



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

Modelado BIM de un edificio singular

Un paso hacia el Nivel 2

Autor:

Cancho Montoya, Carlos

Tutor:

**Zulueta Pérez, Patricia
CMeIM/EGI/ICGF/IM/IPF**

Tutor externo:

Castro Minguela, Miguel

Valladolid, julio de 2016

Resumen / Abstract

En un mundo globalizado, en el que una gestión eficiente de los recursos supone una gran ventaja competitiva, nacen las metodologías BIM. Irrumpiendo con fuerza en sectores como la arquitectura, la ingeniería y la construcción, están pasando de ser el futuro a ser una realidad más que necesaria. En el presente Trabajo Fin de Grado (TFG), se ha desarrollado una metodología mediante la cual se gestionan tanto el tiempo como los costes de un proyecto singular, como es el Centro Cívico de Parquesol en Valladolid, mediante el uso de BIM.

Basándose en los resultados obtenidos se entenderá la importancia de adaptarse a los cambios en lo que a la gestión de proyectos se refiere. En este caso BIM es el líder destacado.

We live in a globalised world, where the efficient management of resources leads to a competitive advantage and BIM (Building Information Modelling) helps to maximise the efficiency of the resources used in a construction project.

BIM has become the key methodology to model, manage and construct infrastructures, buildings and engineering services within the construction industry. This Final Year Project has developed a methodology that allows us to manage a 5D BIM Project of an existing building (Centro Civico Parquesol) in which the cost estimation and the sequence of construction have been simulated using BIM technologies.

Based on the results obtained out of this Final Year Project we now understand why BIM is becoming the industry trend in terms of project planning, construction and management

Palabras clave / Key words

BIM, Revit, Arquímedes, MS Project, Navisworks, planificación- presupuesto.

BIM, Revit, Arquímedes, MS Project, Navisworks, planning-budget.

Índice

1. Introducción y objetivos	7
2. Características de BIM	9
2.1 ¿Qué es BIM?	9
2.2 El origen de BIM	10
2.3 Los niveles de BIM. LOD	11
2.3.1 Level of Detail vs Level of Development	12
2.4 Tecnología BIM	13
2.5 Ventajas y desventajas de trabajar con BIM	15
2.5.2 Ventajas	15
2.5.3 Inconvenientes	19
2.6 La elección del software	21
2.6.1 Revit (Autodesk)	21
2.6.2 Arquímedes (CYPE)	22
2.6.3 Cost It (Presto)	23
2.6.4 MS Project	23
2.6.5 Navisworks (Autodesk)	23
2.6.7 Motivos de la elección	24
3. Modelado arquitectónico y estructural	25
3.1 Consideraciones previas	25
3.2 Modelado del edificio	26
3.2.1 Interfaz de usuario de Revit	26
3.2.2 Modelado arquitectónico y estructural	28
4. El presupuesto (5D)	39
4.1 Introducción	40

4.2 Complemento Revit-Arquímedes	41
4.3 Asignación de partidas a elementos del modelo	43
4.3.1 Obtención de una partida nueva	45
4.3.2 Proceso de asignación	47
4.3.3 Unidades	48
4.3.4 El presupuesto	50
5. El control de obra (4D)	53
5.1 Generalidades	53
5.2 Arquímedes y el control de obra	53
5.3 Construyendo el diagrama de Gantt	57
5.3.1 El rendimiento	59
5.3.2 Relaciones de dependencia	61
6. MS Project, el puente de unión	63
6.1 La necesidad de MS Project	63
6.2 Obtención del archivo de MS Project	64
7. Navisworks, la simulación	67
7.1 Obtención del modelo 3D en Navisworks	67
7.2 El diagrama de Gantt en Navisworks	68
7.3 Enlazando elementos del modelo a tareas	71
7.4 Opciones sobre las tareas	74
7.4.1 Aclaraciones	75
7.5 La simulación	78
8. Conclusiones	81
9. Líneas futuras	83
9.1 El mantenimiento (6D)	83
10 Bibliografía referenciada y normativa consultada	85

1. Introducción y objetivos

El objetivo principal que se pretende alcanzar a través de este TFG, es desarrollar una metodología de trabajo BIM, con el fin de gestionar tanto el control de obra como el presupuesto de la misma. Para ello es necesario ir completando una serie de objetivos intermedios, o pasos necesarios para lograr dicho fin.

En un principio se explicará en qué consiste este tipo de metodología, acompañado de las diferentes herramientas de software utilizadas. Una vez expuestas estas consideraciones, el siguiente paso es obtener un modelo en 3D del edificio mediante el uso de *Revit de Autodesk*, para continuar por el cálculo del presupuesto del mismo, a través del software de *Arquímedes de CYPE*, gracias al cual se consigue también un diagrama de tiempos y actividades. Todo ello sin abandonar en ningún momento una metodología de trabajo BIM. Por último será necesario emplear un tercer programa informático, como es *MS Project*, con el fin de transvasar información hasta un cuarto, *Navisworks*. Mediante esta última herramienta se logrará acceder a una simulación de la construcción del edificio en la que participarán tanto los datos relativos a los tiempos, como a los costes.

Todo ello supone una introducción hacia lo que en BIM se conoce como el Nivel 2, lo que significa trabajar con modelos tridimensionales paramétricos que dejan de ser una mera representación gráfica, para pasar a ser la fuente principal de información del proyecto.

2. Características de BIM

Con el fin de desarrollar los objetivos anteriormente descritos, se utilizará un software BIM. A través de dicho software se podrá calcular: por una parte la planificación de la obra, y por otra el presupuesto de la misma.

A continuación se describe una pequeña introducción a lo que supone trabajar con una metodología basada en BIM, así como una breve explicación de las diferentes alternativas que, a nivel de software, se han mencionado con anterioridad, junto con los motivos que han marcado su elección.

2.1 ¿Que es BIM?

Según la Real Academia Española un modelo es un “arquetipo o punto de referencia para ser imitado o reproducido”. Con esta definición como referencia lo que se pretende alcanzar con el modelo BIM es que el mismo sea lo más cercano a la realidad, es decir, que contenga toda la información posible.

El significado del acrónimo BIM no es otro que Building Information Modeling. A pesar de ser un término que está a la orden del día, es curioso observar cómo, dependiendo de la fuente a la que se dirija el interesado, obtendrá una definición u otra del mismo. Las definiciones van desde un tipo de software, pasando por una serie de datos de un edificio, organizados en una base de datos, hasta llegar a que BIM no es más que un modelo en 3D del edificio. En este punto es necesario remarcar que BIM es todo eso, y aún más.

En el momento que se empieza a trabajar en BIM el primer paso es construir un modelo 3D del edificio, instalación, etc. En él quedarán definidas las geometrías de los diferentes componentes. Ahora bien, lo que hace que ese modelo sea considerado como modelo BIM es el hecho de que los elementos que lo componen poseen las características físicas y lógicas de los elementos reales. Esto permite analizar su comportamiento, antes de la puesta en servicio, en un entorno virtual.

Por otro lado, los grandes avances en telefonía móvil están permitiendo el desarrollo de una nueva fase, en lo que al impacto de BIM en la sociedad se refiere. Tanto es así que los técnicos empiezan a tener acceso a los modelos desde sus dispositivos móviles, lo que permite solucionar problemas a distancia o de una forma mucho más eficiente al menos.

2.2 El origen de BIM

Una forma sencilla de entender cómo han evolucionado los métodos de trabajo hasta desembarcar en los modelos BIM es recordar una serie de hechos históricos. No es necesario remontarse demasiado en el tiempo, basta con retroceder hasta la década de los setenta del siglo pasado.

Es en el año 1975 cuando se consigue por primera vez, y gracias al uso de ordenadores, obtener plantas o secciones a partir de un modelo 3D del edificio. [5] A raíz de este hecho se inicia, en la Universidad Carnegie Mellon (Pittsburgh, Pensilvania) el desarrollo del denominado BDS (Building Description System), cuya traducción al castellano significa Sistema de Descripción de un Edificio. [6]

Dependiendo del lugar al que llegó este desarrollo se le denominó de una forma u otra. De este modo en EE.UU se le conocía como BPM (Building Product Models). Fruto de estas dos visiones surgió lo que hoy conocemos como “Building Information Modeling” (BIM). La primera vez que se hace referencia a dicho término en un texto es en el artículo redactado por Van Nederveen y Tolman, del Departamento de Ingeniería Civil de la Delft University of Technology (Países Bajos), en el año 1992. [4]

El siguiente paso en la evolución de BIM tal y como lo conocemos hoy se da en el año 1987, con el desarrollo del concepto de edificio virtual. Los responsables de este hito son Graphisoft Archicad, con sede en Budapest, Hungría. Posteriormente, en 1994, se crea la AIA (International Alliance of Interoperability) en los Estados Unidos, cuyo propósito es fundar un consorcio de empresas. El objetivo de esta alianza será el desarrollar una serie de aplicaciones de forma integral, basadas en un lenguaje C++. Esto da lugar al primer estándar de intercambio, el IFC (Industry Foundation Classes).

Más recientemente, en 2003 concretamente, las organizaciones Public Building Service (PBS), Office of Chief Architect (OCA) y GSA (General Services Administration) establecen el programa nacional 3D-4D-BIM en EE.UU. Dos años más tarde, en 2005, la IAI pasa a llamarse Building Smart (EE.UU).

A partir del año 2007 GSA (EE.UU) solicita la entrega, como mínimo, del modelo 3D en BIM a todos aquellos proyectos, de gran envergadura, que sean susceptibles de obtener financiación.

En una fecha más cercana aun, en 2011, Cabinet Office UK redacta el Plan Nacional para la utilización de BIM en todos los proyectos públicos. Esto incluye las diferentes fases de introducción con el fin de alcanzar el nivel 2 de BIM en el año 2016, del que ya se hizo una pequeña introducción y que se desarrollara más tarde.

2. Características de BIM

Al cabo de un año, Building Smart Finlandia publica la serie COBIM, Common BIM Requirements 2012. Lo que pretende es abordar los requerimientos BIM para proyectos, tanto de nueva construcción, como renovaciones. Estos requerimientos incluyen la gestión de la operación de los mismos.

En ese mismo año, 2012, la Autoridad de Edificación y Construcción (Building and Construction Authority (BCA) de Singapur publica la Guía BIM. Además le otorga carácter obligatorio a la entrega de proyectos BIM en arquitectura para el año 2013 y de instalaciones y estructuras para el 2014. [6]

Dos años después, en 2014, se ha publicado en España una guía de adaptación del COBIM Finlandés, adaptada a la normativa y estándares vigentes en nuestro país.

2.3 Los niveles de BIM. LOD

No existe una solución única a la hora de implementar BIM en un proyecto de construcción. Dichas soluciones quedan recogidas en lo que se denomina “Modelo de madurez BIM”, desarrollado por Mervyn Richards y Mark Bew. La figura 2.1 muestra un ejemplo gráfico de este modelo de madurez. [2]

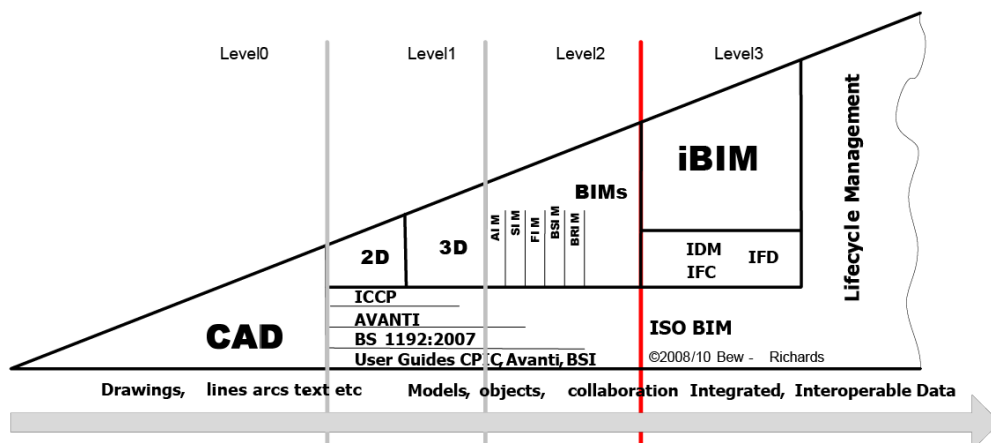


Figura 2.1 Modelo de madurez BIM de Richards y Bew. [2]

Este modelo describe cuatro niveles fundamentales de madurez, los cuales se describen a continuación:

Nivel 0: Orientado a Documentos.

Se trata de un nivel en el que no se utiliza ningún tipo de objeto digital. Las herramientas de trabajo son algún programa CAD, para la parte de documentación gráfica (2D), junto con una hoja de cálculo, para realizar las

2. Características de BIM

operaciones necesarias. Como consecuencia de esta forma de trabajar nos encontramos con dibujos y documentos en papel.

Nivel 1: Orientado a Objetos.

La primera etapa de implementación de BIM lleva asociado el trabajo con objetos en 3D. Dichos objetos se desarrollan en un ambiente virtual gracias al empleo de algún software de diseño. No obstante el hecho de trabajar con este tipo de objetos no excluye el empleo de representaciones en 2D, siempre y cuando a estas se relacionen de alguna manera con el modelo 3D.

En este nivel aun no se establece relación entre el objeto y los parámetros de tiempo (4D) y mediciones, presupuestos (5D), dentro del modelo BIM.

Nivel 2: Colaboración.

Llegados a este punto en el nivel de implantación de BIM lo que sucede es que se combina y comparte toda la información. Es decir, todas las bases de datos implicadas, todos los modelos individuales, quedan a disposición de los diferentes grupos de trabajo. Se puede decir que hay un modelo general compartido entre los miembros de una misma organización. Por otro lado se introducen los parámetros temporales (4D) y de costes (5D) al modelo.

Nivel 3: Integración, Ciclo de vida.

Por el momento es la culminación de la implementación de un sistema BIM en una empresa. Se trata no solo compartir la información entre los miembros de una organización, sino de hacerlo con otras empresas también. La forma de llevarlo a cabo es trabajar con estándares abiertos (Open BIM), a través de servidores virtuales o mediante la colaboración en línea. Todo este nivel de desarrollo implica a su vez el trabajar con entregables fuera de lo común. Se trata de archivos en base a objetos que contienen información inteligente.

2.3.1 Level of Detail vs Level of Development.

Cuando se hace referencia al término LOD hay que tener en cuenta que su significado no es único. Por un lado se asocia al acrónimo inglés Level of Development (Nivel de desarrollo), y por el otro a Level of Detail (Nivel de detalle). Es necesario remarcar que existen diferencias significativas entre ambos.

En un primer lugar, y fruto de la necesidad por comparar el coste de los diferentes modelos BIM, surgen las primeras aplicaciones de control de costes en el ámbito de la construcción. Estos fueron los primeros LOD, cuyo significado era Level of Detail (nivel de detalle).

2. Características de BIM

Al cabo de poco tiempo, la AIA (American Institute of Architects) decidió que este sistema podría ser una opción muy satisfactoria a la hora de valorar la calidad de un modelo BIM. Es en este momento donde aparece la segunda definición de LOD. La AIA cambia el significado de "Nivel de detalle" por el de "Nivel de desarrollo" (Level of Development).

Más importante que el significado del acrónimo, el hecho de cambiarlo lleva implícita una consecuencia fundamental. Ya no se trata de valorar la cantidad de información del modelo, si no la utilidad de la misma.

La cantidad y la calidad de la información es una forma de ponderar su veracidad y el modelo debe de contener tanta como sea necesario para satisfacer el nivel de LOD de cada proyecto.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones podemos clasificar los diferentes niveles de desarrollo en:

LOD 100 - Es el nivel más bajo. Se basa en un diseño conceptual donde el modelo contendrá básicamente el volumen, la orientación y el área del edificio. Es muy generalista.

LOD 200 - En este caso, aun estando dentro de una visión general, el modelo contiene información acerca de magnitudes, tamaño, forma, localización y orientación. Su función es incrementar la capacidad de análisis, pero las mediciones son aproximadas, nunca definitivas.

LOD 300 - Se trata de un nivel en el que la información y la geometría del modelo ganan en precisión, a falta de definir algún detalle constructivo. En el caso de las mediciones también es más preciso que el nivel anterior, sin llegar a ser exacto.

LOD 400 - Si el modelo alcanza este nivel se puede afirmar que contiene el detalle necesario para la construcción, así como que las mediciones son exactas.

LOD 500 - Este es el último nivel de desarrollo. En él, el modelo ha sido construido, por lo que se trata de las condiciones conforme a obra. La información contenida en el modelo hace que este sea adecuado para el mantenimiento y el funcionamiento de las instalaciones.

2.4 Tecnología BIM

Ya se ha mencionado anteriormente a que hace referencia el término BIM. Se trata de una forma de trabajar en la que una serie de herramientas utilizan toda la información referente a un edificio de manera continua y coordinada.

2. Características de BIM

Para ello dichas herramientas comparten una o varias bases de datos compatibles.

Para lograr el objetivo de esta metodología de trabajo lo apropiado es utilizar una tecnología orientada a objetos, que ayude a reducir los modelos existentes, y que permita una relación automática entre ellos. Todo ese trabajo es el que realizan las diferentes aplicaciones desarrolladas para trabajar en un entorno BIM. En este caso los objetos son entidades perfectamente definidas, con todas sus características, que después se muestran a través de todo tipo de vistas especializadas, a diferencia de lo que en principio podrían parecer meras representaciones.

Por lo tanto se puede definir una aplicación BIM como aquella que emplea objetos paramétricos como material de trabajo, cuyo origen es muy diverso, y que tienen la capacidad de relacionarse entre ellos. Además esta metodología de trabajo permite extraer todo tipo de información de estos objetos, destacando por encima del resto las representaciones gráficas. A pesar de ello, no se puede despreciar toda la información de tipo numérico que aportan estos modelos.

Cuando se hace referencia a los modelos BIM más completos estos pueden acoger las disciplinas principales de la construcción: Arquitectura, Estructuras, Instalaciones, Control de costes, Presentación y Diseño Energético. Si se trata de otros casos, la forma de trabajar es mediante conexiones con aplicaciones especializadas que permiten exportar el modelo BIM. En función del grado de apoyo multidisciplinar de cada aplicación BIM, los distintos expertos podrán trabajar en mayor o menor grado directamente sobre el modelo BIM. Esto hace que la forma de trabajo sea más eficaz debido a que el Modelo de Información hace las veces de coordinador entre los diversos profesionales. Estos podrán incluir sus objetos al modelo o aportar diferentes vías de comunicación.

El Modelo de Información que gestiona una aplicación BIM está compuesto por una serie de objetos que se parametrizan mediante una interface que los conceptualiza y que asiste en su creación con multitud de variables preestablecidas en relación a la naturaleza del elemento que se quiere crear. Después, se necesitará una interface gráfica que permita editarlo dinámicamente. Así, ya no se modelan representaciones, sino que se modela el objeto en sí mismo cubriendo el máximo de facetas.

Una vez que se consigue parametrizar un objeto, se puede vincular la relación que tiene este con el resto relacionando unas variables con otras. De esta manera, no solo se automatiza la transmisión de las influencias que tienen los objetos entre sí, sino que se posibilita su diseño en relación al resto y que

objetos de diferentes disciplinas puedan interactuar entre ellos. Esto no quiere decir que se limite al usuario al uso de estos objetos, ya que en cualquier momento se puede crear uno, paramétrico o literal, para resolver casos concretos.

Las representaciones de los diferentes aspectos pueden automatizarse ya que todas provienen del mismo modelo consiguiendo que siempre estén coordinadas entre sí y actualizadas. Cada aplicación dispone de diferentes mecanismos de personalización de estas representaciones, de tal manera que pueda mostrarse lo que se desea y con un grafismo adecuado. Las posibilidades de una vista no se limitan al campo de las representaciones gráficas, sino que también cubre otro tipo de representaciones de tipo alfanumérico, como tablas, esquemas, leyendas, etc.

Para una aplicación BIM todo está al mismo nivel, ya que los objetos no solo contienen información formal sino también de cualquier otro tipo. [1]

2.5 Ventajas y desventajas de trabajar con BIM

2.5.1 Ventajas

El hecho de que los diferentes profesionales, ya sean diseñadores, constructores o gestores, trabajen sobre un solo modelo hace que el flujo de información entre ellos obtenga como resultado una gran base de datos. A diferencia del modelo clásico, el disponer de toda esta información en un único modelo permite al responsable de la gestión del edificio emplear los datos almacenados en él a lo largo del ciclo de vida. De este modo todo aquel que esté implicado en cualquier etapa de dicho ciclo trabajara de forma más eficiente, lo que acarrea la posibilidad de generar unos ingresos mayores con su explotación.

Por lo tanto el hecho de modelar un edificio lleva asociado una serie de consecuencias como son la innovación, una estrecha cooperación entre las partes implicadas y la posibilidad de ahorrar recursos tanto económicos, materiales como humanos a lo largo del ciclo de vida. [7]

De forma más concreta se pueden mencionar:

- **Dibujo 2D vs Modelado:** a diferencia del dibujo en 2D un modelo permite descubrir problemas de diseño en fases tempranas. Esto se debe a la posibilidad de ver el edificio desde cualquier perspectiva, cosa que con un plano convencional no ocurre. Además se debe mencionar que los costes en los que se incurre para solucionar un problema si se ha detectado pronto son mucho menores que en caso contrario, como muestra la Figura 2.2. Se trata por tanto de un diseño

2. Características de BIM

paramétrico que permite ahorrar tiempo al definir diferentes partes del diseño a la vez.

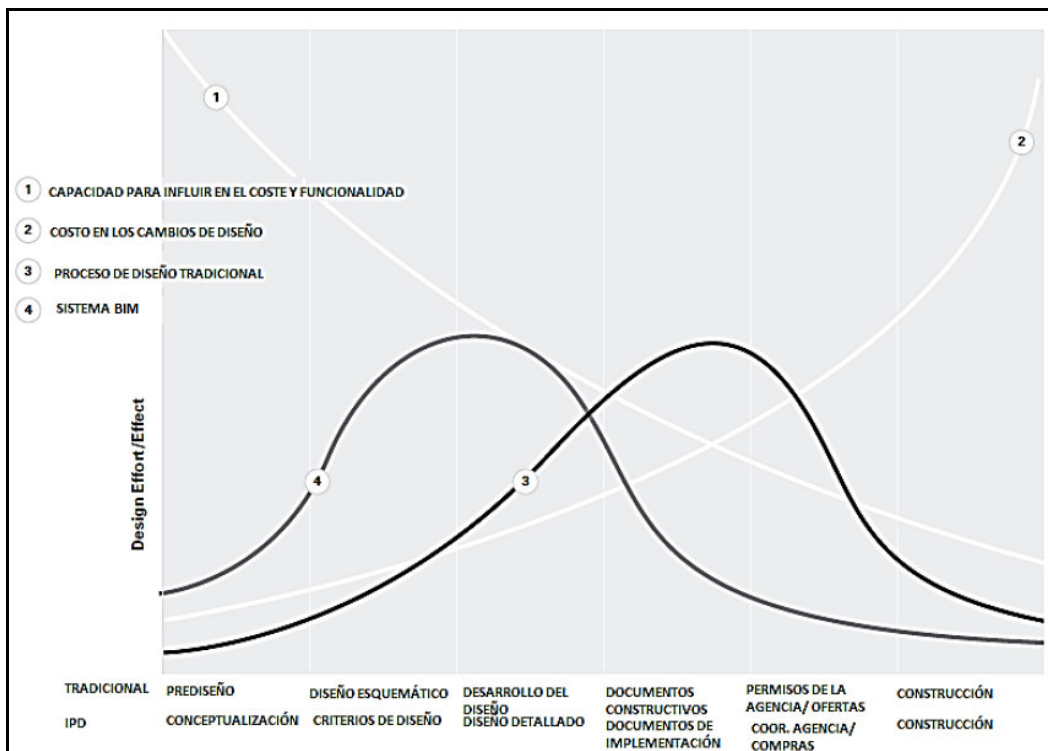


Figura 2.2 Comparativa de costes entre modelo tradicional de diseño y sistema BIM, en las diferentes fases del proyecto.

- **Elementos paramétricos:** en este punto se trata de disponer de un elemento genérico que contiene una serie de rangos predefinidos. El hecho de trabajar con elementos de estas características hace que la adaptación de de los mismos a las diferentes necesidades sea muy sencilla. Ya que se trabaja con diferentes aplicaciones sobre un mismo modelo.
- **Gestión de cambios:** si se realiza alguna modificación en cualquiera de los elementos del modelo esto afectara a todas las posibles vistas en las que el elemento se vea implicado. Además es posible advertir de los cambios a toda aquella persona que deba trabajar sobre el mismo modelo.
- **Aprovechamiento de los datos:** cabe recordar que el modelo BIM se puede asemejar a una gran base de datos que contiene información de todo tipo. Esta información va desde propiedades físicas, hasta precios, pasando por materiales, etc. Estos datos permiten la creación de tablas de planificación de materiales que podrán ser modificados fácilmente. Si dichas tablas se conforman de una manera eficaz, esto

2. Características de BIM

permitirá a los encargados de diseñar el modelo proyectar los materiales antes de que finalice la construcción de edificio a la vez que se realiza una gestión real y eficaz del mismo.

- **Mejora de la coordinación:** la gran ventaja de trabajar de esta forma es que cada elemento del modelo contiene toda la información referida al elemento constructivo. De esta forma cualquier persona que trabaje en el mismo modelo podrá acceder a dicha información y con ello gestionar la parte que le atañe dentro de todo el proceso. Gracias al uso de sistemas BIM cualquier modificación en el modelo, por parte de un integrante del equipo, estará a disposición del resto sin necesidad de recurrir a un tercer agente externo. Un gran ejemplo al respecto es la resolución de los encuentros entre los diferentes elementos del modelo. BIM reduce el tiempo necesario en resolver estos conflictos en el diseño del edificio lo que conlleva una reducción en el tiempo empleado para tal fin, así como una reducción de los costes asociados a estos cambios. La Figura 2.3 hace referencia a este hecho.
- **Mejora de la eficiencia:** una metodología BIM permite que el número de errores cometidos en el diseño del edificio sean menores. Una consecuencia que deriva inmediatamente de este hecho es que el número de reclamaciones es menor, como no podía ser de otra forma. Si las reclamaciones disminuyen el prestigio de la empresa se ve reforzado, lo que abre la puerta a nuevos proyectos e incluso nuevas vías de negocio.
- **Eficiencia en los plazos:** el objetivo principal de un equipo de diseño es proporcionar soluciones funcionales y creativas a los clientes. Si en vez de dedicar el tiempo de trabajo a este fin lo dedica a corregir errores y a rediseñar el modelo las consecuencias son negativas. Algunos ejemplos a destacar son la consecución de planos en 2D o la revisión del diseño. En el primer caso, si se trabaja con una solución BIM, todas las vistas y planos necesarios se pueden obtener del propio modelo, sin necesidad de realizar un dibujo aparte. En cuanto a la revisión del diseño, la única forma de que sea electrónica es so existe un único modelo, cosa que es posible gracias a BIM. Los posibles errores cometidos se pueden solventar de una forma más intuitiva y rápida, además de que su detección se realiza en fases más tempranas del diseño, donde es más fácil tomar medidas. Si la detección de estos errores es más tardía los costes asociados son mayores y los plazos de entrega se ven comprometidos.

Es importante mencionar que si se trabaja con dos modelos que están relacionados y alguno de ellos sufre una modificación, el otro modelo

2. Características de BIM

es consciente en todo momento de dicho cambio, por lo tanto la ventaja es evidente frente a una metodología convencional.

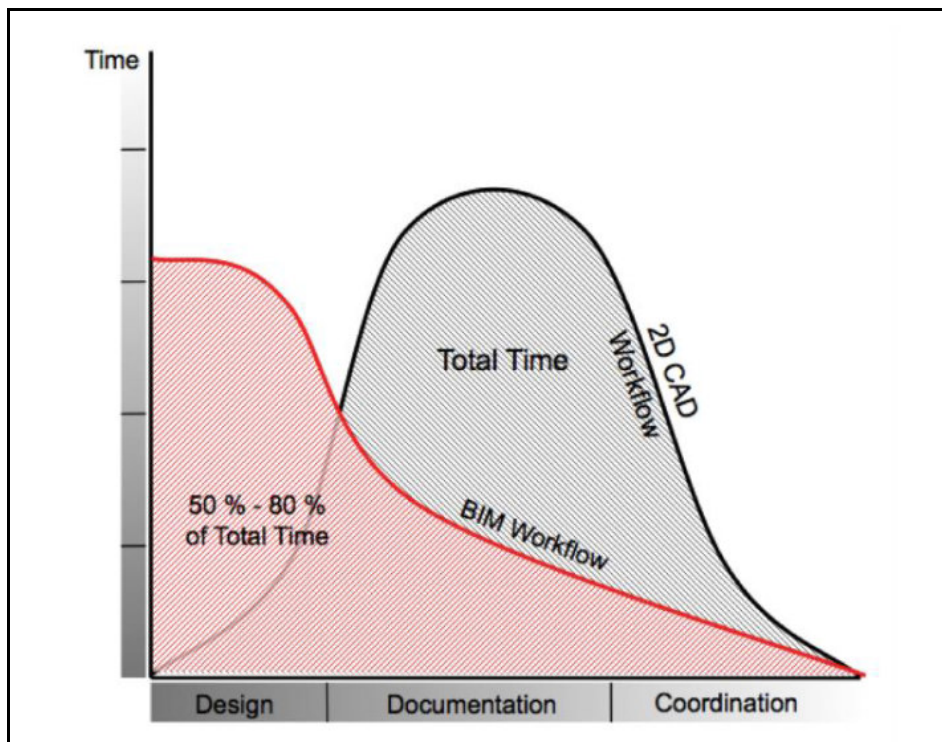


Figura 2.3 Tiempo de resolución de problemas según la metodología elegida [18].

- **Satisfacción del cliente:** este apartado es una consecuencia que deriva directamente de todo lo expuesto anteriormente. Si el equipo cumple los plazos y resuelve los problemas de manera eficiente y rápida, el cliente estará satisfecho. Pero no solo se trata de eso, si por otro lado, gracias a un modelo BIM, se es capaz de presentar de forma visual soluciones muy complejas no se pierde el tiempo en explicaciones y rediseños. Todo esto hace que el las posibilidades de que el cliente vuelva a contratar los servicios de la empresa se multipliquen, e incluso que la empresa sea recomendada para otros proyectos.
- **Gestión del mantenimiento:** el disponer de toda la información relacionada con el edificio en un solo modelo hace que los encargados de su mantenimiento puedan planear todas sus acciones con anterioridad, así como una posible remodelación y su impacto en lo que ya está construido. Se puede enfocar un mantenimiento predictivo y no correctivo, lo cual es mucho más eficiente a la hora de gestionar los gastos derivados del mismo.

2. Características de BIM

Todo esto proporciona un mantenimiento más fácil, rápido y con menos errores

- **Gestión de las instalaciones:** el organismo encargado de la explotación del edificio tiene la posibilidad de recopilar datos de su uso, y no solo del diseño y la construcción. Gracias a ellos el mantenimiento y toda la gestión de las acciones del día a día, como futuras, son más sencillas.

Según un estudio de Mc Graw Hill Construction, contratistas de todo el mundo que trabajan en los principales mercados, y que emplean BIM en sus diseños, afirman que el hecho de trabajar con BIM les ayuda a mejorar la productividad, la eficiencia, la seguridad y la calidad en sus proyectos, consiguiendo con ello una notable mejora en su competitividad. Aquellos que operan en mercados en los que el uso de BIM está establecido (Canadá, Francia, Alemania, Reino Unido y Estados Unidos), así como los que operan en mercados en fase inicial de adopción (Australia, Nueva Zelanda, Brasil, Japón y Corea del Sur) remarcan un retorno positivo de sus inversiones en BIM. Se trata de beneficios como la reducción de errores, la capacidad de avanzar en los procesos de colaboración, tanto dentro de la propia empresa como con el cliente y demás *stakeholders* (partes interesadas), así como la mejora de la imagen que proyecta la empresa. En lo que se refiere a la parte económica, el estudio también revela que las empresas que tienen implantada una metodología BIM logran mayores beneficios que aquellas que siguen un sistema clásico. El 40 % de estos contratistas que desarrollaron una metodología BIM de forma profunda declaran que las modificaciones en sus proyectos se redujeron significativamente, lo que contribuye, con una reducción de los costes, a unos mejores resultados económicos.[6]

2.5.2 Inconvenientes

Como no podía ser de otro modo, el trabajar siguiendo esta metodología tiene asociadas una serie de limitaciones. [7]

- **Coste del software y del hardware:** si la empresa en cuestión no trabaja con software BIM y sigue manteniendo un software CAD e 2D o 3D, los costes asociados al mismo serán los de la compra, y el mantenimiento y actualización de las licencias correspondientes. Por otro lado si se hace referencia al mismo tipo de costes, pero para un software BIM, estos se incrementan. A parte de esto cabe destacar que los requerimientos de hardware también son superiores.
- **Coste de la formación:** como no podía ser de otra forma, si se emplea un software nuevo en la organización es necesario formar al personal

2. Características de BIM

que se va a encargar de trabajar con él. Se trata de una formación especializada que lleva asociado un coste para la empresa. A pesar de ello si la decisión estratégica de la empresa es apostar por este tipo de software esto le puede reportar una ventaja competitiva. Cada vez es mas común el caso en el que el trabajar con BIM es un requisito, y no una opción.

Un ejemplo grafico de cómo afecta la inversión necesaria para la implementación de BIM en la productividad de la empresa se muestra a continuación en la Figura 2.4.

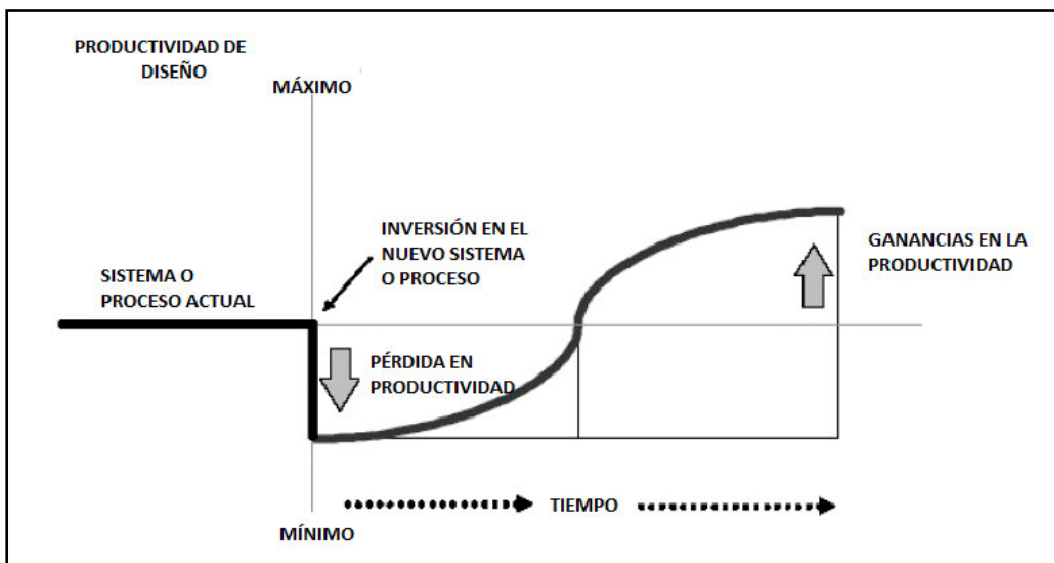


Figura 2.4 Influencia de la implantación de BIM en la productividad.

En la imagen se puede ver como en un primer momento la productividad decae, pasando a incrementar de manera notable en el medio y largo plazo.

Otros inconvenientes de trabajar con BIM se muestran a continuación:

- **Paso del dibujo al modelo:** en este punto cabe destacar una diferencia muy importante entre las dos formas de trabajar. Se trata de la diferencia en el flujo de trabajo. Ya no basta solamente con dibujar si no que hay que ir más allá. El responsable de modelar debe asegurarse de que cada componente incorporado al modelo se coordina con el resto de las personas que de una forma u otra trabajan sobre él.
- **Compatibilidad entre plataformas software:** este es uno de los problemas más importantes que hay que abordar a la hora de adoptar un software BIM. Cada desarrollador de software crea sus programas de una forma y eso puede acarrear problemas de interoperabilidad. Si estos no se resuelven la ventaja competitiva que supone, a priori, el

2. Características de BIM

uso de este tipo de software desaparece. Una posible solución es el uso de un formato estándar que es independiente de los desarrolladores. Se trata del formato IFC (Industry Foundation Classes), que es capaz de apropiarse de las propiedades y las características geométricas de cada objeto colocado en el modelo, así como de la relación entre todos ellos. De esta forma el intercambio de información entre los diferentes programas es posible, cosa que de otra forma supone un obstáculo, por lo general, insalvable.

- **Innovación:** este apartado quiere dar a entender que las restricciones que adquieren los diferentes objetos del modelo, por el simple hecho de trabajar siguiendo esta metodología, puede interpretarse como una limitación a la hora de innovar. Esto es debido a que BIM es lo más parecido a un conocimiento compartido, donde toda la información se encuentra en una gran base de datos, que es el modelo.

Según un estudio [8] que muestra las ventajas e inconvenientes de trabajar con BIM, los problemas más habituales a los que se enfrentan los profesionales de los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción son los siguientes [9]:

- Una baja demanda por parte de los promotores.
- La baja funcionalidad de los programas orientados a la ingeniería.
- Una deficiente definición del alcance de BIM entre los implicados en el proyecto, más acentuada en el caso de los promotores y contratistas.

A pesar de todos los inconvenientes encontrados, es fundamental remarcar que estos son significativamente menores que los argumentos a favor de trabajar con BIM.

2.6 La elección del software

En este apartado se muestran cuales han sido las diferentes opciones de software barajadas para la realización del presente TFG. El motivo principal por el cual fueron elegidas es la posibilidad de obtener una *licencia de forma gratuita*, bien sea una licencia de estudiante, o como particular, a través de una licencia de prueba.

2.6.1 Revit (Autodesk)

Revit es una aplicación informática de dibujo asistido por ordenador capaz de diseñar elementos de un modelo paramétrico, basado en objetos inteligentes y en tres dimensiones. El origen de esta aplicación se remonta a 1997, Leonid

2. Características de BIM

Reiz e Irwin Jungreiz fundan una empresa llamada Charles River Software con el fin de cubrir la necesidad de una plataforma de modelado paramétrico en el campo de la arquitectura. Aunque en un primer momento sus funciones eran limitadas, se trata de uno de los primeros intentos de crear una herramienta paramétrica de software para arquitectura. [3]

Ya en el año 1999, el proyecto pasa a llamarse Revise Instantly, lo que hoy todo el mundo conoce como Revit. Esta elección hace que incluso el nombre de la empresa pase a ser el de Revit Technology Corporation.

Posteriormente, en 2002, la empresa fue adquirida por Autodesk que decidió mantener el desarrollo en paralelo de esta herramienta junto con el de AutoCAD Architecture, software que ofertaba en ese momento.

La forma en la que trabaja Revit se basa en un único archivo en el cual está incluida toda la información del proyecto, desde las vistas hasta las bibliotecas de objetos paramétricos. Se trata de un software orientado hacia la tecnología de Modelos de Información, contando para ello con una estructura interna muy coherente en la que cualquier elemento del proyecto es tratado de manera similar. Por otro lado, está dotado de una interface grafica de parametrización que le permite modelar cualquier elemento independientemente del uso que se le vaya a dar [1].

La principal fuente del éxito del programa fue el hecho de que a medida que se modela el edificio, el modelo de construcción paramétrico capta información sobre el desarrollo del proyecto de construcción de otros dibujos y documentos. [3]

Lo que hace posible ese tránsito de información es su motor de transmisión de los cambios en tiempo real, a través del cual un cambio efectuado en una vista es transmitido al resto de forma instantánea. Esto es debido a que dichas representaciones no son generadas con posterioridad sino que se trata de vistas dinámicas dentro de la base de datos global.

A su vez consta de otras dos aplicaciones que derivan de esta, se trata de Revit MEP y Revit Structure, especializadas en la generación de objetos de instalaciones y estructurales respectivamente. [1]

2.6.2 Arquímedes (CYPE)

CYPE es un programa de cálculo de estructuras por ordenador desarrollado en España. Su primera versión data de 1983 y se basó en un entorno MS-DOS. Es en el año 1997 cuando surge la primera versión para el sistema operativo Windows, versiones que se han ido renovando con el paso del tiempo.

2. Características de BIM

El programa cuenta con un gran número de aplicaciones adjuntas, que cubren la amplia mayoría de las funciones típicas del diseño de edificios. Entre ellas se destaca, en este caso, *Arquímedes*. Esta herramienta permite el cálculo de los presupuestos del proyecto, así como la obtención de un Diagrama de Gantt, por lo que será fundamental en el desarrollo de este TFG.

2.6.3 Cost It (Presto)

En este caso se trata de un complemento para *Revit (plug-in)* del que dispone el software *Presto*. Al igual que el módulo *Arquímedes* dentro de *CYPE*, *Presto* nace de la necesidad de calcular el presupuesto del edificio. Es a raíz del auge de BIM cuando ambas plataformas empiezan a desarrollar los complementos necesarios para realizar las mediciones del proyecto obteniendo la información del modelo 3D.

Cost It, que apenas cuenta con un par de años de vida, fue la primera opción elegida para realizar las mediciones y obtener el presupuesto, pero se desestimó debido a problemas de licencia.

2.6.4 MS Project (Microsoft)

Microsoft Project es un software dedicado a la administración de proyectos, cuyo desarrollador actual es Microsoft. En el año 1984 se lanzó la primera versión del programa, para el sistema operativo DOS, a través de una compañía que por aquel entonces trabajaba para Microsoft. Tras la compra de los derechos del software por parte de Microsoft se lanzaron diferentes versiones para el mencionado sistema operativo DOS, concluyendo con la cuarta versión en el año 1987. La primera aparición de esta aplicación en el sistema operativo Windows se produjo en 1990, desde entonces han ido surgiendo diferentes versiones, a la vez que se actualizaba el sistema operativo.

La gran aportación de esta herramienta a la gestión de proyectos es que permite desarrollar un *Diagrama de Gantt* (se explica más adelante), así como las relaciones de dependencia entre las tareas que lo componen.

2.6.5 Navisworks (Autodesk)

El origen de este software se remonta a 1989, tiempo en el que se fundó la compañía *Light Work* en la ciudad de Sheffield (Inglaterra). Se trata de una de las principales empresas dedicadas a desarrollar software gráfico en 3D.

En el año 2002 la empresa comunica la escisión de su división *Navisworks* en una compañía independiente, *Navisworks Ltd*. Esta nueva compañía se centró en el desarrollo del mercado de la comunicación, la visualización y la

2. Características de BIM

navegación de los diseños 3D en los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.

Inicialmente, Light Work creó *Jet Stream*, un paquete de revisión de diseño 3D para Microsoft Windows. Este paquete es usado para complementar programas de diseño en 3D como es el caso de *Revit*. Entre sus funciones destacaban las de abrir y combinar los modelos 3D y navegar por ellos en tiempo real. Posteriormente, gracias al empleo de una serie de complementos (*plug-ins*) el software facilitaba una serie de posibilidades de gran utilidad, como son, la detección de interferencias, el tiempo de simulación 4D y el renderizado foto-realista.

Posteriormente, en 2007, será la empresa Autodesk quien adquiera los derechos de *Navisworks*, siempre basando sus desarrollos en el mencionado *Jet Stream*. Gracias a esta adquisición Autodesk reforzó su posición de liderazgo en lo que a la oferta de soluciones 3D para la arquitectura, la ingeniería y la construcción se refiere. [16]

2.6.7 Motivos de la elección

Antes de continuar con el desarrollo de la metodología empleada, es necesario remarcar el por qué de la elección de estas herramientas y no otras.

Es muy importante recordar que el presente trabajo se engloba dentro de un marco educativo y por lo tanto los recursos son limitados. Es por ello que para todas las opciones elegidas se han conseguido licencias educativas, ó licencias de prueba a coste cero.

En este caso, al tratarse de herramientas necesarias para la realización de un Trabajo Fin de Grado (TFG), no es viable económicamente, el acceso a licencias profesionales.

3. Modelado arquitectónico y estructural

Debido a que el objetivo principal del presente TFG es encontrar una posible metodología de trabajo con software BIM, en el presente apartado se describe el primer paso necesario para lograr ese fin. Se trata de la concepción de un modelo en 3D a partir de objetos paramétricos e inteligentes.

3.1 Consideraciones previas

El edificio elegido para construir el modelo es el Centro Cívico situado en la calle Eusebio González Suárez nº 69 del barrio de Parquesol, dentro de la ciudad de Valladolid. Como se puede comprobar en la Figura 3.1 se trata de un edificio en fase de explotación y no de un proyecto de obra nueva.

Es un edificio en cierto modo emblemático y de una cierta complejidad. Su proyecto resultó ganador de un concurso de arquitectura en el año 1990 y, posteriormente, en el año 2003, se procedió a su ampliación con la ejecución de un ala para albergar un teatro. En fecha reciente, noviembre de 2015, fue elegido este edificio como base del Concurso Internacional BIM Valladolid celebrado en nuestra ciudad, y al que se presentó un equipo de alumnos egresados de la Escuela de Ingenierías Industriales. Debido a ello, se ha tenido acceso a una parte de la documentación básica en 2D que, junto al intenso trabajo de campo de toma de datos y comprobación de los mismos llevado a cabo, ha servido como punto de partida en el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado.

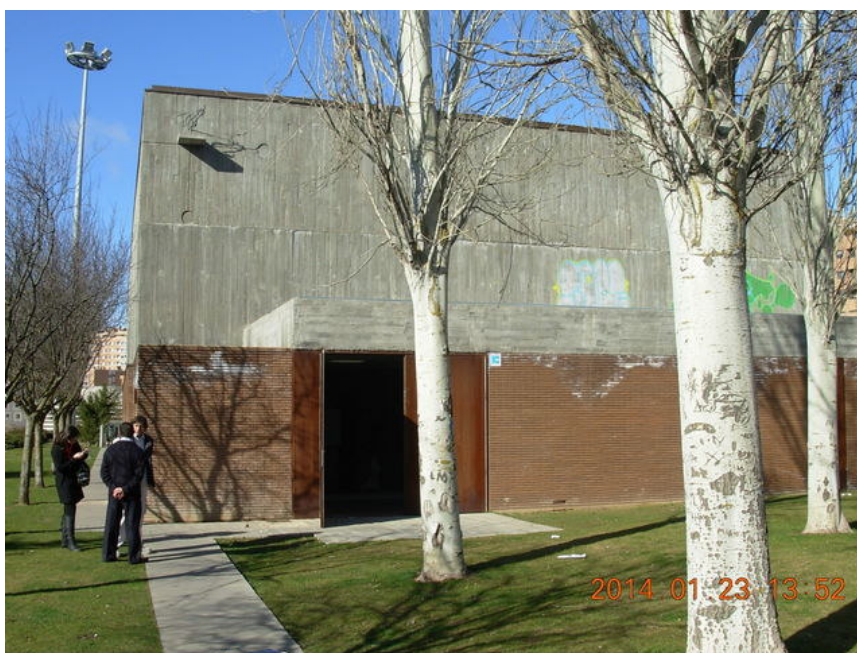


Figura 3.1 Fotografía de la fachada posterior del teatro.

3. Modelado arquitectónico y estructural

Como se ha comentado, el Centro Cívico consta de dos edificios construidos en diferentes momentos. Por un lado se encuentra el Centro Cívico propiamente dicho, y por el otro consta de un teatro. En cualquier caso este hecho no es relevante a la hora de buscar una metodología de trabajo BIM, por lo que el edificio se tratará como una única construcción.

3.2 Modelado del edificio

En este momento donde da comienzo la verdadera fase de modelado del edificio, que como ya se ha comentado es la primera etapa de cualquier proyecto en BIM.

3.2.1 Interfaz de usuario de Revit

A continuación se describen las diferentes opciones que presenta la interfaz de esta aplicación informática, utilizando para ello la Figura 3.2 En ella se muestra una zona amplia reservada para el modelo en 3D, rodeada de barras de herramientas, las cuales pueden colocarse a gusto del usuario.

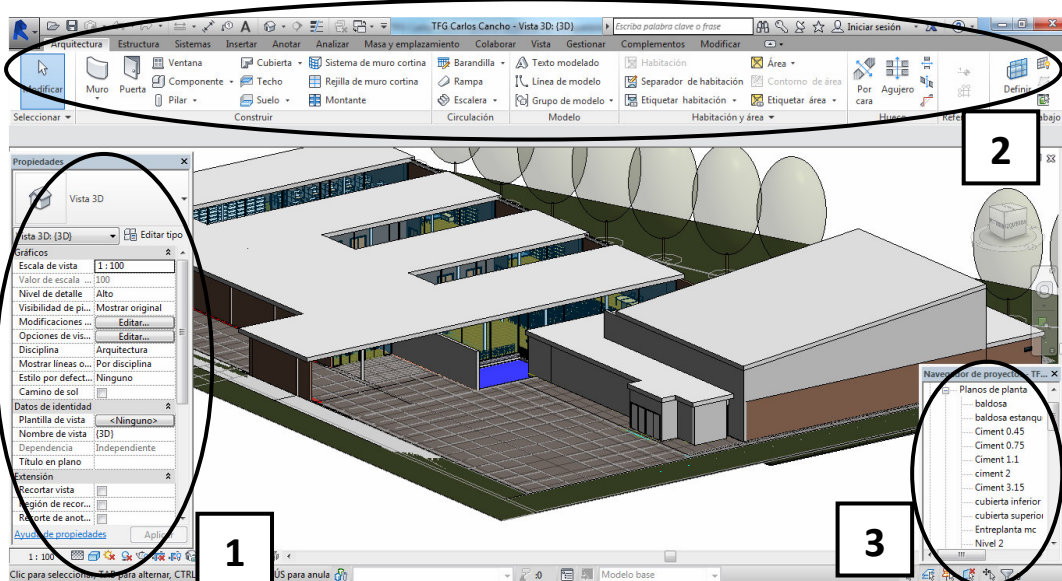


Figura 3.2 Interfaz de usuario de Revit donde se señalan las barras de herramientas más importantes.

Las funciones más importantes de cada una de las diferentes partes señaladas anteriormente son:

1. **Barra de propiedades:** en el momento en que un elemento es seleccionado en este menú se pueden modificar todo tipo de opciones, desde restricciones del mismo hasta datos de identidad.

3. Modelado arquitectónico y estructural

Si por el contrario no hay ningún elemento seleccionado, las opciones que el software permite modificar son las de la vista que esté seleccionada en ese momento. La Figura 3.3 es un ejemplo de ello.

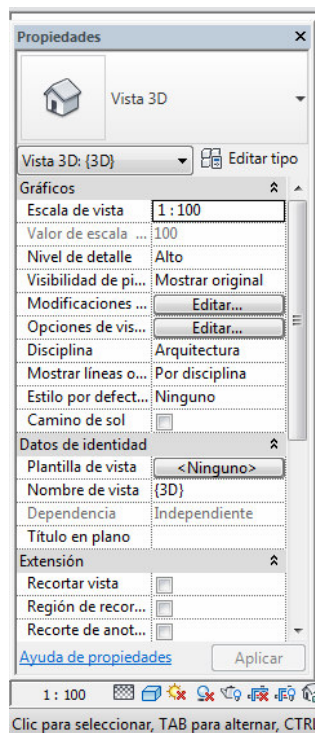


Figura 3.3 Detalle de la barra de propiedades para el caso de una vista.

- 2. Barra de opciones:** en este caso se puede observar que dicha barra esta a su vez organizada en pestañas. Cada una de estas pestañas es el equivalente a un menú independiente donde realizar diferentes partes del modelado. Algunos de esos menús son el de Arquitectura, que permite modelar elementos como los muros, ventanas o puertas, o el de Gestionar, donde se pueden realizar acciones como controlar las fases del proyecto o los materiales de los diferentes elementos. A continuación la Figura 3.4 muestra una de esas pestañas.

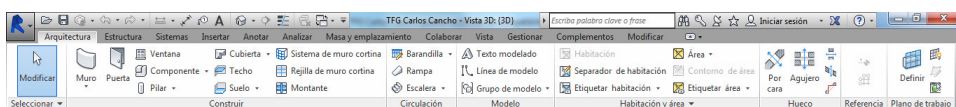


Figura 3.4 Detalle de la barra de opciones.

- 3. Navegador de proyectos:** se trata de una sección en la que el usuario elige la vista que quiere utilizar en cada momento. El

3. Modelado arquitectónico y estructural

diseñador tiene a su alcance tanto las vistas en 3D así como los alzados y las secciones que ha podido generar. En la Figura 3.5 se muestra un ejemplo de este navegador.

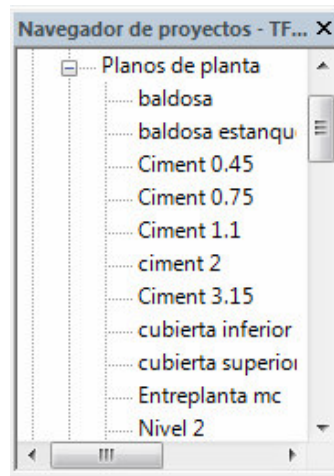


Figura 3.5 Detalle del navegador de proyectos.

3.2.2 Modelado arquitectónico y estructural.

En este caso el modelado del edificio no va a ser un modelado al uso. La forma habitual de empezar a modelar es colocar una rejilla que sirve de referencia para los diferentes elementos, a la vez que se crean los diferentes niveles que tendrá el edificio. A continuación se muestra un ejemplo de estos dos elementos en la Figura 3.6.

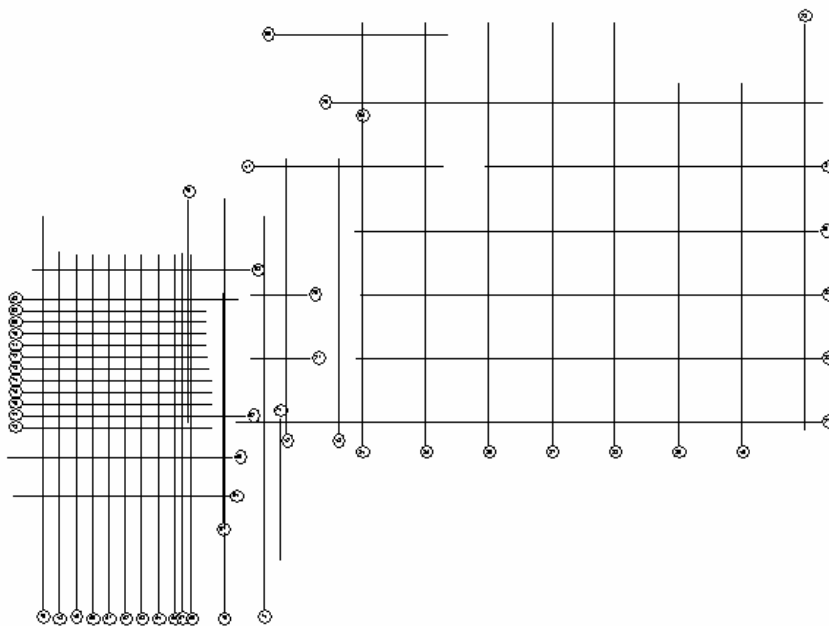


Figura 3.6 (a) Rejillas.

3. Modelado arquitectónico y estructural

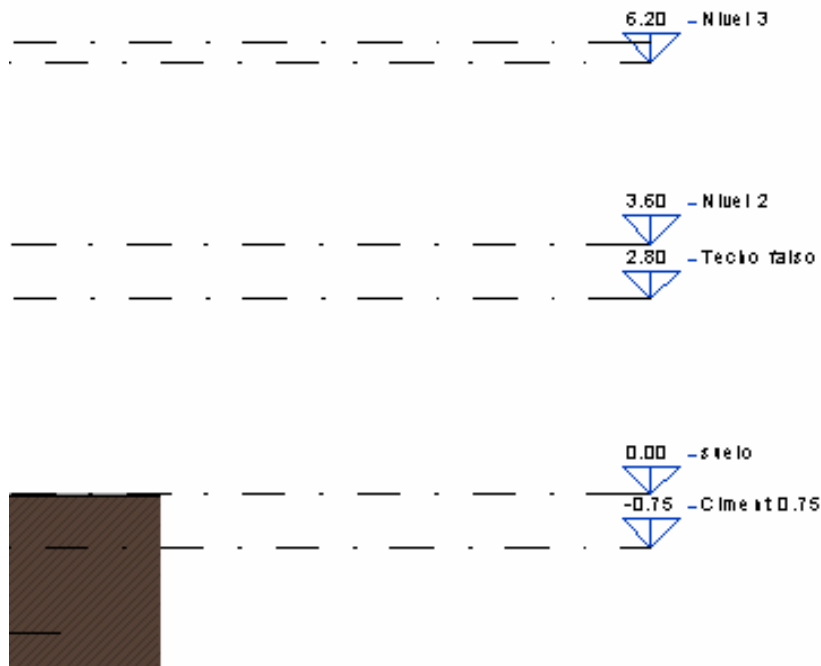


Figura 3.6 (b) Niveles.

En este caso se ha empleado uno de los planos de planta a modo de plantilla para empezar a modelar. Teniendo este plano como referencia se han modelado los diferentes elementos a la vez que ha servido de nivel de referencia para definir el resto de niveles. El plano se ha considerado la cota cero del edificio.

Para poder comenzar a trabajar el primer paso es importar el archivo que contiene el plano. En este caso se trata de un archivo con extensión .dwg, proveniente de la aplicación Auto CAD y perfectamente compatible con Revit.

No en vano ambas aplicaciones comparten al mismo desarrollador, Autodesk. En la Figura 3.7 se muestra como realizar esta operación.

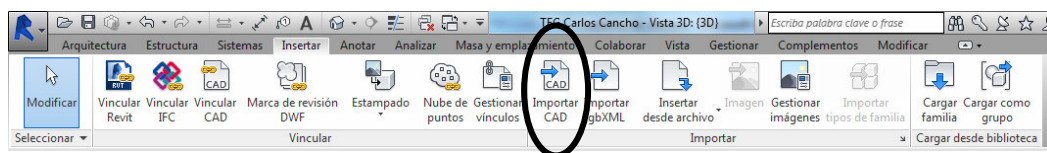


Figura 3.7 En la figura se muestra el link que debe utilizar el usuario para importar el archivo CAD.

3. Modelado arquitectónico y estructural

En este punto es importante denotar que Revit no solo es capaz de soportar archivos .dwg, sino que también puede trabajar con otros como son: .dxf, .dgn ó .sat. El resultado de importar el plano se muestra en la Figura 3.8

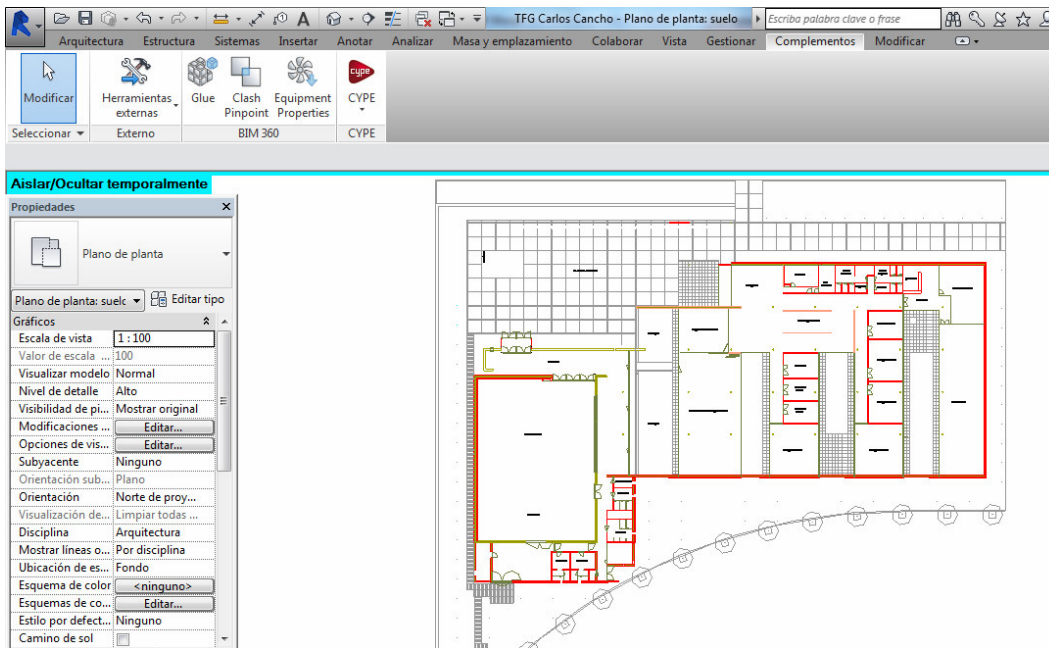


Figura 3.8 En este caso el punto de partida es un plano que hace las veces de plantilla.

Una vez que ha concluido esa operación el siguiente paso es comenzar a modelar. En este caso los primeros elementos incorporados al modelo son los muros arquitectónicos. Estos los podemos ver en la Figura 3.9

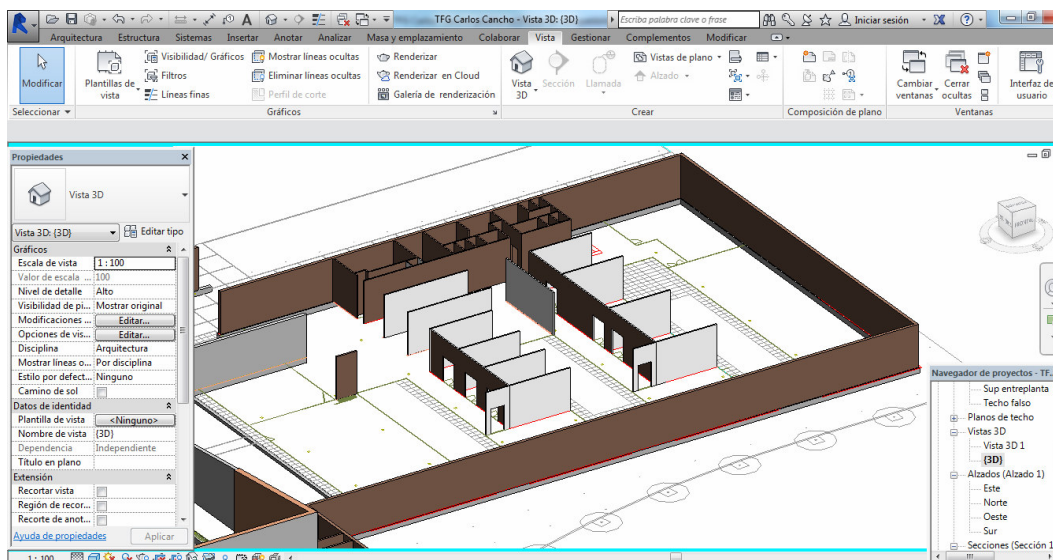


Figura 3.9 Detalle del plano utilizado como plantilla junto a los muros construidos a partir de él.

3. Modelado arquitectónico y estructural

Con el fin de realizar un modelo lo más parecido a la realidad algunos de los muros han sido definidos de forma manual a raíz de los datos tomados in situ. Es decir Revit da la opción de editar los elementos que se van a colocar en el modelo. Las posibilidades son prácticamente ilimitadas gracias a la cantidad de materiales, acabados, capas... que ofrece. La Figura 3.10 muestra uno de esos muros.

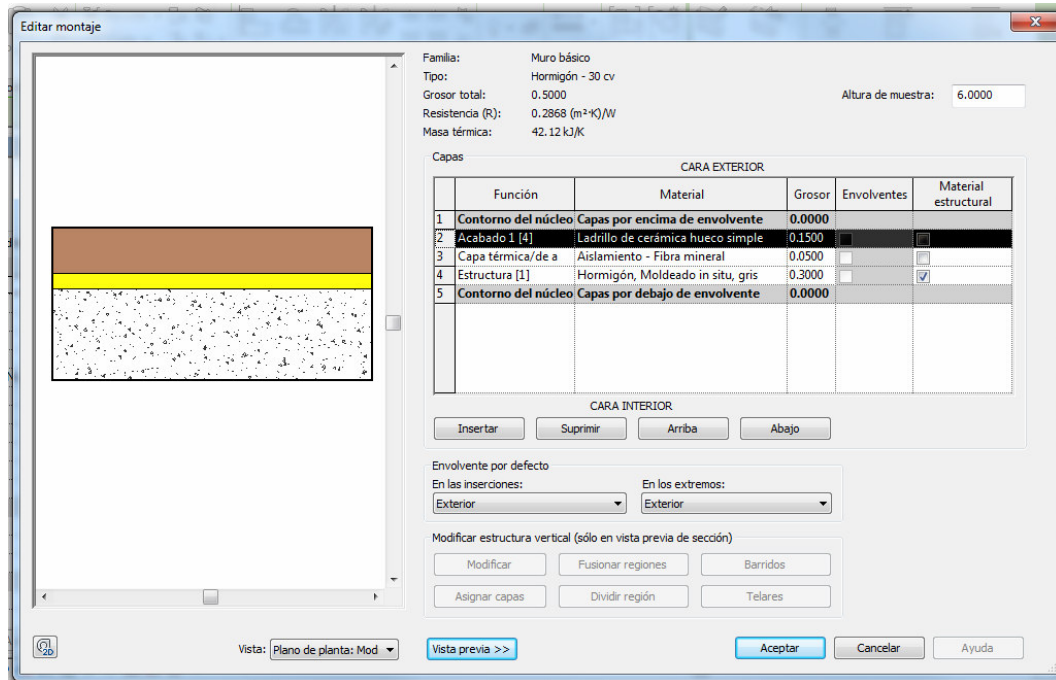


Figura 3.10 Ejemplo de muro compuesto por una capa de hormigón, una capa aislante y una capa de ladrillo cara vista.

Como ya se ha mencionado el centro cívico está construido, por lo que se han realizado constantes visitas al mismo. Esto ha aportado una gran cantidad de información acerca de los materiales y acabados empleados en la realidad, por lo tanto es una oportunidad que no se debía dejar escapar. Cuando se trate de la fase de diseño de un edificio nuevo será el proyectista quien decida cuales son los diferentes materiales y acabados que quiere que compongan el edificio

Para continuar con el modelado se decide añadir los muros cortina. Este elemento merece una mención especial ya que la forma de trabajar con él no es tan simple como la de un muro arquitectónico o estructural. La Figura 3.11 muestra un ejemplo de este tipo de elemento.

3. Modelado arquitectónico y estructural

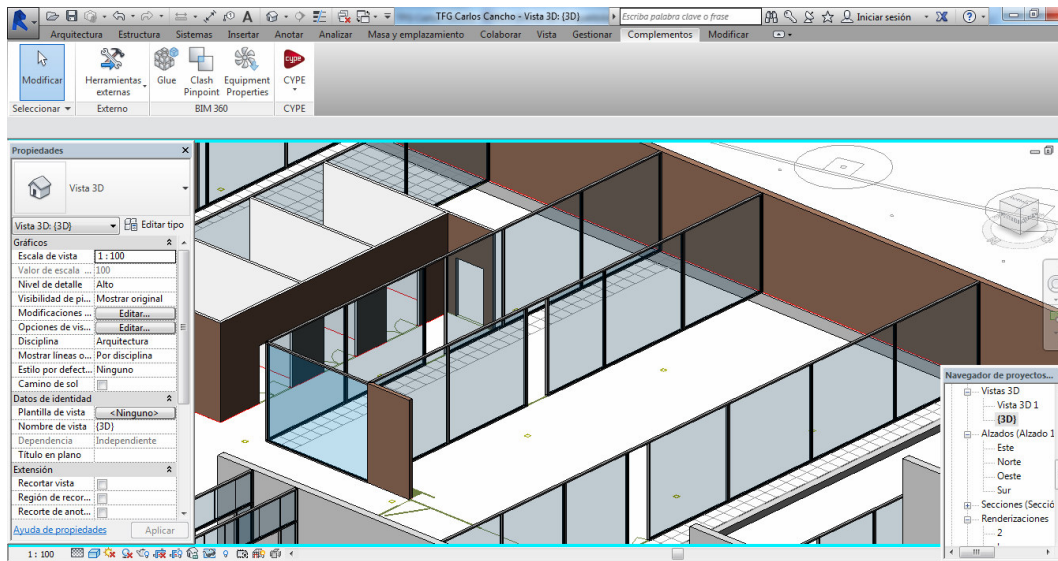


Figura 3.11 Detalle del modelo en que se han añadido los muros cortina.

La peculiaridad de este elemento reside en que a su vez se compone de dos partes, por un lado está el muro en si (parte acristalada), y por el otro los denominados montantes de muro cortina que constituyen la estructura que soporta el cerramiento.

Debido a que todos estos elementos, paneles acristalados y montantes, son familias de Revit que presentan una altura predeterminada es necesario fijar aquella que sea correcta en cada caso. Para ello basta con buscar esta información en los diferentes planos de los que se dispone y en los datos recogidos. En la Figura 3.12 se aprecia uno de esos planos.

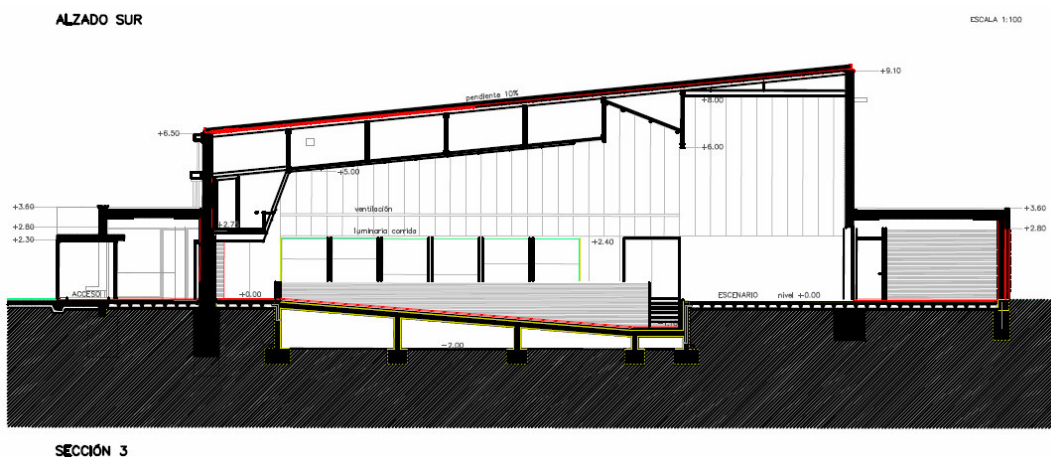


Figura 3.12 (a) Alzado sur del teatro

3. Modelado arquitectónico y estructural

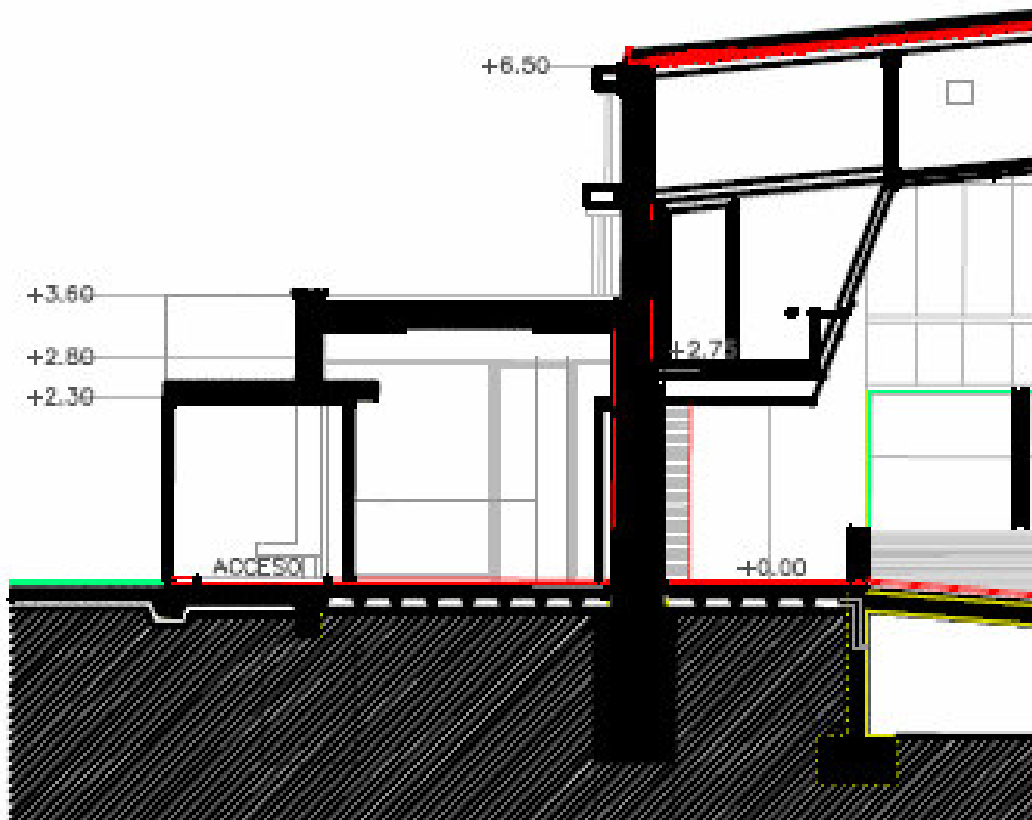


Figura 3.12 (b) Detalle del alzado anterior en el que se aprecia la altura de varios de los muros.

El hecho de definir la altura de los muros implica la definición de diferentes niveles dentro del modelo. Como ya se comentó, este proceso suele hacerse con anterioridad, pero no es algo imprescindible. Sí que es muy importante el mantener un orden para no perderse en el modelo. La Figura 3.13 muestra algunos de los niveles definidos.

3. Modelado arquitectónico y estructural

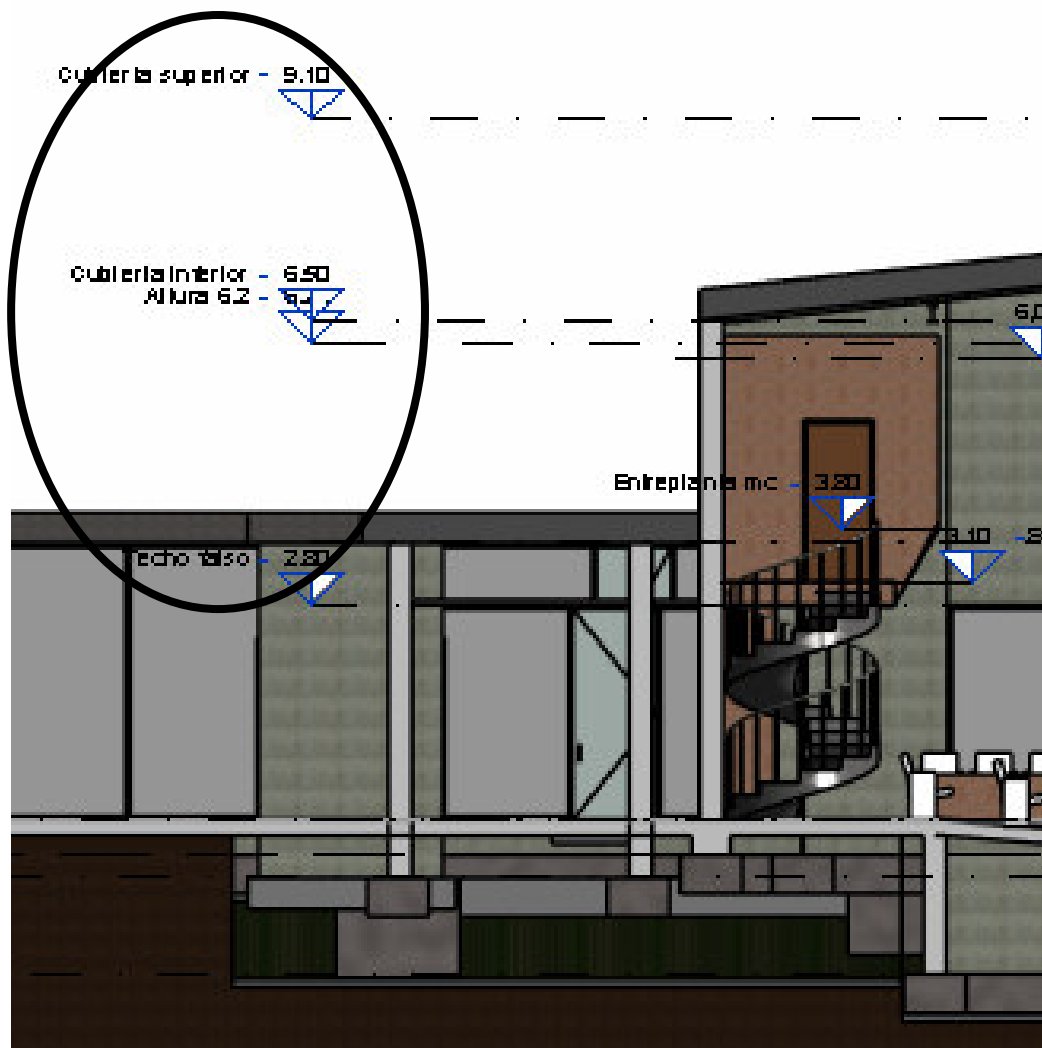


Figura 3.13 Detalle del alzado sur en el que se aprecian los niveles definidos en el edificio modelado

Para continuar construyendo el modelo se decide incorporar elementos tales como las puertas y ventanas. Como es lógico Revit no dispone de todos los tipos de un determinado elemento, y por eso da la opción de editarlos. Sin embargo sí que es posible descargar archivos compatibles que contienen familias de elementos. Estas familias han sido desarrolladas por programadores externos y basta con cargarlas en el programa para tener acceso a todos sus elementos. Para comprender mejor este proceso se facilita la Figura 3.14, donde se pretende cargar una familia de puertas.

3. Modelado arquitectónico y estructural

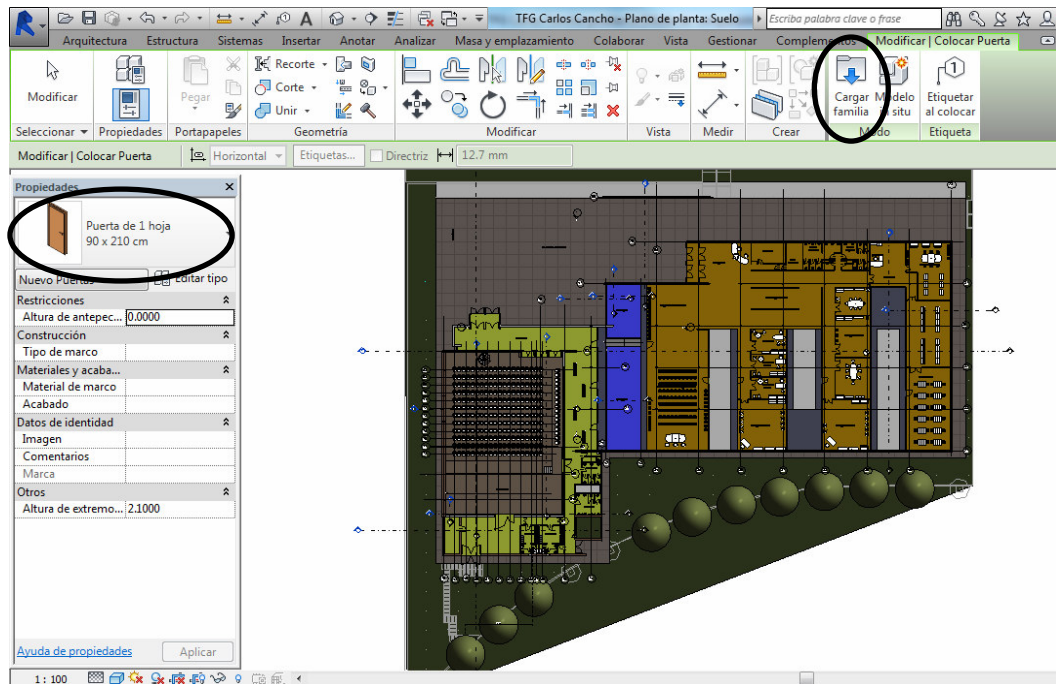


Figura 3.14 (a) Opción de cargar familia en el edificio modelado.

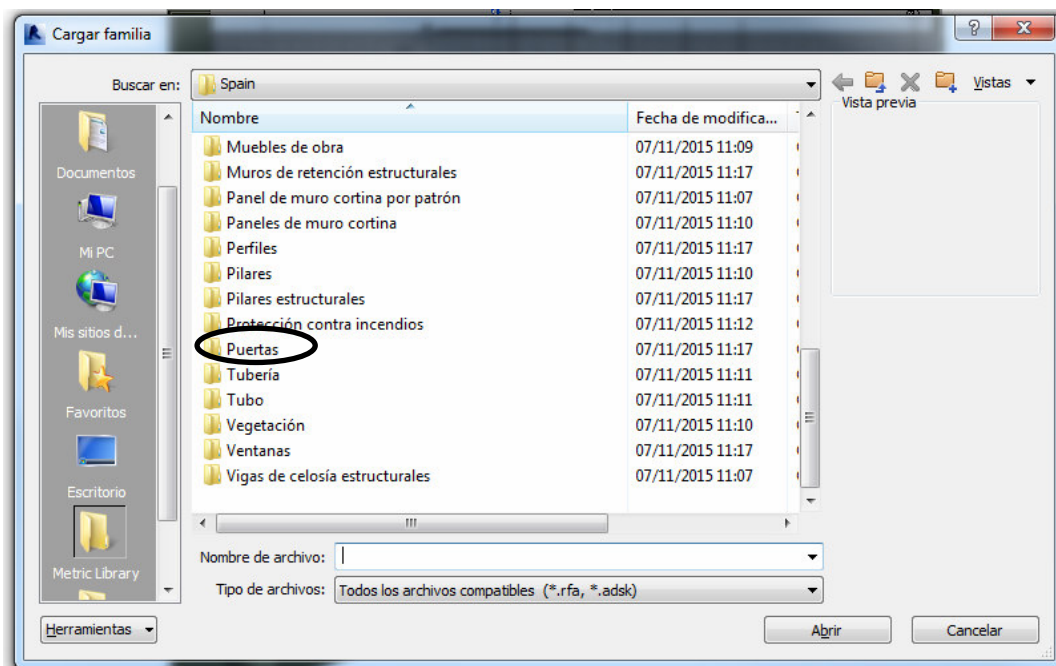


Figura 3.14 (b) Cuadro de diálogo que permite seleccionar la familia deseada.

Aunque parezca un contrasentido, debido al orden natural en el que se construye un edificio, los siguientes elementos incorporados al modelo son todos aquellos que componen la cimentación del mismo. Por lo tanto se trata de las zapatas, aisladas o corridas, y las vigas de atado que unen a las primeras. Algunos de estos elementos se muestran en la Figura 3.15, a modo de ejemplo.

3. Modelado arquitectónico y estructural

Trabajar de este modo es posible gracias a tener un modelo en 3D que se complementa con todo tipo de vistas en 2D, así como con todas las secciones que defina el usuario. Todo ello permite resolver cualquier encuentro entre elementos con facilidad, además de problemas con la posición relativa de estos.

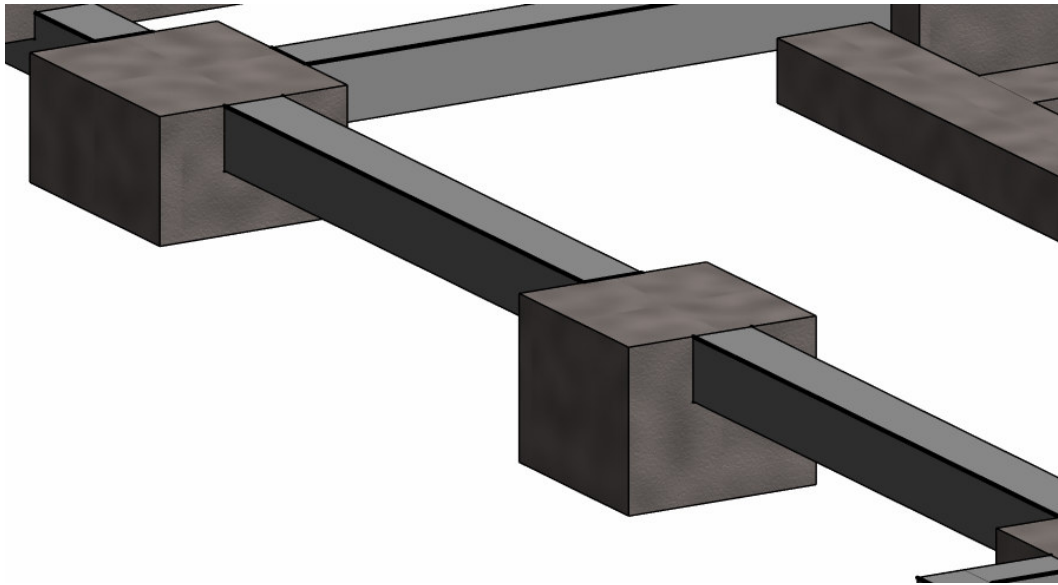


Figura 3.15 Zapatas aisladas unidas mediante viga de atado.

Así como no se hizo en un primer momento, es ahora cuando la ayuda de una rejilla es fundamental para la correcta colocación de los elementos que componen la cimentación (Figura 3.16).

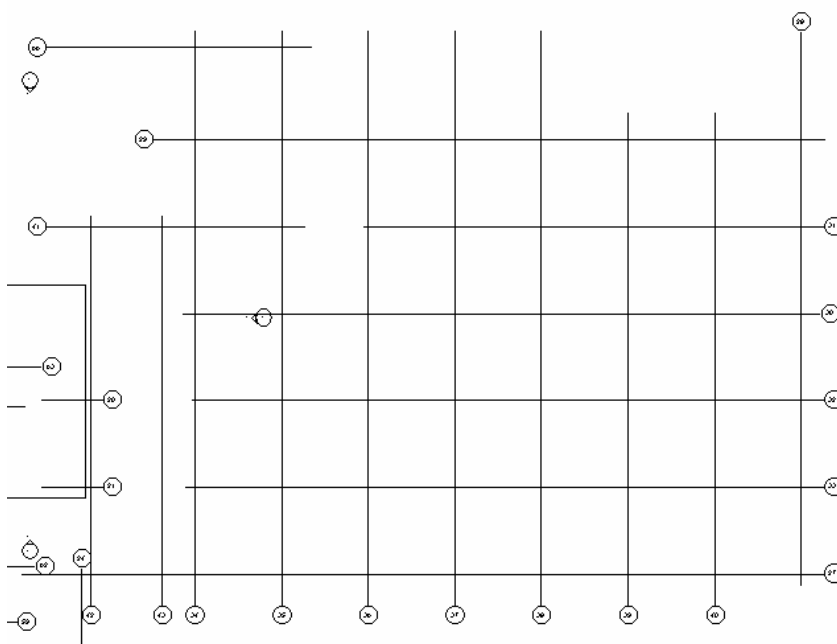


Figura 3.16 (a) Rejilla utilizada para modelar la cimentación del Centro Cívico.

3. Modelado arquitectónico y estructural

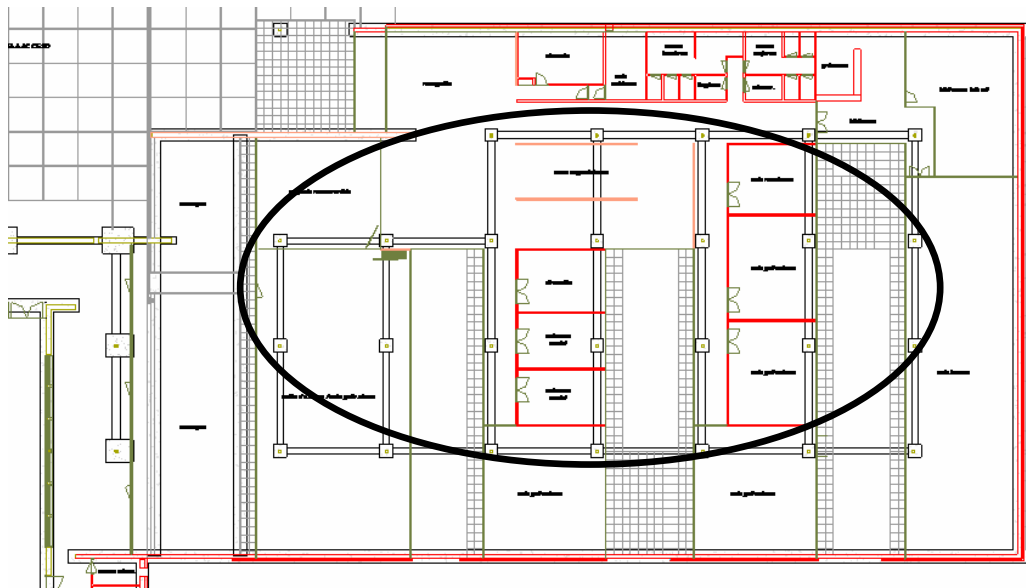


Figura 3.16 (b) Vista en la que se aprecia la cimentación del centro cívico modelada a partir de la rejilla anterior.

A falta de los detalles finales, es posible seguir añadiendo componentes al modelo después de haber modelado la cimentación. En este caso se trata de la estructura metálica, es decir, los pilares y vigas que soportarán las diferentes cubiertas y muros.

Como se puede apreciar, a medida que se añaden elementos al modelo, este va ganando en complejidad. Este hecho hace que sea muy importante mantener un orden a la hora de modelar, gracias al cual el proyectista será capaz de ahorrar mucho tiempo de diseño. Tiempo ganado debido a no tener la necesidad de corregir errores que en muchos de los casos son evitables.

El siguiente elemento en incorporarse al modelo será la cubierta del edificio (Figura 3.17). Al igual que ocurre con cualquier otro elemento, las posibilidades a la hora de modelar son casi inagotables. En este caso se decide colocar una cubierta plana transitable que es el tipo de cubierta empleada en el edificio real.

3. Modelado arquitectónico y estructural

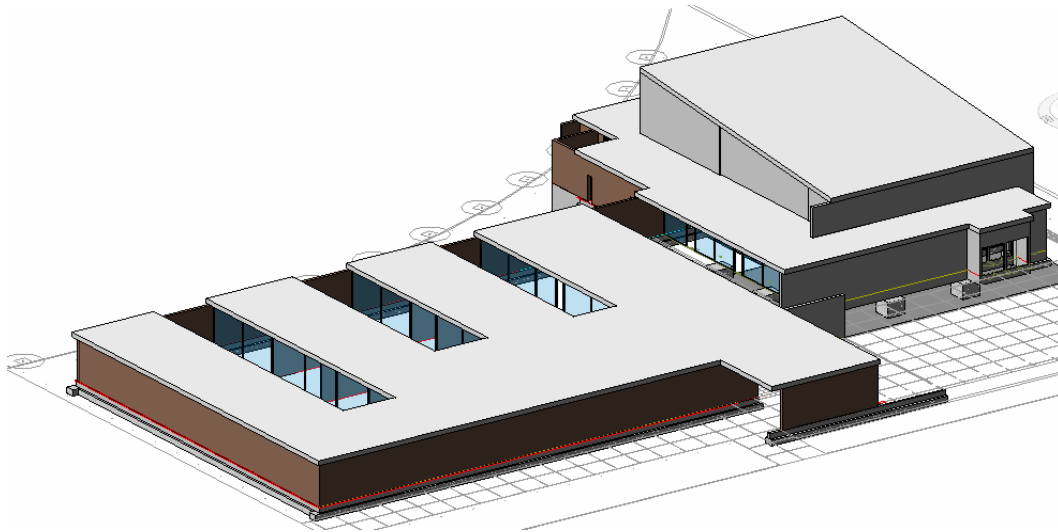


Figura 3.17 Perspectiva del modelo realizado donde se aprecian las cubiertas de ambos edificios.

Una vez que se ha modelado los elementos principales del edificio el siguiente paso es completarlo, añadiendo para ello elementos como puertas, ventanas, mobiliario, aparatos sanitarios o grifería por ejemplo. Todo ello con el objetivo de obtener un modelo virtual con unas características lo más fieles posible a la realidad. Algunos de estos elementos se muestran en la Figura 3.18

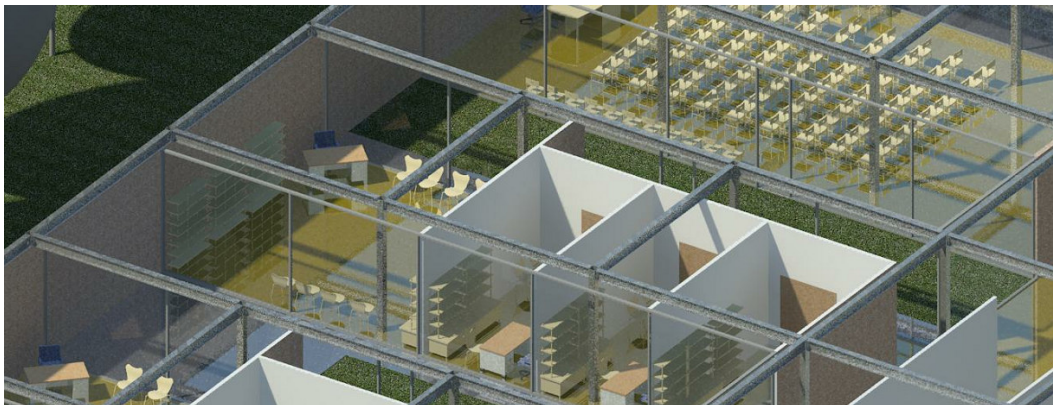


Figura 3.18 Detalle del Centro cívico en el que se pueden apreciar elementos como el mobiliario, la estructura e incluso alguna puerta.

4. El presupuesto (5D)

Como ya se ha comentado en varias ocasiones a lo largo del presente TFG, trabajar con BIM supone el disponer de un modelo que hace las veces de gran base de datos centralizada, de la que los diferentes interesados obtienen información. Es por esto que una vez terminado el modelo en 3D del edificio hay que dar el siguiente paso. En este caso se trata de la obtención de un presupuesto del edificio, a partir de las mediciones del mismo.

Antes de de introducirse de lleno en el desarrollo de este apartado es necesario definir cuáles son las dimensiones de BIM. En numerosas ocasiones se han mencionado los términos 3D, 4D y 5D, pero no se ha profundizado en su significado. A continuación se procede a describirlo:

- **3D:** se trata de la representación geométrica detallada de las diferentes partes del edificio dentro de un medio de información integrada. En este modelo se representará inicialmente la información del diseño arquitectónico y cada una de las ingenierías involucradas en el proyecto. Se necesita de un buen modelo 3D para garantizar la buena aplicación del resto de etapas BIM. Algunas de las tareas que se pueden llevar a cabo durante esta fase son el modelado de la arquitectura, de la ingeniería estructural y de las instalaciones.
- **4D:** esta dimensión se basa en el control de la logística del proyecto durante la ejecución del mismo, logrando un resultado final más predecible. Gracias a dicho control la ejecución y el producto final serán de mayor calidad, más seguros y eficientes. Esta metodología nos permite comprender y controlar las dinámicas de la ejecución del proyecto, efectuar análisis completos y realizar rápidas y eficientes simulaciones de las fases de construcción. Algunas de las tareas que se pueden desarrollar a lo largo de esta fase son la simulación de las fases de construcción, el diseño y simulación de la zona de trabajo y el diseño y plan de ejecución.
- **5D:** esta dimensión hace referencia a todo lo relacionado con el control de costes y estimación de los gastos del proyecto. El uso de BIM hace que sea más predecible el proceso de ejecución por lo que al incorporar soluciones hechas a medida de cada modelo, conseguimos reducir considerablemente los costes. En este caso las tareas destacables a realizar son la definición de la cantidad de materiales y sus costes, así como el control y organización de los gastos de forma actualizada. [17]

4.1 Introducción.

Para lograr el fin mencionado anteriormente se cuenta con otro software que permite gestionar los costes, que en este caso no es otro que Arquímedes. Esta herramienta es una de todas las que dispone el programa para ingeniería CYPE, como se muestra en la Figura 4.1. Las posibilidades que ofrece van desde un diseño en CAD hasta cálculos MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) para el cálculo de las instalaciones del edificio en un entorno BIM, pasando por el cálculo de estructuras, quizá su herramienta más conocida.

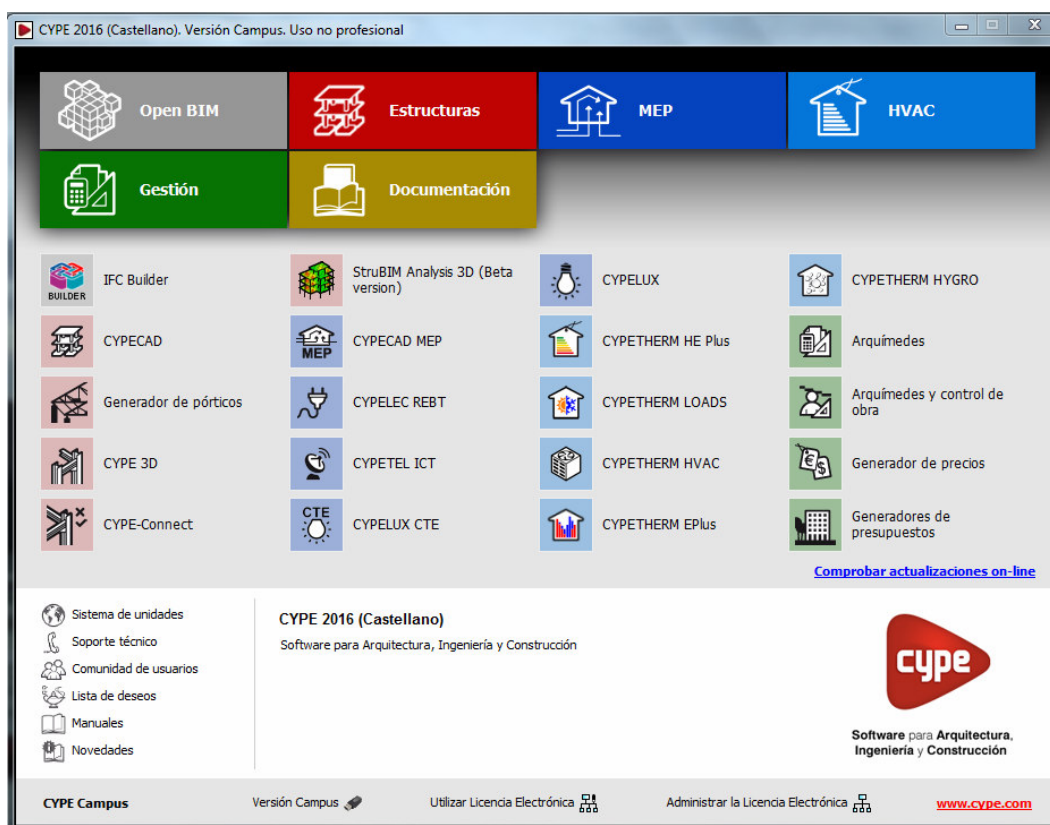


Figura 4.1 Herramientas que ofrece el software CYPE, entre las que se encuentra Arquímedes.

Dentro de Arquímedes se dispone de un módulo denominado **Presupuesto y medición de modelos de Revit**, y es el encargado de establecer la conexión directa entre el programa Arquímedes (CYPE) y Revit. Esta opción, de reciente creación, solo está disponible para la versión 2015 y posteriores de Revit. Lo que permite dicho módulo es obtener la medición y generar el presupuesto a partir de un modelo BIM de Revit.

4.2 Complemento Revit - Arquímedes.

La conexión con Revit se realiza mediante un complemento de CYPE para Revit, también denominado *plug in*, que es el encargado de establecer la relación directa de las mediciones del modelo de Revit con un presupuesto de Arquímedes (Figura 4.2). Este complemento permite trabajar de dos formas. Por un lado simultáneamente en los dos programas, y por el otro, de forma unilateral desde Arquímedes. Para este caso disponemos de un fichero que ha sido importado por el complemento de CYPE en Revit, y que contiene el modelo. [10]

La opción elegida para trabajar en este TFG ha sido la primera ya que es la que se engloba dentro de una metodología BIM, compartiendo la información con *Revit*.

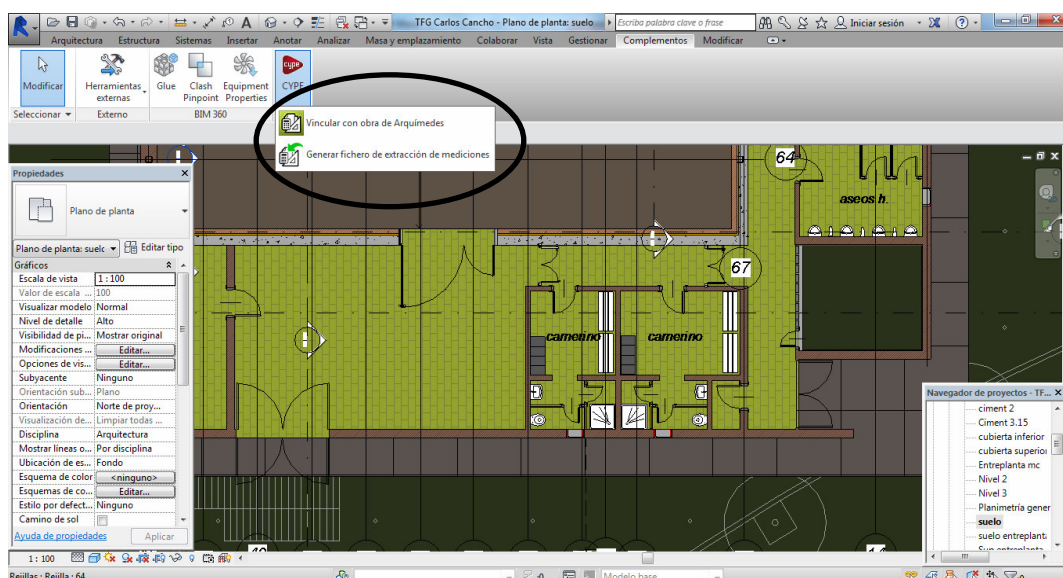


Figura 4.2 Interfaz de Revit en la que se ha resaltado el link que vincula ambos programas.

A continuación se describen las dos opciones mencionadas:

- **Vincular con obra de Arquímedes.** Esta opción permite vincular distintas obras de Revit con un presupuesto en *Arquímedes* y extraer la medición. Gracias a ella se obtiene un presupuesto final acompañado de toda la documentación del proyecto que depende de la información que contienen esas partidas. Si el origen de las partidas es el **Generador de Precios** algunos de esos documentos serán, por ejemplo, el Pliego de Condiciones según el CTE, Plan de Control de Calidad, ó el estudio de seguridad y salud, documentos obligatorios a la hora de presentar un proyecto.

4. El presupuesto (5D)

Cuando se trate de la primera vez que se selecciona esta opción, y no exista ningún presupuesto vinculado en *Arquímedes*, el diálogo que se muestra es el que aparece en la Figura 4.3 que contiene las opciones de **Vincular con obra de Arquímedes** y **Cancelar la operación**. Por el contrario, si ya se vinculo previamente un presupuesto, el dialogo que aparece es el que se muestra en la Figura 4.4, donde aparece una nueva opción que es **Actualizar datos de vinculación**.



Figura 4.3 Cuadro de diálogo si no existe vinculación previa

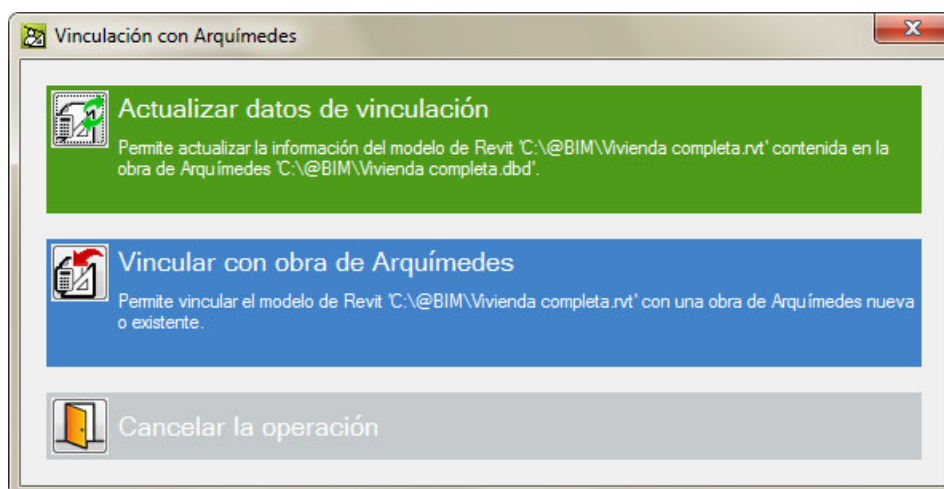


Figura 4.4 Cuadro de diálogo cuando existe vinculación previa.

- **Generar fichero de extracción de mediciones.** En este caso se crea un fichero con la información del modelo BIM, que puede ser importado con el fin de realizar la medición en *Arquímedes*. Para ello, en *Arquímedes*, se debe seleccionar la opción del menú **Archivo > Conexión con Revit > Importar fichero de extracción de mediciones de Revit** (Figura 4.5), para así importar un fichero MCSV, que contiene la información del modelo BIM y del cual se obtendrá la medición. Una vez hecho esto las opciones de trabajo son las mismas que las con la primera opción.

4. El presupuesto (5D)

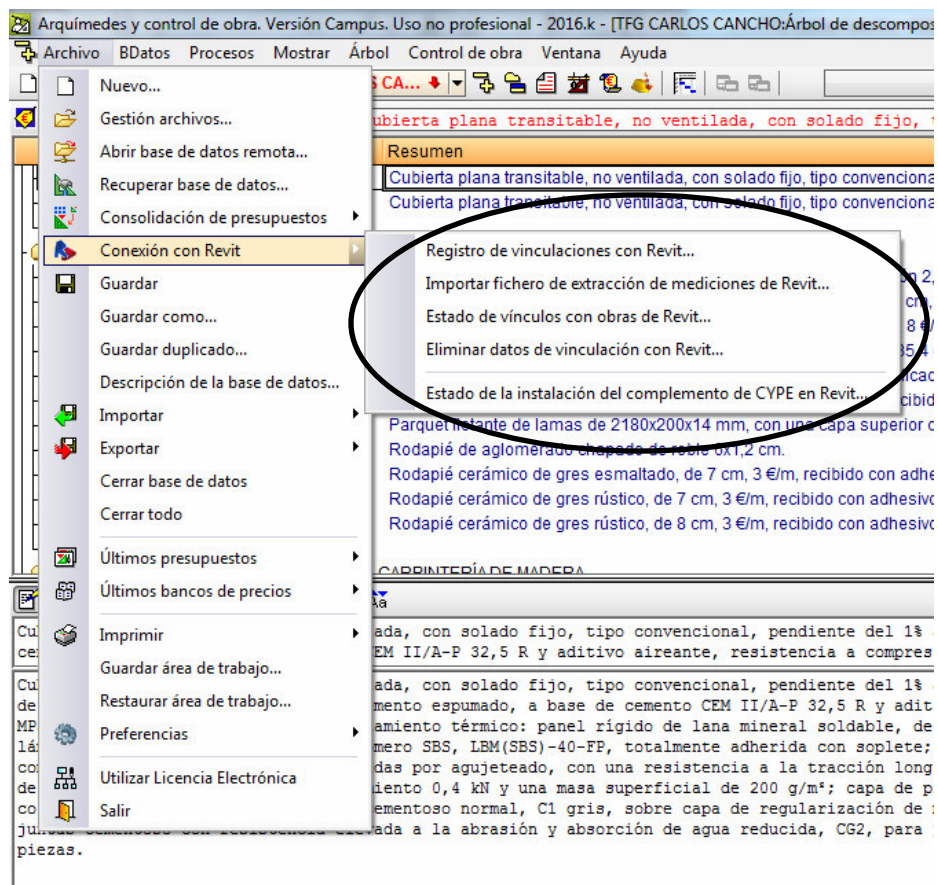


Figura 4.5 Interfaz de Arquímedes en la que se observa las diferentes opciones de conexión entre ambos programas.

4.3 Asignación de partidas a elementos del modelo

Una vez que se ha descrito la forma en que se relacionan los dos software, es el momento de ir completando las diferentes partidas del presupuesto. Para ello lo que hace el módulo de *Arquímedes*, *Presupuesto* y *medición de modelos de Revit*, es asignar a un elemento del modelo Revit un código de una partida perteneciente a un capítulo de un presupuesto de *Arquímedes*. Una vez que se ha hecho la asignación de todos aquellos elementos que se desea medir, *Arquímedes* obtiene las mediciones para el presupuesto. Para realizar esta operación es necesario seleccionar la opción *Asignación de partidas y extracción de mediciones* que se muestra en la Figura 4.6. Una vez hecho esto aparece un cuadro de diálogo en el que se realizarán las mediciones propiamente dichas (Figura 4.7).

4. El presupuesto (5D)

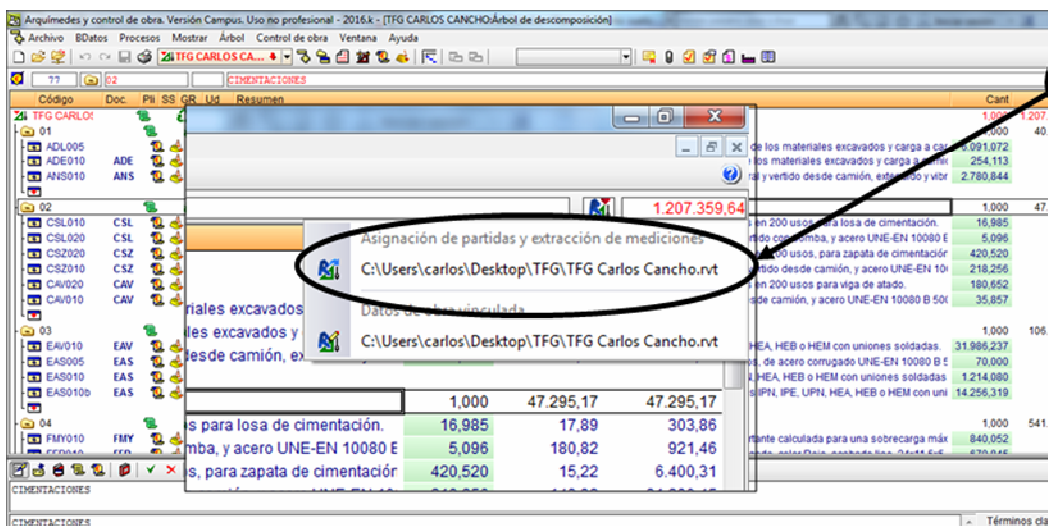


Figura 4.6 Ampliación del enlace Asignación de partidas y extracción de mediciones.

Existen tres diferentes formas de realizar las mediciones de los elementos del modelo dentro de esta herramienta:

- Por medio de las Categorías, Tipos y Ejemplares de Revit, asignando partidas desde una base de datos de referencia ya sea un presupuesto o banco de precios.
- A través de los Materiales que componen dichos ejemplares y utilizando del mismo modo una base de datos de referencia de cualquiera de los tipos anteriores.
- Por último mediante las Habitaciones de las que dispone el modelo, asignando utilizando una base de datos de referencia como en los casos anteriores.

La opción elegida para la realización de este TFG fue la primera y las razones que motivaron su elección se comentan a continuación.

En primer lugar el modelado del edificio no se realizó a través de habitaciones, si no que se concibió el centro cívico como un todo, por lo tanto la tercera opción quedo descartada. En segundo lugar, existen diferentes elementos en el modelo que comparten el material del que están compuestos. Esto hace que las posibles mediciones no aporten una información útil para el desarrollo de la metodología, que tiene por objeto este TFG.

Por ejemplo, no tiene sentido hacer la medición de todos los ladrillos del edificio al mismo tiempo, cuando después se pretende gestionar el momento en el que se va a construir cada uno de los diferentes muros, que contienen

4. El presupuesto (5D)

dichos ladrillos, utilizando la información obtenida en esa partida del presupuesto.

Por lo tanto la forma elegida de realizar esta tarea es la que se menciona en primer lugar. A continuación se muestra su descripción:

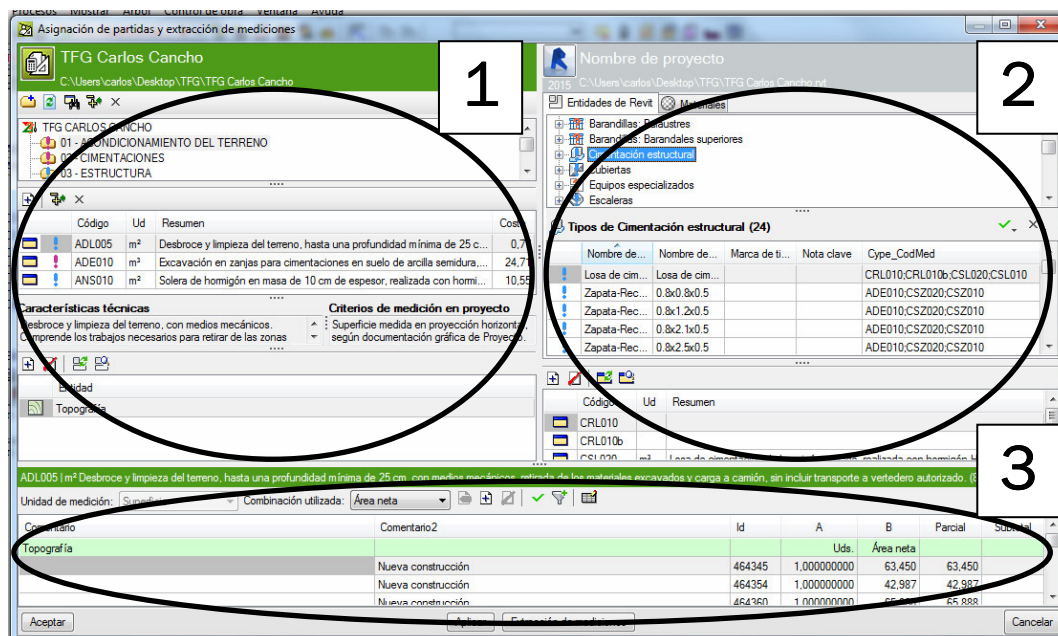


Figura 4.7 Cuadro de diálogo que emerge si se selecciona la opción Asignación de partidas y extracción de mediciones

En la Figura 4.7 se aprecian tres zonas diferenciadas a la hora de extraer las mediciones del modelo:

1. Se trata del apartado correspondiente a las diferentes partidas del presupuesto. En la parte superior se muestran los diferentes capítulos de los que se compone el mismo, y en el cuadro inferior aparecen las diferentes partidas elegidas para el capítulo seleccionado.
2. Esta área de trabajo se corresponde con el modelo de Revit. Aquí se encuentran los diferentes elementos ordenados en un árbol de descomposición en Categorías, Tipos y ejemplares.
3. Por último aparece una zona en la que se mostrará la medición asignada al elemento del modelo seleccionado.

4.3.1 Obtención de una partida nueva

Antes de poder asignar una partida del presupuesto a un elemento del modelo es necesario que esté disponible, ó dicho de otro modo, que se haya cargado en el programa. Para realizar esta tarea Arquímedes cuenta con tres

4. El presupuesto (5D)

opciones: *Buscar en*, donde acceder a otro presupuesto por ejemplo, *Crear nuevo concepto*, donde el usuario define el las características del mismo, ó *Utilizar generador de precios*.

El *Generador de precios* (Figura 4.8) es una base de datos que contiene información de los costes de un determinado material, componente e incluso acción constructiva como puede ser el desbroce del terreno.

Lo que el programa utiliza como origen de la información es lo que se denomina una base de precios externa. Existen diferentes regiones como Madrid, Castilla y León o la Comunidad Valenciana que disponen de una y dependiendo de la zona, pueden existir diferencias en el coste de los materiales o la mano de obra, sujetas a características del terreno o la legislación vigente.

La base de precios es en definitiva la base de datos que contiene toda la información relacionada con los costes, que queda a disposición del generador de precios.




Figura 4.8 Interfaz en la que el usuario decide como obtener el precio de una nueva partida.

Una vez seleccionada la opción *Generador de precios* aparece un menú desplegable en el que elegir la partida que se desea medir (Figura 4.9).

4. El presupuesto (5D)

4.3.2 Proceso de asignación.

Es en este momento cuando el usuario está en disposición de hacer la medición. Por un lado dispone de los elementos paramétricos del modelo de Revit y por el otro de una partida de precio. Para realizar la medición se debe proceder de la siguiente manera:

- Se selecciona el elemento del modelo del cual se quiere extraer la medición.
- Se selecciona la partida que se quiere asignar al elemento paramétrico.
- Por último se hace clic en el icono , y con esto se consigue extraer la medición que quedara registrada en la parte inferior del cuadro de dialogo como ya se mencionó anteriormente.

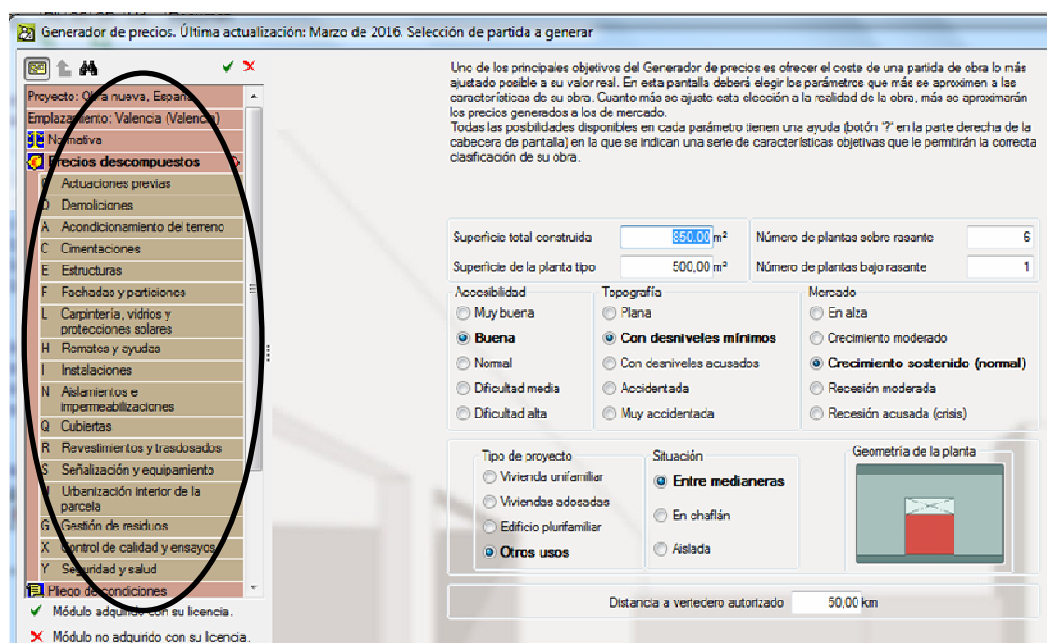


Figura 4.9 Detalle del menú desplegable en el que seleccionar las diferentes partidas del presupuesto.

La Figura 4.10 es un esquema en el que se aprecian todos los pasos que se han mencionado en este apartado.

4. El presupuesto (5D)

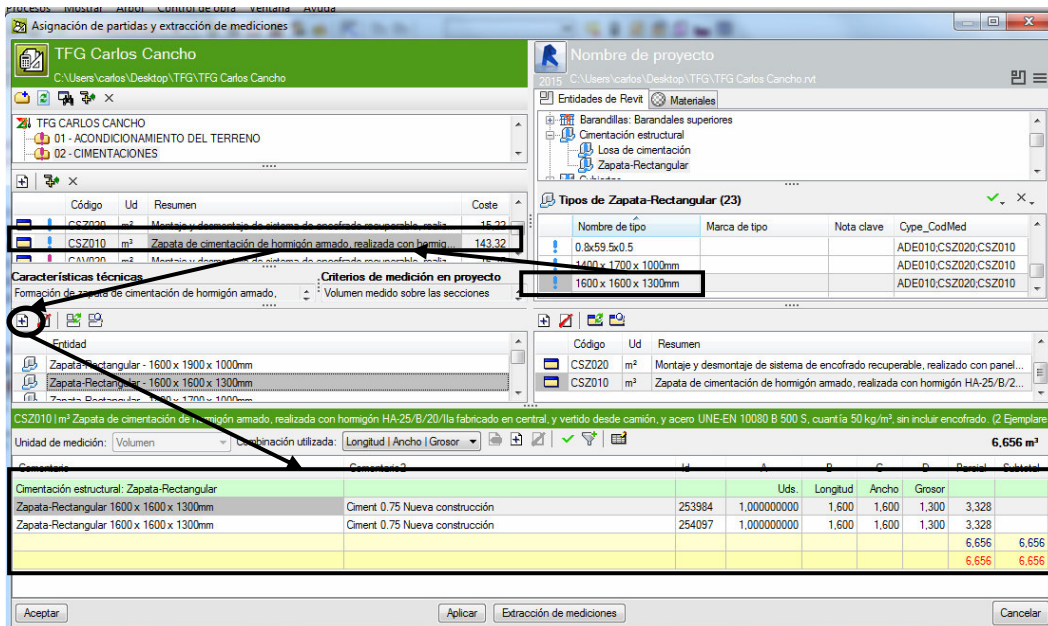


Figura 4.10 Flujo de trabajo a la hora de obtener una medición.

En este punto, se hace fundamental mencionar una de las opciones más interesantes de las que dispone *Arquímedes*, a la hora de realizar las mediciones. Se trata de la posibilidad de que el programa descuente los huecos. Las diferentes opciones para realizar esta tarea se muestran en la Figura 4.11, con lo que se consigue un presupuesto mucho más ajustado a la realidad. Por un lado permite deducir solo el exceso y por el otro indicar cuál es el tamaño mínimo a deducir.

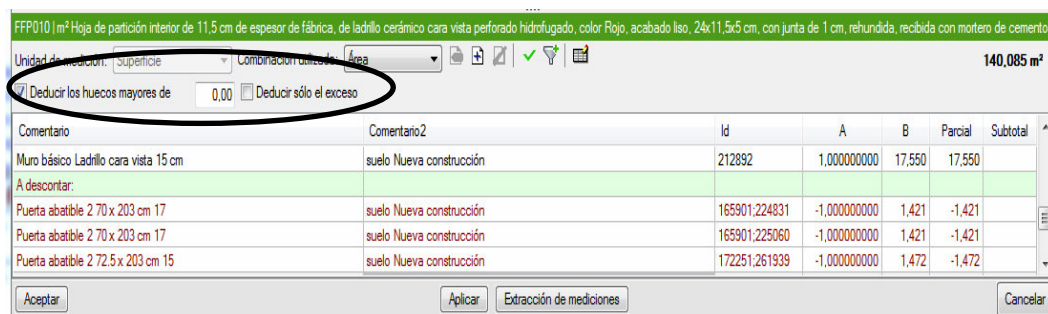


Figura 4.11 Opciones a la hora de descontar huecos en una medición.

4.3.3 Unidades

En este punto es muy importante tener en cuenta las unidades en las que se está haciendo la medición, ya que puede darse el caso de que las unidades en las que se mide el elemento del modelo no coincidan con las unidades que proporciona el *Generador de precios*.

4. El presupuesto (5D)

Está claro que cuando se trata de elementos que se miden en unidades, como por ejemplo las puertas, no hay lugar a error, pero no ocurre lo mismo cuando se hace referencia a elementos como los pilares de acero. En este caso el modelo contaba los elementos por unidades, mientras que *Arquímedes* ofrecía el precio para unidades de longitud (metros).

La ventaja que ofrece esta aplicación es la posibilidad de editar las unidades en las que el usuario desea hacer la medición (Figura 4.12), en el cuadro de diálogo *Selección de parámetros para obtener medición*. Siguiendo con el caso de los pilares de acero, se decidió tomar como unidad de medida los Kg de acero. Para ello fue necesario combinar la longitud de las barras (dato que si proporciona el modelo de Revit), con los Kg por metro del perfil de acero elegido para construir el pilar. Esta información se puede obtener de las tablas que las diferentes casas comerciales ponen a disposición de sus clientes [11], como se muestra en la Figura 4.13.

El ejemplo concreto que se muestra en la Figura 4.12 es el caso de los pilares con un perfil IPE 200, donde 22.4 es el peso de un metro de dicho perfil, y D4 es el identificador que Revit ha asignado a la propiedad altura del elemento pilar IPE 200.

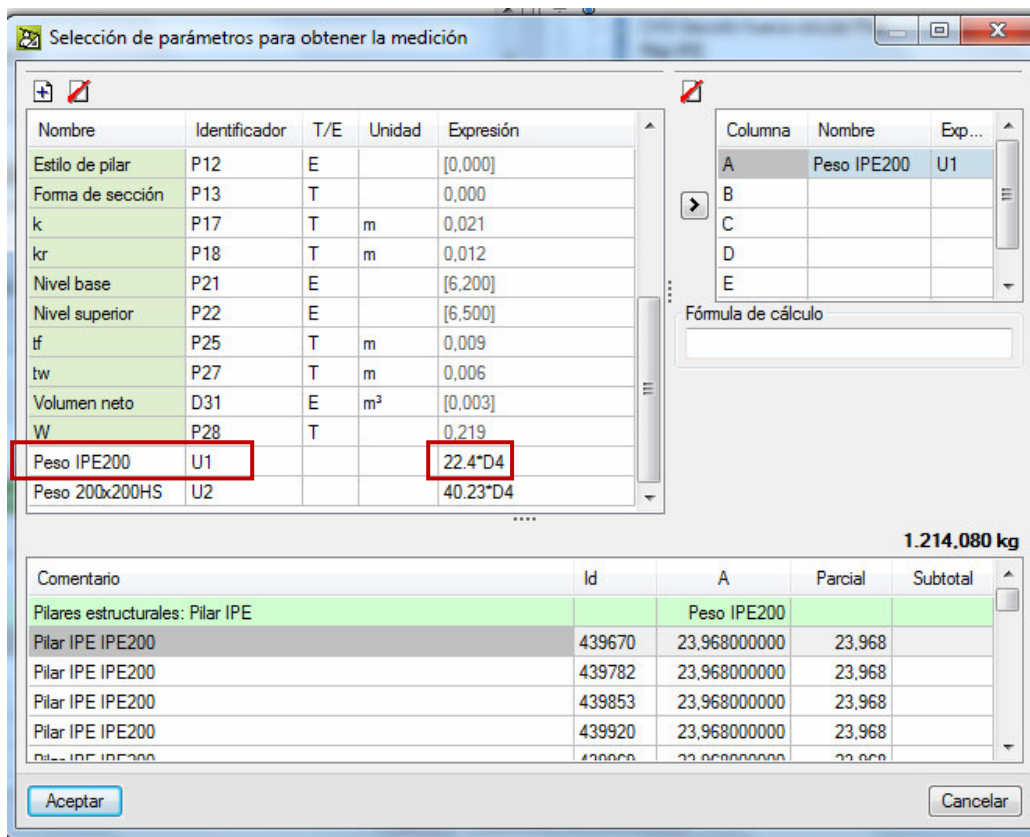
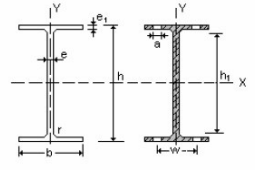


Figura 4.12 Detalle del nombre de la nueva unidad de medida, así como de la expresión para calcularla.

4. El presupuesto (5D)

Perfiles IPE



Perfil	Dimensiones						Términos de la sección											Agujeros			Peso P kp/m
	h mm	b mm	e mm	e1 mm	r mm	h1 mm	A cm	Sx cm³	Ix cm⁴	Wx cm³	Iy cm⁴	Wy cm³	It cm⁴	w mm	a mm	e2 mm					
IPE 80	80	46	3.8	5.2	5	60	328	7.64	11.6	80.1	20.0	3.24	8.49	3.69	1.05	0.721	118	-	-	3.8	6.00
IPE 100	100	55	4.1	5.7	7	75	400	10.3	19.7	171	34.2	4.07	15.9	5.79	1.24	1.140	351	-	-	4.1	8.10
IPE 120	120	64	4.4	6.3	7	93	475	13.2	30.4	318	53.0	4.90	27.7	8.65	1.45	1.770	890	35	-	4.4	10.4
IPE 140	140	73	4.7	6.9	7	112	551	16.4	44.2	541	77.3	5.74	44.9	12.3	1.65	2.630	1981	40	11	4.7	12.9
IPE 160	160	82	5.0	7.4	9	127	623	20.1	61.9	869	109	6.58	68.3	16.7	1.84	3.640	3959	44	13	5	15.8
IPE 180	180	91	5.3	8.0	9	146	698	23.9	83.2	1320	146	7.42	101	22.2	2.05	5.060	7431	48	13	5.3	18.8
IPE 200	200	100	5.6	8.5	12	159	788	28.5	110	1940	194	8.26	142	28.5	2.24	6.670	12990	52	13	5.6	22.4
IPE 220	220	110	5.9	9.2	12	178	848	33.4	143	2770	252	9.11	205	37.3	2.48	9.150	22670	58	17	5.9	26.2
IPE 240	240	120	6.2	9.8	15	190	922	39.1	183	3890	324	9.97	284	47.3	2.69	12.00	37390	65	17	6.2	30.7
IPE 270	270	135	6.6	10.2	15	220	1040	45.9	242	5790	429	11.2	420	62.2	3.02	15.40	70580	72	21	6.6	36.1
IPE 300	300	150	7.1	10.7	15	249	1160	53.8	314	8360	557	12.5	604	80.5	3.35	20.10	125900	80	23	7.1	42.2
IPE 330	330	160	7.5	11.5	18	271	1250	62.6	402	11770	713	13.7	788	98.5	3.55	26.50	199100	85	25	7.5	49.1
IPE 360	360	170	8.0	12.7	18	299	1350	72.7	510	16270	904	15.0	1040	123	3.79	37.30	313600	90	25	8	57.1
IPE 400	400	180	8.6	13.5	21	331	1470	84.5	654	23130	1160	16.5	1320	146	3.95	46.30	490000	95	28	8.6	66.3
IPE 450	450	190	9.4	14.6	21	379	1610	98.8	851	33740	1500	18.5	1680	176	4.12	65.90	791000	100	28	9.4	77.6
IPE 500	500	200	10.2	16.0	21	426	1740	116	1100	46200	1930	20.4	2140	214	4.31	91.80	1249000	110	28	10.2	90.7
IPE 550	550	210	11.1	17.2	24	468	1880	134	1390	67120	2440	22.3	2670	254	4.45	122.0	1884000	115	28	11.1	106
IPE 600	600	220	12.0	19.0	24	514	2010	155	1760	92080	3070	24.3	3390	308	4.66	172.0	2846000	120	28	12.0	122

A = Área de la de la sección
 S_x = Momento estático de media sección, respecto a X.
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X.
 $W_x = 2I_x : h$: Módulo resistente de la sección, respecto a X.
 $i_x = (I_x : A)^{1/2}$: Radio de giro de la sección, respecto a X.
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.
 $W_y = 2I_y : b$: Módulo resistente de la sección, respecto a Y.
 $i_y = (I_y : A)^{1/2}$: Radio de giro de la sección, respecto a Y.
 I_t = Módulo de torsión de la sección.
 u = Perímetro de la sección.
 a = Diámetro del agujero del roblón normal.
 w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.
 h_1 = Altura de la parte plana del alma.
 p = Peso por metro.

Figura 4.13 Tabla que recoge todas las características de los diferentes perfiles IPE. Se subrayan los 22.4 Kg por metro del perfil IPE 200.

4.3.4 El presupuesto.

Una vez que todos los elementos del modelo han sido relacionados con una partida, tan solo falta un paso para obtener el presupuesto. Se trata de seleccionar la opción de *Extracción de mediciones* (Figura 4.14).

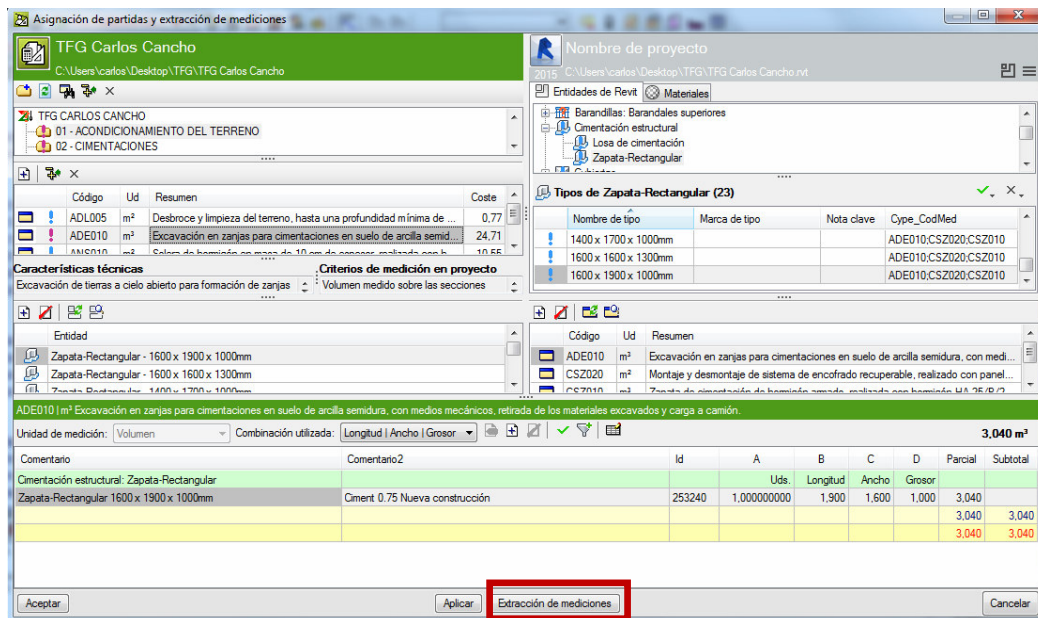


Figura 4.14 en el momento que se selecciona esta opción toda la información de las partidas se vuelca al presupuesto.

4. El presupuesto (5D)

Con ello se consigue que todas las partidas que han sido asignadas a los diferentes elementos del modelo de Revit, queden reflejadas en el presupuesto. Lo cual no es otra cosa que el objetivo de trabajar con esta herramienta.

Como se puede observar en la Figura 4.15, el presupuesto generado se organiza del mismo modo que el usuario ha decidido realizar las mediciones. En primer lugar los diferentes capítulos, y dentro de cada capítulo todas aquellas partidas que se han considerado necesarias.



The screenshot shows the software interface with a menu bar (Archivo, BDatos, Procesos, Mostrar, Árbol, Control de obra, Ventana, Ayuda) and a toolbar. Below the toolbar, there are input fields for '12', '01', and a dropdown menu set to 'ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO'. The main area displays a table with the following columns: Código, Doc., Pli, SS, GR, Ud, and Resumen. The table content is as follows:

Código	Doc.	Pli	SS	GR	Ud	Resumen
TFG CARLOS						
01						ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO
02						CIMENTACIONES
03						ESTRUCTURA
04						CERRAMIENTOS Y DIVISIONES
05						REVESTIMIENTOS Y FALSOS TECHOS
06						CUBIERTA
07						PAVIMENTOS
08						CARPINTERÍA DE MADERA
09						CARPINTERÍA METÁLICA Y PVC
10						APARATOS SANITARIOS

Figura 4.15 (a) Cuadro de dialogo de Arquímedes en el que se aprecian los diferentes capítulos del presupuesto.



The screenshot shows the software interface with a menu bar and toolbar. Below the toolbar, there are input fields for '23', '02', and a dropdown menu set to 'CIMENTACIONES'. The main area displays a table with the following columns: Código, Doc., Pli, SS, GR, Ud, and Resumen. The table content is as follows:

Código	Doc.	Pli	SS	GR	Ud	Resumen
TFG CARLOS						
01						ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO
ADL003					m²	Desbroce y limpieza del terreno, hasta una profundidad
ADE010	ADE				m²	Excavación en zanjas para cimentaciones en suelo de
ANS010	ANS				m²	Solera de hormigón en masa de 10 cm de espesor, se
02						CIMENTACIONES
CSL010	CSL				m²	Montaje y desmontaje de sistema de encofrado recupe
CSL020	CSL				m²	Losa de cimentación de hormigón armado, realizada
CSZ020	CSZ				m²	Montaje y desmontaje de sistema de encofrado recupe
CSZ010	CSZ				m²	Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada
CAV020	CAV				m²	Montaje y desmontaje de sistema de encofrado recupe
CAV010	CAV				m²	Viga de atado de hormigón armado, realizada con horr
03						ESTRUCTURA
04						CERRAMIENTOS Y DIVISIONES

Figura 4.15 (b) Detalle del presupuesto anterior en el que se han desplegado las partidas de dos de los capítulos.

4. El presupuesto (5D)

Se debe tener en cuenta que a una misma partida del presupuesto se le pueden asignar varios elementos del mismo tipo del modelo. Dentro de ese tipo es posible encontrarse con varias unidades de los elementos. Por ejemplo en el caso de las *Zapatas de hormigón* la medición se da en metros cúbicos, con lo cual, tiene sentido que en el presupuesto aparezca una única partida que englobe los metros cúbicos de hormigón, necesarios para construir todas las zapatas, aunque sus dimensiones sean distintas (Figura 4.16).

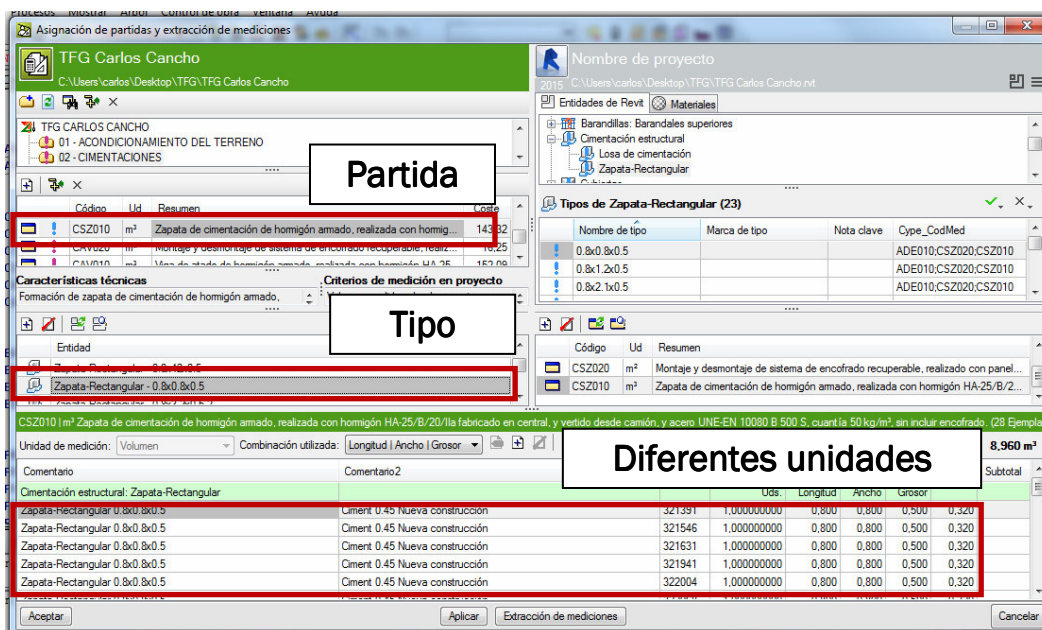


Figura 4.16 Ejemplo en el que se observa como varios elementos similares se miden dentro de una misma partida.

Teniendo todos estos detalles en cuenta, la fase correspondiente al 5D (presupuesto), se puede dar por concluida.

5. El control de obra (4D)

El siguiente paso a seguir, en la metodología de trabajo desarrollada por este TFG, es abordar una cuestión fundamental a la hora de proyectar cualquier edificio, como es el control de obra.

5.1 Generalidades

Cuando se hace referencia a este concepto lo que se busca es establecer los sistemas necesarios para comparar lo que se ha planeado con aquello que realmente se ha ejecutado. De esta forma se pueden detectar desviaciones o errores a la vez que se localizan sus causas y se miden sus consecuencias, principalmente económicas. [12]

Cabe destacar que el control de obra no es algo productivo en sí mismo, si no un coste, pero en la actualidad es algo fundamental si lo que se quiere es completar el proyecto correspondiente con éxito. Por otro lado el hecho de invertir recursos, tanto materiales como económicos, en esta tarea, conlleva unos beneficios económicos a medio, largo plazo, debido a la capacidad de reacción derivada de una detección temprana de errores.

5.2 Arquímedes y el control de obra.

Para llevar a cabo esta tarea en primer lugar es imprescindible contar con un *Diagrama de Gantt*. Esta herramienta no es otra que un tipo de gráfico de barras que ilustra un calendario del proyecto, donde la longitud de cada barra representa la duración de la actividad correspondiente. Es habitual que este gráfico este acompañado de una serie flechas que relacionan unas actividades con otras. Es lo que se conoce como relaciones de dependencia, es decir, como se relacionan unas actividades con otras.

El creador de esta herramienta grafica fue **Henry Laurence Gantt**, nacido en Maryland (EEUU), en el año 1910. El señor Gantt fue un ingeniero mecánico y consultor, famoso por el desarrollo del diagrama que lleva su nombre. [13] La Figura 5.1 muestra una imagen de este hombre junto con una de sus frases más celebres.

5. El control de obra

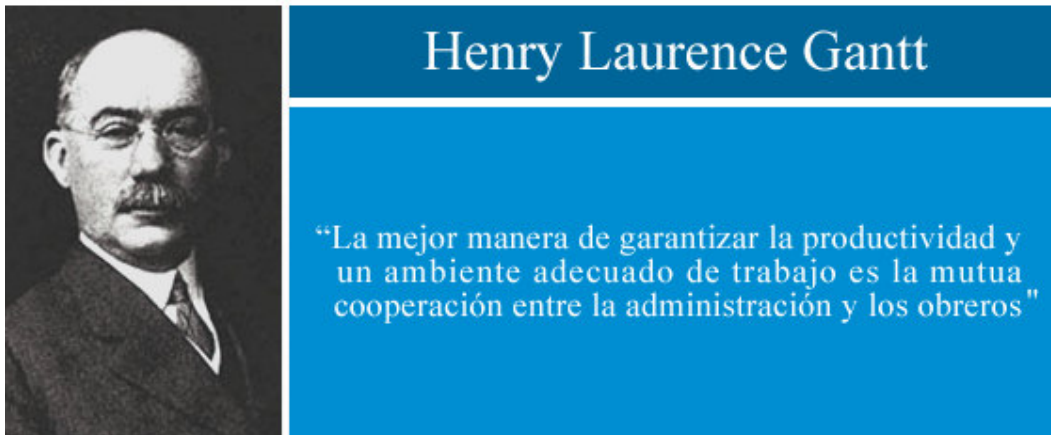


Figura 5.1 Henry Laurence Gantt (1861-1919), sin duda una de las personas más influyentes en la gestión de proyectos tal y como se conoce hoy en día.

En este caso el software de Arquímedes dispone de la opción de realizar Diagrama de Gantt (Figura 5.2).

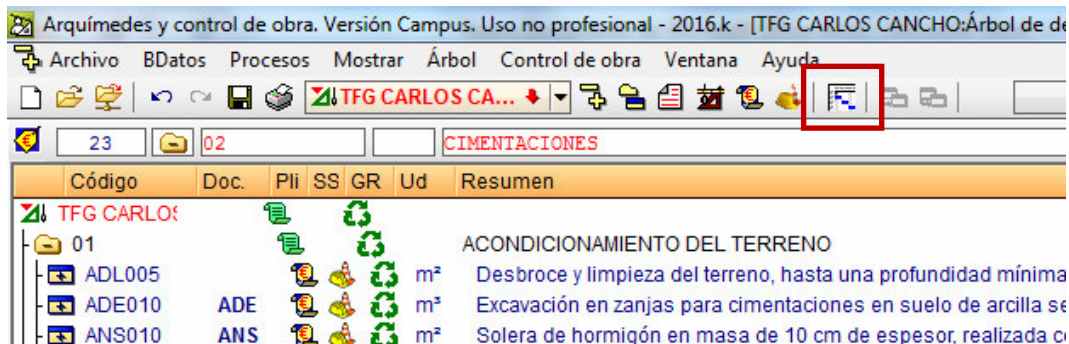


Figura 5.2 Interfaz de Arquímedes en el que se puede apreciar el presupuesto, en el que se ha destacado la opción de generar un Diagrama de Gantt.

El interfaz que se despliega cuando se quiere usar esta herramienta es el que aparece en la Figura 5.3

5. El control de obra

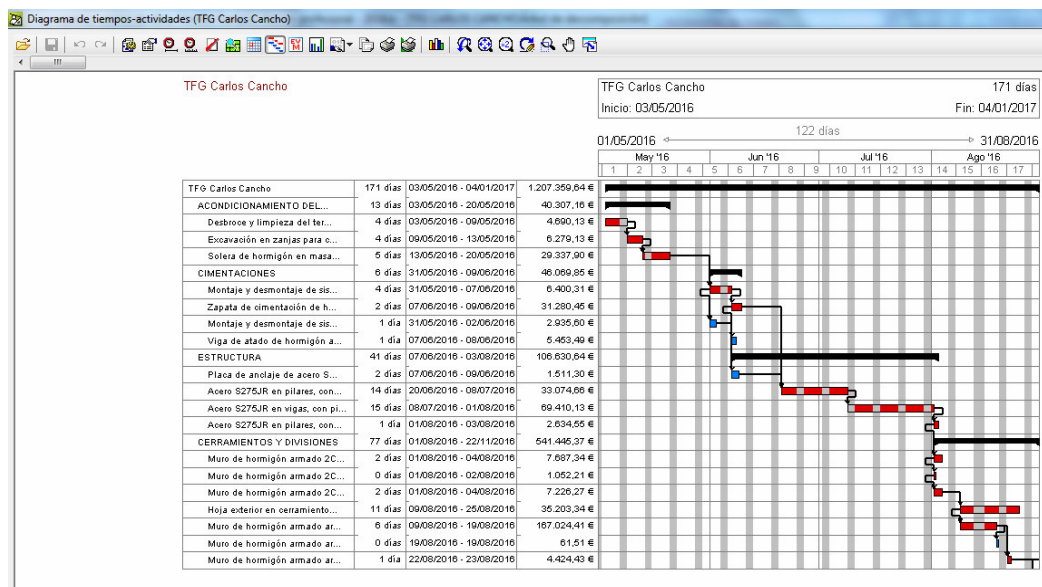


Figura 5.3 Diagrama de Gantt generado por Arquímedes.

Dentro del cuadro de dialogo anterior se pueden diferenciar cuatro zonas bien diferenciadas, que son:

- Una primera columna donde aparece el nombre de la actividad correspondiente.
- Una segunda columna en la que aparece la duración de cada actividad.
- Una tercera en la que se reflejan las fechas de inicio y final de la actividad correspondiente
- Una cuarta y última columna en la que queda reflejado el coste de la actividad, que coincide con el coste de la partida correspondiente del presupuesto, siempre y cuando se haya tenido en cuenta los impuestos, beneficio industrial, etc.

En el momento de comenzar con la elaboración del diagrama, ó siempre y cuando sea necesario, el software permite ajustar una serie de opciones generales que influyen en aspectos como por ejemplo el coste de las tareas, mencionado anteriormente. La Figura 5.4 refleja cual son estas opciones.

5. El control de obra

Nuevo diagrama de tiempos-actividades

Nombre del diagrama

Profundidad

Capítulos Niveles de capítulos

Partidas

Información para elaborar el plan de pagos

Nombre del plan de pagos

Tipo de importe a aplicar **Importe del presupuesto**

Importe de venta

Importe de estudio

Importe de adjudicación

Incluir gastos generales

Incluir beneficio industrial

Incluir impuestos (IVA)

Calendario Laboral

Jomada laboral horas

Sábados son festivos

Domingos son festivos

Mostrar tareas sobre días festivos

Festivos

Figura 5.4 Opciones generales a la hora de construir el diagrama de Gantt.

5. El control de obra

En el caso del diagrama generado por *Arquímedes* cada partida del presupuesto será una de las tareas del diagrama, como se observa en la Figura 5.5. Si bien es cierto que el orden en el que aparecen las tareas en el Diagrama de Gantt es el mismo en el que están en el presupuesto, el usuario tiene la opción de modificar este orden si lo considera necesario.



Figura 5.5 Detalle de ambas interfaces en el que se aprecia como se ha respetado el orden de las tareas en lo que se refiere al capítulo 01 del presupuesto, no siendo así en el 02.

5.3 Construyendo el Diagrama de Gantt

A pesar de la gran ventaja que supone el disponer de esta herramienta, el obtener un *Diagrama de Gantt* operativo conlleva una serie de tareas asociadas. Dicho de otro modo, el proyectista debe “construir” su propio diagrama, es decir, debe definir cuál es la duración programada para las tareas, así como las diferentes relaciones entre ellas.

Para ello el software de *Arquímedes* cuenta con una serie de opciones que permiten al usuario definir estos parámetros (Figura 5.5).

5. El control de obra

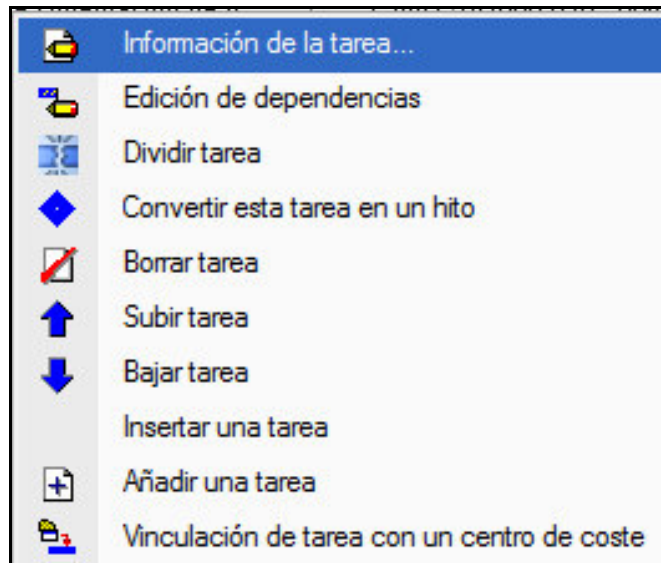


Figura 5.5 Menú de opciones a la hora de trabajar con una de las tareas.

El primer paso a la hora de construir el diagrama es seleccionar la primera opción, *Información de la tarea*, del menú que muestra la figura 5.5. Una vez hecho esto aparece un cuadro de diálogo como el que muestra la Figura 5.6, donde es posible modificar varios parámetros que se explican a continuación.

Nombre de la Actividad: ado, realizada con hormigón HA-25/B/20/lla fabricado en cen...

Fecha de inicio: 07/06/2016 01:30:04 Fecha de fin: 09/06/2016 16:48:20

Duración: 2 días, 15:18:16

Importe: 31280,45 €

Cantidad	Rendimiento	Duración
218,256 m³ /	82,74 m³/Día =	2,64 días

Cálculo manual del porcentaje de incidencia

Incidencia (%)	Mes	Importe
100,00	Mes 1	31.280,45 €

Aceptar Cancelar

Figura 5.6 Detalle de la información más relevante en cuanto a esta opción.

Las posibilidades a la hora de modificar la tarea son:

- El nombre.
- Las fechas de comienzo y fin.
- En el caso del importe viene por defecto el asociado a la partida, pero se podría modificar.
- La **cantidad**: en esta casilla se muestra la cuantía de la medida realizada por Arquímedes en las unidades en las que fue tomada.
- El **rendimiento**: este es un punto crítico a la hora de programar una toda obra, ya que dependiendo de los recursos de que disponga la empresa ejecutora, la duración de las tareas va a ser diferente. Se trata de definir cuantas unidades de medida se pueden construir por día.
- La **duración**: el contenido de esta casilla es simplemente el resultado de dividir la cantidad entre el rendimiento. Como es lógico, a mayor rendimiento menor duración, y viceversa. También cabe la opción de introducir directamente la duración en días ó modificar las fechas de inicio y final de la tarea, obteniendo así su duración.

5.3.1 El rendimiento

De forma intuitiva se deduce que la duración de una actividad es el número de días necesario para que esta se realice. Desafortunadamente la duración unitaria de las actividades no es una información suministrada por los bancos de precios, es un dato que se puede obtener a partir del número de horas previsto en la descomposición que se hace de la tarea, con el fin de establecer sus recursos laborales. Lo que ocurre es que los recursos laborales suelen aparecer en la descomposición de las unidades de obra de los bancos de precios siguiendo criterios que atienden únicamente al cálculo del precio, por lo que no se pueden emplear en el cálculo de la duración.

Si se cae en la tentación de elegir el recurso horario de mayor rendimiento de la descomposición de la partida se corre el peligro de cometer un error, ya que puede que no se trate del recurso principal que marca el rendimiento real de la tarea. Además en muchas actividades, el rendimiento no viene marcado por un único recurso sino por el rendimiento de todo el equipo de trabajo que encargara de realizar la tarea.

La Figura 5.7 muestra un ejemplo de cómo calcular el rendimiento de una tarea a partir de sus precios descompuestos.

5. El control de obra

m ³	Excavación en zanjas para cimentaciones en suelo de arcilla :	254,113	24,71	6.279,13
h	Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 115 kW.	0,397	48,540	19,27
h	Peón ordinario construcción.	0,267	15,920	4,25
%	Medios auxiliares	2,000	23,52	0,47

Figura 5.7 Precios descompuestos de una tarea.

Para realizar el vaciado de un metro cubico de zanja, a partir de la información suministrada por la Figura 5.7, y suponiendo que tanto la producción como los costes son óptimos, se observa que el recurso que fija el rendimiento de la tarea es la retroexcavadora. Esta debe estar parada el menor tiempo posible para obtener el mayor rendimiento.

Teniendo en cuenta esta información se puede afirmar que el rendimiento de la maquina es de 0,397 h/m³. Así pues el rendimiento diario obtenido es el siguiente:

$$(8 \text{ h/día} \times 1 \text{ m}^3) / 0.397 \text{ h} = 20,15 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ahora este dato se debe introducir en el sistema para obtener la duración de la tarea, como muestra la Figura 5.8.

The screenshot shows a software window titled "Modificar tarea" with the following fields and values:

- Nombre de la Actividad: Excavación en zanjas para cimentaciones en suelo de arcilla serr
- Fecha de inicio: 09/05/2016 01:26:32
- Fecha de fin: 25/05/2016 16:05:25
- Duración: 12 días, 14:38:53
- Importe: 6279,13 €
- Cantidad: 254,113 m³ /
- Rendimiento: 20,15 m³/Día =
- Duración: 12,61 días

Below these fields, there is a checkbox for "Cálculo manual del porcentaje de incidencia" which is unchecked. A table below it shows the incidence data:

Incidencia (%)	Mes	Importe
100,00	Mes 1	6.279,13 €

Buttons for "Aceptar" and "Cancelar" are at the bottom.

Figura 5.8 Calculo de la duracion de una actividad a partir de su rendimiento

Un detalle que no se puede pasar por alto bajo ningún concepto es que todo este proceso, en el que se determina la duración de las tareas, se observa desde el punto de vista del proyectista en la fase de proyecto, y no desde el punto de vista del responsable de la obra en la fase de planificación o ejecución.

5.3.2 Relaciones de dependencia

El otro aspecto fundamental a la hora de elaborar un *Diagrama de Gantt* es establecer el tipo de relación entre las diferentes tareas. Para ello *Arquímedes* cuenta con una opción explícita, como muestra la Figura 5.5. Se trata de la *Edición de dependencias*, un cuadro de dialogo (Figura 5.9) preparado para definir los diferentes tipos de relaciones entre tareas.

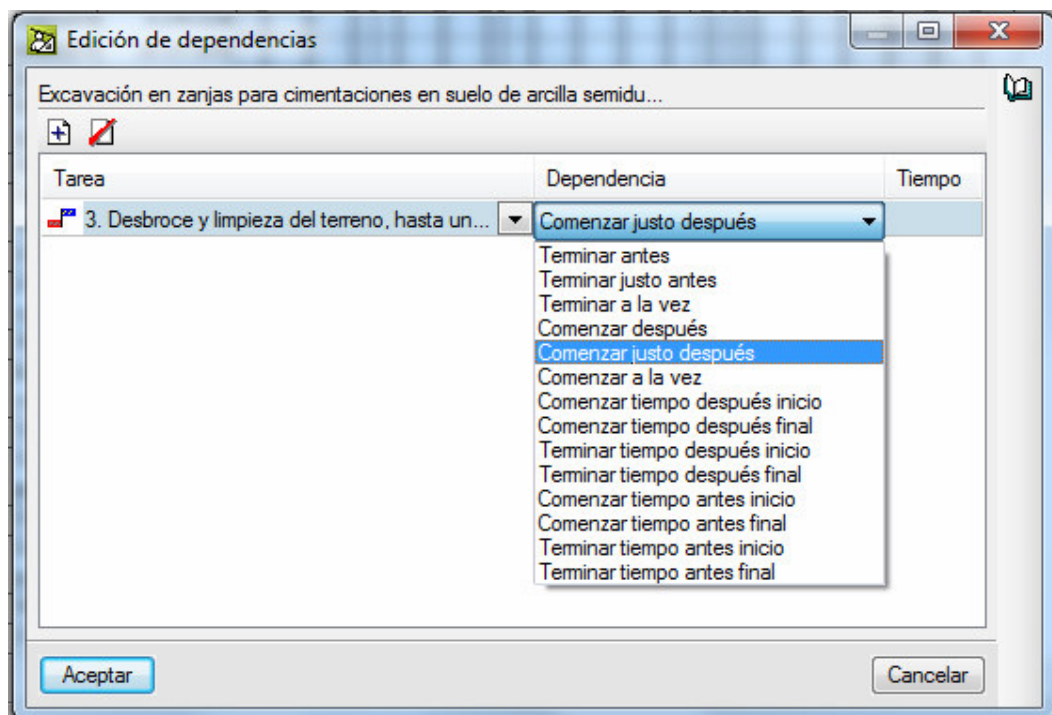


Figura 5.9 detalle de todos los tipos de relaciones que se pueden dar entre las tareas.

A continuación se explican las particularidades de esta opción que aporta el programa:

- En primer lugar se observa el nombre de la tarea que queremos relacionar.
- Después se debe seleccionar la tarea con la que se quiere relacionar.
- Por último aparece un menú desplegable con los diferentes tipos de relación (final a final, final a comienzo...)

Es importante mencionar que una actividad no tiene por qué estar relacionada exclusivamente con otra, si no que puede estarlo con varias al mismo tiempo. Además el tipo de relación que tenga con cada una de ellas no tiene por qué coincidir, como muestra la Figura 5.10.

5. El control de obra

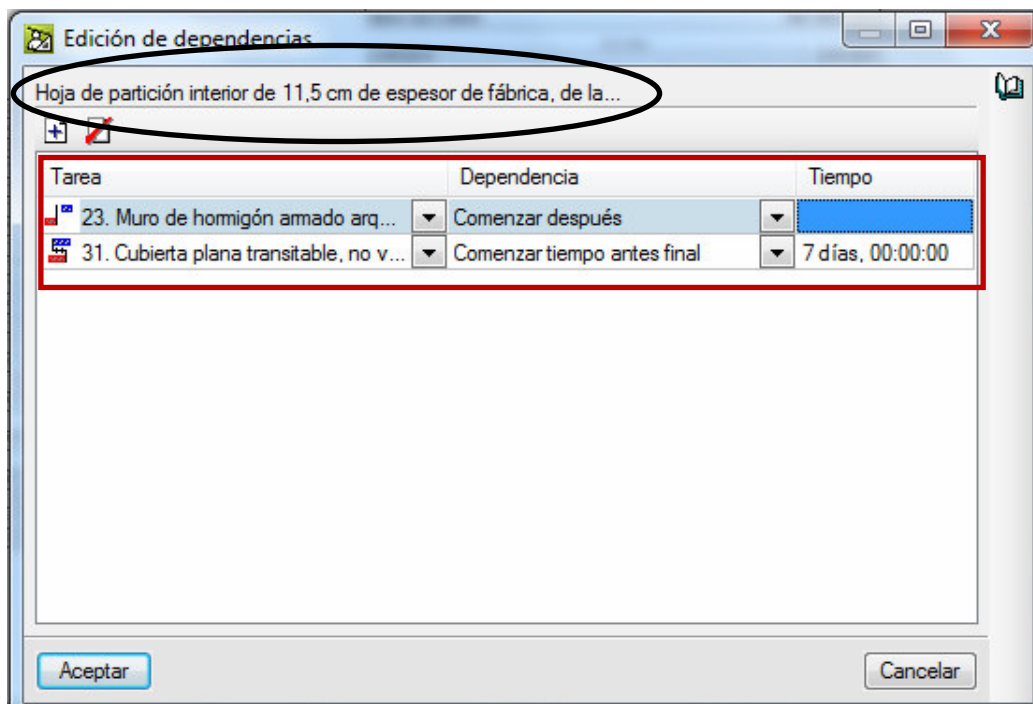


Figura 5.10 Ejemplo de una de las actividades programadas en este TFG en el que se aprecia como una actividad tiene relaciones de dependencia con otras dos al mismo tiempo.

Una vez que se han definido todas las duraciones y relaciones de dependencia de las tareas, esta parte del trabajo puede darse por concluida. El resultado obtenido es un *Diagrama de Gantt* como el que se muestra en la figura 5.11.

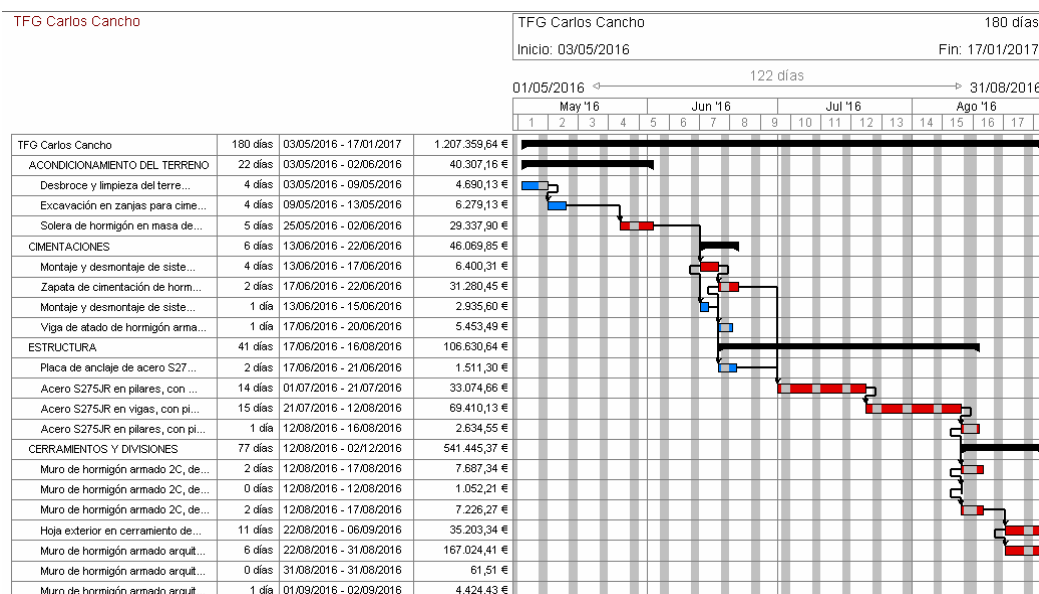


Figura 5.11 Parte del Diagrama de Gantt obtenido para este trabajo en particular.

6. MS Project, el puente de unión

Una vez que se dispone de un presupuesto y de una herramienta fundamental para el control de obra, como es el Diagrama de Gantt, lo que se busco dentro de la metodología de trabajo desarrollada por este TFG fue una herramienta que permitiera gestionar ambos. La herramienta seleccionada para ese fin fue el software *Navisworks*, gracias a la cual el proceso que se está elaborando no abandona en ningún momento BIM.

Como ya se ha mencionado con anterioridad esta aplicación permite crear una simulación en 3D (modelo de *Revit*) de la construcción de la obra, a la vez que tiene en cuenta los costes y el tiempo.

6.1 La necesidad de MS Project

Si lo que se pretende es trabajar con *Navisworks*, ¿para qué emplear esta otra herramienta?

El problema se presenta a la hora de comprobar los formatos que soporta cada plataforma. En este caso la opción más sencilla para trabajar con *Navisworks* es un archivo de tipo (.mpp) (*MS Project*). Este es el motivo principal para emplear esta herramienta, *MS Project* es el punto de unión entre *Arquímedes* y *Navisworks*. De esta forma se logra que el software que realizará la simulación tenga a su disposición toda la información relativa al presupuesto y los tiempos de ejecución.

En un primer momento se observa que *Arquímedes* permite exportar un archivo tipo (.csv) (*tipo Excel*), como muestra la Figura 6.1.

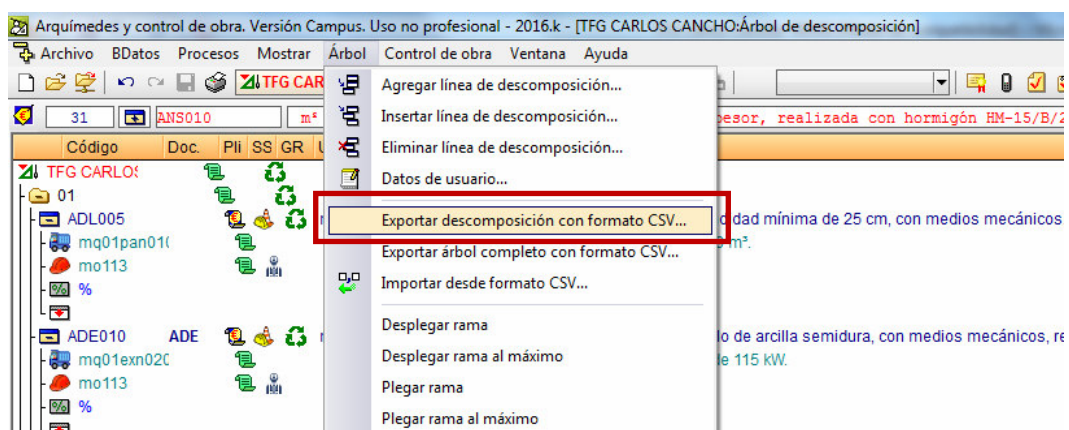


Figura 6.1 Detalle del menú desplegable en el que Arquímedes permite exportar un documento tipo (.csv).

6. MS Project, el puente de unión

El modo en el que la información queda recogida en este archivo no es útil para trabajar después en *Navisworks* y la Figura 6.2 muestra este hecho.

Código	Unidad	Resumen	Precio	Tipo concept	Tipo unitario
1			1.207.359,64	3	0
2	%	%		0	4
3		Medios auxil	0	3	0
4		ACONDICION	40.307,16	3	0
5	2	CIMENTACI	47.295,17	3	0
6	3	ESTRUCTUR	106.630,64	3	0
7	4	CERRAMIE	541.445,37	3	0
8	5	REVESTIMI	16.437,67	3	0
9	6	CUBIERTA	195.676,09	3	0
10	7	PAVIMENTO	200.168,88	3	0
11	8	CARPINTER	26.431,50	3	0
12	9	CARPINTER	7.911,10	3	0
13	10	APARATE	6.666,66	3	0
14	ADE010			2	0
15	ADL005	Desbroce y li	0,75	2	0
16	ADL010	Solera de ho	10,24	2	0
17	CAV010	Viga de atad	147,66	2	0
18	CAV020	Montaje y d	15,78	2	0
19	CAV030	Montaje y d	17,37	2	0
20	CSL020	Losa de cime	175,55	2	0
21	CSZ010		130,15	2	0

Figura 6.2 Hoja de cálculo de Excel donde se observan por un lado los capítulos del presupuesto y por otro todas las partidas.

Por lo tanto debe de existir otra forma de transmitir toda la información que se ha mencionado anteriormente desde un software al otro, y que además involucre a MS Project, que es la razón de ser de este capítulo del TFG.

6.2 Obtención del archivo de MS Project

La forma de conseguir el archivo tipo (.mpp) que necesita *Navisworks* se muestra a continuación en la Figura 6.3.

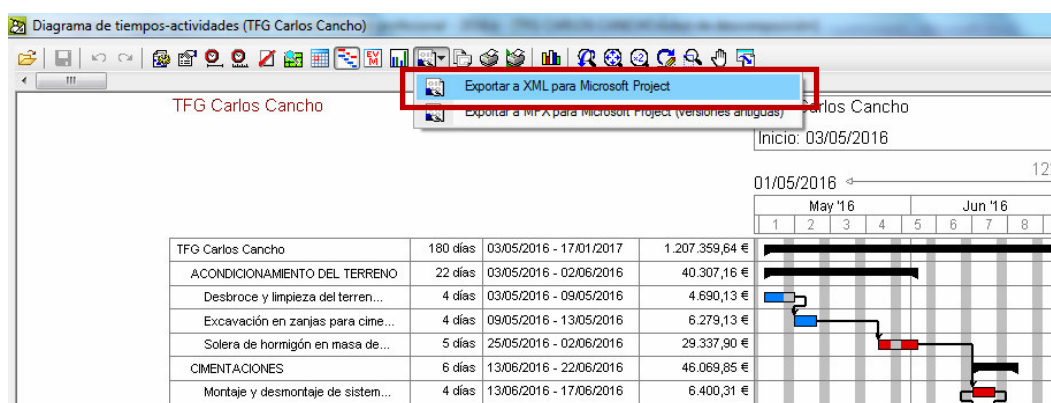


Figura 6.3 Detalle del enlace que permite exportar un archivo de tipo MS Project.

Como se observa en la Figura 6.3 es necesario acceder al área de trabajo donde se realizó el Diagrama de Gantt (*Arquímedes*) para poder seleccionar la opción deseada.

6. MS Project, el puente de unión

Es en este punto donde el usuario dispone de una de las dos partes de la información necesaria para la simulación, y en el formato adecuado. El resto de la información es el propio modelo en 3D, como ya se mencionó al comienzo de este capítulo. En un capítulo posterior se explicará cómo obtener dicha información en Navisworks.

El archivo obtenido se muestra en la Figura 6.4

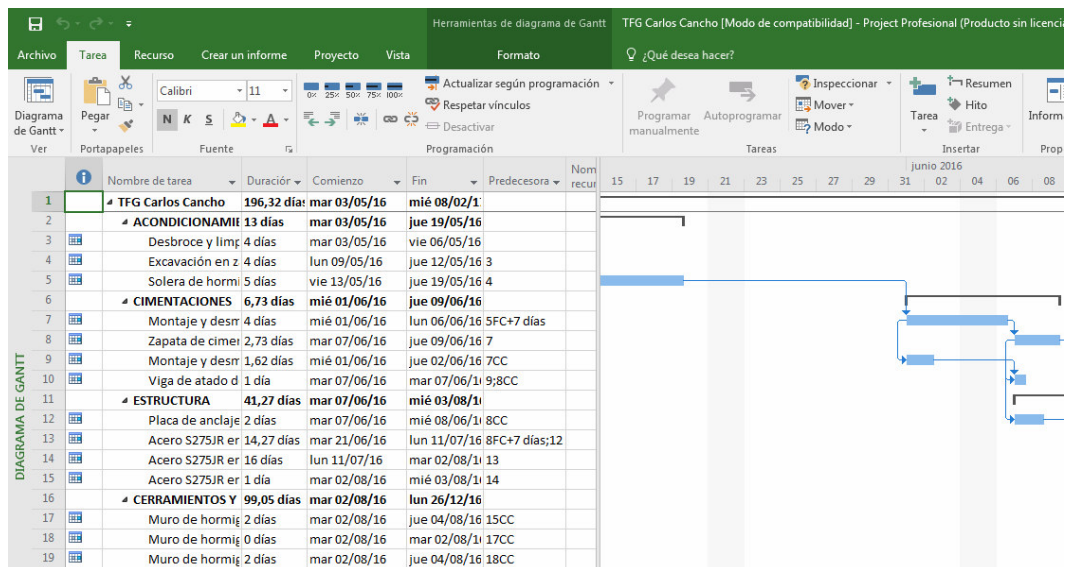


Figura 6.4 interfaz de usuario del programa MS Project.

En la figura 6.4 se puede apreciar el mismo Diagrama de Gantt fruto del trabajo con Arquímedes, con las mismas tareas y las mismas relaciones de dependencia. Por lo tanto se puede decir que esta herramienta ha cumplido con su función y ahora es el turno de la siguiente.

7. Navisworks, la simulación

A partir de este punto el presente TFG entra en su recta final. En este momento se dispone de un modelo en 3D, de un presupuesto y de un *Diagrama de Gantt*, todos ellos en un formato adecuado a la metodología de trabajo desarrollada a lo largo del presente trabajo.

Por lo tanto se está en disposición de dar el último paso, que en este caso se trata de realizar una simulación de la construcción del edificio, a la vez que se controlan las fechas de ejecución de las tareas y el coste que conlleva cada una de ellas.

7.1 Obtención del modelo 3D en Navisworks

Como ya se ha comentado es necesario disponer del modelo en 3D si se quiere realizar una simulación de la obra en *Navisworks*. Como es lógico la fuente de la que tomar esa información va a ser *Revit*.

Para ello es necesario seleccionar una de las opciones que aporta *Revit* por defecto. Se trata de acceder al menú *Complementos*, y dentro de él, a la opción *Herramientas externas*. Es en este punto donde el programa permite al usuario exportar un fichero de tipo *Navisworks*, como muestra la Figura 7.1

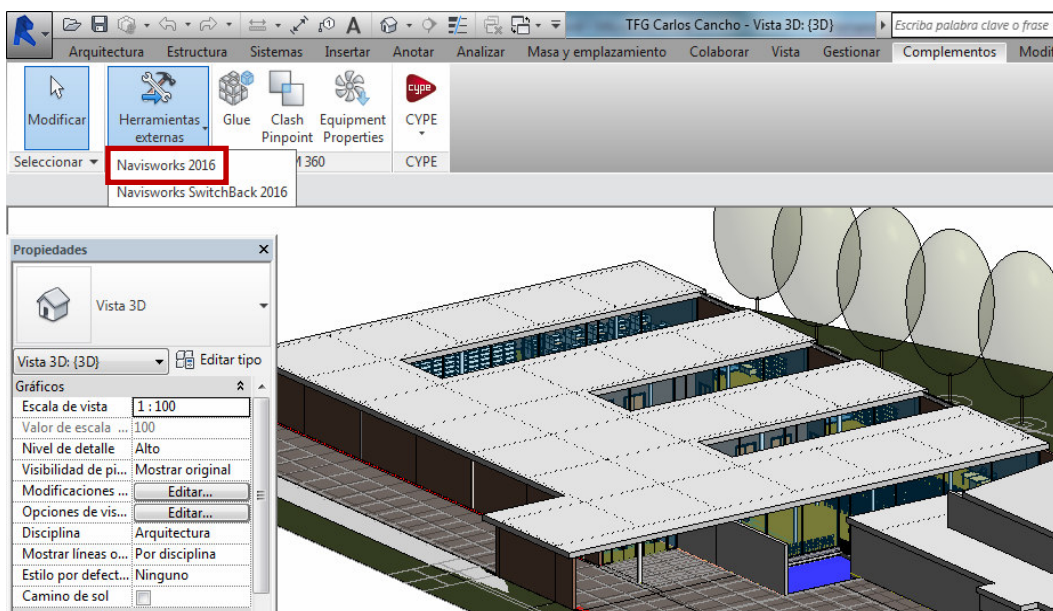


Figura 7.1 Detalle del link a través del cual obtener un fichero de tipo *Navisworks*.

Es necesario recordar que tanto *Revit* como *Navisworks* comparten el mismo desarrollador, *Autodesk*, de ahí que se complementen de forma idónea.

7. Navisworks, la simulación

Si el usuario abre el archivo que se acaba de generar se encontrará con un interfaz como el que muestra la Figura 7.2, en el que se aprecian los diferentes menús de los que dispone esta herramienta, así como el mismo modelo con el que se trabajó en *Revit*.

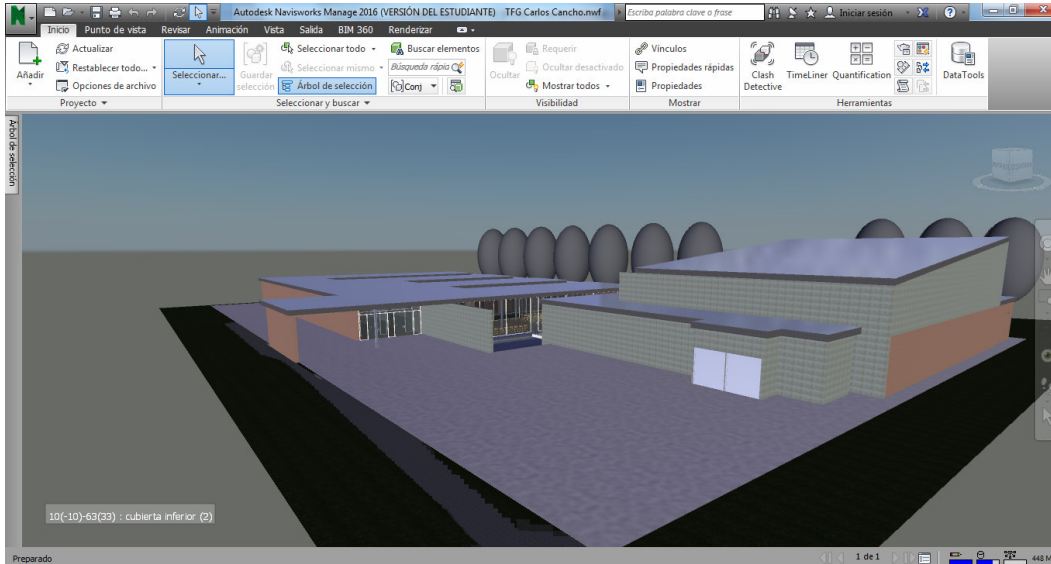


Figura 7.2 Espacio de trabajo de Navisworks en el que se aprecia el mismo modelo que en la Figura 7.1

Con esta serie de operaciones el usuario ya dispone de una de las partes fundamentales a la hora de realizar la simulación, el modelo 3D.

7.2 El Diagrama de Gantt en Navisworks

El primer paso para obtener el *Diagrama de Gantt* creado en *Arquímedes* y transformado a *MS Project*, es seleccionar la opción *Time Liner* dentro del menú *Inicio* (Figura 7.3).

7. Navisworks, la simulación

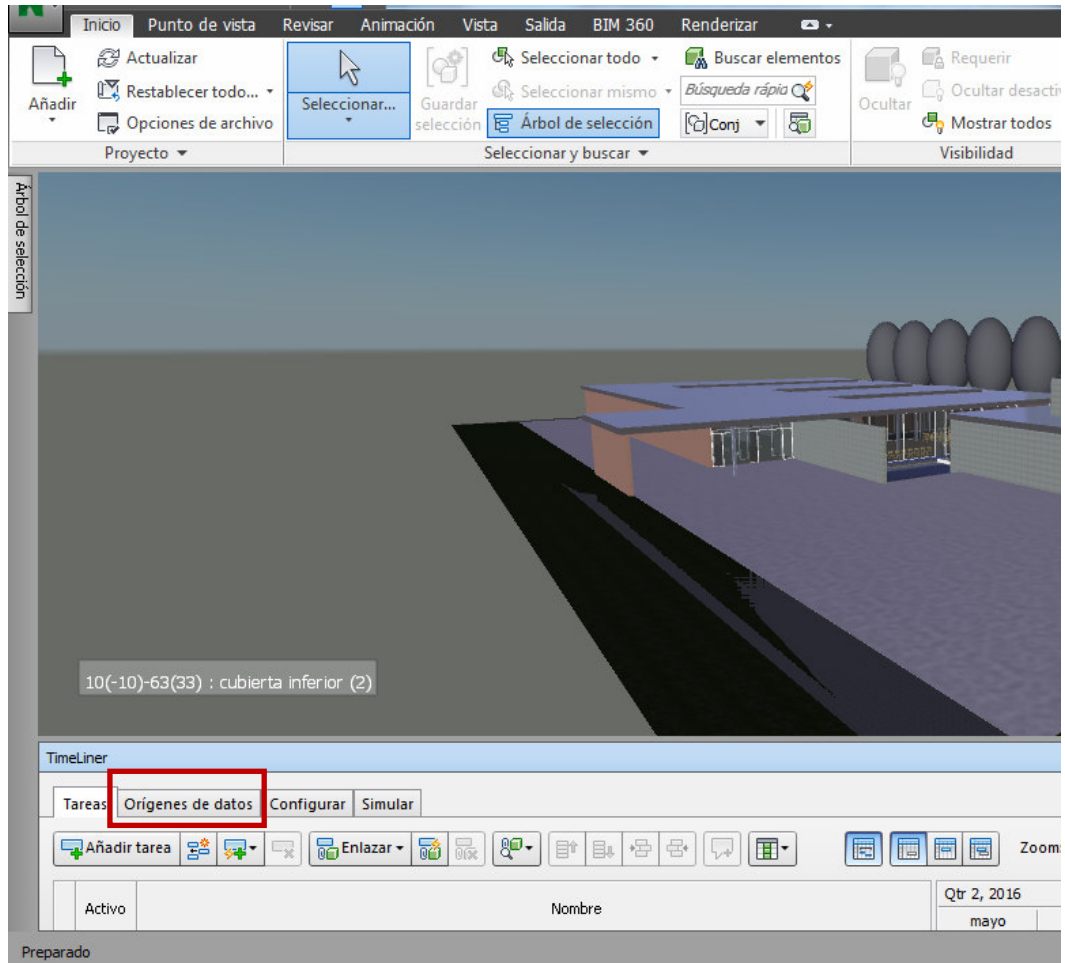


Figura 7.3 Interfaz de Navisworks en el que se ha seleccionado la opción *Time Liner*.

La ventana *Time Liner* permite vincular un modelo a una programación de construcción externa, pudiendo realizar con ello una planificación visual basada en el tiempo y los costes.

En la Figura 7.3 se ha resaltado una de las pestañas de trabajo de esta ventana. Se trata de la pestaña *Origen de datos*, donde el usuario tiene la opción de añadir diferentes fuentes a la hora de importar el *Diagrama de Gantt* (Figura 7.4).

7. Navisworks, la simulación

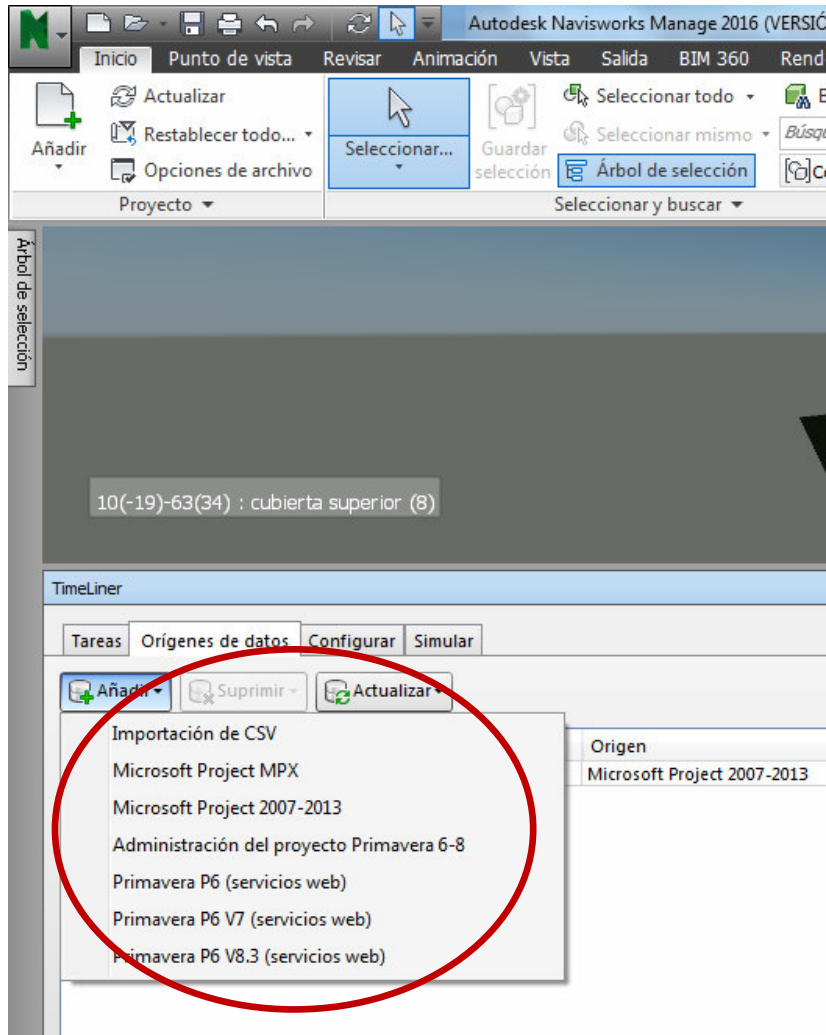


Figura 7.4 Detalle de los diferentes formatos soportados por Navisworks, a la hora de importar archivos sobre la programación de la construcción.

Entre todas las opciones destacadas hay una que es Microsoft Project 2007-2013, que en este caso se trata de la elegida para realizar el presente TFG. Este punto del proceso es el que justifica el haber tenido que utilizar otro software a priori innecesario.

Una vez seleccionado el archivo correspondiente el usuario dispone de toda la información necesaria para comenzar a trabajar en la simulación. Por un lado el modelo, que ya obtuvo con anterioridad, y por otro el mismo *Diagrama de Gantt* que obtuvo de su trabajo en *Arquímedes*. La Figura 7.5 muestra este hecho.

7. Navisworks, la simulación

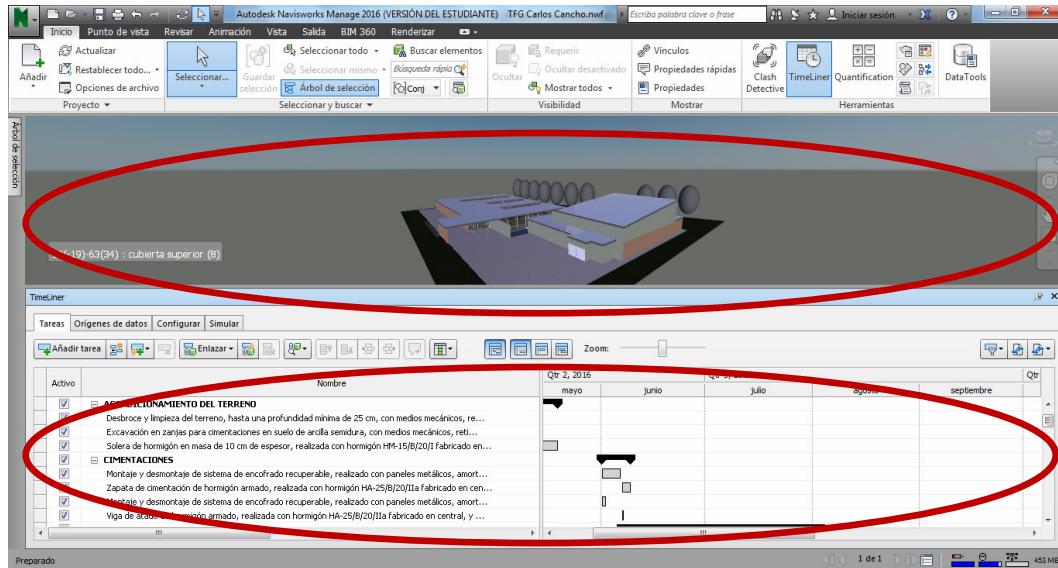


Figura 7.5 Detalle del modelo en la parte superior y de las tareas y diagrama en la parte inferior.

7.3 Enlazando elementos del modelo a tareas

A pesar de contar con los elementos paramétricos del modelo y con las tareas, el programa no es capaz de relacionar ambos por sí mismo. Existen dos maneras de hacerlo:

- **De forma manual:** el usuario selecciona el elemento o elementos, del modelo, que quiere asociar a una determinada tarea. Posteriormente selecciona la tarea en cuestión y por último confirma la selección de forma manual.
- **De forma automática:** basta con seleccionar una de las opciones del *Time Liner* para que el programa relacione las tareas con los elementos del modelo.

La opción elegida para trabajar en este TFG fue la primera, por varios motivos. En primer lugar parece lógico pensar que si existe una posibilidad de hacer el trabajo de forma automática, esta será la más recomendable. El inconveniente que presenta esta opción es que para lograr que la selección sea correcta, el usuario debe de haber realizado una serie de pasos previos:

- En la etapa del modelado se deben de identificar todos y cada uno de los elementos del modelo (aunque sean del mismo tipo), utilizando para ello el campo comentario (Figura 7.6).

7. Navisworks, la simulación

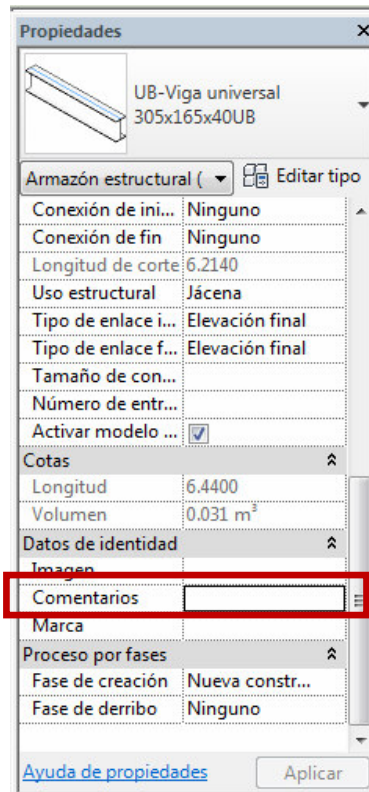


Figura 7.6 Detalle del menú de propiedades del elemento Viga Universal, en el que se aprecia el campo Comentarios vacío.

- Posteriormente, la identificación utilizada (comentario) debe aparecer en el archivo de MS Project utilizado como fuente de información en Navisworks, para que el software sea capaz de relacionarlos.

A la vista de estas necesidades esta opción fue rechazada por los siguientes motivos:

- Se detecta la necesidad de identificar todos y cada uno de los elementos del modelo en una fase tardía del desarrollo de la metodología. El modelo está acabado y este proceso se debe hacer a medida que se va modelando, de no ser así el trabajo se complica en exceso.
- Se debe tener en cuenta que las tareas que componen el diagrama de Gantt son las diferentes partidas del presupuesto. Esto quiere decir que cada partida tiene asignados varios elementos, en la mayoría de los casos, y por lo tanto la tarea no puede estar relacionada con un único comentario.

Es por ello que la opción elegida, en este caso, es la manual. A continuación se desarrolla la forma en que se debe trabajar para lograr un resultado satisfactorio, si se elige esta opción.

- En primer lugar se selecciona el elemento, o elementos, que se quiere relacionar con una tarea. El hecho de que todos los elementos se encuentren dentro de un *Árbol de selección* es de gran ayuda a la hora de ser ordenado trabajando (Figura 7.7). Esta herramienta organiza los elementos del modelo según los diferentes niveles en los que hayan sido modelados.

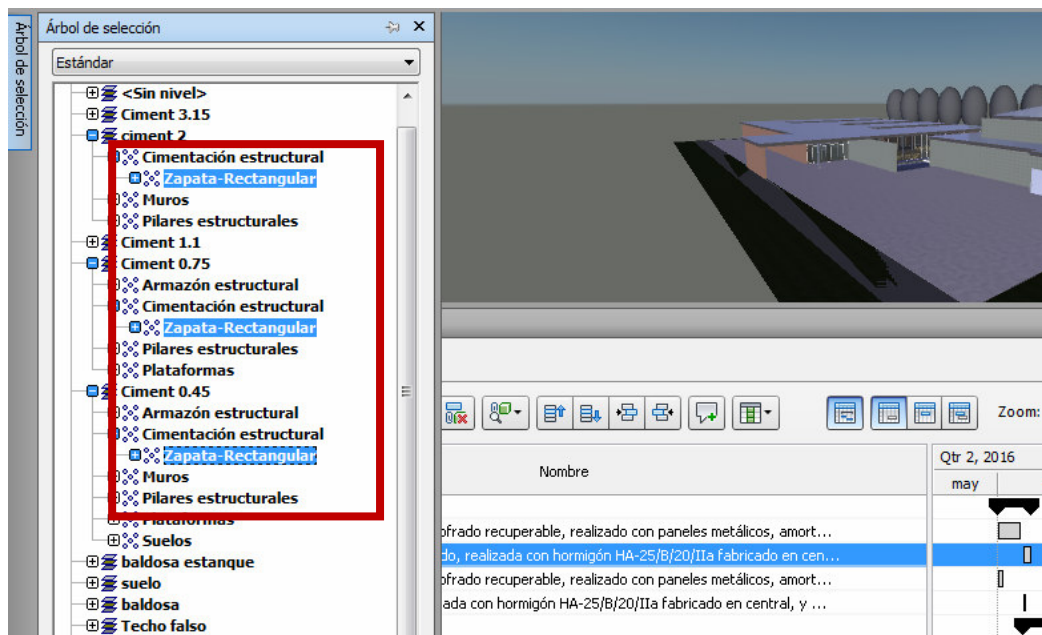


Figura 7.7 Detalle del árbol de selección en el que se han seleccionado tres zapatas a relacionar con una tarea.

- Posteriormente se selecciona la tarea con la que se pretende establecer relación (Figura 7.8).

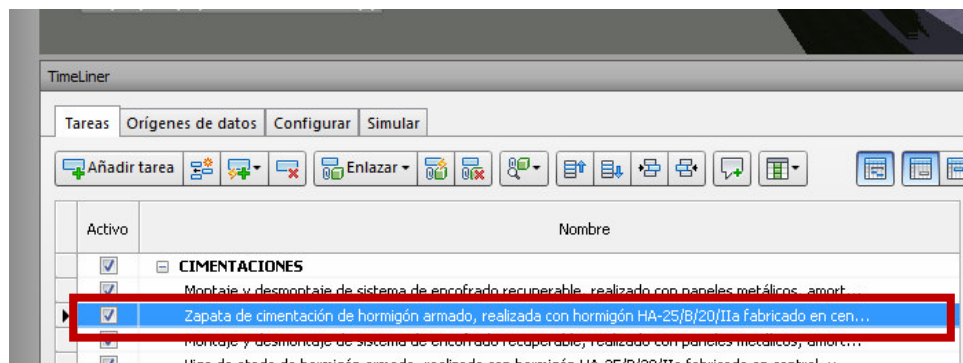


Figura 7.8 Detalle de la tarea a la que se va a relacionar los elementos zapatas de la Figura 7.7.

7. Navisworks, la simulación

- Por último, basta acceder al menú secundario sobre la tarea (botón derecho del ratón), y seleccionar la opción *Enlazar selección actual* (Figura 7.9).

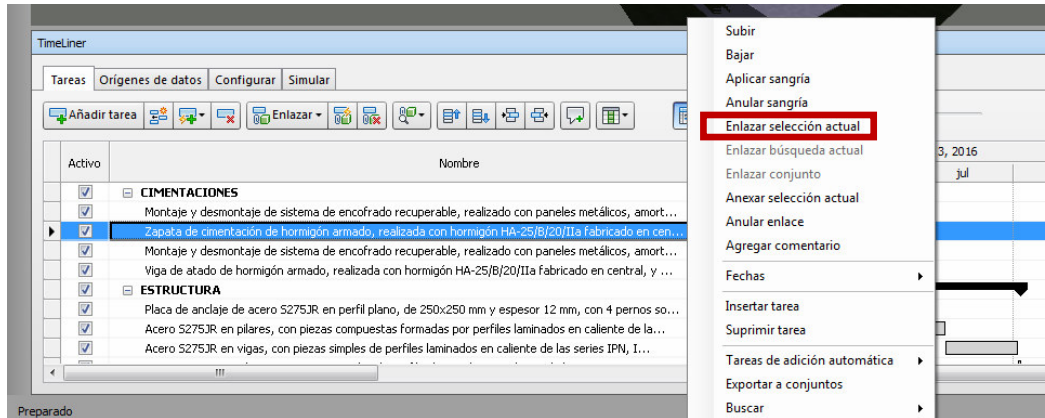


Figura 7.9 Detalle de la opción a elegir para lograr enlazar los elementos seleccionados con la tarea deseada.

Una vez que se ha realizado este proceso para todos los elementos del modelo, que se desea que aparezcan en la simulación, se puede dar un paso más hacia la simulación.

7.4 Opciones sobre las tareas

Hasta el momento, en lo que se refiere a la ventana *Time Liner*, se ha podido apreciar por un lado el nombre de las tareas, y por el otro el grafico de barras correspondiente al *Diagrama de Gantt*.

En este punto es necesario mencionar que la parte grafica puede quedar oculta, mostrando así otro tipo de información a cerca de cada una de las tareas. La Figura 7.10 muestra cuáles son esos otros campos de los que dispone cada tarea.

Estado	Inicio planeado	Fin planeado	Inicio real	Finalización real	Tipo de tarea	Enlazado	Coste total
	03/05/2016	19/05/2016	N/D	N/D			40.307,16
	03/05/2016	06/05/2016	N/D	N/D	Construcción	Selección explícita	4.690,13
	09/05/2016	12/05/2016	N/D	N/D			6.279,13
	13/05/2016	19/05/2016	N/D	N/D	Construcción	Selección explícita	29.337,90
	01/06/2016	09/06/2016	N/D	N/D			46.069,85
	01/06/2016	06/06/2016	N/D	N/D			6.400,31
	07/06/2016	09/06/2016	N/D	N/D	Construcción	Selección explícita	31.280,45
	01/06/2016	02/06/2016	N/D	N/D			2.935,60
	07/06/2016	07/06/2016	N/D	N/D	Construcción	Selección explícita	5.453,49

Figura 7.10 Cuadro de dialogo *Time Liner* en el que se han resaltado los campos que no habían sido mencionados hasta el momento.

A continuación se nombran de cada uno de esos campos y su función:

- **Estado:** se trata de una barra que representa el porcentaje en el que se ha completado una tarea en un determinado momento de la simulación.
- **Inicio planeado / Fin planeado:** estas dos columnas se completan de forma automática con las fechas de inicio y fin que contiene el *Diagrama de Gantt* que construyo el usuario, en el momento que se importa dicha información.
- **Inicio real / Finalización real:** la finalidad de estos dos campos es la de introducir las fechas reales en las que se han comenzado y terminado cada una de las tareas. Con ello es posible gestionar los posibles retrasos y tomar las decisiones más adecuadas, con el fin de completar el proyecto con éxito.
- **Tipo de tarea:** en este caso el programa da tres opciones (*Construcción, Demoler y Temporal*). Lo que se pretende con ellas es indicar al programa lo que debe hacer con los elementos enlazados a esa tarea en la simulación. Esta opción es muy útil si lo que se pretende es simular no solo la fase de construcción del edificio, sino también la fase de explotación y retirada de servicio.

Un detalle muy importante a la hora de realizar la simulación es que si se pretende gestionar la demolición de la obra, el usuario debe duplicar tareas. Por ejemplo, si se simula la construcción de un muro, deberá aparecer una tarea que tenga enlazado dicho muro y que en el campo *Tipo de tarea* aparezca la opción construcción. Pero a su vez, esa misma tarea deberá aparecer de nuevo al final de la ventana *Time Liner* con la opción *Demoler* seleccionada en el mismo campo.

- **Enlazado:** en esta casilla se muestra el tipo de selección que se ha hecho a la hora de unir los elementos del modelo y las tareas del *Diagrama de Gantt*.
- **Coste total:** se trata del coste que tiene asignada la partida dentro del presupuesto generado en *Arquímedes*.

7.4.1 Aclaraciones

Campos incompletos.

En la Figura 7.10 se aprecia como existen algunas tareas que no contienen ninguna información en los campos *Tipo de tarea* y *Enlazado*. El motivo es

que se trata de partidas del presupuesto que no tienen asignado un elemento como tal en el modelo.

La forma más sencilla de explicar este hecho es mediante un ejemplo: La partida en cuestión es el *Montaje y desmontaje del sistema de encofrado...* Como es lógico, para construir las zapatas del edificio se necesita de este sistema, pero en *Revit* en ningún momento se modela, no tiene sentido, se trata de modelar el edificio.

A la hora de presupuestar esta partida (se busca un presupuesto lo más real posible), se asocian las mediciones correspondientes a los metros cúbicos de hormigón que forman las zapatas), ya que dependiendo de esta cuantía será necesario más o menos encofrado, como es normal.

Es por esto que en la simulación si se tiene en cuenta su coste pero no será objeto de la animación en 3D. No existe un elemento paramétrico en el modelo que componga el sistema de encofrado para las zapatas.

Costes.

Como ya se ha comentado anteriormente la cuantía de cada tarea se corresponde con lo obtenido a través de las mediciones de *Arquímedes*, pero en este caso dicha información no se ha obtenido de forma automática en *Navisworks*.

La Figura 7.11 muestra como los datos referentes al coste si están presentes en el Diagrama de Gantt que proporciona *Arquímedes*, pero no es el caso cuando se hace referencia al diagrama obtenido en *MS Project*.

7. Navisworks, la simulación

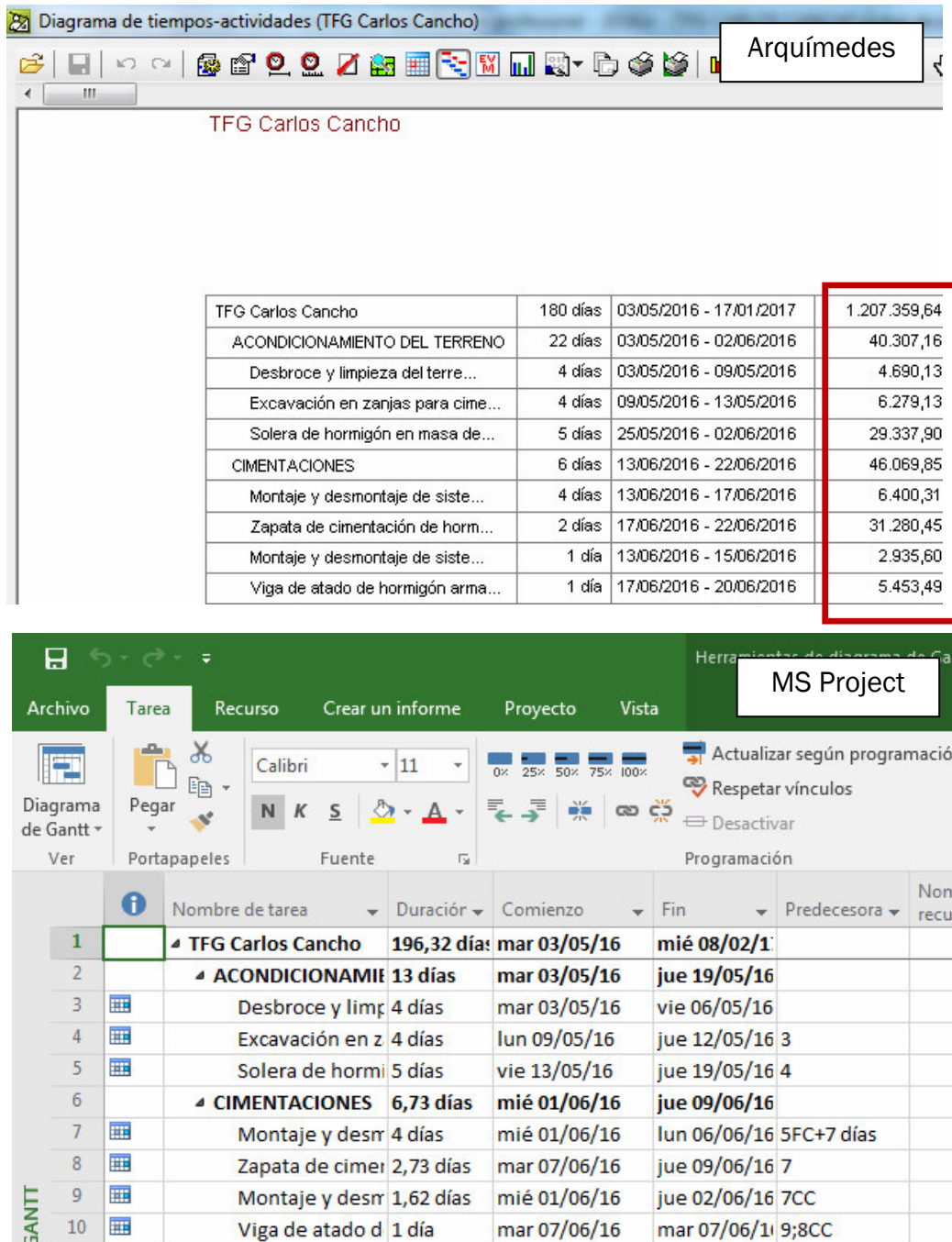


Figura 7.11 Detalle en el que se aprecia como los costes solamente quedan reflejados en uno de los software.

Puesto que la fuente de la que *Arquímedes* toma la información, en lo que al Diagrama de Gantt se refiere, es *MS Project*, todos los datos referentes al coste de las actividades se introducen de forma manual al sistema.

7.5 La simulación

Una vez que se tienen enlazadas las tareas a simular (tareas de construcción), y aclarados los pormenores que se pueden presentar, es momento de simular la construcción de la obra.

El primer paso es seleccionar la pestaña *Simular* dentro de la ventana *Time Liner*, como muestra la Figura 7.12.

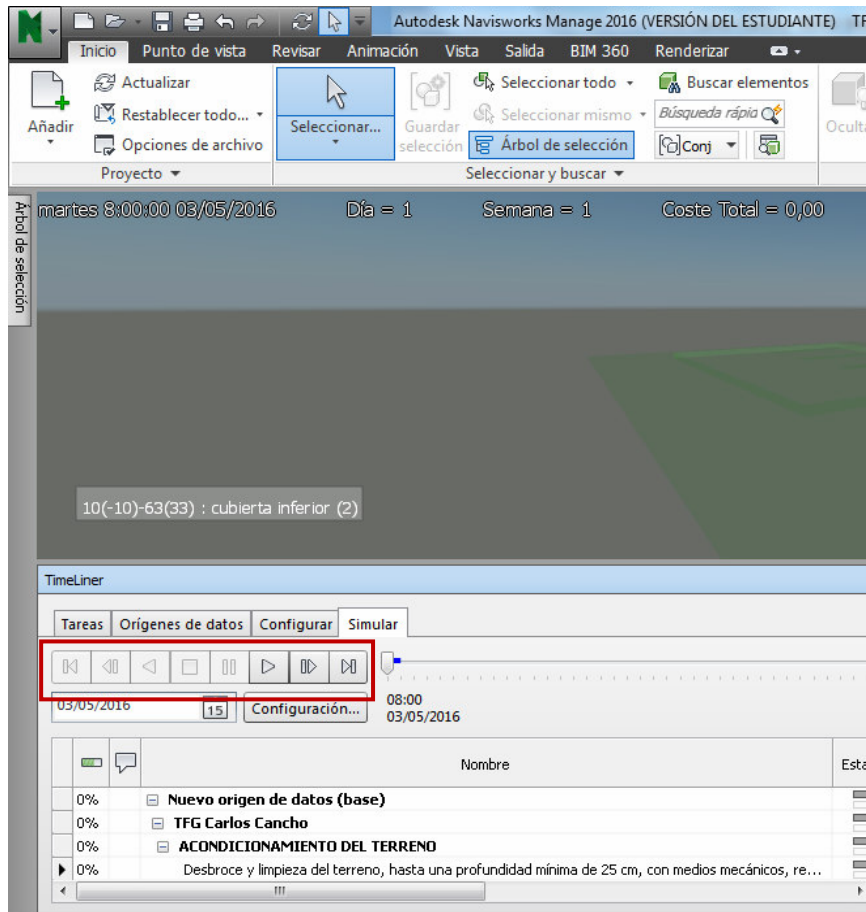


Figura 7.12 interfaz de Arquímedes en el momento de seleccionar la opción *simular*.

En la figura anterior se observan los controles típicos de un sistema de reproducción de video así como la zona destinada al modelo vacía, sinónimo de que la simulación no ha comenzado y por lo tanto no puede haber ningún elemento construido.

El último paso antes de poder dar comienzo a la animación en 3D es configurar las diferentes opciones que presenta (Figura 7.14). Para ello basta con seleccionar la opción *Configuración* dentro de la pestaña *Simulación*.

7. Navisworks, la simulación

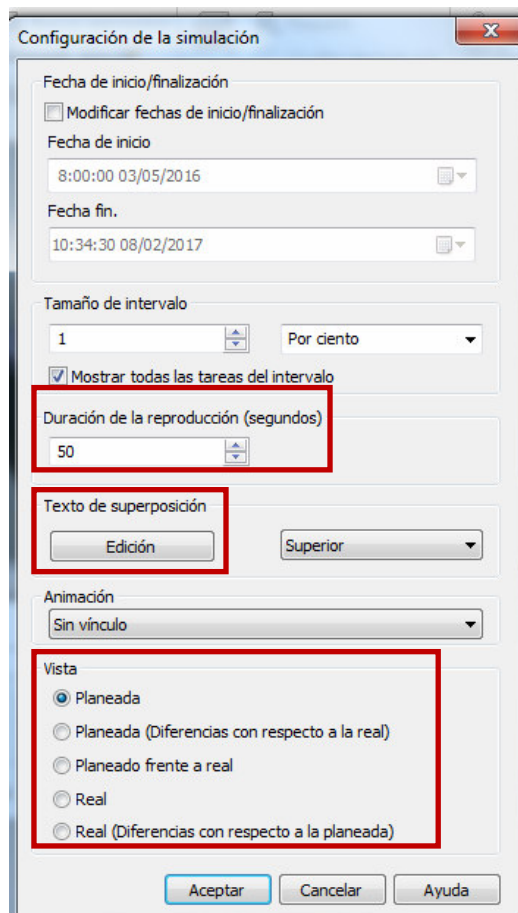


Figura 7.13 Menú de opciones ajustables a la hora de simular.

Entre las posibilidades que se presentan en la Figura 7.13 se destacan tres fundamentalmente:

- **Duración:** se trata de ajustar el tiempo que el usuario quiere que la simulación tarde en ejecutarse.
- **Vista:** en caso de contar con las fechas reales de fabricación, además de las planeadas lógicamente, *Navisworks* permite comparar de forma visual cuales son las diferencias entre ambas, o bien cualquiera de las dos por separado. Esto puede ser muy útil para la persona encargada de gestionar el proyecto, ya que de una forma muy intuitiva puede ver donde se producen los cuellos de botella en la construcción, y tomar así las decisiones pertinentes.
- **Texto de superposición:** esta opción permite que a la vez que se está ejecutando la animación en 3D aparezca superpuesta cierta información. Se trata de datos como el día en el que llega la simulación o el coste acumulado hasta la fecha. La Figura 7.14 muestra la información seleccionada para elaborar este TFG.

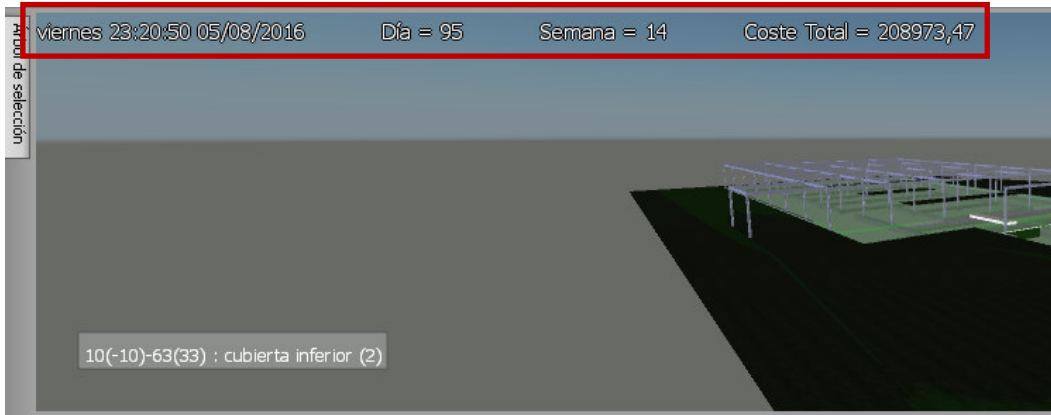


Figura 7.14 Detalle del texto mostrado en este caso, una vez que ha arrancado la simulación y se ha parado antes de finalizar.

Las opciones elegidas fueron el día de la semana, la hora del día, la fecha, el día de fabricación planeado, la semana de fabricación planeada, y finalmente el coste de fabricación acumulado hasta ese momento.

Así pues para el momento exacto en el que se ha detenido la simulación se observa que estaría construida tanto la cimentación, como la estructura metálica. Los valores obtenidos para las opciones de texto en la figura 7.14 se muestran más claramente a continuación:

- **Día de la semana:** Viernes
- **Hora:** 23:20:50
- **Fecha:** 05/08/2016
- **Día planeado:** 95
- **Semana de fabricación:** 14
- **Coste Total:** 208973,47

Toda esta información es de gran ayuda a la hora de planificar la construcción de la obra, ya que permite al proyectista hacerse una idea fiable de cuáles son sus necesidades de recursos en un determinado momento. Con recursos se hace referencia tanto a los económicos, los materiales, como los humanos.

Al fin y al cabo los dos últimos tienen una traducción directa en términos monetarios, y estos fueron cuantificados a la hora de realizar el presupuesto.

8. Conclusiones.

Una vez finalizado el trabajo es necesario obtener ciertas conclusiones del mismo, fruto del análisis de los resultados obtenidos. En primer lugar se mencionan ciertas conclusiones de carácter general, para finalizar con aquellas que son más específicas de la metodología de trabajo desarrollada a lo largo del presente TFG.

- Durante todo el proceso en ningún momento se ha abandonado el proceso de trabajo BIM, estableciendo con ello una línea de comunicación entre las diferentes herramientas de software.
- El hecho de emplear una metodología BIM a la hora de diseñar un edificio permite disponer de todo tipo de información (materiales, cotas, equipos, costes...) dentro de un modelo. Esto hace que los posibles errores cometidos sean menores y detectados en fases mucho más tempranas del diseño, logrando así reducir los costes asociados a los mismos.
- La posibilidad que ofrece BIM a la hora de simular tanto los plazos de ejecución, como los costes, otorgan al proyectista la capacidad de tomar decisiones de forma más eficiente, lo que supone un ahorro tanto de tiempo como de costes.
- Existen diferentes herramientas a la hora de trabajar en BIM. Todas ellas son válidas, en la medida en que cumplen con una de las tareas del proceso, pero es el proyectista el que debe decidir cuáles se ajustan más a sus necesidades. En este caso se eligieron *Revit*, *Arquímedes*, *MS Project* y *Navisworks*, debido a la posibilidad de adquirir licencias a coste cero.
- Si se va a emplear la presente metodología de trabajo para proyectar un edificio, se recomienda que a la hora de modelar los elementos en *Revit* se utilice el campo comentario para identificarlos, para lograr con ello una relación automática entre tareas y elementos en *Navisworks*.
- Un motivo fundamental que ha motivado el desarrollo de este TFG es que la Comisión BIM España, junto con el Ministerio de Fomento acordaron que a partir del año 2018, todos los proyectos presentados a concurso de la administración pública deberán ser entregados en BIM.

9. Líneas futuras.

Una vez que se está en disposición de acceder a la información suministrada por la simulación, se considera que los objetivos principales del presente TFG se han cumplido. No obstante se pueden seguir dando pasos en el sentido de lograr una metodología más eficiente, ó conseguir que la misma llegue más lejos.

Algunas de las posibles vías de progreso se expresan a continuación:

- Trabajar sobre el formato (.csv) proporcionado por *Arquímedes*, con el fin de evitar el paso por *MS Project*.
- Investigar sobre la manera de transmitir automáticamente a *Navisworks* la información referida al coste de las tareas en *Arquímedes*.
- Continuar desarrollando la metodología hacia la obtención del 6D

9.1 El Mantenimiento (6D)

Hasta el momento no se ha hecho referencia a este concepto, pero se trata de un aspecto fundamental a la hora de entender BIM, y las diferentes metodologías de trabajo desarrolladas.

En primer lugar se define el 6D como la gestión del mantenimiento del edificio a lo largo de su ciclo de vida (Facilities Management). Esto implica que el modelo BIM coexistirá con dicho edificio, haciendo las veces de base de datos actualizada.

Se trata de añadir información al modelo, a lo largo de su vida útil, que está relacionada con los materiales, los equipos, los consumos, incluso la demolición del propio edificio. Todo esto hace que se pueda realizar una gestión mucho más eficiente tanto se los activos como del mantenimiento de las instalaciones.

Gracias a la información de los costes suministrada por el trabajo en 5D, es posible dar un paso más y aprovechar todo el potencial que ofrece esta tecnología. [14]

La figura 9.1 muestra de forma grafica como se complementan las diferentes etapas de una metodología BIM.

9. Líneas futuras

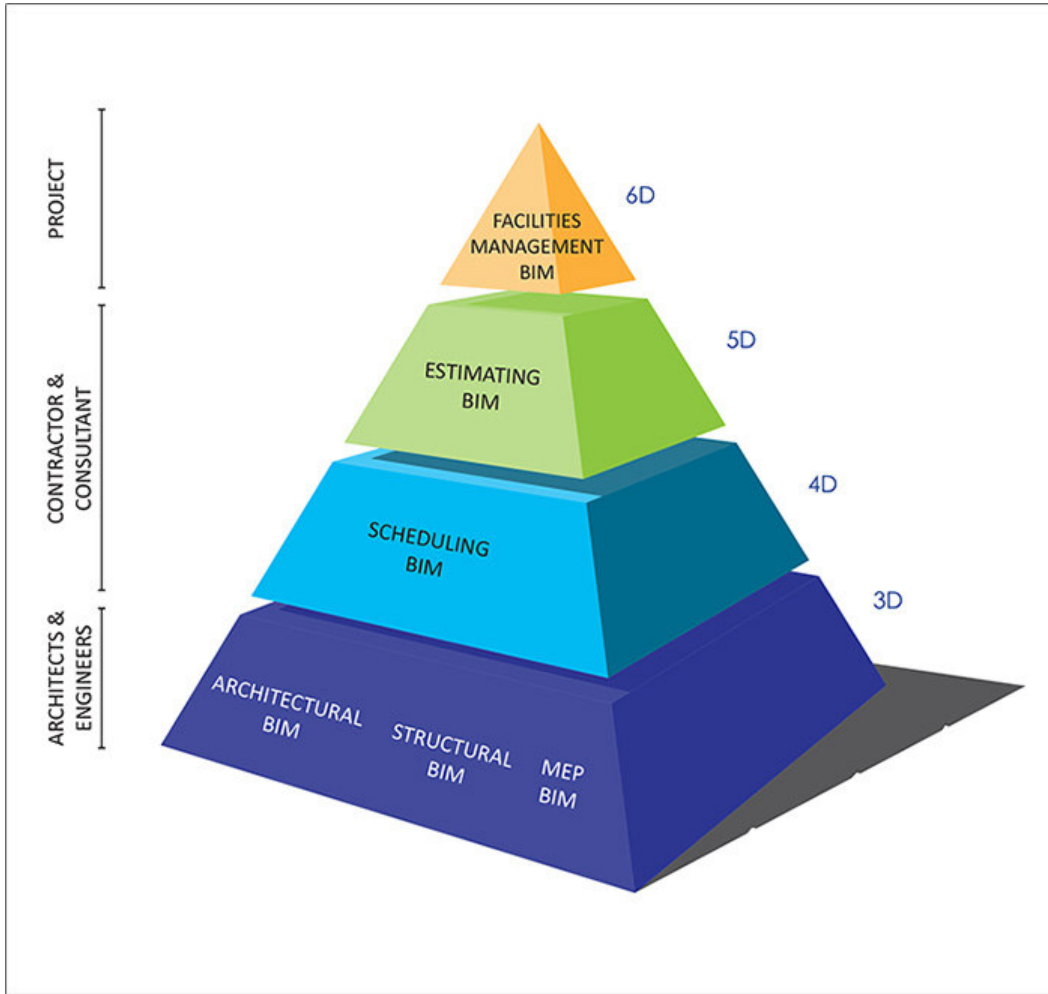


Figura 9.1 Pirámide que muestra los diferentes niveles de BIM y como cada paso (3D, 4D, 5D), complementa al siguiente. [15]

10. Bibliografía referenciada y normativa consultada

- [1] COLOMA PICÓ E. Introducción a la tecnología BIM. Technical report, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona – Universidad Politécnica de Cataluña, Octubre 2008.
- [2] RICHARDS M. BEW M. Bew-Richards BIM Maturity Model. 2008.
- [3] GÓMEZ FERNÁNDEZ I. *Interacción de procesos BIM sobre una vivienda del movimiento moderno. La Ville Savoye*. PhD thesis, Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica - Universidad de A Coruña, Junio 2013.
- [4] ROLDÁN MÉNDEZ M. MARTÍN DORTA N., GONZALEZ DE CHAVES ASSEF P. Building Information Modelling (BIM): Una oportunidad para transformar la industria de la construcción. *Spanish Journal of BIM*, 1:12 - 18, 2014.
- [5] EASTMAN C. The use of computers instead of drawings in building design. *AIA Journal*, Marzo 1975.
- [6] GONZÁLEZ MÁRQUEZ R. CHOCLÁN GÁMEZ F., SOLER SEVERINO M. Introducción a la metodología BIM. *Spanish Journal of BIM*, 1:4 - 10, 2014.
- [7] ALLISON H. ET AL MCNELL D. Building Information Modelling. Technical report, infoComm International.
- [8] The business value of BIM in North America. Multi-year trend analysis and user ratings (2007-2012). In *McGraw Hill Construction*. 2012.
- [9] GALARZA NÁCHER J. GÓMEZ DE BARREDA FERRAZ C. FERRER GISBERT P., FUENTES BARGU_ES J. Benefits and disadvantages of BIM for construction project management. In *18th International Congress on Project Management and Engineering*, Alcañiz, Julio 2014. Departamento de Proyectos de Ingeniería y Máster en Dirección y Gestión de Proyectos.
- [10] CYPE INGENIEROS Manual de usuario de Arquímedes. Disponible en: http://www.cype.net/manuales/arquimedes/Cype_arquim_c2_7_conexiones_cad.pdf, 2016. (Fecha de consulta 01-06-2016).

- [11] UNIVERSIDAD DE GRANADA. Tabla de perfiles metálicos. Disponible en:
http://www.ugr.es/~grus/docencia/aei/download/tabla_perfiles.pdf, 2016. (Fecha de consulta 10-06-2016).
- [12] UNIVERSIDAD DE SONORA. Biblioteca digital. Tesis Digitales. Disponible en:
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10307/Capitulo4.pdf>, 2016. (Fecha de consulta 11-06-2016).
- [13] UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Historia de la Ingeniería Industrial. Disponible en:
http://www.ingenieria.unam.mx/industriales/historia/carrera_historia_gantt.htm, 2016. (Fecha de consulta 10-07-2016).
- [14] eBIM SOLUCIONES EFICIENTES. Servicios. Disponible en:
<http://ebim.es/index.php/servicios/5d-y-6d-coordinacion>, 2016. (Fecha de consulta 12-07-2016).
- [15] ARISTEO. Building Information Modeling (BIM). Disponible en:
http://www.aristeo.com/?page_id=1739, 2016. (Fecha de consulta 12-07-2016).
- [16] DATAEDRO. Blog sobre BIM para profesionales del sector. Disponible en:
<http://dataedro.blogspot.com.es/2013/11/navisworks-una-gran-herramienta-para-la.html>, 2016. (Fecha de consulta 09-07-2016).
- [17] EDIFICABIM BLOGSPOT. Javier Zangróniz, Ingeniero de Edificación experto en Revit y Navisworks. Disponible en:
<http://edificabim.blogspot.com.es/2016/01/dimensiones-bim.html>, 2016. (Fecha de consulta 08-07-2016).
- [18] GRAPHISOFT. Archicad, Open BIM. Disponible en:
https://www.graphisoft.es/archicad/open_bim/about_bim, 2016. (Fecha de consulta 12-06-2016).

Normativa consultada

- Norma UNE-ISO 21500:2013. Directrices para la Dirección y Gestión de Proyectos.
- Norma UNE-ISO 690:2013. Directrices para las referencias bibliográficas y las citas de los recursos de información.