTOR BIOLÓGICO

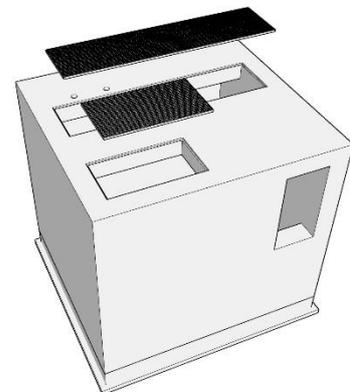


FIGURA 6.4-MODELADO POZO REPARTO

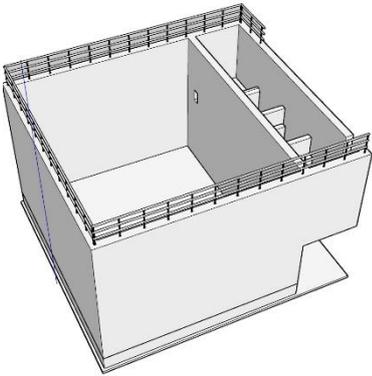


FIGURA 6.5- MODELADO DEPOSITO AGUA  
REGENERADA

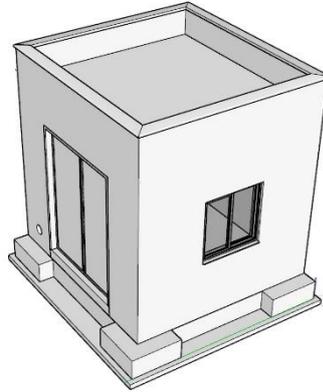


FIGURA 6.6- MODELADO TRATAMIENTO TERCARIO

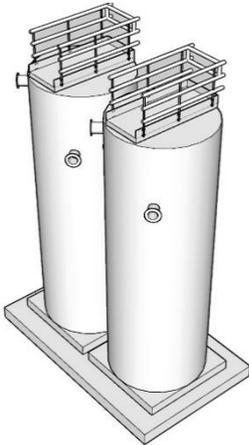


FIGURA 6.7-MODELADO FILTROS ARENA

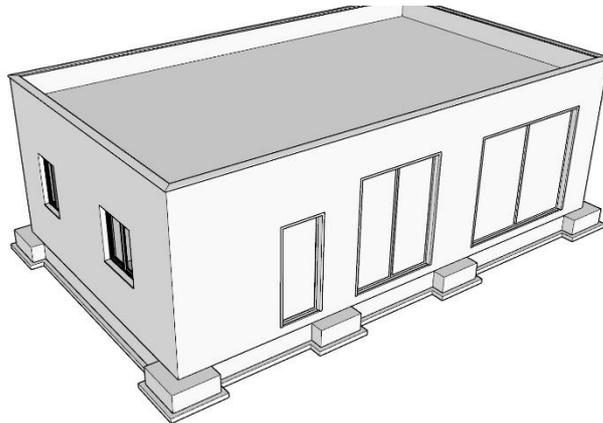


FIGURA 6.8-MODELADO EDIFICIO DESHIDRATACION

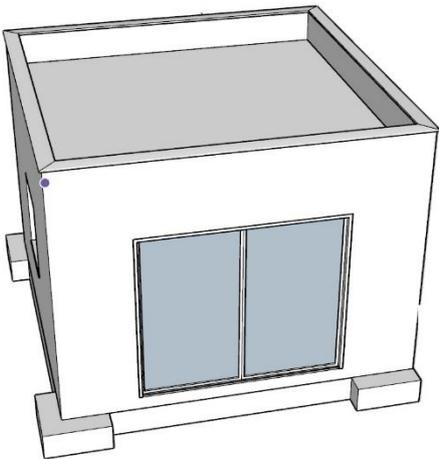


FIGURA 6.9-MODELADO EDIFICIO SOPLANTES

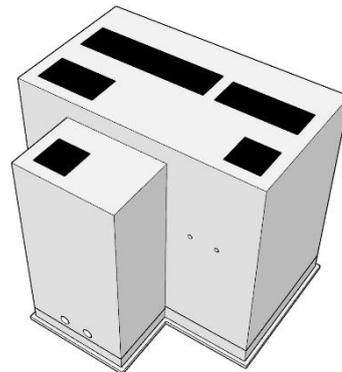


FIGURA 6.10-MODELADO BOMBEO FANGOS

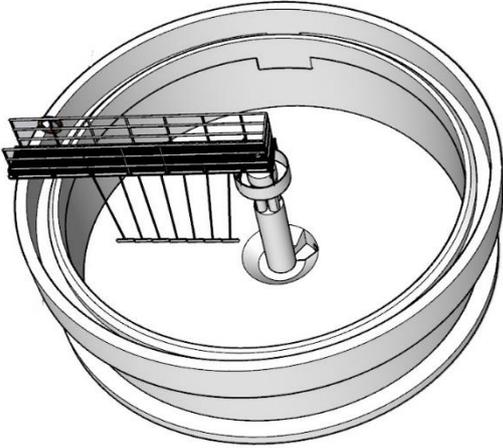


FIGURA 6.11-MODELADO DECANTADOR

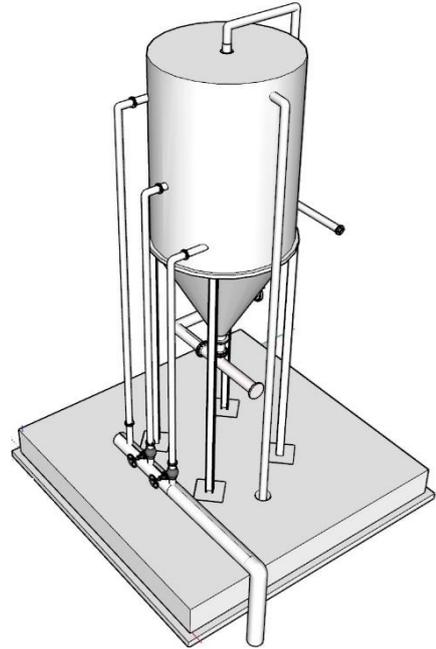


FIGURA 6.12-MODELADO ESPESADOR FANGOS

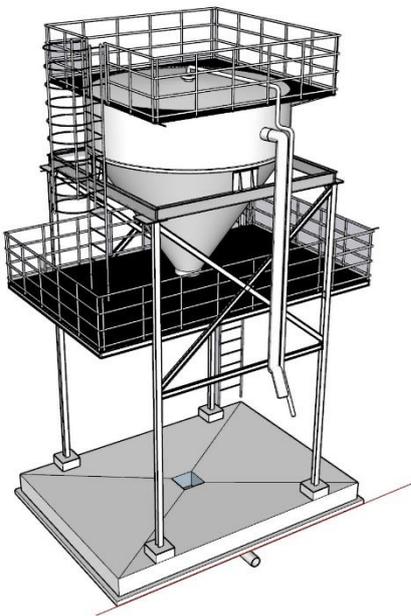


FIGURA 6.13-MODELADO TOLVA FANGOS

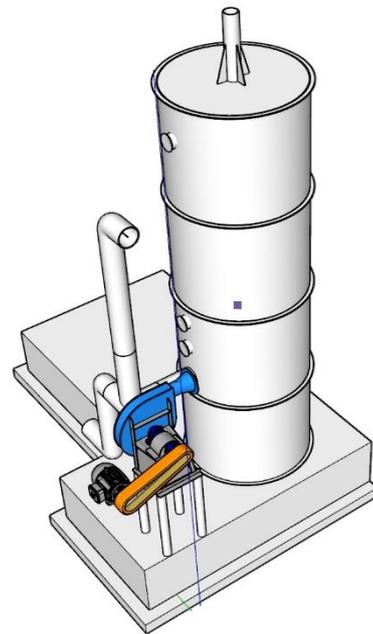


FIGURA 6.14-MODELADO DESODORIZADOR



Una vez hemos realizado todo el proceso de construcción de cada uno de los elementos de la EDAR, con sus respectivas capas procedemos a realizar el maquetado de toda la planta depuradora.

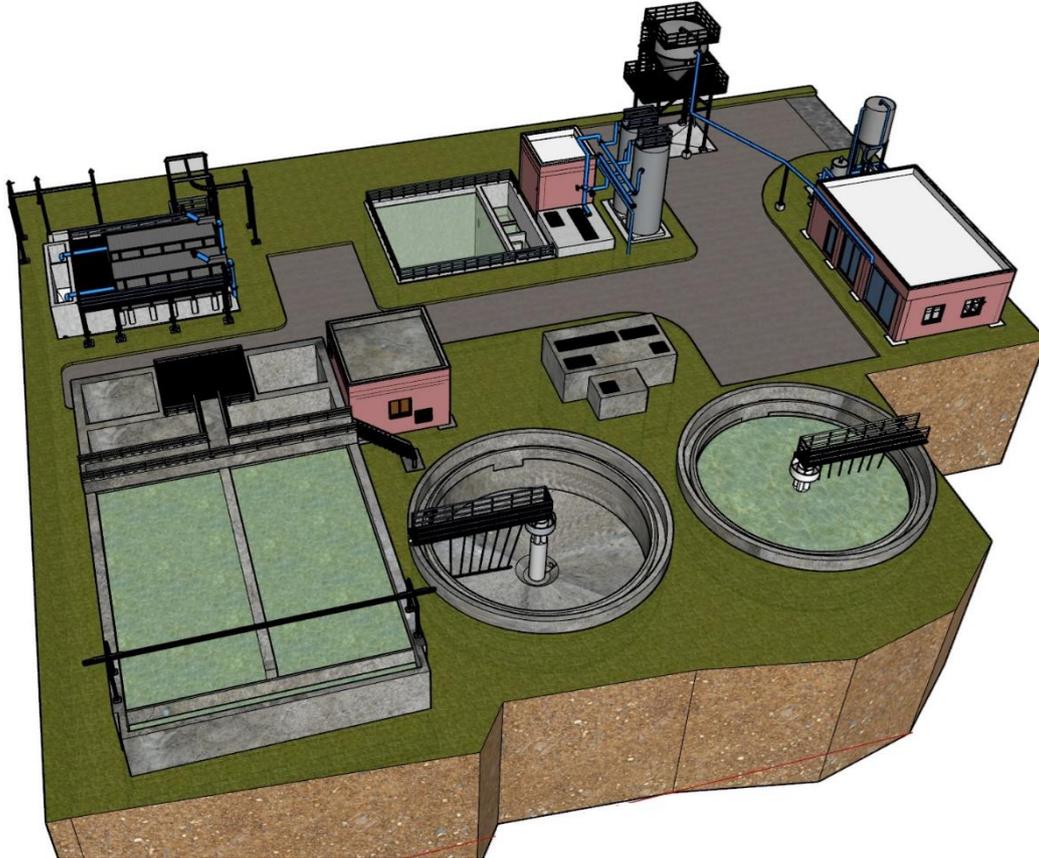


FIGURA 6.15-MODELADO COMPLETO DE LA EDAR, CONDIFERENTES PUNTOS DE VISTA



FIGURA 6.16-MODELADO COMPLETO EDAR, CON DIFERENTES PUNTOS DE VISTA



FIGURA 6.17- MODELADO COMPLETO DE LA EDAR, CON DIFERENTES ANGULOS DE VISTA.

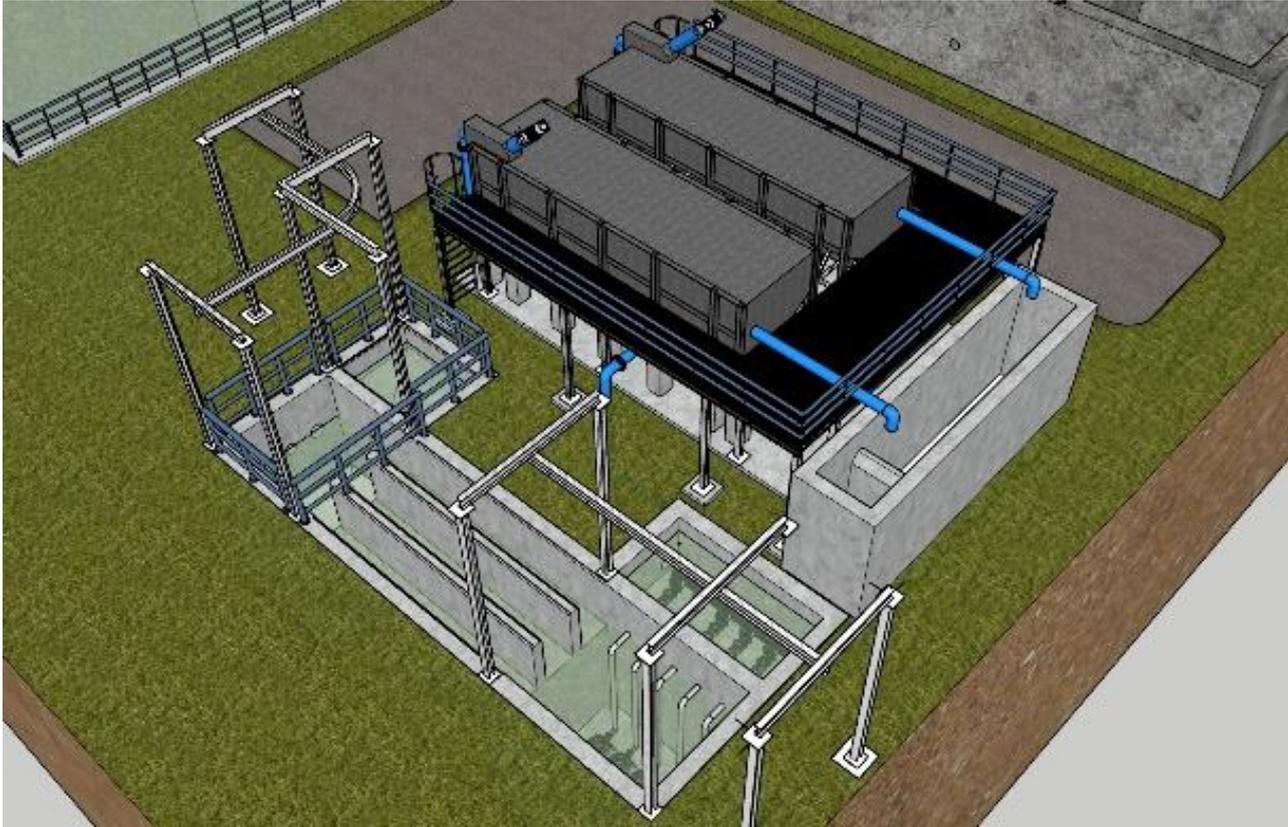


FIGURA 6.18- MODELADO COMPLETO DE LA EDAR, CON DIFERENTES ANGULOS DE VISTA.



FIGURA 6.19-MODELADO COMPLETO DE LA EDAR, DIFERENTES PUNTOS DE VISTA

## 6.1 MODELADO DE LA OBRA CIVIL

Se trata de modelar la parte correspondiente a excavaciones, cimentaciones y todo lo que comprende la parte de los edificios de control y depósitos ejecutados con hormigón armado.

Para la creación de cada elemento, se abordará de forma cronológica, pasando de la obra civil a las instalaciones que conforma cada uno de los equipos.

Es importante que en la interfaz de SketchUp, nos coloquemos en una vista que podamos ver la planta, para poder insertar desde los archivos del proyecto el plano sobre el cual trabajaremos, la inserción se debe hacer en formato imagen.

Para ello nos ayudaremos de el icono de vistas y seleccionaremos el de vista en planta.



Es aconsejable trabajar en centímetros para poder conseguir mas exactitud en el modelado, ya que trabajamos con tuberías, perfiles metálicos y piezas de tamaños pequeños, que a la hora de modelar es mas fácil de modelarlos.

Los pasos que hemos seguido para diseñar los muros, soleras, cimentaciones ha sido el siguiente:

Herramientas utilizadas en SketchUp.

iconos de trabajo (extrusión) que necesitaremos para excavaciones levantar muros, realizar huecos, etc.

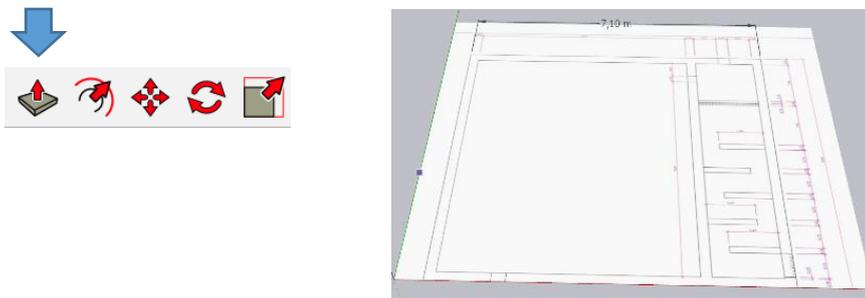


FIGURA 6.20-PLANO DE AUTOCAD INSERTADO EN SKETCHUP

La ejecución de excavaciones y muros una vez hemos escalado el plano que importamos desde el proyecto, empezamos a crear líneas guía con la herramienta metro para poder realizar los trazos necesarios del elemento que queremos modelar.

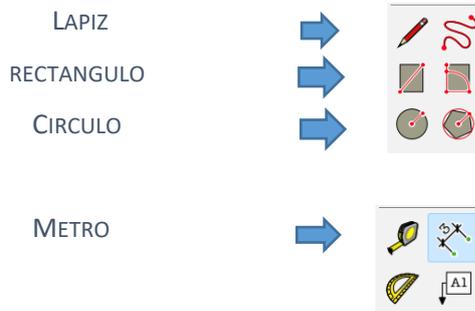


FIGURA 6.21-HERRAMIENTAS DE SKETCHUP

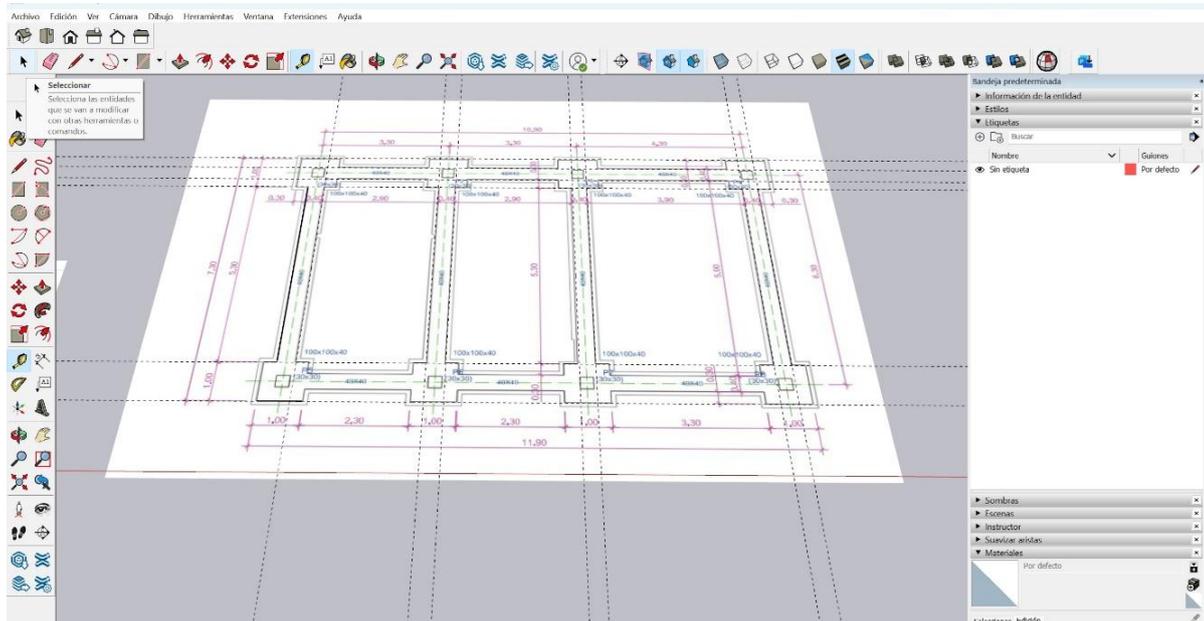


FIGURA 6.22-INSERION DE PLANO DE CIMENTACION EN SKETCHUP

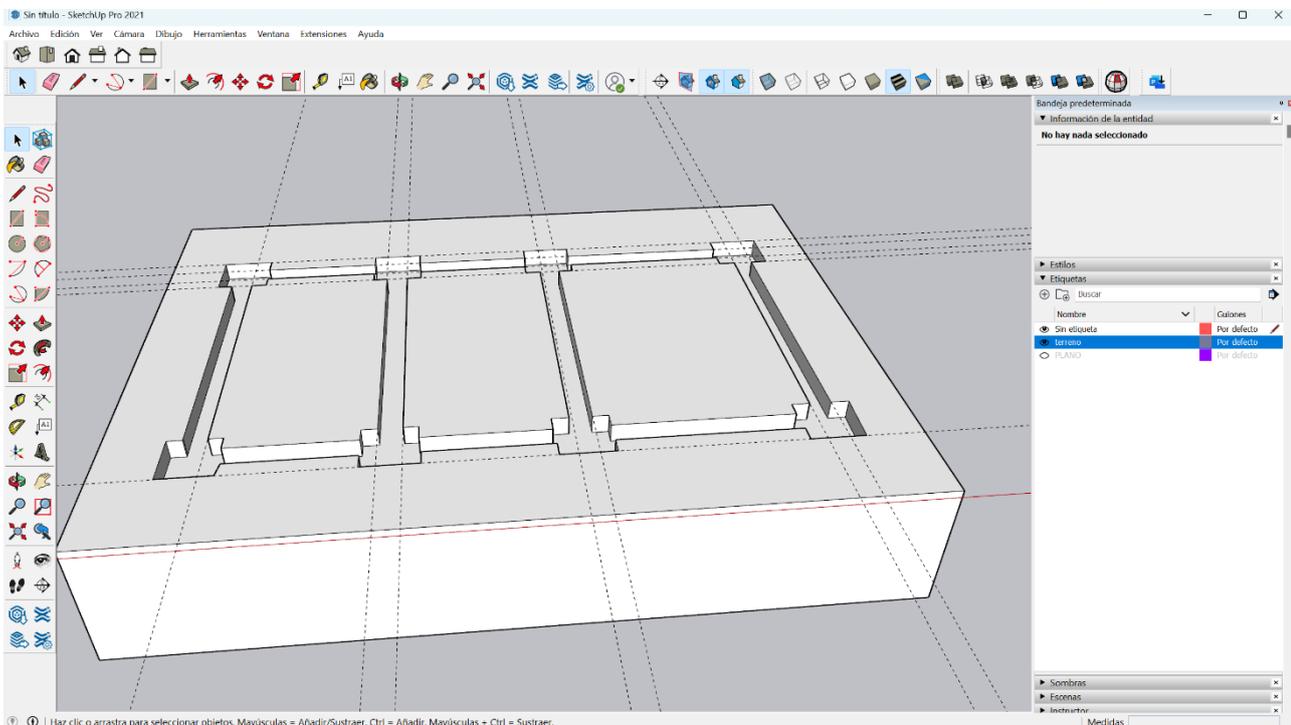


FIGURA 6.23- EJECUCION DE LA EXCAVACION EN SKETCHUP



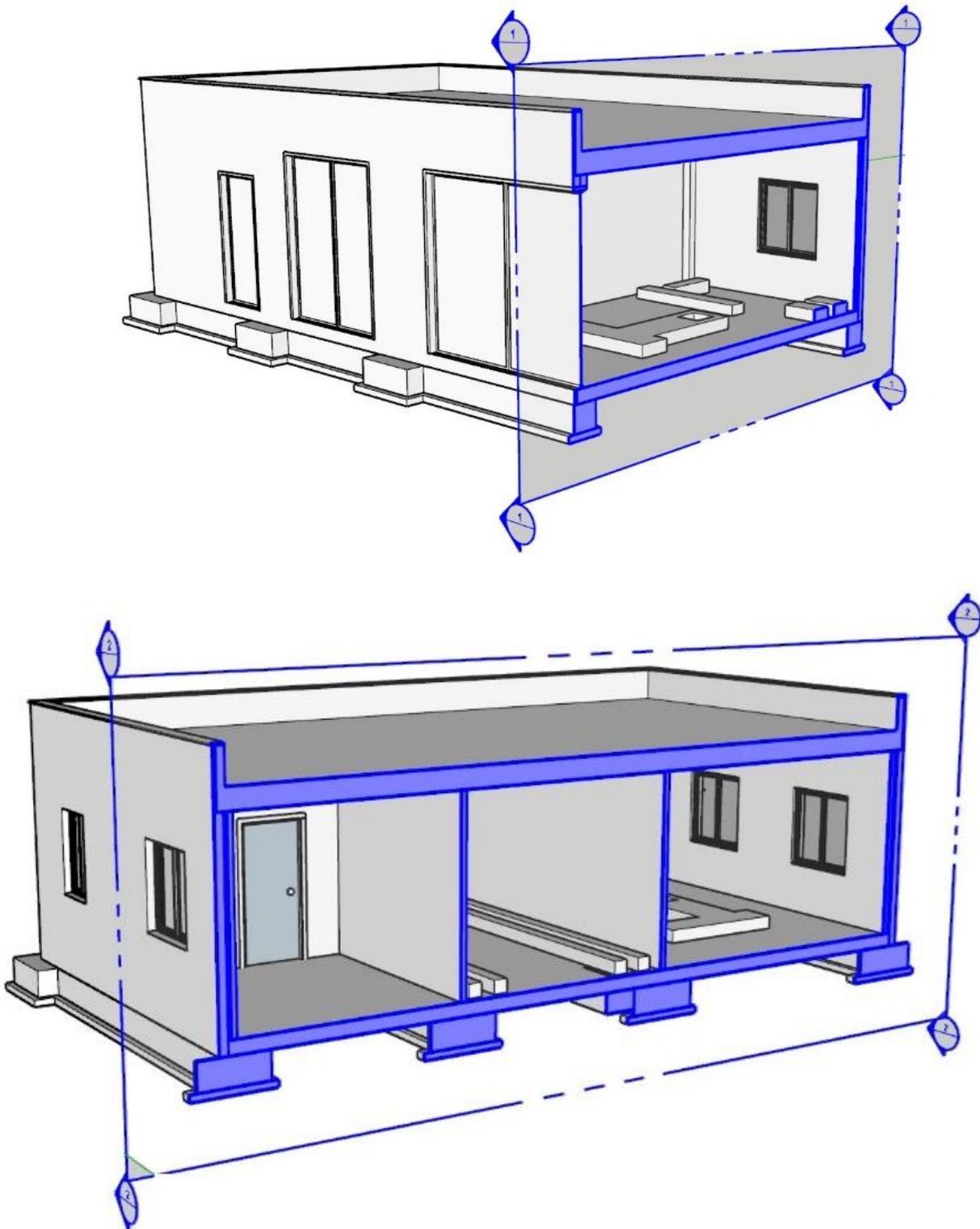


FIGURA 6.26- VISUALIZACION DE LAS SECCIONES EDIFICIO DESHIDRATACION

## 6.2 MODELADO DE LAS INSTALACIONES

En el modelado de las instalaciones, se diseña a partir de los elementos ya ubicados en el sitio que les corresponde en la EDAR.

En esta parte del proyecto corresponde el modelado de las tuberías, encargadas de recoger las aguas residuales de las conexiones individuales y transportarlas hacia las estaciones de bombeo o las plantas de tratamiento.

El procedimiento para el modelado de las tuberías es el mismo que se realiza con el modelado de la obra civil, únicamente cambiamos las herramientas de modelado.

Para realizar el recorrido de la tubería utilizamos la herramienta “sigueme”, además nos ayudamos de la herramienta “equidistancia” para poder crear el espesor del tubo, así podemos crear un elemento tal y como lo marca un fabricante.

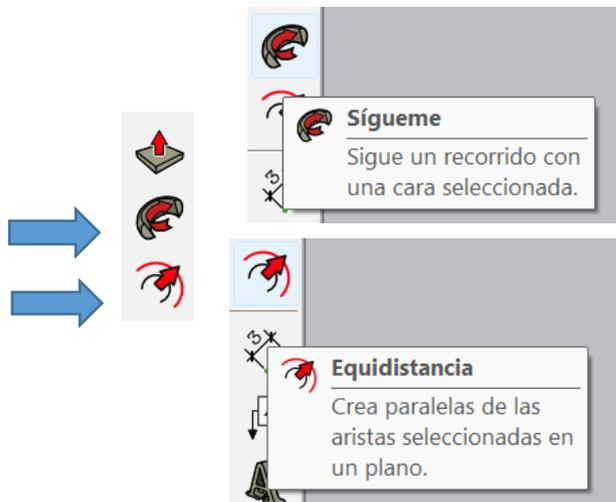


FIGURA 6.27-HERRAMIENTAS DE SKETCHUP

DIMENSIONES		ESPESOR (e)		PROPIEDADES	
DIÁMETRO Ø		mm		ES	ÁREA SECCIÓN
Pulg.	mm	mm	mm	g/lmts	Pulg <sup>2</sup>
1"	25.4	1.2		0.7235	0.1414
1"	25.4	1.5		0.8391	0.1745
1"	24.4	2		1.1659	0.2278
1 1/4"	31.75	1.2		0.9148	0.1785
1 1/4"	31.75	1.5		1.1323	0.2209
1 1/2"	38.1	1.5		1.3677	0.2673
1 1/2"	38.1	1.2		1.1031	0.2156
2"	50.8	1.2		1.4828	0.2898
2"	50.8	1.5		1.8423	0.3600
2"	50.8	2		2.4315	0.4752

FIGURA 6.28-TABLA DIAMETROS DE TUBOS NORMALIZADOS

También es importante crear “etiquetas, componentes y grupos” para luego poder realizar las conexiones de los equipos, ya que convertimos en objetos cada uno de los tubos, bridas, llaves de paso, etc.

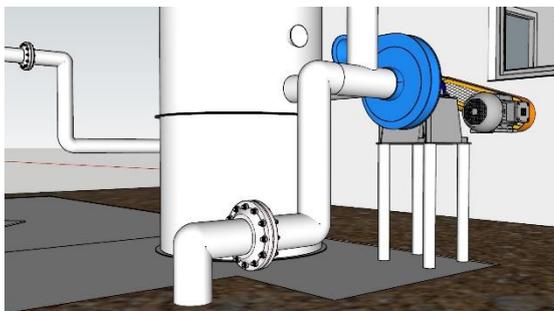
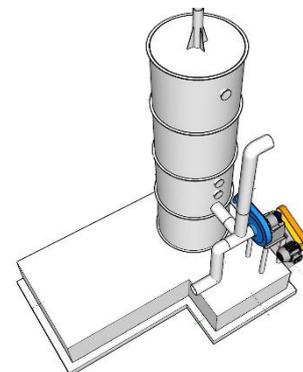


FIGURA 6.29-MODELADO DE TUBERIA DESODORIZADO



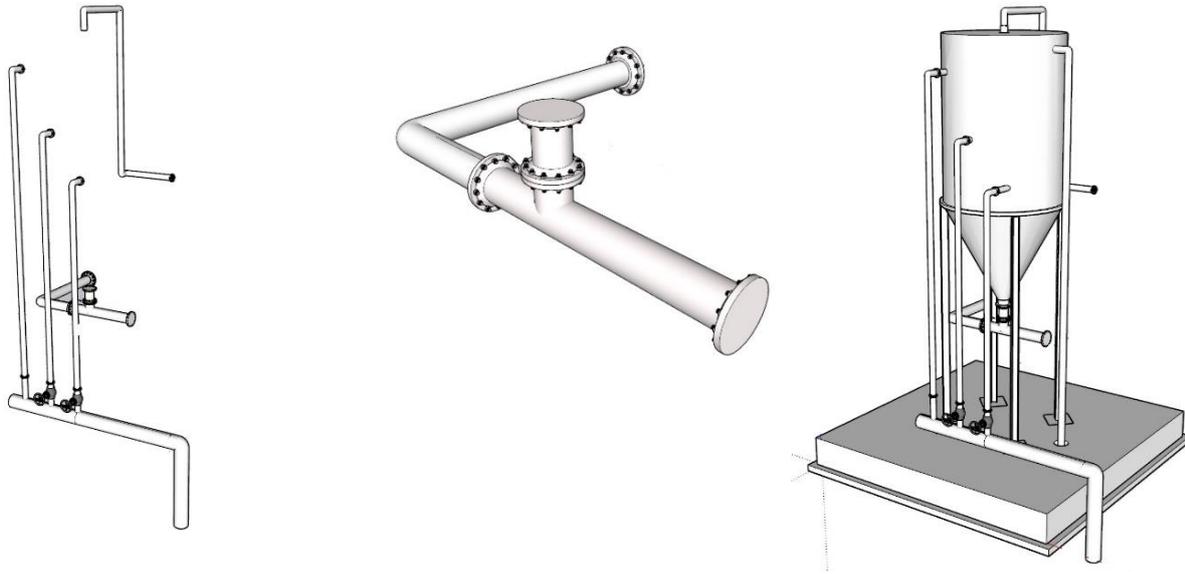


FIGURA 6.29-MODELADO DE TUBERIAS PARA TOLVA DE FANGOS



## 7 LA PLANIFICACIÓN 4D

La simulación BIM 4D es un 40% más eficiente que los procedimientos de planificación que se han venido utilizando. Ahora las visualizaciones de un proyecto en el BIM 4D ofrece una comprensión del proceso de construcción de cualquier proyecto que posibilita una comunicación más eficaz y, una mejor colaboración entre todas las partes implicadas del proyecto.

La técnica de gestión de proyectos enfocado con BIM tiene un gran potencial para mejorar la administración y control en la entrega de proyectos de cualquier tamaño o complejidad. El objeto principal de la planificación y programación en 4D es facilitar el proceso de planificación y lograr una mejor comunicación y participación de las partes interesadas.

La dimensión 4D, su objetivo es vincular los modelos 3D con tiempos y programación. La visualización del cronograma de la planificación 4D, combinado con otros métodos de programas de proyectos, facilita el poder comunicar y tomar decisiones a lo largo de la fase de planificación y ejecución.

Con el 4D se puede superar deficiencias de las técnicas de planificación tradicionales, ya que la conexión del modelo digital con la programación posibilita a los jefes y directores de proyectos o al equipo que conforma dicha organización, detectar los errores de planificación.

Un gran porcentaje de calendarios tradicionales están equivocados o no están optimizados, y esos errores tiene un impacto directo en el costo del proyecto. A continuación, analizaremos algunas de las ventajas del uso del 4D desde la aplicación de SketchUp y lo que nos permite analizar.

Realizar una simulación 4D es como si hicieramos varios frame de una cámara en un instante de tiempo, que nos permite ir hacia adelante en el proyecto y ver todo aquello que hemos diseñado, dándonos la información si es posible o no la ejecución de lo proyectado, ya que nos permite visualizar los errores que ha menudo se presentan en las construcciones, estos errores nos llevan a dar soluciones que muchas veces no son las más adecuadas, trayendo consigo costes adicionales y retrasos en el tiempo de la finalización del proyecto. (Valverde Gascueña et al., 2018)

### 7.1 ESTRATEGIAS DE PLANIFICACIÓN 4D

Los objetivos de este trabajo son vincular un modelado 3D de SketchUp y la planificación creada mediante MS Project. Dicha vinculación nos permitirá ver el proceso constructivo de una forma más intuitiva, práctica y objetiva, de tal forma que podamos identificar posibles errores que, durante la ejecución de una obra, podrían generar problemas en cuanto a tiempos de ejecución y costes. Así, antes de empezar el proyecto, podremos corregir para optimizar tiempos de trabajo y programación.

Una vez hemos revisado la documentación del proyecto, hemos considerado realizar una planificación dividida en 3 fases (ya comentado anteriormente).

Cda uno de los elementos que conforman la EDAR, están ejecutados en hormigón armado, lo cual facilita la programación, hay tres tareas de la obra que se podrían considerar repetitivas, esas tareas son excavaciones, hormigonados de limpieza y muros de hormigón.

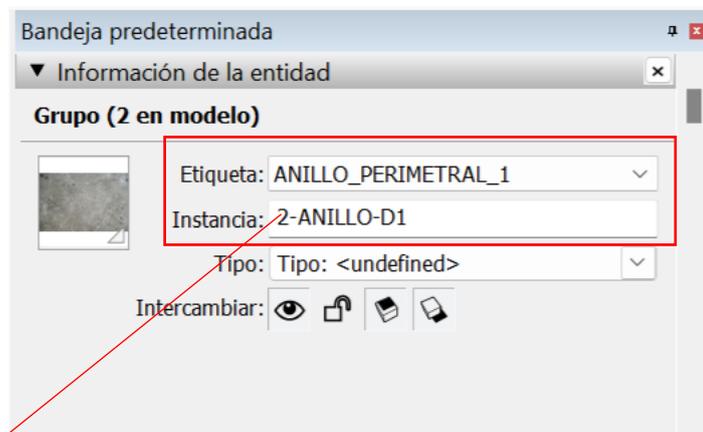
Por otra parte, tenemos tres edificios de poca envergadura que para la ejecución de ellos entra mano de obra como es albañilería y revestimientos, y finalmente tenemos una parte que corresponde a la mano de obra de carpintería metálica.

Seguidamente, vamos a explicar el proceso realizado para vincular la planificación con el modelo 3D.

Una vez hemos modelado todo el proyecto en SketchUp, es importante tenerlo todo organizado por capas (etiquetas en SketchUp). Una vez modelado cada elemento hay que convertirlo en grupo y nombrarlo.

cada elemento que se vaya modelando hay que vincularlo a un grupo.

cada etiqueta corresponde a una instancia, eso quiere decir que esta vinculada a un grupo.



Como podemos observar en la pestaña de esquema aparece la instancia a la cual esta vinculada la capa

2-“ANILLO-D1”

Existe una vinculación entre la etiqueta y el esquema.

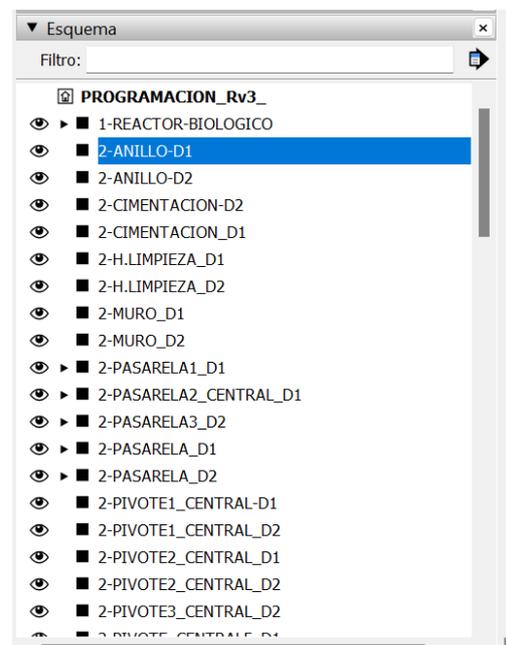


FIGURA 7.1-INTERFAZ DE SKETCHUP

Una vez hemos realizado el trabajo durante el modelado de las construcciones debemos importar la planificación en formato XML utilizando la extensión **SketchUp4DPro**.

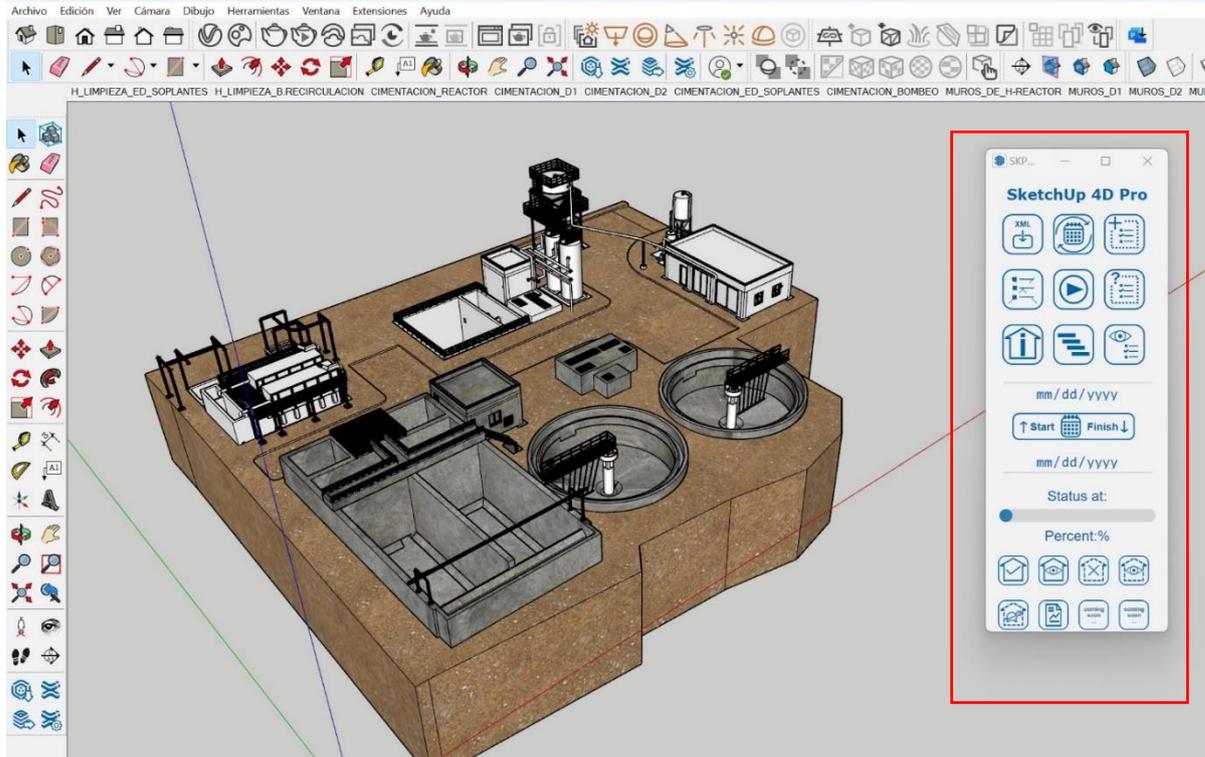


FIGURA 7.2-PANTALLA DE SKETCHUP CON LA INSERCIÓN DE LA EXTENSIÓN SKETCHUP4DPRO



Procedemos a comprobar que el archivo exportado desde MS Project se ha cargado correctamente.



icono desde el cual importamos el archivo.



Icono utilizado para refrescar la información de la planificación.



Icono utilizado para asignar tareas al plugin.



Icono para tener información sobre lo que nos queda por planificar.



Icono para obtener información en que fecha esta programada la tarea.



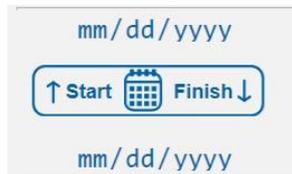
Icono para obtener la información de la duración del proyecto.



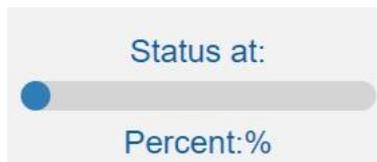
Icono que nos permite ver un diagrama de barras.



Icono para ver las tareas asignadas.



Icono utilizado para ver que elementos se deben construir en determinadas fechas.



Icono deslizador para ver en porcentaje la evolución del proyecto.



construir.

Iconos para chequear que esta construido y que falta por



Icono que nos permite ver que está retraso de la obra.



Icono que nos permite realizar una animación del proyecto.

Una vez conocemos el funcionamiento de la extensión de SketchUp, la ponemos en practica y vamos observando la compatibilidad de una planificación con el modelo realizado con la aplicación.

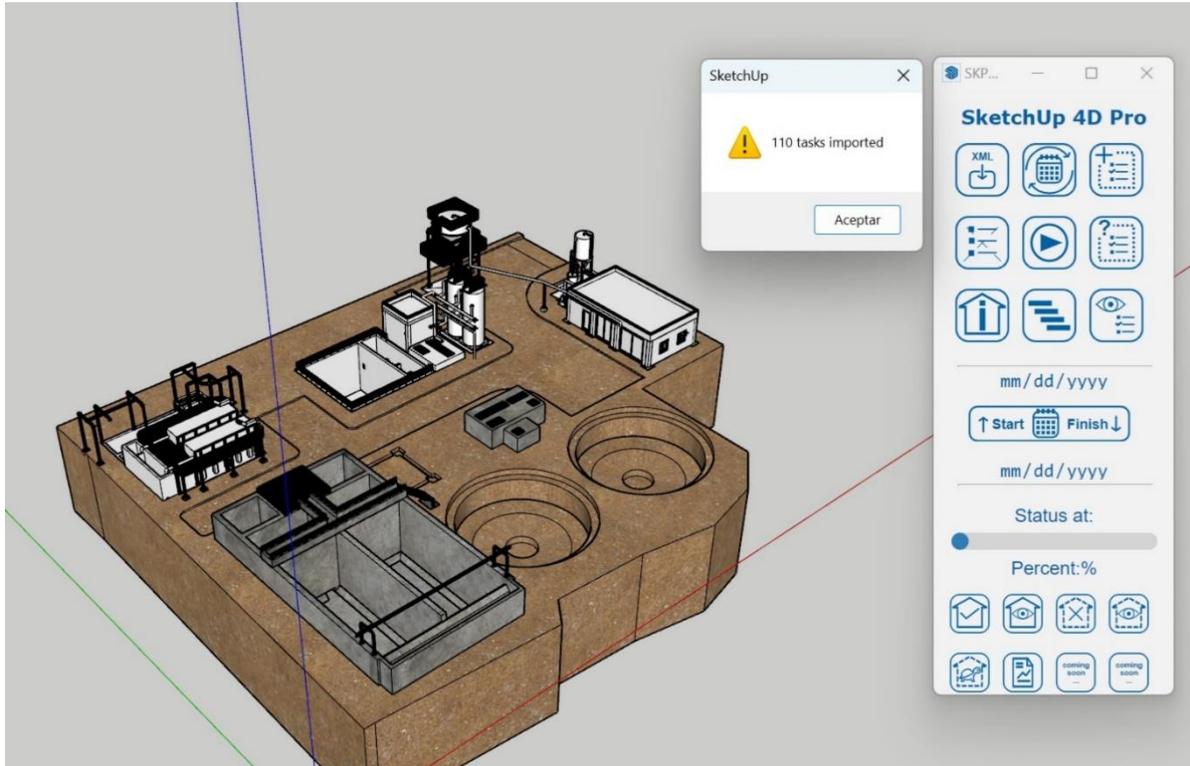


FIGURA 7.3-ACCION DE IMPORTAR LA PLANIFICACION DESDE MS PROJECT A SKETCHUP

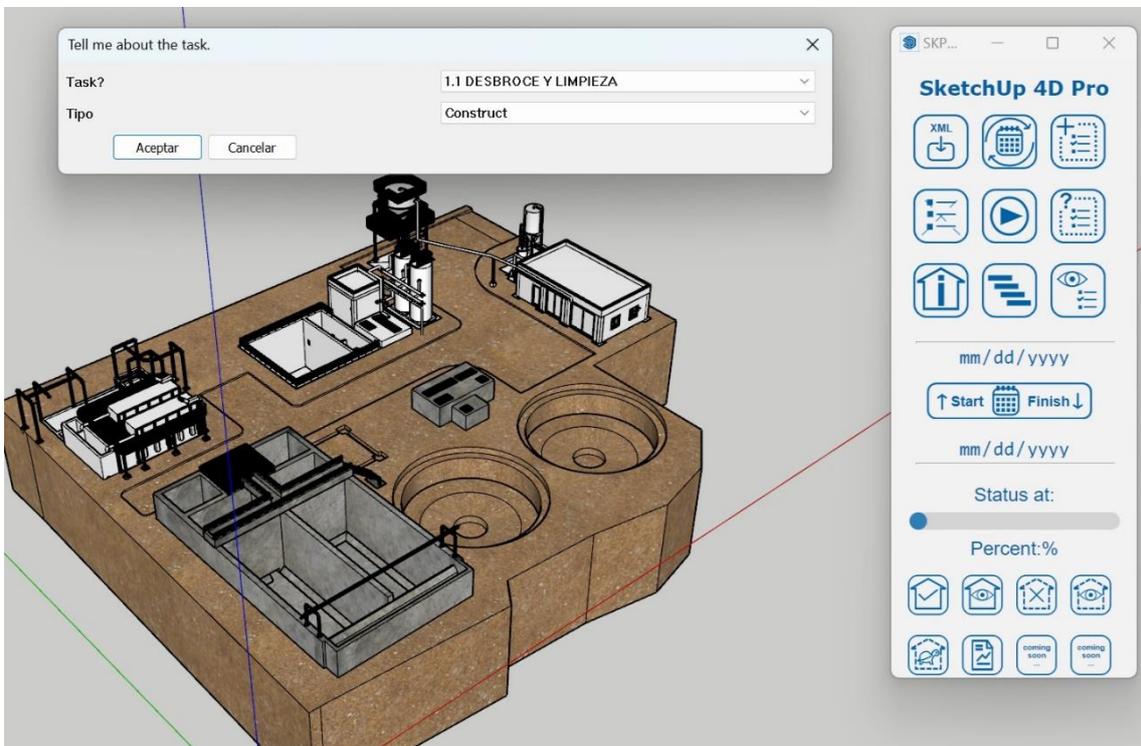


FIGURA 7.4-ASIGNACION DE LAS TAREAS A LA EXTENSION SKETCHUP4DPRO

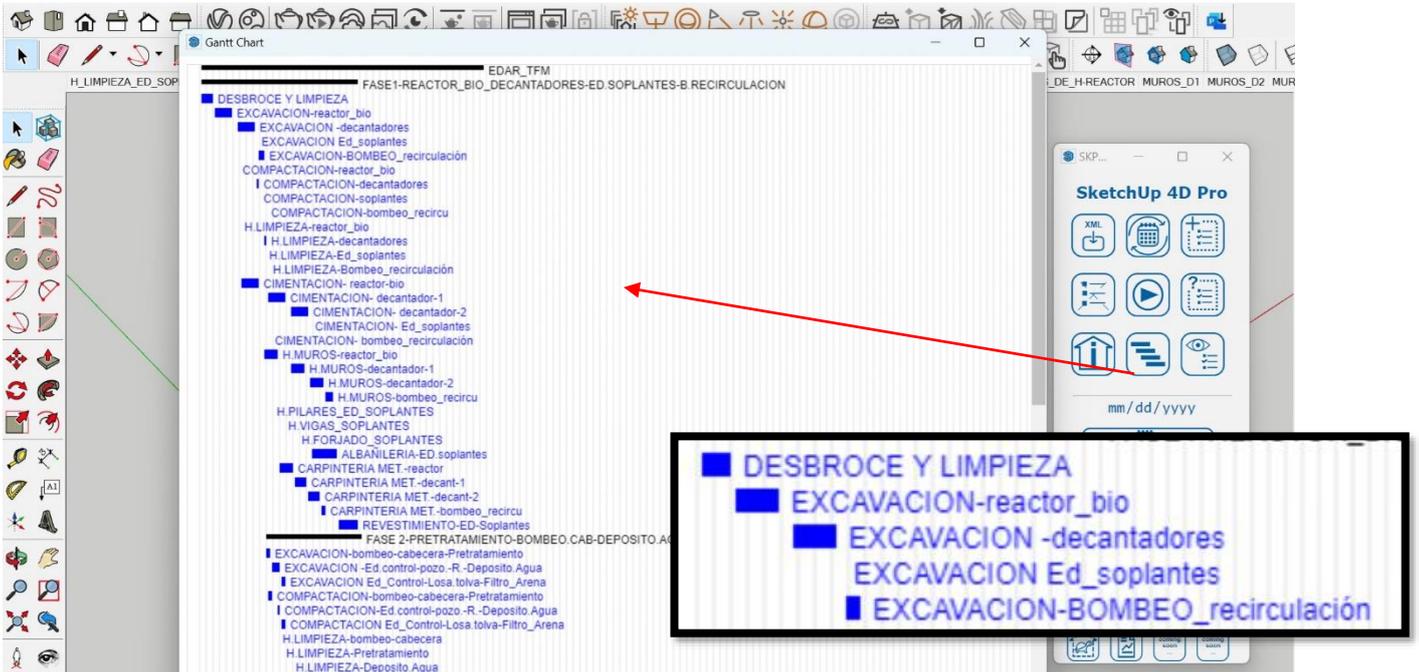


FIGURA 7.5-COMPROBACION DE TARES ENTRE MS PROJECT Y SKETCHUP

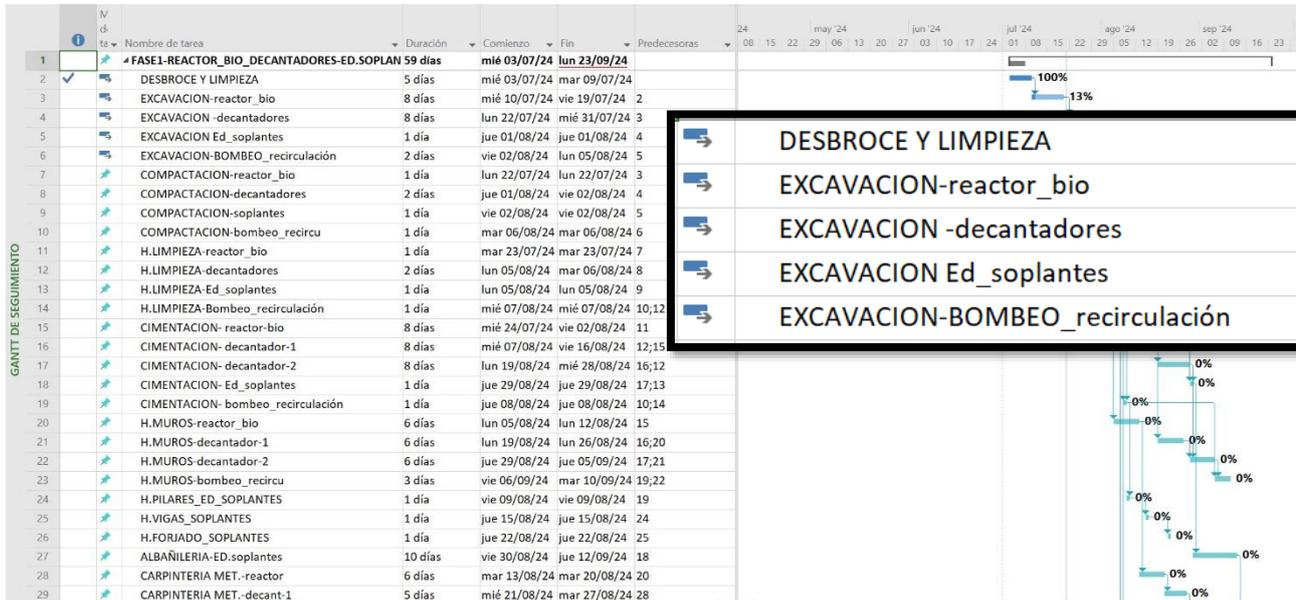


FIGURA 7.6- ARCHIVO DE MS PROJECT CON LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

A lo largo del proceso de la planificación podemos ir comprobando que la extensión de SketchUp nos funciona correctamente y podemos ir comprobando los plazos del proyecto, su evolución y lo que debería estar ejecutado a la fecha establecida.

Hemos hecho dos pruebas con fechas (07-21-2024 y 09-20-2024) y nos da un porcentaje aproximado que nos deja ver las construcciones que deberían estar ejecutadas.

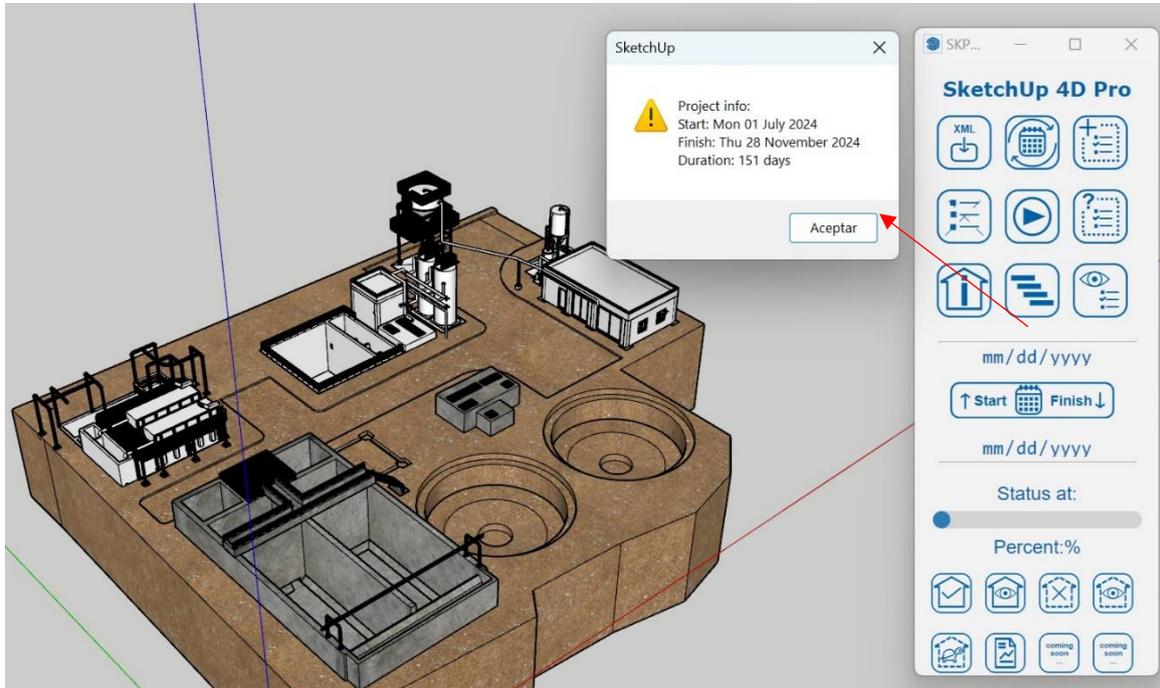


FIGURA 7.7- SOLICITUD DE INFORMACION A LA EXTENSION DE LA DURACION DEL PROYECTO

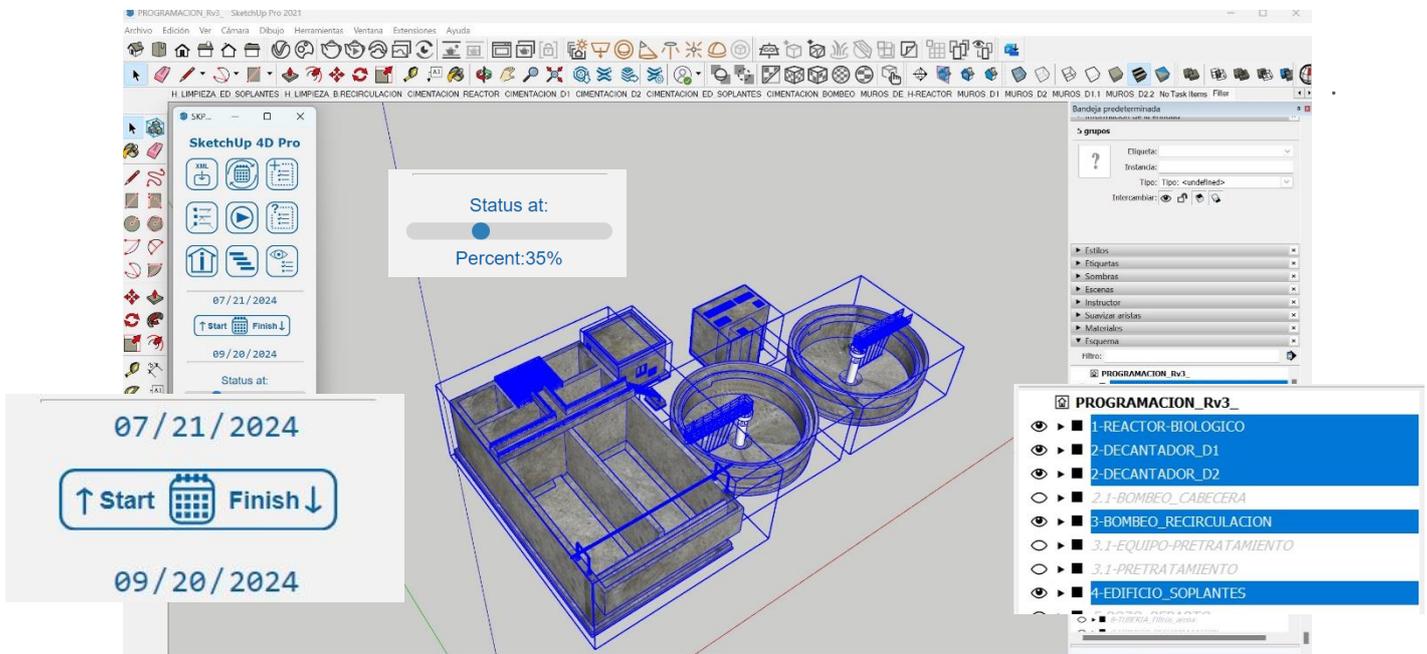


FIGURA 7.8-CONTROL DE FECHA DE LA EVOLUCION DEL PROYECTO EN UN PERIODO DETERMINADO



Y la segunda prueba la hacemos con fechas de inicio y casi de final de la obra (07-21-2024 y 09-20-2024) y comprobamos nuevamente.

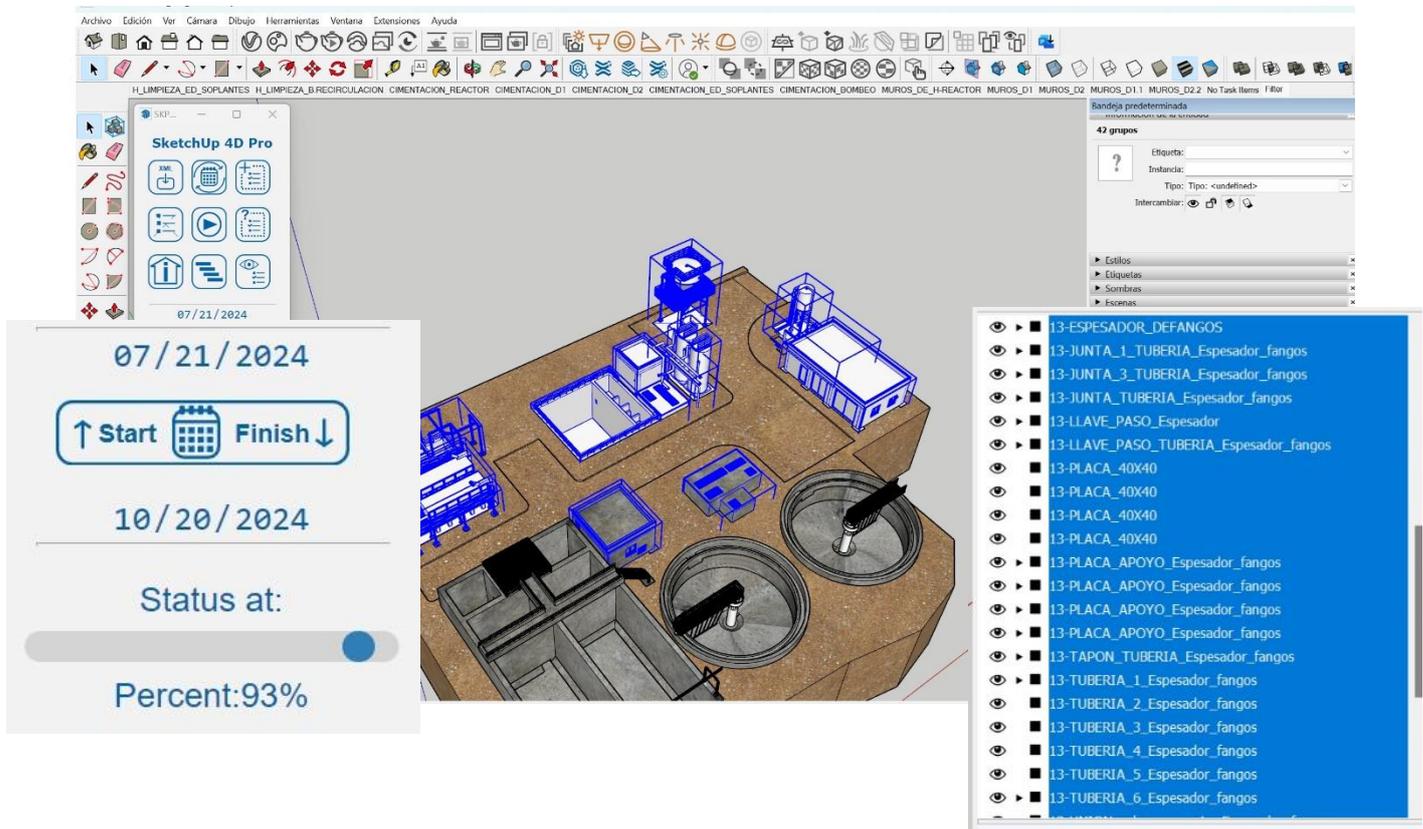


FIGURA 7.9- CONTROL DE FECHA DE LA EVOLUCION DEL PROYECTO EN OTRAS FASES

Podemos observar que la obra esta llegando al 100% de la ejecución y en la imagen 7.9 podemos ver la información de las tareas avanzadas, el proyecto esta casi en la finalización y la aplicación nos muestra todo lo ejecutado en la nueva revisión.

También se puede realizar el control de una sola parte del proyecto si nos interesa saber únicamente como evoluciona una sola construcción con la extensión de SketchUp, lo podemos conseguir.

En esta parte del plugin nos ayuda a comprobar que las tareas las tenemos bien asignadas, de tal forma que no de objeto de error la planificación o el control de la evolución del proyecto.

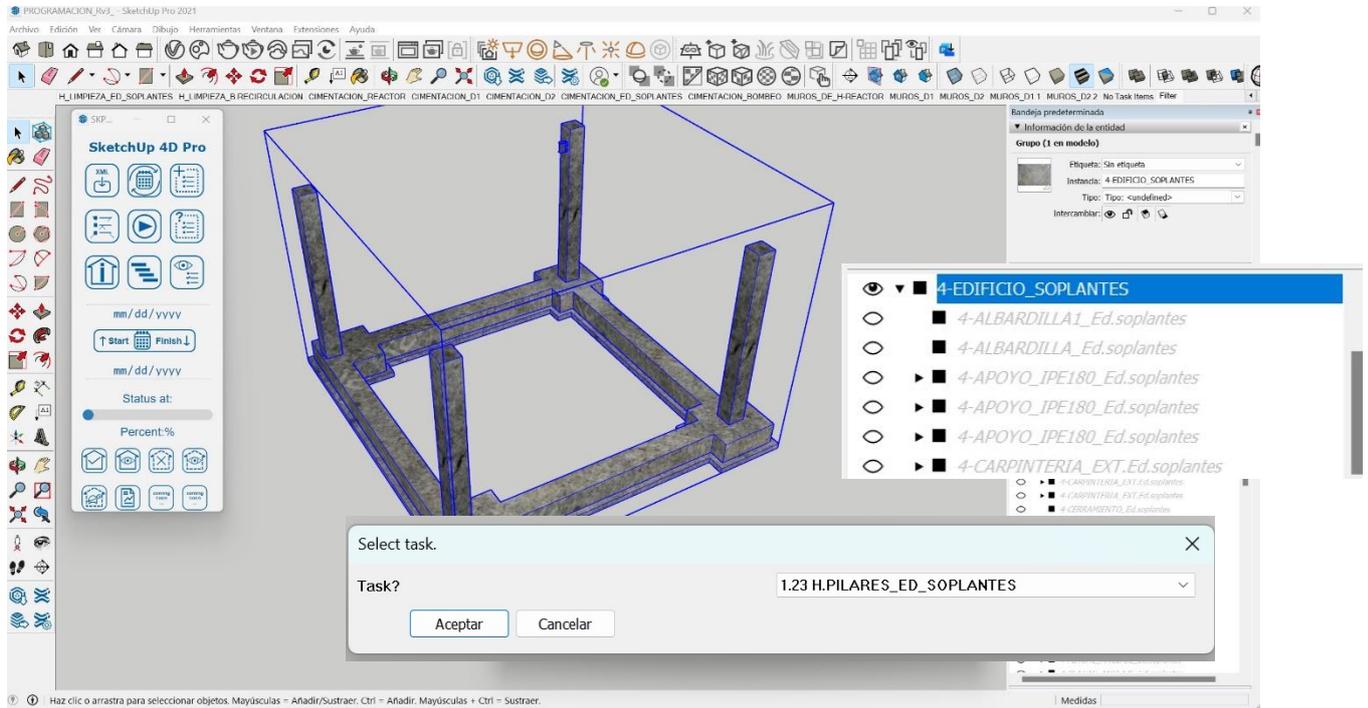


FIGURA 7.10- CONTROL DE FECHA DE LA EVOLUCIÓN DEL PROYECTO DE UN UNICO ELEMENTO “EDIFICIO DE SOPLANTES”.

Tambien podemos ver la evolución del proyecto, una vez hemos cargado el XML a la aplicación, movemos el cursor del “Status de la obra” y vemos como va evolucionando en el tiempo.

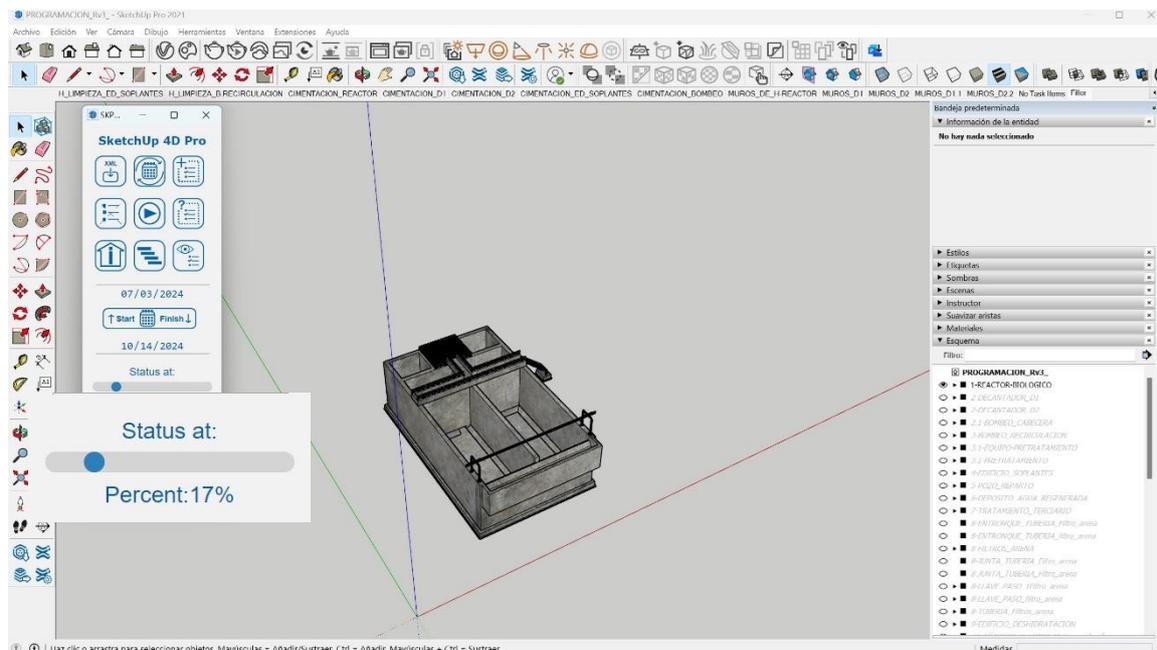


FIGURA 7.11- CONTROL DE LA EVOLUCIÓN DEL PROYECTO UTILIZANDO EL CURSOR “STATUS” OBRA AL 17% DE EJECUCION

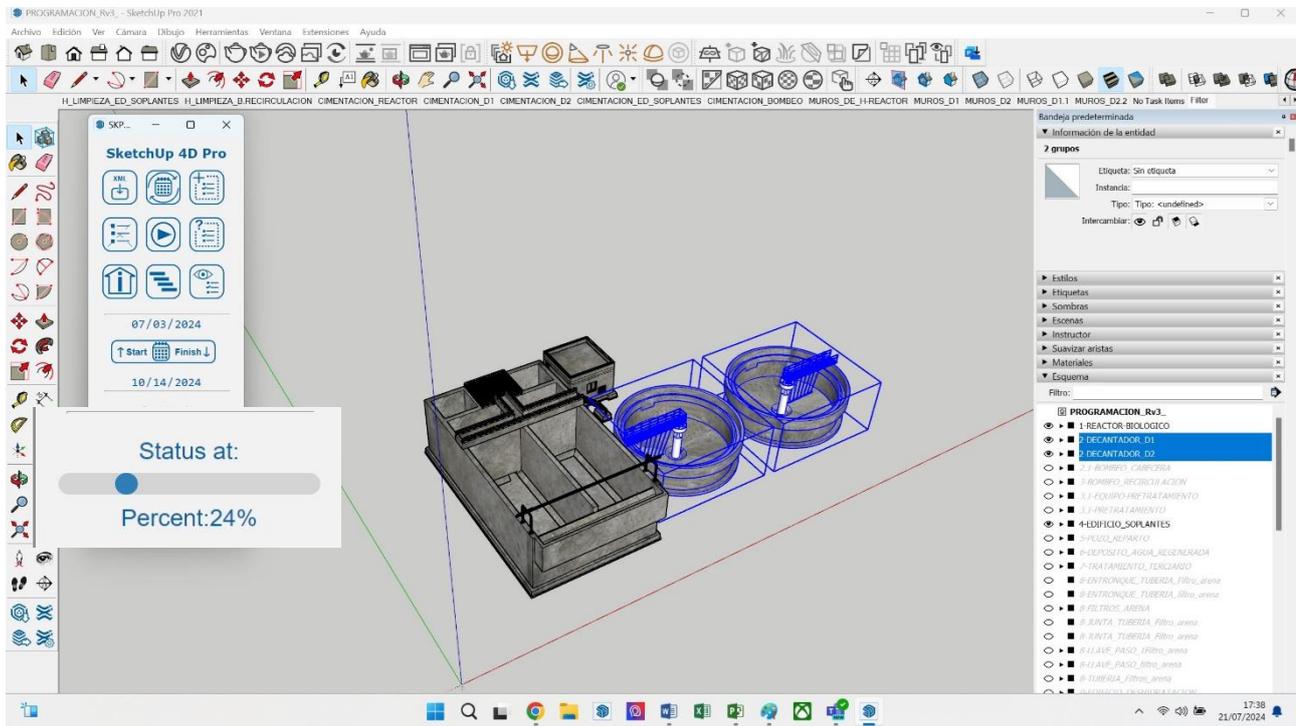


FIGURA 7.12- CONTROL DE LA EVOLUCIÓN DEL PROYECTO UTILIZANDO EL CURSOR "STATUS" OBRA AL 24% DE EJECUCION

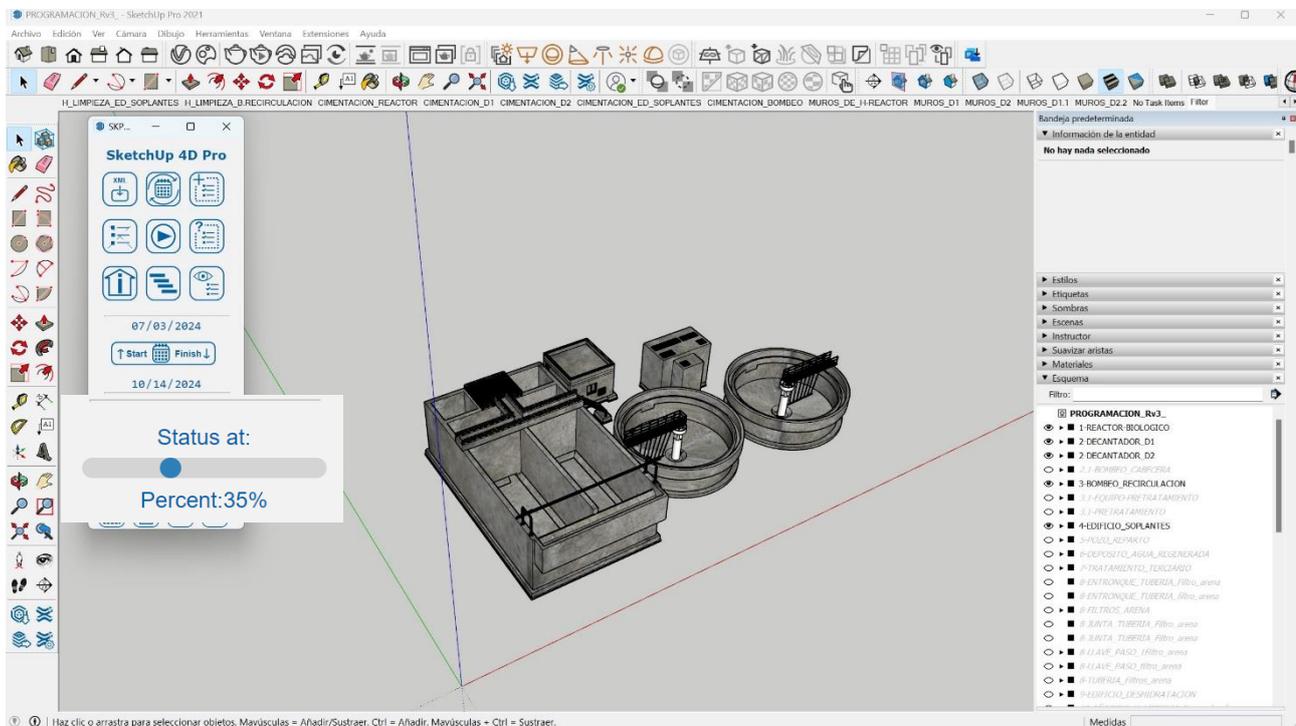


FIGURA.7.12-CONTROL DE LA EVOLUCION DEL PROYECTO UTILIZANDO EL CURSOR"STATUS" OBRA AL 35% DE EJECUCION



## 8 CONCLUSIONES

Una vez desarrollado el proceso constructivo del proyecto, EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) de Calvia Mallorca, basándonos en una metodología que no se puede llegar a llamar metodología BIM, porque carece de herramientas como las que tienen los programas creados exclusivamente para este método de trabajo hemos llegado a las siguientes conclusiones:

EL desarrollo del proyecto con SketchUp, hemos conseguido el objetivo buscado, la vinculación de un modelado 3D con una planificación. Dicha planificación ha sido hecha mediante MS Project, aunque también se puede realizar con Gantt Project, o algún programa utilizado en la planificación de proyectos de construcción y obra civil.

Se ha comprobado que utilizando este programa (SKP) también podemos ver cosas de la planificación al igual que lo que nos ofrecen otros programas, de uso exclusivo para BIM, por ejemplo:

- Identificar conflictos de tareas.
- Simultaneidad de trabajos, que generan retrasos.
- Colisión de instalaciones como son los conductos de aire, bandejas de instalaciones eléctricas entre otras tareas.

Además, esta aplicación permite realizar proyectos de cualquier dimensión en términos de tiempos y tareas. Por otra parte, el aspecto de la accesibilidad que ofrece a técnicos autónomos, quienes, sin necesidad de realizar una gran inversión económica, pueden utilizar esta herramienta para sus pequeños proyectos.

Finalmente comentar la facilidad que tiene SketchUp para su uso y aprendizaje, es un programa que el usuario puede aprender de forma intuitiva y rápida, ya que permite crear cualquier elemento de forma fácil y rápida.

En nuestro caso la parte de obra civil e instalaciones ha sido muy práctico para modelar, aunque consideramos que en otros campos profesionales su aplicación es igual de práctica para poder trabajar y desarrollar cualquier elemento de la industria.



## 9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Angulo, R., 2015. Digital models applied to the analysis, intervention and management of architectural heritage Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations. WIT Transactions on The Built Environment, Vol 149. doi:10.2495/BIM150341.

Della Torre S., 2017. Un bilancio del progetto BHIMM. In S Della Torre (ed.) Built heritage information modelling management/ modellazione e gestione e delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente. Sistema editoriale Ingenio

Dore, C.; Murphy, M., 2012. Integration of HBIM and 3D GIS for digital heritage modelling. In Proceedings of the Digital Documentation International Conference, Edinburgh, Scotland, 22–23 October 2012.

Dore, C., Murphy, M., 2017. Current State of the Art Historic Building InformationModelling. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2017, 42, 185–192.

Klein, L., Li, N., Becerik-Gerber, B., 2012. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. Autom. Constr. 2012, 21, 161–171.

León-Robles, C.A., Reinoso-Gordo, J.F., González-Quiñones, J.J., 2019. Heritage Building Information Modeling (H-BIM) Applied to A Stone Bridge. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2019, 8, 121. doi:10.3390/ijgi8030121.

López, F.J., Lerones, P.M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J., Zalama, 2017. E. A Framework for Using Point Cloud Data of Heritage Buildings Toward Geometry Modeling in A BIM Context: A Case Study on Santa Maria La Real de Mave Church. Int. J. Archit. Heritage 2017, 11, 965–986.

Mahdjoubi, L., Moobela, C., Laing, R, 2013. Providing real-estate services through the integration of 3D laser scanning and building information modelling. Comput. Ind. 2013, 64, 1272–1281.

Murphy, M., McGovern, E., Pavia S., 2009. Historic building information modelling (HBIM). Structural Survey vol. 27, n. 4, 311-327.

Murphy, M.; McGovern, E.; Pavia, S., 2011. Historic building information modelling-adding intelligence to laser and image based surveys. ISPRS Int Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., 3816, 1–7.

Murphy, M., McGovern, E., Pavia S., 2013. Historic building information modelling – Adding intelligenc to laser and image based surveys of European classical architecture. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 76, 89-102.

Nieto, J.E., Moyano, J.J., Delgado, F.R., García, D.A., 2016. Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling. Virtual Archaeol. Rev. 2016, 7, 1–12.



Oreni, D., Brumana, R., Georgopoulos, A., Cuca, B., 2013. HBIM for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden beam floors. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2013, 5, 215–221.

Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Previtali, M., 2014. Survey turned into HBIM: The restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2014, 2, 267–273.

Oreni, D., Brumana, R., Banfi, F., Bertola, L., Barazzetti, L., Cuca, B., Roncoroni, F., 2014. Beyond Crude 3D Models: From Point Clouds to Historical Building Information Modeling via NURBS; EuroMed: Limassol, Cyprus, 3–8 November 2014, 166–175.

PMI-Project Management Institute, 2017. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK® Guide*

Quattrini, R., Malinverni, E.S., Clini, P., Nespeca, R., Orlietti, E., 2015. From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2015, 40, 367.

Scandurra S., Pulcrano M., Tarantino C., Di Luggo A., 2017. H-BIM Modeling and Historical Reconstruction of Architectural Heritage. *Dn n.1/2017*, 6-18.

Experiencia docente colaborativa entre universidades. Desarrollo de un modelo 3D BIM = Collaborative educational experience between universities. Development of a 3D BIM model (Valverde Gascueña et al., 2018)