



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TESIS DOCTORAL

Título
Mejora de los procesos de comunicación y coordinación en proyectos de construcción mediante el empleo de modelos de información de la construcción <i>n</i>-Dimensionales
Autor/es
David Vergara González
Director/es
Eliseo Pablo Vergara González
Facultad
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Titulación
Departamento
Ingeniería Mecánica
Curso Académico
2013-2014



Mejora de los procesos de comunicación y coordinación en proyectos de construcción mediante el empleo de modelos de información de la construcción *n*-Dimensionales, tesis doctoral
de David Vergara González, dirigida por Eliseo Pablo Vergara González (publicada por la Universidad de La Rioja), se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

© El autor
© Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2014
publicaciones.unirioja.es
E-mail: publicaciones@unirioja.es



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Departamento de Ingeniería Mecánica

MEJORA DE LOS PROCESOS DE COMUNICACIÓN Y COORDINACIÓN EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE EL EMPLEO DE MODELOS DE INFORMACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN n-DIMENSIONALES

TESIS DOCTORAL

Autor: David Vergara González

Director: Dr. Eliseo Pablo Vergara González

Septiembre 2014



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**



CAMPUS PÚBLICO DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

**MEJORA DE LOS PROCESOS DE COMUNICACIÓN Y COORDINACIÓN
EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE EL EMPLEO DE
MODELOS DE INFORMACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN
n-DIMENSIONALES**

TESIS DOCTORAL

Autor: David Vergara González

Director: Dr. Eliseo Pablo Vergara González

Septiembre 2014

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA - Departamento de Ingeniería Mecánica

**MEJORA DE LOS PROCESOS DE COMUNICACIÓN Y COORDINACIÓN EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
MEDIANTE EL EMPLEO DE MODELOS DE INFORMACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN n-DIMENSIONALES**

Septiembre 2014

Autor: David Vergara González

Director: Dr. Eliseo Pablo Vergara González

"La ciencia y el saber en general estaban reservados a unos cuantos privilegiados, la vasta población de esta ciudad no tenía la más vaga noción de los grandes descubrimientos que se estaban realizando dentro de estas paredes. ¿Cómo podían saberlo? Los nuevos hallazgos no eran explicados o popularizados, el progreso realizado aquí les beneficiaba poco, la ciencia no formaba parte de sus vidas, no había compensación para el estancamiento, el pesimismo ni la más abyecta entrega al misticismo, así que cuando el populacho vino a quemar esta biblioteca, nadie pudo detenerlo"

Carl E. Sagan (1934-1996), astrónomo, astrofísico, cosmólogo, escritor y divulgador científico, sobre la Biblioteca de Alejandría

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
LOS SOBRECOSTES EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN	2
LOS CRITERIOS Y FORMAS DE ADJUDICACIÓN DE LOS CONTRATOS COMO CAUSA DE SOBRECOSTES	8
LA FALTA DE CALIDAD DE LOS PROYECTOS COMO ORIGEN DE SOBRECOSTES.....	14
LA INTEGRACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO COMO FORMA DE REDUCIR LAS INDEFINICIONES	21
OBJETO DEL PRESENTE TRABAJO	26
ORGANIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO	27
LOS MODELOS N-DIMENSIONALES Y SUS APLICACIONES	28
LOS MODELOS N-DIMENSIONALES	29
<i>Diseño conceptual</i>	30
<i>Coordinación</i>	32
<i>Sostenibilidad y medio ambiente</i>	35
<i>Gestión de costes</i>	36
<i>Gestión del mantenimiento</i>	38
<i>Gestión de la información</i>	38
<i>Visualización</i>	39
<i>Planificación, programación y gestión de plazos</i>	41
<i>Gestión de la seguridad</i>	46
<i>Formación</i>	48
LOS MODELOS BIM (BUILDING INFORMATION MODEL)	51
MATERIALES Y MÉTODOS	53
ELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE MODELADO.....	54
<i>Características de la visualización.</i>	57
<i>Curva de aprendizaje</i>	60
<i>Facilidad de uso</i>	61
<i>Agilidad de modelado</i>	65
<i>Entorno abierto</i>	67
<i>Capacidad de comunicación con otras aplicaciones</i>	67
<i>Necesidad de recursos informáticos</i>	67
<i>Coste de la licencia</i>	68
TRIMBLE SKETCHUP	68
<i>Conceptos básicos</i>	68
<i>Plantillas y ejes</i>	69
<i>El modelo y las vistas</i>	70
<i>Las inferencias</i>	73
<i>Las escenas</i>	75
<i>Los estilos</i>	76
<i>Las herramientas básicas</i>	78
<i>Los planos de sección</i>	80
<i>Los grupos</i>	81
<i>Los componentes</i>	82
<i>Las capas</i>	83
<i>El esquema</i>	84
<i>Los componentes dinámicos</i>	85



<i>La clasificación</i>	86
<i>Layout</i>	87
<i>Ruby</i>	87
NIVELES DE DESARROLLO (LOD – LEVELS OF DEVELOPMEN)	87
<i>LOD 100. El diseño conceptual</i>	88
<i>LOD 200</i>	88
<i>LOD 300. El anteproyecto</i>	89
<i>LOD 350</i>	89
<i>LOD 400. El proyecto de ejecución</i>	89
<i>LOD 500. El proyecto “as built”</i>	89
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	91
METODOLOGÍA DE TRABAJO	92
<i>Fase de Diseño Conceptual</i>	92
<i>Diseño Básico</i>	92
<i>Diseño en Detalle</i>	93
<i>Proyecto de Ejecución</i>	93
<i>Modelo As Built</i>	93
ORGANIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN	102
<i>Denominación de los ficheros</i>	102
<i>Proceso de Diseño</i>	103
<i>Los elementos</i>	107
<i>Grupo de elementos</i>	108
<i>La localización</i>	109
<i>Tipo de dato</i>	109
<i>Protocolo de modificación de capas</i>	109
<i>Organización de Grupos</i>	110
MODELADO BÁSICO PARA LA CONSTRUCCIÓN	115
<i>Pilares de hormigón</i>	116
<i>Vigas de Hormigón</i>	119
<i>Losas y muros de hormigón</i>	119
<i>Cimentaciones</i>	120
<i>Cimentación por losa de cimentación</i>	122
<i>Prelosas/forjados</i>	124
<i>Escaleras</i>	126
<i>Tabiques y cerramientos</i>	127
<i>Tabiques de pladur</i>	129
<i>Tuberías de saneamiento y pluviales</i>	132
FRAGMENTACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN: EJEMPLOS	134
CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS	149
CONCLUSIONES	150
LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS	153
<i>Línea de investigación nº1: empleo de modelos 3D/4D como herramienta de visualización</i>	153
<i>Línea de investigación nº2: empleo de modelos 3D/4D como herramienta de análisis</i>	154
<i>Línea de investigación nº3: empleo de modelos 3D/4D como herramienta de integración</i>	154
<i>Otras líneas de investigación</i>	155
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	157



ARTÍCULOS EN REVISTAS	158
ARTÍCULOS EN CONGRESOS	159
LIBROS Y CAPÍTULOS DE LIBROS	160
INFORMES JURÍDICOS	160
INFORMES TÉCNICOS	161
ARTÍCULOS EN PRENSA DIARIA	161
SITIOS WEB	161
LEGISLACIÓN.....	161

INDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1. 1 - Esquema del proceso de contratación, ejecución y liquidación de un contrato de obra. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>5</i>
<i>Fig. 1. 2 - Evolución de las bajas en la comunidad autónoma del Principado de Asturias. Fuente: La Nueva España (21.08.14).</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 1. 3 - Fórmula progresiva. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>12</i>
<i>Fig. 1. 4 – Esquema del proceso de licitación, adjudicación y ejecución de una obra cualquiera. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>16</i>
<i>Fig. 1. 5 - Esquema del coste real de un modificado de obra. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 1. 6 - Esquema del proceso de tramitación de un modificado del contrato. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>20</i>
<i>Fig. 1. 7 - Esquema conceptual que representa la estructura organizativa en un proyecto de construcción. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 1. 8 - Esquema conceptual que representa la estructura organizativa en un proyecto de construcción, y la documentación que puede llegar a generar cada uno de ellos. Se observa la fragmentación de la documentación, que hace imposible considerar al proyecto como un ente único, sino como elementos aislados. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>23</i>
<i>Fig. 1. 9 - Plano de la instalación de climatización (a la izquierda) y de la de saneamiento (a la derecha), sobre un mismo plano de obra civil. Se observa que no se ha previsto cómo debe resolverse la intersección entre ambas, quedando eso para la fase de ejecución.</i>	<i>24</i>
<i>Fig. 1. 10 - Intersección entre la instalación de climatización y de saneamiento, vista en la imagen anterior. El modelo 3D permite realizar una construcción virtual del proyecto detectando en una fase temprana los problemas que sólo podrían detectarse en la fase de ejecución.</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 2. 1- Áreas de aplicación de los modelos nD. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 2. 2- Las tres propuestas de diseño conceptual para la Sala de Barricas de la bodega experimental de la Universidad de La Rioja. (Vergara et al., 2013)</i>	<i>31</i>
<i>Fig. 2. 3- Imagen de las instalaciones del patinillo en la planta sótano del edificio de la IV fase del Complejo Científico Técnico de la Universidad de La Rioja. Se observa la cantidad y disparidad de instalaciones, así como la evidente dificultad de representar dichas instalaciones en una documentación en 2D.</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 2. 4- Análisis de la sombras en el pabellón del Campo de Experimentación Agraria de la Universidad de La Rioja, para un día cualquiera del mes de octubre, en las coordenadas correspondientes a la localización del pabellón, desde las 06:35h que amanece hasta las 16:33h que se pone el sol (horas solares). Fuente: elaboración propia.</i>	<i>36</i>
<i>Fig. 2. 5- Gráficas de costes acumulados para un proyecto tipo de las variables básicas del sistema EVMS (Earned Value Method System). Fuente (Vergara et al., 2011)</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 2. 6- A la izquierda sección de una de las fachadas del edificio de Filologías de la Universidad de La Rioja. A la derecha su representación en un modelo 3D. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 2. 7- Esquema de la generación de un modelo 3D. Incorporando al modelo 3D construido a partir de una librería 3D, la variable temporal, aparece como resultado el modelo 4D. Fuente (Vergara et al., 2014)</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 2. 8- Modelo 4D final del pabellón del Campo de Experimentación Agraria de la Universidad de La Rioja. Se observa cómo se ha introducido la variable temporal en forma de capas. Cada capa contiene los objetos que van a ser montados en una semana dada de un mes dado. El proyecto se extiende desde la semana S1 del mes M1, hasta la primera semana S1 del cuarto mes, M4. Fuente (Vergara et al., 2014)</i>	<i>44</i>
<i>Fig. 2. 9- Modelo 4D de la construcción del pabellón del Campo de Experimentación Agraria de la Universidad de La Rioja. Fuente (Vergara et al., 2014)</i>	<i>46</i>

Fig. 2. 10- Comparación de alguna de las fases de la construcción del pabellón con el modelo 4D. Fuente (Vergara et al., 2014)	46
Fig. 2. 11- Modelo 3D del espesador de fangos de una EDAR, utilizando SketchUp Pro 8.0. De arriba abajo y de izquierda a derecha: vista general del espesador; vista del espesador retirada la cubierta donde se observan los fangos; retirando los fangos pueden verse las palas de espesado. Girando el equipo pueden verse las palas con más detalles, y si eso fuera poco, pueden darse cortes, según la sección deseada, para visualizar los detalles interiores que el alumno desee ver. Fuente: elaboración propia.....	50
Fig. 3. 1- Barra de herramientas de Revit (arquitectura) mostrando los elementos insertables en el modelo. Fuente: elaboración propia	55
Fig. 3. 2- Sótano del edificio de la IV Fase del CCT de la Universidad de La Rioja, realizado en Revit. Fuente: elaboración propia	55
Fig. 3. 3- Barra de herramientas de Revit (estructura). Fuente: elaboración propia	56
Fig. 3. 4- Estructura de uno de los dos voladizos del edificio de la IV Fase del CCT de la Universidad de La Rioja, realizado en Revit. Fuente: elaboración propia.....	56
Fig. 3. 5- La calidad de visualización de SketchUp es indudable. Fuente: elaboración propia	58
Fig. 3. 6- Estructura de uno de los dos voladizos del edificio de la IV Fase del CCT de la Universidad de La Rioja, realizado en Revit, antes y después del renderizado. Fuente: elaboración propia	59
Fig. 3. 7- Estructura de uno de los dos voladizos del edificio de la IV Fase del CCT de la Universidad de La Rioja, realizado en SketchUp. Fuente: elaboración propia	60
Fig. 3. 8- Curva de aprendizaje SketchUp vs Revit. Fuente: elaboración propia	61
Fig. 3. 9- Diseño con SketchUp (Layout) del avión de la película "EL vuelo del Fénix" (2004). Fuente: http://www.alanhook.com	62
Fig. 3. 10- Imagen de la película "EL vuelo del Fénix" (2004), un "remake" de la película del mismo título de 1965. Fuente: http://www.sketchupartists.org/spotlight/artists/alan-hook-film-and-television-design-with-google-sketchup/	62
Fig. 3. 11- Imágenes 3D del diseño del escenario del teatro para la serie GLEE. Fuente: http://sketchupdate.blogspot.com.es/2011/03/sketchup-pro-case-study-randy-wilkins.html	63
Fig. 3. 12- Escenario de "American Idol" en SketchUp. Fuente: www.andywalmesley.com	64
Fig. 3. 13- Escenario de "America's Got Talent" en SketchUp. Fuente: www.andywalmesley.com	64
Fig. 3. 14- La reconstrucción del crimen comienza con el escaneado de los esquemas dibujados en papel y su importación en SketchUp. El ejemplo se corresponde con un homicidio real ocurrido en Reading, Pennsylvania. Fuente: (St. Claire et al., 2012)	66
Fig. 3. 15- Fotografía de la cocina de la escena del crimen de la figura anterior, y su versión en SketchUp. Fuente: (St. Claire et al., 2012)	66
Fig. 3. 16- Diagrama de flujo de exportación de formatos entre diferentes aplicaciones. Fuente: elaboración propia.....	67
Fig. 3. 17- Sistema de ejes de referencia de SketchUp. Fuente: elaboración propia.	70
Fig. 3. 18- Barra de herramientas de Vistas. Fuente: elaboración propia.....	70
Fig. 3. 19- Planta, alzados, perfiles y vista en perspectiva de un modelo. Fuente: elaboración propia.....	71
Fig. 3. 20- De arriba abajo: proyección paralela, perspectiva de dos puntos y perspectiva. Fuente: elaboración propia.....	72
Fig. 3. 21- Diferentes tipos de vista de cámara para visualizar el modelo en planta. Arriba "perspectiva". Abajo "Proyección paralela". Fuente: elaboración propia.	73

<i>Fig. 3. 22- Modelo de una EDAR mostrando el gestor de escenas. Se han creado una serie de escenas para cada uno de los elementos que la constituyen. Estas escenas se pueden ver en las "pestañas" superiores. Pulsando en cada pestaña, se visualizará cada una de las escenas. Fuente: elaboración propia.</i>	75
<i>Fig. 3. 23- Modelo de una EDAR. Se observa como al activarse cada una de las escenas (pestañas superiores), se visualiza un punto de vista diferente en el modelo. Fuente: elaboración propia.</i>	76
<i>Fig. 3. 24- Diferentes estilos para mostrar el modelo. Sólido con texturas, monocromo, líneas ocultas y rayos X. Fuente: elaboración propia.</i>	77
<i>Fig. 3. 25- Cuadro de control de valores (CCV).</i>	80
<i>Fig. 3. 26- Venta modelo. Fuente: elaboración propia.</i>	80
<i>Fig. 3. 27- Ventana del gestor de capas. Con él es posible crear, eliminar, hacer visible o no visible cada una de las capas del modelo. Fuente: elaboración propia.</i>	81
<i>Fig. 3. 28- Ejemplo de grupo. Fuente: elaboración propia.</i>	82
<i>Fig. 3. 29- Creación del componente "MOTOR_AGITADOR". Fuente: elaboración propia.</i>	83
<i>Fig. 3. 30- Barra de herramienta de Capas. La lista desplegable muestra las capas del modelo, y el botón de su derecha, muestra la ventana del gestor de capas. Fuente: elaboración propia.</i>	84
<i>Fig. 3. 31- Ventana del gestor de capas. Con él es posible crear, eliminar, hacer visible o no visible cada una de las capas del modelo. Fuente: elaboración propia.</i>	84
<i>Fig. 3. 32- Ventana de Esquema. Fuente: elaboración propia.</i>	85
<i>Fig. 3. 33- Estructura de la figura anterior realizada con Autodesk Revit. La vista 3D ha sido obtenida en alta calidad sin aplicar sombras. Fuente: elaboración</i>	90
<i>Fig. 4. 1- Estructura del proceso de diseños. Fuente: elaboración propia</i>	103
<i>Fig. 4. 2- Imagen de un modelo 3D donde se aprecia la referencia. Fuente: elaboración</i>	104
<i>Fig. 4. 3- Modelo 3D mostrando los elementos a transferir. Fuente: elaboración</i>	105
<i>Fig. 4. 4- Selección de los elementos de las capas activas. Fuente: elaboración</i>	105
<i>Fig. 4. 5- Copia de los elementos seleccionado en el Modelo Base. Fuente: elaboración</i>	106
<i>Fig. 4. 6- Conversión en grupo del conjunto de capas. Fuente: elaboración</i>	107
<i>Fig. 4. 7- Resultado de la unión entre el Modelo Base y las capas seleccionadas. Fuente: elaboración</i>	107
<i>Fig. 4. 8- Esquema del equipo de proyecto propuesto. Fuente: elaboración propia.</i>	110
<i>Fig. 4. 9- Ventana de información de la entidad.</i>	111
<i>Fig. 4. 10- Ventana Esquema de la entidad,</i>	111
<i>Fig. 4. 11- Ejemplo de selección de una entidad dentro del grupo.</i>	112
<i>Fig. 4. 12- Ejemplo de edición de una de las entidades que forman parte del componente.</i>	113
<i>Fig. 4. 13- Ejemplo de duplicación de un componente.</i>	113
<i>Fig. 4. 14- Ejemplo de conversión en "único" del duplicado de un componente con vistas a ser modificado</i>	114
<i>Fig. 4. 15- Ejemplo de la visualización en el Esquema de la conversión en "único" de entidades dentro de un mismo componente.</i>	114

<i>Fig. 4. 16- Ejemplo de cambio de nombre en un componente.</i>	115
<i>Fig. 4. 9- Imagen de la intersección entre las conducciones de climatización del sótano y la conducción de saneamiento</i>	135
<i>Fig. 4. 10- Imagen de patinillo de instalaciones central, visto desde la planta sótano. Se observan las conducciones de pluviales (color marrón), de agua potable (color verde) y del sistemas anti-incendios (color rojo).</i>	136
<i>Fig. 4. 11- Imagen de las conducciones del falso techo de la planta segunda. Se observan las bandejas por las que circularán el cableado eléctrico y de telecomunicaciones.</i>	137
<i>Fig. 4. 12- Imagen de la integración de las conducciones del sistema anti-incendios con las conducciones del sistema de climatización</i>	138
<i>Fig. 4. 13- Imagen de la integración de las conducciones de pluviales con el sistema de climatización</i>	139
<i>Fig. 4. 14- Imagen donde se aprecia el detalle que alcanza el modelado 3D. Se puede ver conducciones del patinillo central en la planta segunda</i>	140
<i>Fig. 4. 15- Detalle de las conducciones de agua potable, anti-incendios y bajantes de pluviales por el patinillo central.</i>	141
<i>Fig. 4. 16- Detalle de las bandejas de instalaciones en el falso techo</i>	142
<i>Fig. 4. 17- Detalle de la geometría de las bandejas de instalaciones.</i>	143
<i>Fig. 4. 18- Bandejas de instalaciones en la planta segunda. Se observan también las puertas de los despachos de profesores y el pladur de las paredes.</i>	144
<i>Fig. 4. 19- Detalle de las instalaciones en la planta s</i>	145
<i>Fig. 4. 28- Detalle de las bajantes de pluviales y su cierre mediante tabiquería de pladur</i>	146
<i>Fig. 4. 29- Detalle de las instalaciones de pluviales y de agua del sistema anti-incendios.</i>	147
<i>Fig. 4. 30- Detalle de las instalaciones de pluviales, de agua del sistema anti-incendios y de climatización.</i>	148

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. 1 - Relación entre sobrecostes y baja producida</i>	9
<i>Tabla 4. 6 - Ejemplos de nomenclatura de elementos</i>	108
<i>Tabla 4. 7 - Ejemplos de nomenclatura de Grupos de elementos</i>	108
<i>Tabla 4. 8 - Ejemplos de nomenclatura de Localizaciones</i>	109
<i>Tabla 4. 9 - Ejemplos de tipos de datos</i>	109

Capítulo 1

Introducción

“ Los inventos han alcanzado ya su límite, y no veo esperanzas de que se mejoren en el futuro ”

- **Julius Sextus Frontinus (soldado, escritor e ingeniero romano, 35-104)**

Los sobrecostes en los proyectos de construcción

Uno de los grandes problemas en las obras de construcción –muy especialmente en la obras públicas–, junto con los retrasos, son los sobrecostes que de forma sistemática se asocian con este tipo de proyectos.

Algunos casos recientes, de gran repercusión mediática, relacionados con empresas españolas en proyectos internacionales, o con reconocidos arquitectos, han puesto este tema en boca de todos. Sin embargo, el caso de los sobrecostes en la obras de construcción es, por desgracia, una práctica mucho más habitual y extendida de lo que aparece en los medios de comunicación pudieran dar a entender, y aunque no parece ser un problema exclusivamente español¹, sí que es cierto que un autor ha llegado a decir que *“Aunque no tengo datos de la situación actual, si puedo afirmar que en el pasado, esa práctica era más española que la tortilla de patata”*.

Si bien es cierto que existen sobrecostes en otros países, no lo es menos que el nivel de sobrecostes en España fue tan llamativo que hacia 2007 la Comisión Europea puso sus ojos en España. La Comisión no estaba dispuesta a aceptar que sus fondos se utilizasen en modificaciones de los contratos, muchas veces, sin una justificación clara, y con unos importes desmesurados.

Entendía, y en nuestra opinión, muy acertadamente, que tal práctica adultera la contratación inicial, ya que un licitador que resultase ser el adjudicatario de un contrato de obra con una determinada oferta, tras la renegociación del contrato, podría finalizar las obras con un coste y un plazo con los que de haber concurrido al concurso, no hubiera resultado adjudicatario del contrato, todo ello en detrimento de aquellas empresas que hubieran realizado ofertas más ajustadas a la realidad.

Resulta evidente que tal comportamiento de la Administración, no sólo ataca a la transparencia de las adjudicaciones, sino que pervierte el propio sistema, fomentando que las empresas licitadoras acudan a los concursos con ofertas de todo punto irreales, a sabiendas que de resultar adjudicataria, posteriormente podrá renegociar el contrato mediante el uso de los conocidos “modificados”.

En 2008, la UE inició un procedimiento de infracción contra el gobierno español para acabar con ese exceso de modificaciones, al no respetar las directivas europeas. Pero la publicación en 2011 de la Ley de Economía Sostenible², que en su Título V “Modificación de los contratos”, modifica por completo la normativa de los modificados de obras, de acuerdo con las prácticas recomendadas por la Unión Europea, logró que el 6 de abril de 2011, justo un mes después de la entrada en vigor de la LES, la Comisión Europea hiciera público el cierre o abandono del procedimiento de infracción contra España.

Este sistema de contratación de obra pública en España ha hecho que apenas haya constructoras extranjeras en el país, pero también ha generado problemas a las empresas españolas cuando salen al exterior para hacerse cargo de importantes proyectos.

Las causas de la existencia de estos sobrecostes son variadas, aunque un análisis puede darnos una idea de la principal causa. Algunos autores han realizado estudios para determinar, al menos, las más habituales.

Juan José Ganuza realizó un estudio empírico de los sobrecostes en proyectos (Ganuza, 1997³), concluyendo que se dan en casi en el 77% de las obras públicas contratadas por importe inicial superior a 500 millones de pesetas, y finalizadas antes de 1994, y que más

¹ Véase el caso del proyecto del aeropuerto de Berlin-Brandenburg, presupuestado en 2.300 millones de euros y que se ha incrementado hasta los 5.200 millones; o el de la estación de ferrocarril de Stuttgart, que irá soterrada para conectarla con la línea de Alta Velocidad entre París y Bratislava, que ha pasado de los 4.500 millones del presupuesto inicial a más de 6.800 millones.

² La Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible, entre sus muchos apartados, intenta corregir el coladero en que a veces se convierten los proyectos modificados: en las nuevas licitaciones públicas se limitarán los incrementos presupuestarios al 10% del importe de adjudicación, ya que si supera esa cuantía los contratos serán rescindidos automáticamente. El objetivo es que las empresas estudien a fondo los proyectos y presente ofertas económicas reales, porque el colchón del proyecto modificado ya no será tan amplio. Y si realmente es necesaria una modificación de gran envergadura, se sacará nuevamente a concurso público.

³ Ganuza, J.J., 1997. Lo sobrecostes en las obras públicas: un análisis económico del caso español. *Economía industrial*, ISSN 0422-2784, Nº 318, 1997, págs. 111-122

de un tercio de las obras tuvo un sobrecoste de entre el 19 y el 20%. La razón de moverse entre estas cifras puede ser que en el caso de sobrecostes superiores al 20% los costes de control se incrementaban notablemente, pues requería la aprobación de la modificación por el consejo de ministros. Actualmente, la Ley de Economía Sostenible (LES) prevé la resolución del contrato para estas situaciones.

Por otro lado, los artículos en prensa hacen que estas cifras parezcan conservadoras. Por ejemplo, Inmaculada Rodríguez Piñeiro (Secretaria General de Infraestructuras del Ministerio de Fomento 2009-2011) declaró en el año 2011 al diario El País⁴ que *“El 98% de los contratos firmados por la Administración Central desde 1996 han sufrido modificaciones”*.

No estamos hablando de sobrecostes accidentales debido a imponderables en fase de diseño del proyecto sino, como muy bien apunta Juan José Ganuza (2014⁵), estamos ante una cultura del “modificado” donde los proyectos iniciales distan mucho de ser precisos, las empresas anticipan la existencia de modificados de los mismos, y dado que las modificaciones generan beneficios, estos son más o menos descontados en los procesos de adjudicación

Del análisis realizado por dicho autor se extrae que la corrección de los defectos del proyecto es, con mucho, el factor de mayor peso a la hora de analizar las causas de los sobrecostes, distribuyéndose de la siguiente manera:

- Corrección de defectos del proyecto (en el 43,01% de los casos).
- Mejoras del proyecto original (19,67%).
- Cambios debidos a solicitudes externas (12,21%)
- Cambios debidos a la administración contratante (10,18%).
- Regularización de urgencia y accidentes (5,97%)
- Cambios de normativa (5,16%)
- Otras causas indeterminadas (3,12%)
- Cambios debidos a otros organismos (0,68%)

Es decir, del listado anterior se desprende que en un 62,68% de los casos, los sobrecostes están asociados a un proyecto defectuoso o que requiere mejoras para poder entrar en operación.

Pero, ¿por qué es algo indeseable la existencia de tales sobrecostes?. ¿Acaso no es indiferentes, desde un punto de vista económico para la Administración que licita un proyecto por 100, adjudicar en 80 y pagar 20 de sobrecostes, que adjudicar en 100 y no tener sobrecostes?.

El propio presidente de SEOPAN (Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional de España), patronal de las constructoras, se hace la misma pregunta en el diario El País⁶, *“¿Qué preferiría, adjudicar una obra por 100 y que acabase costando 110 o adjudicarla por 70 y que cueste 90? ¿Lo segundo, verdad? Pues eso es lo importante. El AVE a Barcelona salió por menos de 20 millones de euros el kilómetro, y eso no lo hay en ningún país europeo”*

⁴ http://politica.elpais.com/politica/2011/08/26/actualidad/1314388705_321484.html (consultado el 03/08/2014)

⁵ Ganuza, J.J., 2014. Los sobrecostes de Sacyr en el canal de Panamá y el anuncio de Campofrío. <http://www.fedeablogs.net/economia/?p=34701> (consultado el 03/08/2014)

⁶ http://politica.elpais.com/politica/2014/05/11/actualidad/1399839251_590970.html (consultado el 03/08/2014)

⁷ La construcción del AVE Madrid-Barcelona costó un 31,4% más de lo previsto; es decir, 1.732 millones de euros más, según un informe del Tribunal de Cuentas. La construcción de los 621 kilómetros de línea de alta velocidad se adjudicó por 7.235 millones de euros, pero el coste final del proyecto ascendió a 8.967, lo que supone un desvío global del 31,4% respecto del precio de adjudicación. El sobrecoste supone que cada kilómetro de la línea costó 14,4 millones de euros.

No podemos estar de acuerdo con la explicación del presidente de SEOPAN. La razón es sencilla, y se resume en cuatro palabras: calidad, transparencia, legalidad y eficiencia.

En lo que se refiere a la calidad, debe tenerse en cuenta que una obra de 100, adjudicada por 70 y finalmente terminarla en 90, por utilizar el ejemplo del presidente de SEOPAN, implica casi necesariamente una reducción ya sea de determinadas unidades de obra o de la calidad de las mismas, a menos que la constructora tenga un gran poder negociador capaz de hacer cargar con una parte de la reducción de los costes a sus suministradores y subcontratistas, algo que para bajas muy agresivas es inviable, por lo que se recurre a la reducción de determinadas unidades de obra o de calidades en los materiales y equipos.

Así no es raro ver obras públicas que acaban siendo un auténtico sumidero de dinero público debido a los trabajos de modificación o reforma necesarios para solventar todos los problemas que una mala calidad en la ejecución trae consigo –humedades, corrosión, derrumbes, accidentes, etc.-, por no citar los problemas legales y de tribunales inevitables en estos casos.

Por otra parte, la cuestión de la transparencia ha sido muy bien explicada por Ganuza (2010⁸). El coste de los modificados se establece en negociaciones bilaterales y sin publicidad ni control alguno, entre la Administración contratante y la empresa adjudicataria, donde cualquier mecanismo de control sobre este aspecto sería muy costoso e imperfecto. Sin embargo, resulta mucho más sencillo asegurar la transparencia en los procesos de adjudicación iniciales.

La legalidad, o mejor dicho, la ausencia de ella, tiene relación con el hecho de que muchos modificados no parecen estar debidamente justificados, o al menos así opina el Tribunal de Cuentas, pareciendo más realizados con el fin de incrementar el presupuesto del proyecto y permitir que la empresa adjudicataria no tenga que soportar todos los rigores de haber realizado una oferta en precio muy baja, que al auténtico motivo por el que existe esta figura.

La Ley de Economía Sostenible (LES), en su Título V, modifica lo que a modificados se refiere recoge el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público (TRLCSPP), y establece una serie de motivos que justificarían la realización de un modificado. La no ocurrencia de alguna de esas situaciones implicaría que el modificado no podría llevarse a cabo.

De igual forma, la LES establece los motivos por los que no puede llevarse a cabo un modificado.

En lo que eficiencia se refiere, Ganuza (2010⁹) entiende que las ganancias de eficiencia vienen dadas por dos razones. En primer lugar, los mecanismos de adjudicación competitivos garantizan, bajo ciertas condiciones, que la empresa que obtiene la

Pero si hablamos de este proyecto, también es necesario explicar que el Tribunal de Cuentas, tras concluir en abril de 2013 su informe de fiscalización de las principales contrataciones relacionadas con la construcción de la línea férrea AVE Madrid-Barcelona (desarrolladas entre 2002 y 2009), detectó incrementos del precio de hasta el 230% y desembolsos injustificados de 415 millones de euros, por lo que abrió una investigación interna que aún no ha concluido.

El Tribunal de Cuentas considera, que en muchas ocasiones las modificaciones del contrato inicial "no cumplían los requisitos" legales, ya que se justificaban por necesidades nuevas o causas imprevistas cuando se trataba de "cuestiones de las que ya se tenía conocimiento antes del inicio de las obras o derivadas de una defectuosa ejecución de las mismas".

Ante la envergadura de este malgasto, los hechos fueron puestos en conocimiento de la Sección de Enjuiciamiento del Tribunal de Cuentas. Un año después de abrirse la investigación, el asunto estaba aún en fase de investigación para determinar "las circunstancias en las que se produjeron los hechos, la identidad de sus presuntos responsables y el importe de los perjuicios que pudieran haber sufrido los caudales públicos" en aras de "poder ejercitar las acciones encaminadas a exigir su resarcimiento".

Concretamente, se han abierto diligencias por presuntas irregularidades en la ejecución de cuatro proyectos, correspondientes a los tramos L'Hospitalet-La Torrassa, La Torrassa-Sants, Castellbisbal-Papiol y L'Hospitalet-Can Tunis. También está en fase de instrucción la falta de imposición de penalizaciones por incumplimiento de compromisos de contratos.

Por otro lado, estas irregularidades detectadas por este Tribunal, son distintas de las que investiga la Fiscalía Anticorrupción y que han propiciado ya una decena de detenciones.

⁸ Ganuza, J.J., 2010. Contratación pública. FEDEA. www.fedea.net/reformasestructurales/PDF/Contratacion_publica.pdf

⁹ Ganuza, J.J., 2010. Contratación pública. FEDEA. www.fedea.net/reformasestructurales/PDF/Contratacion_publica.pdf

adjudicación sea la más eficiente para realizar el proyecto inicial. En segundo lugar, cuanto menos cambie el proyecto más probable será que la empresa adjudicataria sea también la más eficiente para el diseño final de la obra.

Pero la respuesta puede ser aún más sencilla; ¿qué es lo que queremos como sociedad moderna y democrática, independientemente del supuesto ahorro?, ¿concursos públicos limpios y transparentes, donde las ofertas presentadas sean serias y veraces, capaces de ser llevadas a la práctica tanto en coste como en plazo; o por el contrario, que las ofertas presentadas ante la Administración no sean más que un brindis al sol, en la esperanza de que una vez ganado el concurso con ofertas inviables e imposibles de llevar a la práctica, se negocie con la Administración, de forma bilateral y totalmente opaca al control público, un incremento del presupuesto del proyecto?. ¿Lo primero o lo segundo?.

No, lo importante no es que se haga por un precio inferior al que debería hacerse, sino que se haga por el precio justo que corresponda, habiéndose adjudicado de forma limpia y transparente, y que se lleve a la práctica de una forma técnicamente adecuada.

Pero veamos cómo es la estructura de un proyecto con los sobrecostes típicos.

En la figura adjunta se muestra un esquema simplificado del proceso de contratación, ejecución y liquidación de un contrato de obras.

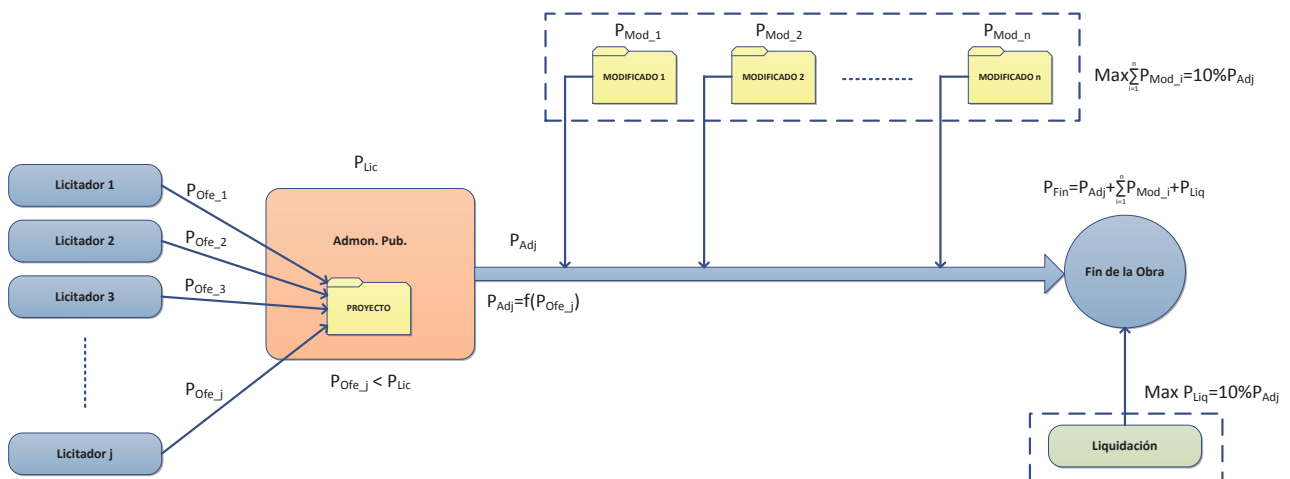


Fig. 1.1 - Esquema del proceso de contratación, ejecución y liquidación de un contrato de obra. Fuente: elaboración propia.

Una administración pública convoca un concurso público para ejecutar un determinado proyecto de obras a un precio de licitación P_{Lic} . Al concurso se presentan j licitadores, cada uno con una oferta en precio P_{Ofe_j} .

Tras el correspondiente concurso público, se adjudica el contrato a una empresa, con lo que el precio del contrato pasa a ser el precio de la oferta ganadora. Se denomina “baja”, al porcentaje de reducción del precio –o cualquier otro criterio- respecto al valor de licitación.

Así, la baja será:

$$Baja\% = \frac{P_{Lic} - P_{Adj}}{P_{Lic}} \times 100$$

En este punto pueden darse varios supuestos:

- 1.- Si $P_{Adj} < P_{Lic}$, el precio de adjudicación es menor que el precio de licitación en una cantidad que técnicamente es viable llevar a cabo la obra sin contratiempos.
- 2.- Si $P_{Adj} \ll P_{Lic}$, el precio de adjudicación es excesivamente bajo respecto al precio de licitación. En este caso, no es posible llevar a cabo la obra dentro de ese presupuesto sin que la constructora sufra un fuerte descalabro económico. En este caso,

es previsible que el contratista trate llevar a cabo modificados del proyecto como forma de aumentar el presupuesto del mismo, a la vez que negocia bilateralmente con la administración los precios de las unidades de obra que formarán parte del modificado. Para ello se amparará en uno de los motivos que hemos visto como causante de los sobrecostos: la corrección de defectos del proyecto y las mejoras del proyecto original.

La falta de transparencia de este proceso bilateral de negociación es evidente y ya se ha comentado.

Por su parte, la administración puede dar su visto bueno a esta forma de proceder, en la creencia de que de esta forma le resulta más rentable económicamente, ya que el coste de los modificados, al estar limitado al 10%, no llegará a alcanzar la baja realizada en el concurso. Es la misma reflexión que veíamos anteriormente en el presidente de SEOPAN.

Mediante estos modificados la empresa constructora tratará de aumentar, hasta donde le sea posible, el presupuesto del proyecto, para así, mitigar la baja con la que se ha presentado al concurso.

La empresa tratará de alcanzar el máximo del 10% que le permite la Ley de Economía Sostenible en modificados¹⁰, y obtener otro 10% en la liquidación de la obra¹¹. El famoso 10%+10%¹².

Hasta 2011, el sobrecoste máximo era del 20% en la obra más otro 10% en la liquidación. Entonces, la LES lo rebajó a un 10% más 10% de liquidación.

Por liquidación entendemos la medición y su valoración económica final de las unidades de obra del proyecto ya finalizado, y con ello, la corrección, al alza o a la baja- de las mediciones y valoraciones que han ido llevándose a cabo mensualmente para calcular las certificaciones de obra. La liquidación no es considerada un modificado ya que responde a incrementos en las unidades de obra debido a errores en las mediciones en el presupuesto del proyecto, por lo que se permite ese otro 10% adicional.

El precio final de la obra será:

$$P_{Fin} = P_{Adj} + \sum P_{Mod_i} + P_{Liq}$$

Con las restricciones¹³:

$$\sum P_{Mod_i} < 10\% P_{Adj}$$

$$P_{Liq} < 10\% P_{Adj}$$

¹⁰ Ley de Economía Sostenible. Disposición final decimosexta. Modificación de la Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público.

¹¹ Ley de Economía Sostenible. Disposición final decimosexta. Modificación de la Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público, apartado Dieciocho: "No obstante, podrán introducirse variaciones sin necesidad de previa aprobación cuando éstas consistan en la alteración en el número de unidades realmente ejecutadas sobre las previstas en las mediciones del proyecto, siempre que no representen un incremento del gasto superior al 10 por ciento del precio primitivo del contrato".

¹² Dentro del límite del 10% a que se refiere el artículo 234.3 TRLCSP las variaciones de medición de las unidades de obra realmente ejecutadas respecto a las inicialmente previstas en el proyecto, no producen en ningún caso una modificación sustancial del contrato por ser inherentes al mismo, y, por tanto, su importe no se puede considerar acumulable al importe de las modificaciones a que se refiere el artículo 92 quater, (107 TRLCSP), a efectos del cómputo del límite del 10% a que se refiere el apartado 3.d) del artículo 92 quater para determinar la incidencia de una modificación sustancial del contrato.

El importe de las variaciones de medición a que se refiere el artículo 234.3 TRLCSP cuyo importe no supere el 10% fijado en dicho artículo y que, en cumplimiento de lo establecido en el artículo 160.2 del RGLCAP se recojan posteriormente en un proyecto modificado, no ha de computarse junto al importe de las modificaciones que han dado lugar al proyecto modificado, a efectos de considerar el límite del 10% que determina la alteración sustancial del contrato. En consecuencia, dichas variaciones de medición deberán reflejarse de forma diferenciada en el proyecto modificado, a fin de poder realizar el control diferenciado del cumplimiento de ambos límites.

¹³ Debe tenerse en cuenta que la legislación establece la imposibilidad de realizar modificados superiores en más de un 10%, tanto en sentido positivo como negativo.

3.- Si $P_{Adj} \ll P_{Lic}$, el precio de adjudicación es absurdamente bajo respecto del precio de licitación. La empresa se enfrenta a fuertes pérdidas económicas, y tratará de realizar modificaciones como en el caso anterior, pero la limitación del 10%+10% no permitirá mejorar la situación, por lo que es probable que la empresa renuncie a la obra si es que no ha formalizado aún el contrato, o la abandone si ya había iniciado la ejecución, debiendo incautarse, por parte de la administración, la garantía depositada (provisional o definitiva según el caso).

Pero, ¿por qué una empresa realizaría una baja tan arriesgada que podría acarrearle fuertes pérdidas económicas?. Calveras et al., (2001¹⁴), demuestran que ofertar de forma agresiva puede ser consecuencia de una mala situación financiera de la empresa que intenta sobrevivir y para ello debe lograr ganar el concurso, lo que trata de lograr llevando a cabo una estrategia agresiva. Esta estrategia puede ser válida desde el punto de vista de los gestores de la empresa que se encuentran protegidos por la leyes de responsabilidad limitada; pero por el contrario, para la administración adjudicar a este tipo de empresas es un serio problema ya que la quiebra de la empresa le reportaría importantes costes –paralización de la obra y los daños que sobre la obra ya construida pudieran darse como consecuencia de esta paralización, costes por los litigios en los juzgados ya sea para incautar la garantía o ya sea porque la empresa trata de que la resolución del contrato sea de mutuo acuerdo para evitar incurrir en prohibición de contratar con la administración, el coste de un nuevo proceso de adjudicación, e incluso un importante coste en imagen-.

La situación económica actual es también un acicate para que las empresas traten de sobrevivir obteniendo todos los concursos que sea posible, por lo que en una situación de crisis como la actual, es normal ver bajas muy considerables.

La siguiente gráfica muestra la evolución de las bajas en la contratación de la construcción en el Principado de Asturias. Se observa que durante los años de crisis, el ascenso del valor de las bajas medias ha sido prácticamente exponencial.

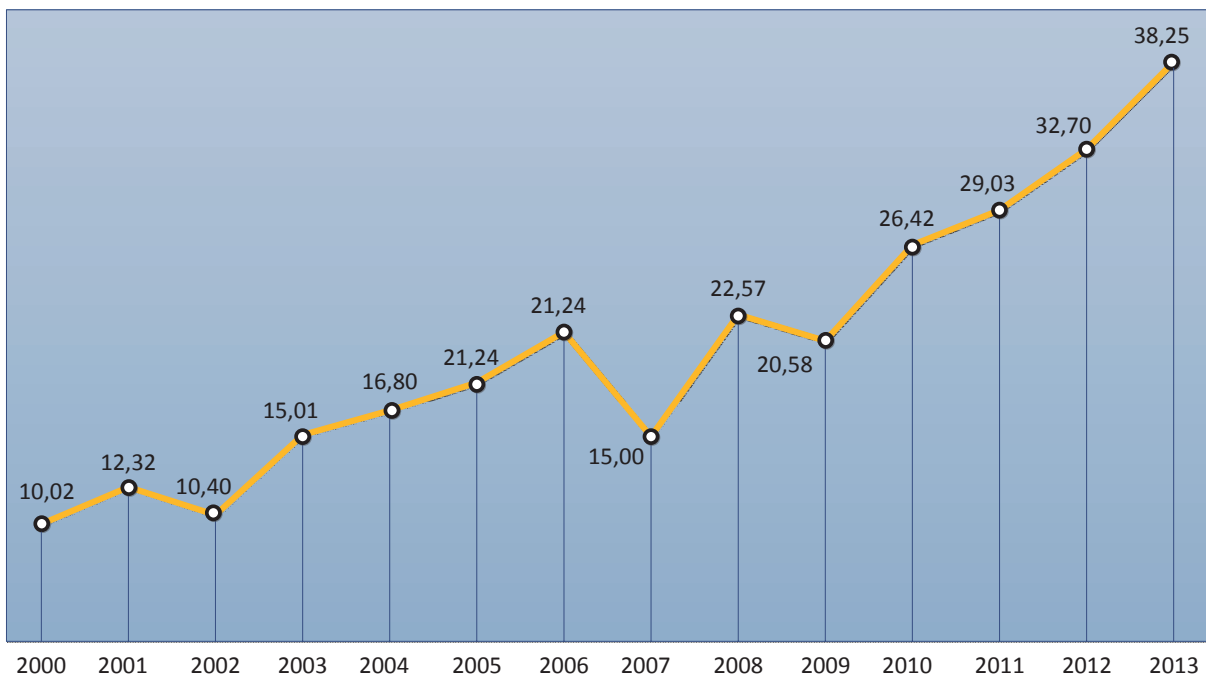


Fig. 1.2 - Evolución de las bajas en la comunidad autónoma del Principado de Asturias. Fuente: La Nueva España¹⁵ (21.08.14).

¹⁴ Calveras, A., Ganuza, J.J., Hauk, E., 2001. Wild bids. Gambling for resurrection in procurement contracts. Working paper, 553, Universidad Pompeu Fabra.

¹⁵ "Las obras públicas se adjudican en Asturias un 40% más baratas que el precio de salida", Diario La Nueva España, 21 de agosto de 2014, según un informe de ASPROCON, Confederación Asturiana de la Construcción

Calveras et al., (2002¹⁶), afirman que este tipo de bajas tan agresivas tiene dos efectos contrapuestos para la Administración. Por un lado, las ofertas agresivas son buenas porque reducen el precio que la Administración tiene que pagar. Por otro lado, las ofertas agresivas incrementan la probabilidad de quiebra de la empresa adjudicataria, y demuestran que este segundo efecto domina sobre el primero, por lo que aceptar este tipo de oferta es perjudicial para los intereses de la Administración.

Es importante hacer notar que esta afirmación tiene un corolario: si en un concurso una empresa realiza este tipo de baja agresiva, y el resto de empresas que se presentan al concurso intuyen –porque es imposible la certeza de que será así–, ello obliga a que todas las demás realicen una baja igualmente agresiva, con lo que se dará la paradoja que todas las empresas que se presenten al concurso realicen bajas más o menos agresivas.

En este tercer caso, hay que decir que existe el concepto de los “valores desproporcionados o anormales”, más conocidos vulgarmente como “bajas temerarias”, que tratan de limitar las bajas tomando como referencia la media de las bajas, considerando que existe baja temeraria si la oferta de un licitador está un determinado número de puntos –habitualmente 15– por debajo de la baja media. Sin embargo, esto no es garantía de que este tercer caso sea inviable, ya que si todos los licitadores ofertan bajas importantes, su media será lo suficientemente baja como para que nadie incurra en baja temeraria, pudiendo darse así bajas del 40% e incluso más sin incurrir en “baja temeraria”.

Es el artículo 152 del Texto refundido de la Ley de contratos del sector público el que determina la forma de valorar si esa oferta o una proposición es anormal o desproporcionada, el procedimiento a seguir y las consecuencias que de todo ello se derivan.

Para profundizar en la cuestión de las bajas temerarias y su regulación en nuestro país, recomendamos la lectura de Calveras et al., (2002¹⁷).

Como resumen, podemos decir que existen dos causas que destacan como motivo de los sobrecostes: en primer lugar, y tal como refleja el estudio de Ganuza (1997¹⁸), la corrección de defectos del proyecto y mejoras del proyecto original nos hablan de una deficiente realización del proyecto técnico.

En segundo lugar, hemos visto cómo el hecho de que la Administración acepte, e incluso promueva, bajas muy agresivas en sus concursos, en la idea de que ello le permitirá un cierto ahorro económico, fomenta el posterior uso de los modificados del proyecto como forma de aumentar el presupuesto del mismo, y para ello se amparará en uno de los motivos que hemos visto como causante de los sobrecostes: la corrección de defectos del proyecto y las mejoras del proyecto original.

Los criterios y formas de adjudicación de los contratos como causa de sobrecostes

En su análisis Ganuza (1997¹⁹) comprobó que los sobrecostes suponían en media un incremento del 14% del precio de licitación de las obras, pero en muchas obras había que añadir al sobrecoste, un proyecto complementario. Estos proyectos están vinculados a la obra principal, y normalmente se concedían al mismo contratista mediante adjudicación directa. El proyecto complementario

¹⁶ Calveras, A., Ganuza, J.J., Hauk, E., 2002. *Las bajas temerarias en las subastas de obras públicas. Un análisis de la regulación española. Revista de Economía Pública.* 162-(3-2002): 135-153. Instituto de Estudios Fiscales.

¹⁷ Calveras, A., Ganuza, J.J., Hauk, E., 2002. *Las bajas temerarias en las subastas de obras públicas. Un análisis de la regulación española. Revista de Economía Pública.* 162-(3-2002): 135-153. Instituto de Estudios Fiscales.

¹⁸ Ganuza, J.J., 1997. *Los sobrecostes en las obras públicas: un análisis económico del caso español. Economía industrial, ISSN 0422-2784, Nº 318, 1997, págs. 111-122*

¹⁹ Ganuza, J.J., 1997. *Los sobrecostes en las obras públicas: un análisis económico del caso español. Economía industrial, ISSN 0422-2784, Nº 318, 1997, págs. 111-122*

medio representaba el 7% del valor de la obra. Sumando el complementario al sobrecoste se obtiene que el coste de las obras se incrementaba durante su construcción en un 21%.

El coste adicional de los proyectos resultaba algo mayor que la rebaja en el presupuesto de licitación que se producía por la competencia en el proceso de adjudicación, ya que la baja media era del 18%. La similitud entre el coste adicional medio y la baja media parece sugerir que los sobrecostes eran anticipados por las empresas y descontados en la puja que hacían en la adjudicación.

Esta hipótesis era aparentemente rechazada por los datos, dado que la correlación entre sobrecoste y puja era relativamente baja (0,14). Sin embargo, al tener en cuenta el mecanismo de adjudicación, se observa que cuando se utiliza un mecanismo de adjudicación como el concurso-subasta, donde la competencia en precios es muy importante, la correlación sube hasta el 0,35. Por el contrario, en mecanismos que reducen la importancia del precio dentro de los criterios de adjudicación, como el concurso, la correlación entre sobrecoste y puja desaparece (-0,04), al ser la competencia en precios limitada respecto a la subasta.

Así, cuanto más competencia promuevan los mecanismos de adjudicación, menos repercusión tienen los sobrecostes sobre el coste final.

Tabla 1. 1 - Relación entre sobrecostes y baja producida

Mecanismo de adjudicación	Baja media	Sobrecoste medio	Correlación entre baja y sobrecoste
Subasta	0,30	0,15	0,19
Subasta con admisión previa	0,34	0,18	0,19
Procedimiento negociado	0,09	0,01	0,13
Concurso	0,09	0,11	-0,04
Concurso con admisión previa	0,13	0,18	-0,10
Concurso subasta	0,45	0,16	0,35

Ruiz Ojeda (2002²⁰) coincide con Ganuza, cuando afirma que la subasta, y por extensión, todos aquellos concursos donde el precio posee una ponderación excesiva, concentra en sí buena parte de los problemas planteados por el marco legal de las formas de adjudicación, y sus consecuencias negativas han invadido por completo el elenco de técnicas empleadas para las adjudicaciones.

Pero, ¿cómo puede plantearse el concurso para evitar esta relación entre baja y sobrecoste?.

La legislación española diferencia dos tipos de criterios para seleccionar la oferta económicamente más ventajosa²¹ para la Administración: criterios cuantificables de forma automática –también conocidos como criterios objetivos–, y criterios dependientes de un juicio de valor –también denominados criterios subjetivos.

Esa misma legislación ha establecido la utilización preferente de criterios de adjudicación que puedan valorarse mediante cifras o porcentajes obtenidos a través de la mera aplicación de las fórmulas establecidas en los pliegos (art. 150.2.II TRLCSP), hasta el punto de que si por algún motivo, el peso de los criterios subjetivos superara al de los criterios objetivos, deberá constituirse un comité que cuente con un mínimo de tres miembros, formado por expertos no integrados en el órgano proponente del contrato y con cualificación apropiada, al que corresponderá realizar la evaluación de las ofertas conforme a estos últimos criterios, o encomendar esta evaluación a un organismo técnico especializado, debidamente identificado en los pliegos, (art. 150.2.II TRLCSP).

²⁰ Ruiz Ojeda, A.L., 2002, *Los problemas de regulación de mercados en el nuevo derecho de la contratación pública: el caso del contrato de obra*, en *Panorama jurídico de las administraciones públicas en el siglo XXI: homenaje al profesor Eduardo Roca Roca*, coord. por Jaime Rodríguez-Arana Muñoz, Iñigo del Guayo Castiella, ISBN 84-340-1377-0, págs. 1337-1364.

²¹ Por oferta “económicamente más ventajosa” debe entenderse la posibilidad de la utilización de cualquier de los dos tipos de criterios de adjudicación, o bien solamente el precio, o diversos criterios. Es decir, la oferta económicamente más ventajosa n tiene porqué ser la más económica.

Por si esto fuera poco, lo cierto es que la aplicación de criterios subjetivos en los contratos de obras siempre ha estado rodeado de problemas y polémicas. Unas veces porque los criterios subjetivos parecían estar orientados a facilitar que determinadas empresas fueran las ganadoras de los concursos y, otras, porque su definición, y aún más la determinación de cómo debía valorarse esos criterios, no era sencillo, cometiendo los órganos de contratación errores –veremos ejemplos de ello algo más adelante–, ya sea en su definición o en su valoración, que solían terminar siendo impugnados por las empresas que no se hubieran hecho con el contrato.

A la vista de todo esto, y dada la complejidad y esfuerzo que esto supone, no es de extrañar que muy rara vez el peso de los criterios subjetivos supera al de los criterios objetivos, dando una preponderancia al criterio precio, muchas veces inadecuada, y reduciendo al importancia de los criterios subjetivos.

Con el fin de alejar el concurso de la subasta, debería reducirse el peso relativo del criterio precio, pero, ¿hasta qué punto es posible reducir el peso relativo del criterio precio?

La Administración no puede gozar aquí de una absoluta discrecionalidad, ya que el establecimiento de una ponderación relativa excesivamente reducida equivaldría en la práctica a prescindir de este criterio de adjudicación, lo que podría entrañar una violación del principio de eficiencia y un fraude a lo establecido en el artículo 150.1.II del TRLCSP²². De hecho, el Tribunal General de la Unión Europea ha considerado que, “salvo en circunstancias excepcionales” debidamente justificadas, “el requisito de garantizar la mejor relación “coste/resultado” o “calidad/precio” al concluir la evaluación sintética de los criterios elegidos para identificar la oferta económicamente más ventajosa conlleva que la ponderación relativa del criterio [del precio más bajo] no lleve a neutralizar dicho criterio en la elección del adjudicatario del contrato”.

A la vista de lo expuesto, queda claro que la ponderación criterio precio no debe tener un valor tan alto que lleve a ser un concurso-subasta, ni una ponderación tan baja, que neutralizase dicho criterio²³. Pero una vez asentada la ponderación del precio, al menos de forma cualitativa, debemos entrar en otro aspecto aún más complejo: la fórmula que establezca el pliego para valorar este criterio.

Muy diferentes fórmulas para asignar puntuación al criterio precio, con diferentes resultados, han convertido este tema en algo tremendamente complejo, y aunque no es el objeto de este trabajo, no nos resistimos a dar una visión global de la variedad de fórmulas utilizadas.

En primer lugar, debe tenerse en cuenta, como principio básico, que la fórmula que establezca el pliego ha de otorgar la mayor puntuación a la oferta que, sin incurrir en temeridad, contenga el precio más bajo. No cabe duda alguna al respecto en aquellos procesos de selección en que el único criterio a valorar sea el precio, puesto que así lo establece el artículo 150.1 del TRLCSP, pero se plantea la duda de si en aquellos otros en que se tengan en cuenta diversos criterios de valoración, es posible otorgar mayor puntuación a aquellas ofertas económicas que, sin incurrir en temeridad, no sean las más bajas.

En interpretación de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa del Estado (MEH_04/11²⁴), avalada por la Comisión Europea, efectivamente la regla establecida en el artículo 150.1 del TRLCSP para los procesos con criterio único, es plenamente

²² Curiosamente, no es obligatorio que se incluya el precio entre los criterios objetivos, aunque es cierto que resulta difícil imaginar una licitación de una obra en la que el factor económico, en mayor o menor medida, no sea relevante.

²³ En el Informe y Conclusiones de la Comisión de Expertos para Estudio y Diagnóstico de la Situación de la Contratación Pública (2004), Ministerio de Hacienda, considera recomendable la determinación de una horquilla de ponderación de los criterios económicos en los concursos, que podría oscilar entre el 45% y el 50%.

²⁴ Informe 4/11, de 28 de octubre de 2011, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa. Ministerio de Economía y Hacienda. “Consulta sobre baremar las ofertas económicas en un pliego de cláusulas administrativas particulares valorando con mayor puntuación, en cuanto al precio, a ofertas que no se corresponden con la más baja”.

aplicable en lo que al precio respecta, a aquéllos otros en que se tomen en consideración diversos criterios. En igual sentido los informes CAT_003/2005²⁵, y MAD_001/2000²⁶, MEH_08/1997²⁷, etc.

Como resultado de ello, podemos decir que, no son aceptables aquellas fórmulas que puntúen en atención a las cuantías que más se aproximaran a la media aritmética de todas las ofertas admitidas, ya desvirtúa la noción de “*oferta económicamente más ventajosa*”.

La Comisión Europea ya se manifestó acerca de esta cuestión en su Dictamen de 23 de diciembre de 1997. El razonamiento de la Comisión fue el siguiente: “(. . .) *Pero lo que no se entiende, salvo que el poder adjudicador esté haciendo un juicio de valor sobre las ofertas más bajas, eludiendo así las disposiciones del art.37 de la Directiva 92/50/CEE, es que, en la valoración de un determinado criterio, en este caso el precio, no se puntúe la mejor oferta, sino la más mediana, de la misma manera que no se entendería que bajo el criterio técnico se prefiriese la solución técnica más próxima a todas las demás, en vez de la mejor, o en el capítulo del plazo, la oferta que tardase lo que el promedio de las otras y no la más rápida*”.

El criterio del “precio más cercano al precio medio” supone minusvalorar automáticamente las ofertas anormales sin dar la oportunidad a los licitadores de justificarlas. Este criterio constituye, en suma, una suerte de regulación ilegal y encubierta de las ofertas anormales o desproporcionadas.

Uno de los mayores factores que posibilitan la existencia de irregularidades en la contratación pública radica en la utilización de fórmulas progresivas²⁸ respecto al criterio precio, que tendrá la virtualidad de convertir en inoperantes la mitad, o más, de los principios que rigen la contratación pública.

Supongamos una licitación en la que el único criterio de valoración mediante fórmulas sea la oferta económica y se puntúe ésta con 60 puntos sobre 100, correspondiendo los 40 restantes a criterios de valoración mediante juicio de valor. Supongamos la utilización de una fórmula progresiva para la determinación de la puntuación de la oferta económica, cuyo resultado sea que las ofertas con una baja del 20% del presupuesto se puntúen con 57 puntos sobre el total de 60 puntos; a partir de ahí se incrementa linealmente la puntuación hasta 60 puntos.

Es cierto que esta hipotética fórmula limita las bajas al 20% -o al valor deseado-, además, cumple con la exigencia de que a menor importe ofertado, mayor puntuación otorgada, pero el resultado será que la práctica totalidad de los licitadores presentarán una oferta con el 20% de baja respecto al presupuesto de licitación, lo que convertirá en inoperativo a dicho criterio, lo que a su vez, combinado con la valoración del resto de criterios mediante un juicio de valor, deja prácticamente al arbitrio del órgano de contratación la adjudicación de la licitación.

La Junta Consultiva de Contratación Administrativa de la Comunidad de Madrid, hace un magnífico trabajo en su informe 1/2000, de 8 de febrero, sobre la ponderación del criterio precio en los concursos comparando matemáticamente el resultado utilizando fórmulas proporcionales y, concluyendo que es válido el uso de fórmulas progresivas, y que dependiendo del tipo de fórmula que se utilice, proporcional o progresiva o incluso mixtas, el efecto resultante en la valoración del precio será una mayor o menor diferencia entre las puntuaciones que se otorgan a cada oferta económica, recomendando que si se utilizasen fórmulas progresivas, sería conveniente, para una mayor transparencia, justificar en el expediente la elección del factor corrector o de progresividad.

²⁵ Informe 3/2005, de 7 de julio de 2005, de la Comisión Permanente de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa de la Generalidad de Cataluña. Asunto: Consideración del precio y valoración de la experiencia en el proceso de adjudicación de los concursos

²⁶ Informe 1/2000, de 8 de febrero de 2000, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa de la Comunidad de Madrid, sobre la ponderación del criterio de precio en los concursos.

²⁷ Informe 8/97, de 20 de marzo de 1997, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa. Ministerio de Economía y Hacienda. “Método o fórmulas para valorar el precio como criterio de selección de ofertas en el concurso”

²⁸ Por fórmula progresiva debemos entender toda aquella fórmula de valoración que no sea proporcional, es decir, que cada baja no reciba una puntuación proporcional a su valor, sino que esta proporcionalidad variará por tramos.

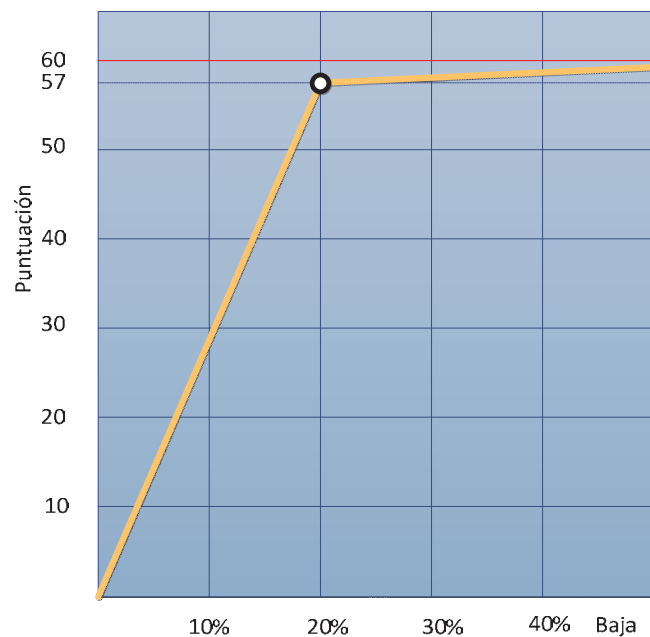


Fig. 1.3 - Fórmula progresiva. Fuente: elaboración propia.

Otro aspecto a tratar es el de los criterios subjetivos. Si es necesario evitar que el precio se pondere con un peso excesivo, el peso “sobrante” debe ser asumido por otros criterios, ya sean objetivos o subjetivos. Lo cierto es que en la práctica considerar otros criterios objetivos como pueden ser la reducción del plazo de ejecución, el incremento del plazo de garantía, el porcentaje dedicado a control de calidad, etc.; no supone una mejora efectiva ya que la experiencia nos indica que las empresas licitadoras ofertan prácticamente de forma general el máximo de cada criterio, dejando el precio, de nuevo, como único criterio diferenciador, convirtiendo el concurso en una subasta, que como ya hemos visto, deseamos evitar.

Por ello deben plantearse criterios subjetivos, capaces de hacer verdaderamente competitivo el concurso. Sin embargo, y como ya se ha dicho, los criterios subjetivos, ya sea por estar indebidamente orientados hacia un fin determinado, por ser impugnados por alguna de las empresas licitadoras, o simplemente, por ser no admisibles desde un punto de vista legal, siempre han estado en medio de la polémica.

En referencia a los criterios subjetivos, debe tenerse siempre presente un principio básico -válido tanto para los criterios subjetivos como objetivos-, y es que los criterios deben estar vinculados directamente al objeto del contrato, nunca a la empresa que lo ejecutará. Dicho de otro modo, deben estar orientados al “qué”, y no al “quién”.

Esta exigencia de la vinculación directa con el objeto del contrato, es decir la prestación, es decisiva a la hora de determinar qué criterios se pueden utilizar en la valoración de las ofertas. En efecto la vinculación directa exige que el criterio de valoración afecte a aspectos intrínsecos de la propia prestación, a cuestiones relativas al procedimiento de ejecución o a las consecuencias directamente derivadas de la misma. No puede afectar a cuestiones contingentes cuya alteración en nada altere ni la forma de ejecutar la prestación ni los resultados de la misma

En relación con el criterio de “localización geográfica” o “arraigo local”, criterio verdaderamente polémico debido a las repetitivas solicitudes de patronales de la construcción a sus respectivos gobiernos autonómicos para que se promueva la adjudicación de

contratos a empresas de la propia comunidad autónoma²⁹, indicar los que recoge el informe 9/09, de 31 de marzo de 2009³⁰: las circunstancias referentes al origen o lugar en que la empresa realiza preferentemente sus actividades en nada influye ni en la prestación misma, ni en sus resultados. En consecuencia es una cuestión puramente accidental, lo que impide considerarla como directamente vinculada al objeto del contrato. Por ello, el origen, domicilio social o cualquier otro indicio del arraigo territorial de una empresa no puede ser considerado ni como condición de aptitud, ni como criterio de valoración, para contratar con el sector público.

Por el contrario, un criterio que ha sido ampliamente aceptado es el de “Memoria Constructiva” o “Memoria Técnica”. La idoneidad de este criterio viene avalada por diversos informes de juntas consultivas de contratación administrativa, como por ejemplo el informe 30/07³¹, de 5 de julio de 2007, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa del Ministerio de Economía y Hacienda.

En principio, ni la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas ni su Reglamento General se refieren a la Memoria Constructiva como tal concepto, por lo que previamente debe señalarse que desde la práctica de la gestión de los contratos de obra este concepto engloba lo que en el orden de las expresiones técnicas propias de tales contratos recibe tal denominación.

Por ello, se ha de entender por Memoria Constructiva aquel documento contractual básico que, a la vista del proyecto de obras y su documentación, que presenta el licitador en el marco de la proposición técnica. Este documento comprendería, entre otros: la explicación del resultado final que se concierta, la manifestación y justificación detallada por los candidatos a la adjudicación del contrato de la exposición de las unidades de obra previstas para ejecutar en el contrato, de los medios materiales adscritos para la realización de las unidades de obra, de las calidades a obtener en el proceso productivo durante la ejecución de los trabajos y el orden cronológico de realización de los mismos.

Si nos atenemos al contenido de la Memoria Constructiva con arreglo a lo anteriormente descrito, ésta formaría parte del contenido propio de la memoria y del pliego de prescripciones técnicas del proyecto cuyos documentos y exigencias, que se conocen antes de la licitación del contrato, deben ser tenidos en cuenta a la hora de licitar.

Esto proporcionaría al órgano de contratación una información necesaria para poder conocer el desarrollo de la actividad que en cumplimiento de la prestación se propone realizar.

Configurada, por tanto, la memoria constructiva como la expresión documental de la justificación de la proposición económica y técnica del licitador, su presentación con los contenidos citados anteriormente implicaría que, al asignarle a la misma una puntuación en el concurso pasaría a formar parte de la adjudicación adquiriendo, en consecuencia, naturaleza contractual.

Así, siendo complementado con las determinaciones del programa de trabajo que el contratista ha de presentar, al puntuar en el concurso el proceso productivo de la obra, y al ser éste un contrato de resultado, pudiera llevar a un encarecimiento del mismo, al presentar los licitantes un despliegue de medios innecesarios, todo ello con objeto de obtener una buena puntuación en el concurso. Por tanto, debería ser controlada su completa aplicación para evitar que se convirtiera en algo que solo afecta a la puntuación de la oferta y no a su aplicación en el contrato.

²⁹ “Las obras públicas se adjudican en Asturias un 40% más baratas que el precio de salida”, Diario La Nueva España, 21 de agosto de 2014, el artículo dice textualmente “Fuentes de la patronal aseguran a este periódico que pedirán en los próximos días al Principado que “proteja” a las empresas regionales frente a las foráneas, “culpables de este ambiente peligroso””.

³⁰ Informe 9/09, de 31 de marzo de 2009, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa del Ministerio de Economía y Hacienda. “Aplicación del criterio de arraigo local o de vecindad de la empresa como requisito de aptitud, de solvencia o como criterio de adjudicación en los contratos”.

³¹ Informe 30/07, de 5 de julio de 2007. “Posibilidad de incluir como criterio de adjudicación del concurso en un contrato de obras la valoración de la memoria constructiva”.

Por ello, para evitar todas las situaciones no deseadas, es conveniente que los pliegos establezcan no solo los criterios subjetivos de adjudicación, sino también las reglas de valoración o normas relativas al procedimiento de aplicación de tales criterios, y que éstas aparezcan tasadas, baremadas y puntuadas.

En este sentido, es útil citar la sentencia de 24 de enero de 2008 del Tribunal de Justicia de la Unión Europea, que exige que *“los potenciales licitadores conozcan, en el momento de preparar sus ofertas, todos los factores que la entidad adjudicadora tomara en consideración para seleccionar la oferta económicamente más ventajosa y la importancia relativa de los mismos”* de forma que *“una entidad adjudicadora no puede aplicar reglas de ponderación o subcriterios relativos a los criterios de atribución que no haya puesto previamente en conocimiento de los licitadores”*.

Como resumen de lo aquí dicho, podemos concluir que una buena práctica puede consistir en limitar el peso del precio como criterio de adjudicación, sin reducirlo tanto que lleve a neutralizar dicho criterio en la elección del adjudicatario del contrato.

El peso restante, debe ser asumido por criterios subjetivos, ya que completar mediante otros criterios objetivos, sólo llevaría a que, en la práctica, los licitantes oferten el máximo de su valor en cada uno de ellos. Esto no quiere decir que no sea conveniente fijar algunos criterios objetivos aparte del precio, como pueden ser el incremento del plazo de garantía, el presupuesto dedicado a control de calidad, etc., pero siempre teniendo en cuenta, que en la práctica lo fácil será encontrarse con que todos los licitantes ofertan el máximo en cada apartado, por lo que, si bien servirá para fijar unas cantidades o plazos, no servirá a efectos de discriminar la oferta más ventajosa para la Administración.

La incorporación de criterios subjetivos, aunque complejo, es lo que promoverá una adecuada competencia entre licitantes.

La falta de calidad de los proyectos como origen de sobrecostes

Es necesario señalar la importancia que tiene un proyecto correctamente redactado para que la propiedad reciba, como contraprestación a su inversión, una obra que responda a sus necesidades reales. El que un proyecto de ingeniería o arquitectura se encuentre con escasa definición en el momento de iniciarse la obra es, con toda seguridad, causa de que las prestaciones de la obra final recibida no se ajustarán a las prestaciones originalmente demandadas en alguno de los elementos que componen la obra, pese a los modificados que pudieran haberse realizado. Esta situación que redundará en costes adicionales como consecuencia de las reformas que debieran hacerse con posterioridad a la entrega para ajustar estas prestaciones a las realmente demandadas, o como costes de mantenimiento por haber aceptado unidades de obra con calidades diferentes a las que realmente hubiera sido necesarias para el fin propuesto.

Por si fuera esto poco, a estos costes debidos a los retrasos, deberán sumarse otros costes, de difícil cuantificación, como son el coste político y de imagen para las instituciones promotoras de la obra –si se tratara de una administración pública-, o el coste del retraso de puesta en servicio de la obra, por ejemplo.

Ya se ha visto que, según Ganuza (1997³²), el 62,68% de los casos en los que existen sobrecostes se corresponden con la corrección de defectos del proyecto (en el 43,01% de los casos), o mejoras del proyecto original (en el 19,67% de los casos).

Resulta entonces evidente que en un proyecto donde su objeto está bien definido, ajustándose a las necesidades reales, y donde no existen reformas porque no existen sucesos que no estén recogidos en el proyecto, no existirían tales sobrecostes. Los sobrecostes aparecen por deficiencias en el contrato pero, en palabras del propio Ganuza, *“si la Administración invierte en un buen proyecto, puede mejorar y reducir aquellos”*.

Ganuza denomina a este tipo de contrato *“contrato completo”*, y según él, esta situación sería la ideal, pero sólo se da en contratos de obra simples. La realidad es muy diferente. Una obra significa, habitualmente, un proyecto técnico complejo, donde la

³² Ganuza, J.J., 1997. *Lo sobrecostes en las obras públicas: un análisis económico del caso español*. *Economía industrial*, ISSN 0422-2784, Nº 318, 1997, págs. 111-122

Administración no posee toda la información necesaria. Al desconocer parte de las características de la obra, no va a poder definir todos los aspectos del contrato y las ofertas de las empresas no se referirán a la obra real sino a aquella que la administración ha definido. A esta situación, Ganuza la denomina “*contrato incompleto*”. Incompleto en el sentido de que en el momento de la adjudicación se omiten costes importantes, lo que implicará posteriores modificaciones del contrato para incluirlos en la obra, con los consiguientes nuevos pagos a la empresa adjudicataria y la obra presentará sobrecostes.

Es entonces evidente que se trata de elegir entre realizar un esfuerzo en lograr una correcta definición del proyecto de obra y minimizar de esta forma lo imprevisible o bien, no hacer tal esfuerzo y remitir la solución de los problemas ocasionados por la falta de previsión al momento en que se ejecute la obra.

Sin embargo, Ganuza afirma que recabar la información necesaria para la redacción de un proyecto que elimine los sobrecostes puede llegar a ser muy costoso. Aparece entonces lo que este autor denomina las “*asimetrías posicionales*” entre la empresa contratista y la Administración. Es la empresa contratista, en su opinión, la que tiene más y mejor información en el curso de la ejecución del contrato –*asimetría informativa*–, más información, agilidad y medios que el Director Facultativo de la obra –*asimetría en el sistema de inspección*–, y la que tiene capturada a la Administración, conforme van avanzando los trabajos, por temor a los retrasos e incluso abandono de la obra por parte de la empresa contratista.

Ganuza opina que el modelo de gestión administrativa de los contratos de obra que predomina en nuestro país viene definido por los siguientes rasgos:

1. La Administración prefiere evitar los costes de obtención de información previa y de redacción de proyectos, ya que puede obtener tal información a coste cero a lo largo de la ejecución de la obra, a medida que vayan presentándose las eventualidades no contempladas en el proyecto, sin excesivas trabas procedimentales.
2. Esto provoca sobrecostes como consecuencia de los modificados del contrato que habrían de ser ejecutadas por el mismo contratista, pero tales sobrecostes ya han sido descontados por la empresa adjudicataria a la hora de diseñar su estrategia de licitación. Es decir, el ahorro que para la Administración supone la baja en el concurso, queda neutralizada por los sobrecostes.

Ante esto, Ganuza concluye que con estos criterios de gestión de las obras públicas, se hace innecesaria una inversión importante en la fase de contratación por parte de la Administración, y que los sobrecostes que se producen se ven compensados por el ahorro que se produce como consecuencia de realizar, por parte de la Administración, un esfuerzo menor en la fase de redacción del proyecto, y por tanto estos costes no son ineficiencias, sino algo deseado por la propia Administración.

Ganuza, pese a que entiende, como no puede ser de otra forma, que los principales escollos de esta forma de actuar es la transparencia y la eficiencia, opina que, “*bajo ciertos supuestos, la mejor estrategia para la Administración es elegir como diseño de obra uno diferente al óptimo, y acudir posteriormente a una renegociación del contrato*”, (Ganuza, 1997³³).

Ruiz Ojeda (2002³⁴), por su parte, plantea serias discrepancias, no tanto con el análisis realizado por Ganuza –excelente por otra parte, y el único conocido en nuestro país–, como con sus valoraciones y conclusiones, discrepancias a las que no dudamos en unirnos.

En su opinión, el argumento de que la Administración se ahorra los elevados costes de información y redacción de un proyecto adecuado y, a cambio, simplemente paga los sobrecostes, es, para este autor, ineficiente e inaceptable.

³³ Ganuza, J.J., 1997. *Lo sobrecostes en las obras públicas: un análisis económico del caso español*. *Economía industrial*, ISSN 0422-2784, Nº 318, 1997, págs. 111-122

³⁴ Ruiz Ojeda, A.L., 2002, *Los problemas de regulación de mercados en el nuevo derecho de la contratación pública: el caso del contrato de obra*, en *Panorama jurídico de las administraciones públicas en el siglo XXI: homenaje al profesor Eduardo Roca Roca*, coord. por Jaime Rodríguez-Arana Muñoz, Iñigo del Guayo Castiella, ISBN 84-340-1377-0, págs. 1337-1364.

Para Ruiz Ojeda (2002³⁵), el que la Administración opte por un proyecto con una definición deficiente equivale, por un lado, a capitular en un aspecto decisivo: el de la calidad de la ejecución, y por otro lado, equivale a socavar, por completo, el mecanismo de la licitación competitiva en los contratos de obra, ya que no se pide a las empresas que apliquen las mejores técnicas disponibles, ni se les incentiva a que mejoren sus procesos productivos.

Y no le falta razón a Ruiz Ojeda cuando afirma que los problemas a los que hay que enfrentarse cuando se diseña una obra pública compleja superan con creces el de los costes de información y redacción del proyecto en sí. Es necesario tener en cuenta que lo que la Administración finalmente paga como sobrecoste, no es el coste del esfuerzo por obtener la información, sino las consecuencias de no haber realizado el esfuerzo de obtener esa información. Y ese coste puede llegar a ser muy alto.

Según este mismo autor, las reducciones en la calidad de la obra es un sobrecoste, que a diferencia que lo que afirmaba Ganuza, no requiere que la administración ahorre en la fase de proyecto, basta con la poca diligencia de la Dirección Facultativa, o la simple dejadez de la administración contratante, por no hablar de consentimientos deliberados, para que este sobrecoste aparezca.

La siguiente imagen muestra, de una forma muy simplificada, un concurso donde la Administración ha licitado una obra por 100, y una empresa obtiene el contrato con un precio de 80 (una baja del 20%), que finalmente se termina en un precio de 100 compensando esa baja con mediante un sobrecoste achacable en un valor de 10 a los modificados y otros 10 a la liquidación. Esto querría decir que el 20% del coste de la obra debiera ser lo que hubiera debido invertir en corregir los posibles errores que contuviera el proyecto técnico inicial. Y este valor es realmente exagerado.

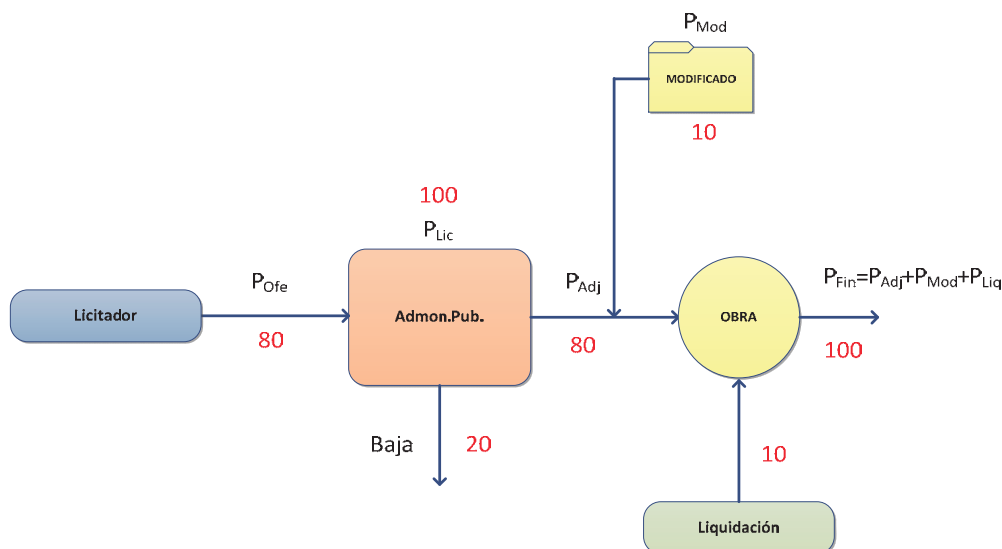


Fig. 1. 4 – Esquema del proceso de licitación, adjudicación y ejecución de una obra cualquiera. Fuente: elaboración propia.

Es evidente que no existe una relación de 1 a 1 entre el posible esfuerzo para la obtención de información para mejorar el proyecto técnico, y sus consecuencias, de lo que puede deducirse, que esfuerzos de reducido coste en la mejora del proyecto técnico, darán como resultado, importantes ahorros económicos en la obra.

La siguiente imagen muestra los cuatros costes que pueden ser achacados a un modificado del contrato de obra. Puede apreciarse que no sólo se trata del coste d las unidades nuevas que aparezcan en el modificado –cuyo precio se negociará de forma bilateral entre la Administración y la empresa, sin control externo alguno–, menos las unidades de obra que se eliminen del proyecto; sino

³⁵ Ruiz Ojeda, A.L, 2002, *Los problemas de regulación de mercados en el nuevo derecho de la contratación pública: el caso del contrato de obra*, en *Panorama jurídico de las administraciones públicas en el siglo XXI: homenaje al profesor Eduardo Roca Roca*, coord. por Jaime Rodríguez-Arana Muñoz, Iñigo del Guayo Castiella, ISBN 84-340-1377-0, págs. 1337-1364.

que hay que tener en cuenta también el coste de redacción del citado modificado –dado que es la Dirección Facultativa de la obra quien debe redactarlo, y no teniendo necesariamente que ser el mismo técnico que redactó el proyecto, podría suponer un coste adicional-, junto con el coste que pudiera suponer, a veces muy importante, el hecho que los retrasos achacables a la redacción y tramitación del modificado supusiera un retraso en la entrada en funcionamiento de la obra objeto del contrato. Y por si esto fuera poco, debemos añadir el coste inmaterial de imagen que supone para la Administración contratante el hecho de terminar el proyecto con un sobrecoste poniendo en duda su capacidad de gestión.

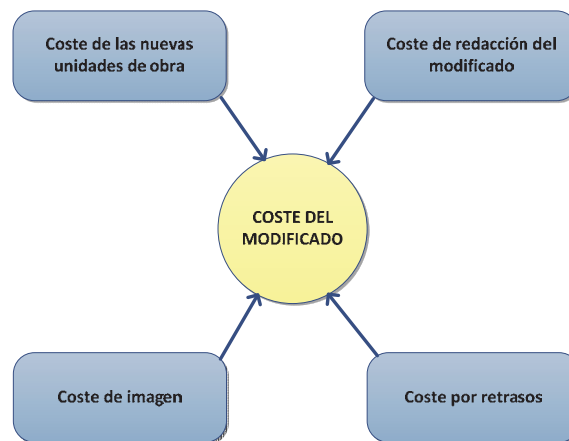


Fig. 1.5 - Esquema del coste real de un modificado de obra. Fuente: elaboración propia.

Evidentemente, la figura del modificado está regulada por la Ley de Economía Sostenible³⁶, que modifica, respecto al TRLCSP, la normativa de los modificados de obras, de acuerdo con las prácticas recomendadas por la Unión Europea, y teniendo en cuenta, especialmente, la postura manifestada por la Comisión sobre modificaciones no previstas en los documentos de licitación y sobre el carácter de alteración sustancial de aquellas que excedan en más de un 10% el precio inicial del contrato.

No ha sido sin embargo propiamente la recomendación de la Unión Europea, sino el procedimiento de infracción contra España abierto por la Comisión Europea contra España, y la más que probable condena de ésta, lo que forzó a dicha modificación, como ya se comentó brevemente en un apartado anterior. La Comisión abrió en su día expediente por considerar que la legislación española “confería a las entidades adjudicadoras poderes muy amplios, casi ilimitados, para modificar cláusulas esenciales de los contratos públicos tras su adjudicación, en condiciones que no se atenían a los principios de igualdad de trato entre licitadores, no discriminación y transparencia fijados por las normas sobre contratación pública de la UE...” y que la normativa existente “... abría la posibilidad de que la entidad adjudicadora recurriera a procedimientos negociados sin publicación, infringiendo así el artículo 31 de la Directiva 2004/18/CE...”

El 6 de abril de 2011, justo un mes después de la entrada en vigor de la reforma, la Comisión Europea ha hecho público el cierre o abandono del procedimiento de infracción contra España.

Al igual que en la regulación anterior se diferencia entre las modificaciones previstas y las no previstas en la documentación que rige la licitación, ahora bien, a diferencia de aquella, la regulación introducida por la LES, establece las circunstancias que deben concurrir para llevar a cabo una modificación no prevista en los pliegos o el anuncio de licitación:

- 1.- Inadecuación de la prestación contratada para satisfacer las necesidades que pretenden cubrirse mediante el contrato debido a errores u omisiones padecidos en la redacción del proyecto o de las especificaciones técnicas.

³⁶ Ley de Economía Sostenible. Disposición final decimosexta. Modificación de la Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público.

- 2.- Inadecuación del proyecto o de las especificaciones de la prestación por causas objetivas que determinen su falta de idoneidad, consistentes en circunstancias de tipo geológico, hídrico, arqueológico, medioambiental o similares, puestas de manifiesto con posterioridad a la adjudicación del contrato y que no fuesen previsibles con anterioridad aplicando toda la diligencia requerida de acuerdo con una buena práctica profesional en la elaboración del proyecto o en la redacción de las especificaciones técnicas.
- 3.- Fuerza mayor o caso fortuito que hiciesen imposible la realización de la prestación en los términos inicialmente definidos.
- 4.- Conveniencia de incorporar a la prestación avances técnicos que la mejoren notoriamente, siempre que su disponibilidad en el mercado, de acuerdo con el estado de la técnica, se haya producido con posterioridad a la adjudicación del contrato.
- 5.- Necesidad de ajustar la prestación a especificaciones técnicas, medioambientales, urbanísticas, de seguridad o de accesibilidad aprobadas con posterioridad a la adjudicación del contrato.

El modificado no podrá alterar las condiciones esenciales de la licitación y adjudicación, y deberá limitarse a introducir las variaciones estrictamente indispensables para responder a la causa que lo ha hecho necesario.

La LES entiende que se alteran las condiciones esenciales de licitación y adjudicación del contrato en los siguientes casos, y por tanto, no podrán llevarse a cabo modificados cuando concurren algunas de las siguientes circunstancias

- 1.- Cuando la modificación varíe sustancialmente la función y características esenciales de la prestación inicialmente contratada.
- 2.- Cuando la modificación altere la relación entre la prestación contratada y el precio, tal y como esa relación quedó definida por las condiciones de la adjudicación.

Esta limitación no debe ser interpretada en el sentido de prohibir incrementos en el precio, sino a que han de tomarse como referencia los precios que sirvieron de base para la celebración del contrato y sus bajas, no pudiendo aumentar con ocasión de la modificación, el beneficio del contratista.

Este supuesto, recoge la doctrina del Tribunal de Justicia de las Comunidades Europeas de 19 de junio de 2008, que en su sentencia en el asunto C-454/06, Priesstext Nachrichtenagentur GmbH, cuyo apartado 37 establece: *“una modificación también puede considerarse sustancial cuando cambia el equilibrio económico del contrato a favor del adjudicatario del contrato de una manera que no estaba prevista en los términos del contrato inicial”*.

- 3.- Cuando para la realización de la prestación modificada fuese necesaria una habilitación profesional diferente de la exigida para el contrato inicial o unas condiciones de solvencia sustancialmente distintas.
- 4.- Cuando las modificaciones del contrato iguallen o excedan, en más o en menos, el 10 por ciento del precio de adjudicación del contrato; en el caso de modificaciones sucesivas, el conjunto de ellas no podrá superar este límite.

Ahora bien, *“...tal consideración no implica que las modificaciones que se encuentren por debajo de ese 10% sean siempre calificadas como no esenciales, esto es, toda modificación que exceda del 10% debe ser considerada como esencial, pero no todas las modificaciones del precio que sean inferiores a ese 10% deben ser rechazadas automáticamente como no esenciales³⁷”*.

³⁷ Resolución de 28 de marzo de 2012, de la Dirección General de Patrimonio del Estado, por la que se publica la Recomendación de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa sobre la interpretación del régimen contenido en el artículo 107 del Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público sobre las modificaciones de los contratos. BOE Núm. 86, de 10 de abril de 2012.

5.- En cualesquiera otros casos en que pueda presumirse que, de haber sido conocida previamente la modificación, hubiesen concurrido al procedimiento de adjudicación otros interesados, o que los licitadores que tomaron parte en el mismo hubieran presentado ofertas sustancialmente diferentes a las formuladas.

Dentro del concepto de alteración de las condiciones esenciales, se contempla expresamente las modificaciones del contrato, no previstas en la documentación que rige la licitación, que igualen o excedan en más o en menos el 10% del precio de adjudicación. Superado el mismo, la ley establece la obligación por parte del órgano de contratación de proceder a la resolución del contrato. Recordemos que con anterioridad a la reforma este porcentaje era del 20%, y el contratista se encontraba facultado para instar la resolución del contrato sobrepasado tal porcentaje.

Cuando el Director facultativo de la obra considere necesaria una modificación del proyecto, recabará del órgano de contratación autorización para iniciar el correspondiente expediente

Cuando las modificaciones supongan la introducción de unidades de obra no comprendidas en el proyecto o cuyas características difieran sustancialmente de ellas, los precios de aplicación de las mismas serán fijados por la Administración, previa audiencia del contratista por plazo mínimo de tres días hábiles.

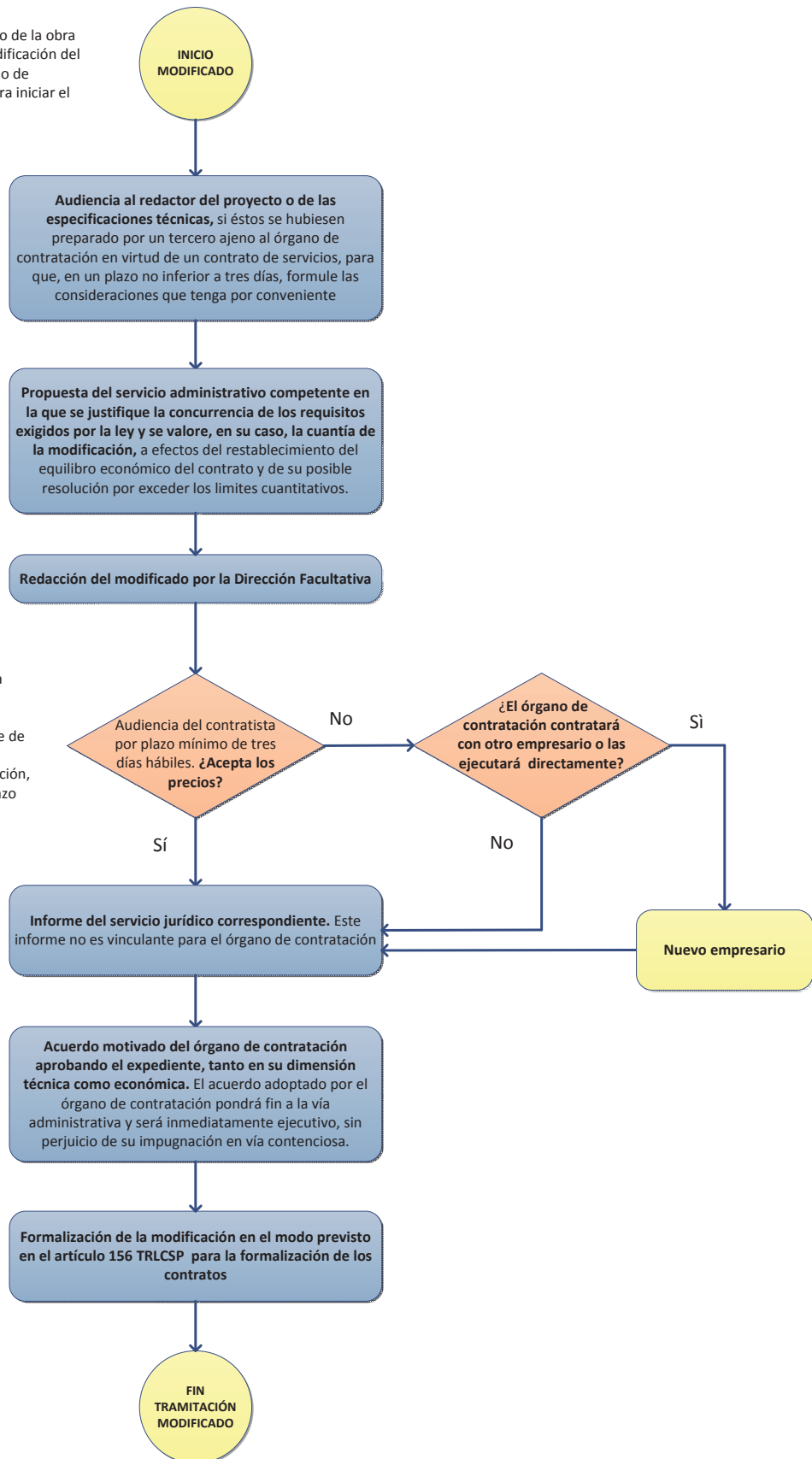


Fig. 1.6 - Esquema del proceso de tramitación de un modificado del contrato. Fuente: elaboración propia.

Una cuestión de enorme interés es que la regla general es la obligatoriedad de la modificación para el contratista de la obra.

Curiosamente, pese a reconocer esta prerrogativa de la Administración era de obligada aceptación por parte del contratista, la idea que prevalecía, incluso entre los propios subcontratistas, era que la fijación de los precios un supuesto que exceptuaba la regla general de la obligatoriedad de la modificación para el contratista de la obra. Todo ello, en atención al Art.234.2 del TRLCSP que dice que *“Cuando las modificaciones supongan la introducción de unidades de obra no previstas en el proyecto o cuyas características difieran de las fijadas en éste, los precios aplicables a las mismas serán fijados por la Administración, previa audiencia del contratista por plazo mínimo de tres días hábiles. Si éste no aceptase los precios fijados, el órgano de contratación podrá contratarlas con otro empresario en los mismos precios que hubiese fijado o ejecutarlas directamente”*.

Sin embargo, la sentencia del Tribunal Supremo STS 3293/2011³⁸, considera que la negativa del contratista lo que abre es una posibilidad a la Administración para que ésta contrate tales unidades con un tercero, o las ejecute por sí mismo pero, de no ejercer tal facultad, el contratista se verá obligado a ejecutar los nuevos trabajos a los precios señalados por la Administración, con independencia de la posibilidad de impugnarlos a través de los recursos correspondientes y, como se ha dicho, este es un error muy habitual de las empresas constructoras, que consideran que poseen la capacidad de presionar a la Administración llegando a informar a la Administración de que si no llegan a un acuerdo en el precio, impedirán el acceso al emplazamiento de la obra a la empresa que hubiera contratado la Administración para realizar los trabajos que ellos se hubieran negado a llevar a cabo.

Dejando esta cuestión de lado, queda claro entonces que los costes en los que se incurre por la modificación de un contrato de obras son superiores a lo que sería de esperar si sólo se considerase los costes de información y redacción del proyecto más las nuevas unidades de obra que aparecieran, y que estos costes no compensan los costes, que como resultado de esta falta de información, se ocasionarían en la obra.

Por último, pero no menos importante, volver a comentar en este punto, la negativa influencia que sobre la transparencia en los procesos de adjudicación de las obras –en el caso de las administraciones públicas– tiene el hecho de las renegociaciones de los contratos utilizando la figura del modificado, pudiendo darse el caso que un licitador que resultase ser el adjudicatario de un contrato de obras con una determinada oferta, tras la renegociación del contrato, finalizase las obras con un coste y un plazo con los que de haber concurrido al concurso, no hubiera resultado adjudicatario del contrato, todo ello en detrimento de aquellas empresas que hubieran realizado ofertas más ajustadas a la realidad.

Resulta evidente que tal comportamiento de la Administración Pública, no sólo ataca a la transparencia de las adjudicaciones, sino que pervierte el propio sistema, fomentando que las empresas licitadoras acudan a los concursos con ofertas de todo punto irreales, a sabiendas que de resultar adjudicataria, posteriormente podrá renegociar el contrato.

La integración de la documentación del proyecto como forma de reducir las indefiniciones

Si bien Ganuza y Ruiz Ojeda discrepan en las valoraciones del análisis, ambos coinciden en que la principal causa de sobrecostes en los proyectos de obra no es otra que la necesidad de corregir los defectos que presenta un proyecto deficientemente redactado, y que para evitarlo, se hace necesario obtener una información que permita una redacción del proyecto que describa, de la mejor forma posible, el objeto del contrato, haciendo innecesarias las modificaciones una vez que se haya iniciado la obra.

³⁸ “... Es en este contexto en el que debe interpretarse el artículo 146.2, [Art. 234.2 TRLCSP] como sostiene el Abogado del Estado, que no hace referencia a la obligatoriedad de continuar la obra modificada por el contratista, sino al precio del modificado, que es fijado por la Administración, y que posibilita a ésta, de no estar conforme el interesado con el precio fijado, (que por supuesto puede impugnar, lo que no ocurre en el caso presente), optar por ejecutar por ella misma la parte modificada o encargarla a un tercero. Pero esta es una potestad que la Administración puede no ejercitar, como ocurre en el presente caso, donde el proyecto se ha modificado reforzando la cimentación, lo que impide que sean dos empresas distintas las que lo realicen, con la consecuencia de que sigue vigente la obligatoriedad para el contratista de ejecutar las obras, siempre que no superen los umbrales del artículo 149, letra e) y solicite el contratista la resolución, y sin perjuicio de que éste impugne el precio fijado unilateralmente por la Administración...”

A esto es necesario añadir la necesidad, tanto durante la fase de redacción del proyecto, como durante la fase de ejecución de la obra, de una fluida comunicación entre los diferentes agentes participantes, de forma que la información adecuadamente obtenida y generada, llegue a quien deba hacer uso de ella.

Por ello, la calidad del proyecto se apoya sobre dos columnas: la información –tanto la que debe ser obtenida para lograr una documentación del proyecto adecuada al alcance planificado, como la que se genera durante el proceso de redacción del proyecto-, y la comunicación de dicha información, así como la necesaria coordinación.

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

Según *Kalay et al., (1998³⁹)*, estas complejidades se deben a la constante expansión de conocimientos teóricos, tecnológicos y organizacionales, y a las prácticas utilizadas por cada uno de las distintas profesiones relacionados con la construcción, así como por el impacto creciente de las decisiones tomadas por uno de los participantes en el proceso de diseño y construcción tienen sobre el resto de los agentes intervinientes.

Es evidente que este incremento de la complejidad de los propios procesos de diseño y construcción, agudiza el problema de deficiencias en la documentación de los proyectos que se ha analizado en el apartado anterior, y provoca un aumento de la necesidad de mejorar la comunicación y coordinación de las actividades involucradas en la construcción, y alinearlas con los desarrollos tecnológicos, económicos y sociales, de una manera eficiente y socialmente responsable.

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

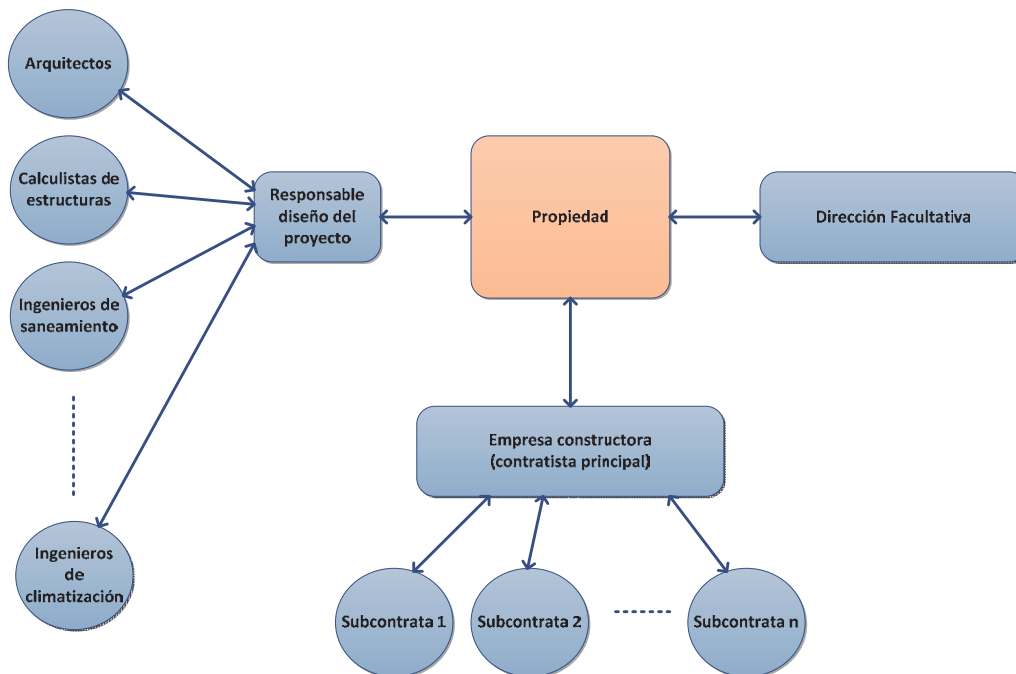


Fig. 1.7 - Esquema conceptual que representa la estructura organizativa en un proyecto de construcción. Fuente: elaboración propia.

³⁹ Kalay, Y.E., Khemlania, L., Choi, J.W., 1998. An integrated model to support distributed collaborative design of buildings. *Automation in Construction* 7, 177-188

Dentro de este escenario fragmentado, los dibujos arquitectónicos y de ingeniería en 2D han persistido durante cientos de años como la representación básica utilizada por todos los participantes en la industria de la construcción. Todas las empresas relacionadas con la construcción, las instituciones financieras y de seguros, las normas, los códigos y los materiales de referencia, se organizan en torno a los dibujos en 2D y sus convenciones de formato. (Eastman et al., 2002⁴⁰). Sin embargo, en general, se reconoce que, en la práctica, debido a esta fragmentación de la documentación, no es posible verificar la consistencia de los dibujos en 2D.

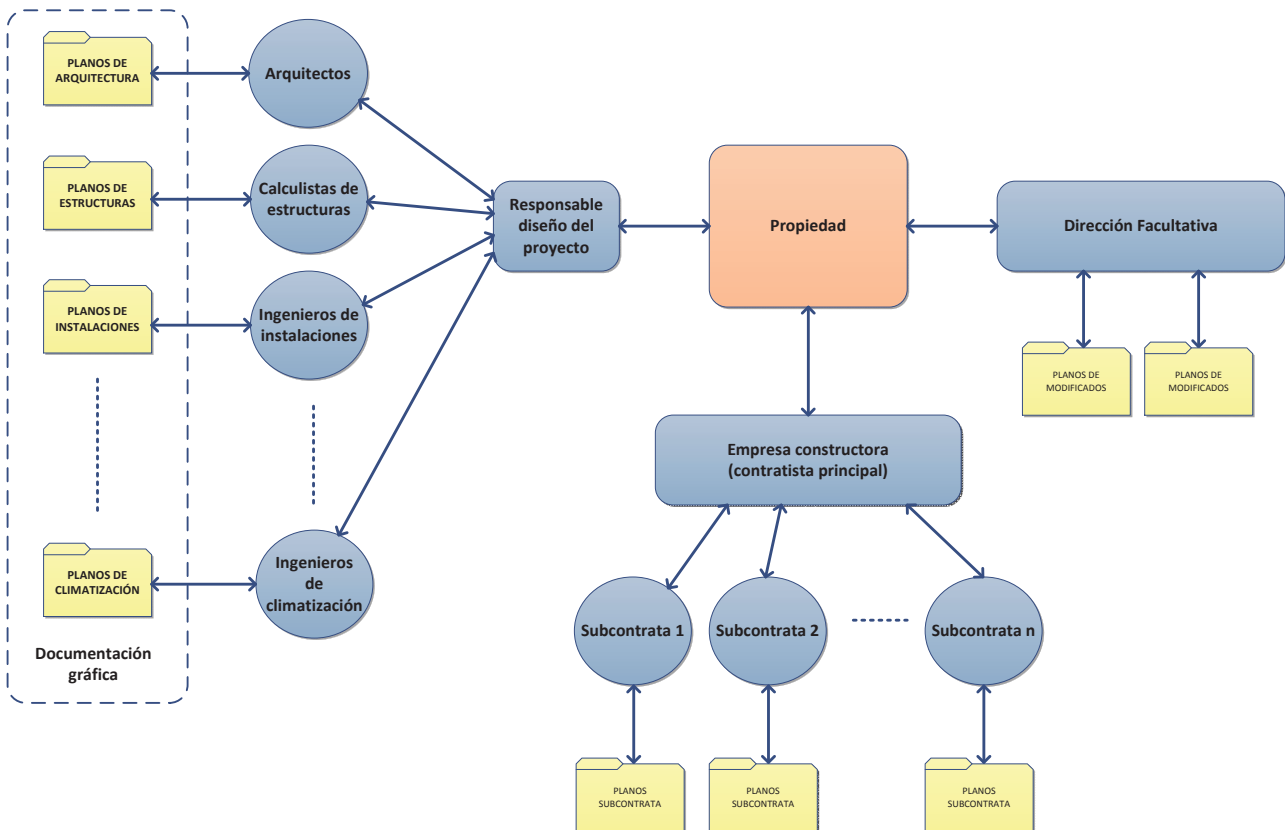


Fig. 1.8 - Esquema conceptual que representa la estructura organizativa en un proyecto de construcción, y la documentación que puede llegar a generar cada uno de ellos. Se observa la fragmentación de la documentación, que hace imposible considerar al proyecto como un ente único, sino como elementos aislados. Fuente: elaboración propia.

Tampoco podemos obviar que la industria de la construcción es una industria, que a diferencia de la industria manufacturera, no ha sabido avanzar tecnológicamente, salvo honrosas excepciones, en cuanto a lo que a tecnologías de desarrollo y gestión de los proyectos de construcción se refiere, pudiendo incluso decirse que se haya anclada en el siglo pasado. Es cierto que el diseño CAD 2D, habitual en la construcción, tiene grandes ventajas y proporciona una mayor eficiencia con respecto al lápiz y papel pero, básicamente, no deja de ser una simulación digital que imita el acto de dibujar a mano. Esta forma de representación es la que vienen utilizando los arquitectos y los ingenieros desde los tiempos de Vitruvio⁴¹.

⁴⁰ Eastman, Ch., Sacks, R., Lee, G., 2002. Strategies for Realizing the Benefits of 3D Integrated Modeling of Buildings for the AEC Industry. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 19th (ISARC). Proceedings. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. September 23-25, 2002, 9-14.

⁴¹ Marco Vitruvio Polión, fue un arquitecto, escritor, ingeniero y tratadista romano del siglo I a.c. Fue arquitecto de Julio César durante su juventud, y es el autor del tratado sobre arquitectura más antiguo que se conserva, "De Architectura", y el único de la Antigüedad clásica. El famoso dibujo de Leonardo da Vinci, el Hombre de Vitruvio, sobre las proporciones del hombre, está basado en las indicaciones dadas en esta obra.

El hecho de que los múltiples agentes intervinientes generen su documentación gráfica de una manera fragmentada, en formato 2D, trae como consecuencia que dicha documentación no pueda considerarse como algo integral, sino como elementos aislados de un mismo proyecto. Esta falta de integración de la documentación, no facilita un enfoque de colaboración real en el proyecto entre los diferentes participantes, ni la integración de los diseños con la gestión de los plazos ni con el coste.

Uno de los primeros pasos hacia el uso de tecnologías 3D en la industria de la construcción se dio a finales de los años 70. En ese momento, la industria manufacturera ya estaba llevando a cabo el diseño, análisis y simulación 3D de sus productos. Sin embargo, en la industria de la construcción, las soluciones 3D se encontraban bloqueadas primero por el coste de la potencia de cálculo y más tarde por la exitosa adopción generalizada de CAD (*Eastman et al., 2011*⁴²).

Por su lado, la industria manufacturera invirtió más recursos en tecnología, y las empresas adoptaron ampliamente el modelado paramétrico para el diseño, ingeniería y fabricación de productos, viendo incrementados de esta forma, los beneficios obtenidos de las capacidades de análisis integrado, la reducción de errores y el avance hacia la automatización de las fábricas (*Eastman et al., 2011*⁴³).

No fue hasta la década de los 90 cuando la industria de la construcción estableció las bases de los modelos de edificación orientados a objetos, aunque es cierto que algo antes, algunos sectores, como el del acero estructural, habían utilizado ya el modelado 3D paramétrico.

En la siguiente imagen puede verse dos planos CAD 2D de una misma planta de un mismo edificio. El de la izquierda representa los conductos de climatización. El de la derecha los de saneamiento. Los planos son de gran calidad y detalle, pero por una cuestión inherente a la propia naturaleza 2D, no son capaces de representar adecuadamente cómo se solventará la intersección entre una conducción y la otra.

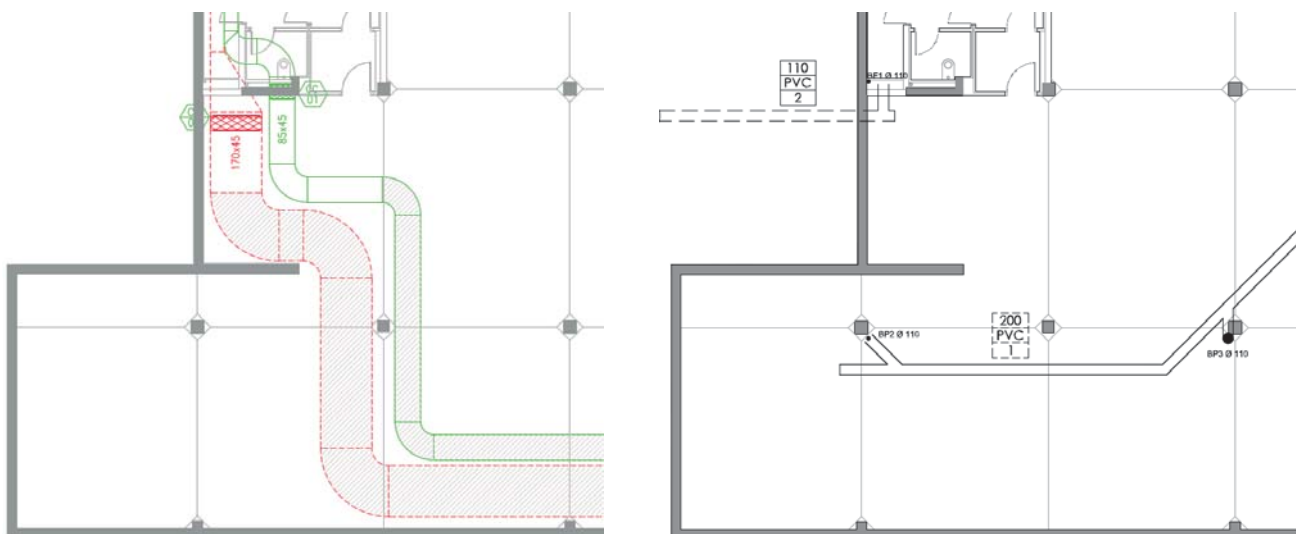


Fig. 1.9 - Plano de la instalación de climatización (a la izquierda) y de la de saneamiento (a la derecha), sobre un mismo plano de obra civil. Se observa que no se ha previsto cómo debe resolverse la intersección entre ambas, quedando eso para la fase de ejecución.

⁴² Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K., 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New Jersey.

⁴³ Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K., 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New Jersey.

Al no existir una integración real de tal documentación, aparecen conflictos de información durante la ejecución de la obra, dando lugar a retrasos en la ejecución, incremento de los costes, fricciones entre las diferentes partes intervinientes y, eventualmente, problemas legales.

La alta calidad de la documentación del núcleo del proyecto es la condición básica para la buena calidad en todas las fases y procesos en todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción. Para encarar este problema, la industria de la construcción necesita mejorar la comunicación entre los stakeholders y aumentar la eficiencia a lo largo del flujo de trabajo en el proceso de proyecto-construcción.

Uno de los retos más importantes en investigación consiste en diseñar, desarrollar e implementar sistemas eficientes de intercambio de datos, documentos y toda la información requerida entre los stakeholders a lo largo de las fases del proyecto de construcción (Mena et al., 2010⁴⁴).

Si lo deseable es aumentar la calidad de la documentación, debe superarse esta fragmentación, y la forma de hacerlo debe ser de la mano de una herramienta que integre en un único documento, toda la información necesaria para llevar a cabo el proyecto.

Diversos estudios como (Khanzode et al., 2005⁴⁵; Staub-French y Fischer, 2001⁴⁶; Staub-French y Khanzode, 2007⁴⁷), han demostrado que las tecnologías 3D proporcionan significativos beneficios a los equipos de proyectos en lo que ha coordinación se refiere, permitiendo integrar en un único documento 3D toda la documentación gráfica 2D

Mientras que un modelo CAD 2D proporciona una base común para una comunicación entre todas las partes, con un modelo 3D se crea una simulación visual del proceso de construcción, permitiendo una mayor facilidad para la detección de los errores en el proyecto, tanto en lo que se refiere a la planificación, como a la propia documentación para la ejecución de la obra, ya que se trata de una auténtica construcción virtual del proyecto, lo que permite detectar aquellos problemas que sólo serían identificados en la fase de ejecución, resolviéndolos en las etapas tempranas del proyecto, evitando que estos errores lleguen a la fase de ejecución, donde sería necesario realizar modificaciones en el proyecto que pudieran en peligro el cumplimiento de los objetivos de coste y plazo (Rischmoller et al., 2001⁴⁸).

⁴⁴ Mena, A., López, F., Framiñan, J.M., Flores, F., Gallego, J.M., 2010. XPDRL project: Improving the project documentation quality in the Spanish architectural, engineering and construction sector, *Automation in Construction* 19 (2010) 270–282.

⁴⁵ Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D., 2005. Case Study of The Implementation of The Lean Project Delivery System (LPDS) using Virtual Building Technologies on a Large Healthcare Project, *Proceedings 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-13, Sydney, Australia*

⁴⁶ Staub-French S., Fischer, M., 2001. Industrial Case Study of Electronic Design, Cost, and Schedule Integration. Technical Report No. 122, Center for Integrated Facilities Engineering, Stanford University, CA. (www.stanford.edu/group/CIFE/Publications)

⁴⁷ Staub-French, S., Khanzode, A., 2007. 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned. *ITCON July 2007*.

⁴⁸ Rischmoller, L., Fischer, M., Fox, R., Alarcon, L., 2001. 4D Planning and Scheduling (4D-PS): Grounding Construction IT Research in Industry Practice. *Conference Proceedings- IT in Construction in Africa, CIB W78 International Conference, Mpumalanga, South Africa*.

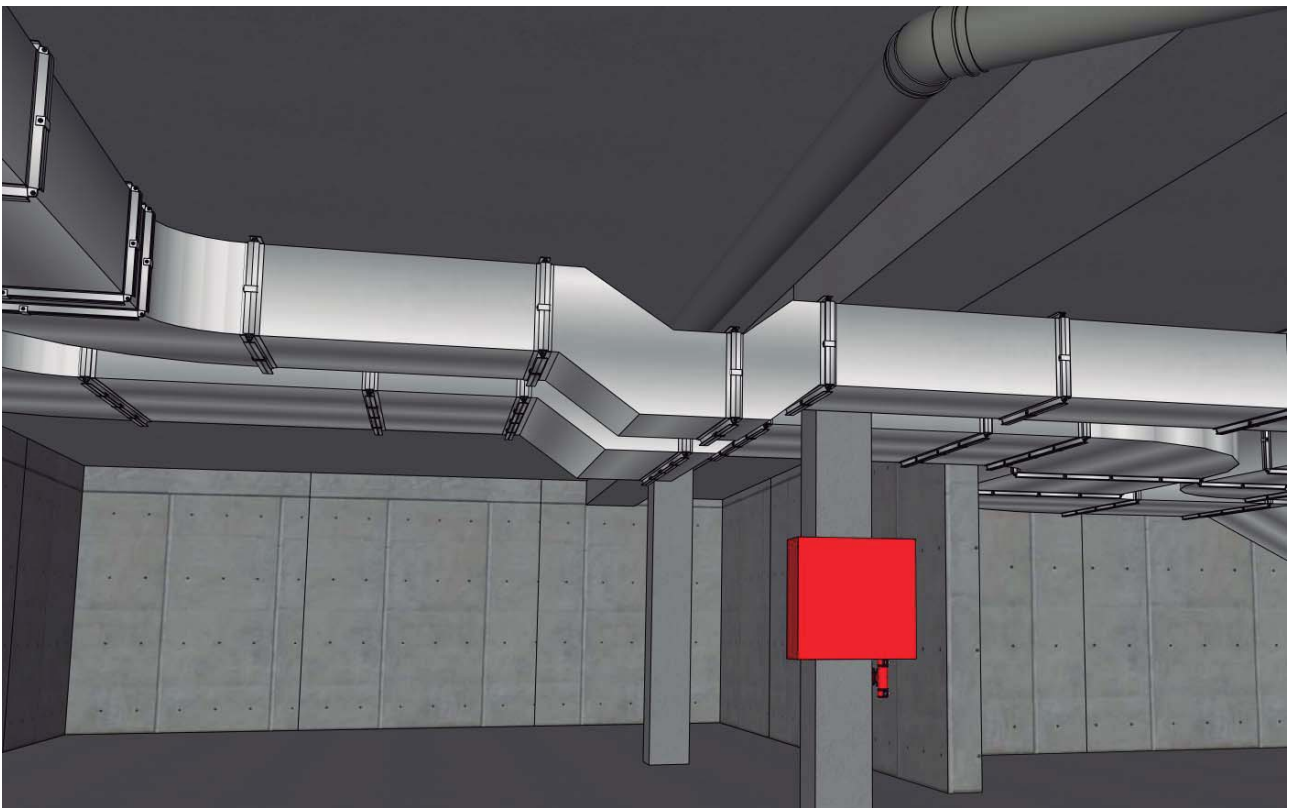


Fig. 1.10 - Intersección entre la instalación de climatización y de saneamiento, vista en la imagen anterior. El modelo 3D permite realizar una construcción virtual del proyecto detectando en una fase temprana los problemas que sólo podrían detectarse en la fase de ejecución.

Objeto del presente trabajo

El presente trabajo trata de analizar la posibilidad de incorporar a los proyectos de construcción la integración de la documentación gráfica 2D en un único modelo 3D, mejorando la calidad de dicha documentación al reducir, de una forma muy importante, la fragmentación de las misma, y como consecuencia de ello, poder identificar, en las fases tempranas del proyecto, los posibles errores que en cualquier otro caso llevarían a la existencia de modificados, y con ellos a los sobrecostos y retrasos en la ejecución, que se han visto en este capítulo.

Para ello, se propondrá una metodología que permita, desarrollar un modelo de la edificación, utilizando la herramienta SketchUp, que tenga todas las características y la calidad de modelado que el uso profesional requiere, y utilizar ese modelo 3D, para mejorar la coordinación entre todos los agentes intervinientes en la obra, como consecuencia de eliminar la fragmentación de la documentación 2D a la que antes se hacía referencia.

Es cierto que la palabra BIM está en boca de muchos, como un futuro esperanzador que evite los errores en que se incurre en la actualidad a la hora de diseñar y construir un edificio. Pero lo cierto es que hasta ahora, las tecnologías BIM no han pasado la frontera de los grandes proyectos hacia proyectos más pequeños y sencillos, donde igualmente serían de utilidad. Su elevado coste y complejidad, que obliga a cubrir unas necesidades de formación entre profesionales no acostumbrados a utilizar este tipo de software, hace que, en la práctica, las siglas BIM se queden en pura teoría, y hoy por hoy, la práctica totalidad de proyectos de construcción se proyecten utilizando un sistema CAD 2D.

Este trabajo plantea la posibilidad de escalar lo que sería un sistema BIM a proyectos de menor entidad, evitando las costosas herramientas informáticas, las importantes necesidades de formación que conllevan, y con ello, el rechazo de un sector tan tradicionalmente conservador en lo que a innovación en nuevas tecnologías se refiere como es la industria de la construcción.

Organización del presente trabajo

Este trabajo se organiza en 6 capítulos y un anexo.

El **Capítulo 1** es una introducción a la problemática de los sobrecostes en los proyectos de construcción, muy especialmente en lo que a la Administración Pública se refiere, analizando sus dos posibles causas: las formas de contratación por parte de la Administración Pública y las deficiencias e indefiniciones en la documentación de los proyectos. Se muestra como el uso de los modelos 3D permite avanzar en la mejora de la documentación evitando la fragmentación de la misma debido a los múltiples agentes intervinientes en el proyecto.

El **Capítulo 2** presenta los modelos n-dimensionales –entre los que los modelos 3D es sólo un subconjunto-, y las aplicaciones más habituales en las que es posible encontrarlos. También se hace referencia a los modelos BIM (*Building Information Model*), como un paso adelante respecto a los modelos nD

El **Capítulo 3** presenta los materiales, herramientas y métodos que van a ser utilizados en el desarrollo de este trabajo. En este apartado se hace una breve introducción del software Trimble SketchUp y de sus capacidades, explicando los motivos que han llevado a seleccionar esta herramienta en lugar de otras de mayores características y potencialidades.

El **Capítulo 4** muestra los resultados del trabajo, siendo el capítulo central de esta tesis. En él se discute la metodología de modelado necesaria para obtener un modelo capaz de ser utilizado para llevar a cabo la correcta coordinación en obra, y se explica la organización documental considerada más apropiada para estos fines. Igualmente, se detallan, el desarrollo del modelado de algunos elementos básicos para la generación de modelos 3D en la construcción, y finalmente se muestran ejemplos de como el modelado 3D permite superar la fragmentación de la documentación a la que se hacía referencia en la Capítulo 1.

El **Capítulo 5** analiza las principales conclusiones obtenidas tras realizare este trabajo, y relaciona algunas de las líneas de investigación que se han abierto y que se consideran de interés

El **Capítulo 6** recoge la bibliografía y referencias utilizadas, consultadas y referenciadas en este trabajo

El **Anexo I** muestra, de forma gráfica, y a modo de ejemplo, la secuencia de construcción de uno de los voladizos del edificio de la IV Fase de Complejo Científico-Tecnológico de la Universidad de La Rioja, sobre cuyo edificio se ha desarrollado este trabajo. Esta secuencia de construcción permite apreciar de forma práctica las grandes ventajas que los modelos 3D presentan y que en esta tesis se debaten.

Capítulo 2

Los modelos n-Dimensionales y sus aplicaciones

“ Toda tecnología lo suficientemente avanzada es indistinguible de la magia ”

- **Arthur C. Clarke (escritor y científico, 1917 - 2008)**

“ Si no puedes distinguir la tecnología de la magia, no eres suficientemente avanzado ”

- **Ben Zealley (bioquímico, 1984)**

“ Si una tecnología es indistinguible de la magia, no es suficientemente avanzada ”

- **Gregory Benford (físico y escritor de ciencia-ficción, 1941)**

Los modelos n-Dimensionales

Como se ha visto en el capítulo anterior, la documentación 2D no es la más adecuada para los proyectos tan complejos como los que hoy requiere la sociedad. Por ello se ha recurrido a los modelos 3D, los cuales permiten integrar en un único modelo toda la información contenida en la documentación del proyecto, logrando con esta integración una mayor calidad en la documentación, al evitar incongruencias entre diferentes partes de la misma.

A finales de los años 70 se dieron los primeros pasos hacia el uso de tecnologías 3D en la industria de la construcción. En ese momento, la industria manufacturera ya estaba llevando a cabo el diseño, análisis y simulación 3D de sus productos. Sin embargo, en la industria de la construcción, las soluciones 3D se encontraban bloqueadas, primero por el coste de la potencia de cálculo y más tarde por la exitosa adopción generalizada de los sistemas CAD (*Eastman et al., 2011*⁴⁹).

A finales de los años 80 y en primeros años de la década de los 90 aparecieron los hoy llamados modelos n-dimensionales (modelos nD) para su aplicación a la construcción (*Fischer y Kam, 2001*⁵⁰), como una evolución natural de los modelos 3D. El interés por estos modelos nD no ha parado de crecer debido a que son una forma de describir en un único modelo el proceso completo de construcción.

Sin embargo, no sólo es posible integrar las tres dimensiones espaciales en un modelo. También es posible integrar la variable “tiempo”, apareciendo así, los modelos 4D. Tales modelos 4D, al incorporar la variable temporal, permiten un seguimiento de la planificación de los plazos del proyecto.

Dando un paso más, es posible introducir a esos modelos 4D, que ya integran las tres variables espaciales y la variable temporal, una nueva variable como es el coste, surgiendo así, los modelos denominados 5D.

Algunos autores (*Smith, 2014*⁵¹), y añaden otras dimensiones, obteniendo así, modelos 6D –al añadir a las anteriores, la dimensión “mantenimiento”-, modelos 7D –al añadir la dimensión “sostenibilidad”-, e incluso llegan a modelos 8D –al añadir la dimensión “seguridad”-. Sin embargo, más allá de los modelos 5D, no existe un consenso unánime en cuanto a las denominaciones de estos modelos y qué variables se asocian con cada dimensión.

Fue *Eastman et al., (2011)*⁵² quien definió esta capacidad multidimensional de los modelos de construcción como modelos “nD”, dando a entender con la “n”, su capacidad para añadir un infinito número de dimensiones

Las áreas de aplicación de estos modelos son numerosas, y las más destacadas se recogen en la figura adjunta.

⁴⁹ Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K., 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors, 2nd Ed.*, John Wiley & Sons, New Jersey.

⁵⁰ Fischer, M., Kam, C., 2001. *4D Modelling: technologies and research, presentation given to Workshop on 4D Modelling: Experiences in UK and Overseas, organized by The Network on Information Standardization, Exchanges and Management in Construction.*

⁵¹ Smith, P., 2014. *BIM & the 5D project cost manager. 27th IPMA World Congress. Procedia – Social and Behavioral Sciences 119 (2014) 475-484.*

⁵² Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K., 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors, 2nd Ed.*, John Wiley & Sons, New Jersey.

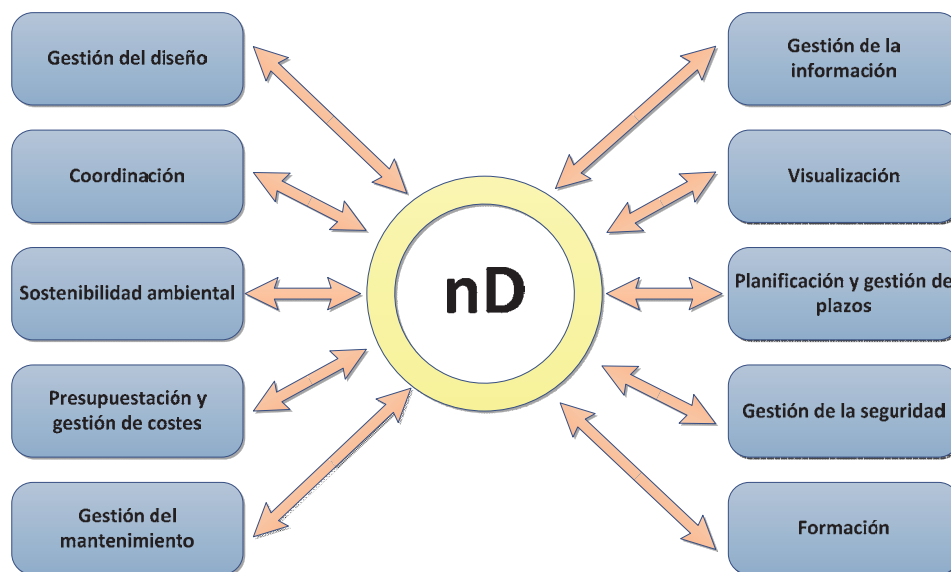


Fig. 2. 1- Áreas de aplicación de los modelos nD. Fuente: elaboración propia.

Por evidentes motivos, destacan aquellas donde la visualización de la información es un elemento de importancia en la actividad, sin embargo, también aparecen otras en las que, al menos a primera vista, la visualización no sería una de sus prioridades -como pueden ser la presupuestación y la gestión de costes, o la planificación y la gestión de plazos-, pero donde los modelos nD ya han demostrado su utilidad en la práctica.

Diseño conceptual

El modelado nD tiene una importancia de primer nivel en lo que se denomina el **diseño conceptual**.

El diseño conceptual determina el marco básico del diseño en términos de volúmenes, estructura, distribución espacial, condicionamientos medioambientales, etc., y que, posteriormente, será desarrollado con detalle. Es la parte más creativa del diseño, y la que suele estar sometida a un mayor número de cambios y modificaciones.

Debe tenerse en cuenta que el diseño conceptual parte de una tentativa de solución a un problema técnico. Esta tentativa de solución, que no está completamente definida, con el fin de tener la mayor flexibilidad, es la base para un posterior proceso secuencial de modificaciones con el fin de encajar cada uno de los requerimientos del proyecto en la solución propuesta.

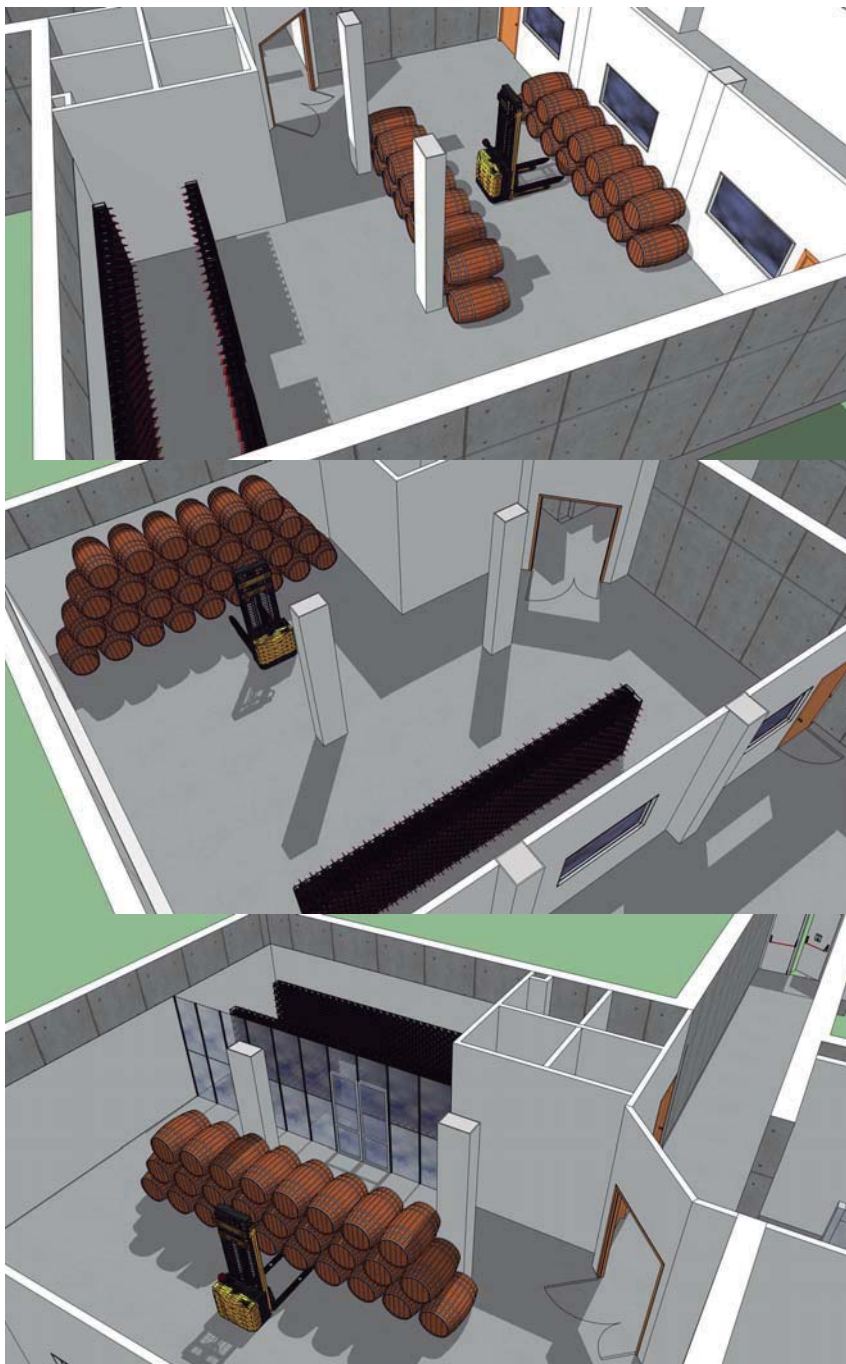
Es evidente que pueden existir múltiples soluciones a los requerimientos dados, y la clave del éxito radica en que el equipo del proyecto sea capaz de visualizar todas y cada una de las posibles soluciones, con el fin de descartar aquellas que no resulten de interés, y finalmente proponer la solución que pudiera ser la más ventajosa

Dada la cantidad de posibles soluciones, así como los cambios que son de esperar en ese proceso secuencial de diseño, resulta económicamente interesante, tanto a nivel económico, como a nivel de horas de trabajo, el realizar este diseño mediante modelos virtuales que permitan visualizar todas las soluciones, así como las sucesivas modificaciones, sin coste alguno, y de forma rápida y eficiente.

No es raro ver aún como muchos diseñadores recurren a maquetas realizadas en diferentes materiales para realizar este diseño conceptual, sin embargo, la facilidad y economía de realizar modelos virtuales, de gran tamaño, y de elevada precisión, está arrinconando el uso de las maquetas.

En las siguientes imágenes se muestra un ejemplo del uso de un modelo 3D para determinar la mejor solución a la construcción de una Sala de Barricas en la Bodega Experimental de la Universidad de La Rioja, (Vergara et al., 2013⁵³).

En este caso se trata de ubicar en la zona de la bodega donde se iba a situar la sala de barricas, un total de 30 barricas bordelesas de 225 litros de capacidad, y 1.200 botellas de 0.75 litros, además debe permitir el paso de una transpaleta que se utilizará para mover las barricas, con el inconveniente que presentan los pilares de la propia bodega.



La propuesta de diseño conceptual 1 distribuye las barricas en dos filas y las botellas en la zona apartada de la sala.

La propuesta de diseño conceptual 2 distribuye las barricas en una única fila en la zona apartada de la sala y las botellas quedan situadas en la zona amplia.

La tercera propuesta de diseño es similar a la primera en cuanto que sitúa las botellas en la zona apartada de la sala, pero las barricas quedan apiladas en tres alturas.

Fig. 2.2- Las tres propuestas de diseño conceptual para la Sala de Barricas de la bodega experimental de la Universidad de La Rioja. (Vergara et al., 2013)⁵⁴

⁵³ Vergara, E., Nájera, P., Otaño, L. (2013). Infraestructuras científicas: Salas de crianza y guarda de vinos orientadas a investigación. 17th International Congress on Project Management and engineering. Logroño, La Rioja.

Los tres conceptos propuestos no son totalmente equivalentes, ya que la tercera propuesta contiene la partición de la infraestructura, y aporta la funcionalidad de diferenciar de forma más eficiente el posible tratamiento de la investigación de crianza en barrica de la conservación en botella. No obstante, en los tres casos se obtienen las funcionalidades requeridas.

Finalmente, valorando las propuestas junto con los usuarios se decidió que solo se continúa en fases posteriores a partir de un único diseño conceptual correspondiente a la propuesta 3.

Un último aspecto a considerar, sería el de **revisión del diseño**. En este punto, se produciría un trabajo colaborativo entre los miembros del equipo de diseño y especialista en las diferentes materias. Este tipo de colaboración produce un “feedback”/consejos/cambios importantes a la hora de mejorar el diseño. Hasta ahora esta colaboración se realizaba vía telefónica, reuniones físicas, fax, etc. Sin embargo, las posibilidades que abre el uso de modelos nD en cuanto a la revisión del diseño, junto con la posibilidad de disponer en línea el modelo, son muy amplias.

No puede despreciarse la facilidad que otorga este tipo de modelos para la revisión del diseño por stakeholders sin formación técnica. Mientras que la visualización de un diseño mediante planos 2D no siempre resulta factible para personal sin formación técnica, la visualización 3D es mucho más intuitiva, y permite integrar en la revisión del diseño a personal que de otra forma no hubiera podido colaborar, y cuya aportación, puede ser de gran importancia, como puede ser el caso de los usuarios finales.

Coordinación

Diversos estudios como (*Khanzode et al., 2005*⁵⁵; *Staub-French y Fischer, 2001*⁵⁶; *Staub-French y Khanzode, 2007*⁵⁷), han demostrado que las tecnologías 3D y 4D proporcionan significativos beneficios a los equipos de proyectos en lo que ha coordinación se refiere.

Uno de los mayores impedimentos que dificultan la colaboración entre el diseño y la ejecución en la industria de la construcción es que esta industria se basa en la subcontratación de contratistas especializados, por lo que una exitosa comunicación entre los múltiples participantes involucrados es crítica para el éxito del proyecto. Para ello, es necesario reducir la separación existente entre el diseño y la construcción.

La integración del diseño y de la construcción se puede lograr mediante la formalización y estandarización de la información, promoviendo la interacción entre los participantes del proyecto. El modelo 4D se puede utilizar como una herramienta de integración que puede ayudar en la mejora de ambos de estos factores.

1. Formalización de la información de diseño y construcción

Suele existir una falta de estandarización y de inconsistencia en la información utilizada por el diseñador y el constructor. Aunque una planificación eficaz de la secuencia de construcción es fundamental para el ahorro de costes, los diseñadores no siempre analizan cómo su diseño afectará a la secuencia de la construcción. Asimismo, no están tan familiarizados con los procesos de construcción y pueden tener dificultades para comprender la lógica de la secuencia de las tareas.

Los modelos 4D se pueden utilizar como una herramienta para escapar de las limitaciones del documento CAD 2D tan profundamente incrustado en la industria de la construcción, mediante la integración de la información de diseño y de la

⁵⁴ Vergara, E., Nájera, P., Otaño, L. (2013). *Infraestructuras científicas: Salas de crianza y guarda de vinos orientadas a investigación*. 17th International Congress on Project Management and engineering. Logroño, La Rioja.

⁵⁵ Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D., 2005. *Case Study of The Implementation of The Lean Project Delivery System (LPDS) using Virtual Building Technologies on a Large Healthcare Project*, Proceedings 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-13, Sydney, Australia

⁵⁶ Staub-French S., Fischer, M., 2001. *Industrial Case Study of Electronic Design, Cost, and Schedule Integration*. Technical Report No. 122, Center for Integrated Facilities Engineering, Stanford University, CA. (www.stanford.edu/group/CIFE/Publications)

⁵⁷ Staub-French, S., Khanzode, A., 2007. *3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned*. ITCON July 2007.

construcción en un solo medio. El diseñador y el constructor pueden trabajar con la misma información al visualizar el modelo 4D, que elimina la necesidad de trabajar con información fragmentada.

2. Promoción de la interacción entre los diferentes participantes en el proyecto

Otra importante aplicación de los modelos 4D, es la relativa al potencial que posee esta tecnología para presentar ideas a todos los participantes en el proyecto, como forma de promover el trabajo colaborativo. (Fischer, 2001⁵⁸; Kähkönen y Leinonen, 2001⁵⁹).

Debido a que muchos temas que no siempre se abordan durante el proceso de planificación deben abordarse al generar el modelo 4D, esto obliga, de una forma natural, a la interacción entre el proyectista y el constructor.

Pero si esta coordinación es importante y necesaria en todos los niveles del proyecto, es en los sistemas MEP, (*Mechanical, Electrican & Plumbing* - Sistemas mecánicos, eléctricos y de tuberías) donde resulta más deseable, ya que la fragmentación de la documentación se manifiesta con mayor rotundidad y gravedad.

Khanzode, (2010⁶⁰), afirma que en los proyectos de construcción técnicamente complejos, los sistemas MEP pueden suponer, a veces, hasta el 60 % del valor total del proyecto (típicamente entre el 40 y el 60%), y su complejidad ha aumentado drásticamente en los últimos años. En estos proyectos, los métodos y las secuencias para la instalación de los sistemas MEP se convierte en una actividad crítica.

Por un lado, la reducción de tiempos en el diseño no permite detallar adecuadamente los sistemas MEP, de forma que alcance del trabajo para los contratistas especializados incluye, cada vez más, la decisión de cómo completar la instalación que no ha sido recogida de forma completa en el proyecto. Por otro lado, el espacio existente es limitado en toda construcción, y hace que el diseño y la ejecución sean mucho más dificultosos y menos eficientes. Tanto una cuestión como la otra llevan a un mismo destino: el subcontratista, a falta de documentación que represente adecuadamente su instalación, trazará el recorrido como mejor considere en función de sus intereses (facilidad de instalación, coste, tiempo, etc.), sin pensar, o conocer, que otras instalaciones deberían coordinarse con la suya de una forma eficiente (p.e., que facilite posteriormente el mantenimiento de la instalación). La segunda cuestión redundante en lo mismo, dado que el espacio es limitado, aquel subcontratista que primero entre en la obra, trazará su instalación de la forma más cómoda, mientras que los siguientes deberán acomodar su trazado a los primeros.

Pero ni siquiera es necesario que falte documentación o esta sea inadecuada. Aún con una documentación adecuada, la mayor parte de las veces, los complejos recorridos que deben realizar las conducciones de los sistemas MEP, son imposibles de representar en un dibujo CAD 2D, por su propia naturaleza bidimensional, incapaz de representar la tercera dimensión.

⁵⁸ Fischer, M., (2001). *The frontier of virtual building*, Workshop on Virtual Construction, organized by ENCORD, 26–27 November, Essen, Germany.

⁵⁹ Kähkönen, K., Leinonen, J., (2001). *Advanced communication technology as an enabler for improved construction practice*, presentation given to Workshop on 4D Modelling: Experiences in UK and Overseas, organized by The Network on Information Standardization, Exchanges and Management in Construction.

⁶⁰ Khanzode, A., (2010). *An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP*. Technical Report #TR187. Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, CA, USA.

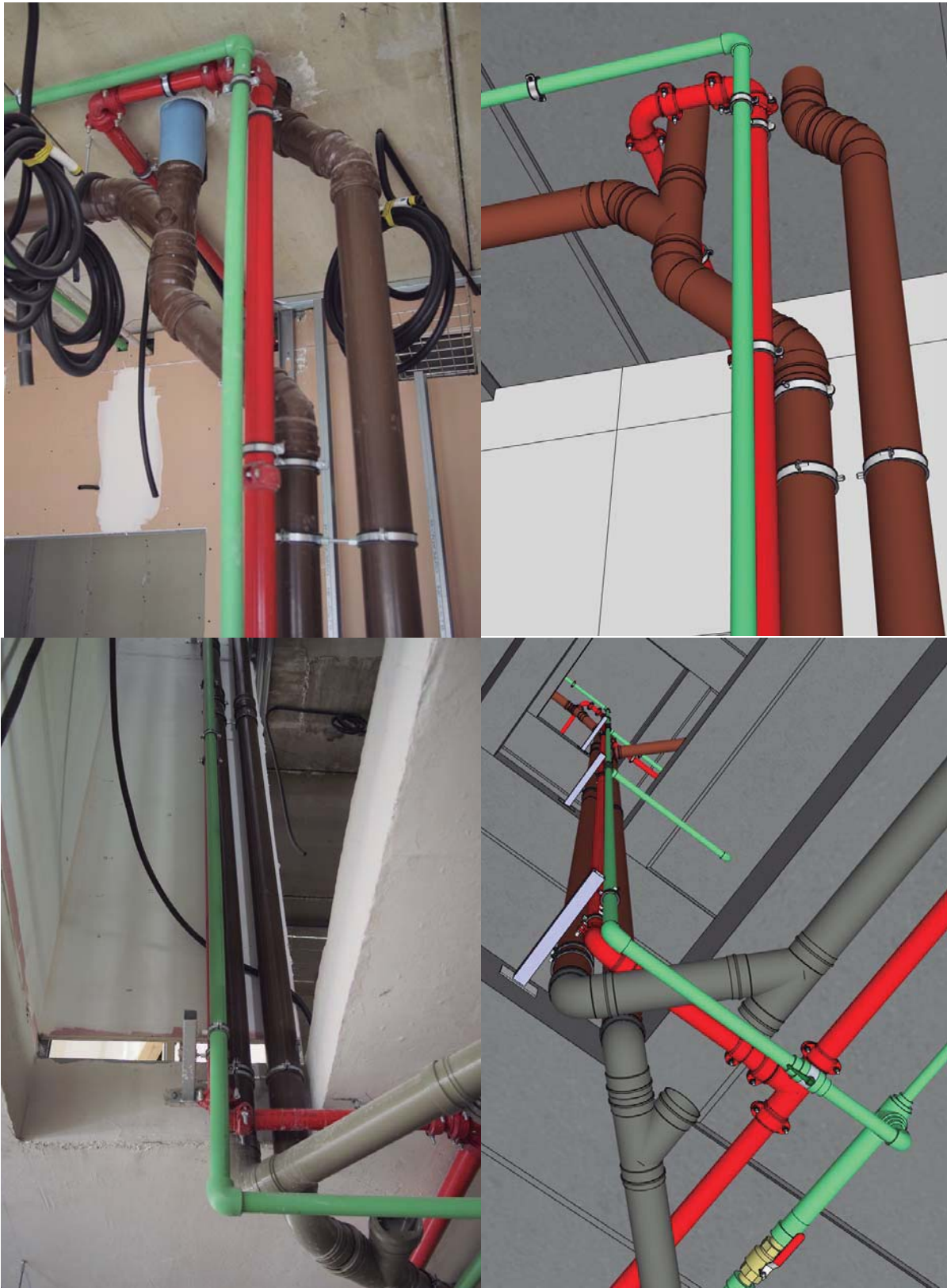


Fig. 2. 3- Imagen de las instalaciones del patinillo en la planta sótano del edificio de la IV fase del Complejo Científico Técnico de la Universidad de La Rioja. Se observa la cantidad y disparidad de instalaciones, así como la evidente dificultad de representar dichas instalaciones en una documentación en 2D.

Trabajos como los de Fischer y Kunz, (2004⁶¹), Kunz y Fischer, (2012⁶²), y Khanzode et al., (2008⁶³), sugieren que el empleo de modelos 3D y 4D genera importantes beneficios a la hora de evitar conflictos y mejorar la coordinación en obra (Koo y Fischer, 2000⁶⁴), debido a que la construcción virtual permite a los ingenieros examinar, desde la fase de diseño, los problemas que muy probablemente se presentarán en la fase de ejecución, y más importante aún, permite disponer de una documentación de calidad, completa, una documentación que ahora es 3D, y no 2D como venía siendo lo habitual.

Sostenibilidad y medio ambiente

Casi el 30% del consumo de energía primaria es debido a los edificios, y por ello las normativas europeas han intentado incidir sobre el consumo energético de las construcciones, en este caso creando una herramienta similar a la ya empleada en el caso de los electrodomésticos.

Además del evidente interés medioambiental, no puede desdeñarse la importancia que desde el punto de vista del marketing poseen los llamados “edificios verdes”.

El Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción obliga a clasificar las nuevas construcciones con una etiqueta que informe a los compradores del grado de eficiencia del edificio. Se trata de que cada edificio disponga de una etiqueta con su calificación energética (de la A, que correspondería a los edificios más eficientes, a la G, los edificios menos eficientes) y en la que se incluya su consumo estimado de energía y las emisiones de CO₂ asociadas.

El reconocido arquitecto norteamericano Booth Hansen, utiliza la aplicación SketchUp Pro junto con un plug-in desarrollado por la empresa *Sefari*, para analizar la eficiencia energética de los edificios

En este campo, los modelos 3D poseen un buen número de ventajas sobre los tradicionales modelos 2D, debido a la riqueza de información que incorporan y que permiten un mejor análisis de su comportamiento ambiental, no debiendo limitarse únicamente a su certificación energética.

Así, por ejemplo, es posible analizar la insolación que recibe el edificio a lo largo del año, llegando al detalle de analizar las sombras producidas por marquesinas o vegetación. Para ello existen aplicaciones, desarrolladas como *add-ons*, que se ejecutan sobre el modelo BIM, como puede ser *Ecotec* para Revit, o *Chronolux* para SketchUp.

⁶¹ Fischer, M., Kunz, J., (2004). *The scope and role of Information Technology in Construction*. Technical Report 156, Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, CA, USA.

⁶² Kunz, J., Fischer, M., (2012). *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions*. CIFE Working Paper #097. Version 14; January 2012.

⁶³ Khanzode, A., Fischer, M., and Reed, D., (2008). *Benefits and lessons learned of implementing building Virtual Design and Construction (VDC) technologies for coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems on a large healthcare project*. ITCON Special Issue Case Studies of BIM Use, Vol. 13, pp. 324-342.

⁶⁴ Koo, B. and Fischer, M., (2000). *Feasibility study of 4D CAD in commercial construction*. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 126, No. 4, pp. 251-260.

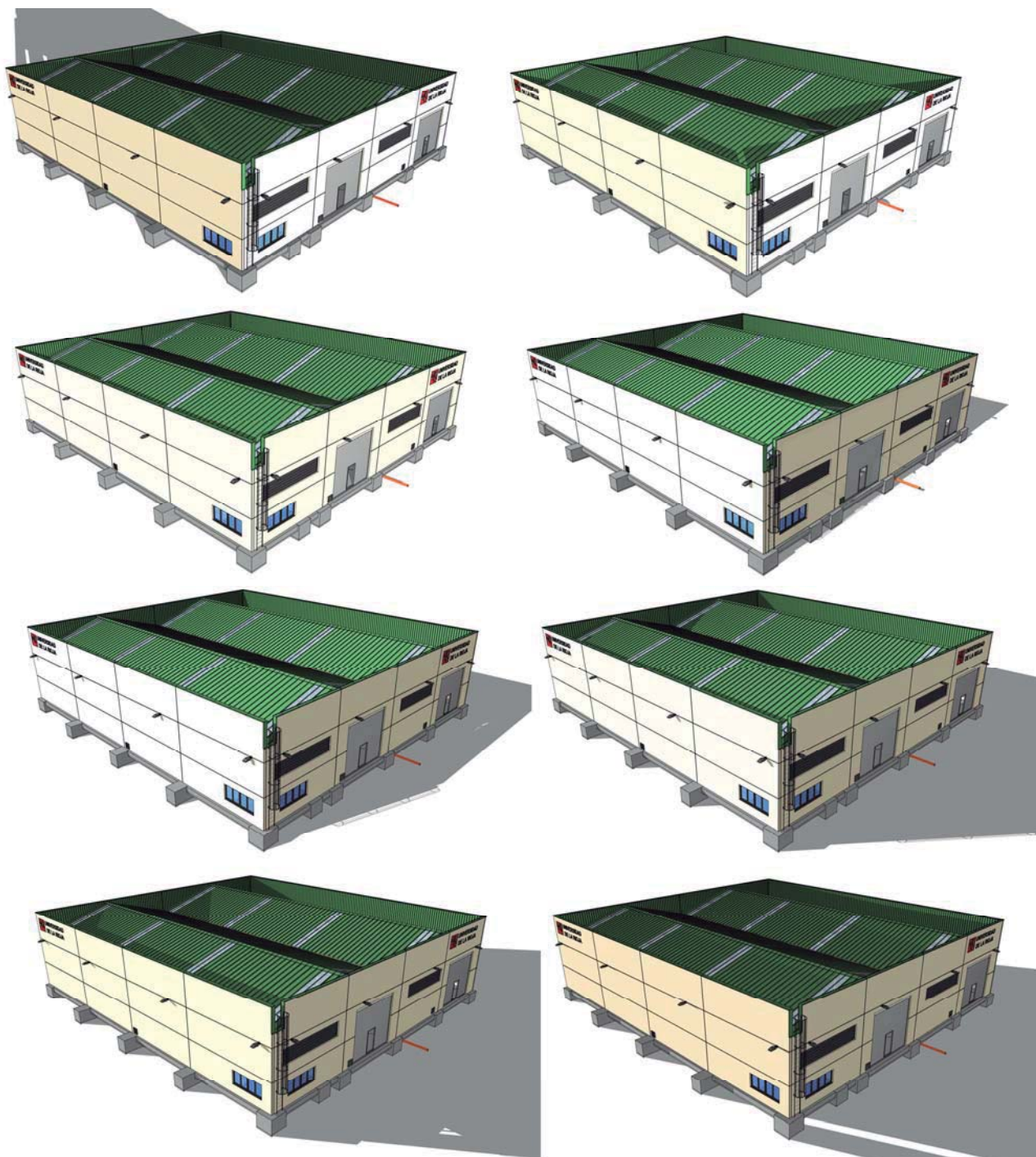


Fig. 2. 4- Análisis de la sombras en el pabellón del Campo de Experimentación Agraria de la Universidad de La Rioja, para un día cualquiera del mes de octubre, en las coordenadas correspondientes a la localización del pabellón, desde las 06:35h que amanece hasta las 16:33h que se pone el sol (horas solares). Fuente: elaboración propia.

Gestión de costes

Ya se ha dicho anteriormente, que si los modelos 4D son aquellos que integran la variable temporal con las tres dimensiones espaciales. Los modelos 5D son aquellos que, además, suman la variable coste a las cuatro anteriores.

Los modelos nD pueden contener información de cada uno de los elementos que forman el edificio, de tal manera que es posible que, entre sus atributos, figure el del coste de la unidad. Ello permite conocer cuestiones tales como si existen discrepancias entre el coste actual y el coste presupuestado, a la fecha del análisis, aplicar metodologías de seguimiento como es el caso del EVMS (*Earned Value Method System*), o generar de forma rápida y sencilla, informes de coste de la obra.

Así, la incorporación a cada objeto 3D de su correspondiente coste según el presupuesto y siguiendo la descomposición de la EDT, va a permitir la comparación entre lo que debiera haber sido ejecutado (BCWS – *Budgeted Cost of Work Scheduled*), lo que realmente ha sido ejecutado (BCWP – *Budgeted Cost of Work Performed*) y el coste realmente satisfecho en las certificaciones de obra (ACWP – *Actual Cost of Work Performed*), no sólo visualmente, sino tomando el coste como parámetro de medida, y permite obtener una serie de parámetros como son las desviaciones en plazo (SV – *Schedule Variance*) y las desviaciones en coste (CV – *Cost Variance*)

$$SV = BCWP - BCWS$$

$$CV = BCWP - ACWP$$

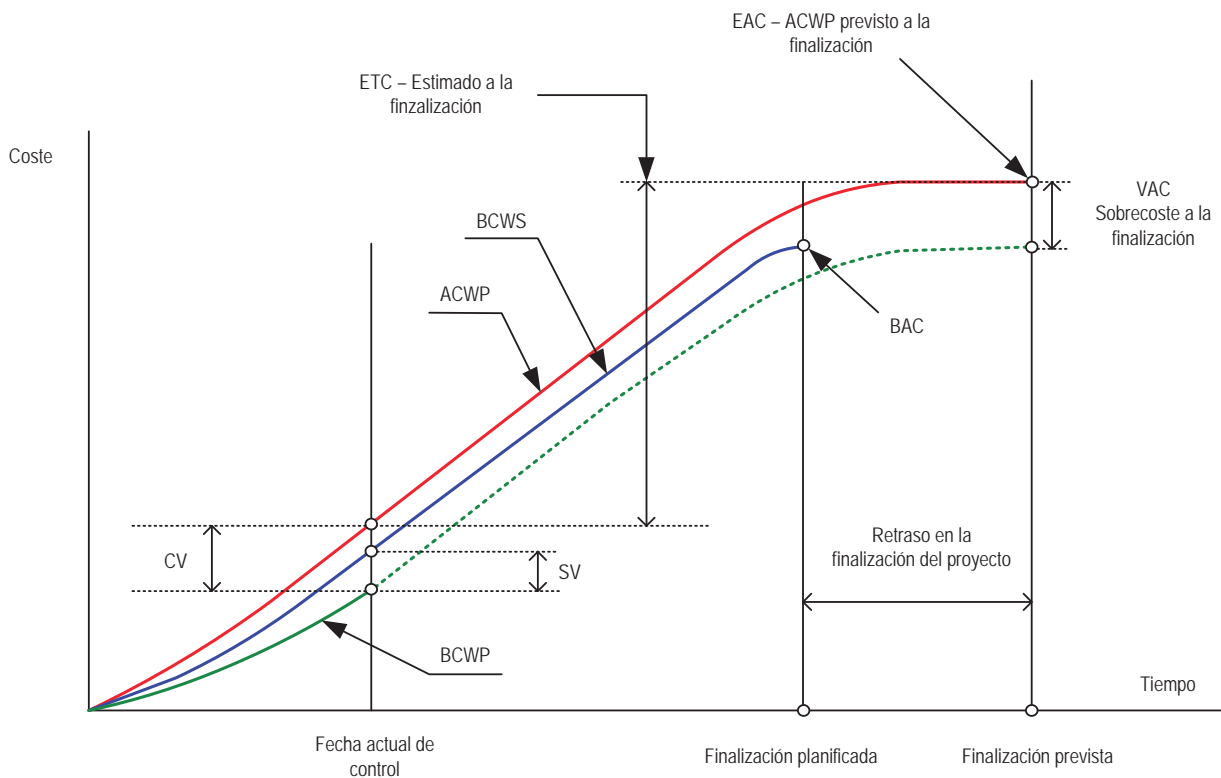


Fig. 2.5- Gráficas de costes acumulados para un proyecto tipo de las variables básicas del sistema EVMS (*Earned Value Method System*). Fuente (Vergara et al., 2011⁶⁵)

Otros dos parámetros básicos de este sistema son el SPI (*Schedule Performance Index*) y el CPI (*Cost Performance Index*)

El SPI indica la capacidad del contratista para cumplir la planificación dada, y compara el presupuesto para las tareas planificadas para ser ejecutadas en la fecha dada con el presupuesto del trabajo que realmente ha sido ejecutado.

⁶⁵ Vergara, E.P., Nájera, P., Otaño, L., Vergara, D., 2011. *Gestión del proyecto de construcción de un campor de experimentación agraria en la Universidad de La Rioja utilizando EVMS. 15th International Congress on Project Management. Huesca.*

Se calcula según la siguiente expresión:

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS}$$

- Un SPI igual a 1 indicaría que el proyecto se encuentra ajustado al presupuesto y a la planificación con un 100% de eficiencia.
- Un SPI superior a 1, indica un adelanto sobre lo planificado.
- Un SPI inferior a 1, indica un retraso sobre lo planificado

El CPI indica la capacidad del contratista para controlar los costes, y compara el coste presupuestado para las tareas planificadas para ser ejecutadas en ese período, con el coste del trabajo que realmente ha sido ejecutado.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP}$$

- Un CPI igual a 1 indica que para cada euro gastado, se ha ejecutado trabajo por valor de 1 euro.
- Un CPI superior a 1, indica que para cada euro gastado, se ha ejecutado trabajo por un valor superior a 1 euro. Refleja una ejecución por encima de lo esperado.
- Un CPI inferior a 1, indica que para cada euro gastado, se ha ejecutado trabajo por valor inferior a 1 euro. Refleja una ejecución por debajo de lo esperado.

Gestión del mantenimiento

La complejidad de las instalaciones en los modernos edificios obliga a disponer de una importante cantidad -y muy variada- de documentación con el fin de atender tanto las necesidades técnicas de mantenimiento como las obligaciones legales a las que obliga la normativa técnica.

El fraccionamiento de las diferentes instalaciones en diferentes documentaciones gráficas es un inconveniente a la hora de visualizar el trazado de las diferentes sistemas e instalaciones, ya que mientras que la documentación gráfica se encuentra en 2D, la realidad es que los trazados de dichas instalaciones trascurren atravesando diferentes plantas del edificio –conducciones de climatización, de saneamiento, de pluviales, etc.-, por lo que los problemas para los técnicos que realizan mantenimiento preventivo o corrigen una avería aumentan, al incrementarse la dificultad para realizar el adecuado seguimiento en 2D de unas instalaciones que realmente son 3D.

Los modelos 3D ofrecen la posibilidad de incorporar en un único modelo todos los planos de las instalaciones y su visualización en 3D, posibilitando una adecuada trazabilidad de las instalaciones.

Gestión de la información

Ya se ha comentado como uno de los motivos de la aparición de los modelos nD fue el fraccionamiento de la información en múltiples documentos 2D.

Esta multiplicidad de documentación, generada por muy diversos agentes, muchas veces en diferentes formatos, resulta en una gran dificultad para la gestión posterior del edificio construido. Muchas veces, esta información es necesaria para dar cumplimiento periódico a la normativa técnico-legal que le sea de aplicación, por lo que este aspecto puede llegar a complicarse en exceso, si no se gestiona adecuadamente la información disponible.

Los modelos nD unifican en un único modelo, toda la documentación del proyecto, o al menos, en un sistema más sencillo de gestión, en el caso de los modelos que emplean múltiples documentos.

Especialmente en infraestructuras de alta complejidad o muy intensivas en instalaciones.

Numerosos trabajos se han publicado en este sentido, destacando el de Shen et al., (2012⁶⁶).

Visualización

Los modelos nD pueden producir imágenes 3D muy detalladas, y en algunos casos fotorrealistas de los edificios. Estas visualizaciones son una importante herramienta en manos del diseñador, dado que permiten analizar cuál será la respuesta de los usuarios, visitantes e incluso vecinos, al enfrentarse al nuevo edificio.

Estas imágenes 3D, que pueden incluir paseos virtuales, son mucho más efectivas para comunicar la idea del nuevo edificio que cualquier otro medio, y ya actualmente son ampliamente utilizadas.

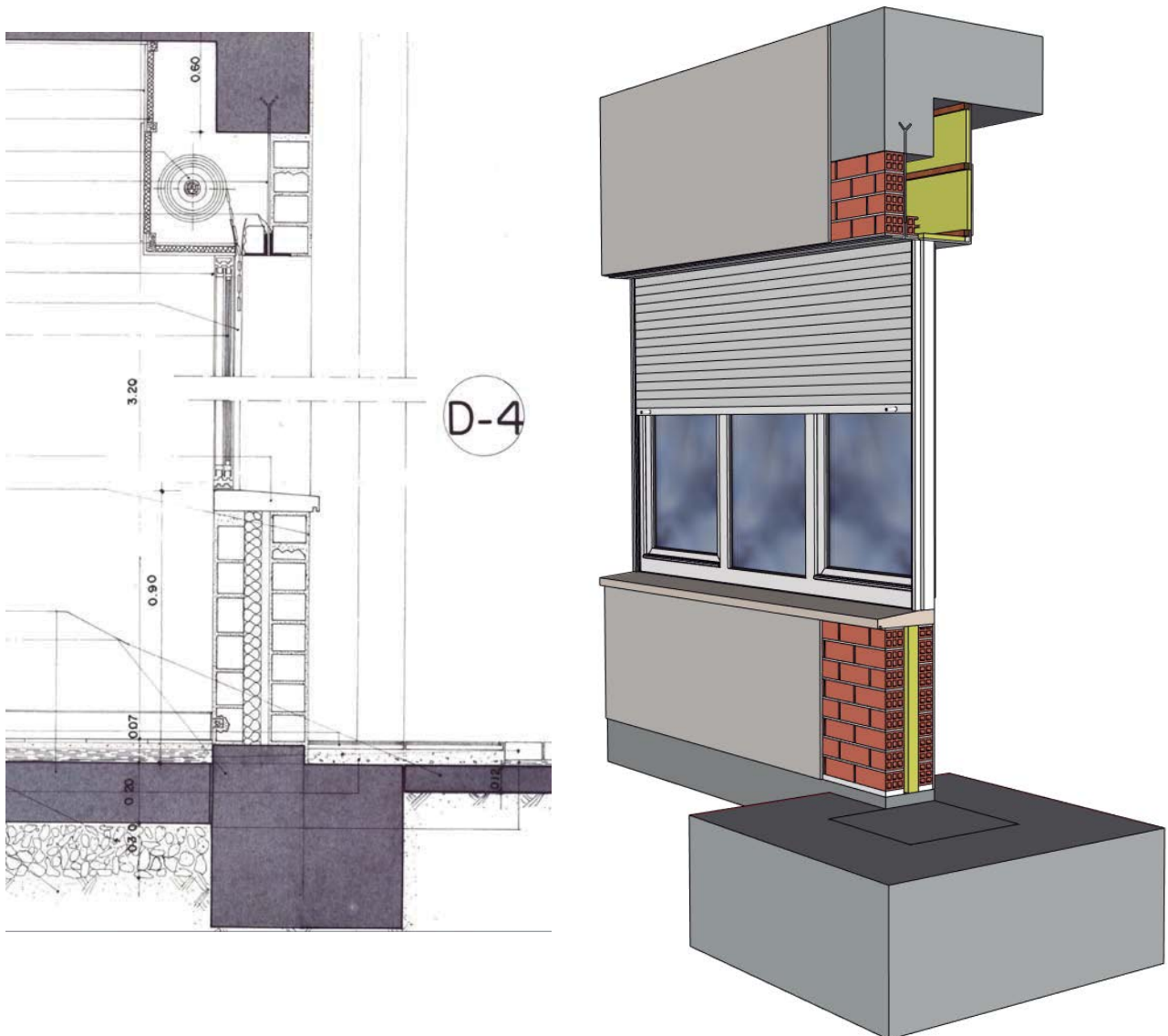
Pero no sólo se trata de visualizar el aspecto estético del edificio, sino que los modelos nD pueden ser empleados para realizar visualizaciones avanzadas como es localizar el edificio junto a los edificios ya existentes en el entorno para comprobar su impacto en la localización, o un estudio de la iluminación que muestre como variando la fachada varía la iluminación a medida que varían las estaciones y a lo largo de las diferentes horas del día.

Un ejemplo de esto último se muestra en (Khosrowshahi y Alani, 2011⁶⁷).

Por otro lado, son una importante ayuda a la hora de realizar presentaciones del proyecto ya sea ante posibles clientes, responsable de la propia empresa o responsables políticos, ya que permite que la audiencia interprete correctamente el proyecto sin necesidad de que poseer conocimientos técnicos para interpretar los planos, resulta una presentación mucho más amena y atractiva, posicionando a la audiencia de forma positiva frente al proyecto.

⁶⁶ Shen, W., Shen, Q., Sun, Q., 2012. *Building Information Modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer–user communications*, *Automation in Construction* 21 (2012) 148–160.

⁶⁷ Khosrowshahi, F., Alani, A., 2011. *Visualization of impact of time on the internal lighting of a building* *Automation in Construction* 20 (2011) 145–154.



*Fig. 2. 6- A la izquierda sección de una de las fachadas del edificio de Filologías de la Universidad de La Rioja. A la derecha su representación en un modelo 3D.
Fuente: elaboración propia.*

Planificación, programación y gestión de plazos

La planificación⁶⁸ y programación⁶⁹ en un proyecto implica la secuenciación de una serie de actividades en el espacio y el tiempo. Sin embargo, es habitual que dicho trabajo se realice atendiendo únicamente al tiempo –definido en función de los recursos disponibles–.

Tradicionalmente, la herramienta utilizada para planificar y programar un proyecto son los diagramas de barras, como el conocido diagrama de Gantt⁷⁰, que permiten visualizar cómo las tareas o actividades se relacionan entre sí en una secuencia determinada, de forma que es posible calcular el camino más largo desde el inicio del proyecto hasta el fin para completar el proyecto. Es el denominado Camino Crítico.

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

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

Así, un modelo 4D, un subconjunto del conjunto de modelos nD, es el resultado de enlazar un modelo tridimensional con la cuarta dimensión temporal (Koo y Fischer, 1998⁷¹). A diferencia de los tradicionales diagramas de barras o de redes, donde no es posible representar adecuadamente las dimensiones espaciales y temporal, el modelo 4D simula virtualmente la propia ejecución del proyecto de construcción, y muestra como los diferentes elementos deben ser ejecutados y en qué secuencia (Adjei-Kumi y Retik, 1997⁷²), permitiendo a los participantes en el proyecto visualizar dinámicamente el progreso de la construcción, controlar dicho progreso y optimizarlo si fuera el caso (Ding et al., 2012⁷³).

⁶⁸ Por planificación de proyectos se entiende la división del proyecto en tareas, su vinculación entre ellas estableciendo precedencias.

⁶⁹ Por programación de proyectos se entiende el establecimiento de un calendario de inicio y fin de cada una de las tareas.

⁷⁰ Henry Laurence Gantt (1861-1919), fue discípulo de Frederick Winslow Taylor. Sus investigaciones más importantes se centraron en el control y planificación de las operaciones productivas mediante el uso de técnicas gráficas, entre ellas el llamado diagrama de Gantt. Su obra principal, publicada en 1913, se titula "Work, Wages and Profits" (Trabajo, salarios y beneficios).

⁷¹ Koo, B., Fischer, M., 1998. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. CIFE Technical Report #118 August, Stanford University.

⁷² Adjei-Kumi, T., Retik, A., 1997. A library-based 4D visualization of construction processes, Proc., Information Visualization Conf., Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, N.J., 315–321.

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

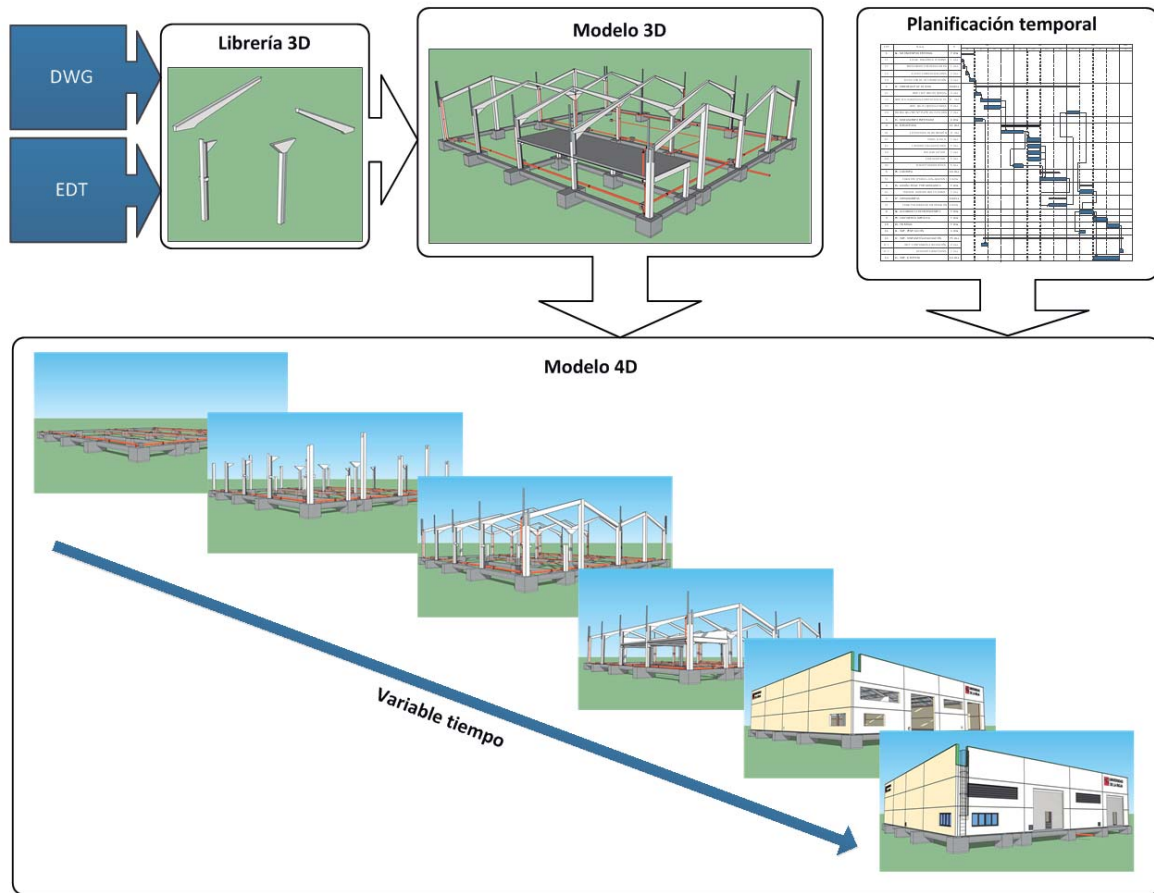


Fig. 2.7- Esquema de la generación de un modelo 3D. Incorporando al modelo 3D construido a partir de una librería 3D, la variable temporal, aparece como resultado el modelo 4D. Fuente (Vergara et al., 2014⁷⁴)

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

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

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

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

⁷⁴ Vergara, E.P., Remartínez, J., Vergara, D., 2014. Uso de modelos 4D para la visualización de la secuencia de construcción en proyectos de ingeniería. 18th International Congress on Project Management and Engineering. Alcañiz.

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

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

Autores como *Zhang y Hu (2011⁷⁵)*, han analizado la detección de estos conflictos, y otros, como *Jaafari et al., (2001⁷⁶)*, han aprovechado esta característica de los modelos 4D para proponer su uso como una herramienta de entrenamiento para personal sin experiencia en la generación de planificaciones

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

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

Los modelos 4D pueden utilizarse para gestionar adecuadamente los espacios de trabajo y programar la distribución de equipos y material, así como los tiempos de entrega de los diferentes materiales con el fin de no congestionar la zona de trabajo. El modelo 4D permite, mediante la generación de escenarios alternativos, y visualizar qué espacios estarán disponibles en cada momento.

Autores como *Ma et al., (2005⁷⁷)*, que analizaron la optimización de diseños de localizaciones de obra, *Mallasi (2006⁷⁸)*, que analizó la congestión de los espacios de obra, o *Wang et al., (2004⁷⁹)*, que han estudiado la planificación de la utilización de los recursos mediante modelos 4D, son algunos de los investigadores que han tratado este tema.

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

⁷⁵ Zhang, J.P., Hu, Z.Z., 2011. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies, *Automation in Construction* 20, 155–166

⁷⁶ Jaafari, A., Manivong, K.K., Chaaya, M., 2001. VIRCON: interactive system for teaching construction management. *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management*, 127(1), 66–75.

⁷⁷ Ma, Z., Shen, Q., Zhang, J., 2005. Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects, *Automation in Construction* 14 (3), 369–381.

⁷⁸ Mallasi, Z., 2006. Dynamic quantification and analysis of the construction workspace congestion utilizing 4D visualization, *Automation in Construction* 15, 640–655.

⁷⁹ Wang, H.J., Zhang, J.P., Chau, K.W., Anson, M., 2004. 4D dynamic management for construction planning and resource utilization, *Automation in Construction* 13 (5), 575–589.

Koo y Fischer (1998⁸⁰), trabajaron sobre el proceso de descubrimiento de las inconsistencias en la programación de actividades. Por su parte, Golparvar-Fard et al., (2009⁸¹), lo hicieron sobre el seguimiento de las discrepancias en el progreso del proyecto, mientras que Vaughn (1996⁸²), trabajó sobre la generación de escenarios alternativos para desarrollar la mejor solución de planificación.

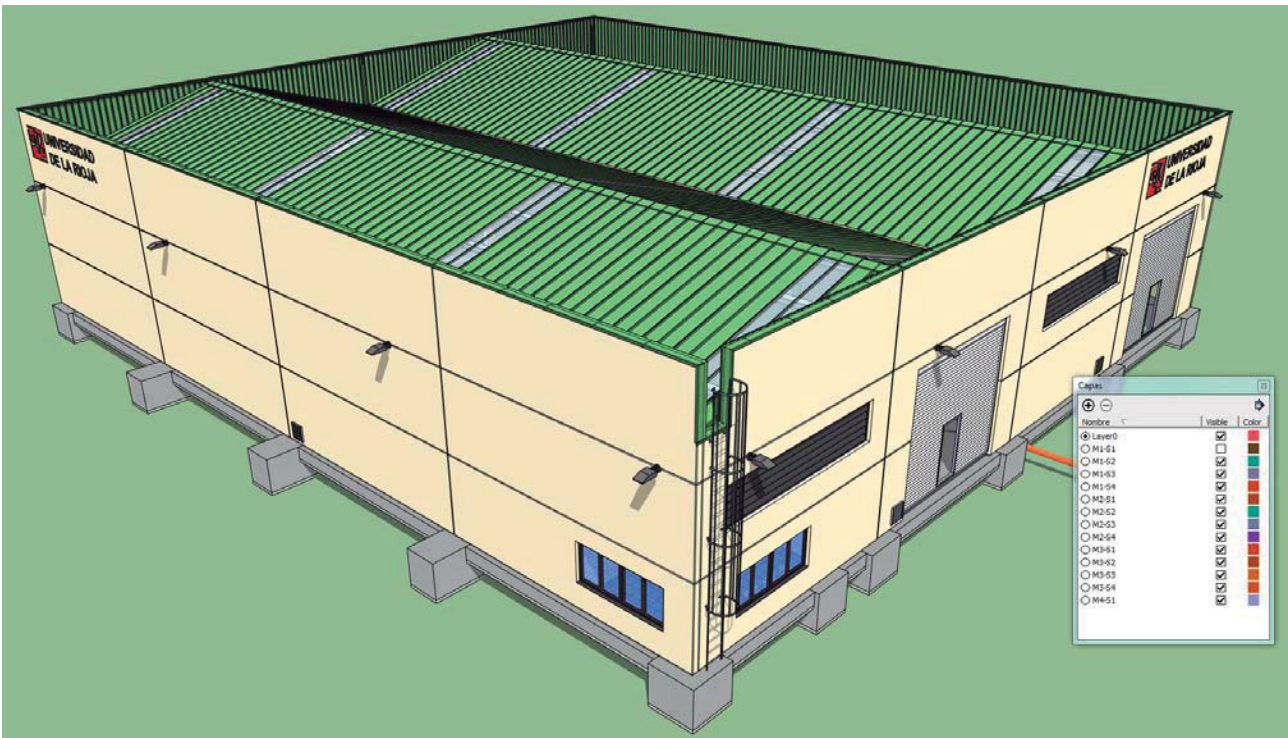


Fig. 2. 8- Modelo 4D final del pabellón del Campo de Experimentación Agraria de la Universidad de La Rioja. Se observa cómo se ha introducido la variable temporal en forma de capas. Cada capa contiene los objetos que van a ser montados en una semana dada de un mes dado. El proyecto se extiende desde la semana S1 del mes M1, hasta la primera semana S1 del cuarto mes, M4. Fuente (Vergara et al., 2014⁸³)

⁸⁰ Koo, B., Fischer, M., 1998. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. CIFE Technical Report #118 August, Stanford University.

⁸¹ Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., Arboleda, C.A., Lee, S., 2009. Visualization of construction progress monitoring with 4D simulation model overlaid on time-lapsed photographs, *J. Comput. Civ. Eng.* 23 (6), 391–404.

⁸² Vaughn, F., 1996. 3D and 4D CAD modelling on commercial design-build projects, in Vanegas, J and Chinowsky, P. (eds) *Computing in Civil Engineering Congress 3*, Anaheim, California. June, pp. 390–6.

⁸³ Vergara, E.P., Remartínez, J., Vergara, D., 2014. Uso de modelos 4D para la visualización de la secuencia de construcción en proyectos de ingeniería. *18th International Congress on Project Management and Engineering*. Alcañiz.

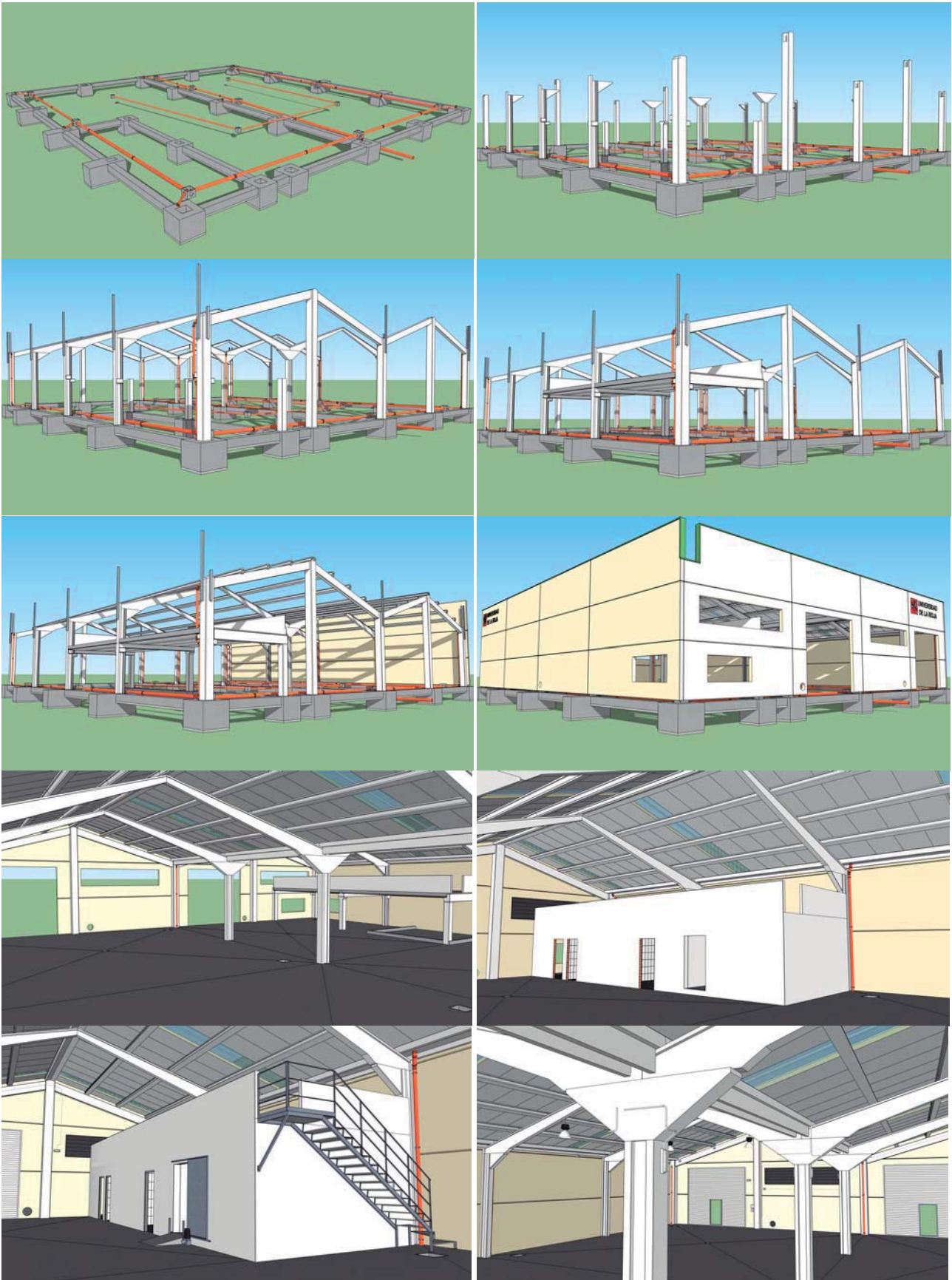


Fig. 2. 9- Modelo 4D de la construcción del pabellón del Campo de Experimentación Agraria de la Universidad de La Rioja. Fuente (Vergara et al., 2014⁸⁴)



Fig. 2. 10- Comparación de alguna de las fases de la construcción del pabellón con el modelo 4D. Fuente (Vergara et al., 2014⁸⁵)

Gestión de la seguridad

Las tecnologías nD son una herramienta muy útil a la hora de integrar la seguridad en el proyecto ya que permite anticiparse a riesgos durante el proceso de construcción que sobre el plano en 2D no son fáciles de ver (Bansal, 2011⁸⁶).

⁸⁴ Vergara, E.P., Remartínez, J., Vergara, D., 2014. Uso de modelos 4D para la visualización de la secuencia de construcción en proyectos de ingeniería. 18th International Congress on Project Management and Engineering. Alcañiz.

⁸⁵ Vergara, E.P., Remartínez, J., Vergara, D., 2014. Uso de modelos 4D para la visualización de la secuencia de construcción en proyectos de ingeniería. 18th International Congress on Project Management and Engineering. Alcañiz.

⁸⁶ Bansal, V.K., 2011. Application of geographic information systems in construction safety planning, International Journal of Project Management 29 (2011) 66–77.

A la vista del modelo 4D, los coordinadores en materia de seguridad y salud pueden detectar áreas donde se pueden producir accidentes y ejecutar medidas de prevención (como la colocación de señales de advertencia, restringir el acceso, la incorporación de medidas de seguridad, etc). Pero lo más importante, es que mediante la visualización de los tiempos y la ubicación de los trabajadores a través del modelo 4D, los coordinadores en materia de seguridad y salud pueden percibir cuando existe peligro de que diferentes equipos de trabajo se interfieren entre sí, pudiendo crear, inadvertidamente, situaciones peligrosas.

Autores como *Benjaoran y Bhokha (2010⁸⁷)*, han tratado extensamente este tema.

Un primer paso en este sentido lo ha dado la empresa constructora norteamericana *Turner Construction Company⁸⁸*, que ha logrado que el *New York City Department of Building* apruebe el primer plan de seguridad en 3D/BIM. Este plan permite a los inspectores de seguridad que realicen visitas virtuales al proyecto de construcción y lo revisen en tiempo real.

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

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

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

Pero no sólo se limita sus posibilidades a la seguridad en el trabajo, sino que es de aplicación a la seguridad contra el fuego (*Isikdag et al., 2008⁸⁹*) y en planes de evacuación (*Rüppel y Schatz, 2011⁹⁰*). En este sentido, se está trabajando de cara al desarrollo de metodologías para realizar escaneos por diferentes medios, a posteriori, de edificaciones ya existentes (*Brilakis et al., 2010⁹¹*; *Bosché, 2011⁹²*).

También tiene una gran aplicación a la hora de coordinar adecuadamente las actividades de montaje mediante grúas u otros equipos elevadores, con el fin de evitar colisiones entre ellos. Con los modelos 4D es posible visualizar la posición de cada uno de estos equipos en obra, comprobando de forma visual las posibles interferencias, colisiones y situaciones de peligro, pudiendo reducir las probabilidades de que se produzca un accidente de forma notoria, algo que sería prácticamente imposible sobre un documento 2D.

⁸⁷ *Benjaoran, V., Bhokha, S., 2010. An integrated safety management with construction management, Automation in Construction 48, 395–403.*

⁸⁸ <http://www.turnerconstruction.com/>

⁸⁹ *Isikdag, U., Underwood, J., Aouad, G., 2008. An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes, Advanced Engineering Informatics 22 (2008) 504–519.*

⁹⁰ *Rüppel, U., Schatz, K., 2011. Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations, Advanced Engineering Informatics 25 (2011) 600–611.*

⁹¹ *Brilakis, I., Lourakis, M., Sacks, R., Savarese, S., Christodoulou, S., Teizer, J., Makhmalbaf, A., 2010. Toward automated generation of parametric BIMs based on hybrid video and laser scanning data, Advanced Engineering Informatics 24 (2010) 456–465.*

⁹² *Bosché, F., 2012. Plane-based registration of construction laser scans with 3D/4D building models, Advanced Engineering Informatics 26 (2012) 90–102.*

Por último, una utilidad muy importante y que cada vez cobra más fuerza para estos modelos es la de poder trabajar con ellos a la hora de trazar planes de evacuación en caso de catástrofe o un atentado terrorista (Rueppel y Stuebbe, 2008⁹³). En estos casos, los modelos 3D permiten un fácil trazado del recorrido de evacuación, descendiendo de una planta a otra del edificio. De nuevo, dibujar sobre un documento 2D un recorrido que implica descender en altura, resulta complejo y difícilmente visualizable.

Formación

Debido a sus características como plataforma de modelado 3D, los modelos nD proporcionan un entorno robusto para la exploración y la visualización, mejorando las posibilidades de formación y de comunicación. ++

En un modelo 3D/4D los alumnos pueden tener acceso ilimitado, para su estudio y observación directa, a innumerables elementos que de otra forma sería muy difícil de acceder –ya sea por su coste o por su disponibilidad–, y que, por otro lado, sólo estarían disponibles en los tiempos dedicados a laboratorio, y sin posibilidad de alterar dicho elemento.

Como ejemplo de las capacidades de los modelos nD en este ámbito puede considerarse la relación entre las estructuras y sus representaciones esquemáticas. Tradicionalmente, en la formación en cálculo de estructuras, estas se representan mediante diagramas simplificados para denotar y distinguir sus uniones (articulaciones, uniones rígidas o semirrígidas).

Sin embargo, en una docencia donde cada vez es más exigible un contacto entre lo teórico y lo real, la posibilidad de que el alumno pueda ver en que se concretan esas uniones en la práctica es realmente difícil, y pocos centros educativos pueden contar con dichos elementos.

Así, la posibilidad de que el alumno compruebe como el esquema de la unión se concreta en la práctica en una unión donde es necesario un recido de mortero de alta resistencia, una chapa metálica y una placa de neopreno, es reducida si no se recurre a los modelos BIM, donde es posible comprobar cómo debe ejecutarse, en la práctica real, esa unión que hasta ese momento el alumno sólo asocia con un símbolo en un papel.

La introducción de un modelo nD permite a los docentes crear proyectos en clase que permitan el uso de casos más realistas que simulan mejor las condiciones del proyecto en la realidad, ayudando a los estudiantes a ver, por ejemplo, cómo los diferentes métodos de gestión se integran unos con otros o aprender cómo optimizar los proyectos (Peterson et al., 2011⁹⁴; Ibrahim y Rahimian, 2010⁹⁵).

Un buen número de universidades norteamericanas están introduciendo los modelos 3D en sus temarios, especialmente en sus asignaturas relacionadas con la construcción y la gestión de proyectos. Como ejemplos podemos citar a las universidades de Milwaukee School of Engineering en un curso sobre diseño de edificios; University of Florida en un curso sobre la integración de la seguridad en la construcción; Purdue University en un curso sobre gestión de la construcción de instalaciones mecánicas, eléctricas y de tuberías; California State University, en un curso sobre simulación de la planificación de las obras –modelos 4D–; California Polytechnic State University, en un curso sobre coordinación de la construcción de instalaciones mecánicas, eléctricas y de tuberías; University of West Florida; Worcester Polytechnic Institute; University of Nebraska; Arizona State University; Colorado State University; Texas A&M University; Stanford University; Georgia Southern University, y así, un importante número de universidades, algunas de ellas de primer orden, que han incorporado, o lo están haciendo, el uso de modelos 3D/4D a sus currículos.

⁹³ Rueppel, U., Stuebbe, K.M., 2008. BIM-Based Indoor-Emergency-Navigation-System for Complex Buildings Tsinghua Science and Technology ISSN 1007-0214 58/67 pp362-367 Volume 13, Number S1, October 2008.

⁹⁴ Peterson, F., Hartmann, T., Fruchter, R., Fischer, M., 2011. Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned, Automation in Construction 20 (2011) 115–125.

⁹⁵ Ibrahim, R., Rahimian, F.P., 2010. Comparison of CAD and manual sketching tools for teaching architectural design, Automation in Construction 19 (2010) 978–987.

Sin embargo, no debe pensarse que el uso de estos modelos queda reducido únicamente a la formación en cuestiones de construcción. Cualquier elemento de ingeniería puede modelarse en forma de modelo 3D, pudiendo ser utilizado para mostrar a los estudiantes sus entrañas y su funcionamiento, de una forma mucho más precisa y exacta que un mero diagrama 2D o una simple fotografía.

Las imágenes siguientes muestran un modelo 3D del espesador de fangos de una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales), utilizado para la formación en la asignatura de Ingeniería del Medio Ambiente en la Universidad de La Rioja. Este modelo permite desplazarse virtualmente por cada uno de los elementos de la EDAR -en este caso, el espesador-, analizando cada uno de los elementos que forman parte de ella, de forma que el alumno puede conocer, en un entorno virtual, lo que sólo vería en forma de visita a la propia planta –visita que por su propia naturaleza sería única, mientras que el uso del modelo 3D puede ser tan usual como se desee-.

Existen otros beneficios como son los recorridos virtuales, la capacidad de rotación de los modelos, la posibilidad de modificar los modelos por parte del alumno, así como de analizarlos utilizando las propiedades asociadas a los objetos que forman el modelo y, finalmente, el acceso remoto a estos recursos.

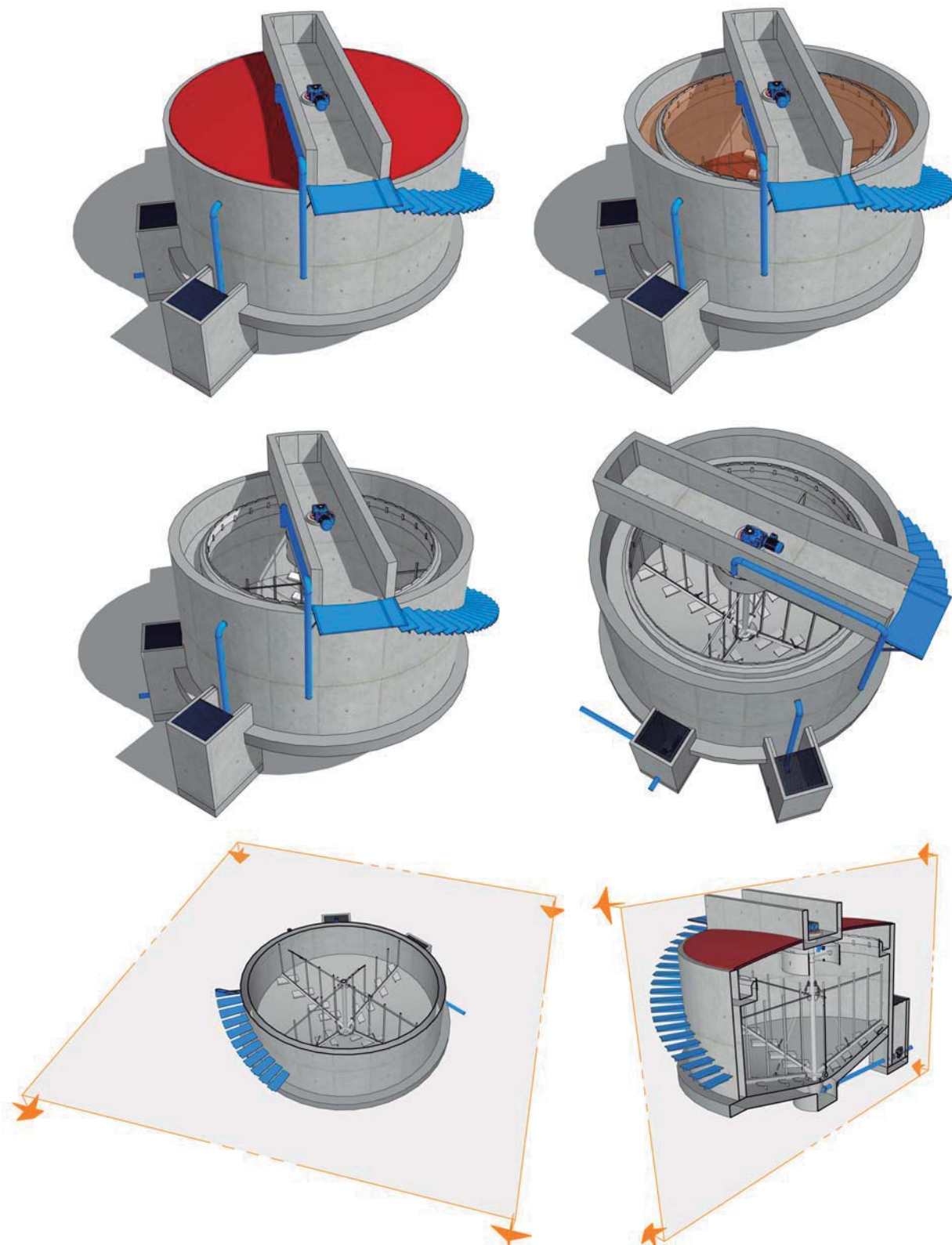


Fig. 2. 11- Modelo 3D del espesador de fangos de una EDAR, utilizando SketchUp Pro 8.0. De arriba abajo y de izquierda a derecha: vista general del espesador; vista del espesador retirada la cubierta donde se observan los fangos; retirando lo fangos pueden verse las palas de espesado. Girando el equipo pueden verse las palas con más detalles, y si eso fuera poco, pueden darse cortes, según la sección deseada, para visualizar los detalles interiores que el alumno desee ver. Fuente: elaboración propia.

Los modelos BIM (*Building Information Model*)

Los modelos de información de la edificación (BIM – *Building Information Modeling*) son actualmente un enfoque emergente en los procesos de diseño, análisis y documentación dentro de la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.

Uno de los primeros pasos hacia el uso de tecnologías 3D en la industria de la construcción se dio a finales de los años 70. En ese momento, la industria manufacturera ya estaba llevando a cabo el diseño, análisis y simulación 3D de sus productos. Sin embargo, en la industria de la construcción, las soluciones 3D se encontraban bloqueadas primero por el coste de la potencia de cálculo y más tarde por la exitosa adopción generalizada de CAD (*Eastman et al., 2011⁹⁶*).

Por su lado, la industria manufacturera invirtió más recursos en tecnología y las empresas adoptaron ampliamente el modelado paramétrico para el diseño, ingeniería y fabricación de productos, viendo incrementados de esta forma, los beneficios obtenidos de las capacidades de análisis integrado, la reducción de errores y el avance hacia la automatización de las fábricas (*Eastman et al., 2011⁹⁷*).

No fue hasta la década de los 90 cuando la industria de la construcción estableció las bases de los modelos de edificación orientados a objetos, aunque es cierto que algo antes, algunos sectores, como el del acero estructural, habían utilizado ya el modelado 3D paramétrico.

Se dice que Autodesk fue el primero en utilizar el término BIM para referirse al diseño 3D orientado a objetos, mientras que otros postulan que fue el profesor Charles M. Eastman, del *Georgia Tech Institute of Technology*, el primero en difundir el concepto de modelo de información de edificación, como un sinónimo de BIM, en inicios de los setenta en numerosos libros y artículos académicos. Sin embargo, parece haber un consenso generalizado acerca de que Jerry Laiserin fue quien lo popularizó como un término común para la representación digital de procesos de construcción, con el objetivo de intercambiar información en formato digital.

Básicamente, los modelos BIM consisten en uno o varios modelos virtuales de un edificio, que son construidos digitalmente. Estos modelos son una representación tridimensional y paramétrica de los componentes de la edificación, y deben ser entendidos como una preconstrucción virtual. Uno de los mayores beneficios de modelar en BIM es que facilita el entendimiento de la secuencia de construcción, mientras a su vez se van corrigiendo los problemas de diseño encontrados en los planos por una cuestión de lógica constructiva (*Shin et al., 2011⁹⁸*).

Eastman et al. (2011⁹⁹) definen BIM como una tecnología de modelado y el conjunto de procesos asociado que produce, comunica y analiza modelos de edificaciones.

Según estos autores, los modelos de edificaciones se caracterizan por:

- Los componentes de la edificación son representados por representaciones digitales (objetos) que están formados por gráficos y por atributos o reglas paramétricas que permiten manipularlos de una forma inteligente.
- Componentes que incluyen datos que describen cómo deben comportarse ante determinados tipos de análisis.

⁹⁶ Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., 2011. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2nd ed., NY: John Wiley and Sons.

⁹⁷ Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., 2011. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2nd ed., NY: John Wiley and Sons.

⁹⁸ Shin, H.M., Lee H.M., Oh, S.J., Chen, J.H., 2011. *Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Column Based on BIM*, The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction *Procedia Engineering* 14 (2011) 2160–2163

⁹⁹ Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., 2011. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2nd ed., NY: John Wiley and Sons.

- Datos no redundantes de forma que los cambios efectuados en un componente, se refleje en todas las vistas del edificio.
- Datos coordinados de forma que todas las vistas del edificio se representen de una forma coordinada.

En general, una de las grandes ventajas de las tecnologías BIM es la capacidad para crear un modelo que sea útil a través de toda la vida del proyecto, desde el diseño inicial hasta la entrega y uso de la edificación. Después de la entrega de la obra, el modelo BIM será usado por la propiedad y el equipo de mantenimiento para comprender mejor la operación del edificio y ser capaces de hacer adaptaciones, renovaciones e incluso alteraciones en la edificación más rápidamente y a menor coste que por medios tradicionales.

Pero es importante ver que los modelos BIM no son sólo una tecnología, sino un proceso. Al representar un edificio mediante objetos inteligentes que incluyen información detallada sobre sí mismo y sobre cómo deben relacionarse con otros objetos, los modelos BIM no sólo modifican cómo se dibujan o visualizan los edificios, sino que altera todos los procesos clave en el *workflow* de la gestión de un proyecto de construcción: cómo se adquieren los requisitos del cliente para el proyecto; cómo se diseñan y analizan las posibles alternativas en lo que a estructuras, energía, configuración espacial, coste, etc.; cómo los miembros del equipo colaboran en el diseño; cómo el edificio será construido por los subcontratistas; y cómo, después de la construcción, el edificio es operado y mantenido.

Los modelos BIM impactan sobre estas actividades introduciendo más inteligencia y con ella, una mayor eficiencia.

Básicamente, se puede decir que las ventajas del modelo BIM en la construcción son:

- Reducción del tiempo de Diseño y Construcción.
- Aumento de la complejidad de Diseño.
- Reducción del coste por uso de energía.
- Reducción del coste de Diseño y Construcción.
- Diseño y Construcción Sostenible.
- Mejora de Características constructivas.

Surge entonces la cuestión sobre lo que no es BIM. Podemos decir que no son BIM los siguientes tipos de modelos:

- **Modelos que contienen únicamente datos 3D.** Estos modelos son adecuados en actividades de visualización pero no proporcionan información a nivel de objeto.
- **Modelos que no admiten comportamientos.** Estos modelos proporcionan detalle a nivel de objetos pero no pueden ajustar su posición o proporciones ya que no están parametrizados. Esto ocasiona que cada cambio sea muy laborioso y no proporciona protección contra la creación de inconsistencias o inexactitudes.
- **Modelos que están compuestos por múltiples documentos 2D** que deben ser combinados para definir el edificio. Este tipo de modelos no permite asegurar que el modelo 3D resultante sea consistente.
- **Modelos que permiten cambios en las dimensiones en una vista pero que no actualizan automáticamente el resto de vistas.** Esto ocasiona errores en el modelo que son difíciles de detectar.

Capítulo 3

Materiales y métodos

“ Los videojuegos no tienen ninguna influencia sobre los niños. Quiero decir, si el *PacMan* hubiese influenciado a nuestra generación, estaríamos todos corriendo en salas oscuras, masticando píldoras mágicas y escuchando música electrónica repetitiva ”

- **Kristian Wilson (ejecutivo y portavoz de Nintendo, 1973)**

Elección de la herramienta de modelado

Como software de modelado existe una amplia variedad de productos comerciales, cada uno con sus puntos fuertes y sus carencias

- Graphisoft ArchiCAD
- Nemetschek Allplan
- Nemetschek Vectorworks
- Autodesk Revit / Revit LT
- Tekla Structures
- Bentley Structural Modeler V8i
- Rhino
- Trimble SketchUp

Realmente, las seis primeras herramientas informáticas de esta lista se corresponden con herramientas BIM, por lo que no son simplemente herramientas de modelado, lo que sí son los dos últimas de la lista.

De entre estas herramientas BIM destacan dos: Autodesk Revit y Nemetschek Allplan, y aunque parece que Revit tiene algunos puntos débiles –aunque eso depende de quien lo utilice y de su flujo de trabajo, ya que lo que para un usuario es un punto débil, para otro usuario puede no tener importancia o incluso, llegar a ser un punto fuerte–, lo cierto es que debido a la potencia de la propia empresa Autodesk, no es descartable que esta herramienta se convierta en un futuro en un estándar BIM como en su momento lo fue AutoCAD para el CAD 2D. De hecho ya, países como Reino Unido han establecido por ley que los proyectos de arquitectura deben ser editados en formato Revit.

Los dos últimos de la lista –Rhino y SketchUp–, no son herramientas BIM, sino simplemente modeladores 3D.

A la hora de elegir la herramienta para realizar este trabajo, no debe perderse de vista que lo que se pretende es mejorar la calidad de los proyectos más simples y habituales, mejorando la documentación gráfica y, a través de ella, la coordinación en obra. No se trata de elegir la herramienta de diseño óptima, sino la que mejor ayude a la coordinación.

En proyectos de gran envergadura o complejos ya es habitual la utilización de una herramienta BIM por las ventajas que ello conlleva, sin embargo, esto no es lo corriente en pequeños proyectos o más sencillos a los que se orienta este trabajo. Tal vez, algún día, incluso en estos proyectos sencillos y de pequeña envergadura llegue el uso del BIM, pero mientras tanto la propuesta que aquí se hace creemos que es realmente interesante.

De esta lista hemos seleccionado dos opciones completamente diferentes: por un lado, Autodesk Revit, como herramienta BIM, por ser, probablemente el más empleado y conocido en este campo, y tener detrás una importante empresa como es Autodesk, que muy probablemente logrará que su software se imponga como referencia en el mundo BIM. Por otro lado, un simple modelador 3D como es Trimble SketchUp, una herramienta muy simple pero de enorme difusión y de gran facilidad de uso.

El módulo de arquitectura de Revit es una herramienta muy potente que permite hacer un modelo paramétrico de toda la estructura de hormigón y cerramientos de manera muy rápida, dado que tiene una serie de librerías de elementos arquitectónicos que permiten insertar casi cualquier cosa en el modelo.

El modelado en Revit, está basado en la inserción de familias de elementos, que no son más que elementos con sus medidas parametrizadas que reproducen partes de la estructura, cerramientos, mobiliario, etc. Las familias a su vez se componen de “tipos”, que son modelos de elementos con unos parámetros determinados.

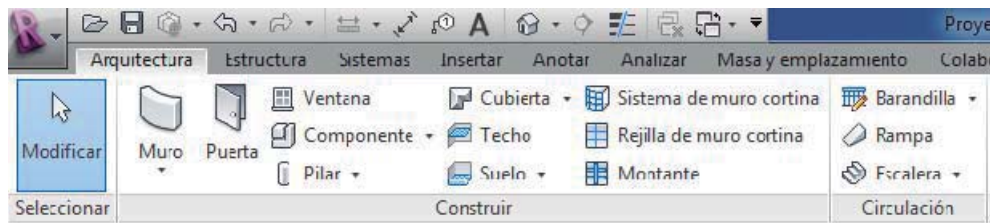


Fig. 3. 1- Barra de herramientas de Revit (arquitectura) mostrando los elementos insertables en el modelo. Fuente: elaboración propia

Por lo anterior, en realidad en Revit no se modela como se haría en otro tipo de programas de diseño, sino que se insertan elementos pertenecientes a familias (tipos), por lo cual, si el elemento que queremos insertar no existe en la librería, se debe crear como familia y parametrizarlo.

Cualquier modificación que se produzca en el modelo es actualizada inmediatamente en los planos, de manera que no es necesario rehacer los planos cada vez que se quiere hacer una modificación. Esto representa un ahorro de medios y esfuerzo muy grande en la fase de diseño de un proyecto. Puesto que el motor de Revit es AutoCAD, es muy fácil exportar los planos a este formato permitiendo ser visionados desde otros programas y visores de planos.

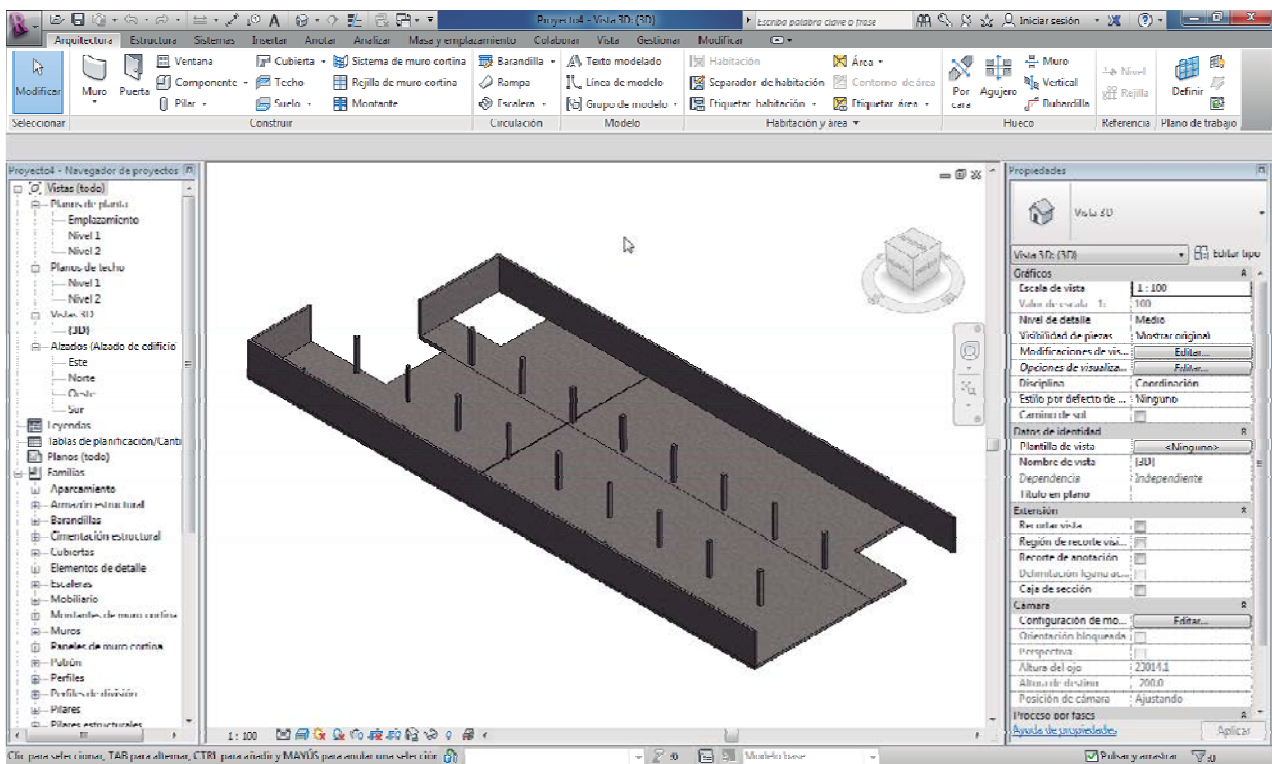


Fig. 3. 2- Sótano del edificio de la IV Fase del CCT de la Universidad de La Rioja, realizado en Revit. Fuente: elaboración propia

Como en otros programas de dibujo paramétrico, el modelo está articulado mediante un árbol del que cuelgan los elementos que componen el mismo. Este árbol incluye desde los diferentes niveles de la construcción hasta las vistas 3D de los planos. Por otro lado, cada vez que se selecciona un elemento se tiene acceso a todas sus propiedades mediante un menú contextual, que van desde la escala de representación y sus coordenadas espaciales hasta la fase del proyecto a la que pertenece.

El módulo de estructuras permite realizar modelos tanto realistas como analíticos de las estructuras, de manera que, aunque Autodesk Revit no es un programa de cálculo estructural, permite hacer aproximaciones en cuanto al dimensionado y cálculo de la

estructura. De hecho, es posible volcar el modelo de la estructura de Revit a Autodesk Robot y completar el cálculo y dimensionado de la misma. Esto, en España, no supone una especial ventaja dado que el programa de cálculo de estructuras reconocido a todos los niveles es CypeCAD, pero en otros países de Europa con legislaciones diferentes sí pueden aprovechar esta característica.

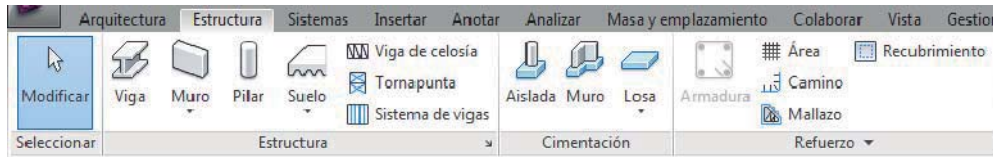


Fig. 3.3- Barra de herramientas de Revit (estructura). Fuente: elaboración propia



Fig. 3.4- Estructura de uno de los dos voladizos del edificio de la IV Fase del CCT de la Universidad de La Rioja, realizado en Revit. Fuente: elaboración propia

Por su parte, el módulo MEP de Revit, supone un punto y aparte en el modelado n-D, no sólo permitiendo hacer un modelo realista de las instalaciones, pudiendo corregir instantáneamente colisiones entre elementos de manera automática, sino además pudiendo simular su funcionamiento, detectando problemas en el mismo y obteniendo planos de estas instalaciones en diferentes formatos.

Otra aplicación muy recurrente de Autodesk Revit, sobre todo desde la entrada en vigor del RD 235/2013 sobre Certificación Energética de Edificios, es que puede calcular la eficiencia energética del modelo y, llegado el caso, puede ser exportado al programa Autodesk Ecotect. Este programa, aunque en España los programas de cálculo son otros como Calener o CE3, en otros países están reconocidos como herramientas válidas para este tipo de cálculos.

Tras esta breve descripción cabe preguntarse sobre qué ventajas aporta un programa tan sencillo como Trimble SketchUp sobre una herramienta tan potente como es Revit, si bien es de sobra sabido que SketchUp no es una herramienta de diseño paramétrico.

A la hora de seleccionar la herramienta de trabajo es importante tener en cuenta que debemos escoger la que mejor sirva para la comunicación entre los intervinientes del proyecto. Por eso se deben definir las características que se consideran más importantes para este tipo de software en el marco de los proyectos de entidad pequeña o media. Estas pueden ser:

- **Buenas características de visualización.** Los integrantes del proyecto deben ser capaces de visualizar cada uno de los pasos del proyecto mediante el modelo 3D, por lo que el nivel de su representación gráfica debe ser más fiel posible respecto a la realidad, no siendo válida una mera representación esquemática.
- **Curva de aprendizaje.** Es necesaria una curva de aprendizaje de fuerte pendiente, es decir, en poco tiempo debe ser posible avanzar mucho en el dominio de la herramienta.
- **Facilidad de uso.** Es importante que todo tipo de usuario interviniente en el proyecto y en la obra pueda realizar aportaciones al modelo, incluso aquellos que no poseyeran formación técnica de medio o alto nivel, por lo que no sería aceptable una herramienta de compleja utilización, que requiriera de personal especializado y especialmente formado para su manejo.
- **Agilidad de modelado.** Igual de importante que su facilidad de uso, es su agilidad. Si su uso se prevé en tareas de coordinación, debe asumirse que cualquier cambio o modificación que surja en una reunión de coordinación, debe poder ser visualizado casi inmediatamente.
- **Entorno abierto.** Resulta interesante el poder desarrollar aplicaciones propias sobre la herramienta de forma que se pueda optimizar el funcionamiento de la herramienta a las necesidades concretas de los proyectos en curso. Igualmente es interesante el disponer de un entorno abierto para poder aprovechar los “plug-ins” desarrollados por terceros y que pudieran resultar de interés.
- **Capacidad de comunicación con otras aplicaciones.**
- **Necesidad de recursos informáticos.** Debe ser capaz de ejecutarse en equipos portátiles, ya que será lo que habitualmente puede encontrarse en las salas de reuniones o en las casetas de obra.
- **Precio de la licencia.** Dado que, a efectos de coordinación, será necesario que diversas empresas y organizaciones posean el software correspondiente, se hace necesario que la licencia sea lo más barata posible, e incluso, si ello fuera posible, gratuita.

Características de la visualización.

Se entiende por buenas características de visualización aquellas que proporcionan una visión más real de los componentes representados, es decir, que representen más fielmente los componentes respecto a la realidad.

Es importante que las representaciones sean lo más reales posibles, ya que del nivel de detalle que se obtenga en un modelo pueden depender otras variables, de extrema importancia, como la posición correcta de unos elementos respecto a otros.

En muchos casos, se podría pensar que esta característica depende más del delineante o del proyectista que realiza el modelo que de la herramienta, pero es sabido que los programas de dibujo paramétrico no siempre son todo lo exactos en su representación gráfica que sería deseable, sobre todo en el capítulo de instalaciones.

La razón de usar un programa como SketchUp en detrimento de un software BIM como Autodesk Revit es que con las características del primero se es perfectamente capaz de representar casi cualquier cosa de manera rápida y con una calidad de visualización muy alta.

Las características de visualización de SketchUp están fuera de toda duda, utilizándose en numerosas aplicaciones que requieren buena visualización como es el caso del diseño de escenarios y la dirección de arte en películas, y si fuera necesario una mayor calidad, podrían realizarse renderizados fotorrealistas con aplicaciones como Kerkytea, V-Ray, LumenRT, etc.

Puede visitarse la página de Ronen Bekerman (<http://www.ronenbekerman.com/>), un arquitecto especializado en visualización para comprobar los trabajos que utilizan como base SketchUp y el resultado obtenido



Fig. 3. 5- La calidad de visualización de SketchUp es indudable. Fuente: elaboración propia

Revit también es capaz de realizar modelos muy reales, pero es necesario acudir a su herramienta de renderizado ya que su calidad de visualización, aún seleccionando la visualización más realista de su interface, no es comparable a la de SketchUp, si bien su renderización es de una calidad bastante alta, aunque las imágenes renderizadas no son operativas como modelo de trabajo. Sin embargo, el procedimiento habitual entre los usuarios de Revit a la hora de hacer una representación gráfica de buena calidad es exportar el modelo de Revit a SketchUp y, desde éste, acabar el modelo dando texturas y detalles o bien, usar un trazador de rayos como el V-Ray para crear una infografía de alta calidad.

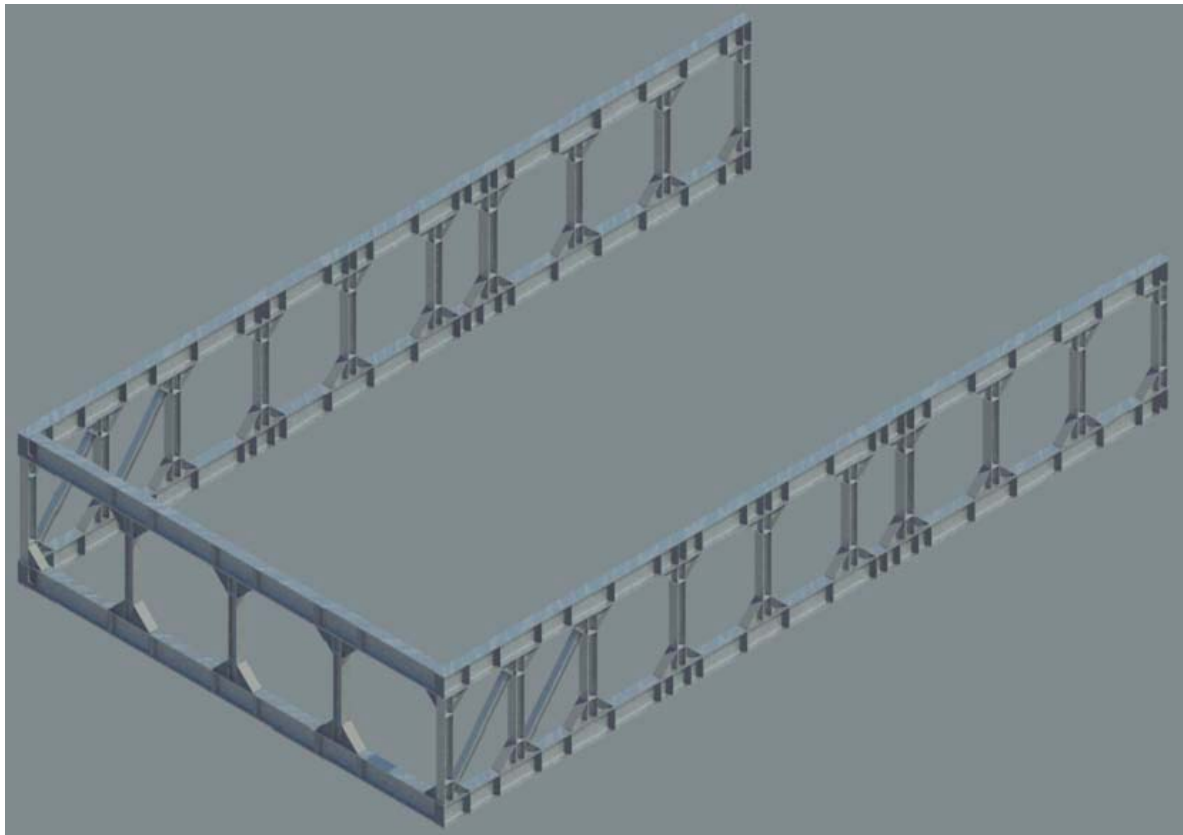


Fig. 3. 6- Estructura de uno de los dos voladizos del edificio de la IV Fase del CCT de la Universidad de La Rioja, realizado en Revit, antes y después del renderizado.
Fuente: elaboración propia

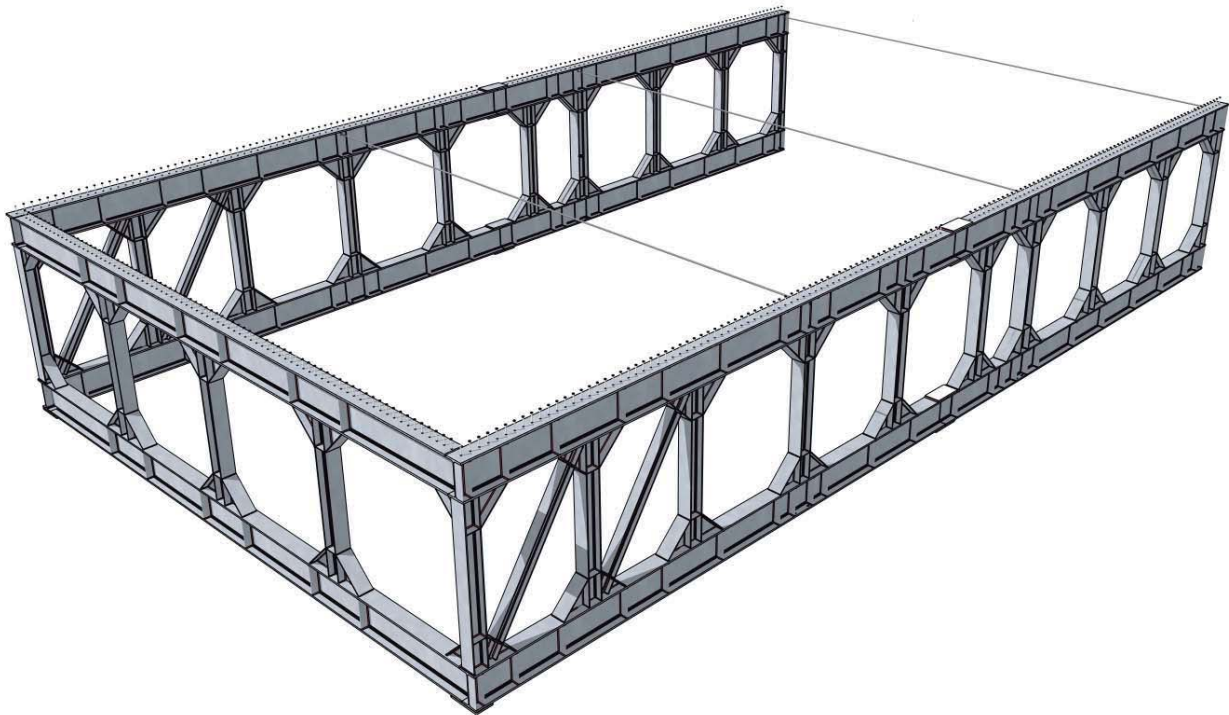


Fig. 3.7- Estructura de uno de los dos voladizos del edificio de la IV Fase del CCT de la Universidad de La Rioja, realizado en SketchUp. Fuente: elaboración propia

Curva de aprendizaje

Convencionalmente se dice que si se pudiera dibujar una gráfica en la que se pudiera representar el grado de aprendizaje de estos dos programas, el resultado sería como el mostrado en la figura adjunta.

En la curva representativa de SketchUp, se puede apreciar que el aprendizaje sigue una trayectoria casi rectilínea siempre creciente hasta llegar a un punto en el que este aprendizaje parece estancarse, si bien puede ascender levemente. Esto es debido a que aunque, este programa no tiene demasiadas funciones, el ir conociéndolas y trabajando con ellas aumenta el aprendizaje puesto que los conocimientos que se van adquiriendo se asientan sobre los anteriores.

También, al ser un software sencillo puede llegar a conocerse perfectamente en unas pocas semanas, por lo que llegado a este punto, los avances son más pequeños, lo cual representa la parte plana de la curva.

Sin embargo, en el caso de Revit, sus herramientas son al principio muy intuitivas y es fácil comenzar a trabajar sin demasiada formación y sin grandes pretensiones, por ello la primera parte de la curva empieza más alta que en el caso de SketchUp, aunque ésta empieza a descender rápidamente hacia una zona más baja y plana.

Esto representa el momento en que el usuario empieza a descubrir la complejidad interna del programa y donde empieza a aprender a hacer de manera real, con parámetros y propiedades reales, sus primeros modelos.

La última parte de la curva representa el aumento de conocimientos apoyados por los adquiridos anteriormente y, en este caso, la curva sube casi de manera asintótica, ya que es difícil llegar a un dominio total de la herramienta dada su complejidad.

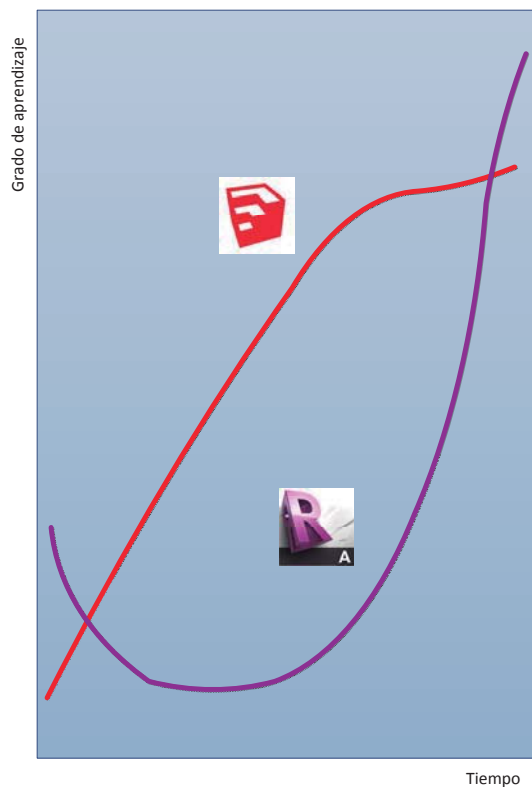


Fig. 3.8- Curva de aprendizaje SketchUp vs Revit. Fuente: elaboración propia

Facilidad de uso

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

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

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

Un ejemplo de ello sería el director de arte y diseñador de escenarios Alan Hook – *Iron Man 3*, *Flight of the Phoenix*, *Syriana*, entre otras-. Interrogado Alan Hook por la característica que más le atrae de SketchUp, respondió "fácil de usar"¹⁰⁰.

¹⁰⁰ <http://www.sketchupartists.org/spotlight/artists/alan-hook-film-and-television-design-with-google-sketchup/>. Consultada el 23-08-2014.

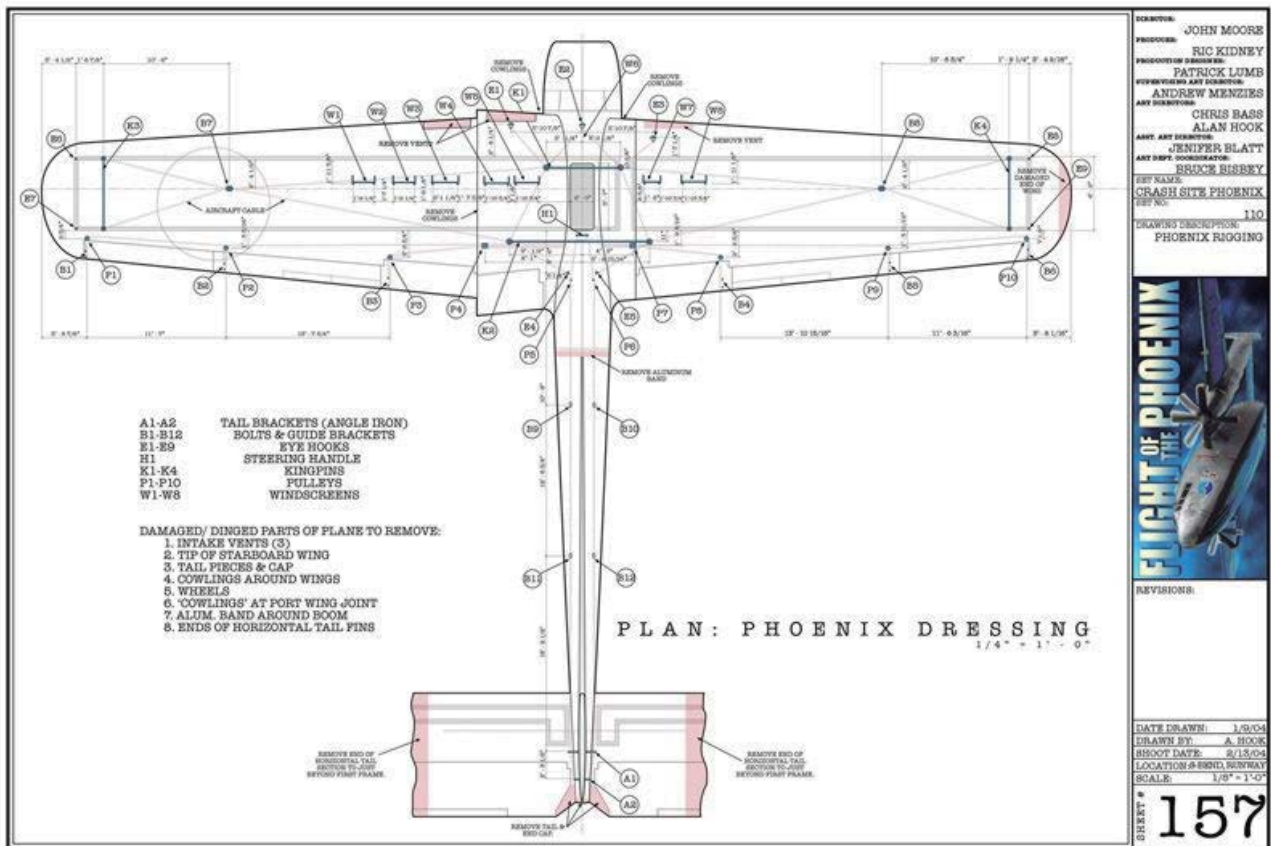


Fig. 3. 9- Diseño con SketchUp (Layout) del avión de la película “El vuelo del Fénix” (2004). Fuente: <http://www.alanhook.com>



Fig. 3. 10- Imagen de la película “El vuelo del Fénix” (2004), un “remake” de la película del mismo título de 1965. Fuente: <http://www.sketchupartists.org/spotlight/artists/alan-hook-film-and-television-design-with-google-sketchup/>

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

Como el mismo cuenta en una entrevista¹⁰¹, empezó a utilizar SketchUp cuando vio que otros diseñadores de escenarios lo utilizaban, así que abandonó sus dibujos realizados a mano –como los que realizó para la película "El curioso caso de Benjamin Button"–, así como su viejas maquetas de poliestireno expandido.

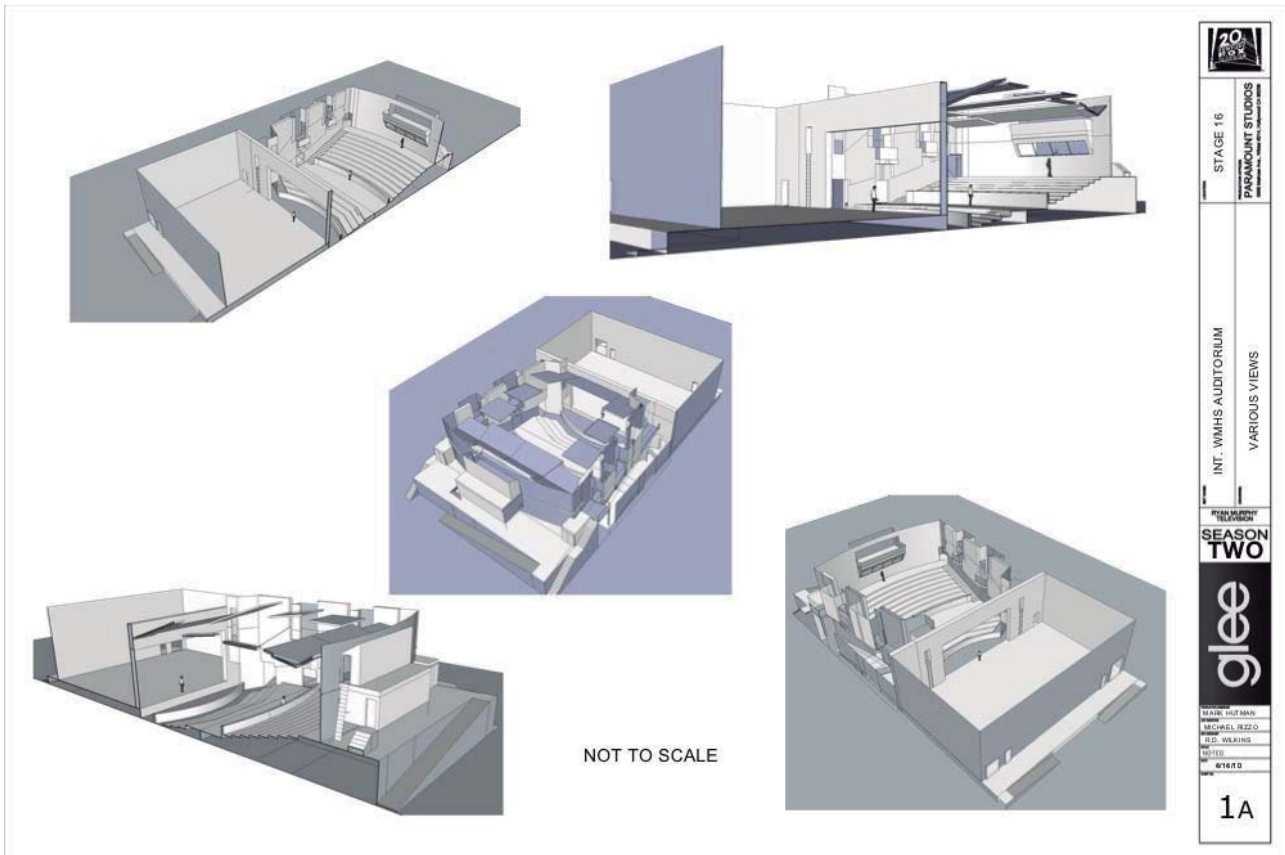


Fig. 3.11- Imágenes 3D del diseño del escenario del teatro para la serie GLEE. Fuente: <http://sketchupdate.blogspot.com.es/2011/03/sketchup-pro-case-study-randy-wilkins.html>

Otro diseñador de escenarios que usa extensivamente SketchUp en su trabajo es Andy Walmsley, ganador de un premio Emmy por su trabajo de diseño en "American Idol", y diseñador de los escenarios de "America's Got Talent".

¹⁰¹ <http://sketchupdate.blogspot.com.es/2011/03/sketchup-pro-case-study-randy-wilkins.html>



Fig. 3. 12- Escenario de "American Idol" en SketchUp. Fuente: www.andywalmesley.com.

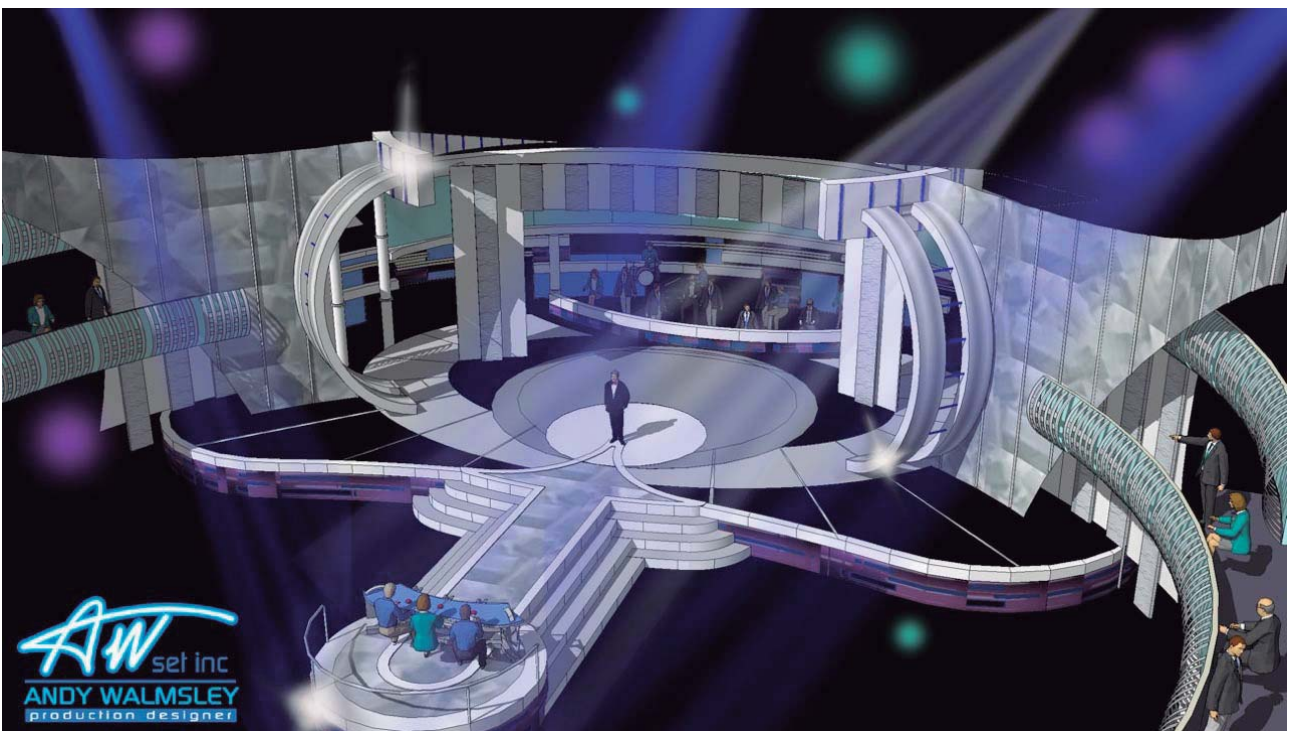


Fig. 3. 13- Escenario de "America's Got Talent" en SketchUp. Fuente: www.andywalmesley.com.

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

Como puede apreciarse, es una herramienta muy apreciada por aquellos profesionales sin formación técnica, o con formación técnica fuera del área de conocimiento de modelado 3D, lo que lo hace muy interesante para la aplicación de coordinación, donde diferentes profesionales, deberían poder desarrollar sus ideas y mostrárselas al resto del equipo mediante esta herramienta

Por el contrario Revit es un programa muy potente como se ha podido ver anteriormente, pero muy complejo y poco flexible, al igual que todos los programas de estas características. Esto hace que no sea posible hacer determinadas representaciones a no ser que se tengan unos conocimientos muy altos o se haga un intercambio de formatos entre distintos programas.

Agilidad de modelado

Los resultados y decisiones que resultan de una reunión de coordinación deben poder ser mostrados lo más rápidamente posible, de forma que puedan ser evaluados y, en su caso, aprobados con la mayor celeridad. Por ello, no parece sensato que sean necesarios varios días para incorporar modificaciones estas modificaciones al modelo, siendo incluso interesante que pudieran ser modelados estos cambios en la propia reunión de coordinación.

La agilidad de SketchUp se basa por un lado, en la facilidad de uso, pero por otro, en la rapidez con que se pueden modelar, al menos las ideas a nivel de diseño conceptual, al utilizar las librerías 3D de que dispone.

Su galería 3D, aunque basada en la red y no forma parte del propio programa, es una galería de modelos alimentada por todos los usuarios donde es posible obtener modelos, con más o menos exactitud, que se pueden añadir a los diseños. Además, hay ciertos fabricantes que publicitan sus productos aportando un catálogo de modelos 3D los cuales suelen tener un alto nivel de detalle.

Los BOMs (*Building Object Models*) o librerías de objetos, son representaciones geométricas en 2D o 3D de productos físicos, tales como puertas, ventanas, equipamiento, mobiliario, o detalles constructivos tales como paredes, techos, cubiertas, suelos, etc., representados con varios niveles de detalle.

Para las empresas constructoras especializadas en un determinado tipo de edificación, no sólo se pueden considerar como BOMs los productos físicos, sino también modelos paramétricos de los espacios, de los que se posee el conocimiento de cómo deben ser. Así, por ejemplo, un aula en una universidad no puede ser de cualquier forma. Deberá cumplir unas condiciones de las que se sabe son las que mejor se adaptan a su uso como tal aula, por ejemplo, la luz debe entrar por el lado izquierdo del alumno sentado ya que la mayor parte de los alumnos son diestros, una posible pantalla no debe tapar e impedir el uso de la clásica pizarra, o que la entrada al aula no puede estar de forma que el alumno que llega tarde pase por delante del profesor interrumpiendo la clase.

Gracias a esta agilidad de modelado, no debiera sorprender su aplicación en la investigación de crímenes. Así, la agencia norteamericana, dependiente de la US.Navy, la NCIS (*Naval Criminal Investigative Service*), conocida por la serie de televisión del mismo nombre, utiliza este software para representar los escenarios de los crímenes con gran detalle, llegando a darse el caso de que la agente especial Elissa St. Clair, asignada a la NCIS Office of Forensic Support, ha impartido un curso, titulado "*3D Crime Scene Models with SketchUp 8*" sobre el uso de esta herramienta para la investigación criminal.

En (St. Clair et al., 2012¹⁰²), un amplio artículo escrito junto con A. Mahoney, y el Detective Albert Schade –de la oficina del Forense del condado de Berks-, describe el procedimiento a seguir.

¹⁰² St. Clair, E., Maloney, A., Schade, A., 2012. An Introduction to Building 3D Crime Scene Models Using SketchUp. *J Assoc Crime Scene Reconstr.* 2012:18 (4); 29-47.

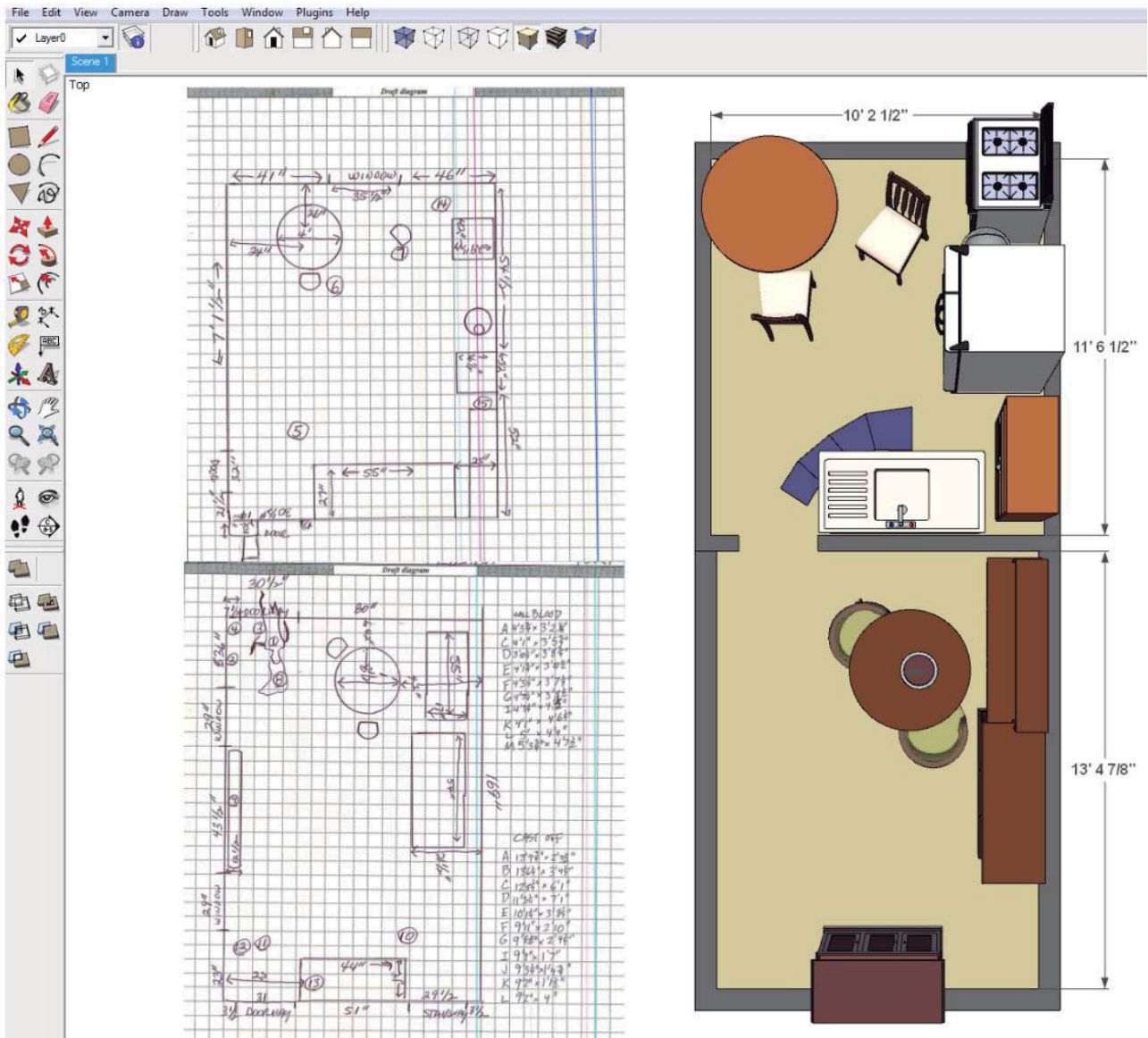


Fig. 3. 14- La reconstrucción del crimen comienza con el escaneado de los esquemas dibujados en papel y su importación en SketchUp. El ejemplo se corresponde con un homicidio real ocurrido en Reading, Pennsylvania. Fuente: (St. Claire et al., 2012)



Fig. 3. 15- Fotografía de la cocina de la escena del crimen de la figura anterior, y su versión en SketchUp. Fuente: (St. Claire et al., 2012)

De nuevo su facilidad del uso y rapidez de modelado, convierten a SketchUp en la herramienta ideal para esta trabajo.

En propias palabras de los autores del artículo antes citado, “El coste, facilidad de uso y disponibilidad de miles de modelos en la base de datos de SketchUp, hacen de este una gran opción para los investigadores que necesitan reproducir en 3D la escena del crimen”.

Entorno abierto

Aunque ambos se pueden considerar entornos abiertos, ya que en ambos casos es posible el desarrollo de extensiones, no es menos cierto que la facilidad de programación en lenguaje Ruby, hace esta tarea mucho más asequible en el caso de SketchUp.

Por otro lado, la enorme cantidad de “plug-ins” desarrollados por aficionados, la mayor parte de ellos gratuitos, principalmente enfocados a mejorar y simplificar el modelado, hacen muy interesante esta opción.

Capacidad de comunicación con otras aplicaciones

La representación gráfica debe ser lo más exacta y precisa visualmente posible, es decir, que el gráfico que se está mostrando y que sirve de comunicación esté lo mejor representado posible. Precisamente las herramientas BIM no siempre dan la mejor representación de un modelo, dado que en realidad tienen otro tipo de características más importantes sobre todo a nivel de cálculo. De hecho, aprovechando las opciones de Importar/Exportar formatos de estos programas, lo más usado para fines comerciales es la exportación de modelos desde Revit a SketchUp para, a partir de este último, acabar las partes más complejas o, en su defecto, obtener una infografía con un trazador de rayos.

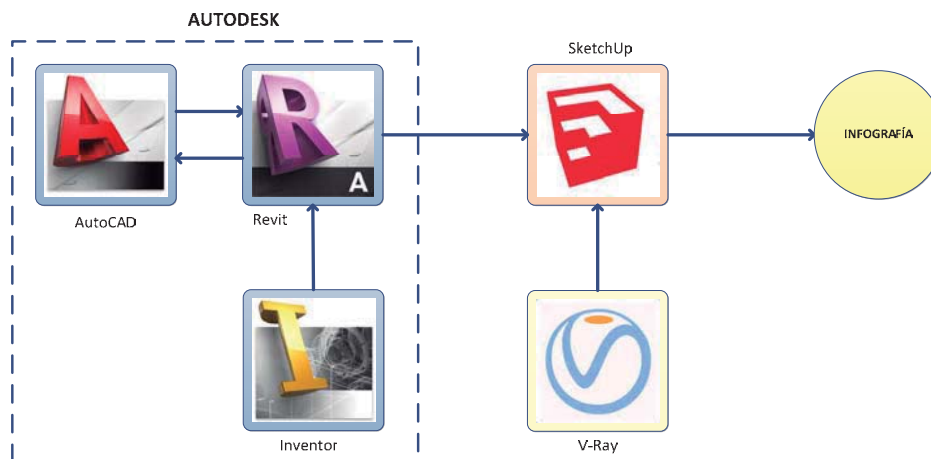


Fig. 3. 16- Diagrama de flujo de exportación de formatos entre diferentes aplicaciones. Fuente: elaboración propia.

Por ello, ya que SketchUp tiene unas características de visualización superiores a Revit, parece la opción más deseable.

SketchUp puede importar y exportar ficheros de otros programas de modelado como Revit, AutoCAD e Inventor. Esto hace que un modelo muy complejo a realizar en SketchUp, pero que en otros programas puede ser más fácil de modelar, se podría hacer con el programa más adecuado e importarlo a SketchUp como un grupo. De hecho, una práctica muy habitual en los estudios de arquitectura que utilizan Revit como herramienta BIM, es coger el modelo hecho en Revit y exportarlo a SketchUP para, mediante la interacción de V-Ray, hacer una infografía de alta calidad.

Necesidad de recursos informáticos

A nivel de hardware, SketchUp no necesita un gran procesador, pero sí una buena tarjeta gráfica y una buena RAM. En efecto, este programa por su arquitectura interna, no es capaz de utilizar más que un procesador o un solo núcleo, por lo que no funcionará mejor por instalarlo en un equipo con procesador de cuádruple núcleo, pero sí se notará un mejor funcionamiento si tenemos un equipo con una buena cantidad de RAM y una tarjeta gráfica suficientemente potente, sin llegar a extremos.

Coste de la licencia

Una importante ventaja que tiene SketchUp sobre Revit es el coste de la licencia de uso, que en el caso del Software de Autodesk es substancialmente más alto. Aunque SketchUp es un programa gratuito, existe una versión de pago que tiene algunas opciones extra, como el trabajo con componentes dinámicos, el módulo Layout y la característica de poder insertar gráficos exportados en formato dwg. Aun así, esta licencia tiene un coste muy por debajo de Revit, siendo ésta muy asequible para cualquier entidad.

Así, por ejemplo, no es posible adquirir Revit de forma independiente, ya que debe ser adquirido como parte constituyente de la una de las dos ediciones de Building Design Suite que comercializa Autodesk. La edición Premium tiene un coste (agosto de 2014) de \$6.825, mientras que la edición Ultimate tiene un coste de \$12.075.

Por el contrario, la versión profesional de SketchUp tiene un coste (agosto de 2014) de \$590.

Por otro lado, no sólo se debe tener en cuenta el coste de la licencia de un programa sino que además es necesario tener en cuenta el coste de implantación en una organización, lo cual depende en gran medida de la facilidad de manejo y aprendizaje de la herramienta. Por ello, un programa muy complejo y rígido necesitará más horas de formación para los técnicos que deban manejarlo que en el caso de un programa más sencillo y ágil, como es el caso de los dos paquetes que se comparan.

Trimble SketchUp

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

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

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

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

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

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

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

Existen dos versiones de SketchUp: una versión gratuita denominada, disponible para para uso personal y privado, hasta ahora simplemente SketchUp, pero que a raíz de su compra por Trimble pasó a denominar SketchUp Make. La versión comercial del software - SketchUp Pro - proporciona una serie de funciones avanzadas adicionales para el uso profesional - importación de fichero DXF-DWG, componentes dinámicos, LayOut, etc.-

Ambas pueden descargarse desde <http://sketchup.google.com/download/>.

Conceptos básicos

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

Lo segundo que se debe saber al modelar con SketchUp es qué no es.

No es un programa de dibujo vectorial. SketchUp sólo trabaja con poliedros y líneas poligonales, cuya precisión se puede definir para cualquier elemento en cualquier momento, pero aunque lo que se representa en pantalla parezca una circunferencia, es un polígono y si se acerca el punto de vista por medio de un zoom, se verá una línea poligonal.

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

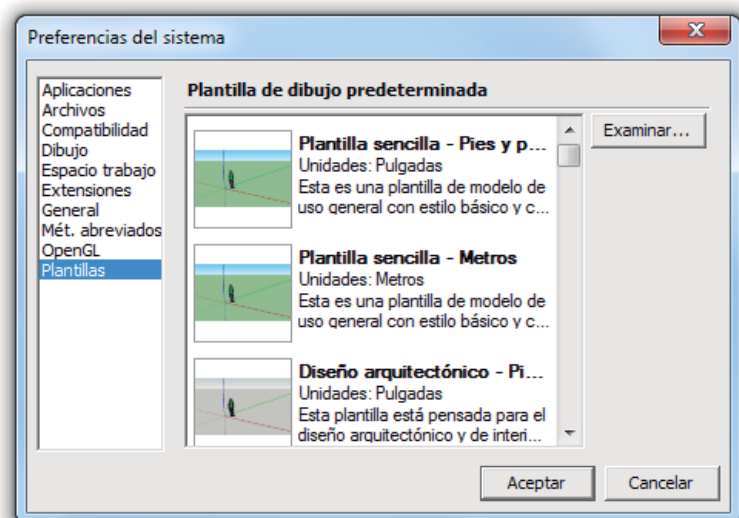
Evidentemente, no es un software BIM, ni es un CAD 3D ni un programa de modelado en sólido, ya que no trabaja con volúmenes sólidos propiamente dichos. Tampoco es un programa de diseño paramétrico, aunque en la versión profesional sí tenemos la opción de trabajar con algunos elementos paramétricos. De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

Precisamente es debido a esto que algunos arquitectos en Estados Unidos, muy habituados a trabajar en proyectos de este tipo debido a la cantidad de casas unifamiliares que se construyen por las características de la industria de la construcción del país, están utilizándolo como herramienta de diseño 3D en detrimento de otros paquetes de software CAD o de modelado en sólido de prestigiosos fabricantes y con licencias de pago.¹⁰³

Plantillas y ejes

Cuando se inicia SketchUp, el usuario puede escoger entre una serie de plantillas de dibujo. Las plantillas no cambian la forma en que SketchUp modela, simplemente son una forma de establecer unas unidades y un aspecto igual para todos los modelos en función del “sector” al que vaya destinado el modelo (dibujo arquitectónico, modelo de Google Earth, ingeniería, diseño de productos, etc.).

Aunque se definan en el momento en que una instalación de SketchUp se inicia por primera vez, es posible modificar la plantilla de la aplicación, mediante el menú “Ventana->Preferencias del sistema”, tal como se ve en la figura adjunta.



Cuando el usuario comienza un nuevo proyecto el programa le presenta un sistema de ejes de referencia, al que se referirán las medidas. Cada uno de estos ejes se define mediante un color (rojo, verde y azul), de forma que sea fácilmente identificable.

¹⁰³ Nick Sonder <http://www.nicksonder.com/> es un arquitecto norteamericano que, cansado de utilizar software de diseño de pago que no satisfacían sus necesidades empezó a utilizar Google SketchUp para sus diseños. Sus vídeos explicando su metodología de trabajo pueden consultarse en <http://sketchucation.com>, así como en los vídeos de youtube sobre el SketchUp BaseCamp en los que ha dado conferencias sobre su uso.

La línea continua indica el sentido positivo del eje, la línea discontinua indica el sentido negativo del eje.

Estos ejes actúan como orientación y se utilizan para indicar la dirección, la rotación, para alinear objetos, y para tomar medidas y distancias.

Los ejes se pueden manipular (mover, girar, ocultar) mediante su menú contextual correspondiente, que se activa al hacer click con el botón derecho del ratón encima de alguno de los ejes.

Se pueden mostrar u ocultar los ejes en el menú "Ver". También se pueden ocultar en su menú contextual correspondiente (cuando los ejes de dibujo están visibles).

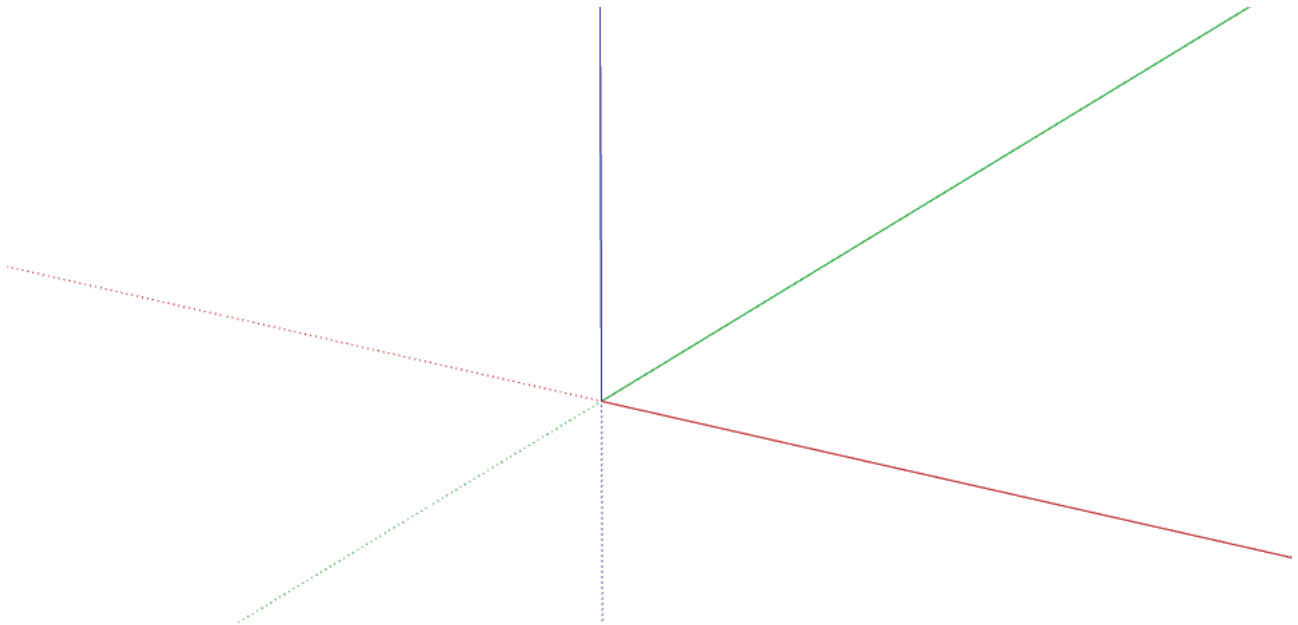


Fig. 3. 17- Sistema de ejes de referencia de SketchUp. Fuente: elaboración propia.

El modelo y las vistas

Una de las ventajas de un modelo 3D es su capacidad para ver la escena desde diferentes puntos de vista, algo imposible, por su propia naturaleza, en un modelo 2D.

SketchUp proporciona seis vistas estándar que son útiles para obtener las vistas de alzado, planta y perfil destinadas a elaborar documentación técnica.



Fig. 3. 18- Barra de herramientas de Vistas. Fuente: elaboración propia.

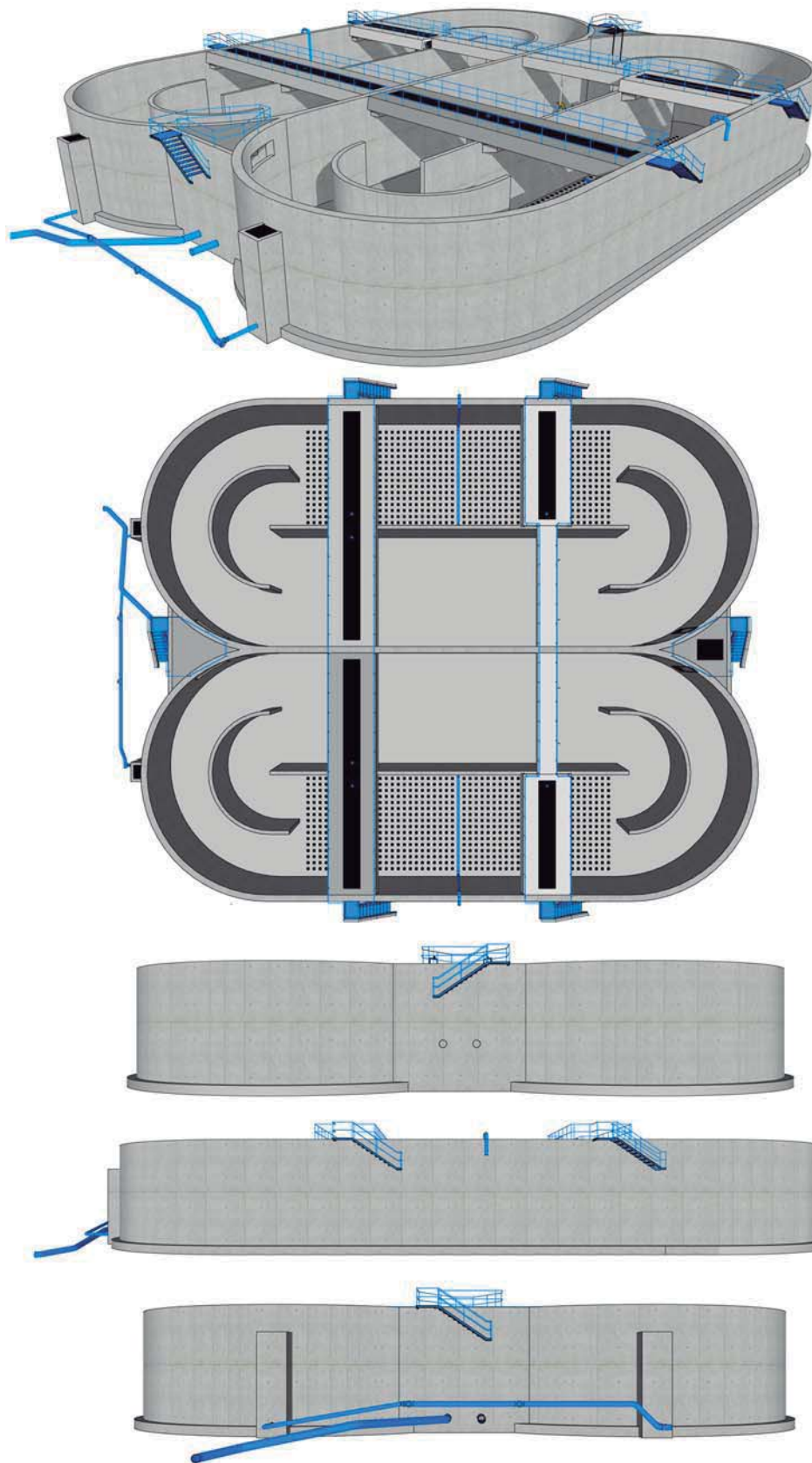


Fig. 3. 19- Planta, alzados, perfiles y vista en perspectiva de un modelo. Fuente: elaboración propia.

Otro aspecto importante a la visualización de la escena es la elección de la proyección de la cámara. SketchUp dispone de tres diferentes proyecciones:

- Proyección paralela. Sin perspectiva. Útil a la hora de visualizar un modelo para realizar, a partir de él, un plano 2D.
- Perspectiva. Es el ajuste por defecto
- Perspectiva de dos puntos. Utiliza dos puntos de fuga en lugar de uno.

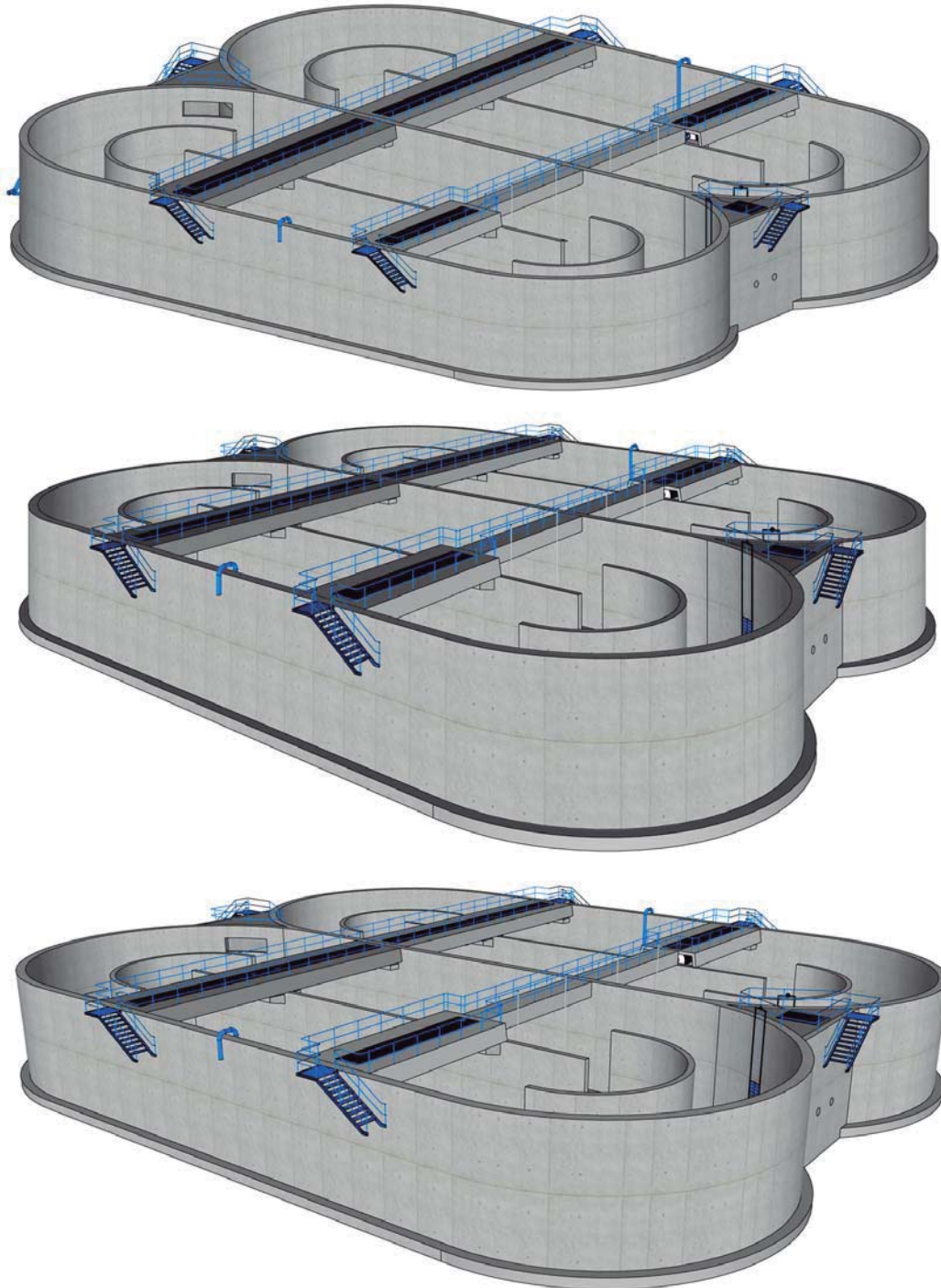


Fig. 3. 20- De arriba abajo: proyección paralela, perspectiva de dos puntos y perspectiva. Fuente: elaboración propia.

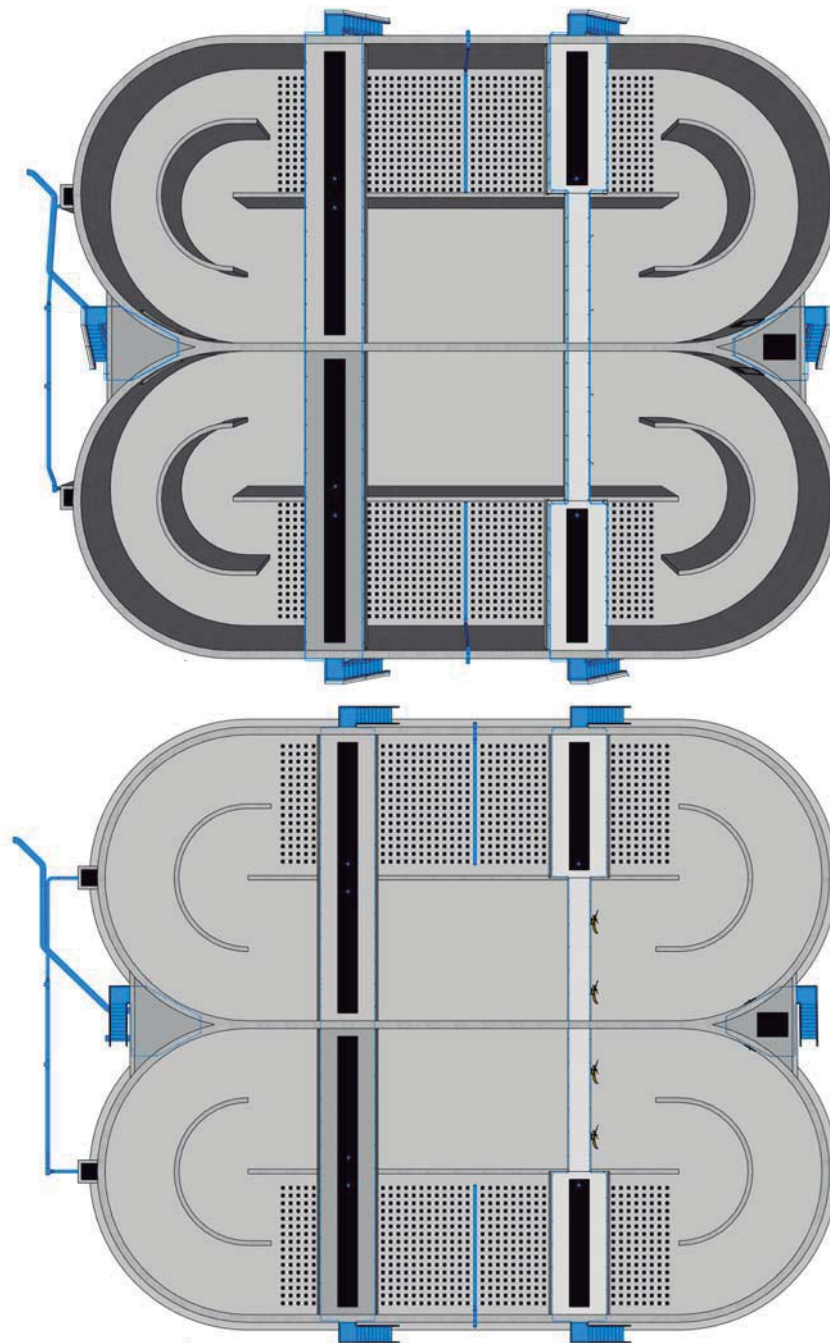


Fig. 3.21- Diferentes tipos de vista de cámara para visualizar el modelo en planta. Arriba "perspectiva". Abajo "Proyección paralela". Fuente: elaboración propia.

Las inferencias

Un aspecto fundamental de SketchUp, y que facilita enormemente el trabajo, son las llamadas inferencias.

SketchUp incorpora un motor de inferencias que ayuda a dibujar los modelos con gran precisión y gran facilidad. El motor de inferencias sitúa o infiere puntos a partir de otros puntos del modelo, además de ofrecer indicaciones visuales mientras se trabaja.

Se pueden reconocer tres tipos principales de inferencia: de puntos, de líneas y de planos. El programa combina a menudo varias inferencias para formar una inferencia compleja.

Inferencias de puntos

Se basan en un punto concreto del cursor en el modelo.

- Punto final (inferencia verde): identifica el extremo de una entidad de línea o una entidad de arco.
- Punto medio (inferencia cian): indica el punto medio de una línea o arista.
- Intersección (inferencia negra): indica el punto exacto de intersección de una línea con otra o con una cara.
- En la cara (inferencia azul): identifica un punto situado sobre una entidad de cara.
- En la arista (inferencia roja): identifica un punto situado en una arista.
- Equidistante en la arista: señala un punto equidistante cuando una línea magenta aparece entre dos aristas conectadas.
- Semicircunferencia: aparece cuando se dibuja un arco para indicar el punto en el que se forma la semicircunferencia exacta.

Inferencias de líneas

Las inferencias de líneas se ajustan siguiendo líneas o direcciones en el espacio.

- En el eje: indica la alineación con uno de los ejes de dibujo. La línea continua se dibuja en el color asociado al eje correspondiente (rojo, verde o azul).
- Desde el punto: indica una alineación desde un punto siguiendo las direcciones de los ejes de dibujo. La línea de puntos se dibuja en el color del eje correspondiente (rojo, verde o azul).
- Perpendicular (línea magenta): indica una alineación perpendicular a un eje.
- Paralela (línea magenta): indica una alineación en paralelo a una arista.

Inferencias de planos

Una inferencia de plano se ajusta a un plano en el espacio.

- Planos de dibujo: SketchUp se ajusta a los planos definidos por los ejes de dibujo y por la vista seleccionada, cuando no puede ajustarse a la geometría del área de dibujo. Por ejemplo, SketchUp dibujará sobre el plano del suelo si éste es el punto de vista.
- En la cara: inferencia que identifica a un punto en una cara. Inicialmente es una inferencia de puntos pero también puede emplearse como una alineación de plano utilizando el bloqueo de inferencias, que se describe más adelante.

Forzar una inferencia

A veces la inferencia que se busca puede no surgir inmediatamente o puede que SketchUp elija alineaciones con una geometría incorrecta. En casos así, se puede forzar una alineación concreta deteniendo el cursor unos segundos sobre el elemento a partir del que se desee que SketchUp genere la inferencia.

Bloqueo de inferencias

En algunas ocasiones, la geometría puede interferir con la posibilidad de inferir puntos a partir de otros puntos, dificultando así la precisión del dibujo. Para evitar esto, se puede utilizar el bloqueo de inferencias, que indica a SketchUp que no se aparte de la dirección desde la que se está creando la inferencia. Para activar el bloqueo de inferencias, mantén pulsada la tecla Mayúsculas

cuando SketchUp cree la inferencia de la alineación deseada (la línea de inferencia aparecerá en negrita). La alineación permanecerá bloqueada, incluso si mueve el ratón o selecciona un punto de inferencia secundario.

Las escenas

SketchUp permite crear, en el mismo documento, un conjunto de vistas del modelo denominadas “escenas”. Cada una de estas “escenas” puede entenderse como una especie de fotografía del modelo, visto desde un determinado punto de vista, pero de forma que al pasar de una escena a otra, SketchUp realiza automáticamente una animación entre ellas con un suave movimiento, siendo esta característica muy útil para la realización de presentaciones, de forma que el presentador no necesite memorizar los puntos de vista que desea mostrar, ya que cada uno de ellos está “memorizado” en una escena.

Cada escena puede almacenar, además del nombre de la escena y una descripción, las siguientes características:

- Posición de la cámara.
- Geometría oculta
- Capas visibles
- Planos de sección activos.
- Estilo y niebla.
- Ajustes de sombras.
- Posición de los ejes.

Para gestionar estas escenas debe utilizarse el gestor de escenas.

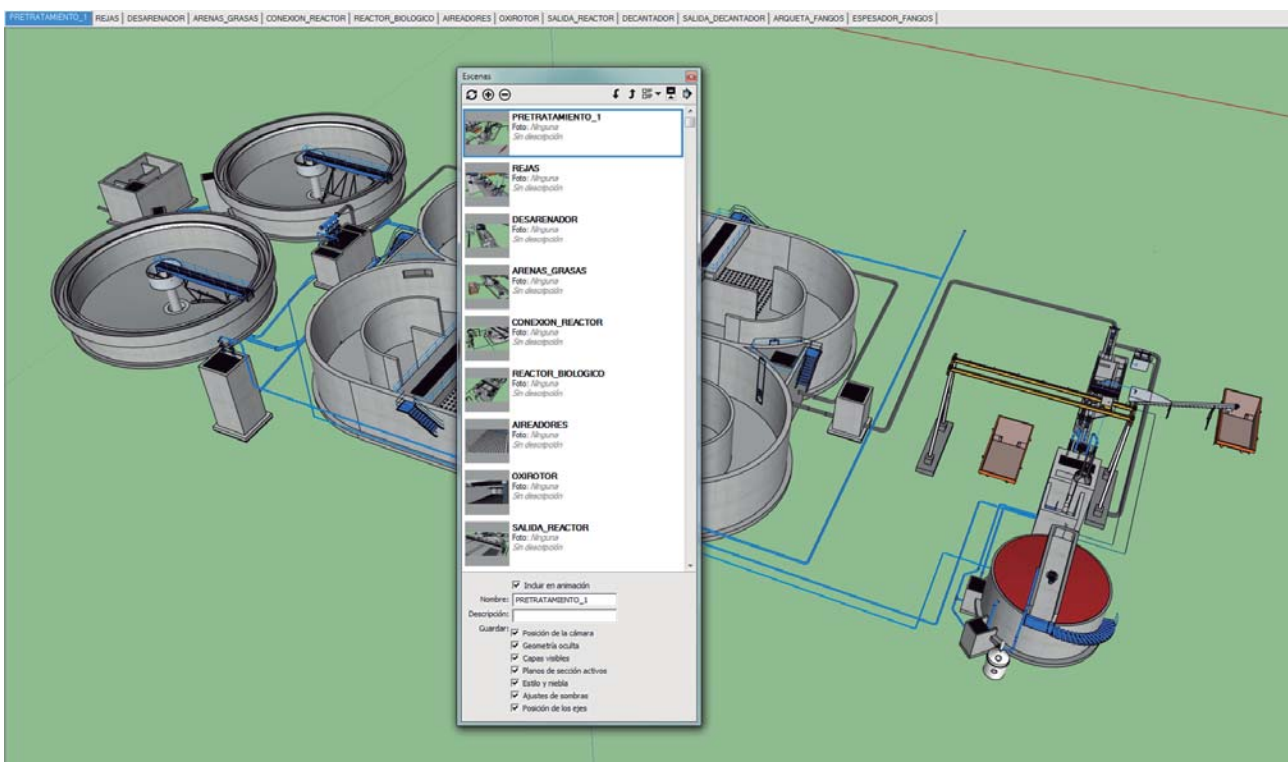


Fig. 3. 22- Modelo de una EDAR mostrando el gestor de escenas. Se han creado una serie de escenas para cada uno de los elementos que la constituyen. Estas escenas se pueden ver en las “pestañas” superiores. Pulsando en cada pestaña, se visualizará cada una de las escenas. Fuente: elaboración propia.

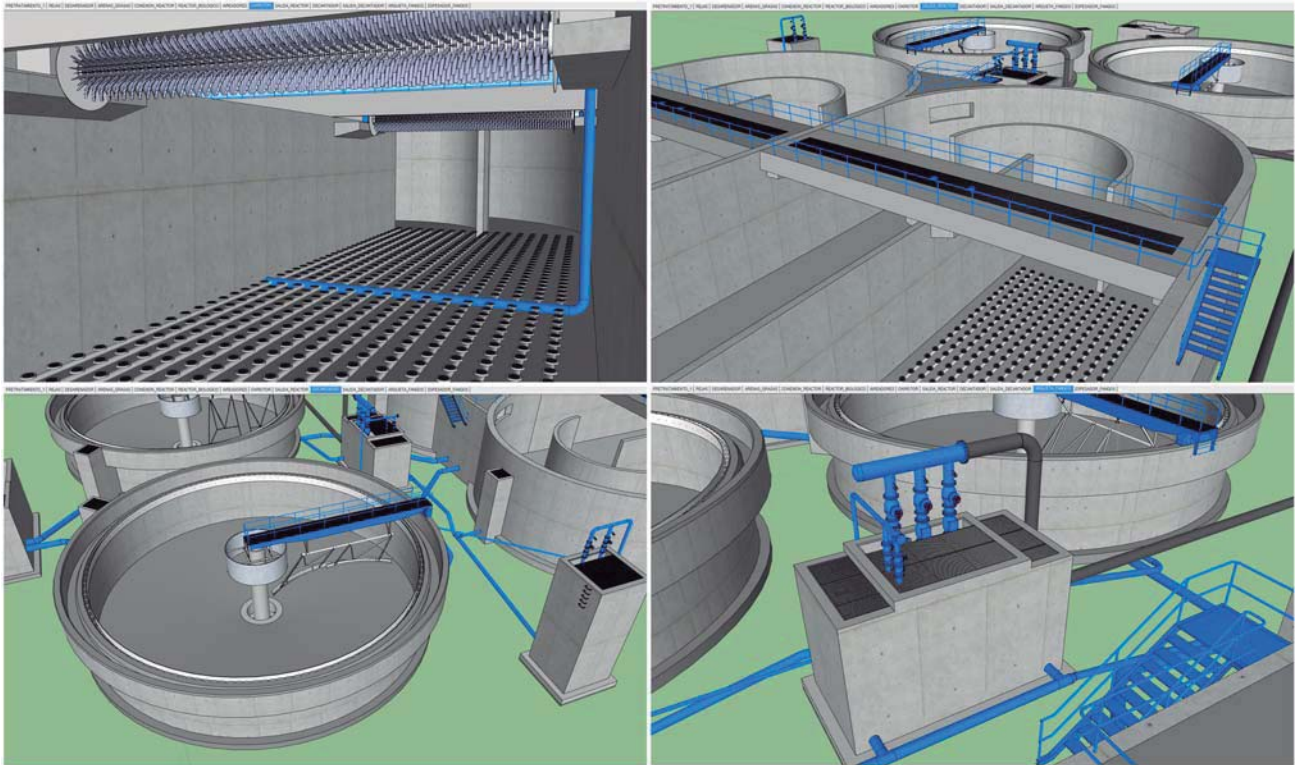


Fig. 3. 23- Modelo de una EDAR. Se observa como al activarse cada una de las escenas (pestañas superiores), se visualiza un punto de vista diferente en el modelo.
Fuente: elaboración propia.

Los estilos

Una de las maneras de cambiar el aspecto del modelo es cambiar el estilo que afecta a los bordes y superficies de la escena. Estos estilos permiten al usuario cambiar fácilmente el estilo visual del modelo.

La imagen adjunta muestra con un ejemplo, los principales estilos prediseñados en la herramienta.



Fig. 3. 24- Diferentes estilos para mostrar el modelo. Sólido con texturas, monocromo, líneas ocultas y rayos X. Fuente: elaboración propia.

Las herramientas básicas

SketchUp ofrece muchas herramientas para manipular, ver y trabajar con su modelo. No es el fin de este apartado el describir todas ellas, simplemente presentaremos las más básicas que se utilizan para crear y modificar los modelos.

SketchUp ofrece las herramientas distribuidas entre varias barras de herramientas, que suelen estar colocadas en la parte izquierda de la pantalla. Con el fin de no llenar la pantalla de barras de herramientas, es normal que, mediante el menú "Ver-> Barras de herramientas-> Conjunto grande de herramientas", se seleccione el que SketchUp muestre un conjunto suficientemente amplio de herramientas, pero no tanto que llene la pantalla.

"**Seleccionar**" es utilizado para especificar las entidades que se modificarán al utilizar otras herramientas o comandos. Esta herramienta te permite hacer selecciones de entidades individuales o de varias entidades a la vez como conjuntos.



"**Crear componente**", permite crear un nuevo componente.

"**Pintar**" activa la paleta de colores para seleccionar un color o textura y permite aplicarlo sobre entidades individuales o de varias entidades a la vez como conjuntos.

"**Borrar**" se utiliza para eliminar entidades seleccionadas, también se puede utilizar para ocultar (+ Mayúsculas), o suavizar aristas (+ Ctrl).

"**Rectángulo**" para dibujar entidades de cara (superficies) rectangulares que se definen haciendo click en dos ángulos opuestos.



"**Línea**" para dibujar aristas o entidades de línea. También se utiliza para dividir caras o recuperar caras eliminadas.

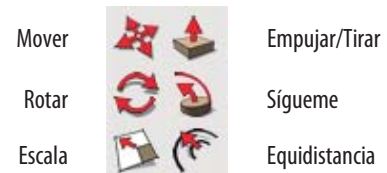
"**Círculo**", se utiliza para para dibujar superficies circulares o entidades de círculo.

"**Arco**" para definir arcos con un gran número de segmentos que se pueden editar como un solo arco.

"**Polígono**" para definir entidades polígono de diferente número de lados.

"**Mano alzada**" para definir entidades mediante líneas a mano alzada.

"**Mover**" para desplazar, alargar y copiar geometrías. Esta herramienta también se puede utilizar para efectuar rotaciones de componentes y grupos.



"**Empujar/Tirar**" para "empujar" entidades de superficie (extruir) y

así crear volumen a partir de esa superficie. Se puede utilizar esta herramienta para dar volumen a cualquier tipo de cara tanto rectangular como circular o abstracta. También podemos utilizarla para crear vacíos dentro de entidades tridimensionales.

"**Rotar**" para rotar, alargar o distorsionar entidades siguiendo un recorrido circular.

"**Sígueme**" para extruir caras siguiendo un recorrido determinado, por ejemplo una línea dibujada a mano alzada. Esta herramienta es especialmente útil para añadir detalles a un modelo, ya que permite dibujar el detalle en un extremo de una línea y prolongarlo en toda la extensión de la misma. Con la herramienta Sígueme puede extruir una cara siguiendo un recorrido

manual o automáticamente.

“Escala” para redimensionar o ampliar partes de la geometría con respecto a otros elementos del modelo

“Equidistancia” para crear copias de líneas y caras a una distancia uniforme de las originales. Pueden crearse copias equidistantes de aristas y de caras hacia dentro o hacia fuera respecto de la cara original. Aplicar esta operación a una cara supone simplemente crear una cara nueva.

“Medir” para llevar a cabo diversas operaciones relacionadas con las dimensiones. Entre estas operaciones se incluyen medir la distancia entre dos puntos en un espacio 3D, crear líneas auxiliares, crear puntos auxiliares o cambiar el tamaño de todo el modelo a unas dimensiones concretas.



“Acotación” para colocar entidades de acotación en el modelo.

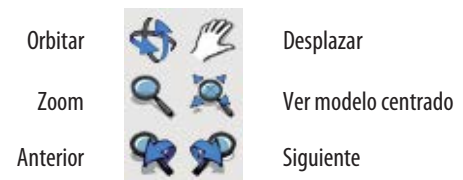
“Transportador” para medir ángulos y crear líneas auxiliares.

“Texto” para insertar entidades de texto en el modelo.

“Ejes” para mover o reorientar los ejes de dibujo dentro del modelo. Por ejemplo, puede interesarle desplazar los ejes si está construyendo objetos rectangulares con una relativa inclinación entre sí. También puede usar esta herramienta para permitir una reproducción a escala más precisa de los objetos que no estén orientados siguiendo los planos de coordenadas por omisión.

“Texto 3D” para crear texto en 3D.

“Orbitar” para rotar la cámara, en tres dimensiones, alrededor del modelo. Esta herramienta es útil para visualizar la geometría desde el exterior



“Desplazar” para mover la cámara en sentido vertical y horizontal siguiendo el plano de la imagen.

“Zoom” permite aplicar un zoom interactivo desde el punto de vista seleccionado.

“Ver modelo centrado” para centrar el modelo en la pantalla. Es útil, si se ha desplazado el punto de visión hasta un lugar del que se desconoce su posición.

“Anterior” permite volver a la vista anterior del modelo.

“Siguiente” permite ir a la vista siguiente del modelo.

“Situación cámara” para colocar la cámara a una altura determinada, de manera que se pueda examinar la línea de visión de un modelo o pasear por él.



“Girar” para hacer pivotar la cámara alrededor de un punto fijo en el ángulo de visión. La herramienta Girar ofrece una vista parecida a la que tendría una persona quieta moviendo la cabeza de arriba a abajo (panorámica vertical) o de lado a lado (panorámica horizontal). Es útil sobre todo para ver el interior de un espacio o para evaluar la visibilidad después de utilizar la herramienta “Situación Cámara”.

“Caminar” para moverse por el modelo de SketchUp como si se estuviese caminando por él físicamente. En concreto, la

herramienta Caminar fija la cámara a una altura determinada y, a continuación, permite desplazarla por el modelo. La herramienta Caminar sólo está disponible en modo Perspectiva.

“**Plano de sección**” para crear efectos de corte de sección dentro de los modelos mediante entidades de planos de sección y líneas de sección.

Hay que decir también, que en la parte inferior derecha de la pantalla se puede ver un cuadro de texto donde es posible introducir los valores deseados en forma numérica y mayor precisión que con el ratón. Este cuadro de texto, se denomina CCV (Cuadro de Control de Valores), y los datos a introducir en él, varían en función de la herramienta seleccionada

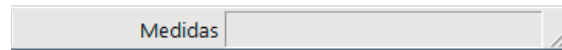


Fig. 3. 25- Cuadro de control de valores (CCV).

Los planos de sección

La herramienta Plano de Sección se utiliza para crear efectos de corte de sección dentro de los modelos.

Cuando se emplea un plano de sección en SketchUp, se puede apreciar que los elementos de apariencia sólida, en realidad están formados por planos que dan lugar al volumen.

Es posible utilizar la herramienta “Mover” y la herramienta “Rotar” para desplazar los planos de sección igual que el resto de entidades.

La dirección de un plano de sección puede invertirse haciendo click con el botón derecho en el plano y seleccionando “Invertir” en el menú de contexto.

Los planos de sección recién creados permanecen activos hasta que se selecciona otra entidad.

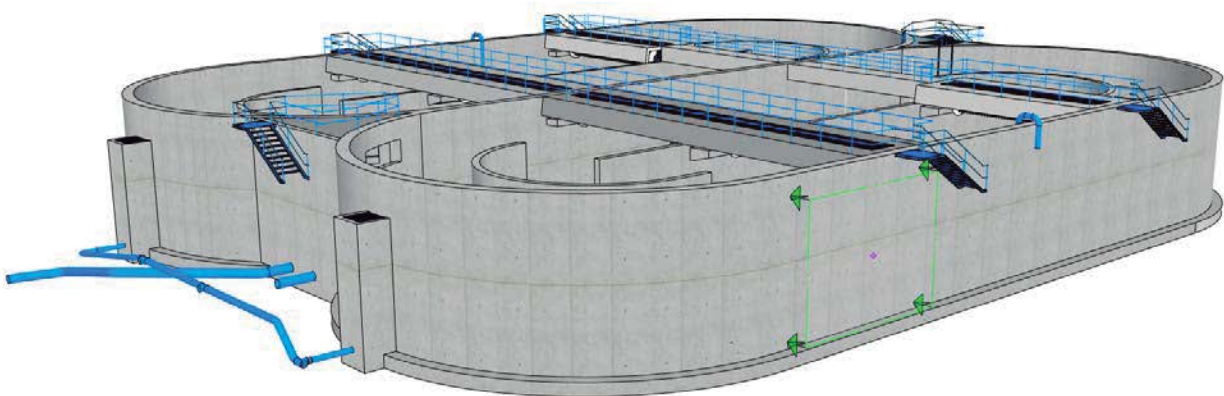


Fig. 3. 26- Venta modelo. Fuente: elaboración propia.

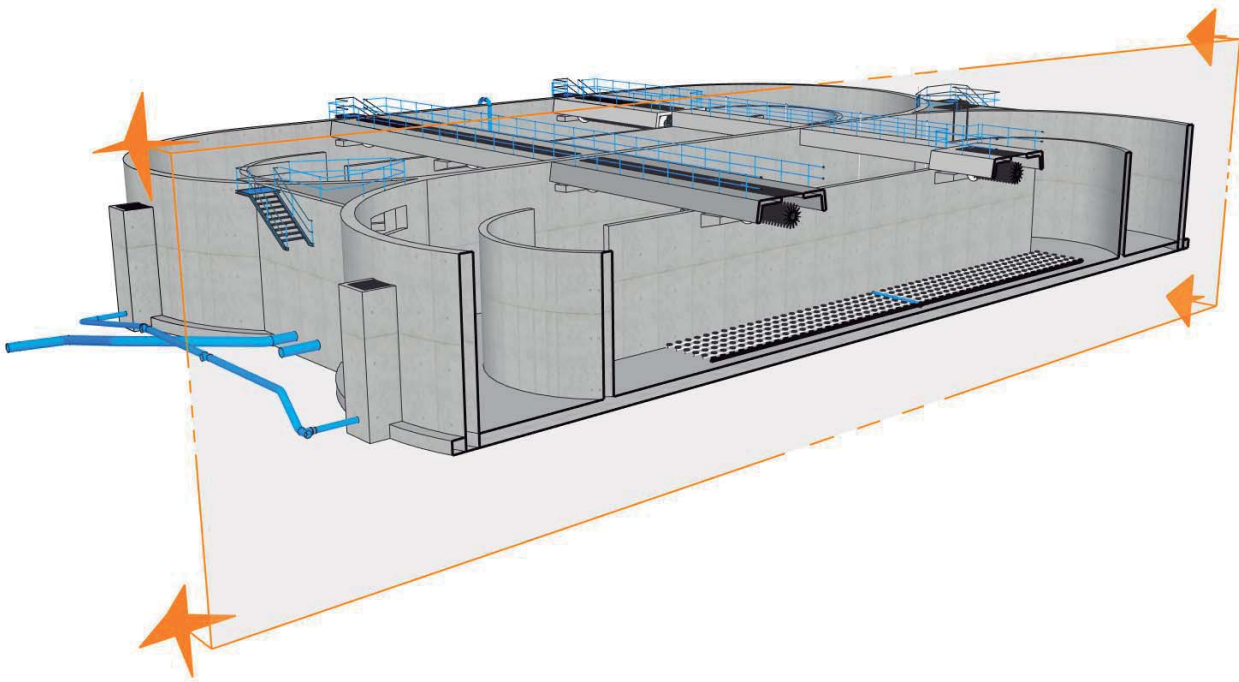


Fig. 3. 27- Ventana del gestor de capas. Con él es posible crear, eliminar, hacer visible o no visible cada una de las capas del modelo. Fuente: elaboración propia.

Los grupos

La geometría (aristas y caras) en SketchUp es "pegajosa" por defecto. Cuando se colocan dos entidades no agrupadas una junto a otra, se quedan "pegadas". Esto facilita mucho el aprendizaje de SketchUp pero también dificulta mantener las entidades separadas y ordenadas. Creando entidades grupos, se crean objetos que son más fáciles de mover, copiar y ocultar.

Por otro lado, el crear grupos permite asignarlos a diferentes capas, para controlar su visibilidad o invisibilidad, u ordenar adecuadamente el modelo, algo que no sería posible hacer con entidades individuales.

Si fuera necesario, es posible "explotar" (desagrupar) una entidad grupo para dividirla en las entidades originales que lo forman.

Los grupos se pueden abrir para editarlos sin necesidad de desagrupar, lo que situará al usuario dentro del contexto del grupo.

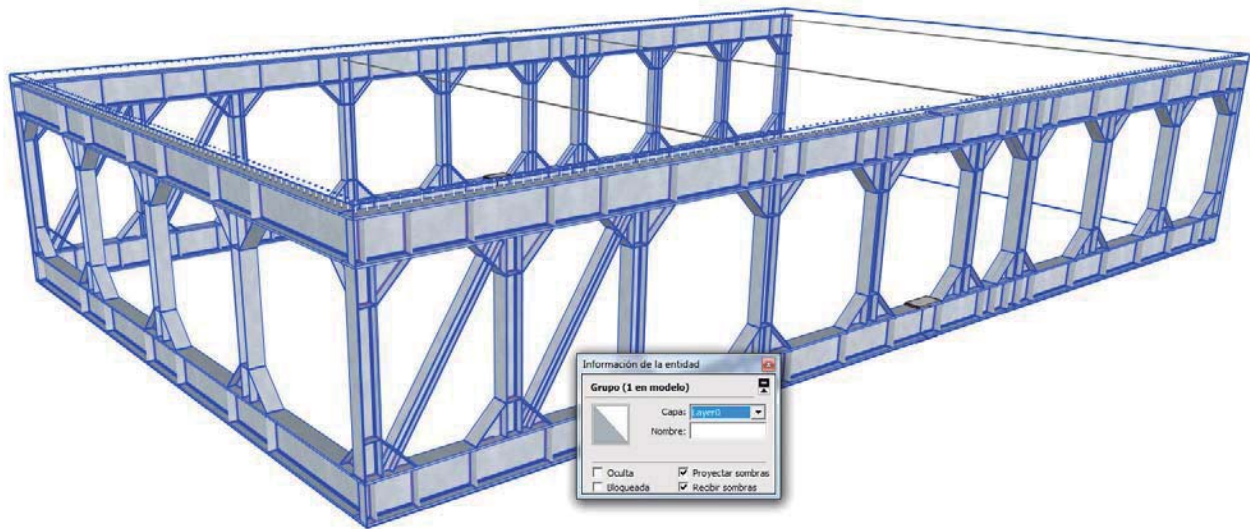


Fig. 3. 28- Ejemplo de grupo. Fuente: elaboración propia.

Los componentes

Los componentes son elementos similares a los grupos en cuando a que agrupan entidades individuales, pero se diferencian de ellos en que cada copia de un componente –denominada instancia–, está relacionada con el resto de copias, de forma que si una de las instancias se modifica, el resto de instancias también lo hacen.

Es un elemento realmente útil para crear entidades que serán reutilizadas en diferentes ocasiones en el mismo modelo o en otro.

En el siguiente ejemplo se muestra un componente. Se trata de un motor eléctrico. Si en el modelo va a aparecer 10 veces el mismo motor eléctrico, es interesante que se cree como “componente”, ya que, llegado el caso de querer mejorar el modelo de motor, cualquier mejora en una de las instancias, se copiaría instantáneamente en el resto, evitando tener que repetir las mismas mejoras en los otros 9.

De realizar este mismo proceso con un motor creado como “grupo”, las mejoras en el modelado de uno de ellos, deberían repetirse en los 9 restantes motores.

Para crear un componente, basta con seleccionar todas las entidades que van a formar parte de él, y mediante el botón “Crear componente”, o bien con el menú contextual que se activa con el botón derecho del ratón, seleccionar “Crear componente”.

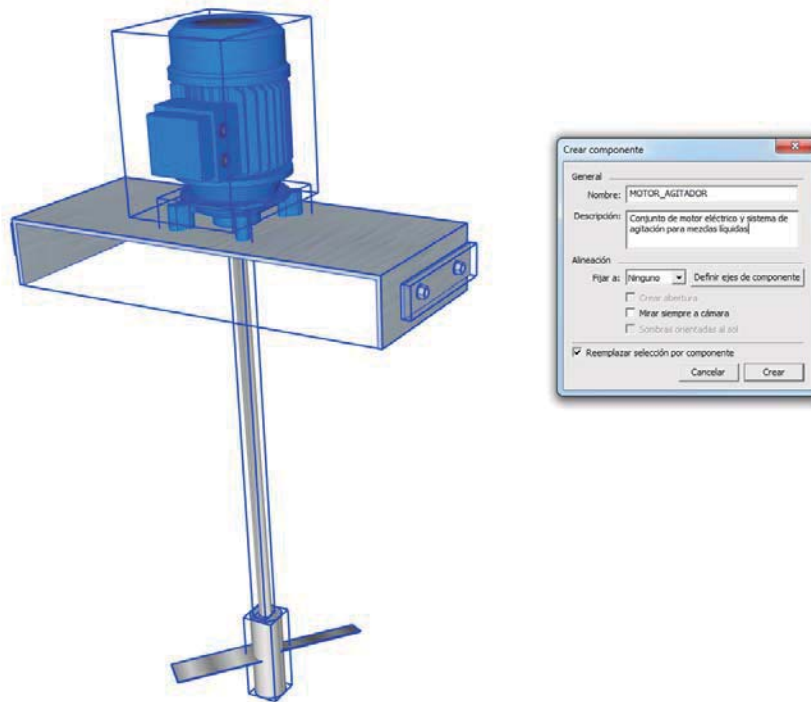


Fig. 3.29- Creación del componente "MOTOR_AGITADOR". Fuente: elaboración propia.

Las capas

Los modelos de un proyecto de construcción, por pequeños que éstos sean, deben tener una estructura de información tal que permita la visualización de los distintos elementos en cualquier momento del mismo. En efecto, a medida que se completa un modelo de un edificio y éste adquiere cierta complejidad, algunos elementos del mismo van quedando ocultos por los más exteriores. Para ello debemos disponer de un sistema de visualización que permita agrupar elementos de unas ciertas características y, además, nos permita visualizarlos u ocultarlos según las necesidades del momento.

Aprovechando esta capacidad de visualizar u ocultar partes del modelo, se puede establecer una cronología en la representación de la construcción de manera que se asigna una capa a cada fase del montaje o construcción. Dicho de otro modo, las capas serán la representación de la cuarta variable, que será el tiempo, de forma que a medida que avance el tiempo de ejecución, más capas deberán de estar visibles y, por tanto, mostrando la obra ya ejecutada hasta ese momento. En definitiva, gracias al sistema de capas se puede hablar de un modelo en 4D, (Koo y Fischer, 1998¹⁰⁴).

SketchUp, al igual que la inmensa mayoría de herramientas de diseño, permite el uso de capas (*layers*) para organizar los modelos. Sin embargo, las capas de SketchUp presentan algunas diferencias respecto a las capas de otros programas 2D y 3D.

De forma predeterminada, un modelo de SketchUp tiene una sola capa, la Capa 0, que es la capa base. La Capa 0 no se puede borrar ni se le puede cambiar el nombre.

La principal diferencia consiste en que las entidades asociadas con capas distintas en SketchUp se intersecan entre ellas. Por esta razón, casi siempre es mejor dibujar todas las entidades en la Capa 0 y no moverlas de esa capa. Si se pretende utilizar capas para organizar el modelo, es necesario convertir entidades concretas en grupos o componentes y asociar capas distintas a esos grupos o componentes. Esto es importante porque de no hacerlo así puede darse el caso de que una superficie pertenezca a una capa y las aristas que la delimitan pertenezcan a otra.

¹⁰⁴ Koo, B., Fischer, M., 1998. *Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction*. CIFE Technical Report #118 August, Stanford University.

Una vez asociados capas con grupos en un modelo, pueden ser utilizadas para controlar la visibilidad de dichos grupos. De esta forma, es posible activar o desactivar la visibilidad de las diferentes partes del modelo.

La correcta asociación de entidades a capas será clave en los modelos desarrollados.

Debe tenerse en cuenta que al desarrollar un modelo 3D tradicional, o incluso al importar ficheros 2D para crear el modelo 3D, es habitual que existan ya capas creadas por la herramienta original de diseño. Dicho esquema de capas ya existente organiza, como es lógico, el modelo atendiendo a los elementos de construcción. Así, por ejemplo, podrán existir capas para las cimentaciones, para las estructuras, para las carpinterías, para las instalaciones eléctricas, para la climatización, etc.

Esta organización del modelo la proporciona el sistema de capas, muy común entre los programas CAD y de modelado en sólido, aunque en algunos como Revit tengan otra denominación, como “categoría”.

Además, si el nombre identificativo de cada capa está bien diseñado, las capas pueden dar información del LOD, la situación del elemento y el tipo de dato que representa el elemento por la manera de ser nombradas.



Fig. 3.30- Barra de herramienta de Capas. La lista desplegable muestra las capas del modelo, y el botón de su derecha, muestra la ventana del gestor de capas. Fuente: elaboración propia.

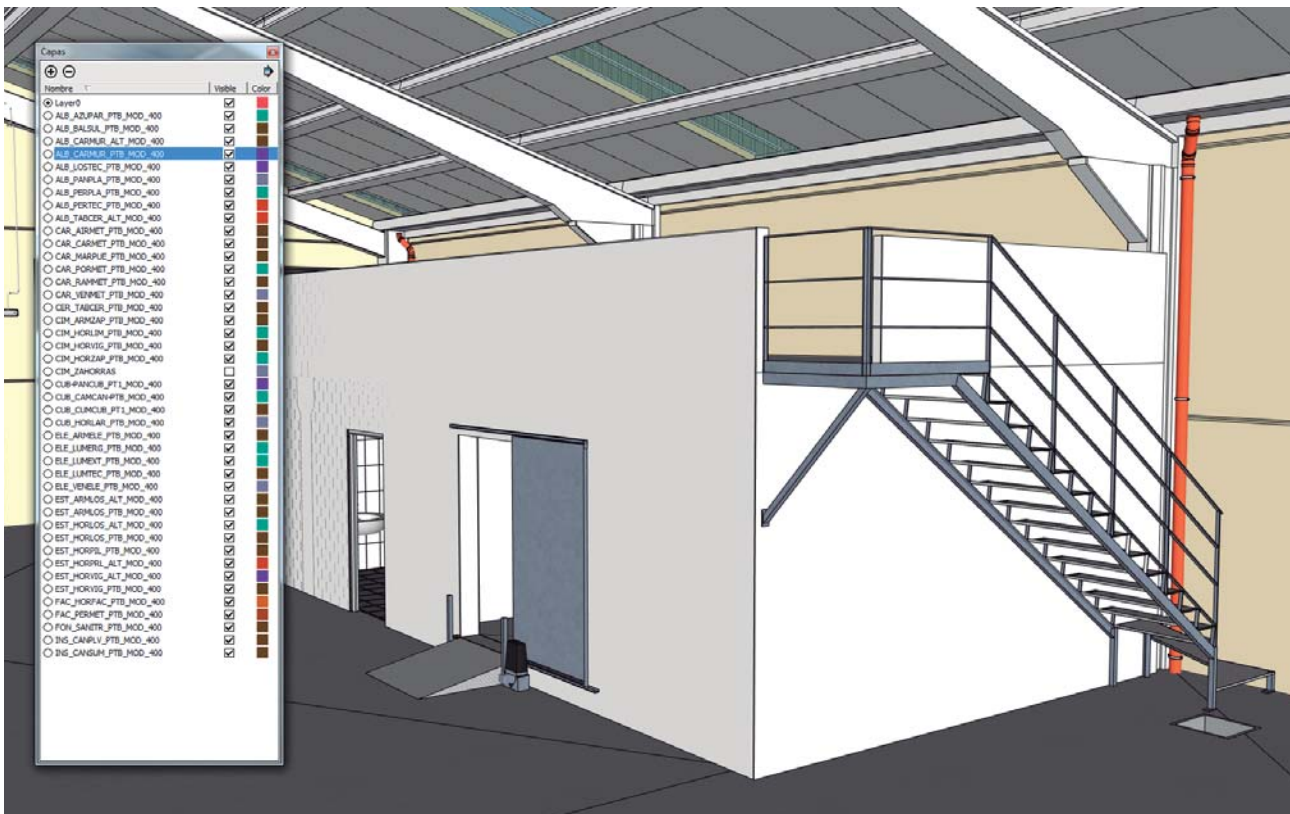


Fig. 3.31- Ventana del gestor de capas. Con él es posible crear, eliminar, hacer visible o no visible cada una de las capas del modelo. Fuente: elaboración propia.

El esquema

A medida que los proyectos van ganando en complejidad, el esquema de SketchUp se va convirtiendo en una indispensable herramienta de visión general de todos los grupos y componentes de su modelo, ordenados en forma de árbol.

El esquema permite ver una lista jerárquica, y desplegable, de todas las entidades que contienen las capas visibles del modelo. En el esquema es posible ocultar, mostrar y cambiar el nombre de los objetos, lo que resulta mucho más sencillo que entrar en los grupos y componentes anidados cada vez que quiera hacer algún cambio.

El esquema admite incluso búsquedas de texto, lo que supone un incentivo más para que los nombres de las entidades sean coherentes.

En la siguiente imagen puede verse el modelo de una EDAR, donde se muestra la ventana de esquema. En el árbol jerárquico se aprecia un componente denominado “CONTAINER DE OBRA”, que al ser seleccionado, se resalta respecto al resto del modelo. De igual forma, es posible seleccionar uno de los componentes que forman el contenedor –en este caso “componente#16”- lo que resaltarán ese componente en concreto dentro del componente “CONTAINER DE OBRA”. (Puede verse el elemento de sujeción resaltado en el borde del contenedor).

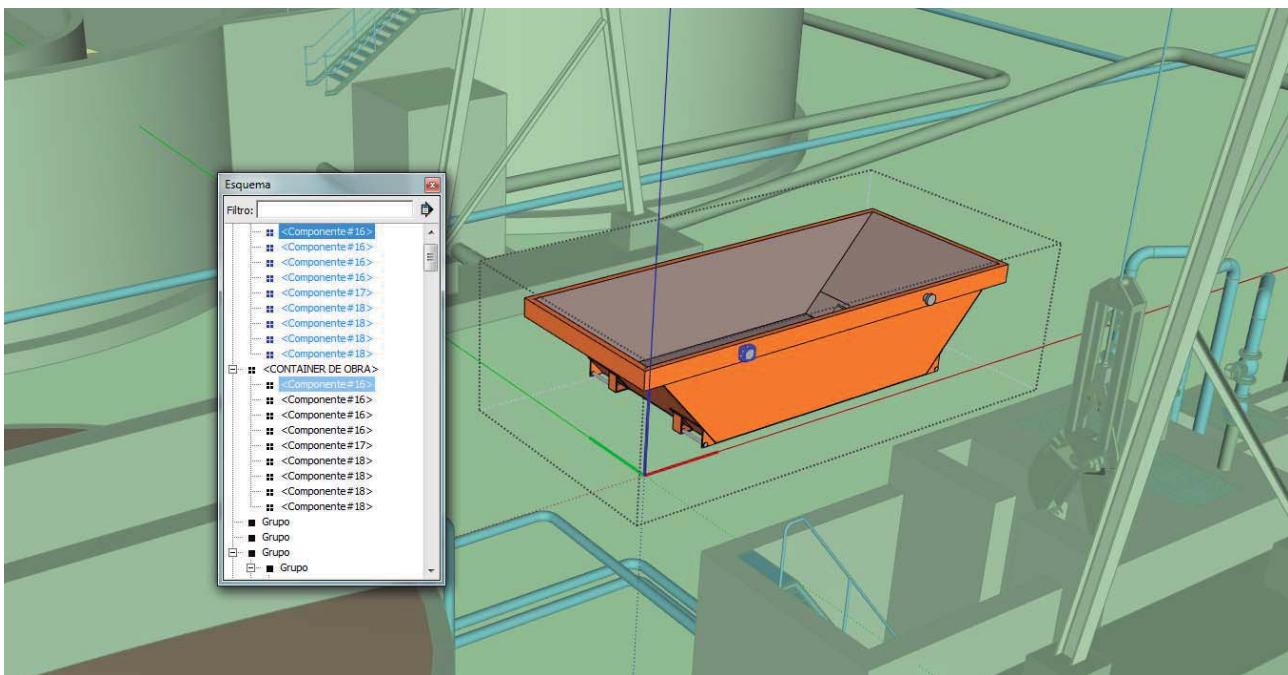


Fig. 3. 32- Ventana de Esquema. Fuente: elaboración propia.

Los componentes dinámicos

Componentes dinámicos (DC) son componentes que se comportan de forma inteligente en función de la acción del usuario.

Todos los usuarios de SketchUp pueden utilizar componentes dinámicos. Sin embargo, sólo los usuarios de SketchUp Pro pueden desarrollar componentes dinámicos.

En SketchUp, se puede interactuar con los componentes dinámicos de tres maneras básicas. Dependiendo de lo que un DC particular ha sido creado para hacer, puede responder a una, dos o las tres de las siguientes interacciones.

Escalado inteligente

Los componentes dinámicos diseñados para reaccionar de manera inteligente a la herramienta “Escala” permiten reutilizar de forma inteligente los componentes. Así, en lugar de estirar el modelo con la herramienta “Escala” y obtener un modelo distorsionado, lo que ocurrirá será que las partes que se supone que deben cambiar sus dimensiones, lo harán, el resto no.

El mejor ejemplo es una escalera de 5 peldaños. Si se desea escalar esta escalera para que llegue a un punto donde serían necesarios 9 peldaños, de hacerlo con un componente no dinámico, obtendríamos una escalera distorsionada. AL hacerlo con un

componente dinámico, el propio componente sabe qué elementos debe escalar, y cuales no –por ejemplo, los escalones-, y de aquellos elementos que no debe escalar, lo que hará será introducir más unidades –más escalones, hasta los 9 necesarios-.

Existen tres formas en que los componentes dinámicos pueden responder:

Opciones de componentes

Es posible los componentes dinámicos que han sido conectados a la caja de diálogo Opciones de componentes seleccionando opciones de las listas desplegables, escribiendo dimensiones, y realizar otras tareas simples. Cuando se cambia una configuración en Opciones de componentes, la DC que haya seleccionado actualizaciones para reflejar el cambio, algo así como el modelado por control remoto.

La herramienta Interactuar

Cuando un componente dinámico está configurado para reaccionar a la herramienta “Interactuar”, puede ejecutar acciones cuando es pulsado una o varias veces con el ratón.

Resulta muy útil cuando se trata de mostrar cómo determinados objetos del modelo deberían comportarse en la vida real – apertura de puertas y ventanas de una casa, de un coche, plegado del tren de aterrizaje de un avión, etc.-

La clasificación

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

Trimble ha construido un flujo de trabajo especial alrededor de las IFC¹⁰⁵, un sistema de clasificación abierta para la gente que está haciendo BIM en la industria de la construcción. Puede clasificar los componentes en sus modelos con los tipos de la CFI, asignar y editar los atributos correspondientes a los componentes y luego exportar los modelos resultantes en el formato IFC para su uso en otras herramientas BIM.

Pero no es necesario utilizar las IFC, sino que el usuario es libre de utilizar cualquier esquema publicado para clasificar los componentes en los modelos, como puede ser COBie¹⁰⁶, gbXML para la edificación sustentable, o CityGML para la simulación urbana. O bien, es posible que el propio usuario desee desarrollar su propio sistema de clasificación.

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

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

¹⁰⁵ El modelo de datos IFC (Industry Foundation Classes), desarrollado por buildingSMART, es una especificación abierta, internacional y estandarizada para los datos de BIM (Building Information Modelling) que se intercambian y comparten entre aplicaciones de software utilizadas por los diversos participantes en un proyecto de construcción.

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

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

¹⁰⁶ COBie-Construction-Operations Building Information Exchange. Cobie es un modelo de datos, no orientado a la geometría del edificio, que ayuda a la captura y registro de datos importantes del proyecto en el punto de origen, incluidas las listas de equipos, hojas de datos de productos, las garantías, las listas de piezas de repuesto, y los programas de mantenimiento preventivo. Esta información es esencial para apoyar las operaciones, mantenimiento y gestión de activos, una vez construido el activo está en servicio

Layout

Acompañando a SketchUp Pro viene otra aplicación inseparable de él, denominada Layout.

Layout es una herramienta que permite la generación de documentación técnica o presentaciones a partir del modelo 3D. No se trata de un CAD 2D, ni de un programa de dibujo. Layout recibe el modelo 3D generado con SketchUp y permite mostrarlo en 2D

Téngase en cuenta que si al comienzo de este trabajo se criticaba la fragmentación de la documentación de un proyecto que generaba inconsistencias entre los diferentes planos 2D, con la pareja SketchUp+Layout, esta fragmentación ya no existe, ya que al generarse la documentación 2D a partir del modelo 3D, donde ya no existen inconsistencias debido a que se ha realizado una construcción virtual del proyecto, esas inconsistencias inexistente no pueden ser transferidas a la documentación 2D.

Por otra parte, al proceder la documentación 2D de un modelo de la calidad que proporciona SketchUp, la documentación es mucho más completa y visualmente preferible.

Ruby

SketchUp 4 y versiones posteriores admiten extensiones de software conocidas como extensiones Ruby que están escritas en el lenguaje de programación Ruby y aumentan las capacidades de SketchUp, permitiendo una funcionalidad especializada. Los desarrolladores pueden hacer sus aplicaciones disponibles gratuitamente en foro de SketchUp Ruby. SketchUp también tiene una consola de Ruby, que es un entorno en el que los desarrolladores pueden experimentar con los comandos y los métodos de los scripts Ruby. La versión gratuita de SketchUp también soporta scripts Ruby.

Curiosamente, existen grandes empresas constructoras que están utilizando SketchUp en obras de grandes dimensiones. Por ejemplo, *Turner Construction Company*,¹⁰⁷ una muy importante empresa constructora norteamericana, utiliza SketchUp Pro en puntos de su *workflow* (coordinación y planificación de demoliciones y construcciones), creación de presentaciones y formación en seguridad. Para acelerar su *workflow* han desarrollado las llamadas Turner Tools.

Estas herramientas han sido utilizadas en el *Transportation Hub Project* del *World Trade Center*. Este proyecto no es sólo complicado debido a que integra una matriz de edificios y sus elementos estructurales, sino que requiere una planificación detallada de la demolición y de la construcción para evitar interferencias a las seis mayores líneas de metro que corren junto a la localización del proyecto, además de la necesidad de coordinar adecuadamente la localización tanto en el espacio como en el tiempo de las estructuras temporales necesarias para la ejecución del proyecto.

Niveles de desarrollo (LOD – *Levels of Development*)

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

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

En un modelo, un componente genérico colocado aproximadamente puede tener exactamente el mismo aspecto que un componente específico ubicado exactamente, por lo que es necesario algo más que la apariencia para notar la diferencia. Además, es posible inferir información de un modelo que el autor no tiene la intención de facilitar -por ejemplo, las dimensiones no

¹⁰⁷ www.turnerconstruction.com

declaradas pueden medirse con precisión sobre el propio modelo-, por lo que puede darse el caso que se infiera información que se considere fiable desconociendo el grado de madurez del diseño.

El marco de referencia LOD permite a los autores de los modelos establecer, con claridad, la madurez del desarrollo de los elementos del modelo dado, por lo que debe resultar evidente para toda persona ajena al autor, cuál es el grado de madurez o de desarrollo de cada elemento del modelo.

Este aspecto es de importancia crítica allí donde las personas que no son el propio autor del modelo, y dentro de un entorno colaborativo, dependen de la información que se obtiene a partir del modelo para seguir avanzando en su propio trabajo. Es decir, es fundamental para los usuarios de los saber en qué momento el modelo ha alcanzado el grado de madurez suficiente como para considerar que su información es susceptible de ser tomada como fiable.

En 2008, el *American Institute of Architects (AIA)* desarrolló su primer conjunto de definiciones LOD en el documento *AIA E202-2008 Building Information Modeling Protocol*. Debido a la rápida evolución de la utilización los modelos 3D, 4D y BIM, la AIA revisó el documento AIA E202- 2008, incluidas las definiciones de LOD. El resultado fueron los documentos AIA E203 -2013, *Building Information Modeling and Digital Data Exhibit*, AIA G201-2013, *Project Digital Data Protocol Form*, y AIA G202-2013, *Project Building Information Modeling Protocol Form* y que están acompañados por una guía titulada *Guide and Instructions to the AIA Digital Practice Documents*.

No existe una correspondencia estricta entre los niveles LOD y las fases de diseño o del ciclo de vida del proyecto -aunque sí pueden identificarse de una forma aproximada-, principalmente porque los proyectos de construcción llevan ritmos de diseño diferentes en sus diferentes partes. Así, el diseño de la estructura suele estar finalizado antes que las instalaciones. Esto implica que no existirá un modelo LOD 300 o LOD 400, sino que un modelo podrá contener elementos en diferentes grados de desarrollo, y por tanto con diferentes niveles LOD.

Esta clasificación de la AIA no es la única existente, aunque sí la más extendida. Otras clasificaciones pueden ser la del *Computer Integrated Construction (CIC) Research Program*, de la Penn State.

Otra clasificación es la del cuerpo de ingenieros del ejército norteamericanos USACE (*US Army Corps of Engineers*), que ha desarrollado la llamada *Minimum Modeling Matrix (M3)*, y una última clasificación es la de la AEC para el protocolo BIM (*Building Information Model*), *AEC (UK) BIM Protocols*, que especifica, también, una serie de grados en sus componentes (G0 – Esquemático, G1 – Conceptual, G2 – Definido, G3 – Renderizado).

LOD 100. El diseño conceptual

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

Los usos autorizados para este nivel son: el análisis –el elemento puede ser analizado basándose en su volumen, área y orientación, por aplicación de criterios asignados a otros elementos-; la estimación del coste - el elemento puede ser utilizado para desarrollar una estimación del coste basándose en su volumen, área u otras técnicas similares-; planificación de tiempos –el elemento puede ser utilizado para determinar la duración total del proyecto-.

LOD 200.

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

Los usos autorizados son: el análisis –el modelo puede ser analizado para verificar su rendimiento-; la estimación del coste - el elemento puede ser utilizado para desarrollar una estimación del coste basándose en técnicas de estimación de coste-; planificación de tiempos –el elemento puede ser utilizado para determinar el orden en la escala de tiempos de los principales elementos del

sistema-; coordinación –el modelo puede ser utilizado para la coordinación general con otros elementos del modelo, en términos de tamaño, localización, y disponibilidad de espacio-.

LOD 300. El anteproyecto

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

Los usos autorizados son: el análisis –el modelo puede ser analizado para comprobar el rendimiento de un sistema específico-; la estimación del coste - el elemento puede ser utilizado para desarrollar una estimación del coste basándose en técnicas de estimación de coste útil para la contratación basada en datos específicos-; planificación de tiempos –el elemento puede ser utilizado para determinar el orden en la escala de tiempos de los principales en una planificación más detallada-; coordinación –el modelo puede ser utilizado para la coordinación general con otros elementos del modelo, en términos de tamaño, localización, y disponibilidad de espacio. Los elementos incluyen ya aspectos operativos generales-

LOD 350.

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

El nivel LOD 300 especifica que los elementos constructivos se encuentran correctamente definidos, pero no incluye el nivel de detalle necesario para la plena coordinación. La información necesaria para el nivel LOD 400 puede no existir hasta bastante después, ya durante la fase de ejecución, creando así un vacío de información. El nivel LOD 350 cierra esta brecha, y muestra cómo los elementos van a ser montados o fijados.

LOD 400. El proyecto de ejecución

El elemento del modelo está gráficamente representado por un sistema, objeto o montaje específico, en términos de cantidad, tamaño, forma, localización, cantidad, y orientación, detallando la información de fabricación, montaje e instalación. Puede asociarse al elemento información no gráfica.

Los usos autorizados son: el análisis –el modelo puede ser analizado para comprobar el rendimiento de un sistema específico-; la estimación del coste - el elemento puede ser utilizado para desarrollar una estimación del coste basándose en los costes actuales y de compra-; planificación de tiempos –el elemento puede ser utilizado para determinar el orden en la escala de tiempos detallando los medios y los métodos de construcción-; coordinación –el modelo puede ser utilizado para la coordinación general con otros elementos del modelo, en términos de tamaño, localización, y disponibilidad de espacio, incluyendo datos referentes a la fabricación, instalación y aspectos operativos generales-.

LOD 500. El proyecto “as built”

El elemento del modelo es una representación fiel en términos de tamaño, forma, localización, cantidad y orientación del proyecto ya finalizado. Puede asociarse al elemento información “no gráfica”. A este nivel de LOD se le podría considerar como “Record Model”.

Es importante que los modelos lleguen a este grado LOD dado que es necesario para las fases del proyecto posteriores a la construcción, como son el mantenimiento o el desmantelamiento del mismo, así como usos del modelo para aplicaciones a la seguridad de uso (Rüppel y Schatz, 2011¹⁰⁸).

¹⁰⁸ Rüppel, U., Schatz, K., 2011. *Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations*, *Advanced Engineering Informatics* 25 (2011) 600–611.

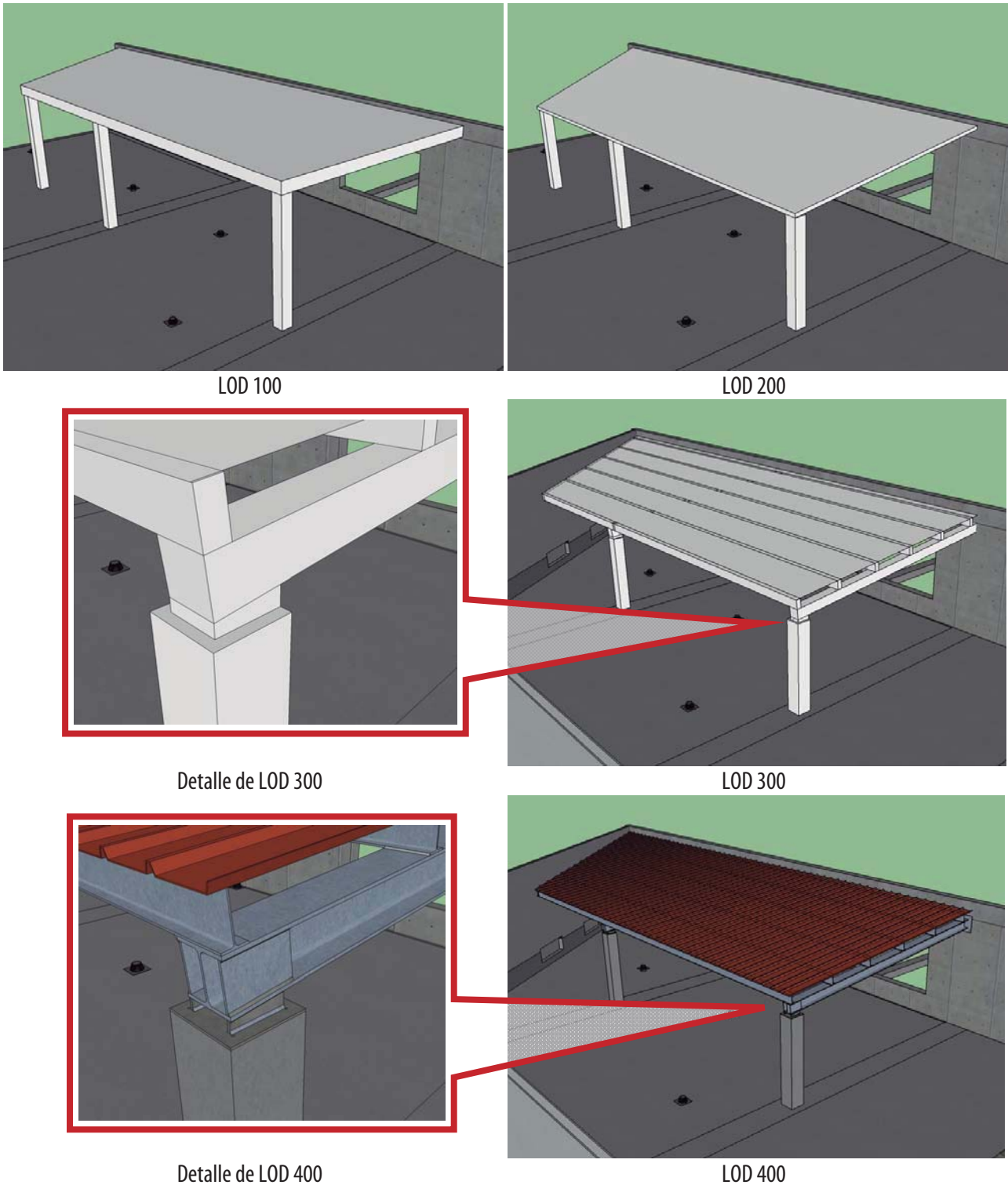


Fig. 3.33- Estructura de la figura anterior realizada con Autodesk Revit. La vista 3D ha sido obtenida en alta calidad sin aplicar sombras. Fuente: elaboración

Capítulo 4

Resultados y discusión

“ Las palabras que no van seguidas de los hechos no valen para nada ”

- Demóstenes de Atenas (Orador y político ateniense, 384 a.C.-322 a.C.)

Metodología de Trabajo.

Las aplicaciones de SketchUp como herramienta de diseño tridimensional han quedado bien patentes a lo largo del presente trabajo, si bien es el momento de ver sus aplicaciones como herramienta de comunicación entre las partes de un proyecto. En efecto, tras haber visto cómo se definen los diferentes niveles de desarrollo o LOD, es necesario ver cómo aplicar esto a la comunicación en el proyecto.

Fase de Diseño Conceptual.

Durante la fase de diseño conceptual, el modelo sólo es una masa conceptual que representa el volumen y, de alguna manera, la forma de una edificación usándolo como referencia para su situación e integración con el entorno. Este modelo es sólo una aproximación en cuanto a formas y volumen de la edificación a proyectar por lo que a nivel de diseño puede decirse que su nivel de desarrollo es LOD100.

Por otro lado, tanto la estructura como las instalaciones, dado que sólo se está hablando de una masa conceptual, también puede considerarse que están en LOD100 ya que no tiene sentido en esta fase del proyecto plantearse ni forma ni dimensiones de las mismas, aunque pueden tenerse en cuenta como texto dentro del modelo, es decir, si es necesario tener en cuenta determinadas instalaciones como equipos de refrigeración que irán en un área determinado de la construcción o una caída de un tejado para que una red de pluviales recoja convenientemente el agua, puede aparecer como anotación en texto en el modelo en LOD 100. Sin embargo, no tiene sentido modelar completamente aunque sea en LOD100 esas instalaciones ya que no son relevantes en esta fase del proyecto.

El mismo razonamiento se puede usar para la estructura y la distribución interior, ya que no cabe cuestionarse en este punto cómo será la estructura del edificio cuando no se tiene claro cómo va a ser la forma y dimensiones del mismo. Tanto estructura como interiores, en este caso, estarían en LOD100 también, pudiendo tenerse en cuenta determinadas condiciones conocidas en ese momento, como por ejemplo, condiciones de cimentación que pueden ser consideradas por estudios anteriores, pudiendo aparecer en el modelo como texto.

El modelo, pues, debe estar más centrado en un modelo totalmente volumétrico para poder estudiar su impacto visual y sus formas en referencia al entorno donde va a estar construido.

Dado que se trata de una fase de diseño conceptual, las modificaciones en el modelo las realizará el equipo de diseño o en su defecto el responsable de diseño, teniendo en cuenta las indicaciones. También es ésta una fase en la que la propiedad podría dar su opinión sobre el modelo ya que es un modelo muy flexible y que puede absorber las ideas de más participantes que en otras etapas del mismo.

Diseño Básico.

En la etapa de diseño básico el modelo ya tiene una forma y características más definidas en el cual ya se puede tener en cuenta las formas de la estructura, las instalaciones y, de algún modo, las divisiones interiores dado el uso que puede tener la edificación.

Por un lado, la estructura ya tiene una forma a la que adaptarse, es decir, conocido el volumen y la forma de la edificación ya se puede empezar a dimensionar la estructura alcanzando ésta un LOD 200 dado que ya puede empezar a tener una forma definida. Esta parte del modelo y sus capas relativas pueden ser modificadas por el responsable de diseño de estructuras o la ingeniería que esté realizando el diseño.

Las instalaciones, aunque ya se pueden empezar a tener en cuenta, seguirían en LOD 100. En efecto, las instalaciones en este punto del diseño son tenidas en cuenta a la hora de dejar los patinillos, bajantes y otras instalaciones, pero no es operativo dimensionarlas como tal. También se tiene en cuenta en este momento áreas y superficies para eventuales instalaciones, como salas de calderas o zonas para instalar las torres de refrigeración de sistemas de acondicionamiento de aire, aunque no estén todavía bien definidos.

Algo parecido ocurre con el interiorismo, ya que aunque se puede tener una idea bastante aproximada de los huecos que se requieren tampoco están definidos, sobre todo a expensas del resto de las partes del proyecto.

Diseño en Detalle.

En esta fase del diseño, tanto la estructura como las instalaciones ya deben estar bien definidas. En el caso de la estructura, es lógico que ya esté bien definida aunque no en detalle, pero sí en formas y dimensiones por lo que ya se hablaría de una estructura en LOD300. Igual pasaría con las instalaciones que, si bien no tiene por qué estar definidas al detalle, sí deben estar en un nivel de desarrollo que no presente dudas ni sobre por donde discurren ni sobre su dimensionado, por lo que también estaríamos en un LOD300.

En el caso de las distribuciones interiores, aunque ya se pueden definir correctamente, teniendo en cuenta que siempre pueden estar sujetas a modificaciones de la estructura o de las instalaciones también puede considerarse que están en un nivel de desarrollo LOD300.

En este nivel del proyecto es necesario tener en cuenta a otros intervinientes en el proyecto, como proyectistas/instaladores de servicios o, en el caso de que exista una estructura metálica, técnicos de ensayos que pueden determinar ciertos detalles que durante la ejecución del proyecto pueden permitirles o no proceder a hacer su trabajo.

Proyecto de Ejecución.

Una vez que se llega a la fase de ejecución del proyecto, el nivel de desarrollo del modelo debe ser LOD400 debido a que en este punto del proceso no puede haber dudas sobre las diferentes partes del mismo. Es decir, en este nivel de desarrollo, se debe conocer de manera exacta las características de la estructura, aunque ya han quedado definidas en etapas anteriores, el dimensionado de los servicios e instalaciones, dado que es imprescindible para la colocación correcta de todos los elementos, los puntos de anclaje de los distintos elementos de las instalaciones y ubicación de éstos, etc.

En este punto, el interiorismo ya puede también estar en LOD 400 debido a que tanto instalaciones como estructura ya están perfectamente definidos y, salvo causa mayor, no deberían sufrir modificaciones.

Modelo As Built.

Durante la ejecución del proyecto pueden haber surgido situaciones que hayan propiciado la modificación de diferentes instalaciones o distribuciones interiores al margen del proyecto de ejecución, siendo interesante que el modelo recoja tales modificaciones para su posterior uso como puede ser para mantenimiento o incluso el desmantelamiento del edificio. Como ya se ha dicho, este sería un nivel LOD500 y su modificación debe ser muy restringida durante la vida útil del edificio puesto que es importante que este modelo sea lo más exacto y fiel a la realidad que sea posible, lo cual requiere un trabajo de actualización y comunicación con los distintos instaladores participantes en la ejecución del proyecto muy grande.

Es necesario señalar cómo a medida que el proyecto avanza en el tiempo a través de sus fases se hace menos necesario la modificación del modelo, de acuerdo con la teoría de que las modificaciones realizadas en un proyecto generan menor coste cuanto más cerca de la fase de diseño se encuentre. Es decir, una vez sobrepasada la fase de diseño en detalle las modificaciones en el modelo deberán ser mínimas para evitar los sobrecostes en el mismo. De hecho, en la fase del Modelo As Built, en realidad los intervinientes que aportan datos al modelo no hacen una función de diseño, sino que sólo aportan la información de cómo ha quedado construido el edificio.

A. – SUBESTRUCTURA
A10.- CIMENTACIONES

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección Proyecto	350/400
EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

A20.- CERRAMIENTOS

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección Proyecto	350/400
EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

A40.- LOSAS

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección Proyecto	350/400
EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

B. – ESTRUCTURA
B10.- SUPERESTRUCTURA

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	100
DISEÑO BÁSICO	Arquitectura/Ingeniería Estructuras	Arquitectura/Ingeniería Estructuras	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	350
EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	400
"AS BUILT"	N/A	N/A	500

B20.- CERRAMIENTOS VERTICALES EXTERIORES

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	100
DISEÑO BÁSICO	Arquitectura/Ingeniería Estructuras	Arquitectura/ Ingeniería Estructuras	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	350
EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	400
"AS BUILT"	N/A	N/A	500

B30.- CERRAMIENTOS HORIZONTALES EXTERIORES

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	100
DISEÑO BÁSICO	Arquitectura/Ingeniería Estructuras	Arquitectura/ Ingeniería Estructuras	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	350
EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	400
"AS BUILT"	N/A	N/A	500

C. – INTERIORES
C10.- CONSTRUCCIÓN DE INTERIORES

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	N/A
DISEÑO BÁSICO	Arquitectura/ Interiorismo	Arquitectura/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Arquitectura/ Dirección Proyecto	Arquitectura/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Arquitectura/ Dirección Proyecto	Arquitectura/ Dirección Proyecto	400
"AS BUILT"	N/A	N/A	500

C20.- ACABADOS INTERIORES

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	N/A
DISEÑO BÁSICO	Arquitectura/ Interiorismo	Arquitectura/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Arquitectura/ Dirección Proyecto	Arquitectura/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Arquitectura/ Dirección Proyecto	Arquitectura/ Dirección Proyecto	400
"AS BUILT"	N/A	N/A	500

D. – INSTALACIONES Y SERVICIOS
D10.- TRANSPORTE

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

D20.- FONTANERÍA

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

D30.- CLIMATIZACIÓN

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Climatización	Ingeniería Climatización / Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Climatización	Ingeniería Climatización/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Climatización / Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

D40.- SISTEMA ANTI-INCENDIOS

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

D50.- ELECTRICIDAD

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Eléctrica/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Eléctrica/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Eléctrica/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

D60.- COMUNICACIONES

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	N/A	N/A	100
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Comunicaciones	Ingeniería Comunicaciones/Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Comunicaciones	Ingeniería Comunicaciones/Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

D70.- SISTEMA ANTI-INTRUSIÓN

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	N/A	N/A	100
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Comunicaciones	Ingeniería Comunicaciones/Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Comunicaciones	Ingeniería Comunicaciones/Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

D80.- AUTOMATIZACIÓN

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	N/A	N/A	100
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Domótica	Ingeniería Domótica/Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Domótica	Ingeniería Domótica/Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

E. – EQUIPAMIENTO Y MOBILIARIO
E10.- EQUIPAMIENTO

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	N/A	N/A	100
DISEÑO DE EJECUCIÓN	N/A	N/A	100
EJECUCIÓN	N/A	N/A	400
"AS BUILT"	N/A	Interiorismo	500

E20.- MOBILIARIO

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	N/A	N/A	100
DISEÑO DE EJECUCIÓN	N/A	N/A	100
EJECUCIÓN	N/A	N/A	400
"AS BUILT"	N/A	Interiorismo	500

F. – CONSTRUCCIONES ESPECIALES Y DEMOLICIONES
F10.- CONSTRUCCIONES ESPECIALES

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería estructuras	Ingeniería estructuras	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

F20.- ELIMINACIÓN DE MATERIALES PELIGROSOS

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	N/A	N/A	100
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

F30.- DEMOLICIÓN

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	N/A	N/A	100
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras/ Dirección proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Estructuras	Ingeniería Estructuras	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

G. – LOCALIZACIÓN DE LA OBRA
G10.- PREPARACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE OBRA

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	100
DISEÑO BÁSICO	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

G20.- MEJORA DE LA LOCALIZACIÓN

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	100
DISEÑO BÁSICO	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Arquitectura	Arquitectura/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

G30.- SISTEMAS DE LÍQUIDOS Y GASES

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Fontanería	Ingeniería Fontanería/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

G40.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA

FASE DEL CICLO DE VIDA	DISEÑA	MODIFICA	LOD
DISEÑO CONCEPTUAL	N/A	N/A	100
DISEÑO BÁSICO	Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Eléctrica/ Dirección Proyecto	200
DISEÑO DE EJECUCIÓN	Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Eléctrica/ Dirección Proyecto	300
EJECUCIÓN	Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Eléctrica/ Dirección Proyecto	400
“AS BUILT”	N/A	N/A	500

Organización de la documentación.

Para una buena comunicación entre los participantes de un proyecto es necesario que exista siempre un punto de encuentro en común de todos ellos a nivel documental y a nivel de diseño. Es decir, se necesita un modelo único que recoja todas las modificaciones y operaciones hechas sobre el modelo tal como un modelo basado en una nube al que los participantes del proyecto puedan acceder y consultar el estado del diseño en cualquier momento.

En este sentido, algunos programas como Revit ya permiten establecer un modelo base en un ordenador perteneciente a una red, mientras cada técnico mantiene una copia de este modelo en su ordenador de trabajo sobre el que trabaja y, en tiempo real, el modelo base es modificado.

Hacer esto mediante una nube en internet plantea dudas sobre la seguridad de la información depositada en ella (Redmond et al., 2012), dado que no se sabe quién puede estar accediendo a la información. Además, esta práctica presenta también dudas sobre aspectos legales en cuanto a la pertenencia de la información durante el ciclo de vida del proyecto.

También en el caso del software de Autodesk plantea dudas sobre qué hace el programa con la información que está ofreciendo a los usuarios sin que éstos lo sepan a través de la red.

Denominación de los ficheros.

El modelo, lógicamente siempre será un fichero, de extensión SKP por tratarse de un archivo de SketchUp y como todo archivo informático debe ser tratado con cuidado dados los problemas que pueden surgir durante la vida del proyecto.

El fichero de trabajo deberá nombrarse de la siguiente manera:

[fecha AAMDD]_[nombre del proyecto]_[subproyecto]

Esto hace que los ficheros de trabajo se ordenen de manera numérica creciente que en nuestro formato de fecha no se consigue correctamente. Por ejemplo, en un proyecto que sea una EDAR en Logroño (La Rioja), el fichero de trabajo tendría la siguiente nomenclatura a fecha de 25 de agosto de 2014:

20140825_EDARLogroño_Instalaciones

Lo más seguro es hacer copias de seguridad cada cierto tiempo de manera que, ante un fallo de corriente o cualquier accidente con el ordenador, no se pierda el trabajo de todo el día. El problema surge cuando los ficheros adquieren un tamaño demasiado grande en el que el proceso de guardado se alarga considerablemente. Para ello es necesario planificar cada cuánto se debe hacer esa copia de seguridad de manera que exista un equilibrio entre el tiempo que se pierde en el guardado del fichero en el disco duro y la cantidad de información que se perdería en caso de fallo en el sistema. Una buena aproximación es el intervalo de 30-25 minutos que permite un espacio de trabajo considerable aun cuando el fichero alcance un tamaño que requiera unos 10 minutos de guardado.

En SketchUp es posible programar el guardado automático en el que el programa genera una copia de seguridad del modelo, pudiendo aprovechar este fichero como copia de seguridad, pudiendo renombrarlo según la nomenclatura anterior. Para evitar acumular demasiada información de la cual sólo interesa, en principio, el último fichero generado lo más recomendable es borrar los anteriores o grabar encima del existente. Si se dispone de suficiente espacio y el proyecto no es demasiado extenso, se pueden hacer guardados diarios en los que también se puede ver el avance en el proceso de diseño.

La copia de seguridad se debe guardar en dos dispositivos diferentes pudiendo el primero ser una carpeta del ordenador de trabajo y otra en el servidor de la red o en un dispositivo extraíble, tal como una unidad de disco duro extraíble.

Cuando se editen planos es muy importante tener en cuenta que las modificaciones realizadas en el modelo producen revisiones en los planos y es muy necesario informar a los intervinientes del proyecto de qué revisión de plano es la vigente. Para ello es conveniente hacer un listado de los planos indicando la última revisión de los mismos que debe estar en poder de todos los participantes de manera que nadie tenga dudas a este respecto, ya que esto produce muchos problemas a nivel de comunicación en los proyectos.

Proceso de Diseño.

Dado que SketchUp todavía no es capaz de trabajar en la nube por sí mismo, aunque ya hay plug-ins como *CloudUp*, que sincroniza el modelo de SketchUp en nubes como Dropbox, es necesario plantearse una metodología de trabajo que permita la coordinación entre distintos técnicos que trabajan en diferentes áreas de un modelo. En efecto, hay que tener en cuenta que en proyectos de tipo pequeño puede ser un único técnico quien procede a hacer el diseño, pero puede ser que dada las características del proyecto sea necesario la colaboración de más técnicos para la implementación del proyecto de ejecución.

Por lo tanto, ya que varios usuarios no pueden trabajar sobre el mismo modelo a la vez, lo lógico es pensar que los usuarios trabajen sobre diferentes modelos que más tarde ponen en común.

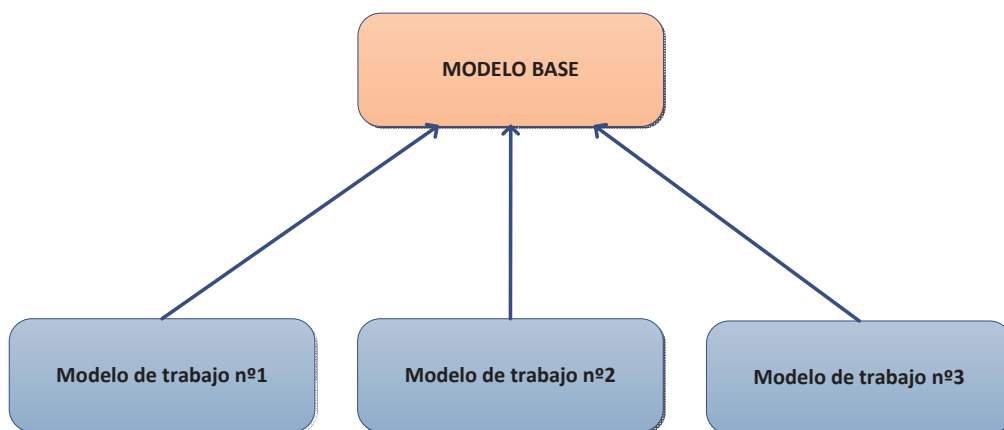


Fig. 4. 1- Estructura del proceso de diseños. Fuente: elaboración propia

Cada técnico o usuario tendrá su modelo de trabajo orientado hacia su área de conocimiento como, por ejemplo, la instalación, donde el técnico modela todos los elementos que requieren las mismas en los diferentes Niveles de Desarrollo (LOD). Cada uno de estos técnicos aplicará los criterios de almacenamiento del modelo antes descritos de manera que se proteja la información en caso de un fallo del sistema, indicando en el nombre del archivo es subproyecto que le corresponde.

Cada cierto tiempo, por ejemplo 48 horas, es necesario poner en común los modelos para que las modificaciones realizadas por las otras partes no sean demasiado extensas, provocando conflictos entre los modelos. Esta puesta en común la realiza un coordinador del Modelo que, sin tener que ser un técnico cualificado, une las partes modeladas por cada uno de los técnicos de proyecto.

La cuestión se reduce a cómo unir una serie de modelos diferentes entre sí en uno sólo sin que haya problemas de sincronización ni de pegado, es decir, que los componentes del modelo estén donde tienen que estar sin moverse, pero la solución es simple.

El modelo base, así como los modelos de trabajo, tendrán insertado un elemento que representa una referencia física en el mismo. Esta referencia, que debe ser lo más clara posible, estará siempre fuera del modelo para que no se produzcan confusiones con otros elementos del mismo. Es necesario que durante todo el proceso de trabajo con los modelos, esta referencia sea convertida en grupo

y bloqueada, usando el menú del botón derecho del ratón, impidiendo así que se pueda mover o arrastrar por error dando lugar a la pérdida de la referencia.

Cada responsable de área (Arquitectura, estructura, instalaciones) debe gestionar la entrada de información en el modelo por medio de las capas del mismo que son de su competencia. Por ejemplo, el responsable de estructura gestionará la modificación de las capas con nombre de grupo EST de manera exclusiva, ya que las pertenecientes a ese grupo son las relativas a la estructura.

Aunque no es necesario, sí es conveniente por seguridad copiar esta referencia física en cada una de las capas del área de trabajo de cada técnico, dado que en caso de un accidente con dicha referencia, siempre se tendrá una copia en las capas, de manera que se pueda recuperar.

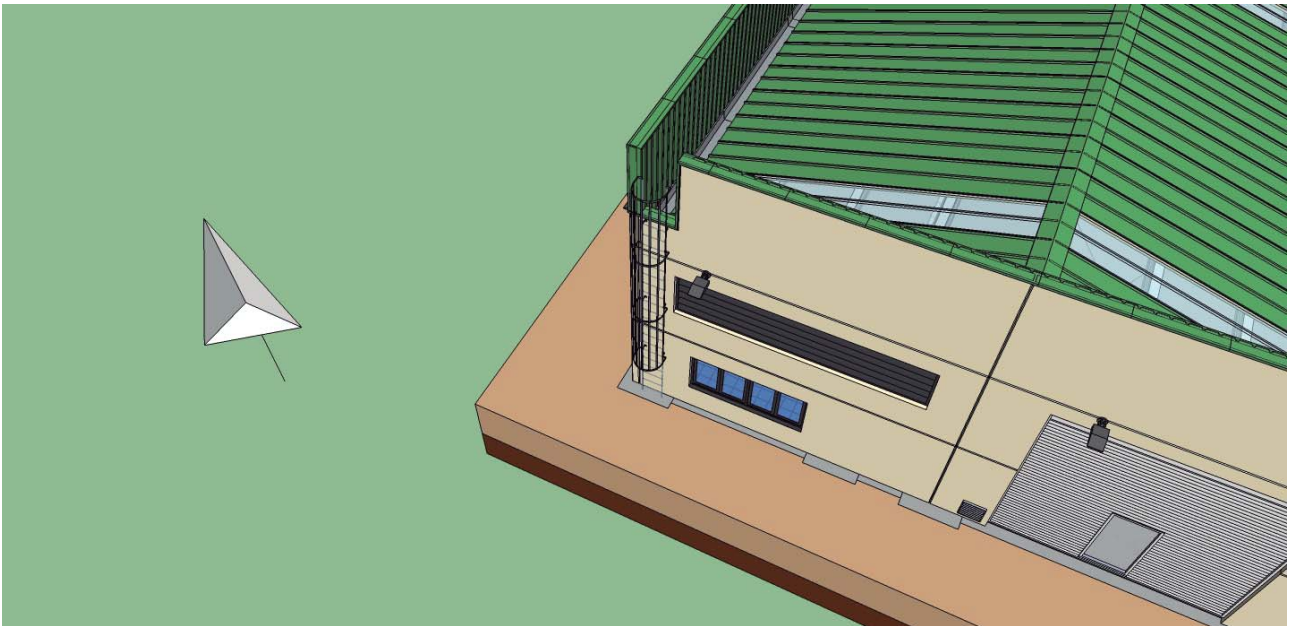


Fig. 4.2- Imagen de un modelo 3D donde se aprecia la referencia. Fuente: elaboración

Cuando el técnico tenga que enviar su modelo al coordinador del Modelo base para su inserción en éste, desactivará las capas que no tienen que ver con su parte del trabajo, dejando sólo visibles las capas que contengan, en este caso, la estructura.

A su vez, debe abrirse un fichero en blanco donde se hará el traslado de los elementos al modelo base.

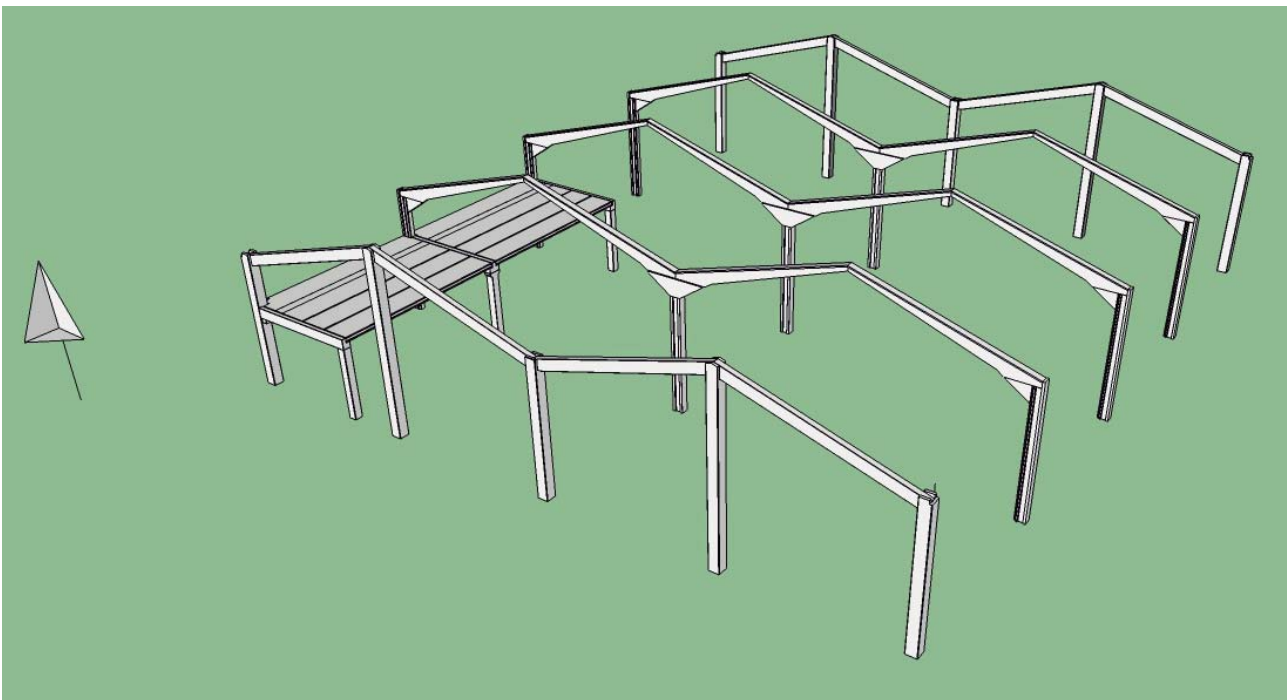


Fig. 4.3- Modelo 3D mostrando los elementos a transferir. Fuente: elaboración

Teniendo sólo activas estas capas, es posible seleccionar de un modo rápido los elementos que interesan exportar, no olvidando nunca la referencia del modelo. Esta referencia, en este momento en el que se va a enviar al fichero base, debe ser desbloqueada ya que de otro modo no será posible copiarla, volviendo a bloquearla nadad más realizar el proceso por motivos de seguridad.

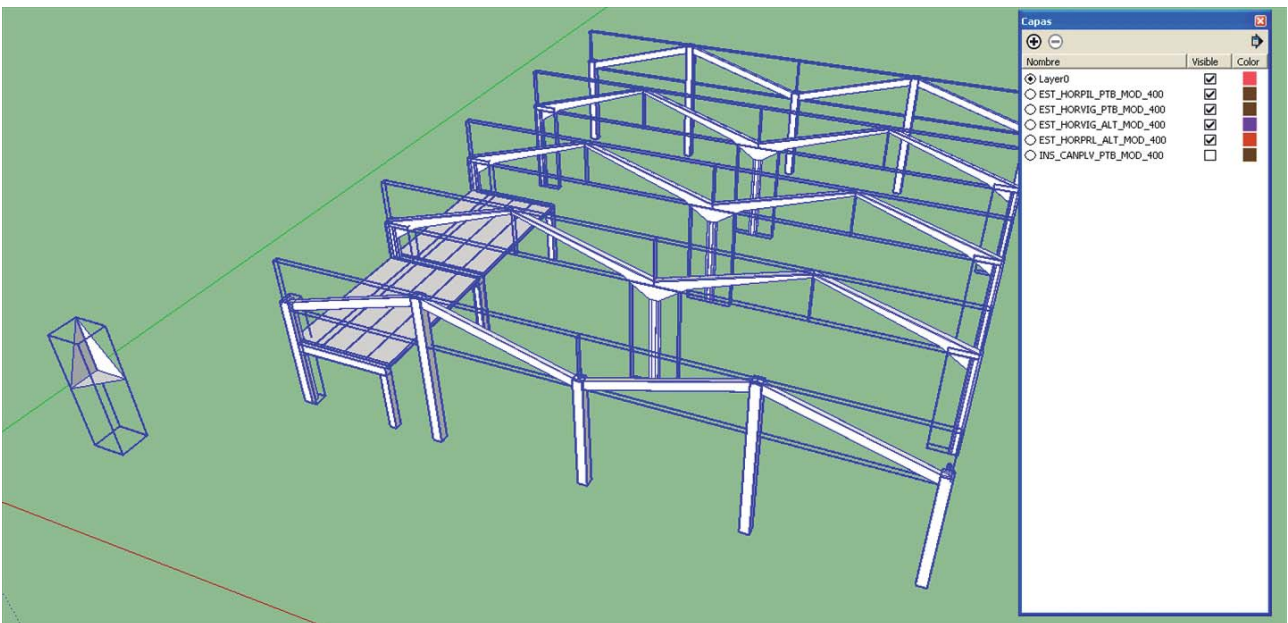


Fig. 4.4- Selección de los elementos de las capas activas. Fuente: elaboración

Pegando los elementos seleccionados en el fichero en blanco, éste puede convertirse en un fichero que se puede denominar “de transición”. En este fichero sólo estarán incluidas las capas afectadas por el área de trabajo del técnico, además de la referencia, siendo nombrado de manera que quede claro que es un fichero de transición para no ser mezclado con los ficheros de seguridad, siguiendo la nomenclatura:

[fecha AAMDD]_TRANSICIÓN_[Nombre del Proyecto]_[Subproyecto]

Estos ficheros de transición se guardarán también en copias de seguridad de manera que puedan ser recuperados en caso de necesidad siguiendo las pautas anteriormente descritas.

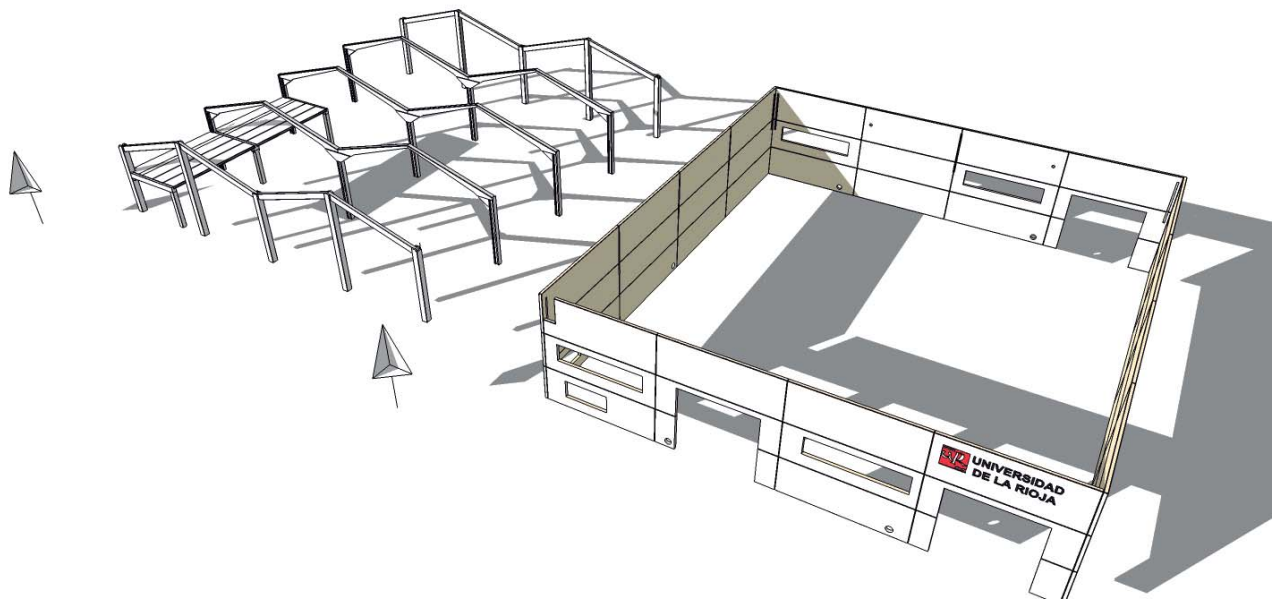


Fig. 4.5- Copia de los elementos seleccionados en el Modelo Base. Fuente: elaboración

A la hora de pegar las partes del modelo sobre el Modelo Base, cada conjunto de capas que se pegue es conveniente convertirlo en grupo, dado que es la mejor manera de no dejarse nada atrás a la hora de moverlos.

Se debe hacer coincidir las marcas de referencia para insertar ambas partes en el punto exacto, simplemente seleccionando uno de los grupos y moviéndolo hacia la referencia de la otra parte.

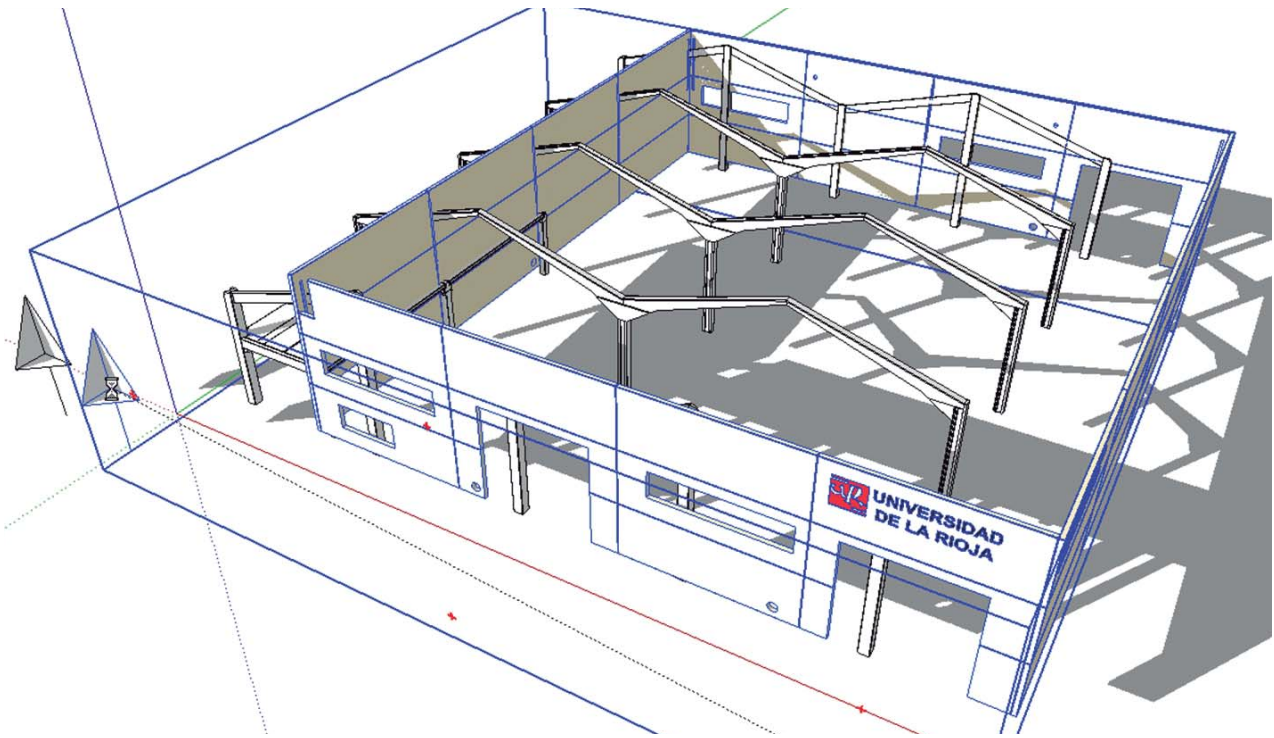


Fig. 4. 6- Conversión en grupo del conjunto de capas. Fuente: elaboración

Si por cualquier motivo, la referencia del modelo molestará a nivel visual, hay que recordar que los objetos de SketchUp pueden hacerse invisibles en el menú del botón derecho del ratón, con lo que ésta se ocultaría mientras sea requerido.

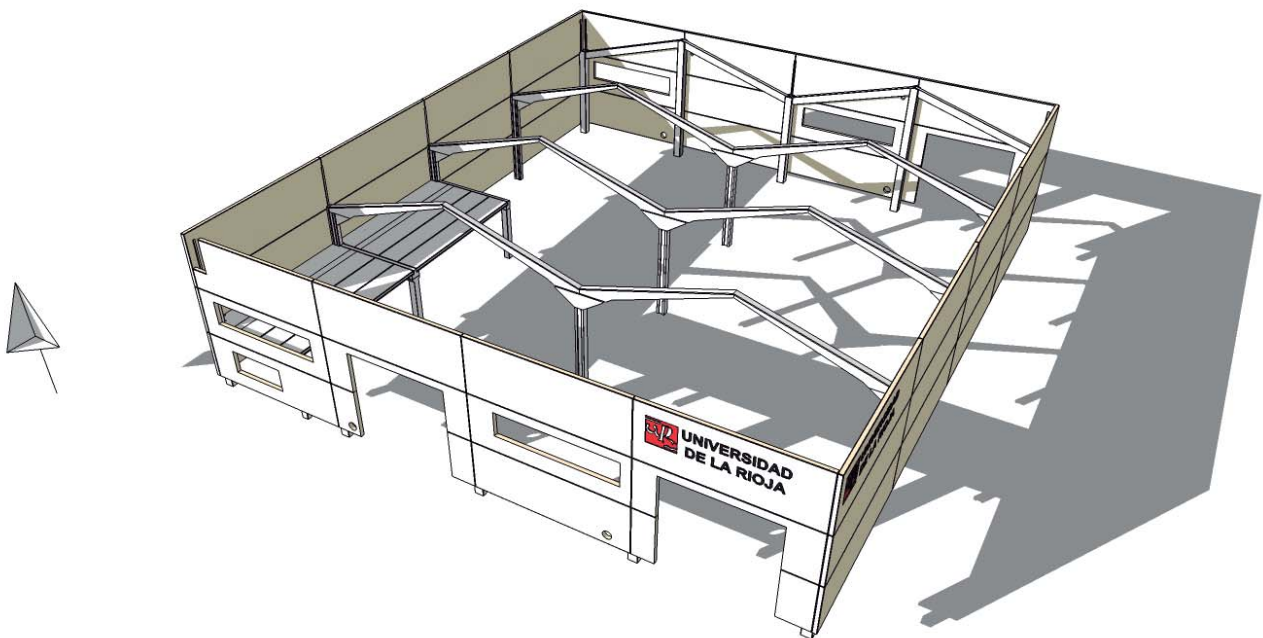


Fig. 4. 7- Resultado de la unión entre el Modelo Base y las capas seleccionadas. Fuente: elaboración

Los elementos.

Un elemento es cualquier parte, tanto única como múltiple, de un modelo pudiendo ser desde una losa de hormigón, un perfil estructural o una chapa hasta un tornillo o tuerca, que corresponde con un momento cronológico del montaje o de la construcción.

En efecto, suponiendo el caso de un pilar de hormigón, estaría compuesto por dos elementos; uno sería la armadura del pilar y el otro, el prisma de hormigón. Cronológicamente, primero se montaría la armadura y luego se hormigonará la misma, por lo que tanto uno como otro elemento estarán en capas diferentes.

El elemento queda nombrado por seis letras que hacen referencia al componente físico que representa, Así, el hormigón de una losa podría HORLOS, su armadura sería ARMLOS. Lógicamente, es el usuario quien debe decidir cómo nombra las capas pero lo recomendable es que el nombre del elemento recuerde a la naturaleza del mismo. Algunos sistemas de nomenclatura utilizan códigos numéricos predeterminados, pero presentan el problema de que impiden relacionar el nombre del elemento o la capa con su naturaleza, haciendo obligatorio tener un listado con los códigos y su significado o que el usuario los conozca de antemano

Tabla 4. 1 - Ejemplos de nomenclatura de elementos

Hormigonado de Zapatas	HORZAP
Armadura de Zapatas	ARMZAP
Hormigonado de Muro Pantalla	HORMUR
Armadura de Muro pantalla	ARMMUR
Hormigonado de Losa	HORLOS
Armadura de Losa	ARMLOS
Hormigonado de Pilar	HORPIL
Armadura de Pilar	ARMPIL
Hormigonado de Viga	HORVIG
Armadura de Viga	ARMVIG
Hormigonado de Jácena	HORJAC
Armadura de Jácena	ARMJAC

En la tabla anterior se muestran una serie de ejemplos de nombres de elementos en la que se pueden ver cómo están definidos por seis letras que hacen referencia a los materiales que las componen y qué tipo de elemento estructural se trata.

Grupo de elementos.

El concepto de Grupo hace referencia a la agrupación de elementos por áreas como pueden ser la Cimentación, Estructura, Instalaciones. Es, por tanto, la división cronológica más grande y que aglutina más elementos.

Tabla 4. 2 - Ejemplos de nomenclatura de Grupos de elementos

Cimentación	CIM
Estructura	EST
Cubierta	CUB
Instalaciones	INS
Divisiones	DIV
Carpintería	CAR
Fachada	FAC
Estructuras Auxiliares	AUX
Varios	VAR
Accesos	ACC

Urbanización	URB
--------------	-----

La tabla anterior muestra una serie de ejemplos de nomenclatura para los grupos de elementos, siendo nombrados por tres letras que recuerdan a la zona o ámbito de responsabilidad del elemento.

La localización.

La localización se refiere a la zona donde pertenece el elemento, como puede ser el número de planta, ubicación, orientación o cualquier referencia posicional del mismo. Lo más lógico en el caso de una edificación es hacer una distribución por plantas ya que cronológicamente, las estructuras se van montando en sentido creciente y facilita mucho más la visualización del montaje.

Tabla 4. 3 - Ejemplos de nomenclatura de Localizaciones

Sótano	SOT
Garaje	GAR
Planta Baja	PTB
Planta primera	PT1
Planta Segunda	PT2
Sala Calderas	CAL
Planta Técnica	PTT

En la tabla anterior se pueden ver algunos ejemplos de localizaciones, en este caso en una distribución por plantas usando un grupo de tres letras y/o números

Tipo de dato.

Como se ha visto anteriormente, según los niveles de Desarrollo (LOD), la información contenida en un modelo o en un elemento puede ser o no, gráfica, como por ejemplo la información sobre un pilar y su armadura. Esto hace que haya que distinguir el tipo de dato contenido en la capa.

Tabla 4. 4 - Ejemplos de tipos de datos

Texto, indicaciones sobre componentes, anotaciones	TXT
Croquis, dibujo a mano alzada o fotos insertadas.	DIB
Modelo con cierta exactitud de medidas y formas o totalmente acabados.	MOD

Protocolo de modificación de capas.

Una vez visto cómo se debe construir la estructura de las capas, es necesario ver quién puede hacer modificaciones en las mismas para que no haya interferencias en las competencias de los técnicos. Para ello, se define un equipo de proyecto de una manera genérica:

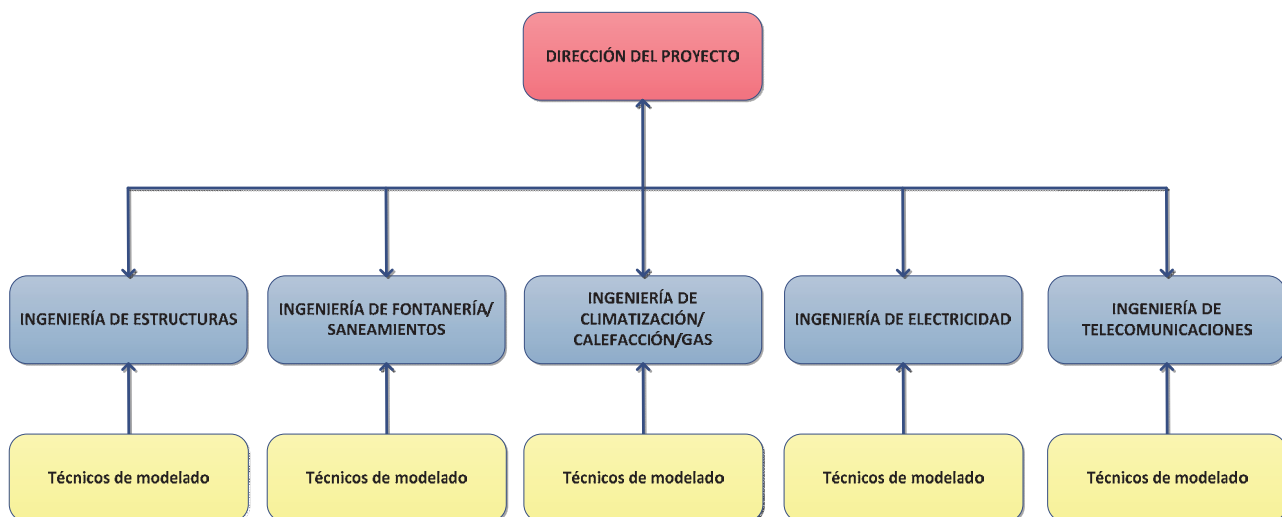


Fig. 4. 8- Esquema del equipo de proyecto propuesto. Fuente: elaboración propia.

En el organigrama del proyecto puede verse en la parte de arriba al director de proyecto que, dado que se trata de un proyecto de construcción, podría identificarse con un Arquitecto. Es el director de proyecto quien tiene la última palabra en cualquiera de los aspectos que se pudieran plantear, aunque no debe modificar por sí mismo ninguna de las capas del modelo ya que puede dar lugar a confusiones e interferencias en el mismo. Es el director del proyecto quien, en función de la información disponible, determina el paso de un nivel de desarrollo a otro en cada una de las áreas de responsabilidad, en función del grado de definición de éstas.

La ingeniería de Estructuras representa toda la parte del proyecto relativa a los diferentes elementos estructurales del proyecto, en cualquier material, independientemente del tipo de técnico que éste sea, y la distribución interior del edificio. Estará autorizado a modificar las capas de Grupos CIM, EST, DIV, FAC y AUX, así como todas las relativas a su área de responsabilidad.

El resto de las áreas como Ingeniería de Fontanería/Saneamientos, calefacción, Electricidad y telecomunicaciones se refiere a todas las instalaciones restantes de la construcción. Los responsables de estas áreas estarán autorizados a modificar las capas del grupo INS pero atendiendo a los elementos que pertenecen a cada área de responsabilidad. Es muy importante por este motivo que cuando los modeladores de un área generen una capa o una serie de capas, lo comuniquen a el resto de las áreas para delimitar su responsabilidad ya que habrá otros elementos que estarán incluidos en capas del grupo INS pertenecientes a otras áreas de responsabilidad.

Es importante que cuando se produzcan modificaciones en el modelo, sobre todo si son importantes o si durante el proceso se detecta que puedan afectar a otras áreas de responsabilidad, se comunique convenientemente al resto de las mismas. Esto previene que haya zonas del modelo sobre las que se está trabajando para luego tener que deshacer el trabajo porque esa zona se haya visto afectada por otra modificación realizada por otra parte.

Organización de Grupos.

Para una mayor sencillez en el proceso de modelado es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones respecto a los conceptos de grupo y componente.

Por un lado, los grupos son entidades individuales, es decir, aunque éstos se repitan por copiado dentro de un modelo si se modifica uno de ellos, el resto de los grupos iguales permanece invariable. Esto implica que si se tiene un gran número de elementos convertidos en grupo idénticos, si se requiriera hacer una modificación en ellos, sería necesario ir modificando uno por uno.

Por otro lado, los componentes son entidades que, aunque se repitan ininidad de veces, quedan todos vinculados los unos con los otros. Es decir, si se necesitase hacer una modificación en todos ellos, basta con hacerlo en uno sólo de los elementos ya que automáticamente todos quedan modificados. Esto que no cabe duda que es una ventaja sobre el grupo, es necesario tener ciertos cuidados para poder aprovechar esta característica convenientemente.

Tanto uno como el otro, pueden ser nombrados e identificados convenientemente para poder ser localizados sobre el modelo. En efecto, mediante la ventana de Información de la entidad, puede indicarse el nombre por el cual se quiere identificar un grupo o componente.

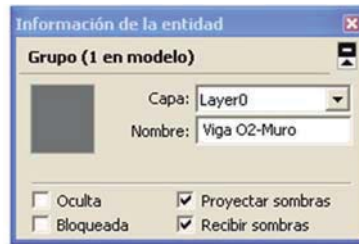


Fig. 4.9- Ventana de información de la entidad

La identificación de un componente o grupo es muy necesaria dado que, usando el Esquema del modelo, facilita la localización de cualquier elemento y, en su caso, modificarlo sin mayores problemas. Esto que a priori no parece algo muy significativo, cobra especial relieve cuando hay muchos grupos y componentes englobados unos dentro de otros en modelos complejos. El Esquema del modelo también da información sobre esta jerarquía establecida entre los grupos y componentes

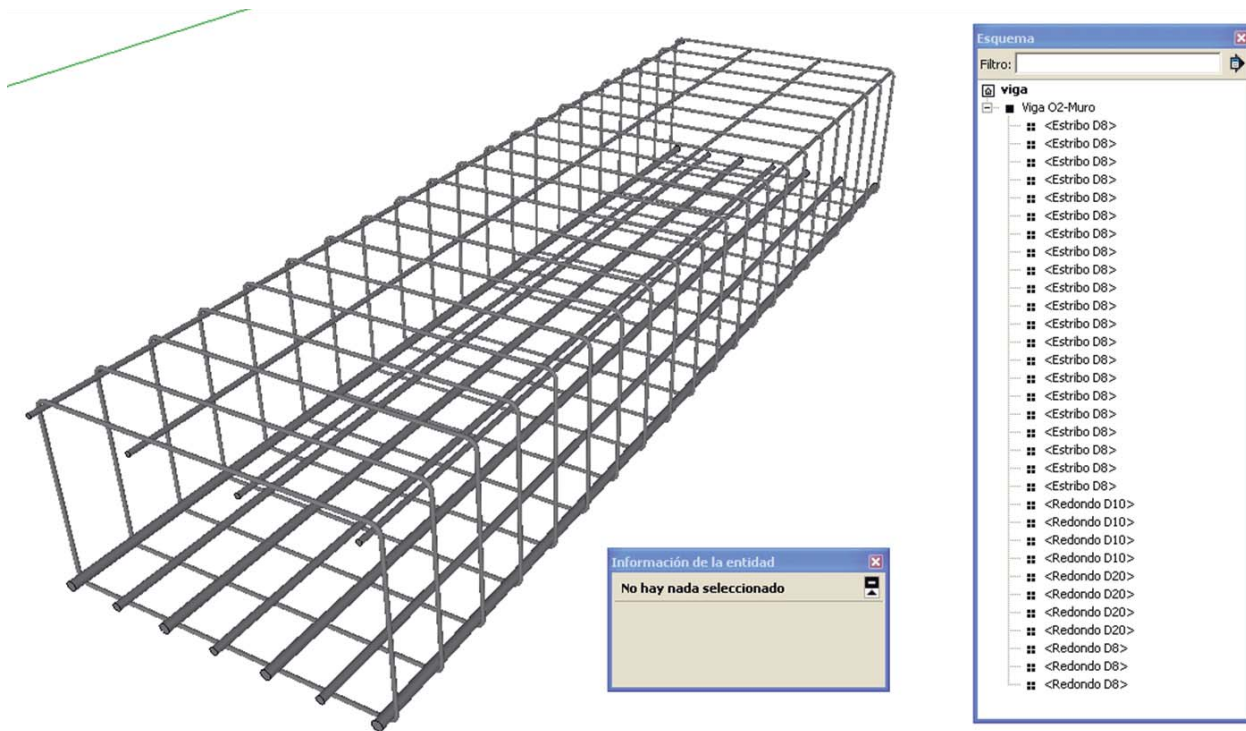


Fig. 4.10- Ventana Esquema de la entidad,

Por supuesto, la combinación de grupos y componentes es muy beneficiosa para la sencillez del modelado, permitiendo aunar las ventajas de uno y otro concepto. Un ejemplo claro sería el caso de la armadura de una viga compuesta por redondos de diferentes diámetros y por un determinado número de estribos. Estos fueron nombrados como "Redondo D 8/10/20" dependiendo de su diámetro de manera que además de ser identificados en el esquema, pueda ser conocido su diámetro sin hacer mediciones. Nótese que aparecen con la forma:

<Nombre del componente>

El nombre debe ser lo más descriptivo que sea posible, bien dando datos de sus medidas o características técnicas o constructivas, aunque se debe evitar información relativa a su ubicación dentro del modelo, dado que puede ser aprovechado para ser copiado en diferentes ubicaciones e incluso capas, por lo que se estaría obligado a cambiar el nombre de los componentes en tal caso con el tiempo que ello conllevaría.

En este caso, los redondos están modelados como componentes de manera que puedan ser modificados todos a la vez en longitud, pudiendo alargar la viga lo que sea necesario de una manera rápida. Así mismo, los estribos también están modelados como componentes, ya que si fuese necesario modificarlos, sólo sería necesario hacerlo en uno de ellos. Sin embargo, todos ellos están incluidos en un grupo denominado "Viga O2-Muro" según el esquema adjunto.

Al igual que en el caso de los componentes, el nombre de un grupo debe ser lo más descriptivo que sea posible, dando si es posible datos de sus características técnicas o constructivas pero evitando asociarlo a ninguna ubicación concreta o capa ya que es posible que sea copiado en diferentes localizaciones, obligando a cambiar este nombre.

Seleccionando uno de los componentes en el esquema, el mismo es localizado y señalado en el modelo, quedando seleccionado para moverlo o modificarlo a antojo. Hay que tener en cuenta, que el cuadro de información de la Entidad permite también hacer a estos elementos ocultos a la vista o bloquearlos, de manera que no pueden ser modificados ni en posición ni en forma.

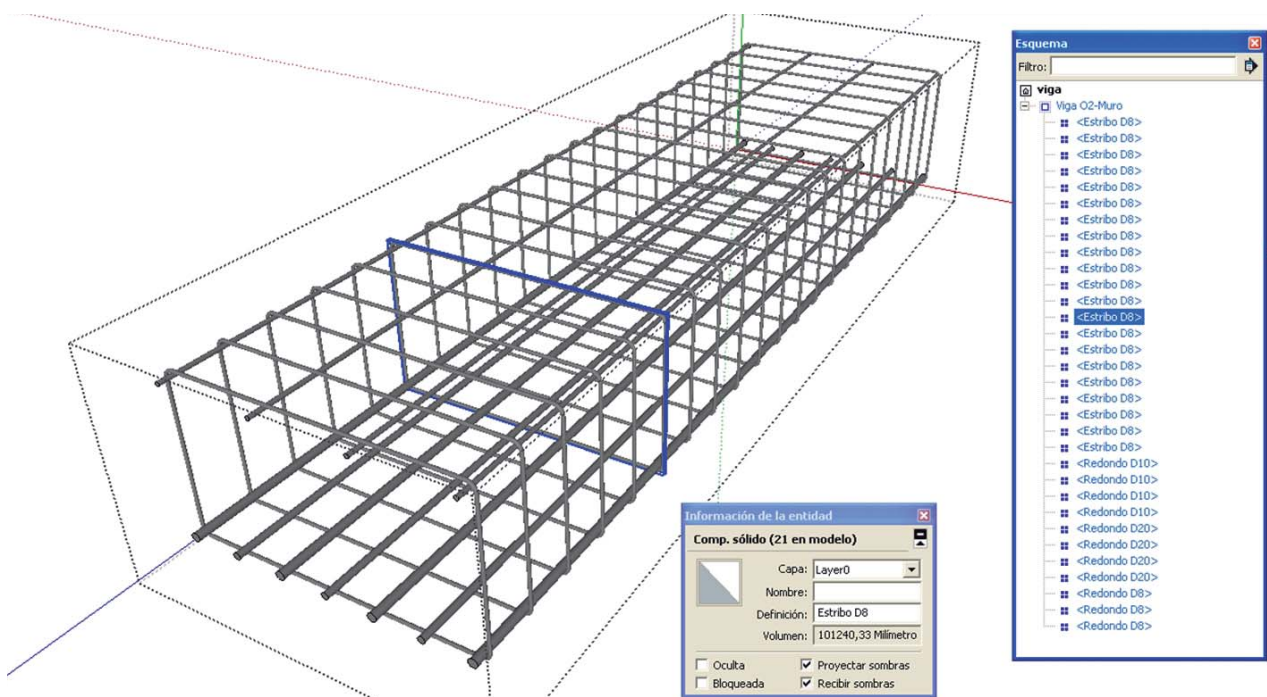


Fig. 4. 11- Ejemplo de selección de una entidad dentro del grupo.

Si se hace doble click sobre el mismo, el editor de componentes se activa pudiendo hacer las modificaciones necesarias en la forma del mismo. Al haber sido creado como componente, hay que tener en cuenta y ser consciente de que las modificaciones se harían a la vez en todos los estribos.

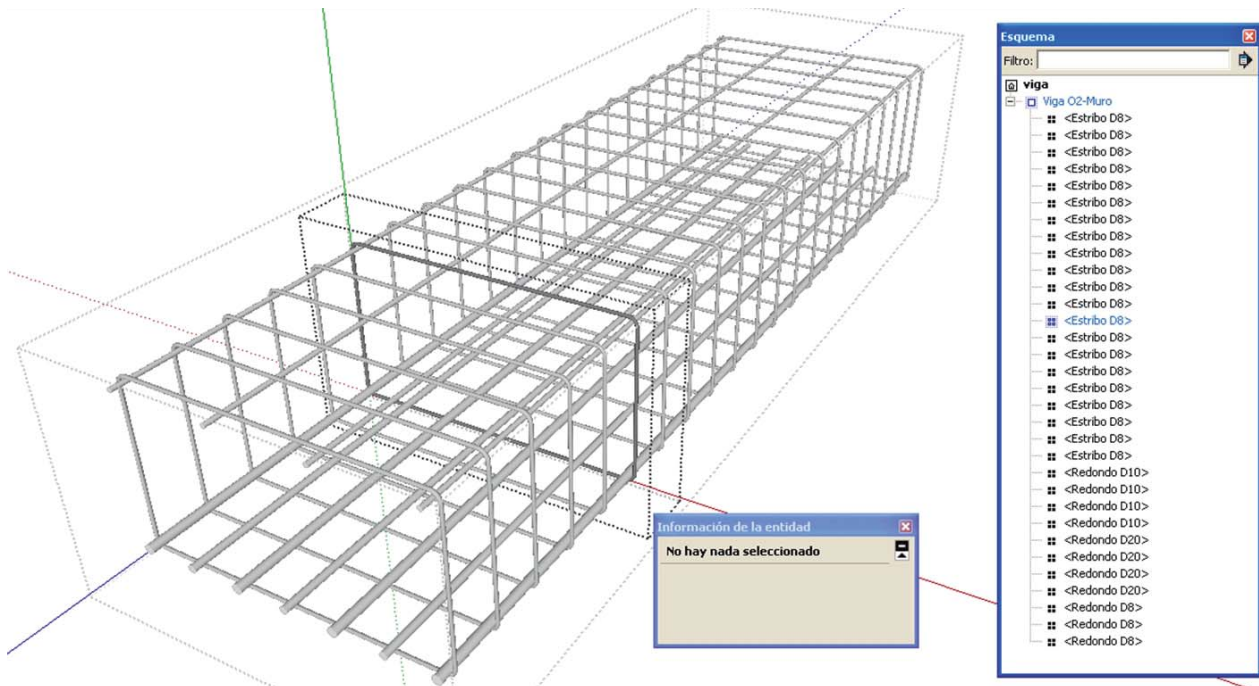


Fig. 4. 12- Ejemplo de edición de una de las entidades que forman parte del componente.

Al nombrar los componentes de la viga del ejemplo anterior con datos que los hace reconocibles implica que puedan ser aprovechados de un grupo para otro, es decir, para otra sección de la viga o de una viga para otra. Esto, sin embargo, puede llegar a ser un problema, dado que el componente sigue siendo el mismo, ya esté en un grupo o en otro, por lo que las modificaciones realizadas en diferentes secciones o en diferentes vigas, afectarían al resto.

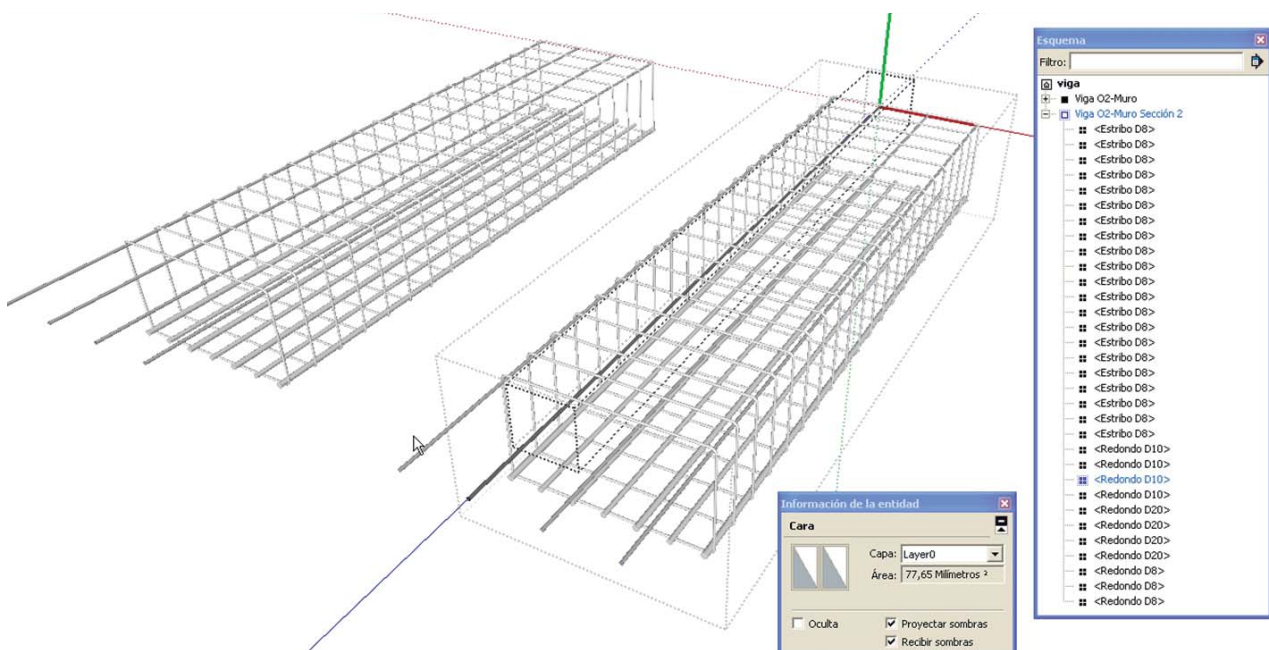


Fig. 4. 13- Ejemplo de duplicación de un componente.

La solución a este problema se haya en una característica de los componentes que permite hacerlos únicos entre los de su mismo tipo, pudiendo conservar el vínculo entre un determinado número que puede interesar, como por ejemplo, dentro de una sección de viga diferente a

la anterior, pero desvinculándolos del resto de sus semejantes. Por ello, cualquier modificación hecha sobre este grupo de componentes, sólo afectará a éstos, por lo que la modificación o modelado de este grupo o elemento será realizado mucho más rápidamente.

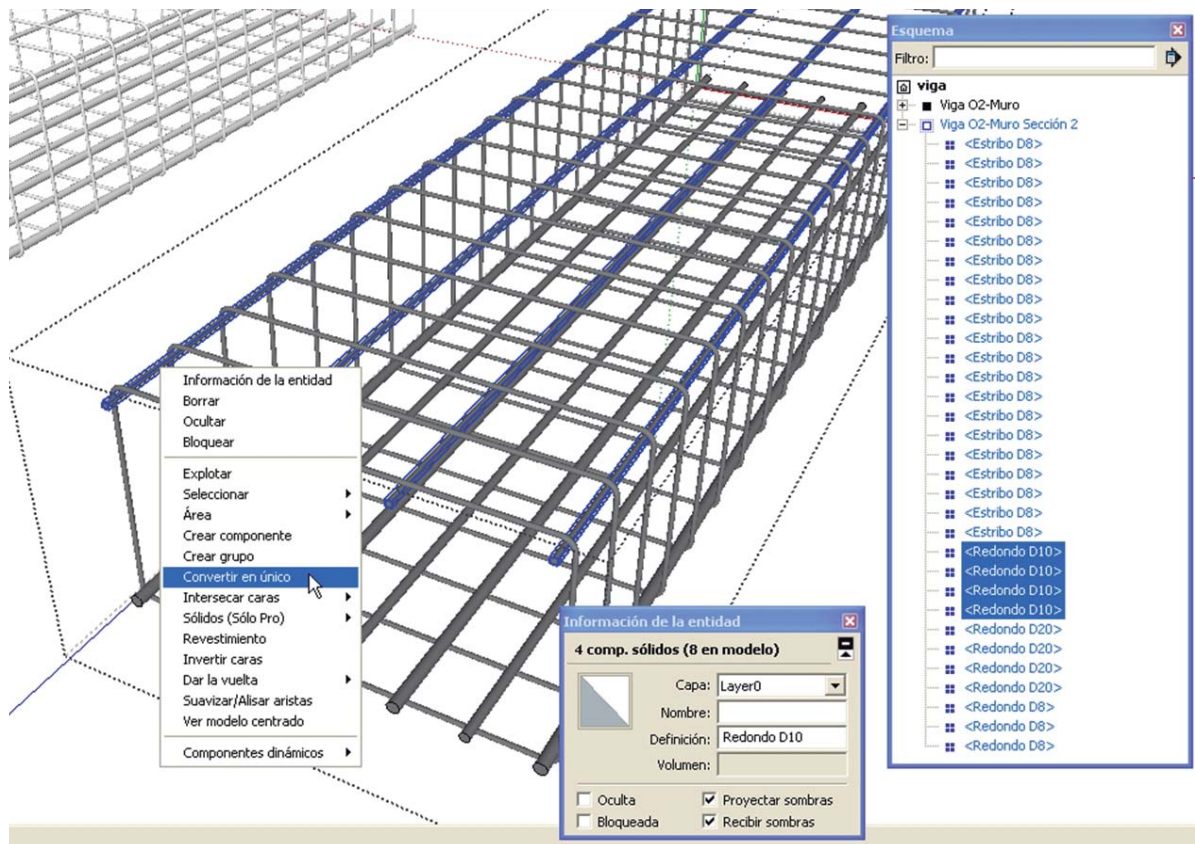


Fig. 4.14- Ejemplo de conversión en "único" del duplicado de un componente con vistas a ser modificado

Esto se puede hacer seleccionando en el Esquema del modelo los componentes a convertir en componentes únicos y accionando el botón derecho del ratón, se selecciona la opción "Convertir en único".



Fig. 4.15- Ejemplo de la visualización en el Esquema de la conversión en "único" de entidades dentro de un mismo componente.

Nótese que en el Esquema del modelo los elementos convertidos en únicos quedan diferenciados del resto por un nombre diferente. Sin embargo, si sólo se modificara el nombre del componente no se conseguiría este efecto ya que todos los componentes iguales comparten todas las propiedades incluido el nombre. Es decir, si cambiamos el nombre de un componente, se lo cambiamos a todos sus semejantes.

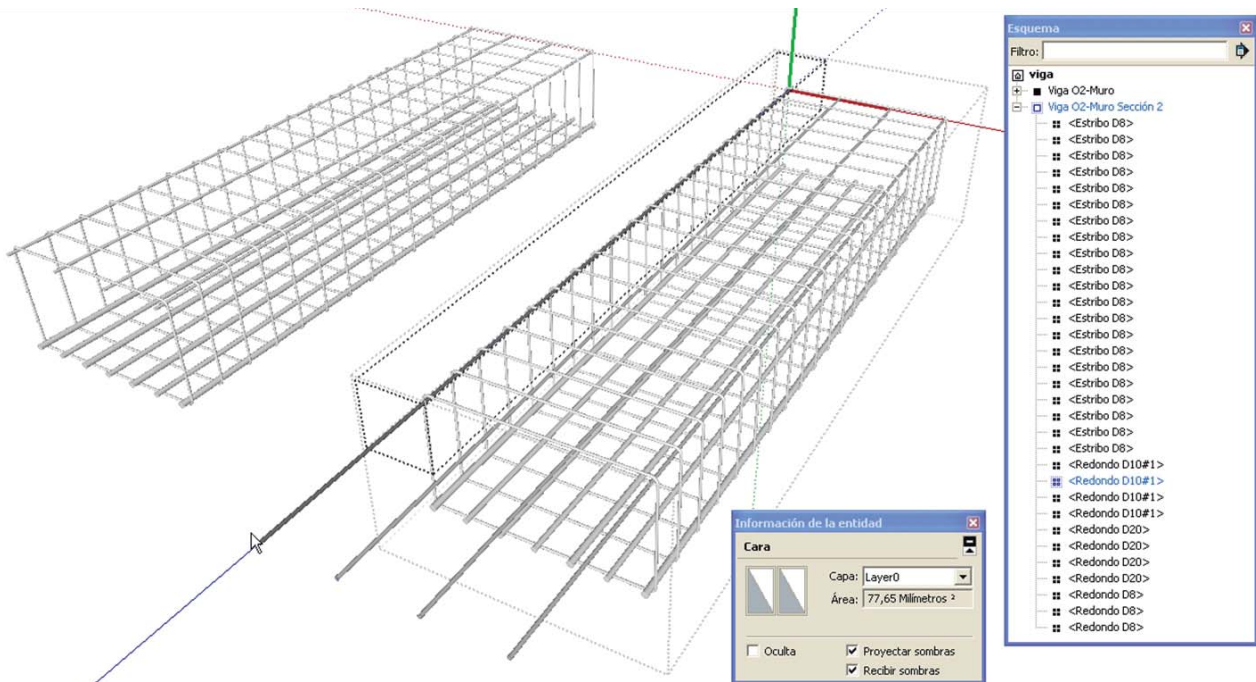


Fig. 4. 16- Ejemplo de cambio de nombre en un componente.

La asociación de un grupo o componente debe ser tratada con cierto cuidado. En efecto, si un grupo estuviera compuesto por un determinado número de elementos, como son líneas o planos, y algunas de ellas pertenecieran a otra capa distinta del resto, al desactivar esa capa por motivos de visualización, parte del grupo desaparecería con los problemas que ello conlleva. Por ello, quien debe pertenecer a una capa determinada debe ser el grupo o componente, nunca los elementos que lo forman, ya que lo más conveniente siempre es que éstos pertenezcan a la capa "0" activa siempre por defecto u otra de similares características. Es decir, se debe modelar siempre en la Capa 0 para luego cambiar el grupo o componente a la capa deseada.

Modelado básico para la construcción

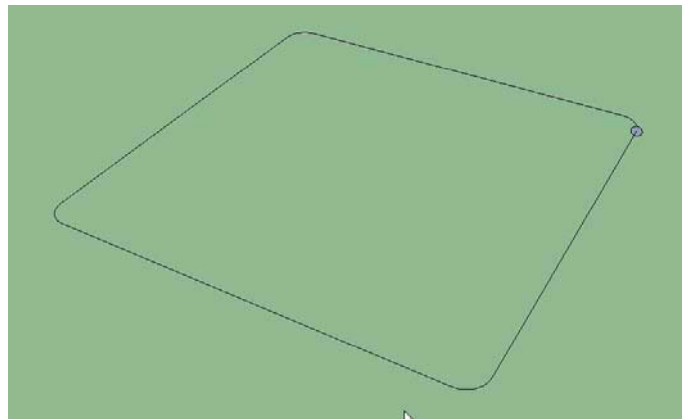
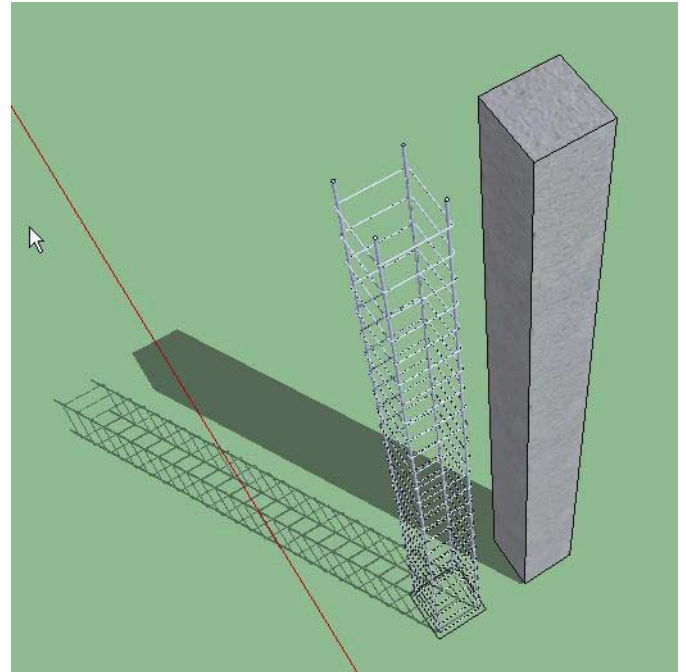
Cuando se modela una estructura de hormigón de un edificio, como es lógico, debe haber dos grandes elementos a tener en cuenta. Por un lado, está el hormigón que recubre la estructura metálica de la armadura y en la que aprovecharemos la característica de SketchUp de trabajar con cuerpos huecos y, por el otro lado, tenemos la armadura metálica. Estos dos componentes deben estar, al menos, en dos capas diferentes ya que a nivel de diseño no tiene sentido que estén mezclados ambos componentes y la posibilidad de ocultar la capa que contiene las armaduras, hará que el programa represente de manera más rápida cualquier cambio de punto de vista que se haga.

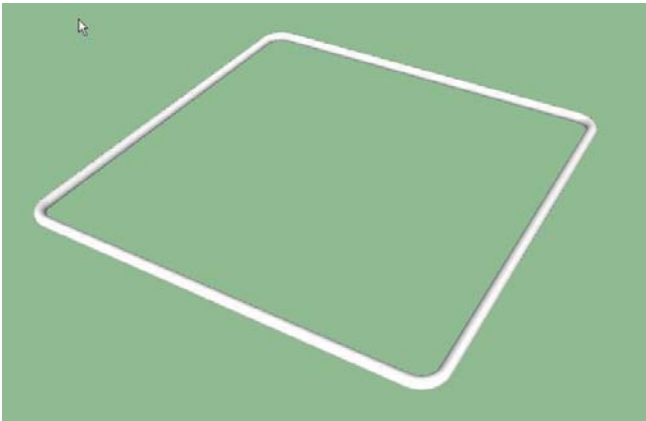
Pilares de hormigón.

El modelado de los pilares se hará en dos partes; por un lado el hormigón que estará incluido en una capa y por el otro, la armadura que, a su vez, estará incluida en otra capa diferente.

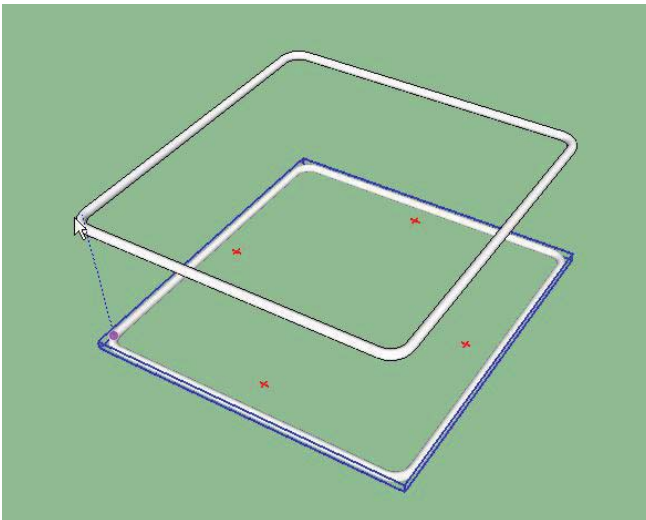
Se debe empezar por la armadura que, como es lógico, estará compuesta por los redondos y los estribos. Los primeros serán modelados como cilindros extruidos hasta la longitud requerida, colocándolos en los vértices de un cuadrado o rectángulo según el caso. Esta operación no reviste ninguna dificultad, ya que SketchUp reconoce por defecto el centro de un círculo para tomarlo como referencia al objeto de moverlo hasta la posición deseada

En el caso de los estribos deberán ser simplificarlos de manera que no compliquen el modelo de manera innecesaria, reduciéndolos a un alambre continuo. El modelado de éstos es, aun así, un poco más complejo ya que deben realizarse por medio de la herramienta que el programa denomina "Sígueme". Esta herramienta realiza una extrusión a lo largo de una línea cualquiera, ya sea recta curva o realizada a mano alzada, tomando ésta como camino a seguir por una determinada sección, que en este caso será un círculo.





Una vez seleccionada la trayectoria y la sección a extruir, se acciona la herramienta "Sígueme" obteniendo la forma de la figura. Acto seguido se debe seleccionar toda la forma y convertirla en un grupo para fijar esa forma y evitar que se deforme de manera accidental.



Una vez modelado el estribo, debe llevarse a su posición dentro de la armadura como si fuese un estribo real para después proceder a su multiplicación a lo largo de la armadura. Para simplificar el trabajo se situará de manera aproximada respecto a los redondos exteriores y de dejará en una posición un poco alejada del extremo. Una vez situado, se procederá a su multiplicación de la siguiente manera:

Se selecciona el estribo como grupo y se acciona el botón "Mover" mientras se mantiene apretada la tecla "Control" del teclado. De esta manera, se genera una copia del elemento seleccionado sin desplazar el elemento de origen, que se colocará en el eje sobre el que se quiere multiplicar el objeto.

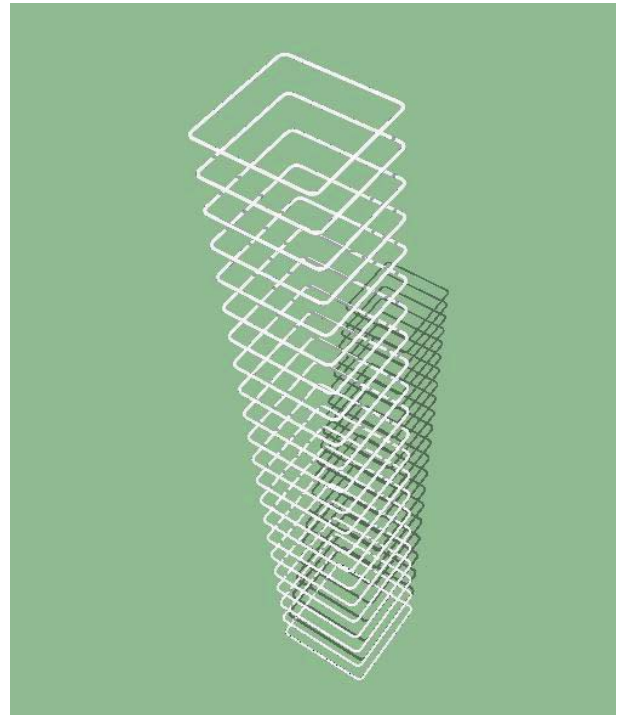


Suponiendo que se quiera representar un estribo con la designación 20Ø8 C/10, es decir, 20 estribos de diámetro 8 mm cada 100mm, se deberá multiplicar el estribo 20 veces con una separación de 100mm. Para que la copia del elemento se quede a 100mm del original, se debe introducir el valor en la ventana de medidas por medio del teclado.



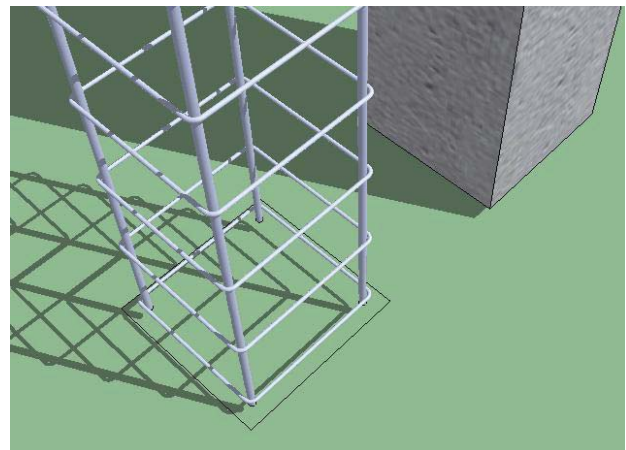
Al pulsar la tecla "Enter", el segundo elemento se situará a 100 mm del anterior. Es importante en este momento no tocar ni accionar nada en la pantalla del ordenador, ya que cualquier cosa interrumpiría el proceso. En este momento se procederá a introducir en la ventana de medidas el valor alfanumérico "X20", tal como se muestra en la figura.

Con esta entrada, se indica al programa el número de repeticiones que se desea, siendo en este caso 20 estribos los requeridos. Los estribos se colocarán automáticamente a la distancia introducida anteriormente, con un vector de dirección dado por la primera repetición, en este caso vertical.

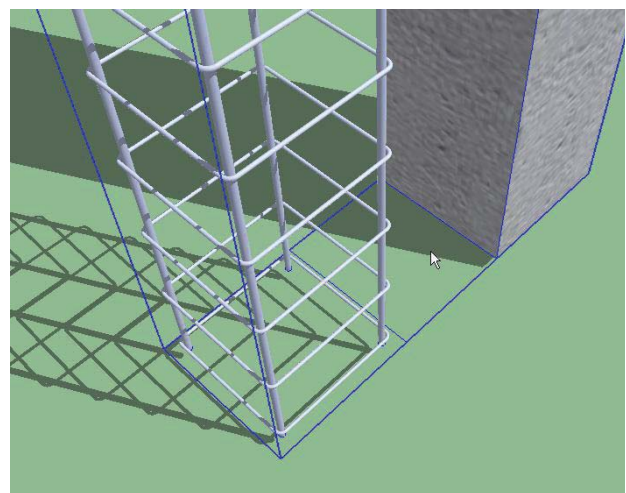


El cuadrado o rectángulo que se utiliza para centrar los redondos de la armadura debe incluirse en el grupo creado con todos los elementos de la armadura. Esto ayudará a colocar la armadura centrada en el interior del prisma de hormigón.

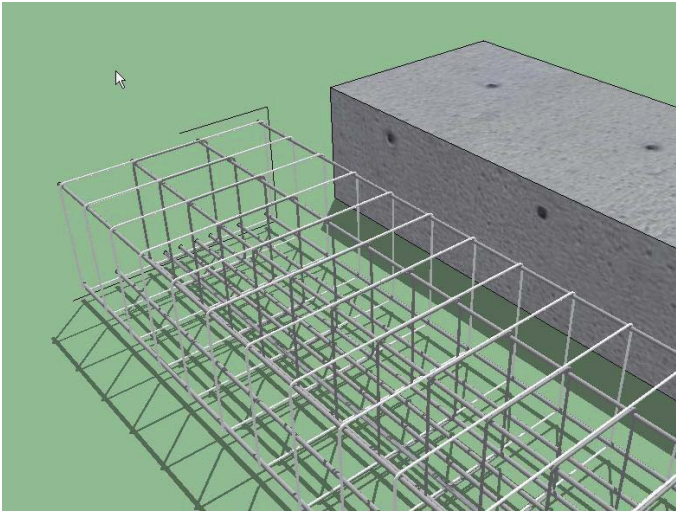
Nunca se debe extraer esta sección para generar el prisma de hormigón ya que SketchUp generará formas huecas alrededor de los redondos que luego darán problemas al hacer recortes o arreglos en el hormigón.



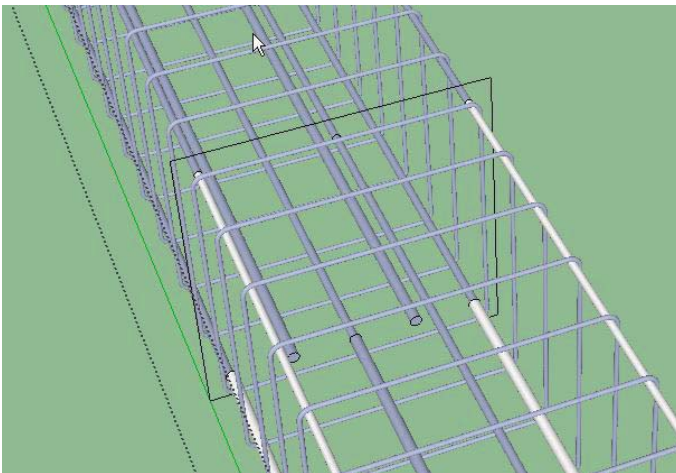
Una vez creado un grupo con la armadura y otro con el prisma de hormigón, se creará otro grupo que englobe a ambos, de manera que luego se pueda mover y colocar en su sitio el elemento en conjunto sin problemas. Luego, dentro de este grupo, se llevará la esquina del grupo de la armadura a coincidir con la esquina del grupo del prisma de hormigón.



Vigas de Hormigón.



Para el modelado de las vigas se procederá de la misma manera que en el caso de los pilares, pero teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos las vigas tienen secciones diferentes dependiendo de la alineación por la que pase.



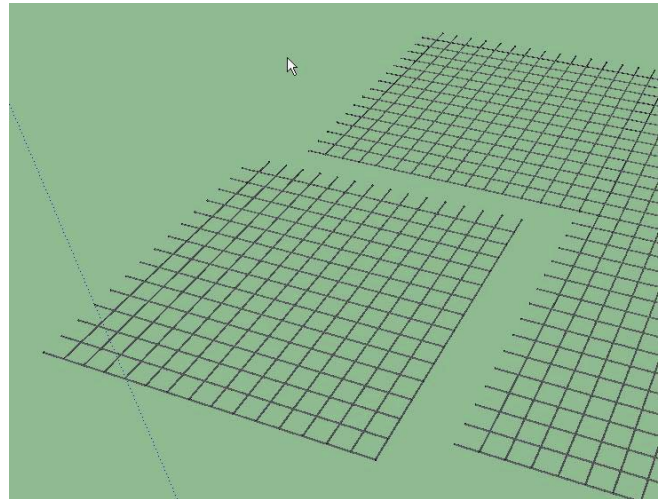
Se debe modelar por secciones, de manera que se simplifique su construcción y permita, a su vez, aprovechar secciones que puedan ser iguales. Por ello, salvo que sea estrictamente necesario, en el caso que dos secciones mantengan geometrías similares en la armadura, no se prolongarán las extrusiones de los redondos atravesando de una sección a otra, ya que esto daría problemas a la hora de copiar las mismas.

Losas y muros de hormigón.

En losas de grandes dimensiones como es el caso de losas de cimentación, zonas de escaleras, losas de garajes, etc, el modelado del mallazo de la armadura puede resultar muy trabajoso debido a las posibles formas más o menos caprichosas de la losa.

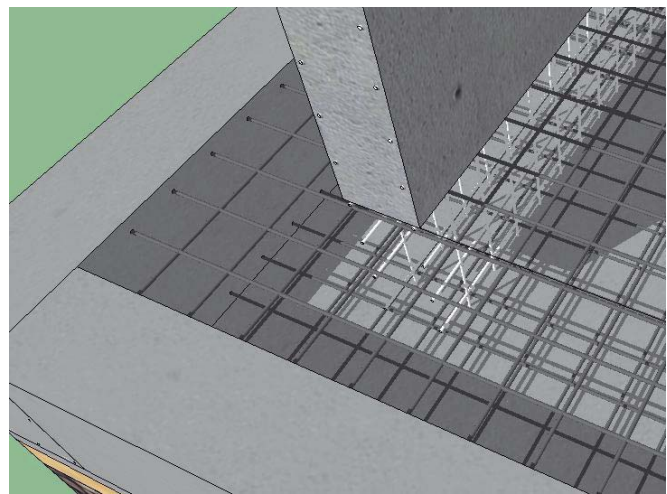
Como ya se ha dicho anteriormente, SketchUp no admite el modelado paramétrico, por lo que no siendo posible parametrizar, se debe modular. Esto es, dividir las formas complejas en formas más simples que sean fácilmente modificables de manera que se ahorre tiempo al hacer los recortes pertinentes, aprovechando las opciones de los Componentes y los grupos.

Al igual que en el caso de vigas y pilares, las losas estarán compuestas por dos grupos, uno con la armadura y otro con el bloque de hormigón. El bloque de hormigón se obtendrá por simple extrusión del perfil dibujado, pero la armadura, generalmente compuesta principalmente por mallazo, deberá ser obtenida por unión de cilindros extruidos a partir de círculos.



Las barras del mallazo deben ser modeladas como componente, no como grupo para tener un mejor rendimiento a la hora de hacer los recortes pertinentes. Estas barras, al menos en una de las direcciones ortogonales, deben ser paralelas al menos a una de las caras del bloque de hormigón de manera que los recortes en esa dirección sean mínimos.

En los recortes siempre será necesario utilizar la opción del componente "Convertir en único" del menú para poder recortar las barras de manera individual según el caso.



Cimentaciones.

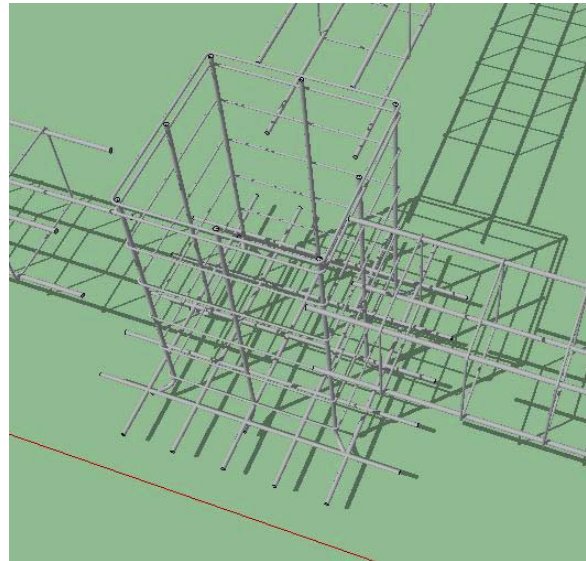
Dentro de los tipos de cimentación que existen, a la hora de modelar con SketchUp se pueden aprovechar las técnicas mencionadas tanto para el modelado de los pilares como de las losas que, por otra parte, son en efecto los componentes básicos de una cimentación.

Cuando se empieza un modelo o se va a modelar una cimentación, lo primero que se debe modelar es la zapata o la losa de cimentación para luego generar el terreno en el que están embebidas, justo al contrario que en la realidad. Esto es debido a que es más fácil adaptar el terreno a la cimentación de la que tendremos planos precisos o unas indicaciones más probables, que al revés. Por supuesto esto se hace más evidente en el caso de zapatas aisladas o zapatas de medianería que en el caso, por ejemplo, de una losa de cimentación.

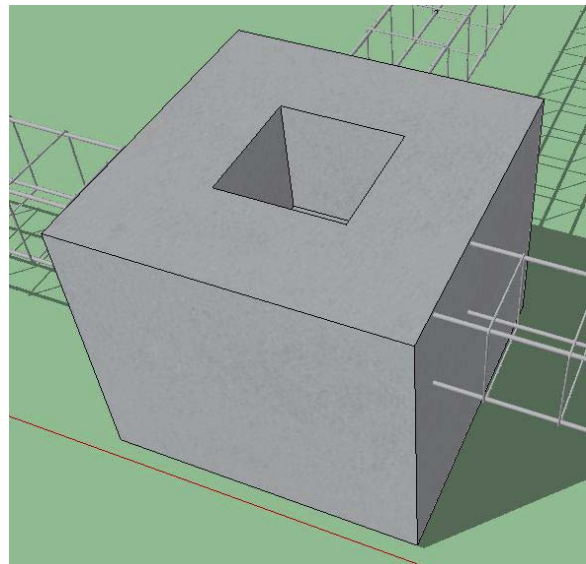
Cimentación por Zapata de Medianería.

Lo primero que se modelará en una zapata de medianería es la armadura de la misma, ya que es la parte de la zapata más compleja pero de la que tendremos más información. Para ello usaremos las mismas herramientas y métodos que para modelar un pilar o una viga, sobre todo en el modelado de la viga centradora.

La armadura, al igual que en los pilares y vigas, estará incluida en una capa distinta de la del hormigón

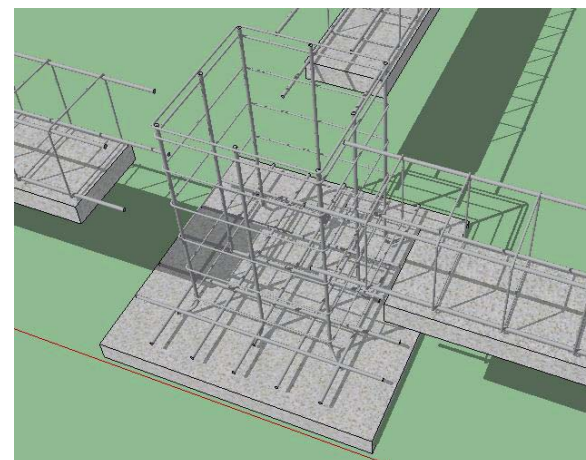


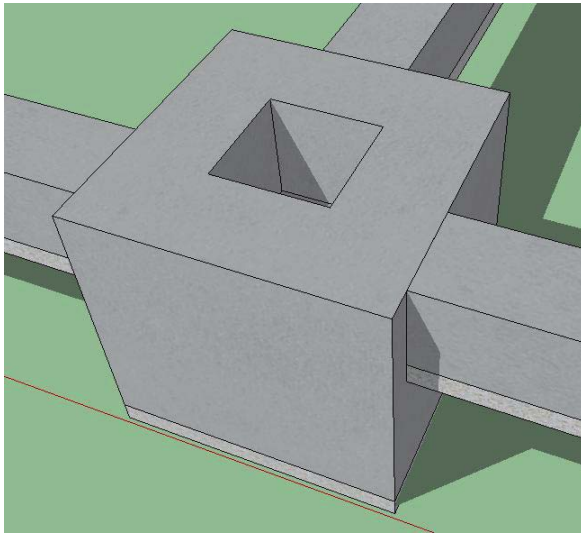
Una vez modelada la armadura de la zapata y de las vigas centradoras, se procederá a modelar el hormigón de las mismas, que, evidentemente será un prisma obtenido por la extrusión de un rectángulo de las dimensiones apropiadas.



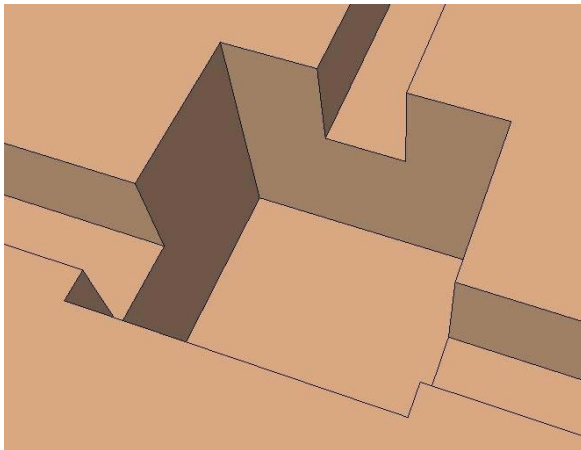
Una vez modelado el hormigón de zapatas y vigas centradoras, es el momento de modelar la capa de hormigón de limpieza tanto en uno como en el otro elemento ya que los prismas de hormigón harán de plantilla para la extrusión.

Esta capa de hormigón estará incluida en una capa distinta de la del hormigón de zapatas, puesto que en realidad el vertido del hormigón de limpieza se realiza en momentos diferentes de la cimentación.





Es cuando ya están modeladas la zapata y vigas centradoras cuando se debe modelar el terreno alrededor de la cimentación. Éste se obtendrá por la extrusión del contorno circundante a la cimentación, realizando los huecos convenientes para encajar el modelo de la misma.



Realizando diversas extrusiones en negativo, se irán formando los huecos en el terreno donde irán las zapatas y vigas centradoras.

Cimentación por losa de cimentación.

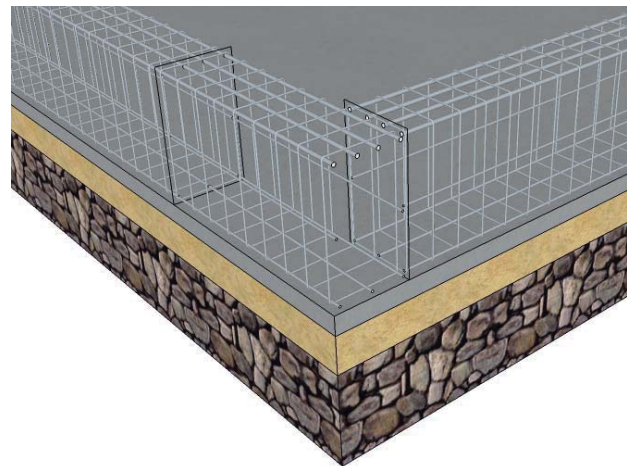


En el caso de la losa de cimentación se puede empezar a modelar por el terreno que soporta la losa o por la losa de hormigón de limpieza, puesto que es indiferente de cara a la practicidad en el modelado.

Básicamente se trata de formas que son extrusionadas, por lo que su dibujo no requiere mayor explicación

En uno u otro caso, el hormigón de limpieza estará incluido en una capa diferente a la del resto del hormigón de la losa y de la del terreno en contacto con la losa.

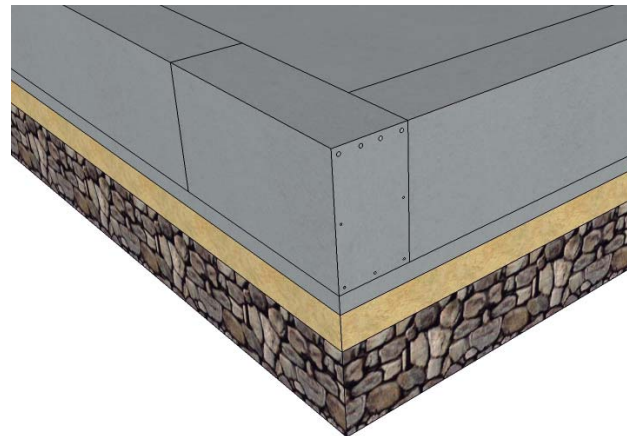
Lógicamente, la armadura de la jácena de la losa de cimentación estará incluida en una capa aparte.



En otra capa distinta, se incluirá el hormigón de la jácena de la losa de cimentación.

En este caso, el hormigón se ha hecho por segmentos, de manera que se pueda modificar más fácilmente.

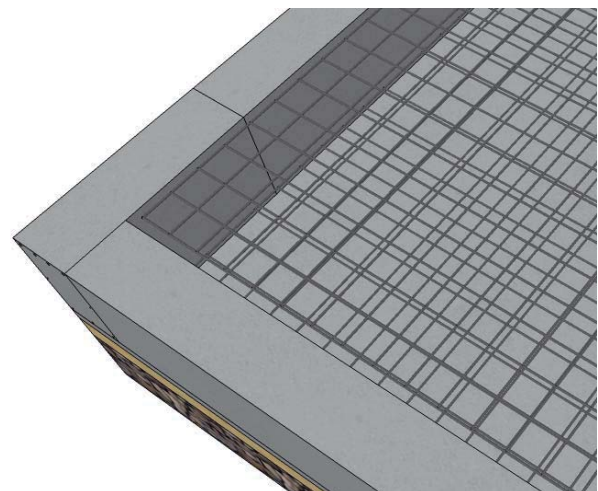
Estos bloques de hormigón es conveniente obtenerlos por extrusión ya que su posterior modificación será más cómoda.

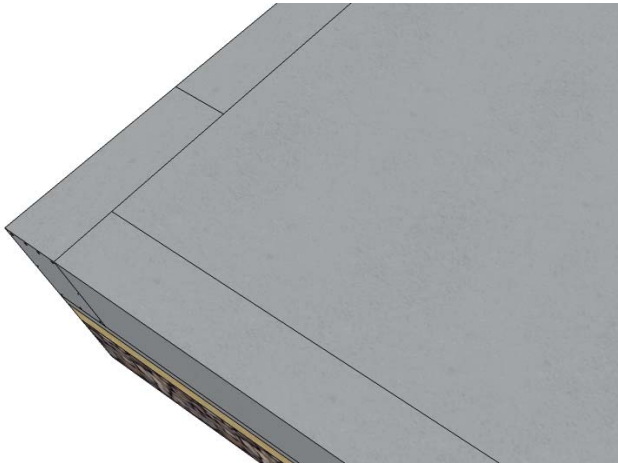


En la losa de cimentación, el mallazo está en dos niveles diferentes de la armadura.

Como en casos anteriores, esta armadura estará incluida en una capa aparte.

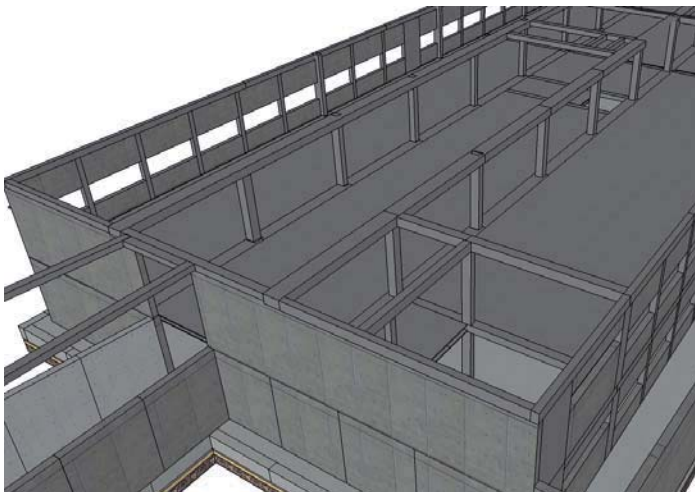
Este mallazo se genera de la manera anteriormente mostrada.



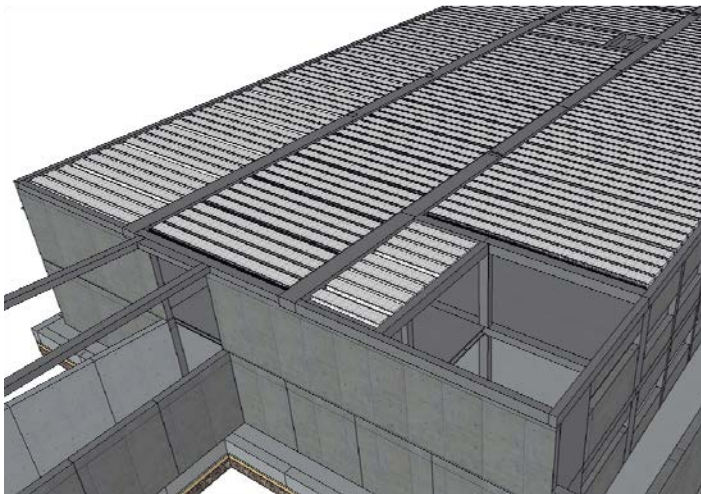


Incluida en otra capa distinta, la losa de hormigón de la cimentación se obtiene también por extrusión del contorno de la misma.

Prelosas/forjados.

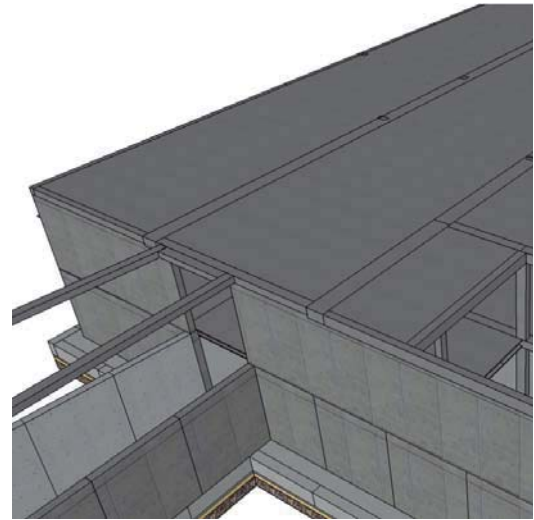


En el modelado de los forjados mediante prelasas de hormigón debe tenerse en cuenta una consideración, que las prelasas constan de varias partes diferenciadas: armaduras o nervios, el relleno de porex y la base de hormigón pretensado

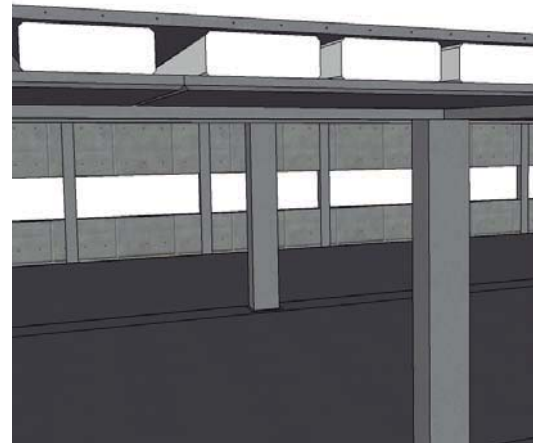


La armadura de las prelasas, que estará incluida en una capa aparte, incluye la losa de hormigón prefabricado en la parte inferior, así como el relleno de porex y, en su caso, las armaduras así como el mallazo de la losa superior.

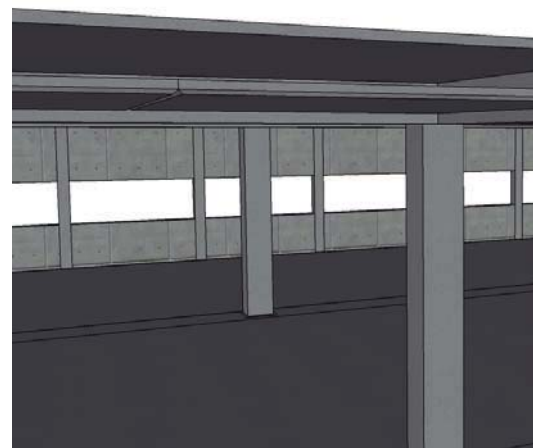
El hormigón, como es lógico, irá incluido en otra capa distinta a las de la armadura.

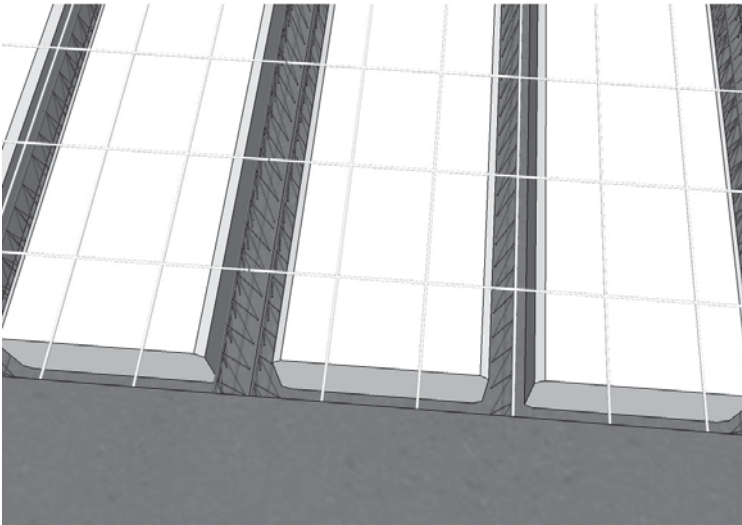


El problema está en que el hormigón de la prelosa debe ser visible tanto cuando la capa de las armaduras está activa como cuando está desactivada.



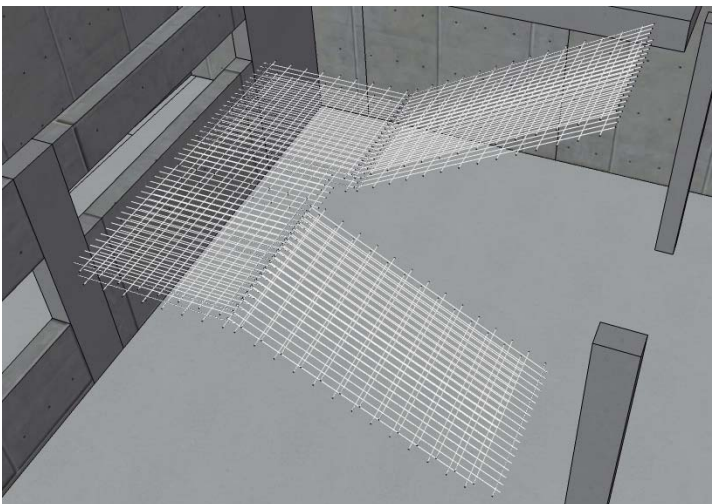
Esto se consigue copiando la losa de hormigón prefabricada en ambas capas, de manera que esté visible independientemente de la capa que esté activa. Es importante que el punto de inserción del elemento sea el mismo en ambos casos para que no haya diferencias en la posición del elemento.



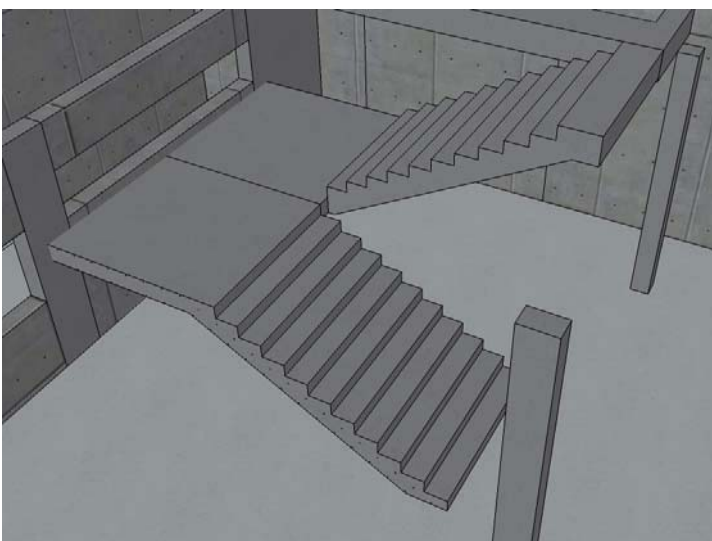


Si las prelosas incluyen armaduras de celosía, deben incluirse en la capa de armaduras, así como el mallazo de la capa superior.

Escaleras.

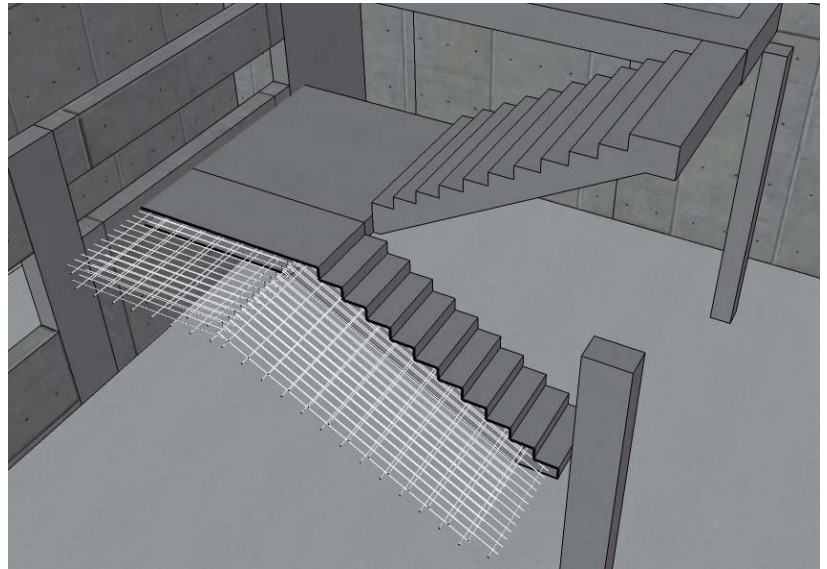


Las escaleras, al igual que otros elementos de hormigón armado, se componen de dos capas; en una estarán las armaduras,



Y en la otra capa estará incluida la capa de hormigón al igual que en otros elementos.

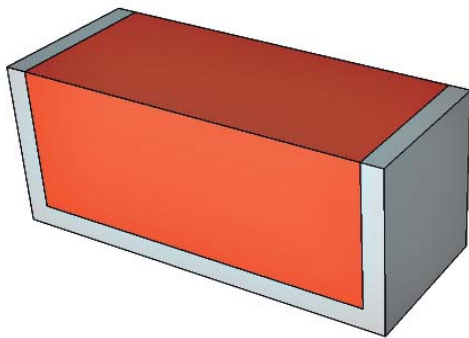
Puede ser muy útil incluir en la capa de hormigón un plano de sección que se puede activar y desactivar cuando sea necesario, de manera que permita visualizar la armadura de la escalera y parte del hormigón a la vez.



Tabiques y cerramientos.

Dado que SketchUp no es un programa de dibujo paramétrico, es necesario buscar la manera de poder controlar ciertos parámetros del modelo. En el caso de los tabiques, es lógico pensar en hacer una superficie extruida con la forma de la pared que se quiere modelar y aplicar una textura de ladrillo proveniente de SketchUp. Esto, aunque es muy rápido de hacer, no permite controlar la cantidad de unidades de ladrillo que se está utilizando en el modelo y el mismo pierde realismo en la representación.

Es necesario tener en cuenta que cuando algo no se puede parametrizar, se debe modular, es decir, hacerlo como conjunto de unidades que podamos configurar rápidamente.

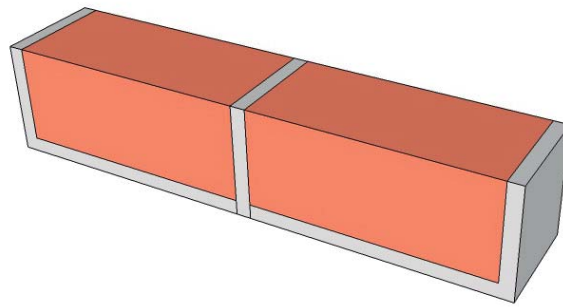


Lo primero que se debe hacer es crear el ladrillo que usaremos como unidad. Como se aprecia en la imagen, éste lleva incluida la capa de mortero (en color gris blanquecino).

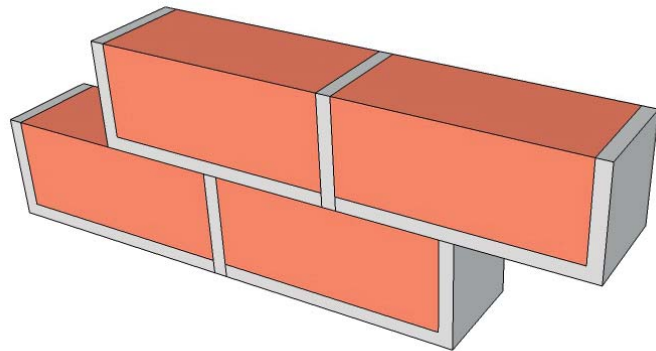
Nótese que el ladrillo no es más que un paralelepípedo debido a que si hiciéramos las cavidades de un ladrillo real, a la hora de hacer los recortes en los remates del tabique sería demasiado complejo.

De esta manera se aligera mucho el dibujo no apreciándose demasiado la diferencia entre una forma y otra.

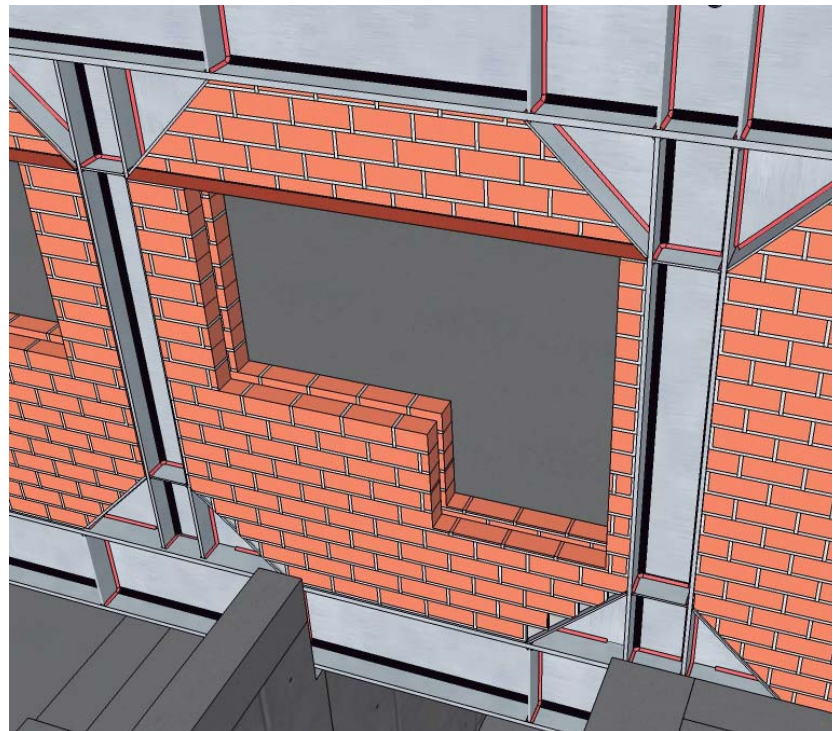
Cuando se unen dos ladrillos, los extremos del ladrillo cubiertos con mortero se deben solapar. De esta manera no importará el sentido de colocación del ladrillo, al contrario que si el mortero sólo estuviera colocado por un lado.

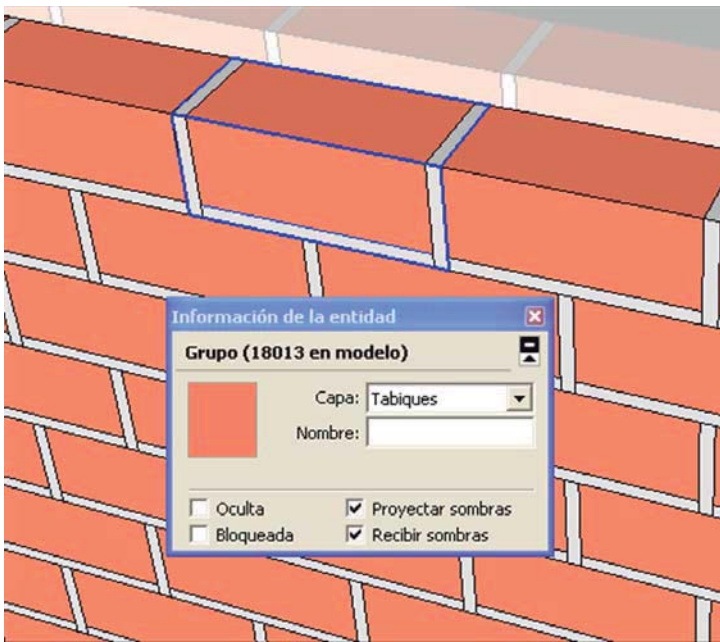


Al colocar una hilada de ladrillo sobre otra, el mortero de la parte de abajo del ladrillo forma la capa entre ambas.



El resultado es un tabique de gran realismo y que se puede modificar de manera sencilla si hiciese falta.





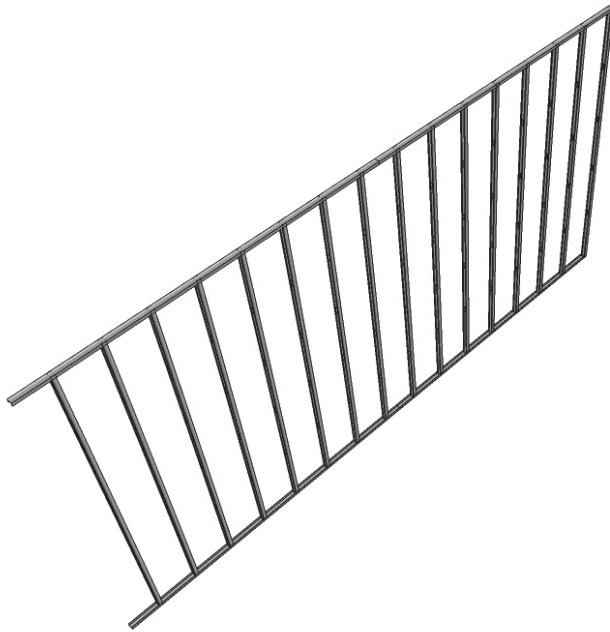
Al haber utilizado un ladrillo unitario, abriendo la ventana de propiedades de la entidad, es posible ver el recuento de las unidades utilizadas en el modelo, de manera que se podría tener una aproximación del número de palés de ladrillo que serían necesarios para una edificación.

Tabiques de pladur.

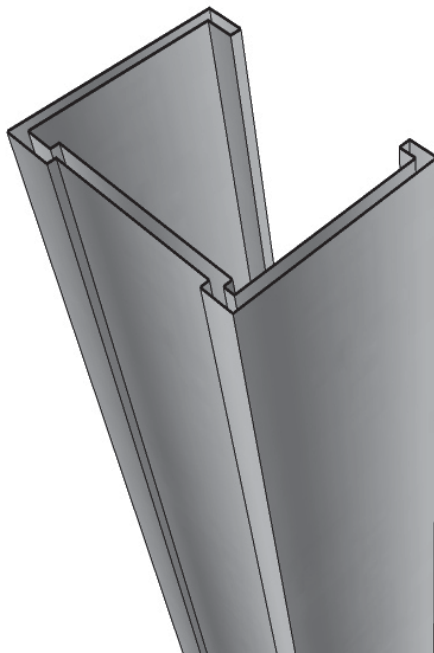
Para el modelado de los paneles de Pladur es necesario partir de dos perfiles básicos de montaje, que son el perfil vertical y el horizontal.

El primero sirve para fijar el panel de escayola en sentido vertical, uniendo la estructura a las paredes y el segundo sirve para rigidizar y unir el conjunto a techo y suelo.



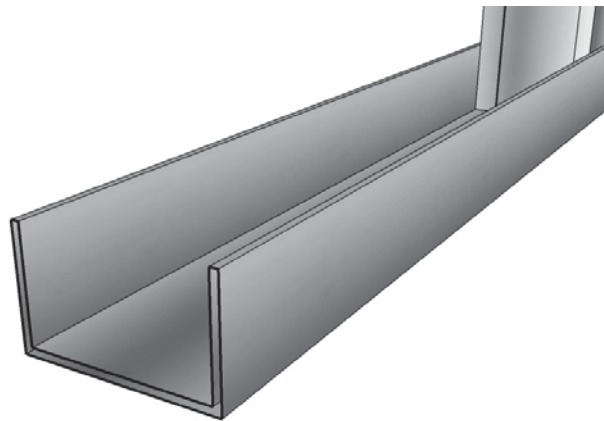


La estructura se forma mediante la multiplicación de los elementos a una determinada distancia que vendrá indicada en el proyecto de ejecución, o por indicaciones del fabricante.



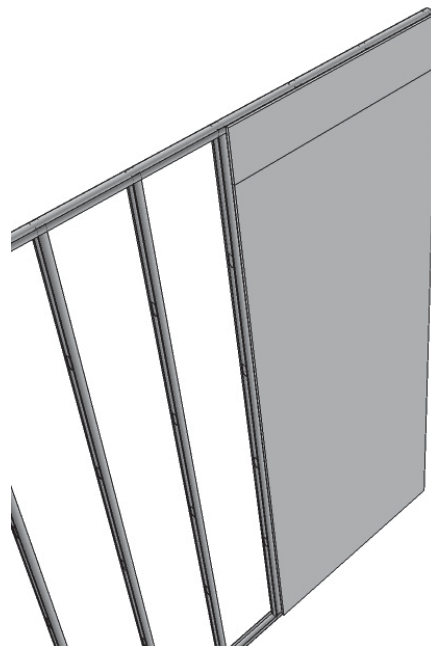
Por supuesto, el perfil metálico se obtiene por extrusión del contorno, tal como se ve en la sección. Generalmente, estos perfiles son fabricados con chapa muy fina (menor a 1 mm de espesor), pero esto daría muchos problemas a la hora de hacer recortes y modificaciones en la extrusión. Por ello, se debe hacer de un grosor que permita trabajar con comodidad a la hora de hacer el modelo. Esto no afectará al resultado, ya que las medidas exteriores del perfil seguirán siendo las mismas.

Con el perfil horizontal, a pesar de que éste tiene una sección más sencilla de U simple, debe actuarse de la misma manera, evitando modelarlo con el espesor real.



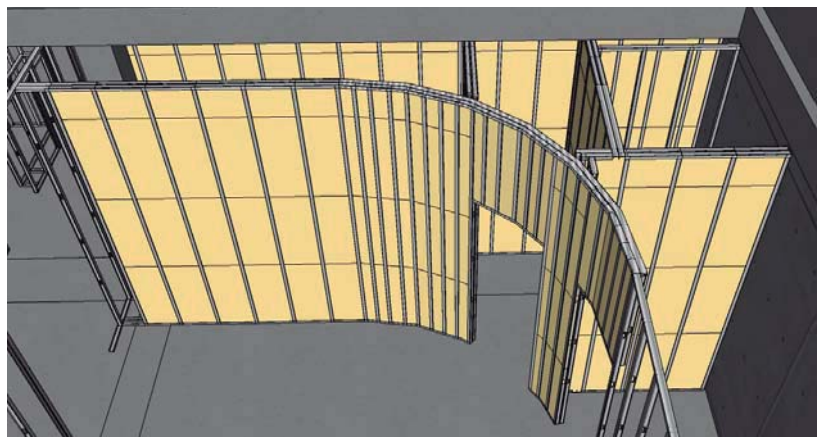
Los paneles de Pladur se realizan sencillamente extruyendo un rectángulo de las medidas dadas por el fabricante. Generalmente, los paneles reales no tienen la longitud suficiente para llenar la altura entre los forjados, por lo que habrá que recurrir a recortes.

Los paneles de Pladur conviene insertarlos en una capa diferente a la de los perfiles para poder trabajar sobre éstos de manera más cómoda.



En ocasiones, es necesario introducir aislantes acústicos dentro de la estructura metálica del tabique, sobre todo en zonas donde existen maquinarias o zonas especialmente ruidosas.

Estos aislantes se obtienen por extrusión de un rectángulo, siendo conveniente el hacerlos de un tamaño que permita trabajar con ellos de manera sencilla. Lógicamente, se debe crear una capa para estos aislantes dado que pueden entorpecer otros trabajos de modelado.



Tuberías de saneamiento y pluviales.

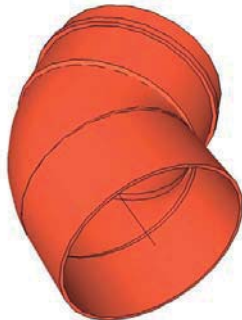
Para el modelado de las instalaciones de saneamiento y pluviales es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones que pueden ayudar a dar más agilidad a las operaciones. Por un lado, se hace imprescindible generar una librería de accesorios con los distintos elementos que se vayan a utilizar en las instalaciones de manera que a la hora de implementar un tramo de instalación sólo se requiera copiar y pegar el accesorio. Estas librerías son, evidentemente, aprovechables para otros modelos posteriores por lo cual no se deben escatimar medidas ni detalles pues pueden ser necesarios más adelante.



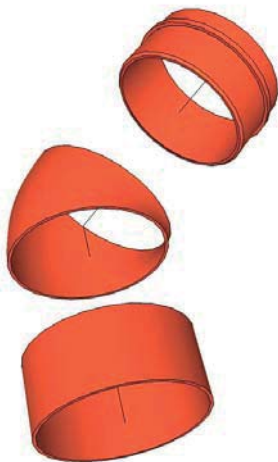
La tuberías de PVC, como cabe esperar, se obtienen por la extrusión de la sección del tubo. Las medidas pueden sacarse de cualquier catálogo de fabricantes especializados. Es importante tener el detalle de dejar en el centro de la sección una línea entre los centros de las caras.

Ésta hará mucho más fácil la unión con los otros accesorios, sobre todo si son obtenidos por superficies de revolución, como ya se verá.

Esta línea debe ser incluida en el grupo de la propia tubería para evitar que al mover ésta, la línea se pierda.



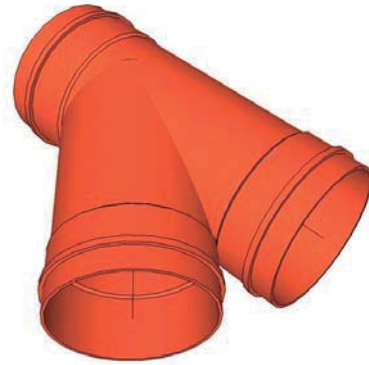
Los codos, en este caso uno de 45° Macho/Hembra se pueden obtener por la unión de varios elementos en un mismo grupo. Al igual que antes, es importante dejar las líneas en el centro del modelo para poder centrar bien los distintos elementos.



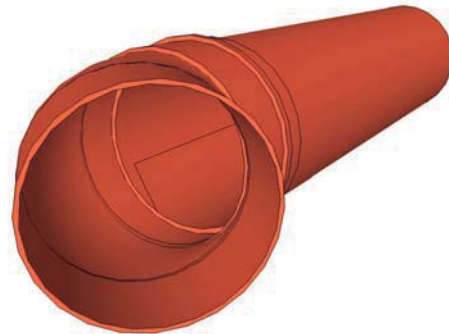
Como se puede ver, El codo está compuesto por tres cuerpos distintos, en este caso por el codo propiamente dicho, que se obtiene por un simple arrastre de una sección circular a través de un arco de circunferencia obtenido de un catálogo, la parte hembra, obtenida mediante revolución de un perfil, y la parte macho que se obtiene por simple extrusión.

Nótese que cada parte del codo tiene su segmento de línea para el centrado de los mismos, lo cual ayuda al montaje del grupo como elemento.

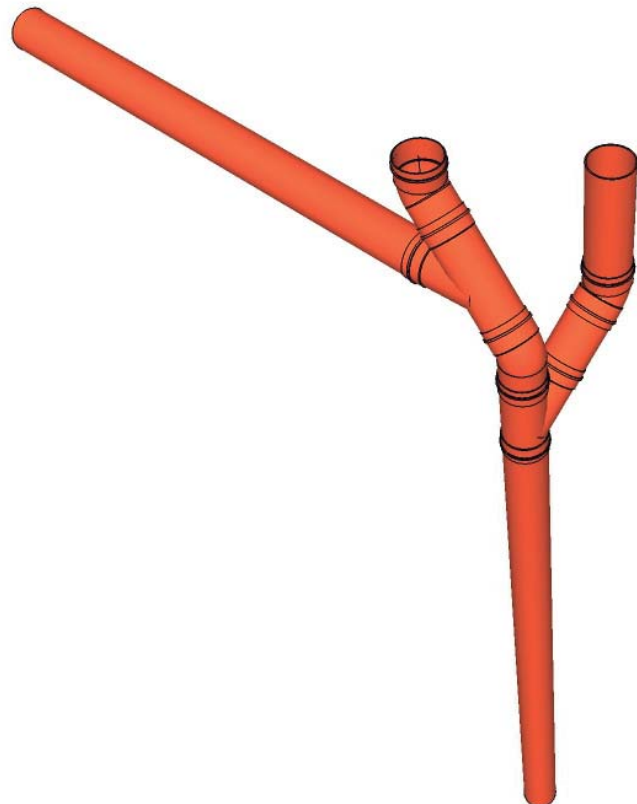
Para las derivaciones se aplican los mismos principios. En este caso, están compuestas por dos cuerpos formando un ángulo definido por catálogo.



Cuando se unen dos elementos, se debe aprovechar los segmentos centrados en las caras para ayudarse a colocarlos. De esta manera, el montaje se hace rápidamente.



Siguiendo estas pautas, se pueden hacer rápidamente montajes como el de la figura. Hay que recordar, a la hora de estirar las tuberías, de estirar también la línea de eje.



Fragmentación de la documentación: ejemplos.

Si la fragmentación de la documentación, de la que se ha venido hablando a lo largo de este trabajo, es importante en todos los niveles del proyecto, es en los sistemas MEP, (*Mechanical, Electrican & Plumbing* - Sistemas mecánicos, eléctricos y de tuberías) donde la fragmentación de la documentación se manifiesta con mayor rotundidad y gravedad.

Khanzode, (2010¹⁰⁹), afirma que en los proyectos de construcción técnicamente complejos, los sistemas MEP pueden suponer, a veces, hasta el 60 % del valor total del proyecto (típicamente entre el 40 y el 60%), y su complejidad ha aumentado drásticamente en los últimos años. En estos proyectos, los métodos y las secuencias para la instalación de los sistemas MEP se convierte en una actividad crítica.

Por un lado, la reducción de tiempos en el diseño no permite detallar adecuadamente los sistemas MEP, de forma que alcance del trabajo para los contratistas especializados incluye, cada vez más, la decisión de cómo completar la instalación que no ha sido recogida de forma completa en el proyecto. Por otro lado, el espacio existente es limitado en toda construcción, y hace que el diseño y la ejecución sean mucho más dificultosos y menos eficientes. Tanto una cuestión como la otra llevan a un mismo destino: el subcontratista, a falta de documentación que represente adecuadamente su instalación, trazará el recorrido como mejor considere en función de sus intereses (facilidad de instalación, coste, tiempo, etc.), sin pensar, o conocer, que otras instalaciones deberían coordinarse con la suya de una forma eficiente (p.e., que facilite posteriormente el mantenimiento de la instalación). La segunda cuestión redundante en lo mismo, dado que el espacio es limitado, aquel subcontratista que primero entre en la obra, trazará su instalación de la forma más cómoda, mientras que los siguientes deberán acomodar su trazado a los primeros.

Pero ni siquiera es necesario que falte documentación o esta sea inadecuada. Aún con una documentación adecuada, la mayor parte de las veces, los complejos recorridos que deben realizar las conducciones de los sistemas MEP, son imposibles de representar en un dibujo CAD 2D, por su propia naturaleza bidimensional, incapaz de representar la tercera dimensión.

Por un lado, se tiene el plano de saneamiento de la planta sótano (en la imagen se representa una parte concreta), y por el otro se tiene el plano de las conducciones de climatización. Observándolos por separado no parece que haya ninguna interferencia entre ellos, sin embargo al implementar el modelo, es evidente que ambas instalaciones tienen un punto al menos de interferencia y que debe ser resuelto de alguna manera, bien variando las cotas de las instalaciones o haciendo una figura en una de las canalizaciones que sortee a la otra.

Veamos a continuación una serie de ejemplos, de como un modelo 3D puede representar de una forma mucho más adecuada, precisa, y acorde con la construcción real posterior, que la documentación 2D. Puede apreciarse como lo que se puede representar mediante una única imagen 3D, es necesario emplear 2, 3 o más planos 2D para representar los mismo, pero con menor claridad.

En la siguiente imagen puede verse la intersección entre las conducciones de climatización, y las conducciones de saneamiento. La documentación 2D no permite representar la forma en que debe modificarse la conducción de clima para no interferir en la conducción de saneamiento.

¹⁰⁹ Khanzode, A., 2010. *An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP*. Technical Report #TR187. Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, CA, USA.

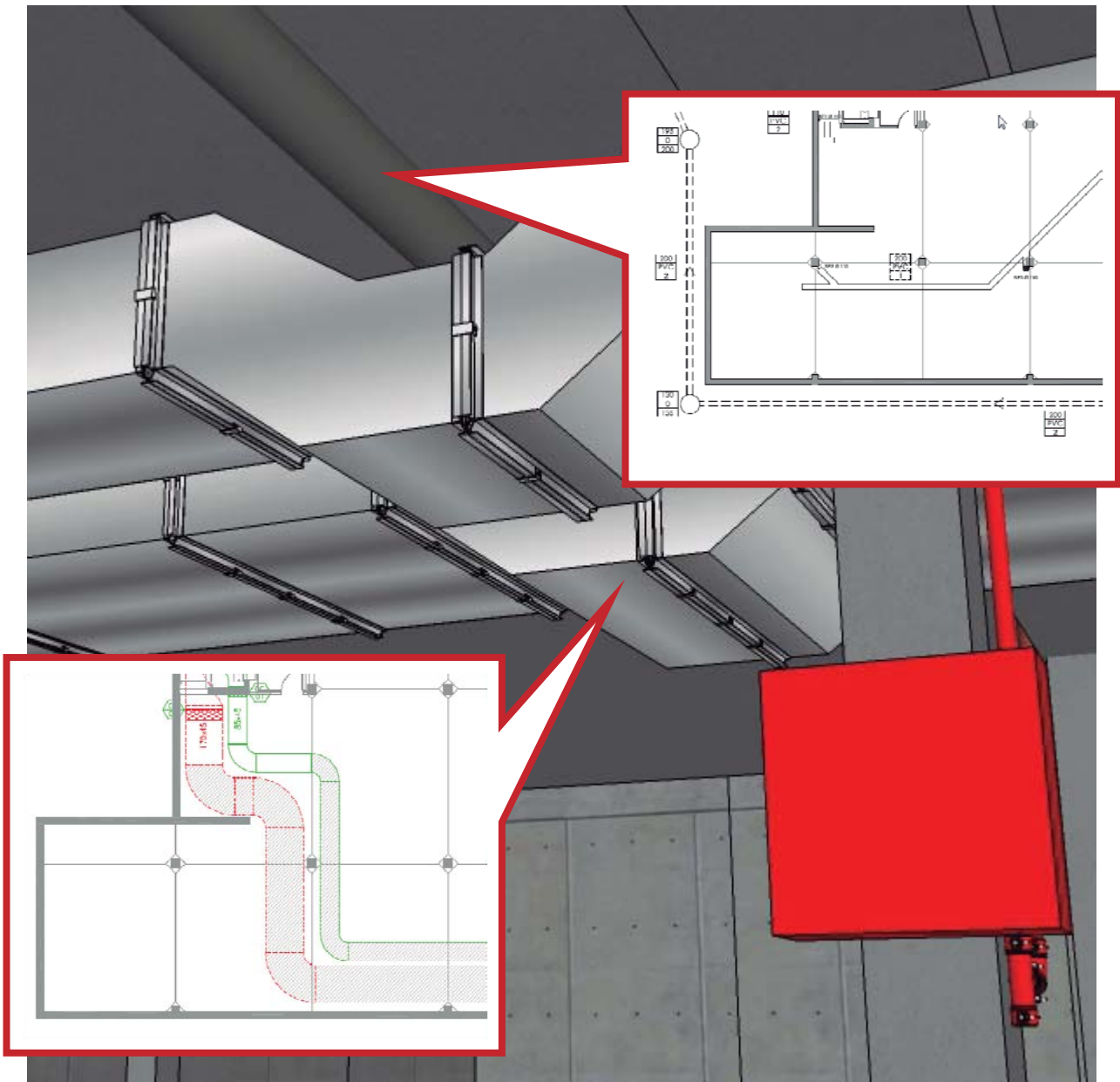


Fig. 4.17- Imagen de la intersección entre las conducciones de climatización del sótano y la conducción de saneamiento

Otro ejemplo de mejora de coordinación del modelo 3D/4D respecto a los planos 2D es el patinillo de instalaciones central. En este caso, entre otras, confluyen tres instalaciones como el agua, canalización de pluviales y el circuito de extinción. Los planos como se puede apreciar en la figura siguiente sólo representan el cambio de orientación de la tubería de vertical a horizontal, pero no indican de ninguna manera cómo resolver la confluencia de todos esos servicios en un mismo punto, quedando a decisión del instalador cómo resolver los cruces de servicios. Sin embargo, la vista 3D en este caso proporciona información sobre cómo resolver los cruces de tubería, en qué nivel deben estar éstas y el orden más conveniente para su colocación en el rack de tuberías que baja por el patinillo.

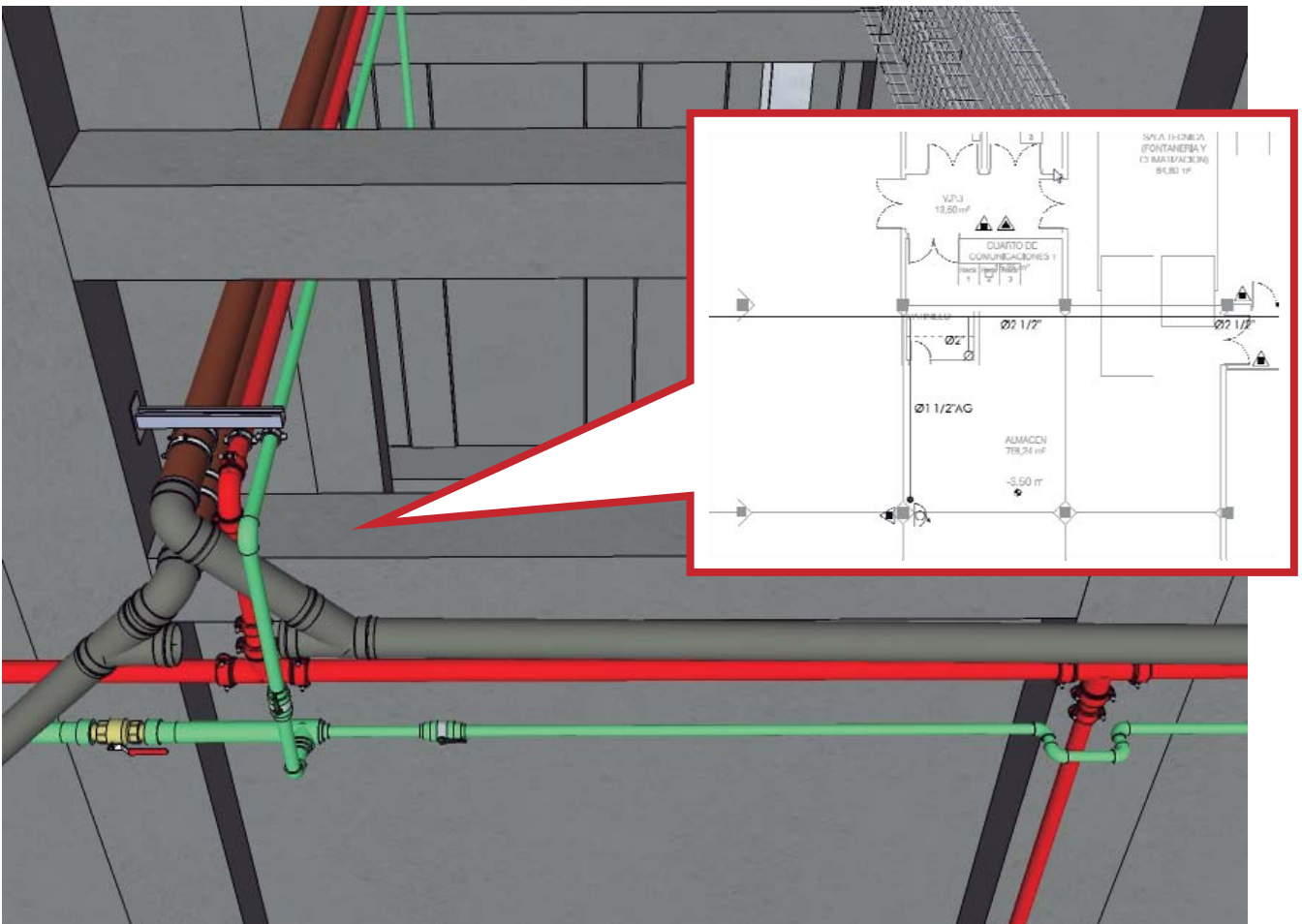


Fig. 4. 18- Imagen de patinillo de instalaciones central, visto desde la planta sótano. Se observan las conducciones de pluviales (color marrón), de agua potable (color verde) y del sistemas anti-incendios (color rojo).

Otro avance importante que proporciona el modelo 4D es la aplicación como VDC (*Virtual Design and Construction*), donde se pueden ver problemas de montaje que sobre el plano 2D no se aprecian. En la figura se pueden ver los planos de las tuberías de climatización mostrando en el mismo tanto las tuberías de impulsión y retorno del circuito de radiadores como del circuito de refrigeración.

Al realizar el montaje virtual o VDC, se puede comprobar que se hace necesario el replanteo de la colocación de las tuberías de climatización, ya que si ambas tuberías discurren por el rack del pasillo a la misma altura, al realizar las derivaciones hacia los despachos y los aparatos a los que deben estar conectadas, las derivaciones de una interferirían con la otra tubería. Es necesario, pues, que las tuberías que suministran a un mismo lado del pasillo discurren en niveles diferentes, permitiendo que la tubería que va por el lado interior del pasillo libre a la que va por el lado exterior.

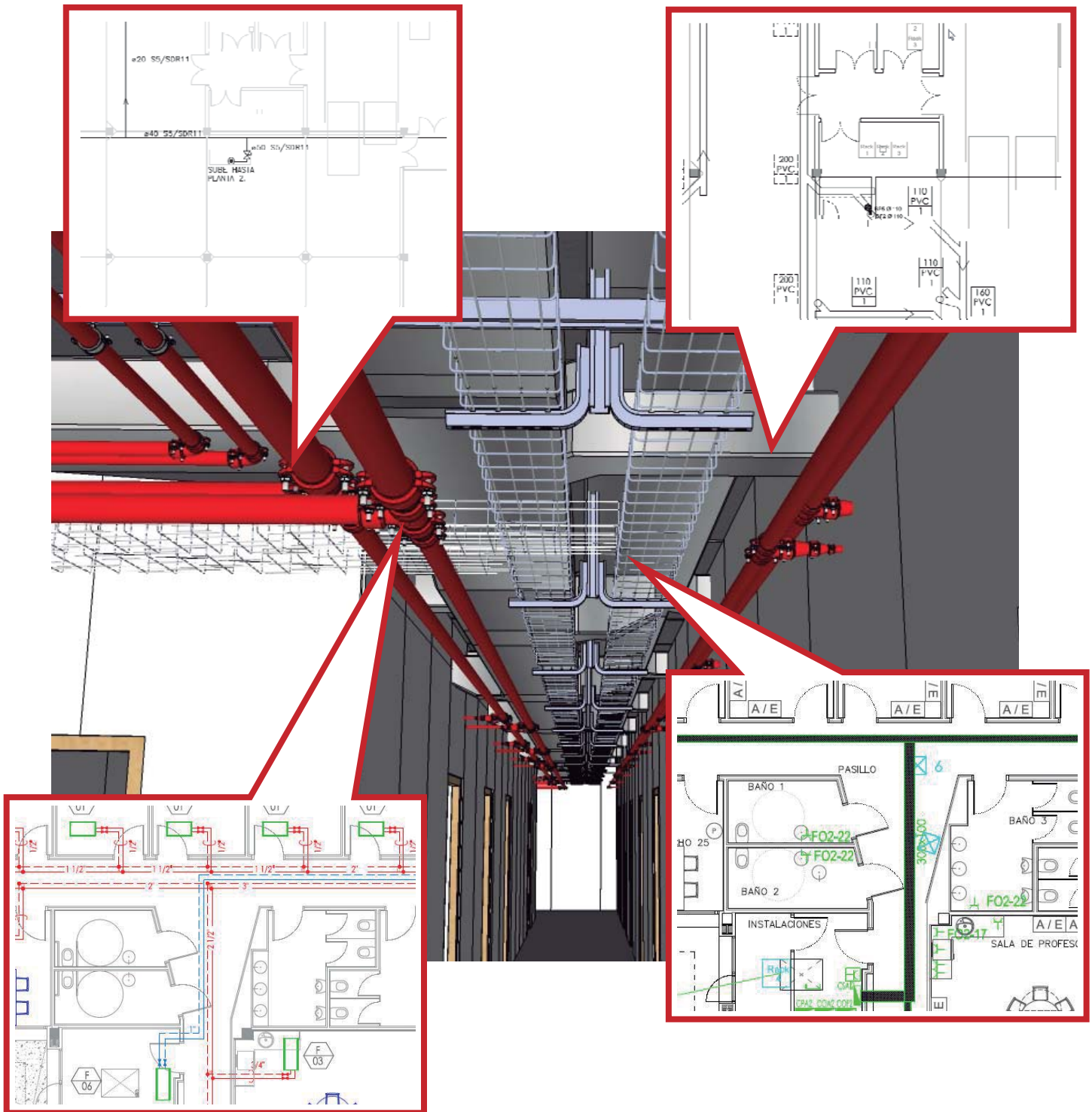


Fig. 4. 19- Imagen de las conducciones del falso techo de la planta segunda. Se observan las bandejas por las que circularán el cableado eléctrico y de telecomunicaciones.

Este punto no se aprecia en los planos de proyecto en ningún momento y sin embargo tiene una importancia elevada. En efecto, puede parecer que el hecho de que dos tuberías vayan a la misma altura o a distinta no implique una diferencia sustancial en un

montaje, pero en el caso de este pasillo, que el espacio es muy limitado tanto en ancho (por las paredes del mismo) como en altura (limitado por el forjado del techo y el falso techo del pasillo) cobra una gran importancia.

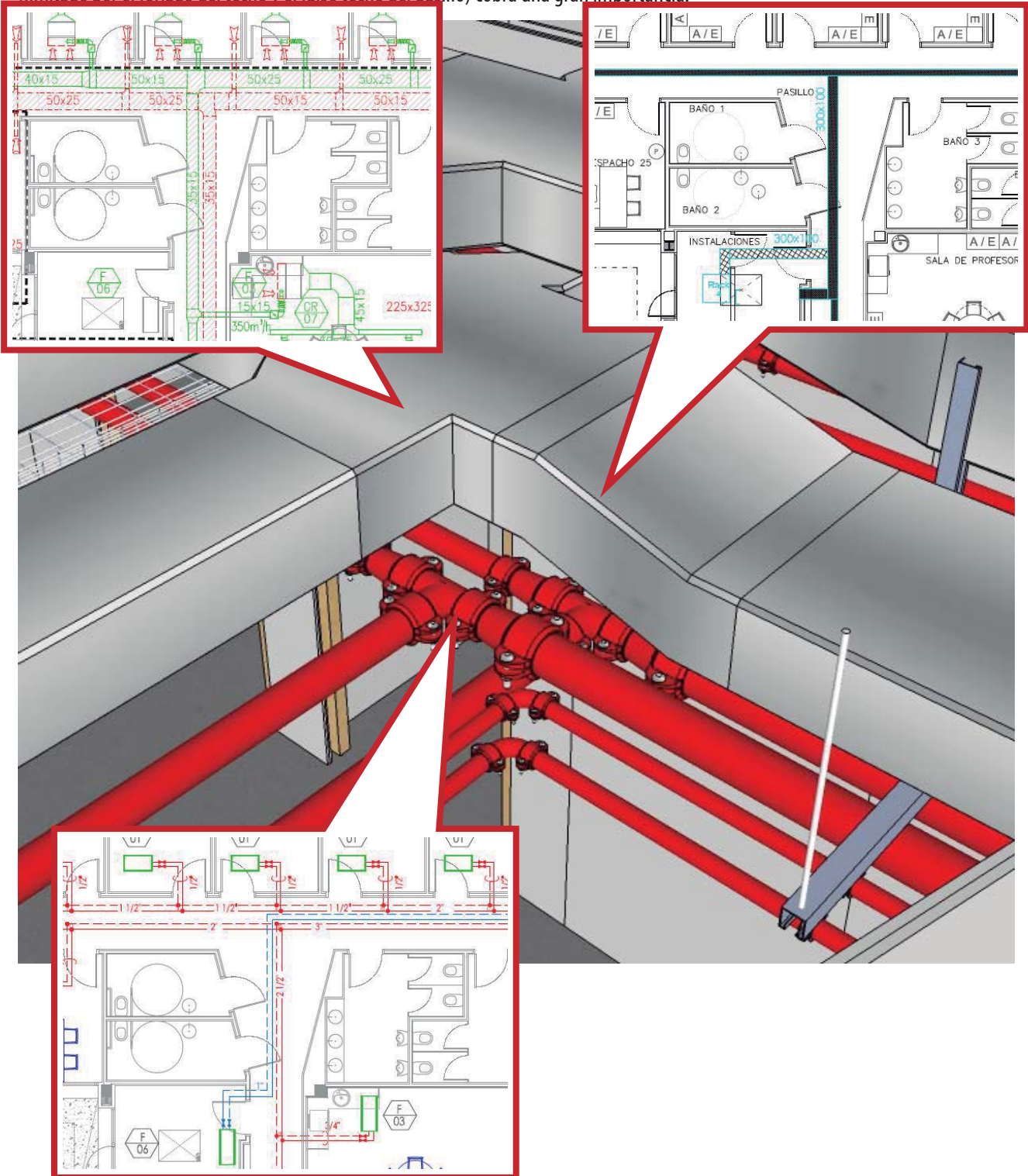


Fig. 4.20- Imagen de la integración de las conducciones del sistema anti-incendios con las conducciones del sistema de climatización

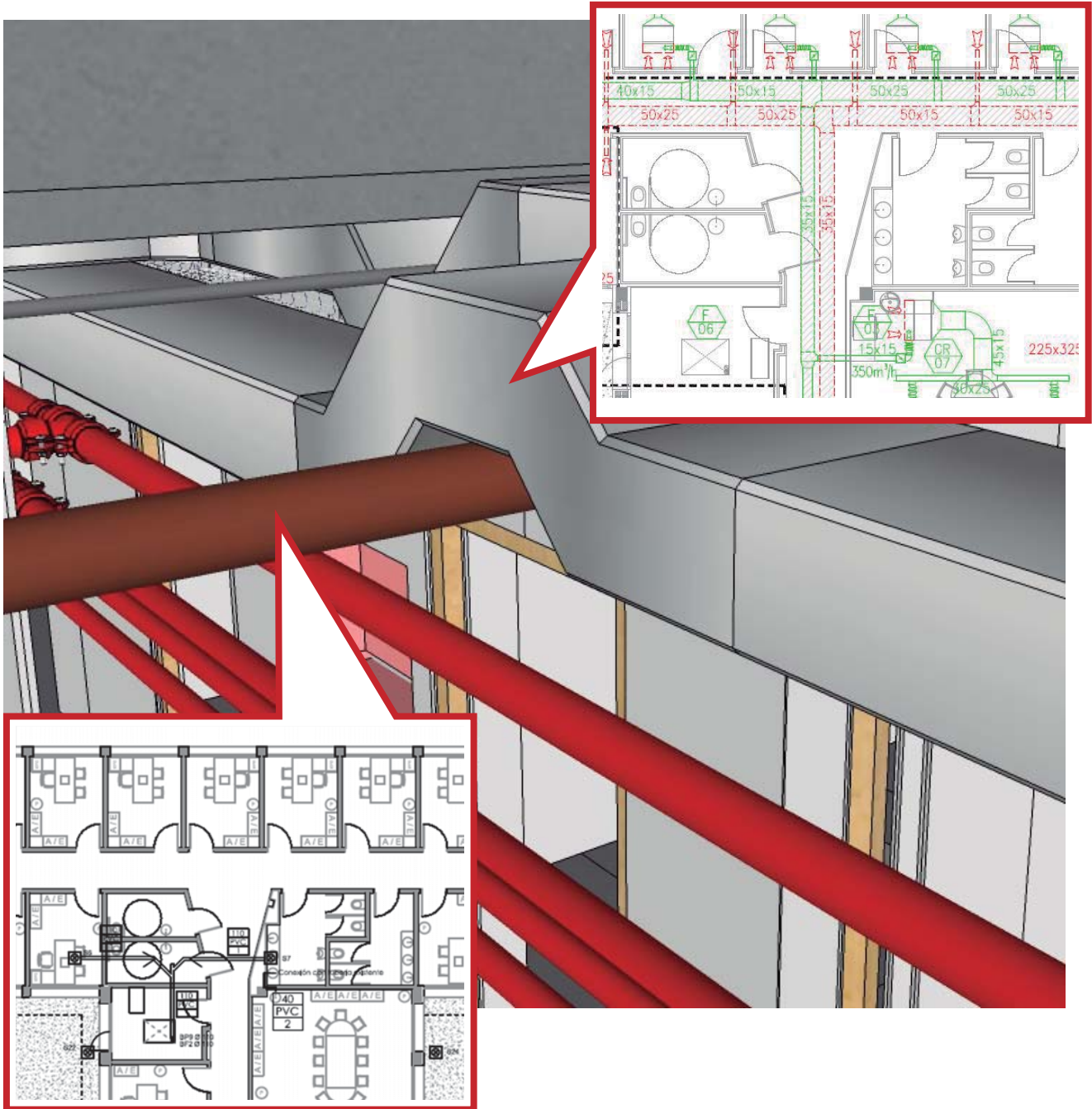


Fig. 4.21- Imagen de la integración de las conducciones de pluviales con el sistema de climatización

En algunos casos, el que una instalación discurra por un nivel diferente a otras no es suficiente para evitar colisiones entre ellas. En el caso de la instalación de saneamientos y pluviales, dadas sus características intrínsecas de funcionamiento por gravedad, los condicionantes aplicables a los cruces de instalaciones se complican mucho, debiendo darse prioridad a la instalación de saneamiento. Por ello, es el otro servicio el que debe hacer las figuras necesarias para evitar la colisión. Dada la fragmentación de la información que se produce en los planos y sus características 2D, en ellos no se puede ver la coincidencia de ambos servicios, debiendo ser solucionado en obra por medio de los operarios de montaje. Este punto se repite precisamente en el caso de la coincidencia de los tirantes de la estructura metálica del voladizo con las canalizaciones de aire, dándose prioridad, lógicamente, a la estructura metálica que por supuesto no puede ser modificada.

El hecho de no poder prever estas colisiones entre instalaciones y servicios hasta el momento del montaje de éstas provoca que la planificación de tiempos y, en menor medida de costes, sea menos exacta, debido a la falta de información al respecto en los planos 2D convencionales. Esta inexactitud se manifiesta sobremanera en los casos en que, al no haber previsión de cruces, hay que deshacer o modificar partes de las instalaciones.

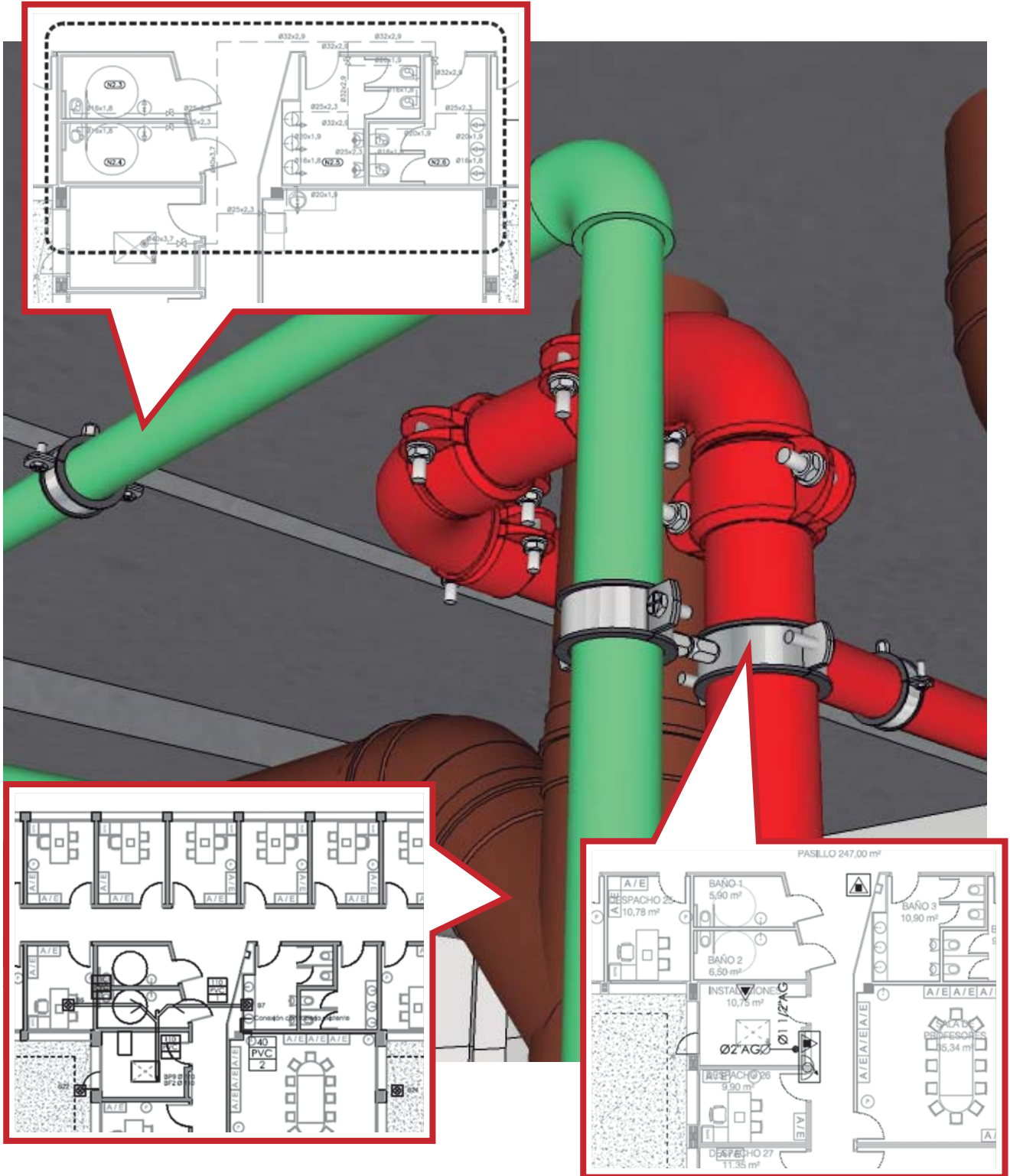


Fig. 4.22- Imagen donde se aprecia el detalle que alcanza el modelado 3D. Se puede ver conducciones del patinillo central en la planta segunda

El patinillo de instalaciones es otro ejemplo de la falta de concreción de la información en los planos 2D, dado que confluyen la mayoría de las instalaciones de la planta. La vista en 3D no sólo ayuda al diseño de las figuras dentro del patinillo, sino que además, permite prever las uniones y anclajes de las tuberías obteniendo las fijaciones óptimas para cada servicio, incluso la mejor manera de colocar ciertas piezas como las bridas de fijación de las tuberías.

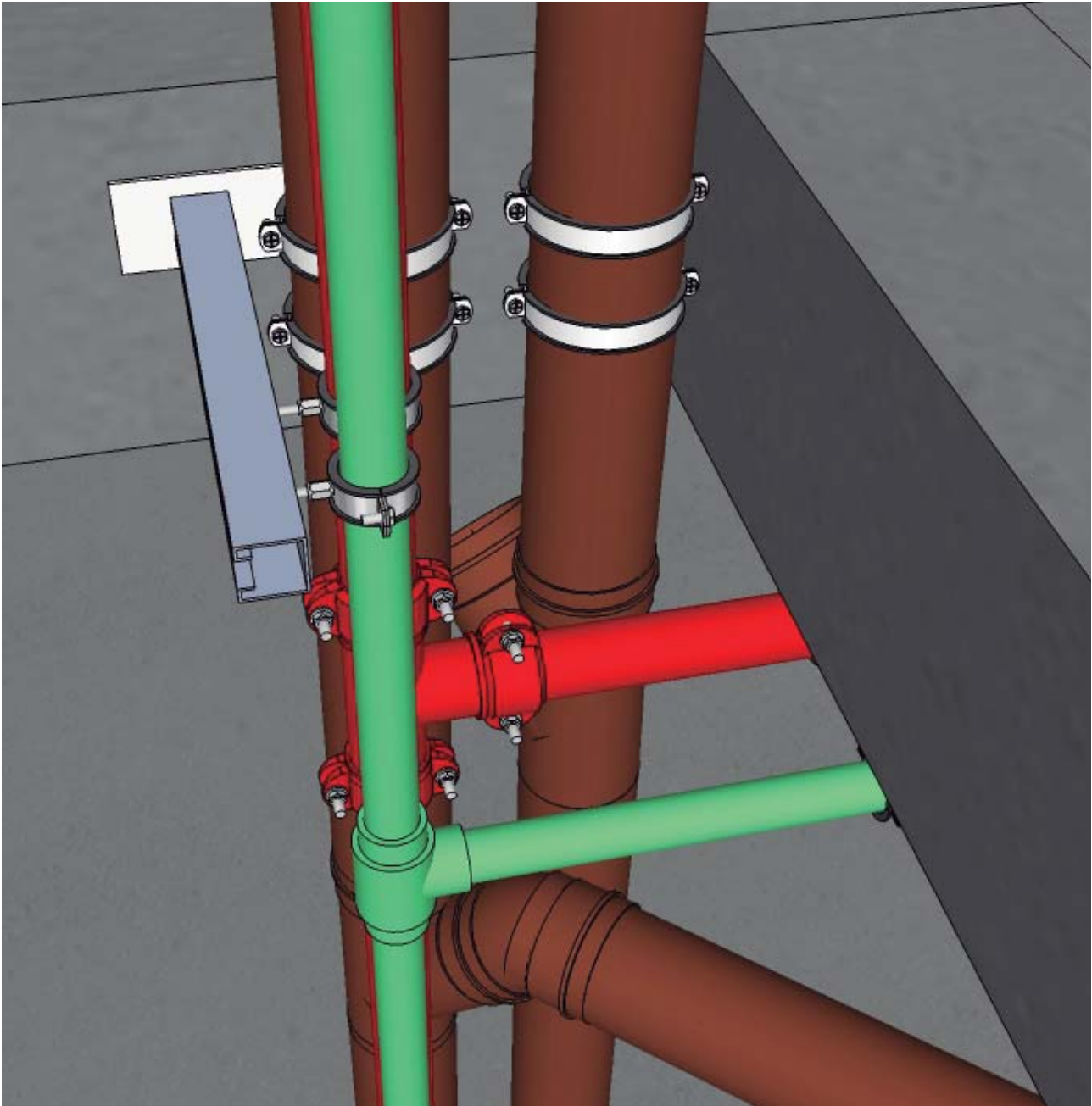


Fig. 4. 23- Detalle de las conducciones de agua potable, anti-incendios y bajantes de pluviales por el patinillo central.

Las diferencias entre la información 3D y los planos 2D también se hacen patentes en el caso de la instalación de bandejas de cables para la instalación eléctrica de fuerza y de comunicaciones. Más precisamente, permite visualizar de manera más exacta cómo se deben hacer los cruces de bandejas tanto en el pasillo central como en la salida del patinillo de instalaciones. En ambos casos el cruce se realiza a distinto nivel, es decir, con las bandejas que presentan ejes perpendiculares estando a diferente altura, dado que al hacer sendas derivaciones en dos bandejas paralelas, de hacerlo al mismo nivel habría interferencias. Este punto, no se puede

apreciar en los planos 2D puesto que, primero, los circuitos de bandejas corresponden a dos instalaciones diferentes que tienen sus propios planos cada una, produciéndose una fragmentación de la información y, segundo, en tales planos no se indica cómo se debe hacer esa derivación ni se tiene en cuenta la otra instalación de bandejas.

Otra ventaja que tiene el modelo 3D en este caso es que, al haber sido modelado el tabique del patinillo tal y como se instalaría en una tabiquería de yeso prefabricado, es decir, se tiene la estructura de perfiles que sostendrá el yeso, es posible tener en cuenta la posición de estos perfiles a la hora de replantear el cruce de bandejas ya que de otra manera se produciría una interferencia entre dicha estructura del tabique y las bandejas.

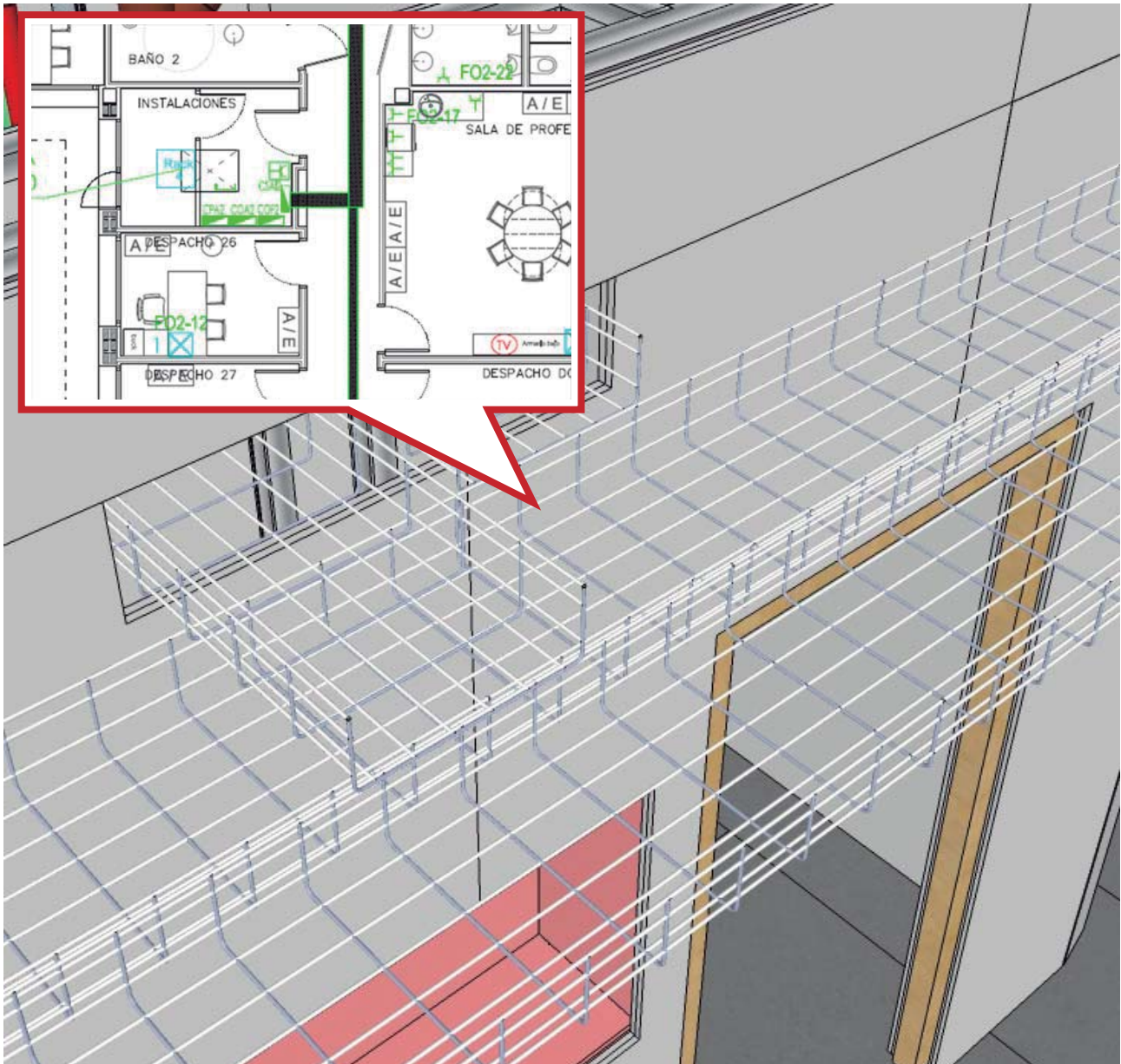


Fig. 4. 24- Detalle de las bandejas de instalaciones en el falso techo

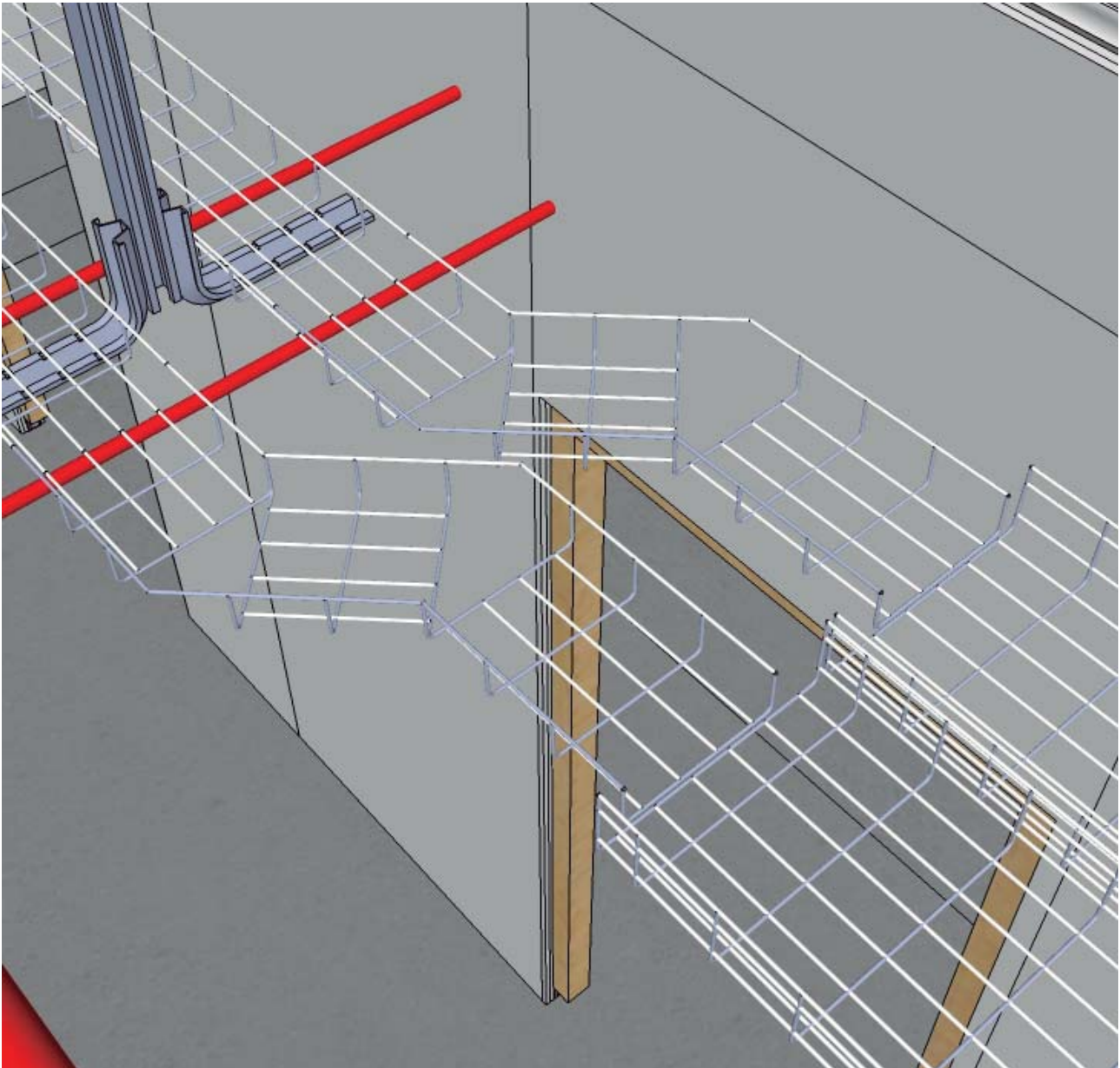


Fig. 4. 25- Detalle de la geometría de las bandejas de instalaciones.

En el caso de cambios de dirección de las bandejas también existen diferencias significativas como en el caso de los cruces. El modelo 3D puede señalar la manera de hacer el cambio de dirección debido al cambio de sistema de anclaje de las bandejas de cables.

Otro punto importante en el que el modelo 3D se hace imprescindible es al situar estas bandejas en altura, ya que ésta está limitada por los conductos de aire y las tuberías de refrigeración de la instalación de climatización. Otra vez se hace difícil tener en cuenta todas estas instalaciones en los planos 2D convencionales.

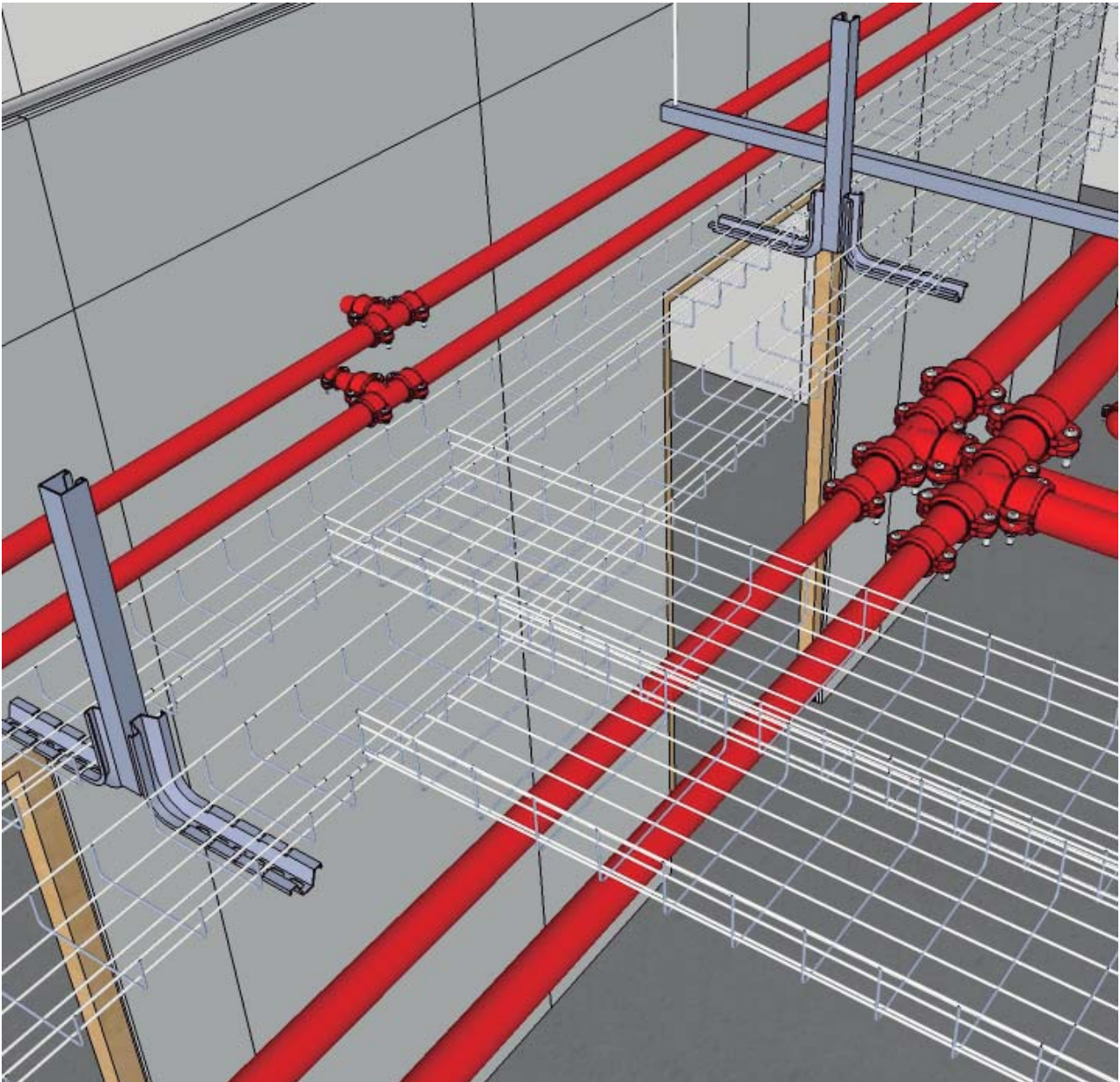


Fig. 4. 26- Bandejas de instalaciones en la planta segunda. Se observan también las puertas de los despachos de profesores y el pladur de las paredes.

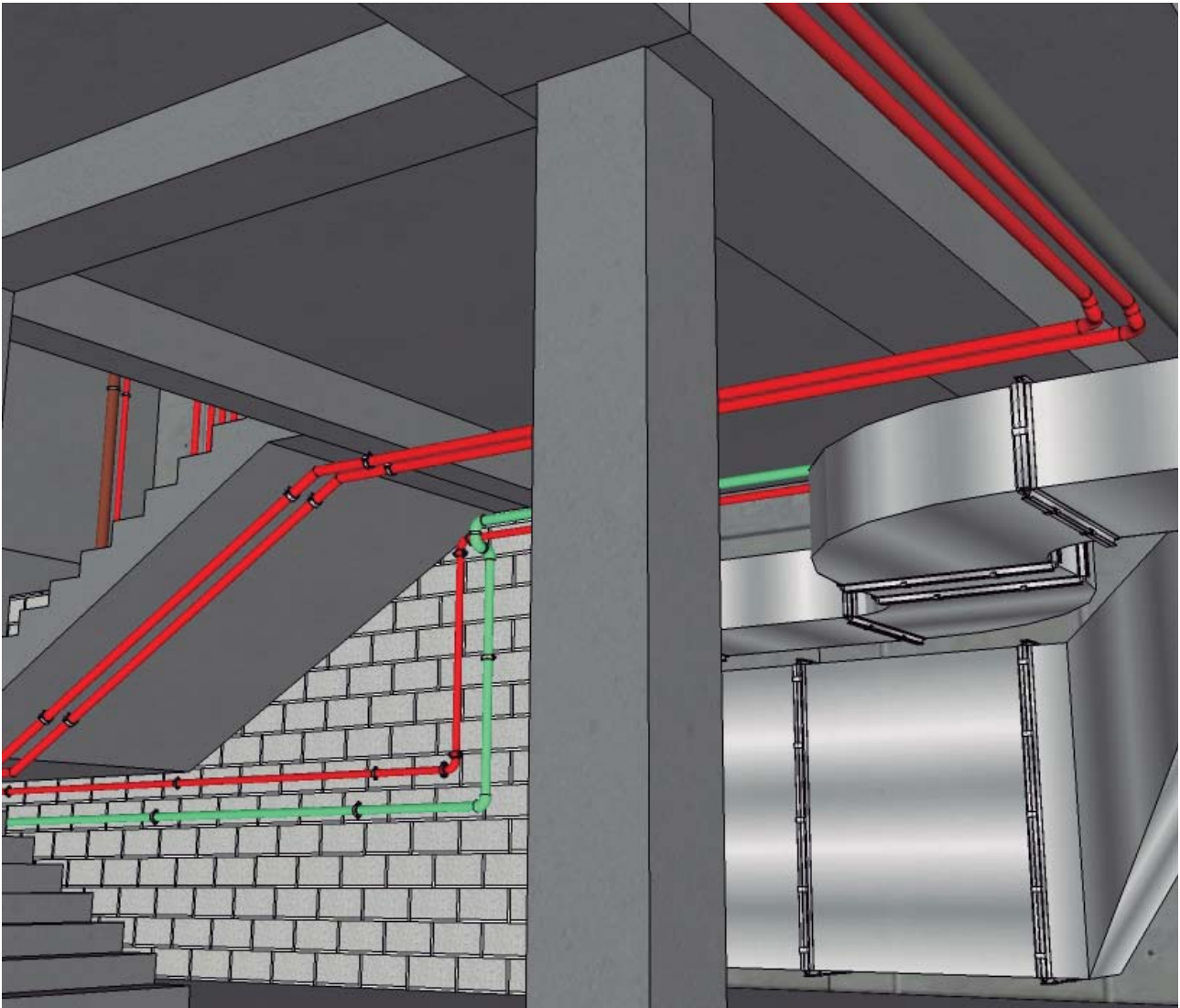


Fig. 4.27- Detalle de las instalaciones en la planta s

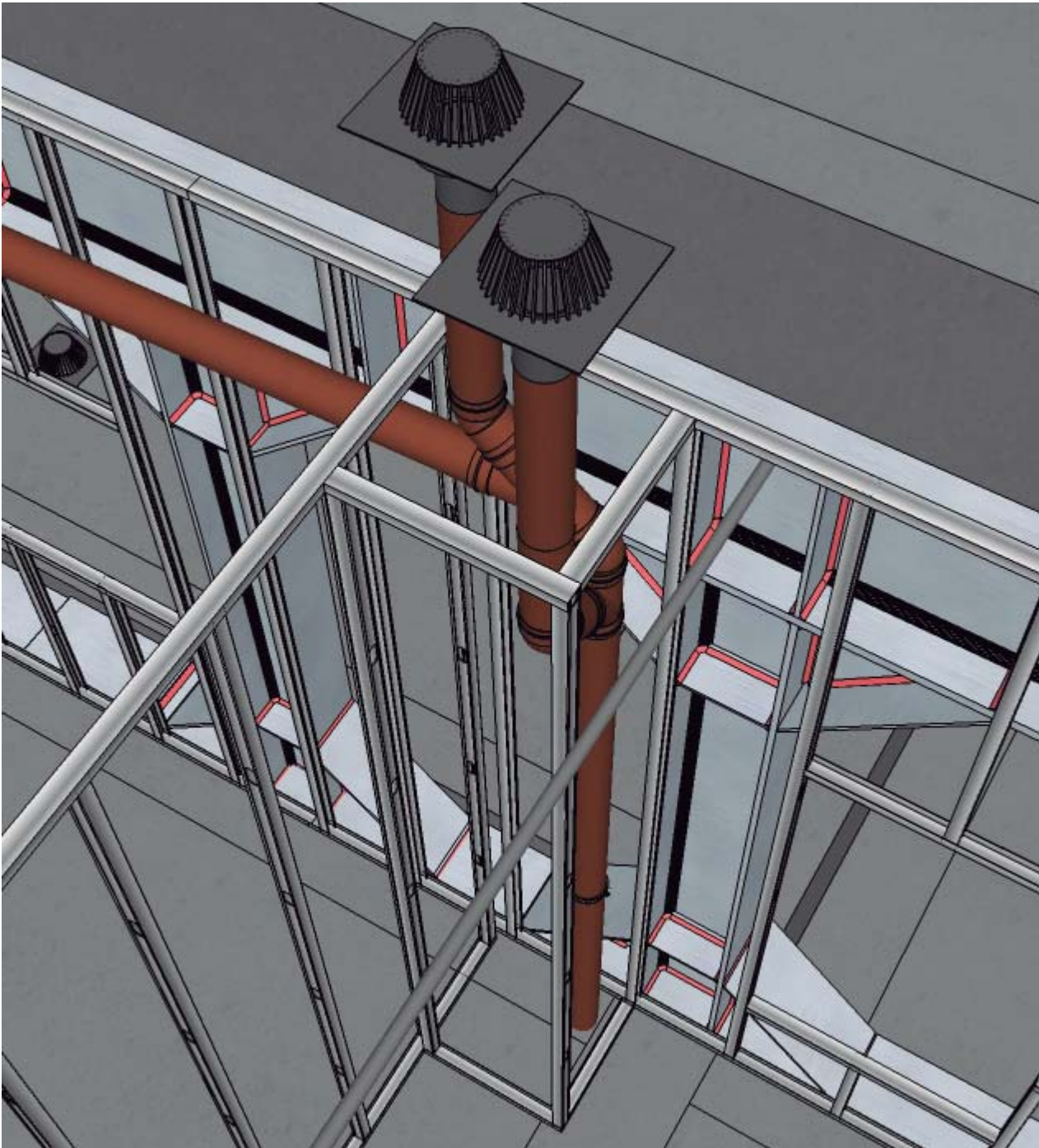


Fig. 4.28- Detalle de las bajantes de pluviales y su cierre mediante tabiquería de pladur

Las bajantes de pluviales desde la cubierta superior presentan dificultades en la tabiquería interior dado que para dejarlas ocultas como es lógico, se debe tener en cuenta su presencia a la hora de hacer los tabiques. Por orden lógico de construcción, cuando se tabica los interiores los saneamientos y pluviales ya están montados, por lo que el modelo 3D en este caso no ofrece una ventaja tan grande como en otras instalaciones en la fase de montaje, aunque de cara a la planificación sí ofrece una mayor exactitud en mediciones.

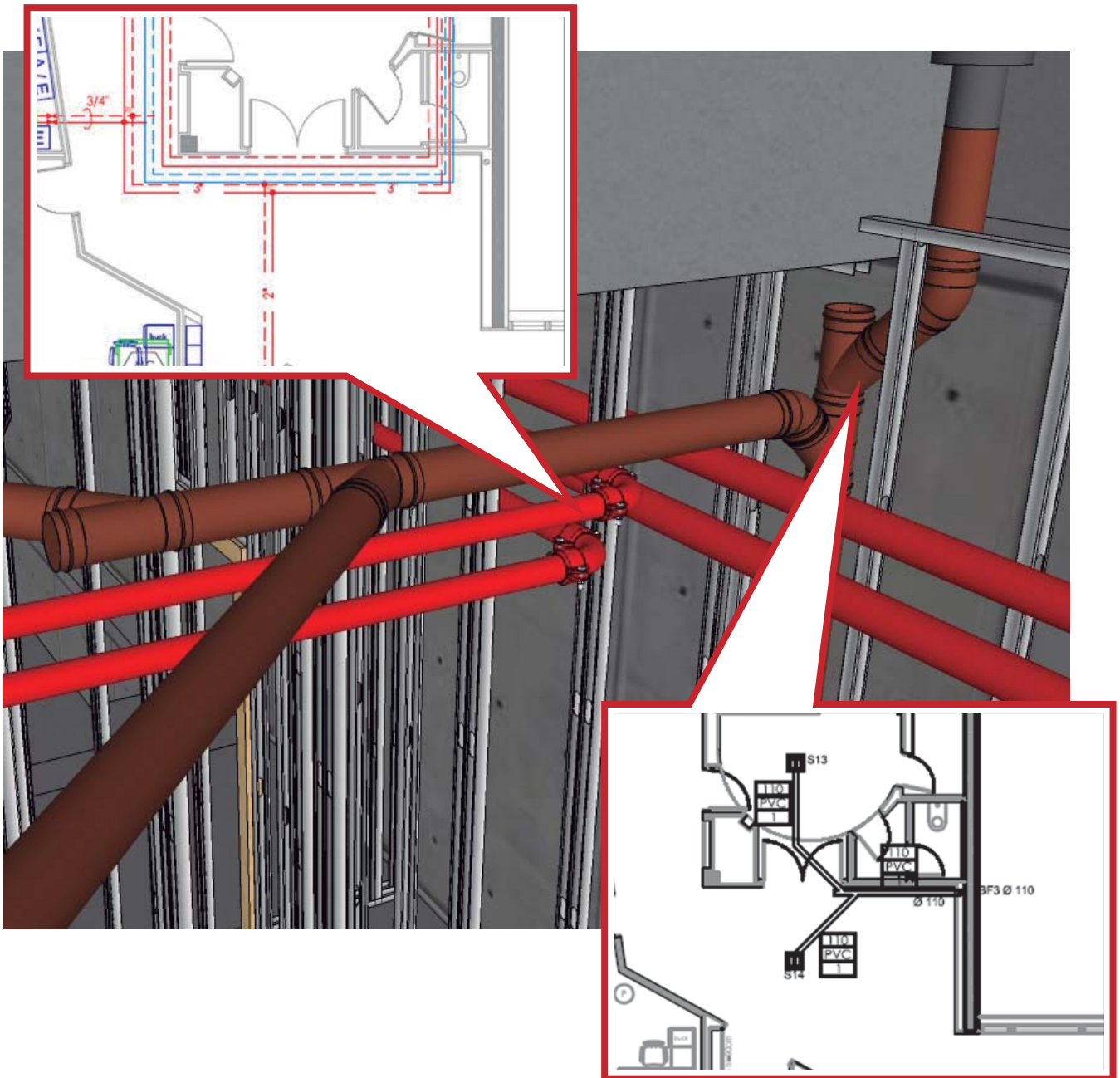


Fig. 4. 29- Detalle de las instalaciones de pluviales y de agua del sistema anti-incendios.

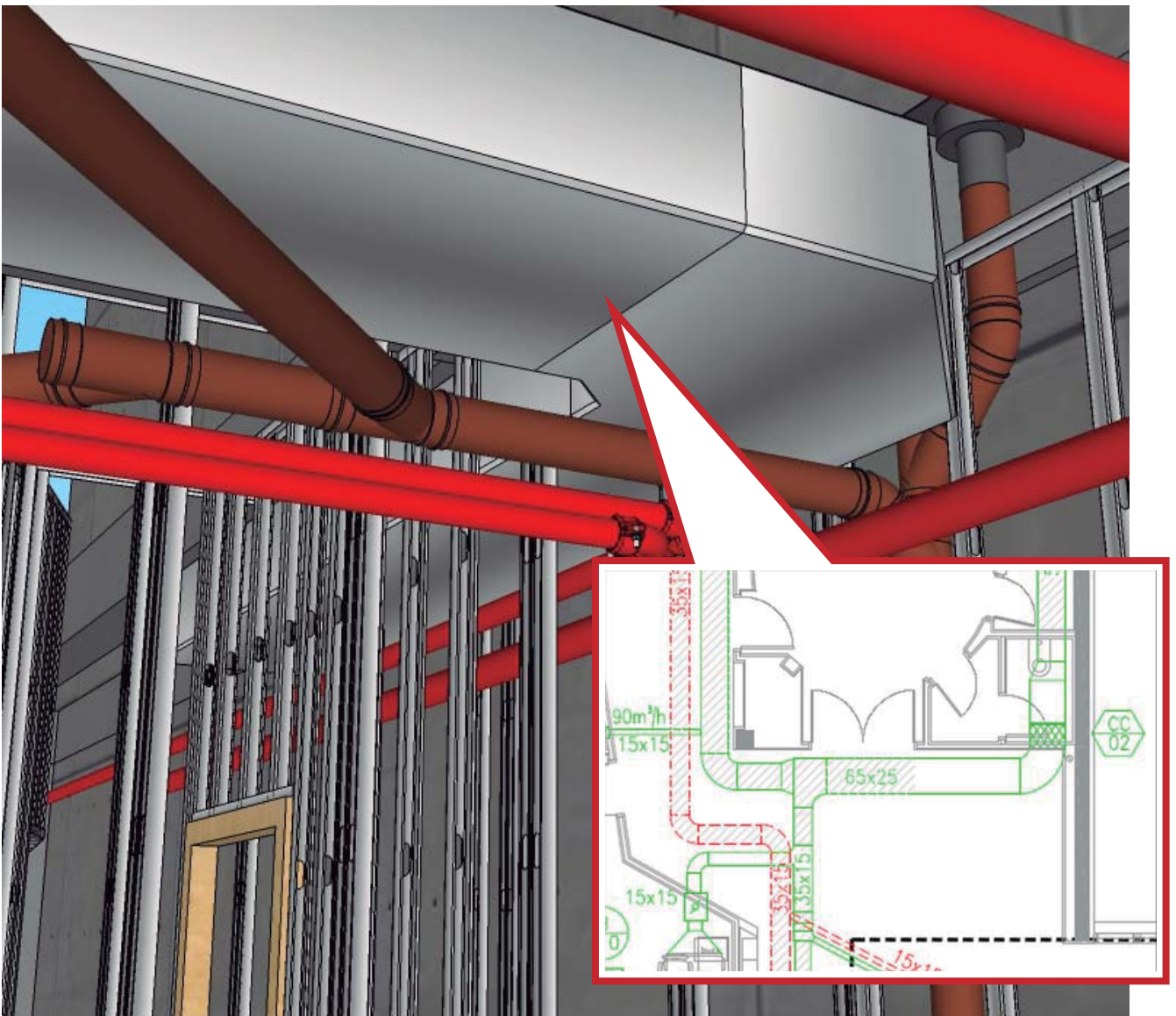


Fig. 4. 30- Detalle de las instalaciones de pluviales, de agua del sistema anti-incendios y de climatización.

Capítulo 5

Conclusiones y líneas de investigación futuras

“ Para lograr un éxito tecnológico, la realidad debe estar por encima de las relaciones públicas, porque la Naturaleza no puede ser engañada ”

- Richard P. Feynman (Premio Nobel de física, 1918-1988)

Conclusiones

Al comienzo de este trabajo se ha tratado un importante problema relacionado con el sector de la construcción, como es el de los sobrecostes en las obras públicas. Un problema, que más allá de las nada desdeñables consecuencias económicas y legales que evidentemente supone, plantea una serie de problemas asociados con graves repercusiones para lo que debe ser una sociedad moderna que debiera estar dotada de una gestión transparente de los recursos públicos.

Se ha determinado que son dos las principales causas que llevan a estos sobrecostes.

La primera, la forma y criterios de adjudicación de los concursos públicos en nuestro país, donde el criterio precio acostumbra a tener un peso exagerado, convirtiendo un concurso en una subasta camuflada. Se ha observado que cuando se utiliza un mecanismo de adjudicación como el concurso-subasta, donde la competencia en precios es muy importante, la correlación alcanza un considerable valor (0,35). Por el contrario, en mecanismos que reducen la importancia del precio dentro de los criterios de adjudicación, como el concurso, la correlación entre sobrecoste y puja desaparece (-0,04), al ser la competencia en precios limitada respecto a la subasta

Es decir, la subasta, y por extensión, todos aquellos concursos donde el precio posee una ponderación excesiva, concentran en sí buena parte de los problemas planteados por el marco legal de las formas de adjudicación

Podemos concluir que una buena práctica puede consistir en limitar el peso del precio como criterio de adjudicación, sin reducirlo tanto que lleve a neutralizar dicho criterio en la elección del adjudicatario del contrato.

El peso restante, debe ser asumido por criterios subjetivos, ya que completar mediante otros criterios objetivos, sólo llevaría a que, en la práctica, los licitantes oferten el máximo de su valor en cada uno de ellos. Esto no quiere decir que no sea conveniente fijar algunos criterios objetivos aparte del precio, como pueden ser el incremento del plazo de garantía, el presupuesto dedicado a control de calidad, etc., pero siempre teniendo en cuenta, que en la práctica lo fácil será encontrarse con que todos los licitantes ofertan el máximo en cada apartado, por lo que, si bien servirá para fijar unas cantidades o plazos, no servirá a efectos de discriminar la oferta más ventajosa para la Administración.

La segunda causa de los sobrecostes es la baja calidad de los proyectos redactados.

El que un proyecto de ingeniería o arquitectura se encuentre con escasa definición en el momento de iniciarse la obra es, con toda seguridad, causa de que las prestaciones de la obra final recibida no se ajustarán a las prestaciones originalmente demandadas en alguno de los elementos que componen la obra, pese a los modificados que pudieran haberse realizado. Esta situación que redundará en costes adicionales como consecuencia de las reformas que debieran hacerse con posterioridad a la entrega para ajustar estas prestaciones a las realmente demandadas, o como costes de mantenimiento por haber aceptado unidades de obra con calidades diferentes a las que realmente hubiera sido necesarias para el fin propuesto.

Es evidente que este incremento de la complejidad de los propios procesos de diseño y construcción, agudiza el problema de deficiencias en la documentación de los proyectos, y provoca un aumento de la necesidad de mejorar la comunicación y coordinación de las actividades involucradas en la construcción, y alinearlas con los desarrollos tecnológicos, económicos y sociales, de una manera eficiente y socialmente responsable.

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

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

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

Si lo deseable es aumentar la calidad de la documentación, debe superarse esta fragmentación, y la forma de hacerlo debe ser de la mano de una herramienta que integre en un único documento, toda la información necesaria para llevar a cabo el proyecto.

Diversos estudios han demostrado que las tecnologías 3D proporcionan significativos beneficios a los equipos de proyectos en lo que ha coordinación se refiere, permitiendo integrar en un único documento 3D toda la documentación gráfica 2D

Mientras que un modelo CAD 2D proporciona una base común para una comunicación entre todas las partes, con un modelo 3D se crea una simulación visual del proceso de construcción, permitiendo una mayor facilidad para la detección de los errores en el proyecto, tanto en lo que se refiere a la planificación, como a la propia documentación para la ejecución de la obra, ya que se trata de una auténtica construcción virtual del proyecto, lo que permite detectar aquellos problemas que sólo serían identificados en la fase de ejecución, resolviéndolos en las etapas tempranas del proyecto, evitando que estos errores lleguen a la fase de ejecución, donde sería necesario realizar modificaciones en el proyecto que pudieran en peligro el cumplimiento de los objetivos de coste y plazo

Este trabajo se ha desarrollado con el fin de plantear una metodología que permita reducir la fragmentación en la documentación de los proyectos, utilizando modelos n-dimensionales (nD), de una forma económica, sin necesidad de grandes inversiones económicas, ni de formación especializada, y que permita una mejor coordinación tanto en fase de diseño como de ejecución.

Se ha seleccionado como herramienta de modelado el software Trimble SketchUp, que a pesar de no estar considerado una herramienta BIM (Building Information Model).

Los motivos de tal selección han sido:

- **Buenas características de visualización.** Los integrantes del proyecto deben ser capaces de visualizar cada uno de los pasos del proyecto mediante el modelo 3D, por lo que el nivel de su representación gráfica debe ser más fiel posible respecto a la realidad, no siendo válida una mera representación esquemática. La calidad de representación de SketchUp se ha mostrado excepcional, y muy superior a otras herramientas analizadas
- **Curva de aprendizaje.** El aprendizaje de SketchUp para un usuario medio, sin conocimientos previos en modelado 3D, ha sido sorprendentemente rápido.
- **Facilidad de uso.** Es importante que todo tipo de usuario interviniente en el proyecto y en la obra pueda realizar aportaciones al modelo, incluso aquellos que no poseyeran formación técnica de medio o alto nivel, por lo que no sería aceptable una herramienta de compleja utilización, que requiriera de personal especializado y especialmente formado para su manejo. SketchUp ha demostrado su enorme facilidad de uso, permitiendo, incluso, llevar a cabo operaciones de forma muy fácil e intuitiva, que en otras herramientas representaría una enorme dificultad.
- **Agilidad de modelado.** Igual de importante que su facilidad de uso, es su agilidad. Si su uso se prevé en tareas de coordinación, debe asumirse que cualquier cambio o modificación que surja en una reunión de coordinación, debe poder ser visualizado casi inmediatamente. SketchUp ha demostrado que si el modelo ha sido desarrollado de forma adecuada, cuidando la adecuada disposición de sus elementos en grupos, elementos y capas, la modificación de un modelo puede ser inmediata.
- **Entorno abierto.** Resulta interesante el poder desarrollar aplicaciones propias sobre la herramienta de forma que se pueda optimizar el funcionamiento de la herramienta a las necesidades concretas de los proyectos en curso. Igualmente es interesante el disponer de un entorno abierto para poder aprovechar los “plug-ins” desarrollados por terceros y que pudieran resultar de interés.
- **Capacidad de comunicación con otras aplicaciones.** SketchUp permite la importación de ficheros en formatos en formato DWG, DXF, 3DS, además de ficheros de imagen como JPEG, PSD, PNG, TIFF, TGA, BMP, etc., y permite exportar sus

modelos en formatos DWG, DXF, 3DS, además de otros formatos de menor uso. Por si esto fuera poco, su enorme distribución gracias a su versión gratuita, ha logrado que la mayor parte de las herramientas de modelado y análisis importen el formato nativo de SketchUp, SKP.

- **Necesidad de recursos informáticos.** Puede ejecutar en cualquier equipo, aunque, como es lógico, a mayores prestaciones del equipo, más agilidad en la manipulación del modelo 3D
- **Precio de la licencia.** SketchUp tiene dos versiones: la versión gratuita, denominada Maker, y la versión comercial, denominada SketchUp Pro, la cual tiene un coste de algo más de \$500.

Una vez seleccionada a herramienta, se ha desarrollado un modelo 3D basado en el edificio de la IV Fase de Complejo Científico-Tecnológico de la Universidad de La Rioja, lo que ha permitido detectar las mejores prácticas para llevar a cabo un modelo de a complejidad de este edificio.

Desarrollado el modelo 3D, ha permitido comprobar las importantes ventajas de realizar una “construcción virtual” de proyecto. Las ventajas detectadas son las siguientes:

1.- Eliminación de la fragmentación de la documentación mediante el trabajo colaborativo. Dado que la fragmentación de la documentación ha quedado como responsable de la baja calidad de los proyectos, su eliminación contribuirá a mejorar, de forma contundentemente la calidad de los mismos.

En este trabajo se plantea un uso de un modelo 3D de forma colaborativa, simulando el uso de la nube, pero evitando los problemas de seguridad que aquejan a estos sistemas.

Dado que SketchUp todavía no es capaz de trabajar en la nube por sí mismo, aunque ya hay plug-ins como *CloudUp*, que sincroniza el modelo de SketchUp en nubes como Dropbox, ha sido necesario plantear una metodología de trabajo que permita la coordinación entre distintos técnicos que trabajan en diferentes áreas de un modelo. Hay que tener en cuenta que en proyectos de tipo pequeño puede ser un único técnico quien procede a hacer el diseño, pero puede ser que dada las características del proyecto sea necesario la colaboración de más técnicos para la implementación del proyecto de ejecución.

Para ello se ha desarrollado una metodología de trabajo colaborativo mediante un adecuad uso de las capas dedicadas.

2.- Desarrollo de una metodología apropiada de modelado. Dado al uso profesional de que pretende darse a estos modelos, no puede obviarse que cualquier modelo no es válido para tal empleo y aplicación. Debe aplicarse un procedimiento de modelado que logre que estos modelos sean aptos para tal aplicación.

Por ello, se ha desarrollado una metodología de modelado que logra organizar el modelado de tal forma que los modelos así generados sean totalmente aptos para el fin de que se ha propuesto.

3.- Desarrollo de una metodología de coordinación durante las diferentes fases del ciclo de vida del proyecto. El origen de la fragmentación de la documentación es la participación de numerosos agentes en el proyecto, sin a adecuada coordinación.

Los modelos 3D/4D, poseen un enorme potencial para presentar ideas a todos los participantes en el proyecto, como forma de promover el trabajo colaborativo. Debido a que muchos temas que no siempre se abordan durante el proceso de planificación deben abordarse al generar el modelo 4D, esto obliga, de una forma natural, a la interacción entre el proyectista y el constructor.

Por ello, se ha planteado una metodología de coordinación que va desde la fase de diseño conceptual hasta la fase “as built” utilizando un modelo 3D, de forma que quede determinado en cada fase, quien desarrolla el modelo, quién puede modificar el modelo y cuál es el nivel de detalle del modelo, todo ello definido para cada uno de los elementos que constituyen el proyecto.

4.- Detección de los conflictos espaciales en las instalaciones. Si a esta fragmentación es importante en todos los niveles del proyecto, tal como ha quedado dicho, es en los sistemas MEP, (*Mechanical, Electrican & Plumbing* - Sistemas mecánicos, eléctricos y de tuberías) donde la fragmentación de la documentación se manifiesta con mayor rotundidad.

Los planos 2D, por su propia naturaleza bidimensional son incapaces de mostrar determinados aspecto que son realmente tridimensionales, como puede ser la intersección entre instalaciones en una misma planta del edificio.

Este trabajo ha demostrado como un modelo 3D permite evitar las colisiones entre las distintas instalaciones, detectando los posibles problemas en fase de diseño, y evitando que estos lleguen a la fase de ejecución, donde dichas interferencias supondrían retrasos y sobrecostes.

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

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

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

Líneas de investigación futuras

Hemos visto en el capítulo 2 de este trabajo, como los modelos 3D tienen una amplia variedad de empleo, desde el diseño conceptual, a la sostenibilidad, pasando por la planificación y programación de plazos, el control de los costes o la visualización.

Tan variados usos y empleos hace que las posibles líneas de investigación que puedan seguirse sean bien distintas en función de su finalidad. Por ello se han clasificado, no atendiendo a su aplicación, sino a su función, en tres grupos: como herramientas de visualización, como herramientas de análisis y como herramientas de integración.

Línea de investigación nº1: empleo de modelos 3D/4D como herramienta de visualización

Es, sin duda, el uso más habitual y común de los modelos 3D/4D, y puede concretarse en los siguientes empleos:

1.- Desarrollo de métodos y sistemas de modelado rápido. El modelado de edificaciones en 3D, aunque muy simplificado por la facilidad de uso de herramientas actuales como SketchUp, no deja de ser costoso en tiempo, ya que una edificación consta de múltiples elementos muy diferentes entre sí.

Por ello, resulta interesante el desarrollar nuevas metodologías y herramientas que permitan simplificar al máximo este proceso. En este sentido, la generación de bibliotecas o familias de componentes, permitiría una mayor rapidez y agilidad en el modelado, limitándose entonces a insertar en el modelo, aquellos componentes que se considerara oportuno.

En este sentido, la idea de “componente” de SketchUp resulta de enorme utilidad para poder crear estos elementos.

Por otro lado, resultaría de interés analizar la posibilidad de utilizar los “componentes dinámicos” que es capaz de crear la versión Pro de SketchUp, como elemento capaz de ser escalado, manteniendo sus propiedades características.

Por último, dentro de esta sublínea, puede citarse el desarrollo de plug-ins que permitan la generación mediante la parametrización de ciertos valores, de elementos que actualmente resultan complejos de modelar, tales como las

armaduras de los pilares y muros. Ello puede implementarse mediante los scripts en lenguaje Ruby, que SketchUp puede interpretar.

2.- Anticipación de los conflictos espaciales durante la construcción. Los conflictos espaciales ocurren cuando equipos de diferentes especialidades concurren en un mismo lugar o zona de trabajo, interfiriéndose entre sí.

Como ya se ha explicado en el capítulo 2, los métodos de planificación tradicionales no pueden mostrar estos conflictos, ya que los datos que manejan son sólo temporales, no espaciales. Los modelos 3D/4D pueden mostrar las limitaciones espaciales existentes tanto en la parcela donde la obra se está llevando a cabo, como en la propia construcción una vez comience a erigirse.

Incluso se propone su uso como una herramienta de entrenamiento para personal sin experiencia en la generación de planificaciones.

Resultaría de gran interés el desarrollo de una herramienta sobre SketchUp –junto a una metodología apropiada de empleo– que permitiera la detección temprana de estos conflictos y pudiera tenerse en cuenta a la hora de realizar la planificación.

Línea de investigación nº2: empleo de modelos 3D/4D como herramienta de análisis

Dado que un modelo 3D/4D integra la información espacial y temporal de la construcción, los técnicos encargados de generar la planificación, tienen libertad para ejecutar análisis adicionales sin la necesidad de construir una imagen mental que asocie los diferentes elementos 2D a la planificación.

1.- Enlace del modelo 3D/4D con un sistema de planificación lineal. Dado el aspecto evidentemente gráfico del un modelo 3D/4D, parece interesante desarrollar los procesos para enlazar un modelo de este tipo con un sistema de planificación igualmente gráfico como es el de a planificación lineal, también denominado diagramas espacio-tiempo.

Hasta ahora, este sistema de planificación igualmente gráfico, se basa en un diagrama de la obra 2D, sin embargo, parece interesante, dar un paso más, y convertir este sistema de planificación para sistemas lineales o repetitivos, en un sistema basado en un modelo 3D.

2.- Apoyo al análisis del coste. La detección de posibles conflictos de tiempo-espacio desde las etapas tempranas del proyecto minimizará los cambios y, como consecuencia, los costes durante la construcción real. Enlazar el sistema EVMS (*Earned Value Method System*) podría resultar interesante a la hora de determinar, de una forma mucho más exacta, la variable denominada BCWP, o Valor Ganado.

Línea de investigación nº3: empleo de modelos 3D/4D como herramienta de integración

Uno de los mayores impedimentos que dificultan la colaboración entre el diseño y la ejecución en la industria de la construcción es que esta industria se basa en la subcontratación de contratistas especializados, por lo que una exitosa comunicación entre los múltiples participantes involucrados es crítica para el éxito del proyecto. Para ello, es necesario reducir la separación existente entre el diseño y la construcción. La visualización se reconoce como una de las herramientas más importantes para lograr este objetivo.

La integración del diseño y de la construcción se puede lograr mediante la formalización y estandarización de la información, promoviendo la interacción entre los participantes del proyecto. El modelo 3D/4D se puede utilizar como una herramienta de integración que puede ayudar en la mejora de ambos de estos factores.

1.- Formalización de la información de diseño y construcción. Suele existir una falta de estandarización y de inconsistencia en la información utilizada por el diseñador y el constructor. Aunque una planificación eficaz de la secuencia de construcción es fundamental para el ahorro de costes, los diseñadores no siempre analizan cómo su diseño afectará a la secuencia de la construcción. Asimismo, no están tan familiarizados con los procesos de construcción y pueden tener dificultades para comprender la lógica de la secuencia de las tareas.

Los modelos 3D/4D se pueden utilizar como una herramienta para escapar de las limitaciones del documento CAD 2D tan profundamente incrustado en la industria de la construcción, mediante la integración de la información de diseño y de la construcción en un solo medio. El diseñador y el constructor pueden trabajar con la misma información al visualizar el modelo 3D/4D, que elimina la necesidad de trabajar con información fragmentada.

Otras líneas de investigación

Seguridad: Anticipación de situaciones de riesgo para la seguridad. A la vista del modelo 4D, los coordinadores en materia de seguridad y salud pueden detectar áreas donde se pueden producir accidentes y ejecutar medidas de prevención (como la colocación de señales de advertencia, restringiendo el acceso, o la prestación de redes de seguridad, etc). Pero lo más importante, mediante la visualización de los tiempos y la ubicación de los trabajadores a través del modelo 4D, los coordinadores en materia de seguridad y salud pueden percibir cuando existe peligro de que diferentes equipos de trabajo se interfieren entre sí, pudiendo crear, inadvertidamente, situaciones peligrosas.

Sostenibilidad: Dentro de esta sublínea pueden incluirse trabajos de gran interés desde el punto de vista del medio ambiente. Desde el análisis de la eficiencia energética, utilizando diferentes características para diferentes materiales, desarrollando las correspondientes aplicaciones en lenguaje Ruby, hasta el análisis de las sombras para el desarrollo de edificios bioclimáticos bajo una óptica de base científica.

Formación: Aunque se ha dejado para el último lugar, no podemos despreciar el enorme potencial que poseen estos modelos de cara a la formación, especialmente de técnicos. De la misma forma que la documentación 2D no es capaz de mostrar toda la realidad de lo que realmente son elementos 3D, en el ámbito de la formación, los habituales diagramas 2D, no permiten al alumno ser capaz de visualizar y entender aquello que se le está explicando.

Por ello, el desarrollo de modelos 3D orientados a la docencia, supone un paso de gran importancia. Se abandona el llamado *e-learning*, para pasar a los que podría denominarse *e-training*, es decir, el alumno puede recorrer virtualmente la instalación, la obra, o la construcción, visualizar el proceso de construcción, e incluso comprobar la viabilidad de una decisión, todo ello en un entorno 3D controlado, donde cualquier error no tenga más consecuencias que el hecho de reiniciar el modelo.

Capítulo 6

Bibliografía y referencias

“ No importa lo bien que haya funcionado la demo en los ensayos, cuando se lo enseñes a la audiencia, la probabilidad de lograr una presentación sin fallos es inversamente proporcional al número de personas que estén mirando, elevado a la cantidad de dinero en juego ”

- **Mark Gibbs (consultor y escritor)**

Artículos en revistas

- Bansal, V.K., 2011. Application of geographic information systems in construction safety planning, *International Journal of Project Management* 29 (2011) 66–77.
- Benjaoran, V., Bhokha, S., 2010. An integrated safety management with construction management, *Automation in Construction* 48, 395–403.
- Bosché, F., 2012. Plane-based registration of construction laser scans with 3D/4D building models, *Advanced Engineering Informatics* 26 (2012) 90–102.
- Brilakis, I., Lourakis, M., Sacks, R., Savarese, S., Christodoulou, S., Teizer, J., Makhmalbaf, A., 2010. Toward automated generation of parametric BIMs based on hybrid video and laser scanning data, *Advanced Engineering Informatics* 24 (2010) 456–465.
- Ding, L.Y., Zhou, Y., Luo, H.B., Wu, X.G., 2012. Using nD technology to develop an integrated construction management system for city rail transit construction. *Automation in Construction* 21, 64-73
- Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., Arboleda, C.A., Lee, S., 2009. Visualization of construction progress monitoring with 4D simulation model overlaid on time-lapsed photographs, *J. Comput. Civ. Eng.* 23 (6), 391–404.
- Ibrahim, R., Rahimian, F.P., 2010. Comparison of CAD and manual sketching tools for teaching architectural design, *Automation in Construction* 19 (2010) 978–987.
- Isikdag, U., Underwood, J., Aouad, G., 2008. An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes, *Advanced Engineering Informatics* 22 (2008) 504–519.
- Jaafari, A., Manivong, K.K., Chaaya, M., 2001. VIRCON: interactive system for teaching construction management. *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management*, 127(1), 66–75.
- Kalay, Y.E., Khemlania, L., Choi, J.W., 1998. An integrated model to support distributed collaborative design of buildings. *Automation in Construction* 7, 177- 188
- Khosrowshahi, F., Alani, A., 2011. Visualization of impact of time on the internal lighting of a building *Automation in Construction* 20 (2011) 145–154.
- Koo, B. and Fischer, M., 2000. Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 126, No. 4, pp. 251-260.
- Ma, Z., Shen, Q., Zhang, J., 2005. Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects, *Automation in Construction* 14 (3), 369–381.
- Mallasi, Z., 2006. Dynamic quantification and analysis of the construction workspace congestion utilizing 4D visualization, *Automation in Construction* 15, 640–655.
- Mena, A., López, F., Framiñan, J.M., Flores, F., Gallego, J.M., 2010. XPDR project: Improving the project documentation quality in the Spanish architectural, engineering and construction sector, *Automation in Construction* 19 (2010) 270–282.
- Peterson, F., Hartmann, T., Fruchter, R., Fischer, M., 2011. Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned, *Automation in Construction* 20 (2011) 115–125.
- Rüppel, U., Schatz, K., 2011. Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations, *Advanced Engineering Informatics* 25 (2011) 600–611.
- Rueppel, U., Stuebbe, K.M., 2008. BIM-Based Indoor-Emergency-Navigation-System for Complex Buildings *Tsinghua Science and Technology* ISSN 1007-0214 58/67 pp362-367 Volume 13, Number S1, October 2008.

- Shen, W., Shen, Q., Sun, Q., 2012. Building Information Modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer–user communications, *Automation in Construction* 21 (2012) 148–160.
- St. Clair, E., Maloney, A., Schade, A., 2012. An Introduction to Building 3D Crime Scene Models Using SketchUp. *J Assoc Crime Scene Reconstr.* 2012:18 (4); 29-47.
- Wang, H.J., Zhang, J.P., Chau, K.W., Anson, M., 2004. 4D dynamic management for construction planning and resource utilization, *Automation in Construction* 13 (5), 575–589.
- Zhang, J.P., Hu, Z.Z., 2011. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies, *Automation in Construction* 20,155–166

Artículos en congresos

- Adjei-Kumi, T., Retik, A., 1997. A library-based 4D visualization of construction processes, Proc., Information Visualization Conf., Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, N.J., 315–321.
- Eastman, Ch., Sacks, R., Lee, G., 2002. Strategies for Realizing the Benefits of 3D Integrated Modeling of Buildings for the AEC Industry. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 19th (ISARC). Proceedings. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. September 23-25, 2002, 9-14.
- Fischer, M., 2001. The frontier of virtual building, Workshop on Virtual Construction, organized by ENCORD, 26–27 November, Essen, Germany.
- Fischer, M., Kam, C., 2001. 4D Modelling: technologies and research, presentation given to Workshop on 4D Modelling: Experiences in UK and Overseas, organized by The Network on Information Standardization, Exchanges and Management in Construction.
- Ganuzá, J.J., 1997. Lo sobrecoste en las obras públicas: un análisis económico del caso español. *Economía industrial*, ISSN 0422-2784, Nº 318, 1997, págs. 111-122
- Kähkönen, K., Leinonen, J., 2001. Advanced communication technology as an enabler for improved construction practice, presentation given to Workshop on 4D Modelling: Experiences in UK and Overseas, organized by The Network on Information Standardization, Exchanges and Management in Construction.
- Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D., 2005. Case Study of The Implementation of The Lean Project Delivery System (LPDS) using Virtual Building Technologies on a Large Healthcare Project, Proceedings 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-13, Sydney, Australia
- Khanzode, A., Fischer, M., and Reed, D., 2008. Benefits and lessons learned of implementing building Virtual Design and Construction (VDC) technologies for coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems on a large healthcare project. *ITCON Special Issue Case Studies of BIM Use*, Vol. 13, pp. 324-342.
- Rischmoller, L., Fischer, M., Fox, R., Alarcon, L., 2001. 4D Planning and Scheduling (4D-PS): Grounding Construction IT Research in Industry Practice. Conference Proceedings- IT in Construction in Africa, CIB W78 International Conference, Mpumalanga, South Africa.
- Shin, H.M., Lee H.M., Oh, S.J., Chen, J.H., 2011. Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Column Based on BIM, The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction *Procedia Engineering* 14 (2011) 2160–2163
- Smith, P., 2014. BIM & the 5D project cost manager. 27th IPMA World Congress. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 119 (2014) 475-484.
- Staub-French, S., Khanzode, A., 2007. 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned. *ITCON July 2007*.

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

Vergara, E.P., Nájera, P., Otaño, L., Vergara, D., 2011. Gestión del proyecto de construcción de un campo de experimentación agraria en la Universidad de La Rioja utilizando EVMS. 15th International Congress on Project Management. Huesca.

Vergara, E., Nájera, P., Otaño, L., 2013. Infraestructuras científicas: Salas de crianza y guarda de vinos orientadas a investigación. 17th International Congress on Project Management and engineering. Logroño, La Rioja.

Vergara, E.P., Remartínez, J., Vergara, D., 2014. Uso de modelos 4D para la visualización de la secuencia de construcción en proyectos de ingeniería. 18th International Congress on Project Management and Engineering. Alcañiz.

Libros y capítulos de libros

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., 2011. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd ed., NY: John Wiley and Sons.

Ruiz Ojeda, A.L, 2002, Los problemas de regulación de mercados en el nuevo derecho de la contratación pública: el caso del contrato de obra, en Panorama jurídico de las administraciones públicas en el siglo XXI: homenaje al profesor Eduardo Roca Roca, coord. por Jaime Rodríguez-Arana Muñoz, Iñigo del Guayo Castiella, ISBN 84-340-1377-0 , págs. 1337-1364.

Informes jurídicos

Informe 8/97, de 20 de marzo de 1997, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa. Ministerio de Economía y Hacienda. "Método o fórmulas para valorar el precio como criterio de selección de ofertas en el concurso".

Informe 1/2000, de 8 de febrero de 2000, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa de la Comunidad de Madrid, sobre la ponderación del criterio de precio en los concursos.

Informe 3/2005, de 7 de julio de 2005, de la Comisión Permanente de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa de la Generalidad de Cataluña. Asunto: Consideración del precio y valoración de la experiencia en el proceso de adjudicación de los concursos.

Informe 30/07, de 5 de julio de 2007, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa. Ministerio de Economía y Hacienda. "Posibilidad de incluir como criterio de adjudicación del concurso en un contrato de obras la valoración de la memoria constructiva".

Informe 9/09, de 31 de marzo de 2009, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa del Ministerio de Economía y Hacienda. "Aplicación del criterio de arraigo local o de vecindad de la empresa como requisito de aptitud, de solvencia o como criterio de adjudicación en los contratos".

Informe 4/11, de 28 de octubre de 2011, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa. Ministerio de Economía y Hacienda. "Consulta sobre baremar las ofertas económicas en un pliego de cláusulas administrativas particulares valorando con mayor puntuación, en cuanto al precio, a ofertas que no se corresponden con la más baja".

Resolución de 28 de marzo de 2012, de la Dirección General de Patrimonio del Estado, por la que se publica la Recomendación de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa sobre la interpretación del régimen contenido en el artículo 107 del Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público sobre las modificaciones de los contratos. BOE Núm. 86, de 10 de abril de 2012.

Informes técnicos

- Calveras, A., Ganuza, J.J., Hauk, E., 2001. Wild bids. Gambling for resurrection in procurement contracts. Working paper, 553, Universidad Pompeu Fabra.
- Fischer, M., Kunz, J., (2004). The scope and role of Information Technology in Construction. Technical Report 156, Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, CA, USA.
- Khanzode, A., 2010. An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP. Technical Report #TR187. Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, CA, USA.
- Koo, B., Fischer, M., 1998. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. CIFE Technical Report #118 August, Stanford University.
- Kunz, J., Fischer, M., 2012. Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. CIFE Working Paper #097. Version 14; January 2012.
- Staub-French S., Fischer, M., 2001. Industrial Case Study of Electronic Design, Cost, and Schedule Integration. Technical Report No. 122, Center for Integrated Facilities Engineering, Stanford University, CA. (www.stanford.edu/group/CIFE/Publications)

Artículos en prensa diaria

“Las obras públicas se adjudican en Asturias un 40% más baratas que el precio de salida”, Diario La Nueva España, 21 de agosto de 2014.

Sitios web

- <http://www.sketchupartists.org/spotlight/artists/alan-hook-film-and-television-design-with-google-sketchup/>. Consultada el 23-08-2014.
- <http://sketchupdate.blogspot.com.es/2011/03/sketchup-pro-case-study-randy-wilkins.html>. Consultada el 23-08-2014.
- Ganuza, J.J., 2014. Los sobrecostes de Sacyr en el canal de Panamá y el anuncio de Campofrío. <http://www.fedeablogs.net/economia/?p=34701> (consultado el 03/08/2014)
- Ganuza, J.J., 2010. Contratación pública. FEDEA. www.fedea.net/reformasestructurales/PDF/Contratacion_publica.pdf (consultado el 03/08/2014)

Legislación

- Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible. BOE núm. 55 de 05 de Marzo de 2011
- Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos del Sector Público. BOE núm. 276 de 16 de Noviembre de 2011

Anexo I

Visualización de la secuencia de construcción

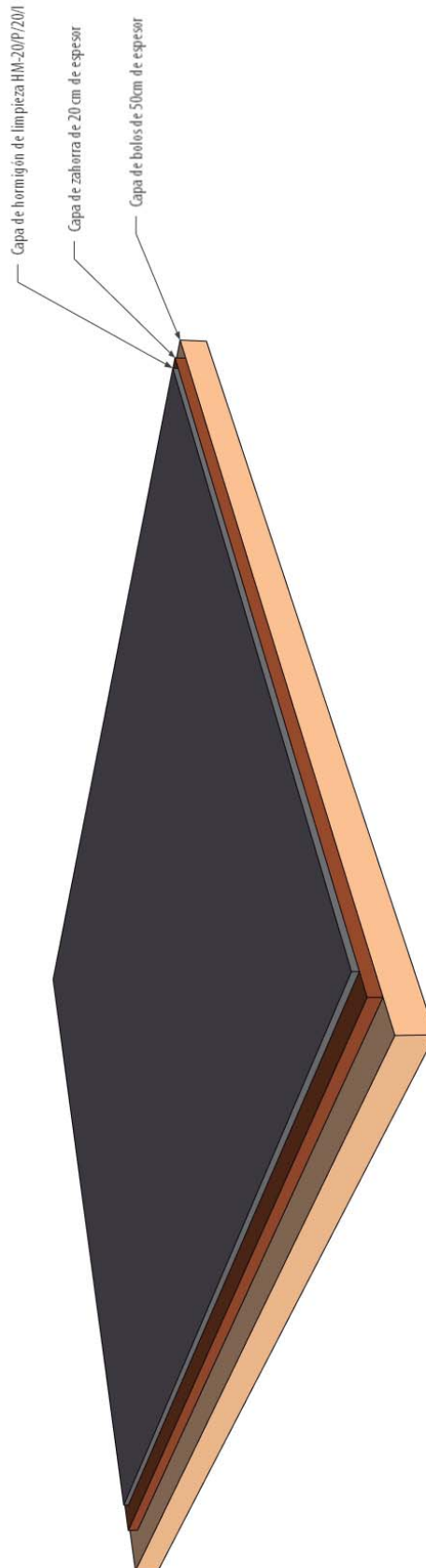


Fig. 1 – Preparación de la cimentación. Sobre una base de bolos de 50cm de espesor compactados, se coloca una base de zahorra de 20 cm Y sobre ella, el hormigón de limpieza

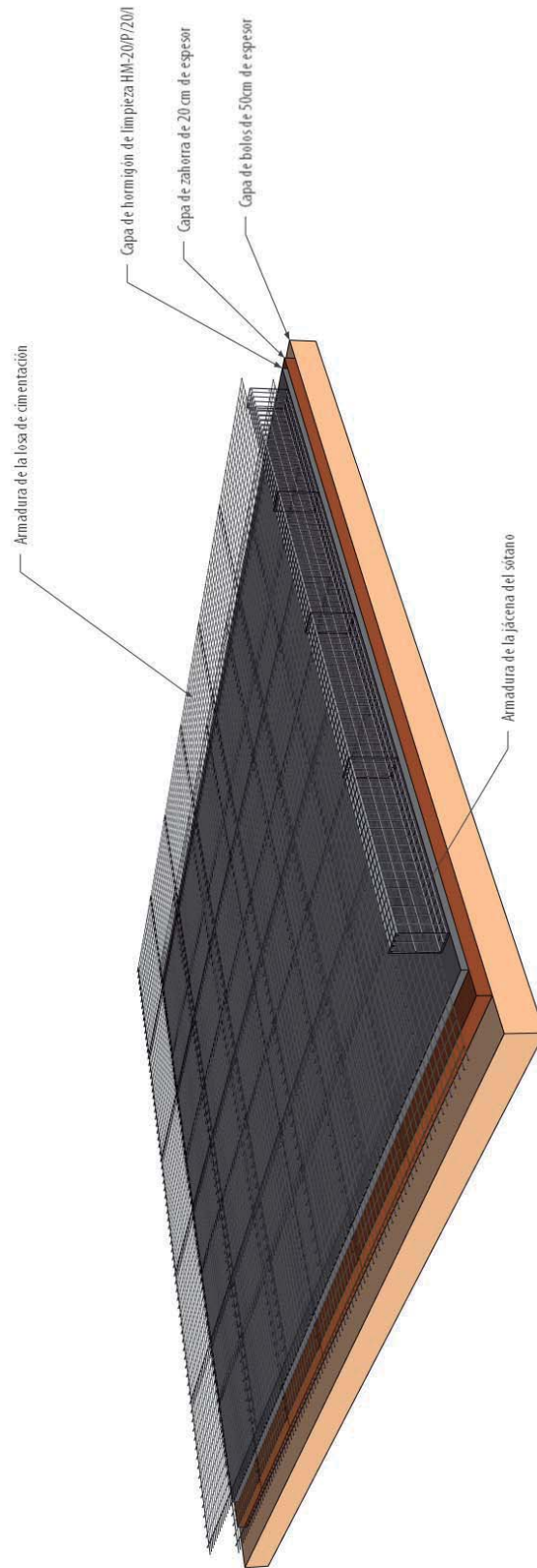


Fig. 2 – Colocación de la armadura de la losa de cimentación



Fig. 3 – Colocación de la armadura de la losa de cimentación

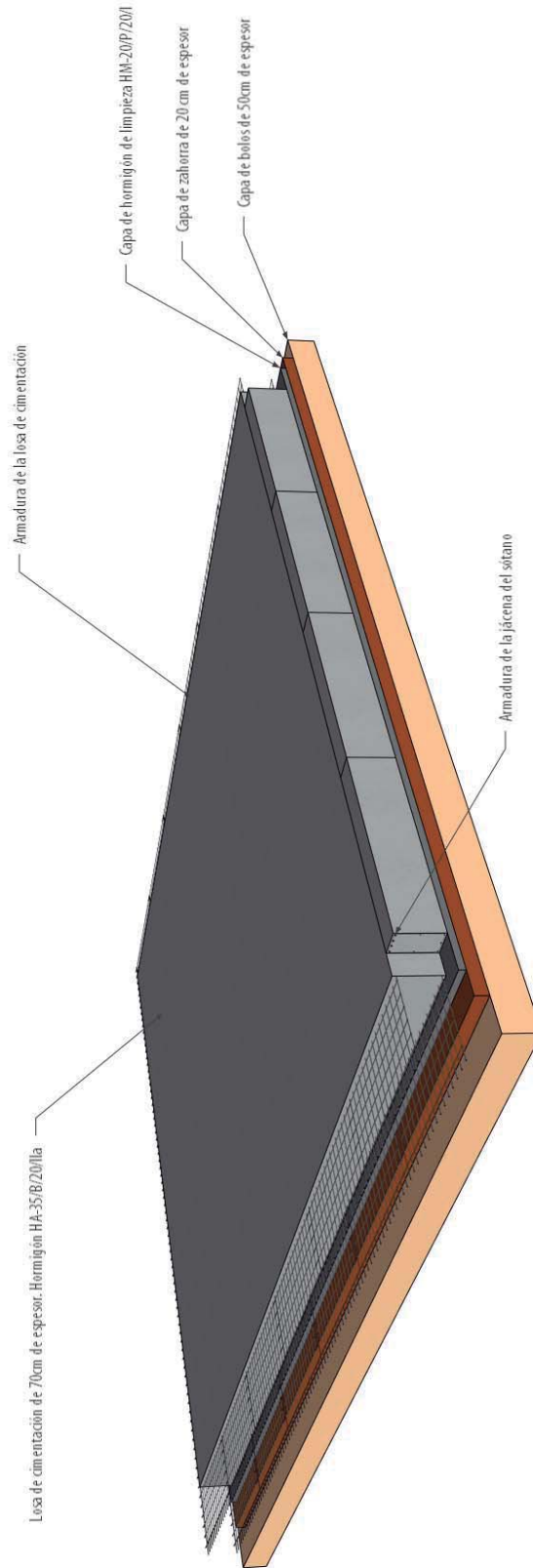


Fig. 4 – Hormigonado de la losa de cimentación



Fig. 5 – Hormigonado de la losa de cimentación

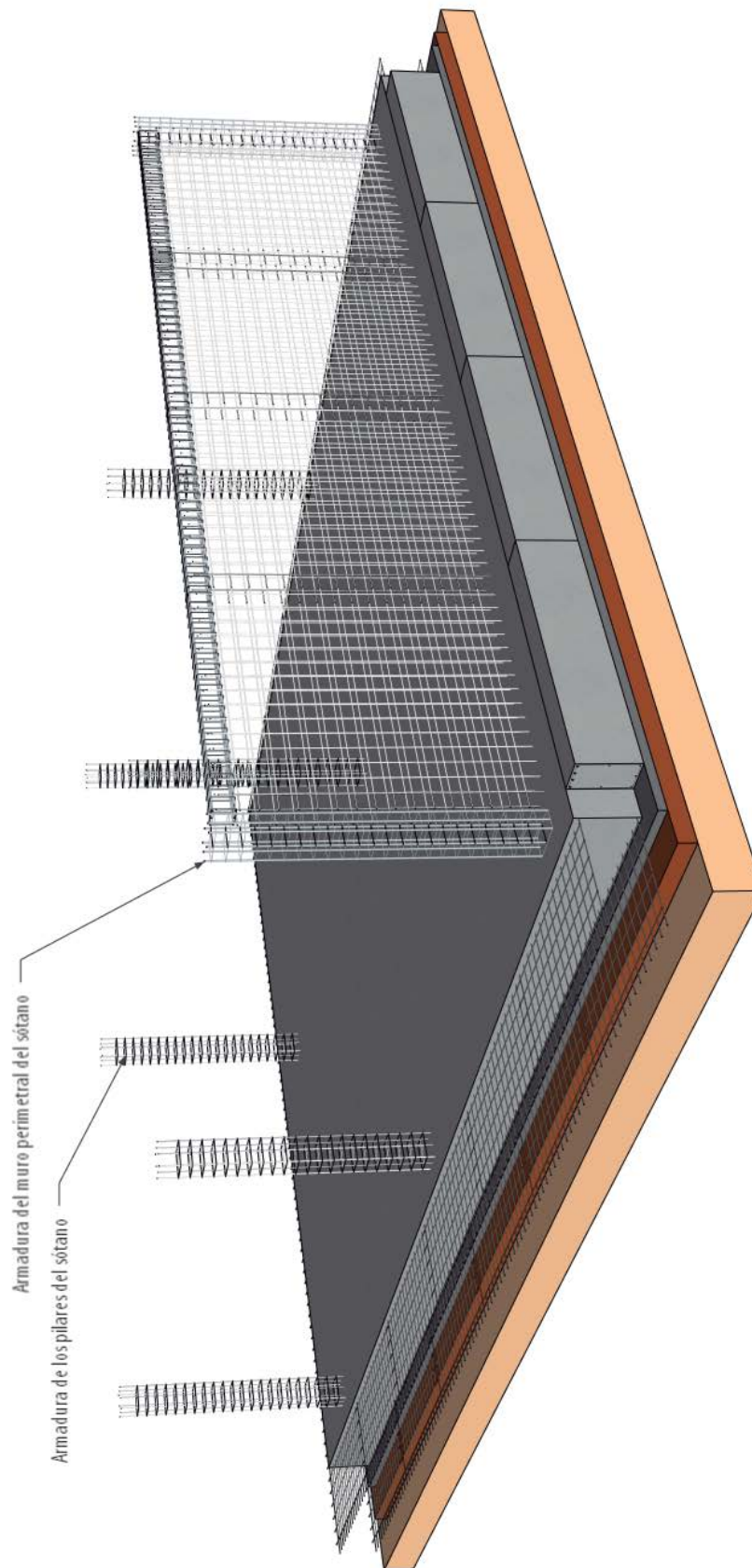


Fig. 6 – Colocación de las armadura de los pilares y muro perimetral de la planta sótano.



Fig. 7 – Colocación de las armadura de los pilares y muro perimetral de la planta sótano.

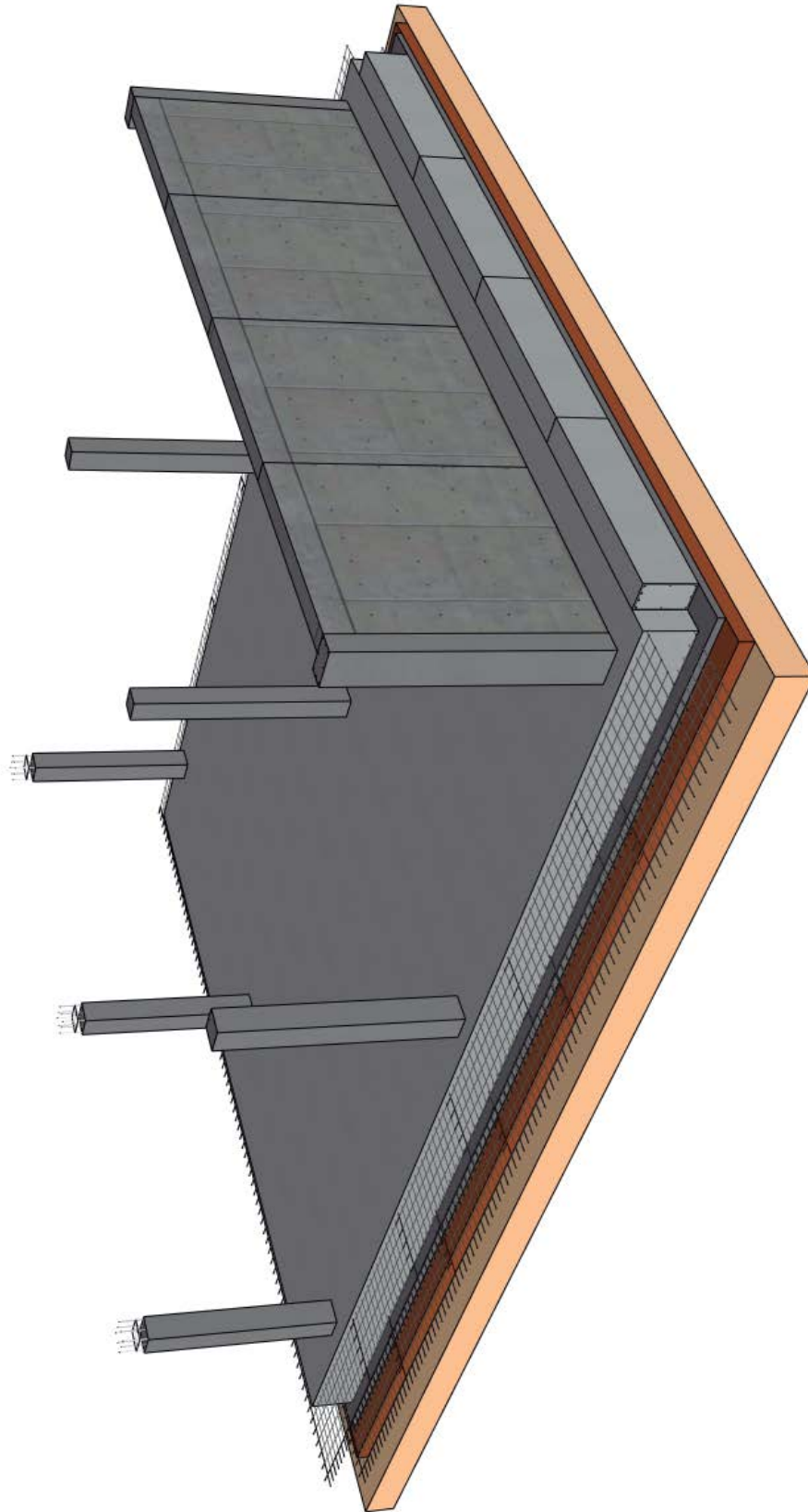


Fig. 8 – Hormigonado de los pilares y el muro perimetral de la planta sótano



Fig. 9 – Hormigonado de los pilares y el muro perimetral de la planta sótano

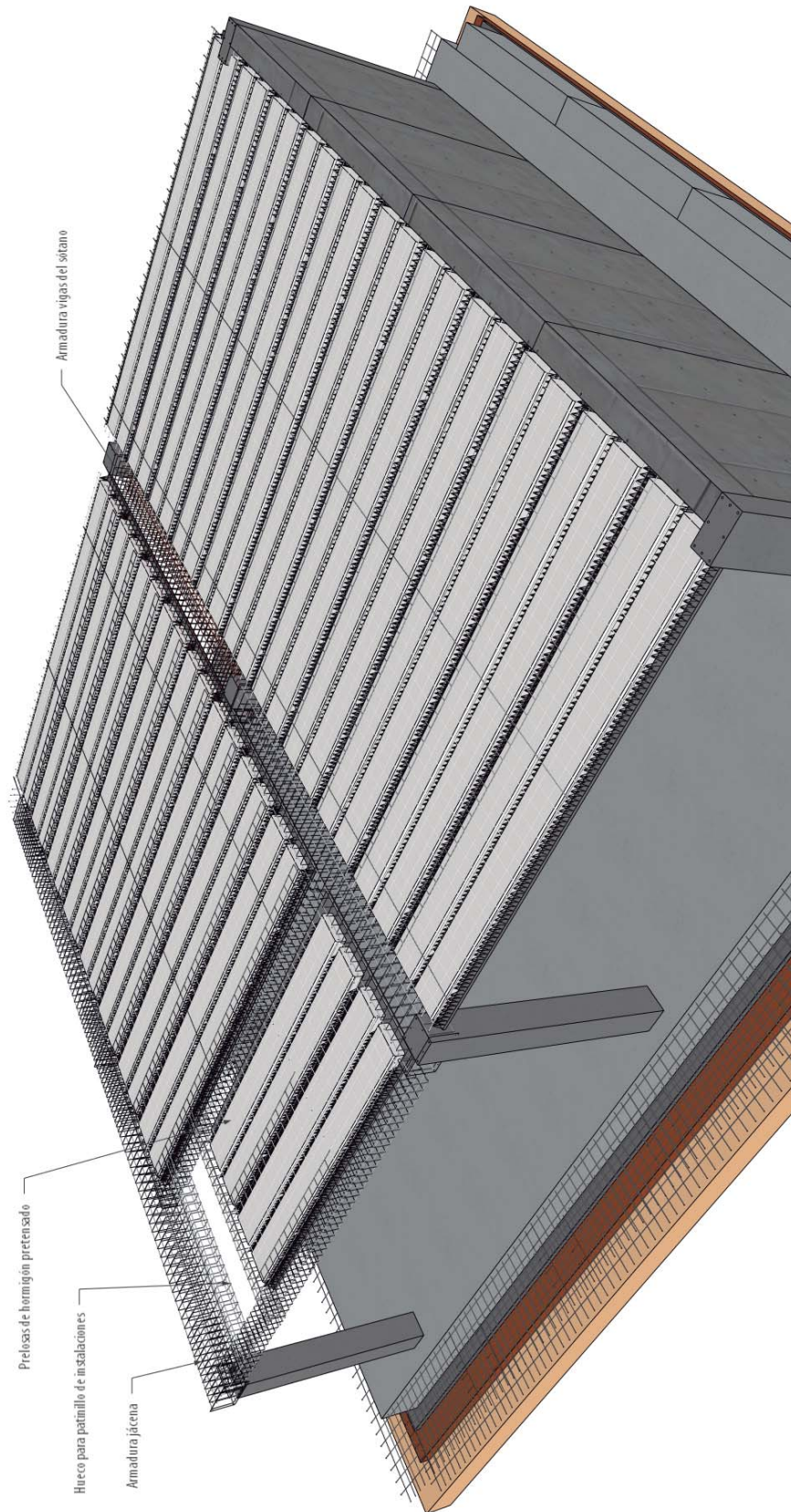


Fig. 10 – Colocación de las prelosas del forjado de la planta sótano, y las armaduras de las vigas



Fig. 11 – Colocación de las prelasas del forjado de la planta sótano, y las armaduras de las vigas

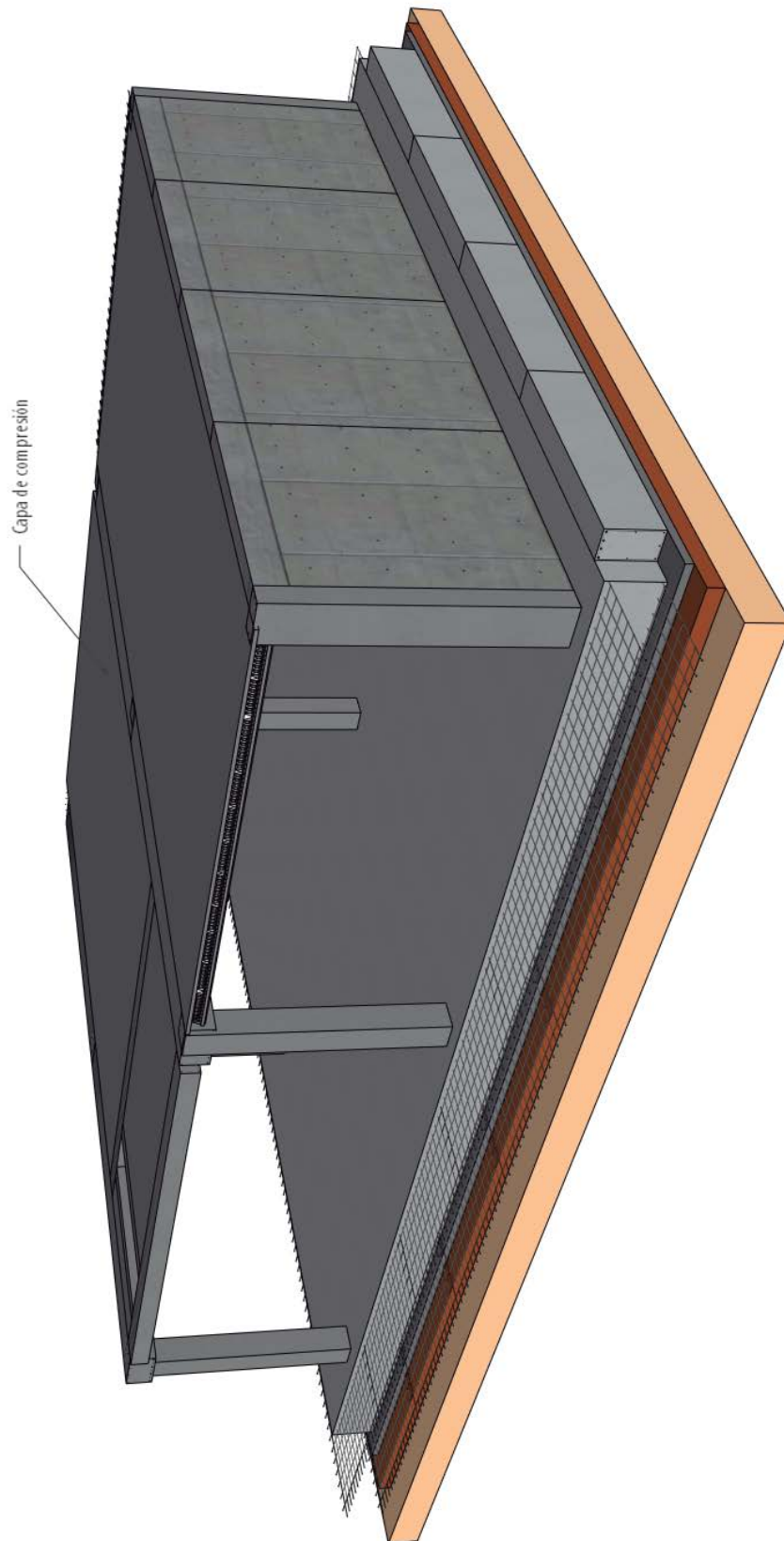


Fig. 12 – Hormigonado de las prelasas del forjado del sótano



Fig. 13 – Hormigonado de las prelasas del forjado del sótano

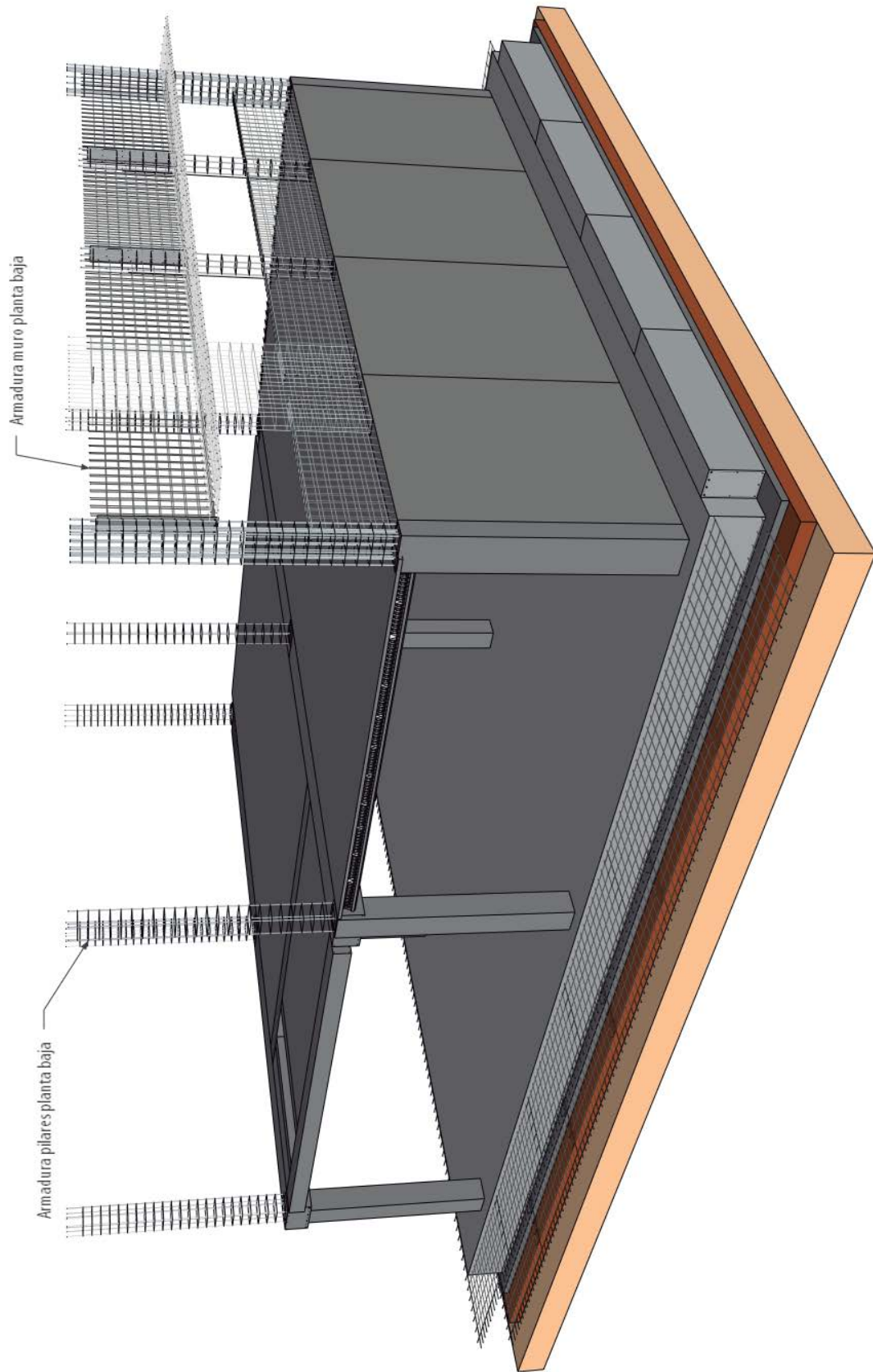


Fig. 14 – Colocación de las armaduras de los pilares de la planta baja y del su muro



Fig. 15 – Colocación de las armaduras de los pilares de la planta baja y del su muro

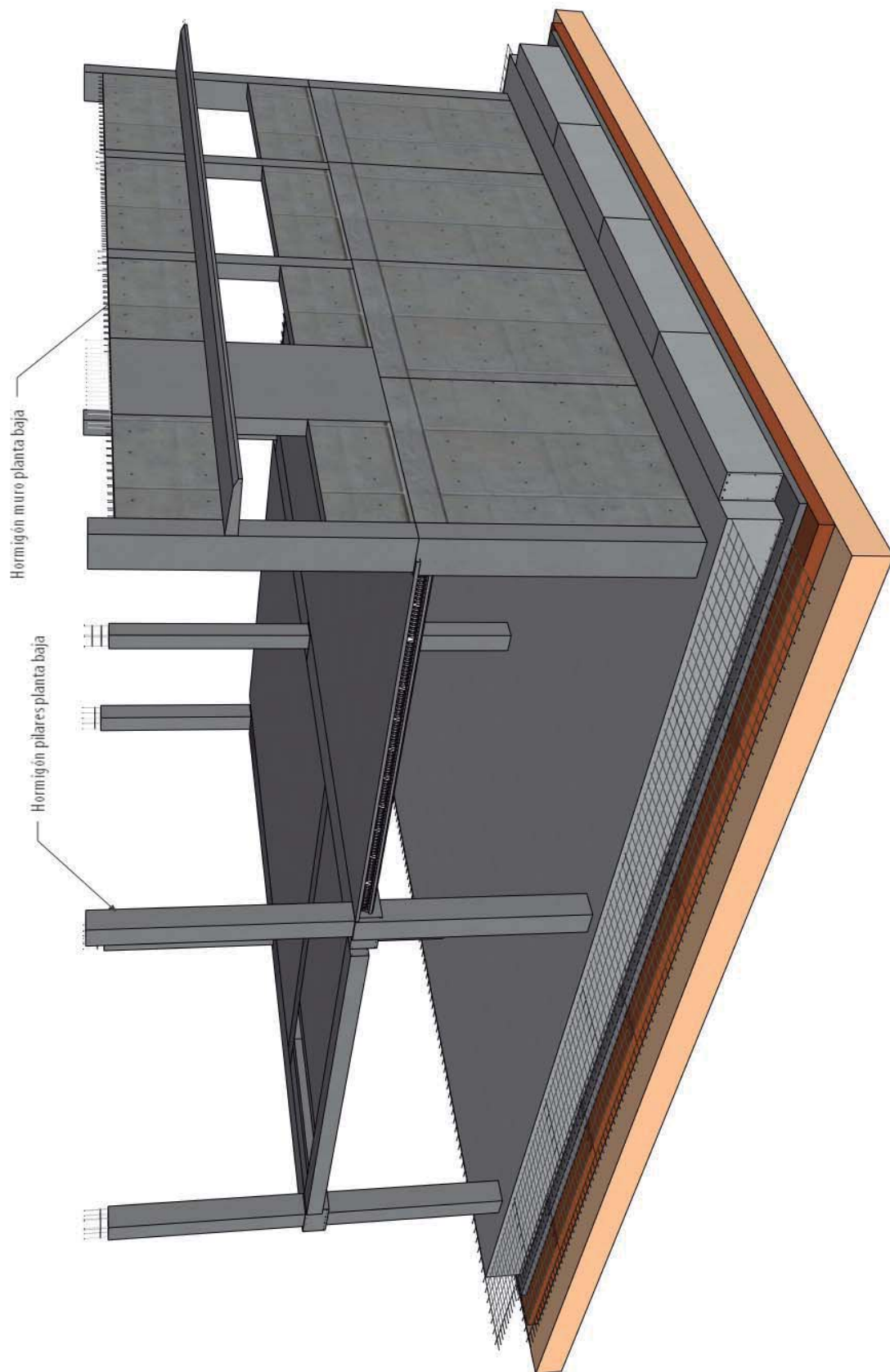


Fig. 16 – Hormigonado de los pilares de la planta baja y del su muro



Fig. 17 – Hormigonado de los pilares de la planta baja y del su muro



Fig. 18 – Colocación de las armadura de las vigas de la planta baja

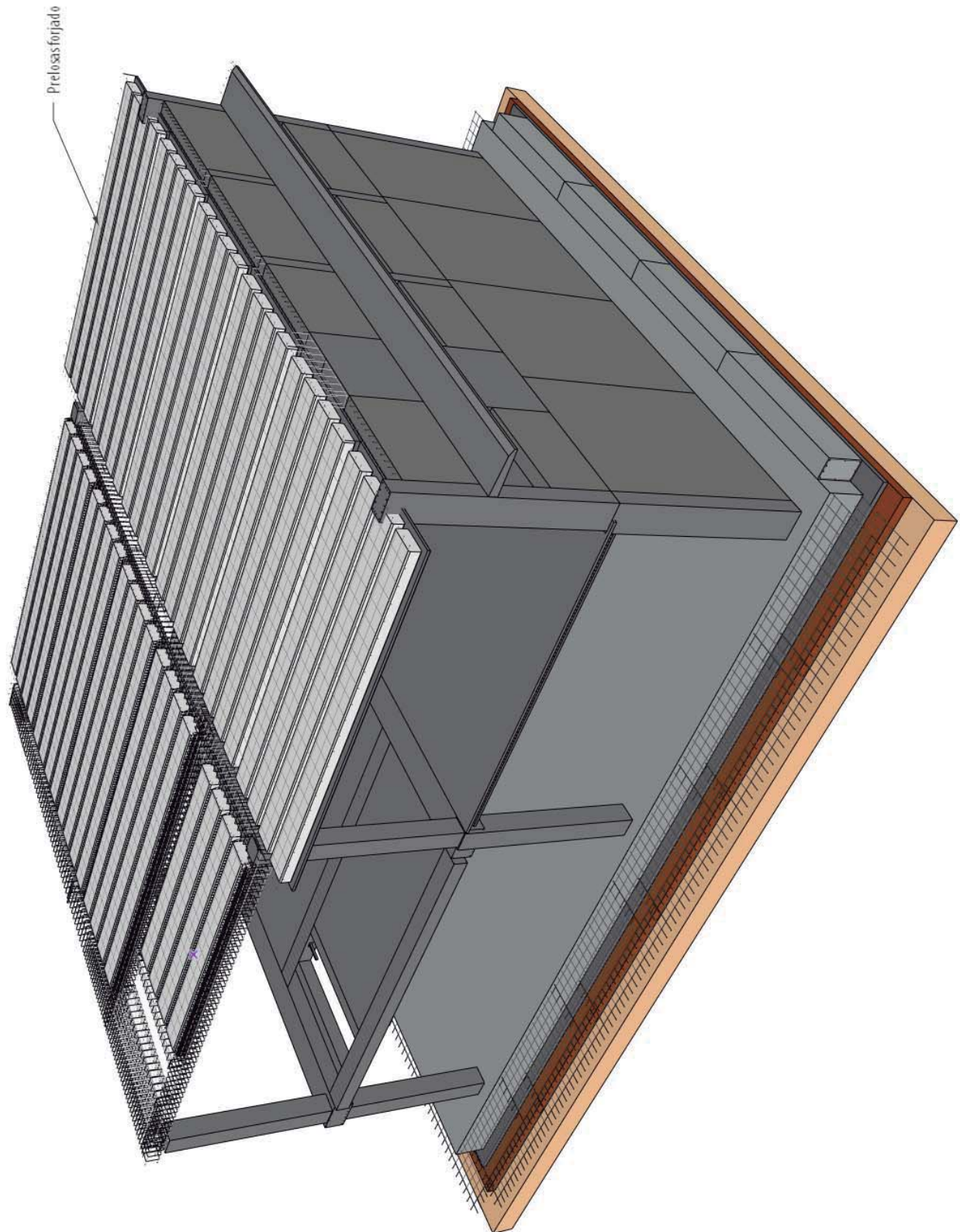


Fig. 19 – Colocación de las prelosas del forjado de la planta baja



Fig. 20 – Colocación de las prelas del forjado de la planta baja y hormigonado mediante bombeo.

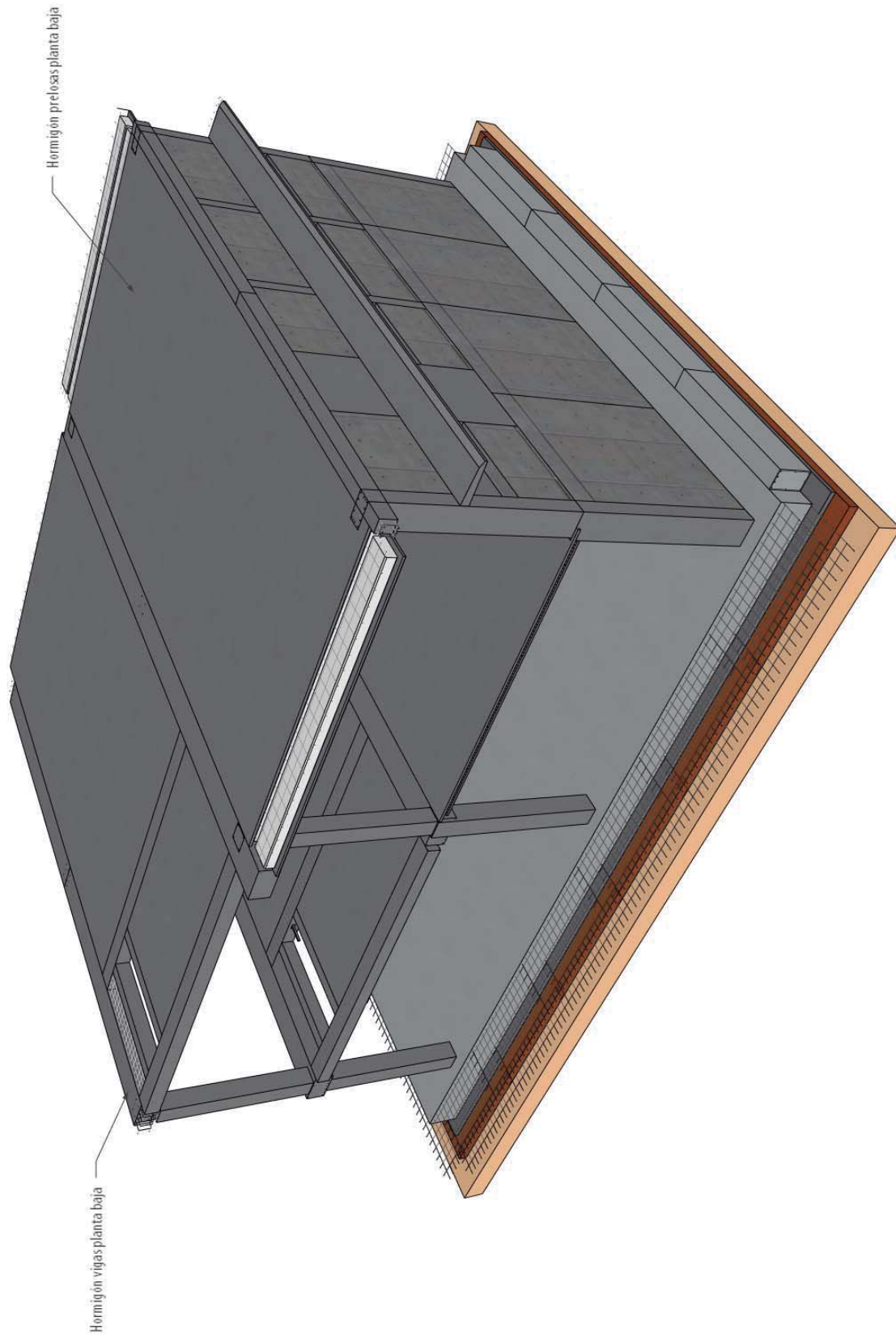


Fig. 21 – Hormigonado de las prelosas del forjado de la planta baja

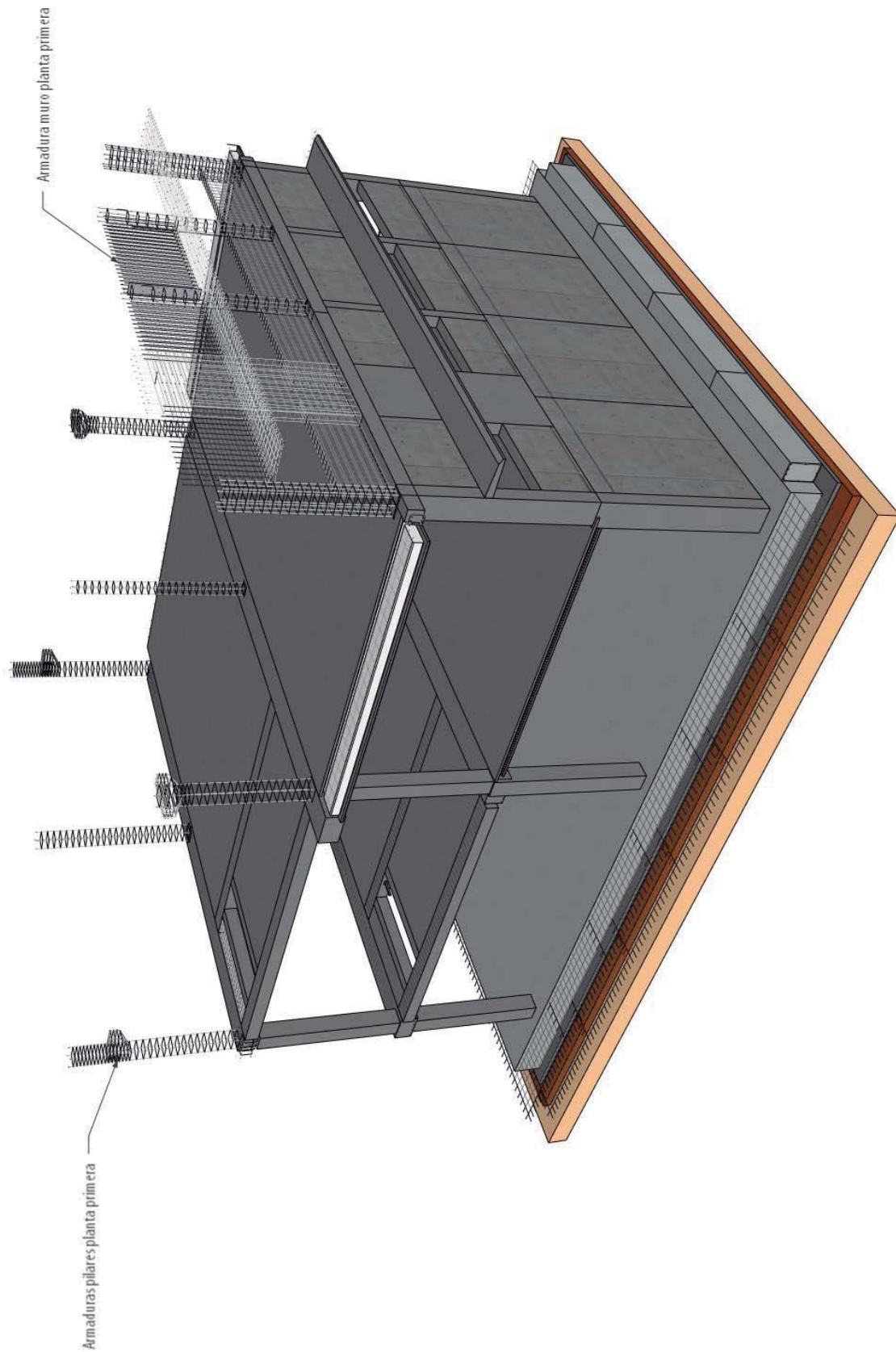


Fig. 22 – Colocación de las armaduras de los pilares que soportarán la estructura metálica

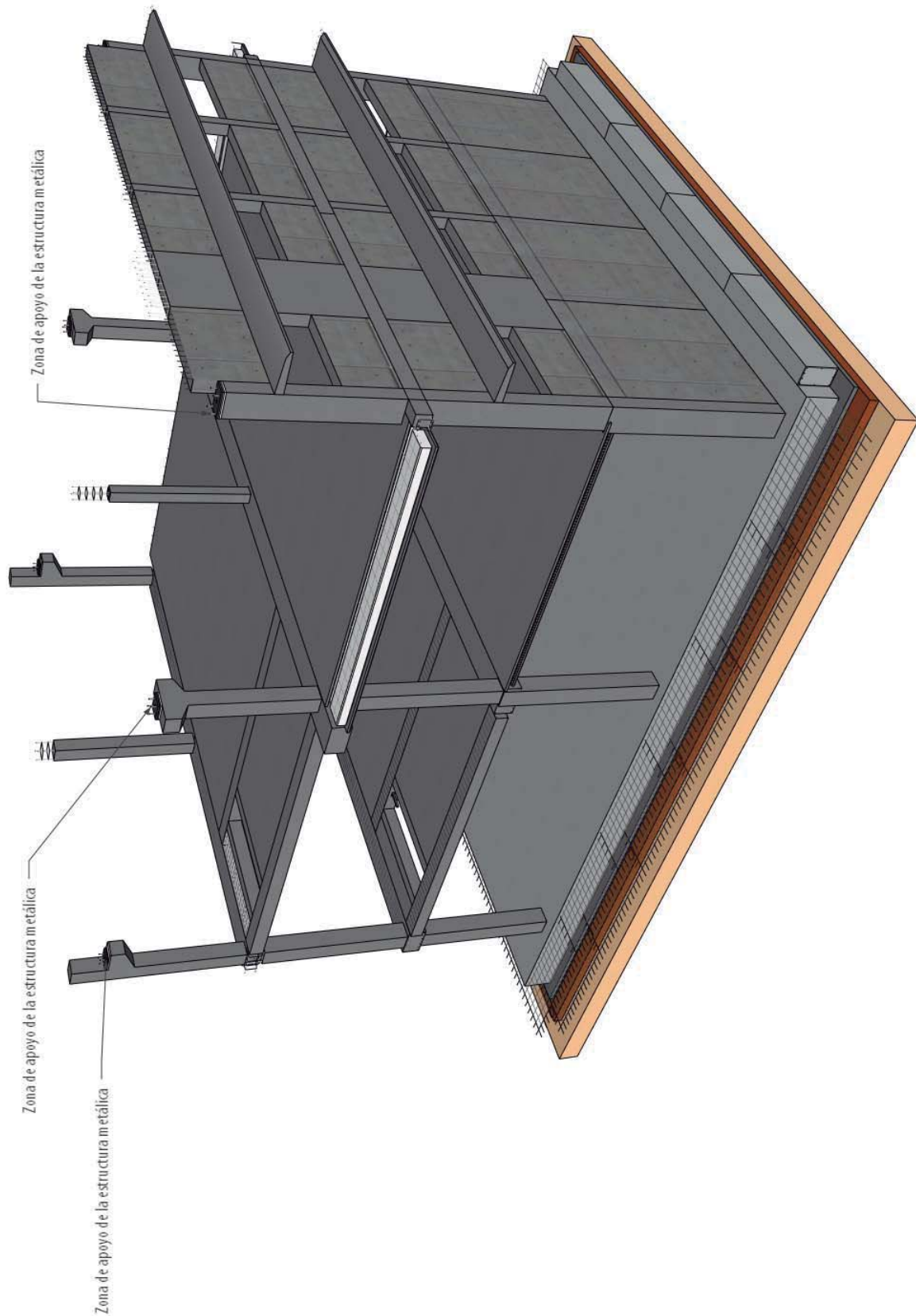


Fig. 23 – Hormigonado de los pilares y muros que soportarán la estructura metálica



Fig. 24 – Hormigonado de los pilares y muros que soportarán la estructura metálica

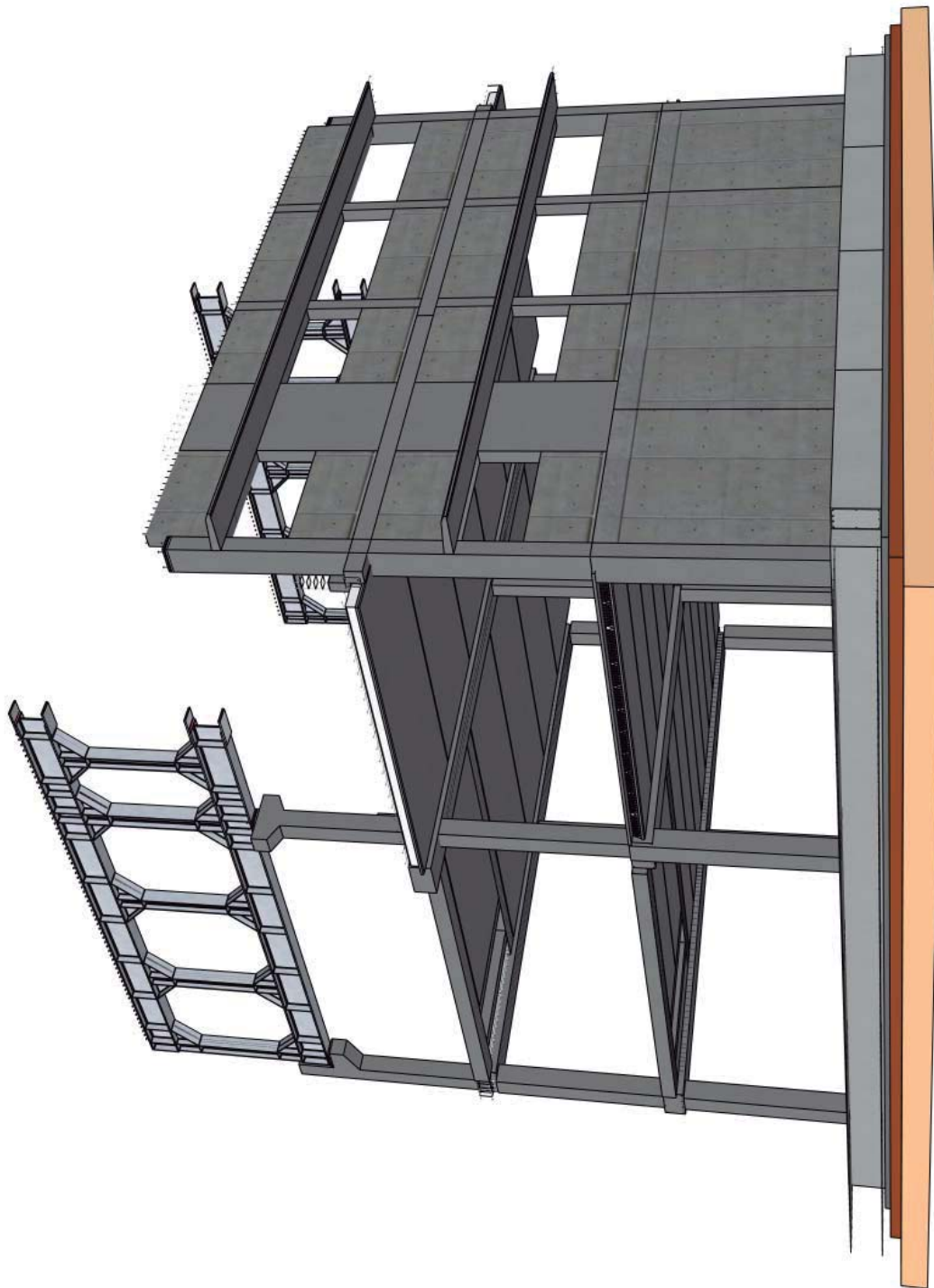


Fig. 25 – Colocación de los dos tramos interiores de la estructura metálica del voladizo.



Fig. 26 – Colocación de los dos tramos interiores de la estructura metálica del voladizo.

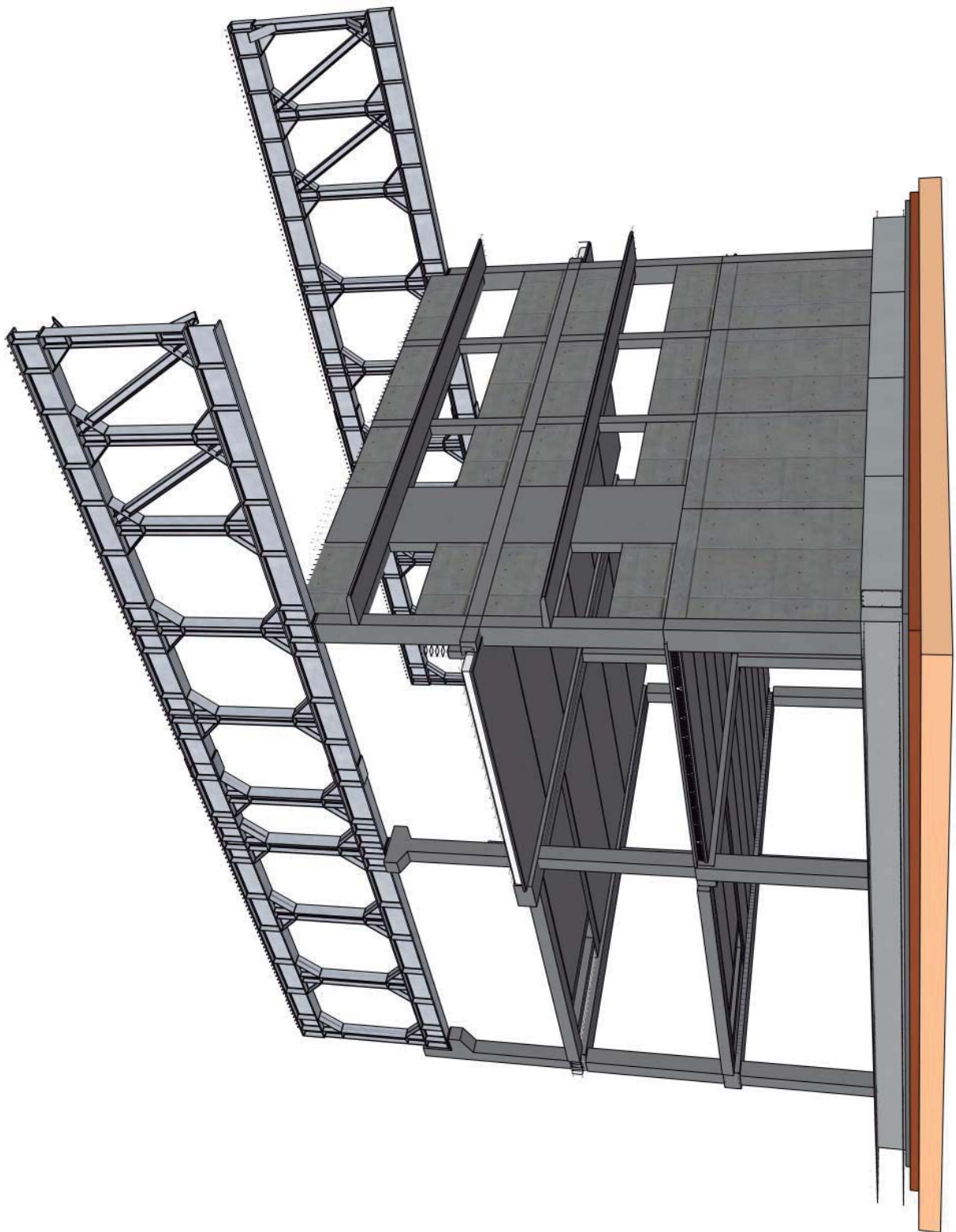


Fig. 27 – Colocación de los dos tramos exteriores de la estructura metálica del voladizo.



Fig. 28 – Colocación de los dos tramos exteriores de la estructura metálica del voladizo.

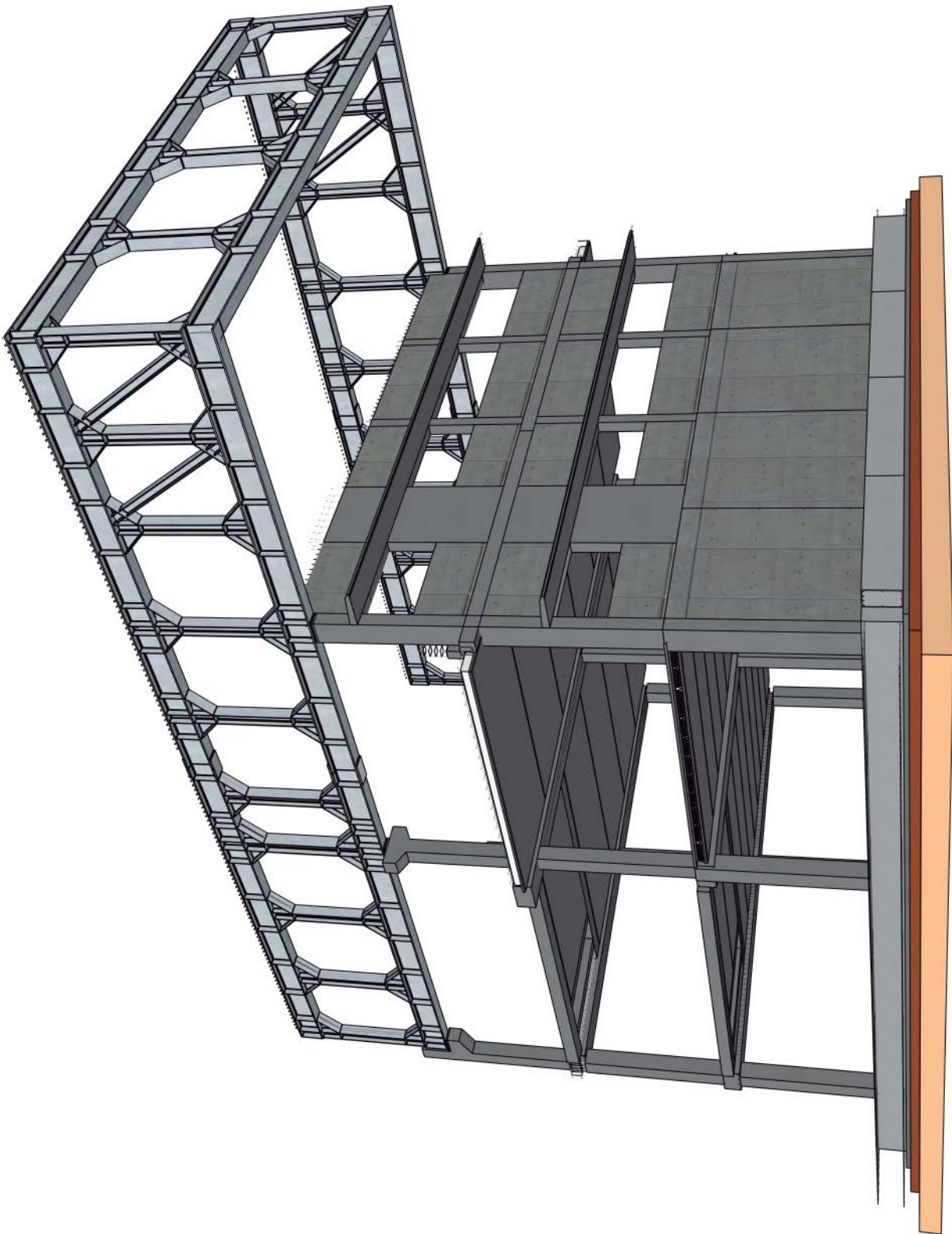


Fig. 29 – Colocación del tramo frontal de la estructura metálica del voladizo.



Fig. 30 – Colocación del tramo frontal de la estructura metálica del voladizo.

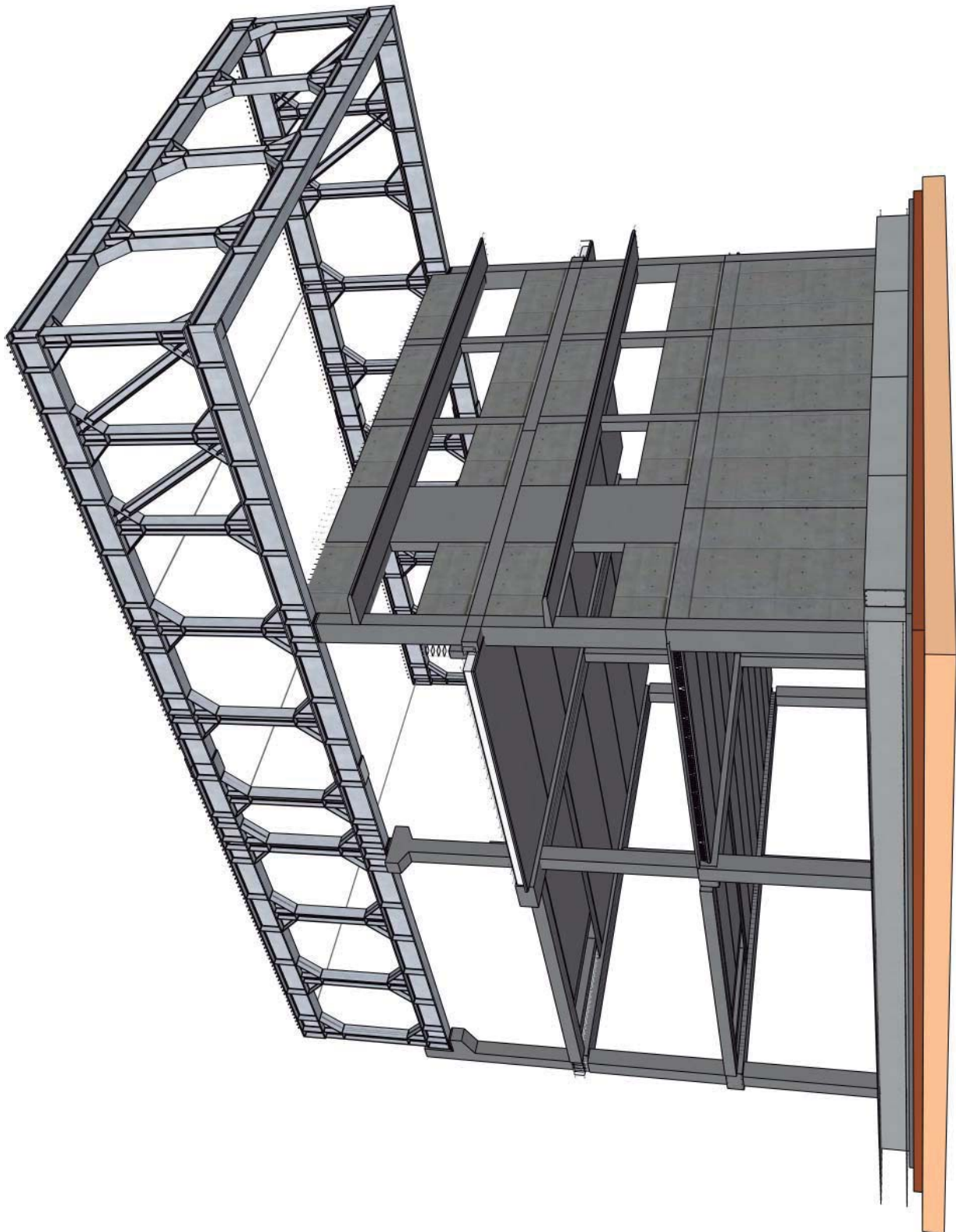


Fig. 31 – Colocación de los tirantes de la estructura.

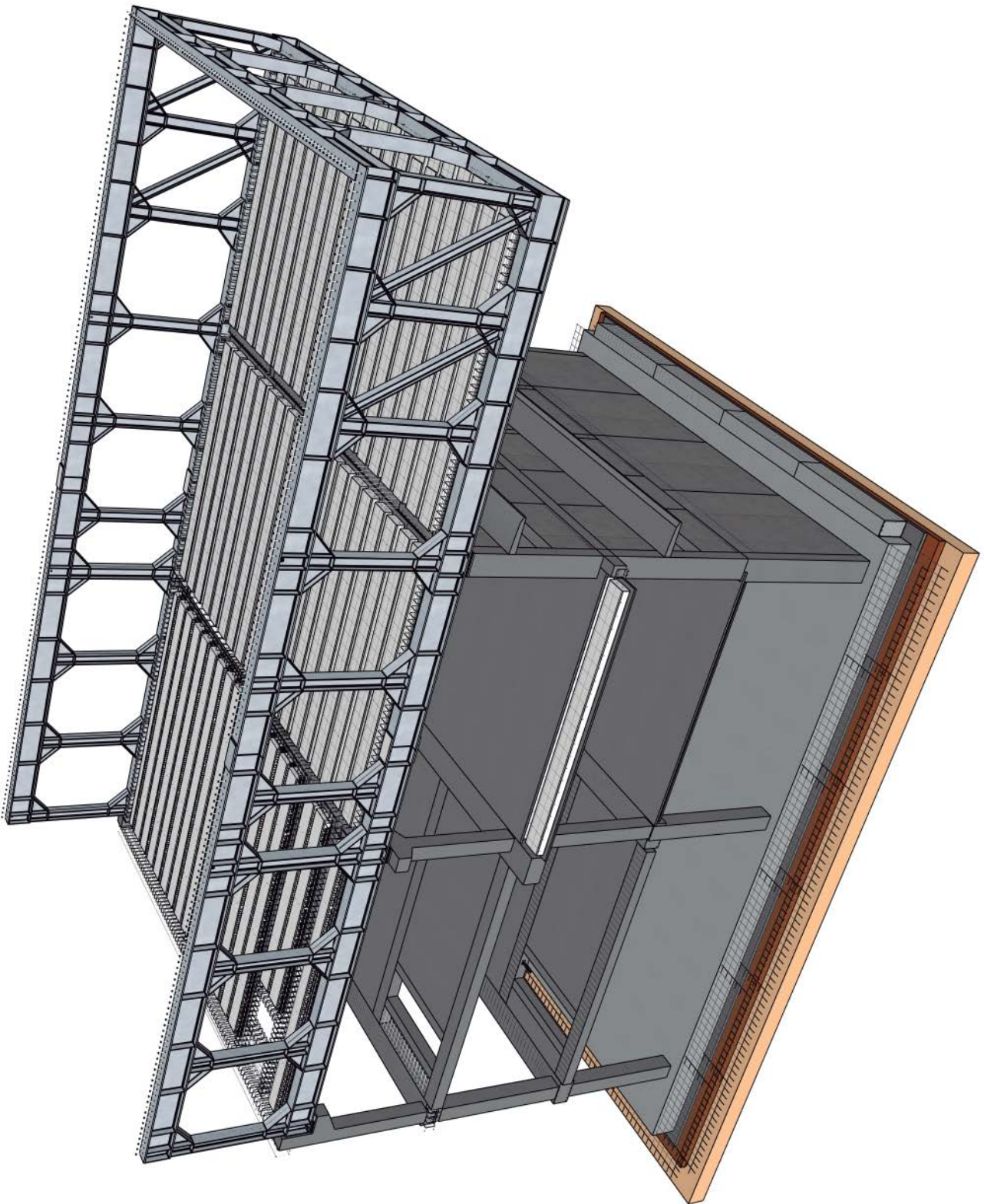


Fig. 32 – Colocación de las prelosas del forjado en el voladizo

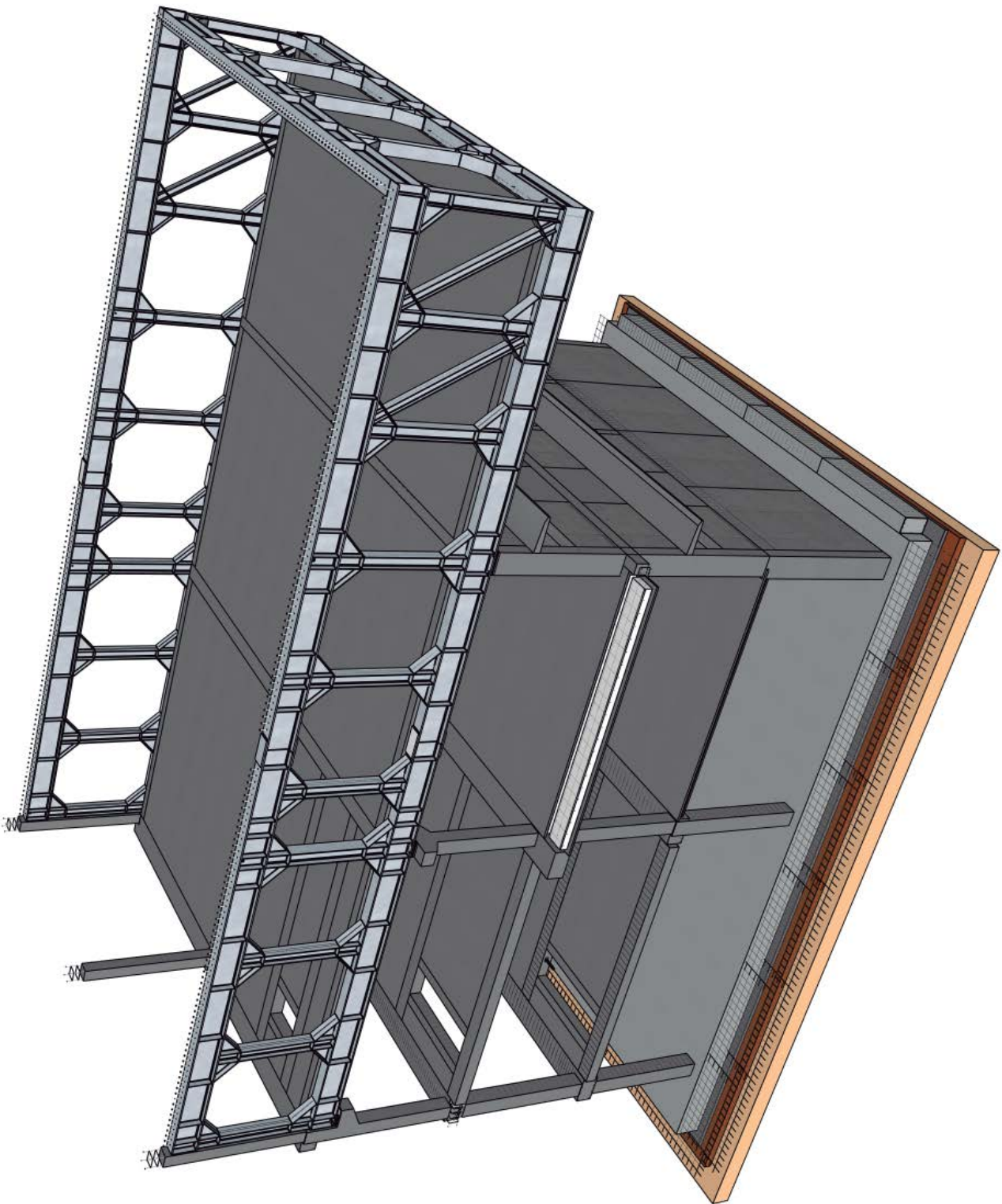


Fig. 33 – Hormigonado de las prelasas del forjado en el voladizo

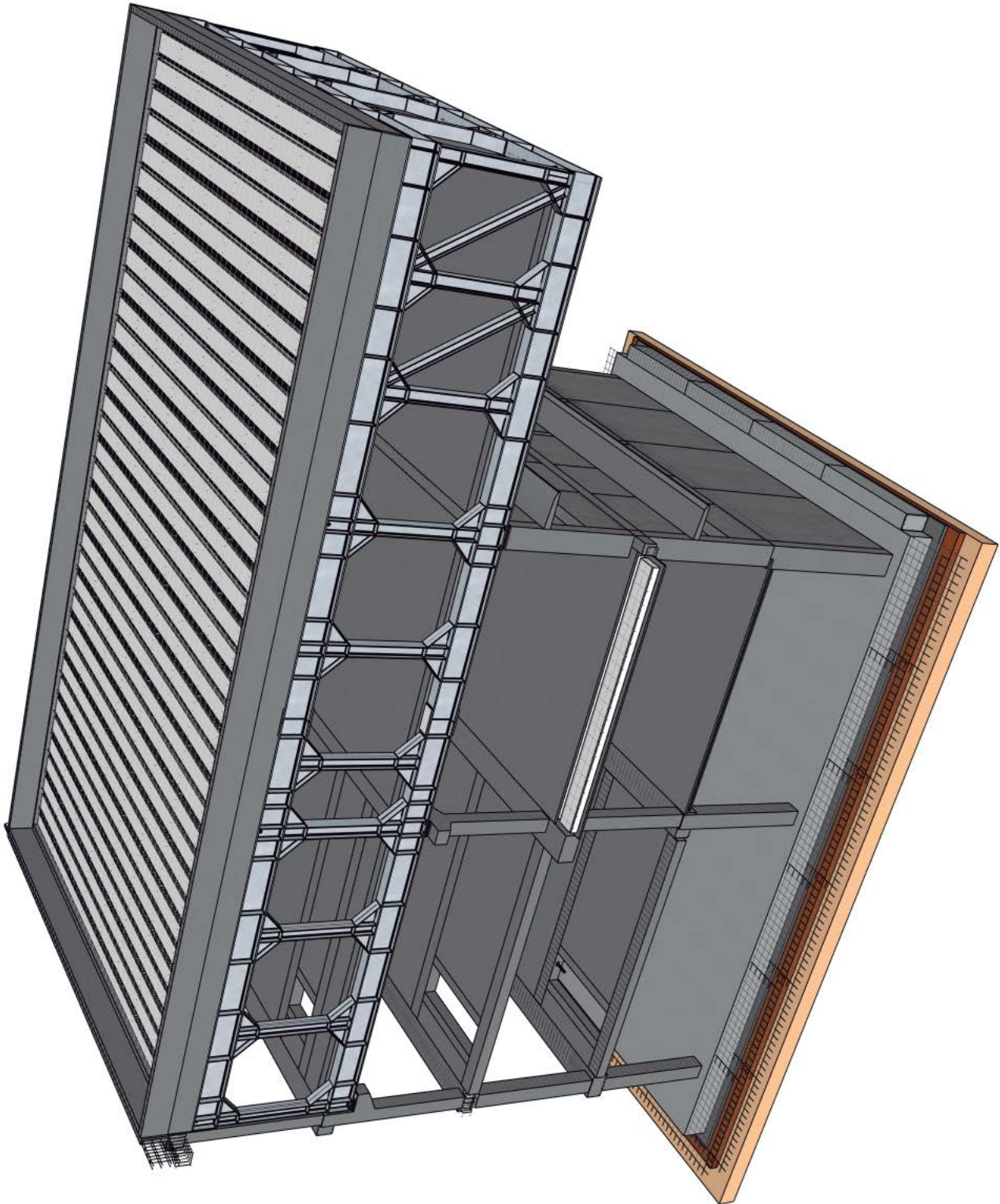


Fig. 34 – Colocación de las prelasas de la cubierta

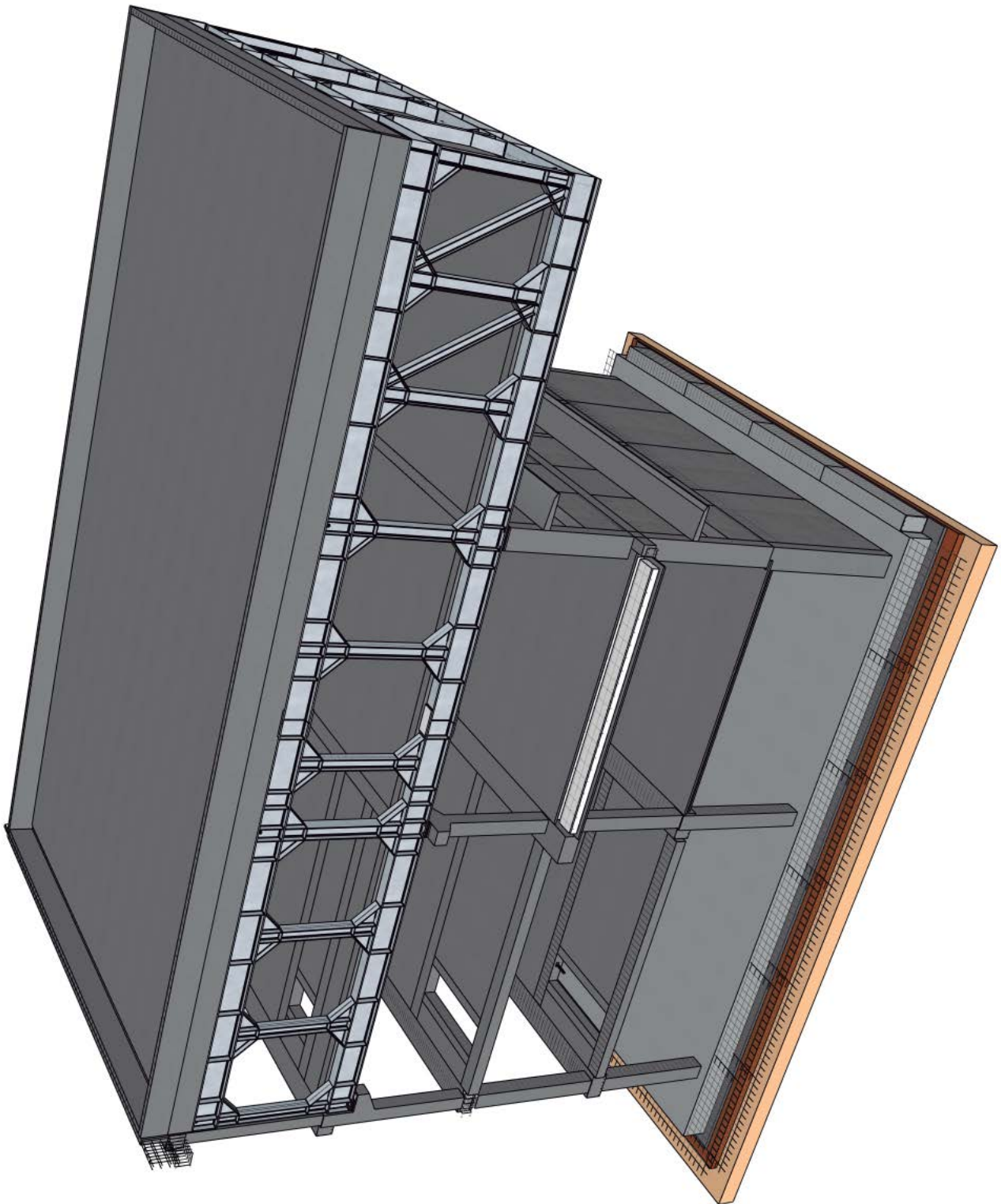


Fig. 35 – Hormigonado de las prelosas de la cubierta

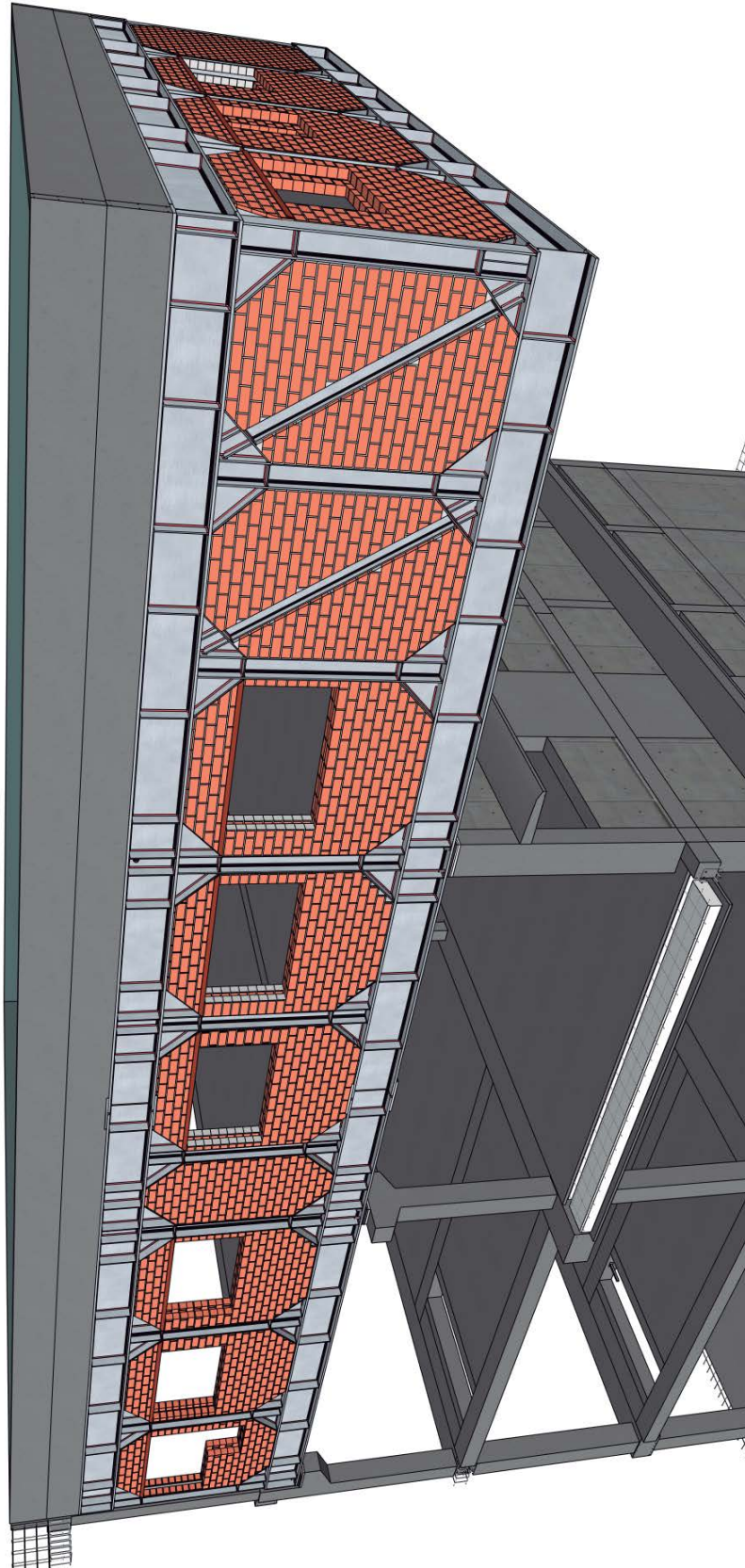


Fig. 36 – Cierre exterior de la estructura metálica del voladizo



Fig. 37 – Cierre exterior de la estructura metálica del voladizo

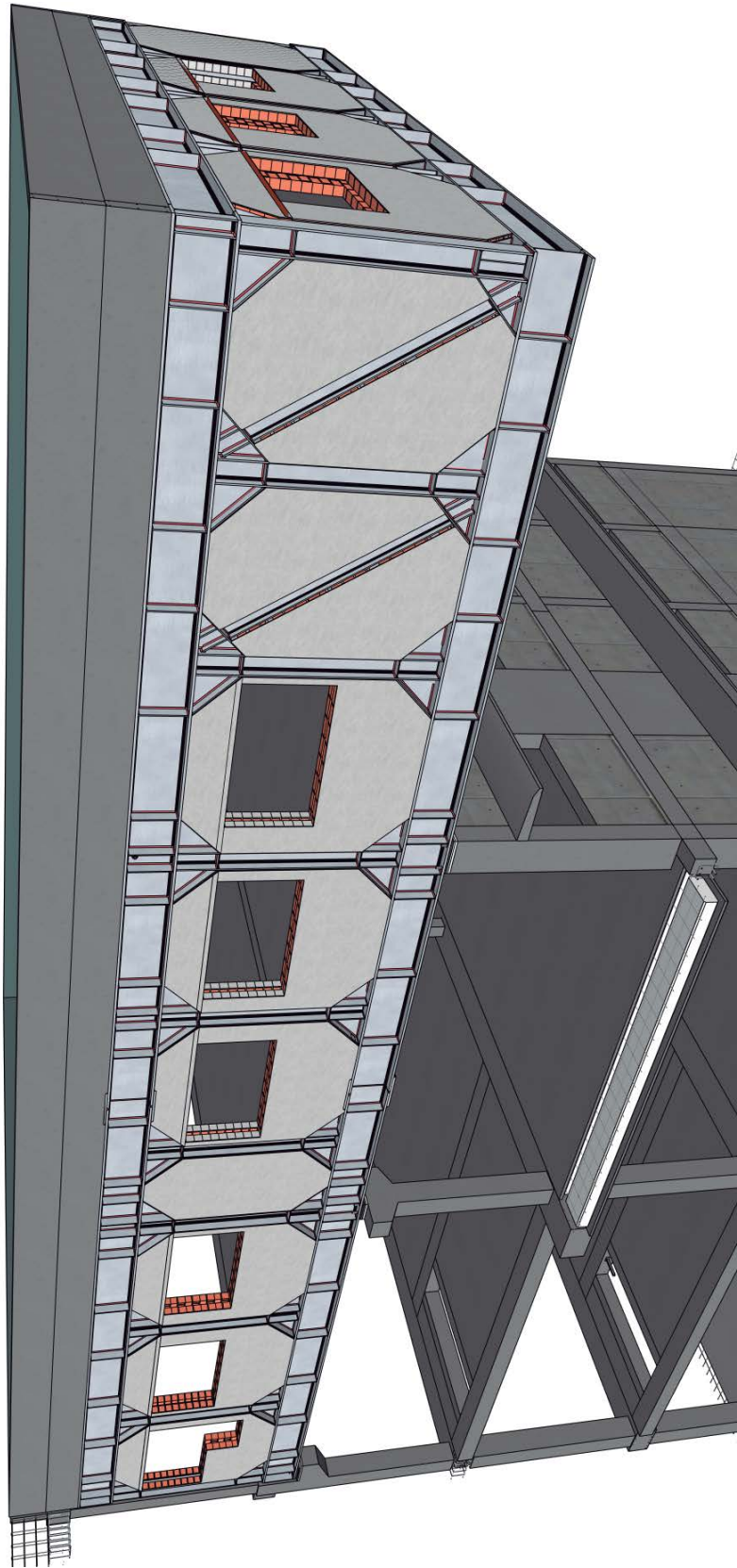


Fig. 38 – Cierre exterior de la estructura metálica del voladizo



Fig. 39 – Cierre exterior de la estructura metálica del voladizo

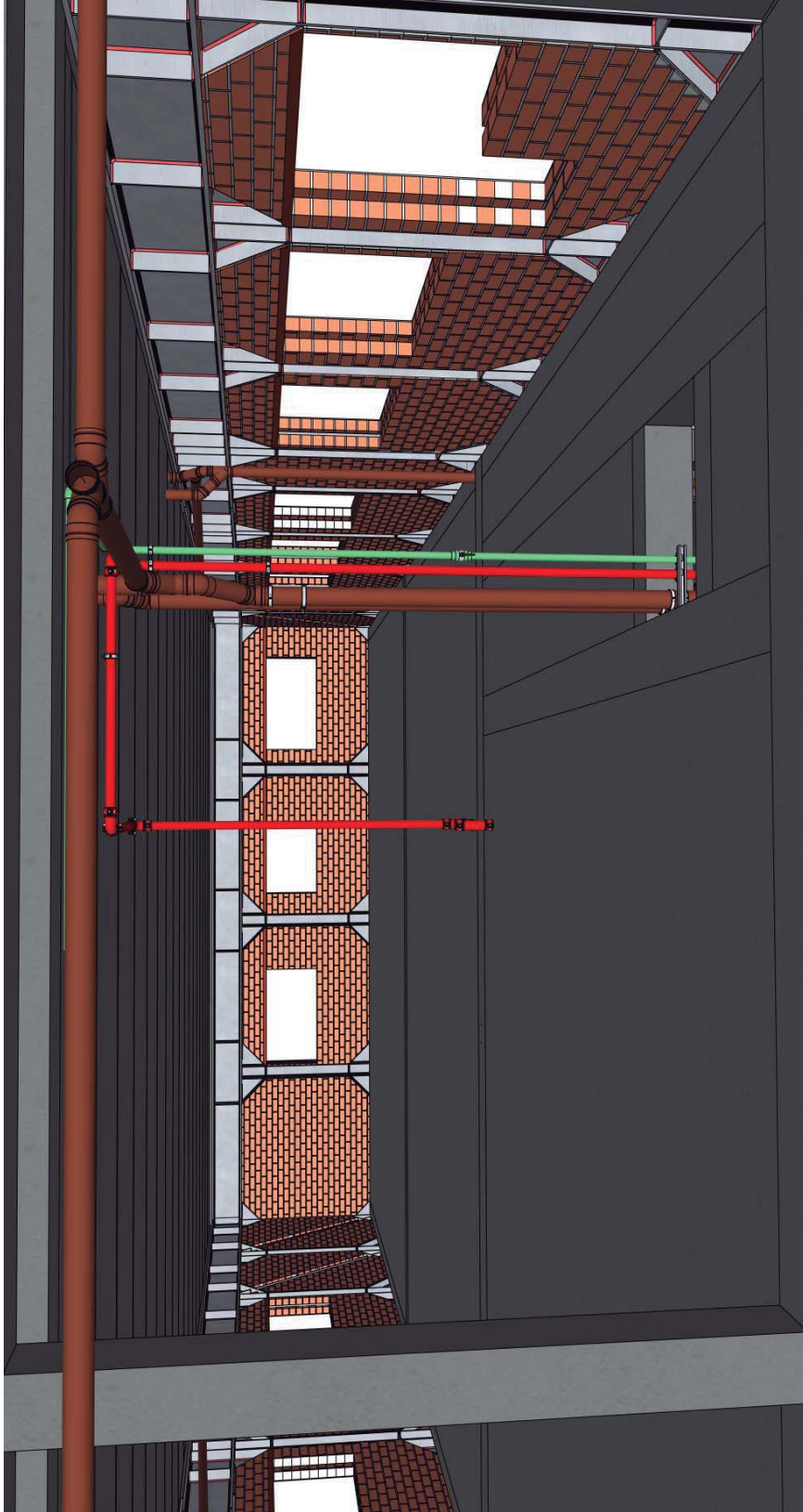


Fig. 40 – Instalaciones en el interior del voladizo



Fig. 41 – Interior del voladizo aún sin las instalaciones

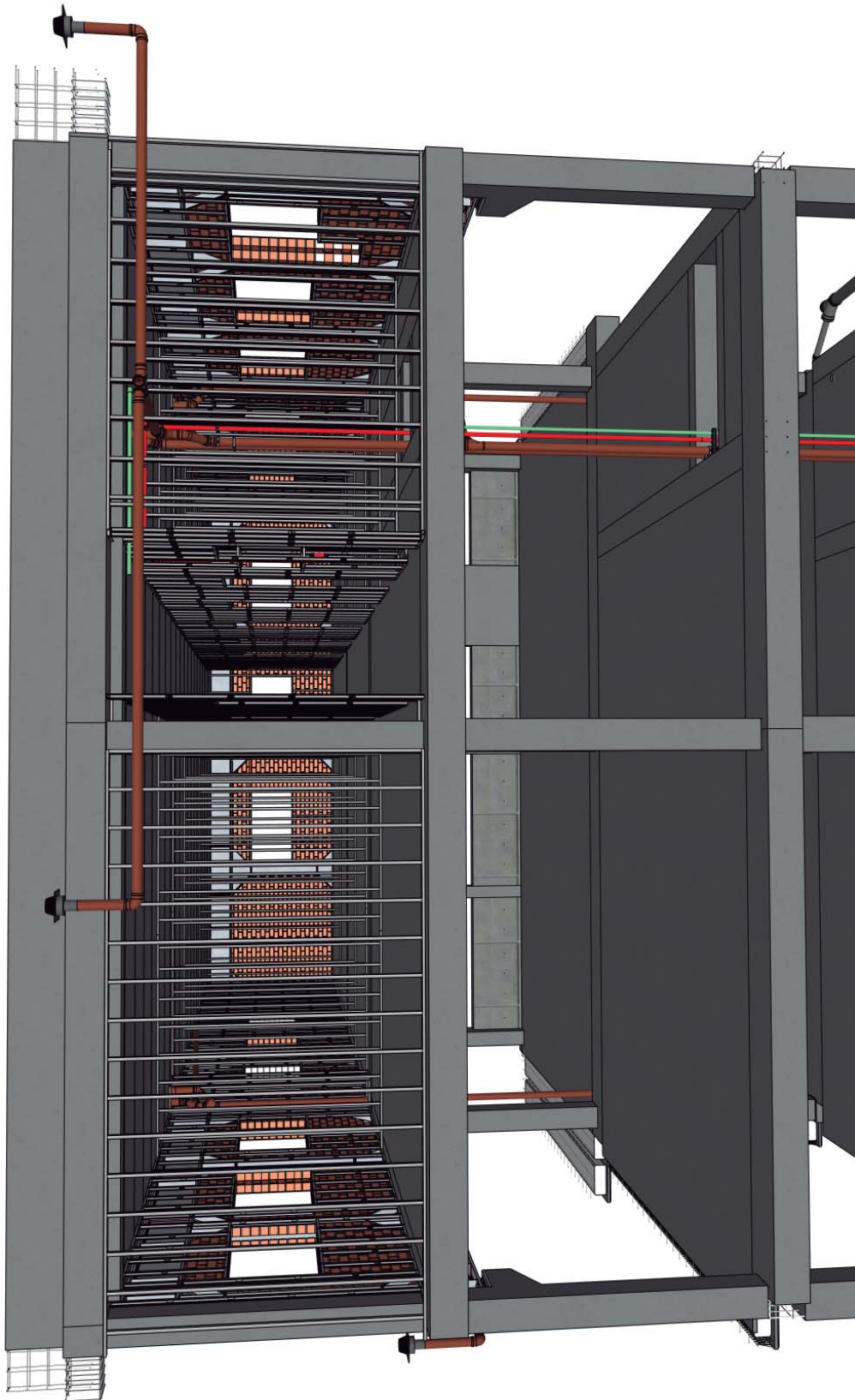


Fig. 42 – Instalaciones en el interior del voladizo

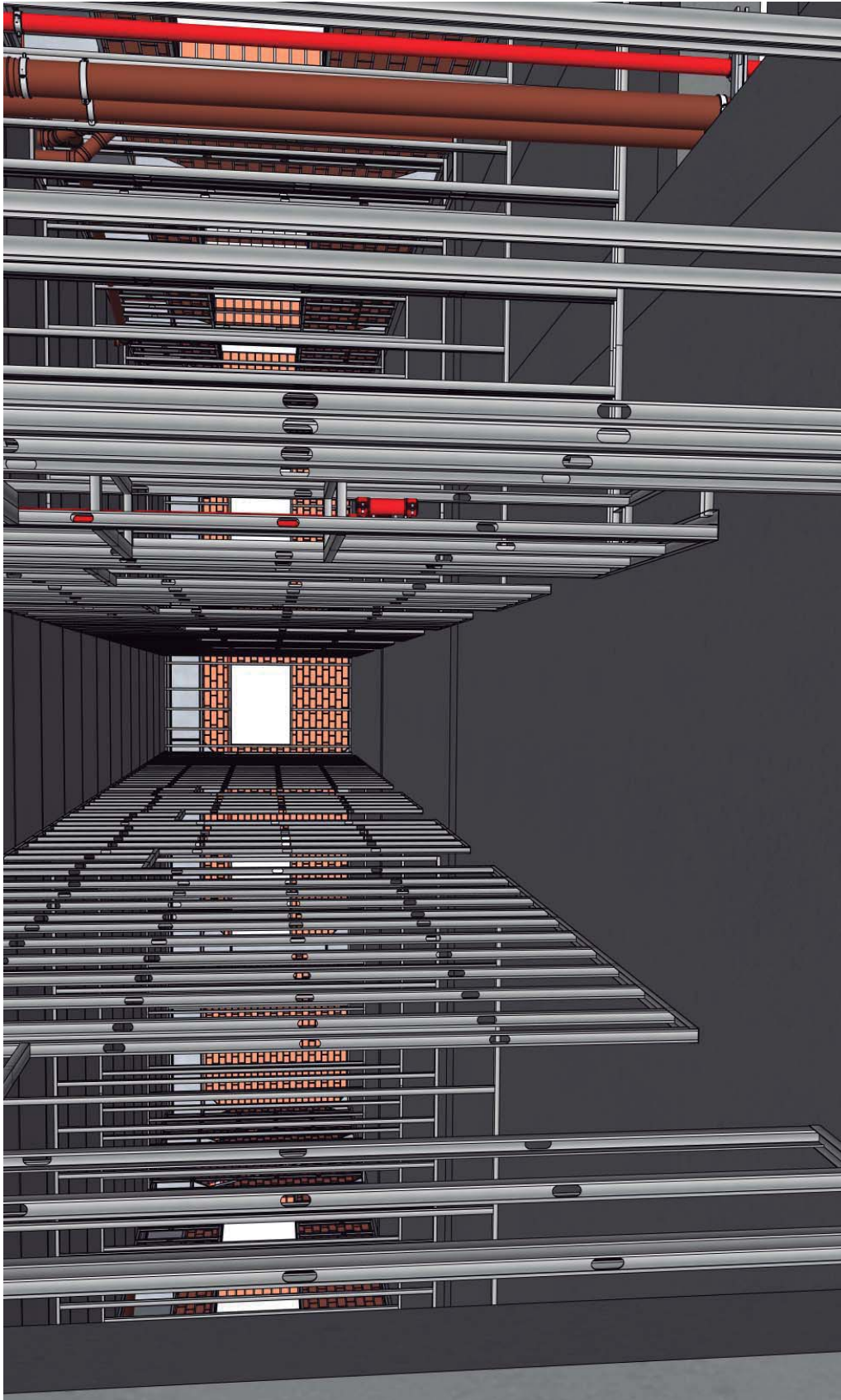


Fig. 43 – Perfilera metálica para la instalación de la tabiquería de pladur



Fig. 44 – Perfilería metálica para la instalación de la tabiquería de pladur



Fig. 45 – Tabiquería de pladur, con la carpintería de madera. Se observa, en la zona destinada a una BIE, el color rosa del pladur (protección contra el fuego)

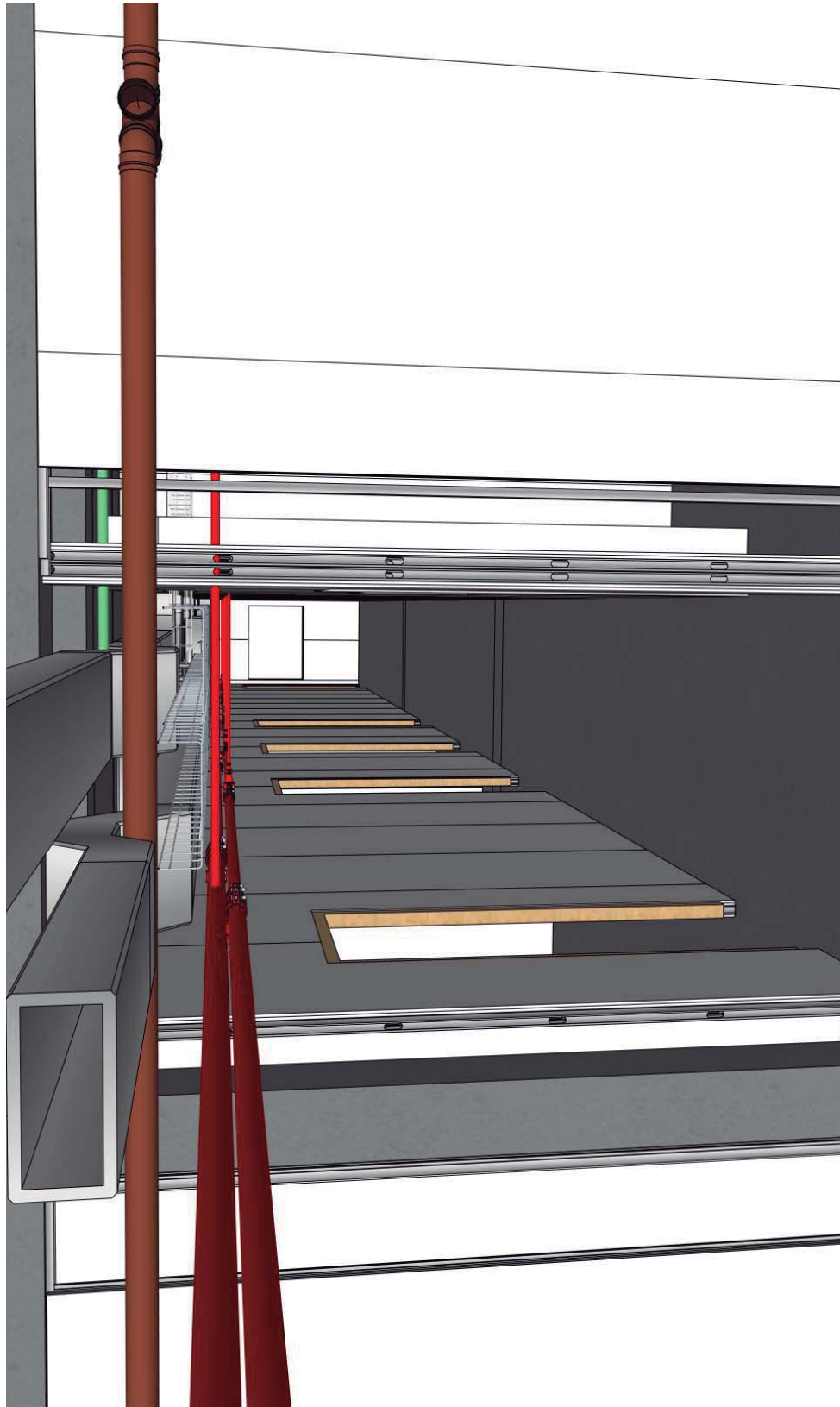


Fig. 46 – Instalaciones del sistema anti-incendio, bajantes de pluviales, y climatización.



Fig. 47 – Pladur y carpintería metálica. Se aprecian las bandejas de instalaciones



Fig. 48 – Instalación de la lana de roca como aislante en la fachada

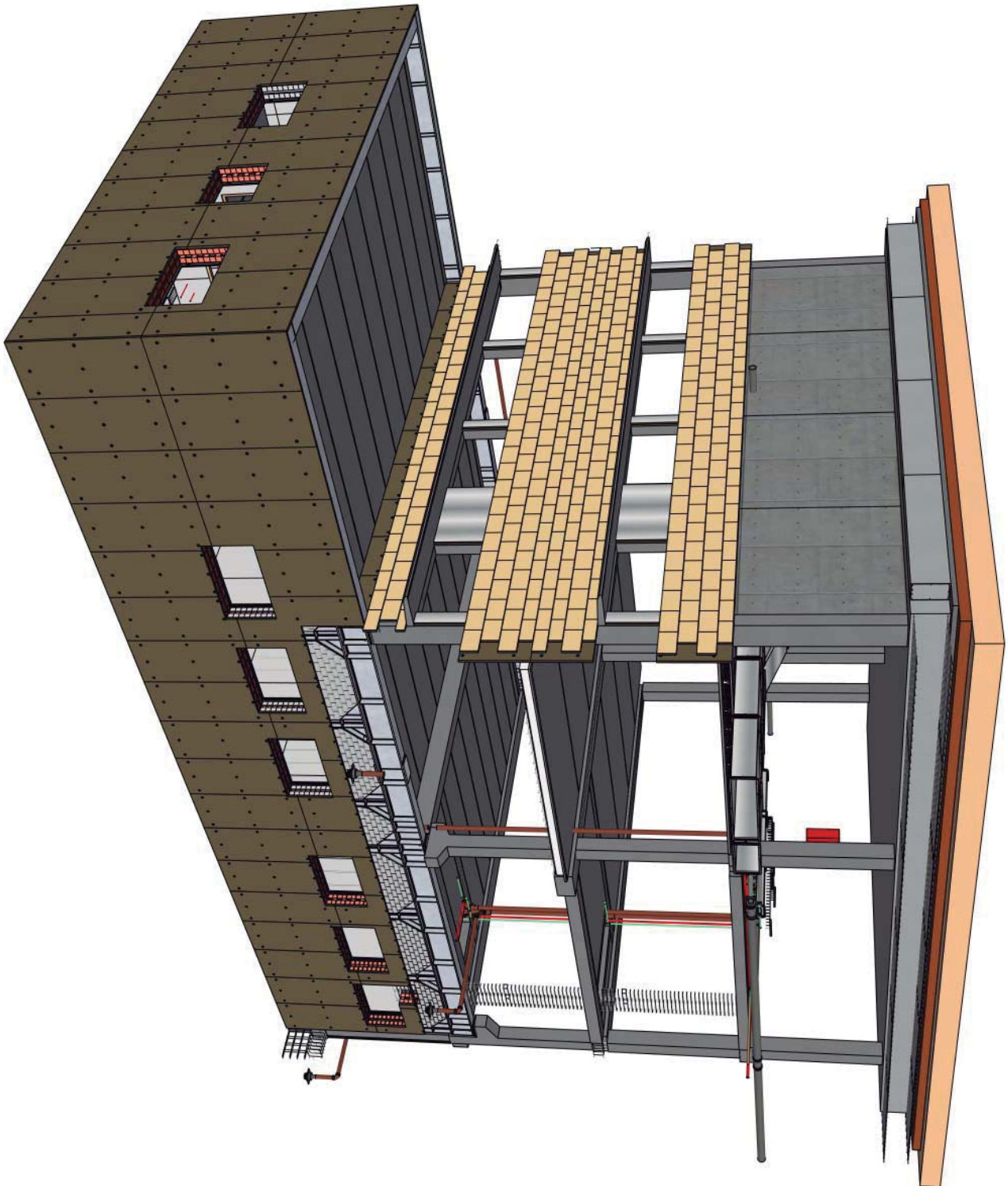


Fig. 49 – Instalación de las losas de la fachada

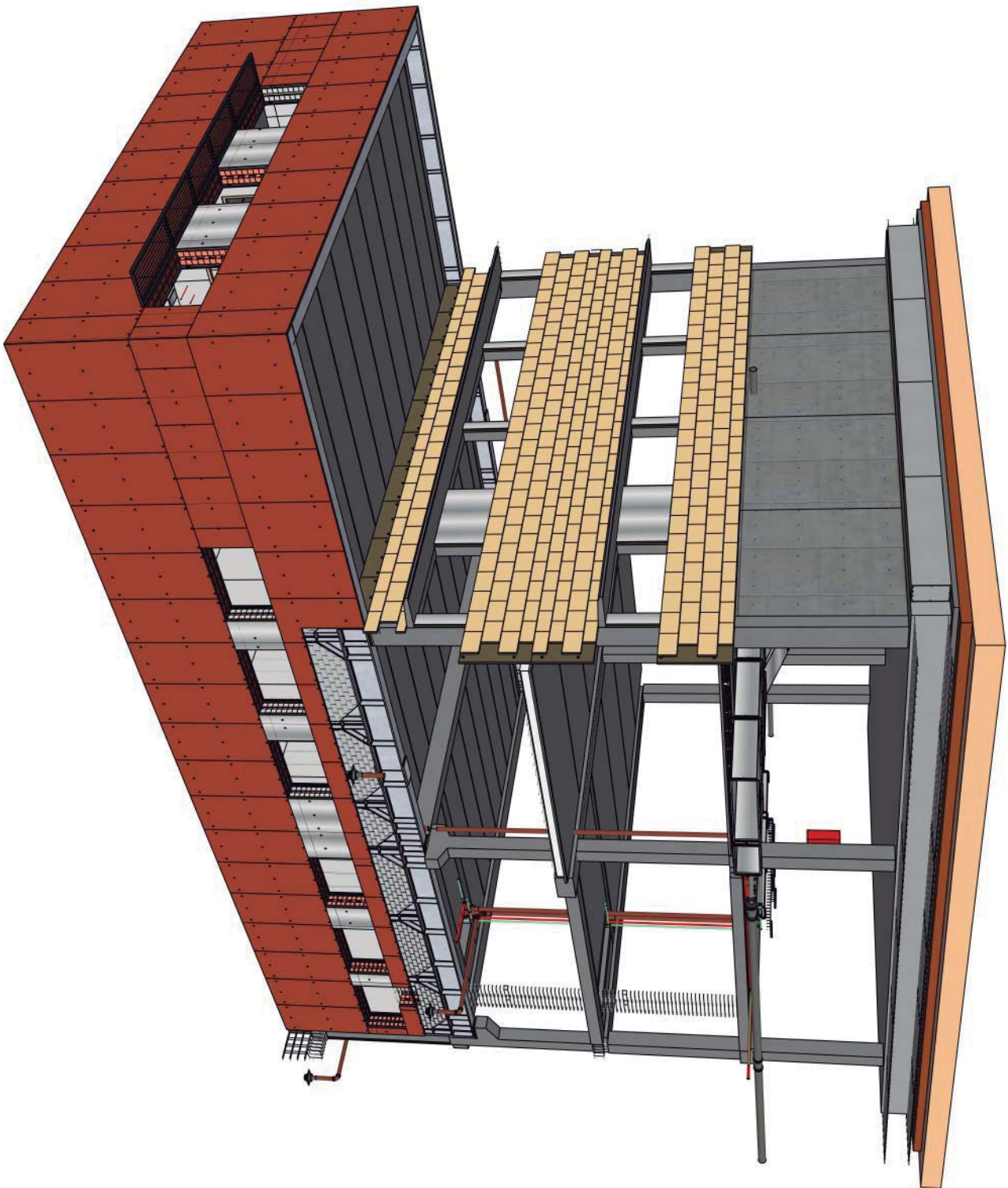


Fig. 50 – Acabado de la fachada

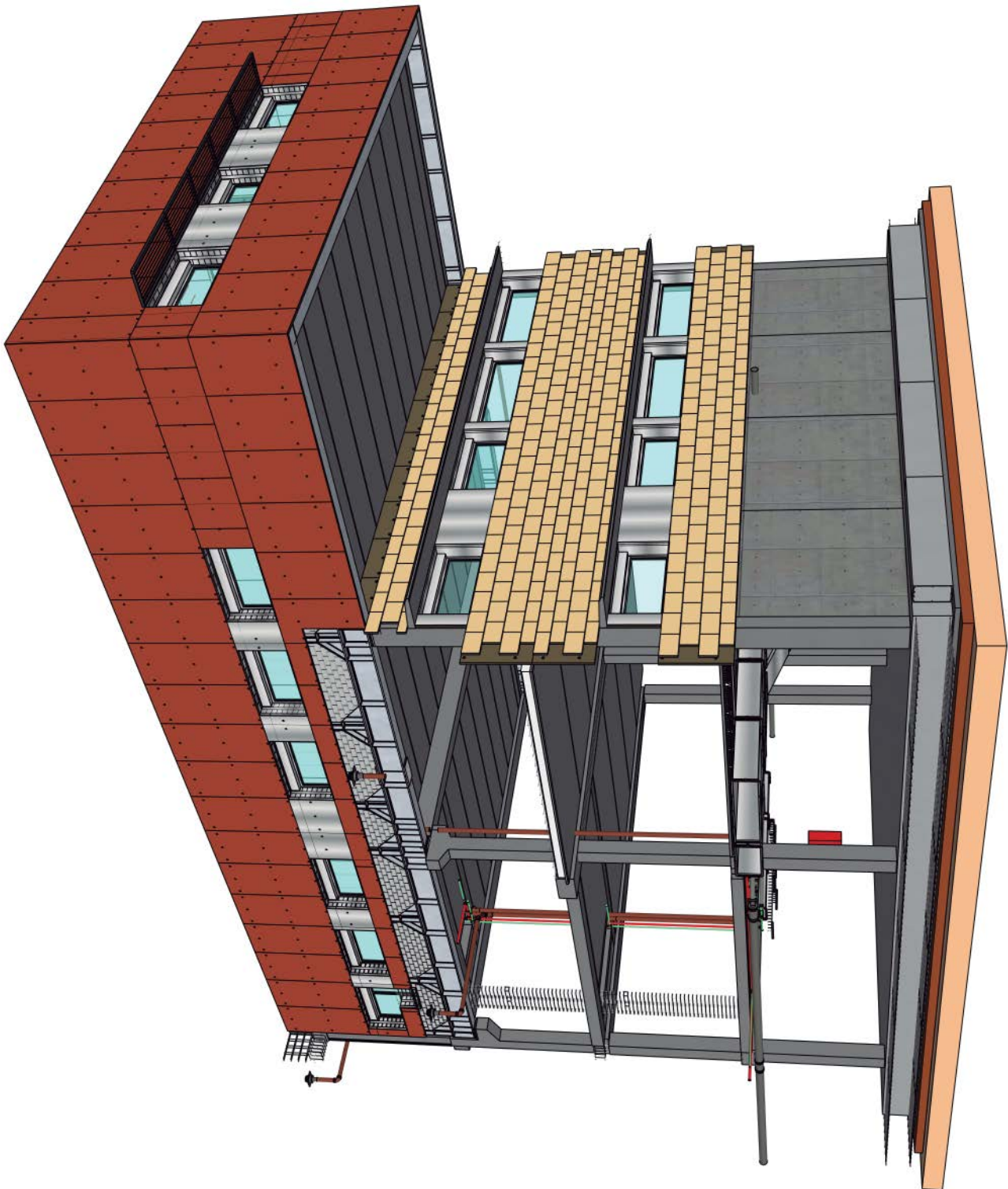


Fig. 51 – Instalación de la carpintería metálica