

Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM AL DISEÑO DE UN PASO SUPERIOR DE AUTOVÍA

Autor: Manuel Dorado Rasero

Tutor: Antonio Martínez de la Concha

**Dpto. de Mecánica de Medios Continuos y
Teoría de Estructuras**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo de Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM AL DISEÑO DE UN PASO SUPERIOR DE AUTOVÍA

Autor:

Manuel Dorado Rasero

Tutor:

Antonio Martínez de la Concha
Profesor asociado

Dpto. de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Máster:

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM AL DISEÑO DE UN PASO SUPERIOR DE
AUTOVÍA

Autor: Manuel Dorado Rasero

Tutor: Antonio Martínez de la Concha

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mis padres, familia y amigos.

A mi tutor.

Agradecimientos

A la vez que me encuentro ultimando algunos detalles de mi Trabajo de Fin de Máster, echo la vista atrás haciendo una valoración de lo que ha sido mi paso por la ETSI y de estos dos años en general, en los que ha habido momentos malos, menos malos y pocos buenos. Esa yo creo que es una buena definición.

Aunque reflexionando detenidamente, prefiero quedarme con lo positivo y pensar que tan sólo se trata de una experiencia más de la que aprender, y que sin duda alguna me tocará afrontar situaciones mucho más complicadas que las que haya podido experimentar hasta ahora, como sucede en la vida cotidiana.

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor Antonio toda su atención, amabilidad y compromiso. Siempre ha tenido tiempo para dedicar a resolver mis dudas y nunca con un mal gesto. Desde que nos dio clase en el primer curso del Máster yo ya tenía claro que quería que fuera mi tutor por sus conocimientos y por su trato tan cercano con el alumno, y en ese aspecto no me equivoqué. Gracias también por enseñarme los aspectos más técnicos del cálculo de puentes, ya que esos conceptos no ha sido posible adquirirlos en las asignaturas del Máster por mera cuestión de tiempo.

En segundo lugar, quiero agradecer a mi compañero y amigo Adrián que haya sido mi único apoyo verdadero en Sevilla durante todo este tiempo, en el que nos hemos estado aguantando mutuamente. Juntos desde el primer hasta el último día del Máster, literalmente. Espero que nuestra amistad perdure muchos años más.

Finalmente, he querido dejar de forma intencionada la última parte de esta sección para agradecer a mis padres todo el apoyo que me han mostrado, por intentar animarme siempre y hacerme ver que todo tiene una salida. Estoy convencido que sin su apoyo incondicional no hubiera sido posible terminar, y por eso, buena parte del Máster también es de ellos. Me gustaría agradecerles también ya de paso todo en la vida, porque gracias a la educación que me han dado y a los valores que me han enseñado soy quien soy. Simplemente, Mamá, Papá, gracias por todo, os quiero.

Es el momento de poner fin a una etapa que no hace mucho tiempo pensaba que no llegaría jamás. Vendrán otras, y estaré preparado.

Me gustaría despedir esta sección de agradecimientos con una cita célebre de un famoso escritor japonés, con la que me siento bastante identificado y que he intentado aplicar siempre a mi manera de ver las cosas:

“...Y una vez que la tormenta termine, no recordarás cómo lo lograste, cómo sobreviviste. Ni siquiera estarás seguro si la tormenta ha terminado realmente. Pero una cosa sí es segura, cuando salgas de esa tormenta, no serás la misma persona que entró en ella. De eso trataba la tormenta.”

H.Murakami

*Manuel Dorado Rasero
Sevilla, febrero de 2020*

Resumen

En los últimos años nos hemos acostumbrado a escuchar y leer mucho acerca de que la Metodología BIM (*Building Information Modeling*) es el futuro de la Construcción, porque el mercado actual demanda una mayor productividad dentro de un sector poco eficiente, debido principalmente los tradicionales métodos utilizados. Ante esta emergente irrupción, es sabido que tendremos que cambiar la forma de diseñar y construir los proyectos, pero hoy en día, todavía existe un gran desconocimiento en muchos aspectos, por lo que debemos hacer una investigación más profunda antes de poner en práctica esta metodología correctamente.

El principal objetivo de este Trabajo de Fin de Máster es dar un primer paso para acercarnos a la Metodología BIM, pudiéndose apreciar a lo largo de los Capítulos que forman parte de este documento dos bloques claramente diferenciados; uno teórico y otro práctico.

En la primera parte comenzaremos con la definición de los conceptos más básicos e introduciremos poco a poco toda la terminología de un entorno BIM. Para sacar las primeras conclusiones, pondremos en contexto la Metodología BIM a nivel mundial y explicaremos los pasos a seguir para su correcta implantación en las Infraestructuras Civiles.

Aunque toda esa información resulta necesaria para tener una visión más clara de lo que significa BIM, la mayor parte del presente Trabajo de Fin de Máster se centra en realizar una segunda parte práctica, que podría ser aplicada a un proyecto real de construcción. Concretamente, se trata de un proyecto para la Estructura de un Paso Superior de Autovía, que inicialmente se diseñará y calculará conforme a la normativa nacional y posteriormente se realizará un modelo BIM completo de la misma, incluyendo su información geométrica, materiales, costes, además de su planificación temporal y económica.

Finalmente, una vez que consigamos realizar lo que se pretende, compararemos la aplicación de BIM frente a la metodología tradicional para comprobar si definitivamente proporciona mayores ventajas y si realmente resulta ser más efectiva a la hora de gestionar la información de un proyecto.

Abstract

In recent years we get used to hearing and reading a lot about BIM (*Building Information Modeling*) Methodology is the future of Construction, because the current market demands higher productivity within an inefficient sector, mainly because of the traditionally used methods. Facing this emergent irruption, it is known that we will have to change our way of design and build projects, but nowadays, it already exists a huge lack of information in many aspects, so we must do a deeper research before putting it into practice properly.

The main aim of this dissertation is to give the first step to approach to BIM Methodology, being able to appreciate over the Chapters that are part of this document two distinguishable blocks; one of them is theoretic and the other one is practical.

In the first part, we will start with the definition of the most basic concepts and we will introduce little by little all the terminology of a BIM environment. To draw the first conclusions, we will put into context the BIM Methodology at a worldwide level, and we will explain the necessary steps to follow for a correct implantation in Civil Infrastructures.

Although all these information results necessary to have a clearer vision of what BIM means, the greater part of the present dissertation is focused on realizing a practical second part, that it could be applied to a real construction project. Specifically, is about a project of a Structure of a Highway Overpass, that it will be initially designed and calculated according to the national normative, and afterward, a complete BIM Model of the same structure will be done, including information about its geometry, materials, costs, and also its temporal and economic planning.

Finally, once we get to carry out what we pretend, we will compare the application of BIM Methodology with the traditional one, to check if it definitely provides significant advantages and if it results more effective when it comes to managing the information of a project.

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xix
Índice de Figuras	xxi
Índice de Ilustraciones	xxiii
Notación	xxix
1 Metodología BIM	1
1.1. <i>Introducción</i>	1
1.2. <i>¿Qué es BIM?</i>	2
1.3. <i>Ventajas de la Metodología BIM</i>	4
1.4. <i>Desventajas de la Metodología BIM</i>	5
1.5. <i>Niveles de madurez</i>	6
1.6. <i>Dimensiones BIM</i>	8
1.7. <i>Nivel de Desarrollo</i>	10
1.7.1. Nivel de Detalle	10
1.7.2. Nivel de Desarrollo	12
1.8. <i>Funciones BIM</i>	14
1.8.1. Equipos de Trabajo	14
1.8.2. Esquema de Funciones	15
1.9. <i>Gestión de la Información en un Proyecto BIM</i>	21
1.9.1. Requisitos de Información de la Organización (OIR)	21
1.9.2. Requisitos de Información del Activo (AIR)	21
1.9.3. Requisitos de Información del Proyecto (PIR)	21
1.9.4. Requisitos de Intercambio de Información (EIR)	21
1.9.5. Modelo de Información del Activo (AIM)	22
1.9.6. Modelo de Información de Proyecto (PIM)	22
2. Estado actual de la Metodología BIM	23
2.1. <i>Cronología</i>	23
2.2. <i>BIM en el mundo</i>	24
2.2.1. América	24
2.2.2. Asia	24
2.2.3. Europa	25
2.2.4. Oceanía	26

2.3.	<i>BIM en España</i>	26
2.3.1.	Implantación	26
2.3.2.	Licitaciones Públicas	30
2.3.3.	Empresas Privadas	36
2.4.	<i>Normativa</i>	39
2.5.	<i>Proyectos realizados con éxito</i>	40
2.6.	<i>Trabajos, Publicaciones y Documentación</i>	41
2.6.1.	Trabajos Académicos	41
2.6.2.	Publicaciones	43
3.	Objetivo del TFM	45
3.1.	<i>Adjudicación del Proyecto</i>	45
3.2.	<i>Equipos y Funciones</i>	45
3.3.	<i>Plan de Ejecución BIM (PEB)</i>	47
3.4.	<i>Diseño de la Estructura</i>	47
3.5.	<i>Modelo BIM 3D</i>	47
3.6.	<i>Modelo BIM 4D</i>	47
3.7.	<i>Modelo BIM 5D</i>	48
4.	Plan de Ejecución BIM (PEB)	49
4.1.	<i>El Plan de Ejecución</i>	49
4.1.1.	Histórico de Revisiones	49
4.2.	<i>El Proyecto</i>	50
4.2.1.	Datos de Identificación	50
4.2.2.	Hitos del Proyecto	50
4.2.3.	Objetivos BIM del Cliente	50
4.3.	<i>Usos del Modelo</i>	50
4.4.	<i>Entregables BIM</i>	51
4.4.1.	Listado de Entregables	51
4.4.2.	Nivel de Detalle Gráfico	51
4.4.3.	Nivel de Información no Gráfica y Vinculada	52
4.4.4.	Tabla de Desarrollo del Modelo	52
4.5.	<i>Organización del Modelo</i>	52
4.5.1.	Estructura de Datos	52
4.5.2.	Matriz de interferencias	52
4.6.	<i>Verificación de Entregables BIM</i>	53
4.7.	<i>Recursos</i>	53
4.7.1.	Recursos Humanos	53
4.7.2.	Recursos Materiales	54

4.8.	<i>Gestión de la Información</i>	54
4.8.1.	<i>Estrategia de Comunicación</i>	54
4.9.	<i>Riesgos y Oportunidades</i>	55
4.10.	<i>Procesos BIM</i>	55
4.11.	<i>Estándares BIM</i>	55
4.12.	<i>Justificación del PEB del TFM</i>	56
5.	Entorno Común de Datos (ECD)	59
5.1.	<i>Intercambio de Información</i>	59
5.1.1.	<i>Plataforma</i>	59
5.1.2.	<i>Formato de Archivos</i>	60
5.2.	<i>Estado de Archivos</i>	61
5.2.1.	<i>Work In Progress (WIP)</i>	61
5.2.2.	<i>Shared</i>	61
5.2.3.	<i>Published</i>	61
5.2.4.	<i>Archived</i>	62
5.3.	<i>Codificación de Archivos</i>	62
6.	Consideraciones previas al Diseño	65
6.1.	<i>Antecedentes</i>	65
6.2.	<i>Situación y Emplazamiento</i>	65
6.3.	<i>Descripción de la Solución</i>	67
6.3.1.	<i>Tipología Estructural</i>	67
6.3.2.	<i>Proceso Constructivo</i>	68
6.4.	<i>Normativa Aplicada</i>	69
6.5.	<i>Parámetros Geotécnicos</i>	69
6.6.	<i>Materiales Empleados</i>	72
6.7.	<i>Recubrimientos</i>	74
6.8.	<i>Coeficientes de Seguridad</i>	74
6.9.	<i>Acciones de Cálculo</i>	76
6.9.1.	<i>Acciones Permanentes (G)</i>	76
6.9.2.	<i>Acciones Permanentes de Valor no Constante (G*)</i>	76
6.9.3.	<i>Acciones Variables (Q)</i>	77
6.9.4.	<i>Acciones Accidentales (A)</i>	89
6.10.	<i>Combinación de Acciones</i>	89
6.10.1.	<i>Combinaciones en ELU</i>	89
6.10.2.	<i>Combinaciones en ELS</i>	90
7.	Dimensionamiento y Cálculo Estructural	93
7.1.	<i>Software de cálculo</i>	93

7.2.	<i>Tablero</i>	94
7.2.1.	Predimensionamiento	94
7.2.2.	Calendario	96
7.2.3.	Armadura activa	98
7.3.	<i>Pilas</i>	104
7.4.	<i>Estribos</i>	105
7.5.	<i>Apoyos</i>	107
8.	Modelo BIM 3D	109
8.1.	<i>Software</i>	109
8.1.1.	Requisitos del Sistema	110
8.1.2.	Nivel de Desarrollo	111
8.1.3.	Interoperabilidad CivilEstudio® – Revit®	111
8.2.	<i>Georreferenciación del Modelo</i>	113
8.3.	<i>Líneas de Referencia</i>	114
8.4.	<i>Zapatas</i>	116
8.5.	<i>Pilas</i>	118
8.5.1.	Fustes	118
8.5.2.	Capitel	118
8.6.	<i>Terraplenes</i>	120
8.7.	<i>Estribos</i>	120
8.7.1.	Zapata	121
8.7.2.	Cargadero	121
8.7.3.	Espaldón	122
8.7.4.	Aletas	123
8.7.5.	Muretes	124
8.8.	<i>Apoyos</i>	125
8.9.	<i>Vigas</i>	125
8.10.	<i>Prelosas</i>	127
8.11.	<i>Losa</i>	128
8.12.	<i>Capa de Rodadura</i>	129
8.13.	<i>Pretiles</i>	130
8.14.	<i>Materiales</i>	131
8.15.	<i>Armaduras</i>	133
8.16.	<i>Encofrados</i>	136
8.17.	<i>Fases del Proyecto</i>	137
9.	Modelo BIM 4D	143
9.1.	<i>Software</i>	143

9.1.1.	Versiones de Navisworks®	144
9.1.2.	Requisitos del Sistema	144
9.1.3.	Tipos de archivos de Navisworks®	146
9.1.4.	Interoperabilidad de Navisworks®	147
9.2.	<i>Tablas de Planificación de Revit®</i>	151
9.3.	<i>Rendimientos diarios</i>	152
9.4.	<i>Calendario Laboral</i>	153
9.4.1.	Jornada Laboral	154
9.5.	<i>Calendario del Proyecto</i>	154
9.6.	<i>Diagrama de Gantt</i>	157
9.7.	<i>Planificación BIM 4D</i>	159
9.7.1.	Importación del Modelo BIM 3D	159
9.7.2.	Importación del Archivo de Planificación	160
9.7.3.	Conjuntos de Búsquedas	160
9.7.4.	Simulación del Modelo BIM 4D	162
9.8.	<i>Detección de Conflictos</i>	164
10.	Modelo BIM 5D	167
10.1.	<i>Software</i>	167
10.1.1.	Interoperabilidad Presto® - Revit®	167
10.2.	<i>Metodología a seguir</i>	169
10.3.	<i>Base de Precios</i>	170
10.4.	<i>Vinculación con el Modelo BIM 3D</i>	171
10.5.	<i>Elaboración del presupuesto en Presto®</i>	174
10.6.	<i>Vinculación con el Modelo BIM 4D</i>	177
10.7.	<i>Modelo BIM 5D definitivo</i>	179
11.	Archivos del TFM	181
11.1.	<i>Modelo BIM 3D</i>	181
11.2.	<i>Modelo BIM 4D</i>	182
11.3.	<i>Modelo BIM 5D</i>	182
12.	Conclusiones	185
12.1.	<i>Accesibilidad a la Metodología BIM</i>	185
12.2.	<i>Nivel de madurez de la Metodología BIM</i>	186
12.3.	<i>Intercambio de Archivos</i>	186
12.4.	<i>Impulso recibido</i>	187
12.5.	<i>Principales ventajas de BIM</i>	187
12.6.	<i>Futuras líneas de Trabajo</i>	188
12.7.	<i>Opinión personal</i>	188

Referencias

191

Anexo A Cálculo Estructural

Anexo B Planos

Anexo C Planificación

Anexo D Histórico de Archivos del ECD

Anexo E Presupuestos

Índice de Tablas

Tabla 4.1 Histórico de revisiones del PEB. Fuente: esbim.es	49
Tabla 4.2 Hitos del proyecto BIM. Fuente: esbim.es	50
Tabla 4.3 Relación de usos del Modelo del PEB: Fuente: esbim.es	51
Tabla 4.4 Listado de Entregables BIM. Fuente: esbim.es	51
Tabla 4.5. Nivel de Detalle Gráfico. Fuente: esbim.es	52
Tabla 4.6 Matriz de interferencias. Fuente: esbim.es	53
Tabla 4.7 Estándares BIM a incluir en el PEB. Fuente: esbim.es	56
Tabla 5.1 Codificación de archivos según su estado en el proyecto.	62
Tabla 6.1. Parámetros geotécnicos para la cimentación de pilas	70
Tabla 6.2. Parámetros geotécnicos para la cimentación de los estribos	72
Tabla 6.3. Tipos de hormigones utilizados	73
Tabla 6.4. Tipos de acero utilizados	73
Tabla 6.5. Recubrimientos adoptados para los distintos elementos estructurales	74
Tabla 6.6. Coeficientes para las acciones en ELU	75
Tabla 6.7. Coeficientes para las acciones en ELS	75
Tabla 6.8. Cargas Permanentes (G) que actúan sobre la estructura.	76
Tabla 6.9. Parámetros para el cálculo de vmz	82
Tabla 6.10. Valores de vmz para distintas alturas de aplicación	82
Tabla 6.11. Valores de cez para distintas alturas de aplicación	83
Tabla 6.12 Parámetros para el cálculo del efecto provocado por el viento longitudinal	85
Tabla 7.1 Resumen de verificaciones en los Tableros	103
Tabla 7.2. Resumen de verificaciones en las pilas	105
Tabla 7.3 Resumen de verificaciones en los estribos	106
Tabla 7.4 Resumen de verificaciones en los apoyos	108
Tabla 8.1 Requisitos del Sistema para Revit®. Fuente: Autodesk, Inc.	110
Tabla 8.2 Coordenadas de los puntos de referencia del Modelo	113
Tabla 9.1 Requisitos de instalación específicos para Navisworks®	145
Tabla 9.2 Requisitos de implantación para Navisworks®	145
Tabla 9.3 Rendimientos medios de las unidades de obra del proyecto	152
Tabla 9.4 Rendimientos reales de las actividades del proyecto	152
Tabla 9.5 N.º días laborables del año 2020	154
Tabla 10.1. Comparativa de precios de materiales empleados	171
Tabla 12.1. Precios de la licencia premium de los softwares utilizados.	185

Índice de Figuras

Figura 3.1. Esquema de Equipos de Trabajo y funciones asignados para el proyecto: Fuente: El. prop.	47
Figura 6.1. Características preliminares de gravas. Fuente: Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera	71
Figura 6.2. Recubrimientos mínimos (mm) para la clase general de exposición IIb. Fuente: EHE – 08.	72
Figura 6.3. Resistencia mínima (N/mm ²) para la clase general de exposición IIb. Fuente: EHE – 08	73
Figura 6.4. Parámetros de dosificación para la clase general de exposición IIb. Fuente: EHE – 08	73
Figura 6.5. Coeficientes de seguridad de los materiales para ELU. Fuente: EHE – 08	74
Figura 6.6. Definición de los Carriles Virtuales. Fuente: IAP–11	78
Figura 6.7. Valor característico de la Sobrecarga de Uso. Fuente: IAP–11	79
Figura 6.8. Mapa de Isotacas para la obtención de $v_b, 0$. Fuente: CTE DB SE–AE	80
Figura 6.9. Periodos de Retorno para Situaciones Transitorias. Fuente: IAP–11.	81
Figura 6.10. Coeficientes según el tipo de entorno. Fuente: IAP–11	81
Figura 6.11 Isotermas de la Temperatura máxima anual $T_{m\acute{a}x}$ (°C). Fuente: CTE DB SE–AE	86
Figura 6.12 Zonas climáticas de invierno. Fuente: CTE DB SE–AE	86
Figura 6.13 Temperatura mínima del aire $T_{m\acute{i}n}$ (°C). Fuente: IAP–11	86
Figura 6.14 Valores de $\Delta T_{e, m\acute{i}n}$ y $\Delta T_{e, m\acute{a}x}$ para el cálculo de la componente uniforme de la temperatura. Fuente: IAP–11	87
Figura 6.15 Componente lineal de la diferencia vertical de temperatura. Fuente: IAP–11	88
Figura 6.16 Mapa de peligrosidad sísmica. Fuente: NCSE–02	89
Figura 6.17 Factores de simultaneidad ψ . Fuente: IAP–11	91
Figura 7.1 Resistencia a compresión de un hormigón HA-55. Fuente: El. prop.	97
Figura 7.2 Deformación por retracción de un hormigón HA-55. Fuente: El. prop.	97
Figura 7.3 Tensiones en la fibra inferior de la Viga 2 (MPa). Fuente: El. prop.	101
Figura 7.4 Tensiones en la fibra inferior de la Viga 2 (MPa) con 5 cordones envainados. Fuente: El. prop.	101

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1.1. Metodología BIM aplicada al diseño de infraestructuras. Fuente: Instituto Didactia	1
Ilustración 1.2 Proceso de aplicación de la Metodología BIM durante el ciclo de vida de un proyecto. Fuente: Autodesk, Inc.	2
Ilustración 1.3 Aplicación de la Metodología BIM a infraestructuras civiles. Fuente: e-Zigurat	3
Ilustración 1.4 Ventajas de la aplicación de la Metodología BIM. Fuente: El. prop.	5
Ilustración 1.5 Desventajas de la aplicación de la Metodología BIM. Fuente: El. prop.	6
Ilustración 1.6 Niveles de madurez BIM. Fuente: Bew & Richards BIM Maturity Diagram (2008)	7
Ilustración 1.7 Dimensiones de un Modelo BIM. Fuente: bimnd.es	9
Ilustración 1.8 Niveles de Detalle G-001 – G-300 de un elemento BIM. Fuente: esbim.es [14]	11
Ilustración 1.9 Niveles de Detalle G-350 – G-600 de un elemento BIM. Fuente: esbim.es [14]	12
Ilustración 1.10 Niveles de Desarrollo (LOD) según la AIA 2019. Fuente: Canal GEDCOM de YouTube®	14
Ilustración 1.11 Funciones en un proyecto BIM. Fuente: es.BIM [17]	20
Ilustración 1.12 Jerarquía de los requisitos de información. Fuente: norma UNE-EN ISO 19650-1:2019	22
Ilustración 2.1 BIM a nivel mundial en el año 2018. Fuente: tecnocarreteras.es	24
Ilustración 2.2 Implantación de la Metodología BIM en Europa. Fuente: buildingSMART	26
Ilustración 2.3 Hoja de ruta marcada por la Comisión es.BIM para la implantación de la Metodología BIM en España. Fuente: esbim.es	27
Ilustración 2.4 Organigrama de la Comisión BIM en España. Fuente: es.BIM	28
Ilustración 2.5 Licitaciones públicas con requisitos BIM en el periodo de enero 2017– julio 2019. Fuente: esbim.es	31
Ilustración 2.6. Evolución trimestral de licitaciones públicas con requisitos BIM. Fuente: esbim.es	31
Ilustración 2.7 Licitaciones públicas con requisitos BIM por Administraciones. Fuente: esbim.es	32
Ilustración 2.8 Distribución de la inversión por CCAA acumulada desde 2017. Fuente: esbim.es	32
Ilustración 2.9 Evolución trimestral de los indicadores cualitativos establecidos y madurez en las licitaciones públicas con requisitos BIM. Fuente: esbim.es	33
Ilustración 2.10 Licitaciones públicas en Infraestructuras con requisitos BIM en el periodo de enero 2017 – julio 2019. Fuente: esbim.es	34
Ilustración 2.11 Evolución trimestral de licitaciones públicas en infraestructuras con requisitos BIM. Fuente: esbim.es	34
Ilustración 2.12 Tipología y usos de las licitaciones en Infraestructuras con requisitos BIM. Fuente: esbim.es	35
Ilustración 2.13 Licitaciones públicas en Infraestructuras con requisitos BIM por Administraciones. Fuente: esbim.es	35
Ilustración 2.14 Distribución de la inversión en Infraestructuras por CCAA acumulada desde 2017. Fuente: esbim.es	35
Ilustración 2.15 Evolución trimestral de los indicadores cualitativos establecidos y madurez en las licitaciones públicas en Infraestructuras con requisitos BIM. Fuente: esbim.es	36
Ilustración 2.16 Encuesta realizada sobre la aplicación de la Metodología BIM. Fuente: ibermatica.com	37

Ilustración 2.17 Demanda de profesionales con conocimientos BIM en 2018. Fuente: editeca.com	37
Ilustración 2.18. Perfiles demandados para puestos relacionados con BIM en 2018. Fuente: editeca.com	38
Ilustración 2.19 Experiencia exigida a los profesionales BIM. Fuente: editeca.com	38
Ilustración 2.20 Edades para los perfiles BIM demandados: Fuente: editeca.com	39
Ilustración 4.1 Entorno de colaboración. Fuente: esbim.es	54
Ilustración 5.1 Ejemplo de ECD para un proyecto BIM. Fuente: El. prop.	60
Ilustración 5.2 Entorno de trabajo colaborativo en el ECD. Fuente: British Standards Institution (BSI)	62
Ilustración 6.1. Alzado del Paso Superior proyectado. Fuente: Proyecto Original	66
Ilustración 6.2. Sección transversal del tablero del Paso Superior proyectado. Fuente: Proyecto Original	66
Ilustración 6.3. Emplazamiento del Paso Superior. Fuente: Google Earth®	67
Ilustración 6.4. Tipos de vigas prefabricadas. Fuente: Manterola, Javier “Puentes I”[58]	68
Ilustración 6.5. Vista en planta de la cartografía geológico-geotécnica del emplazamiento. Fuente: Proyecto Original	70
Ilustración 6.6. Perfil estratigráfico del emplazamiento. Fuente: Proyecto Original	70
Ilustración 6.7 Acciones Permanentes sobre la superestructura. Fuente: El. prop.	76
Ilustración 6.8. Humedad Relativa Media anual en España. Fuente: Google	77
Ilustración 6.9 Acciones variables. Sección del tablero (izda.) y definición de carriles virtuales, hipótesis 2 (dcha.). Fuente: El. prop.	78
Ilustración 6.10 Acciones variables. Definición de carriles virtuales hipótesis 1 (izda.) e hipótesis 3 (dcha.). Fuente:El. prop..	78
Ilustración 7.1. Proyecto de Puente de Vigas Prefabricadas. Fuente: CivilCAD Consultores S.L.	94
Ilustración 7.2 Sección de las vigas. Cotas en mm. Fuente: El. prop.	95
Ilustración 7.3 Vista en sección del tablero. Fuente: El. prop.	96
Ilustración 7.4 Vista en planta del tablero. Fuente: El. prop.	96
Ilustración 7.5 Armadura activa de las vigas. Fuente: El. prop.	98
Ilustración 7.6 Armadura activa de las vigas de los tableros 1 y 4. Fuente: El. prop.	99
Ilustración 7.7 Valores mínimos y máximos de las tensiones en la Viga 2 para la combinación cuasi-permanente tras la transferencia de pretensado. Fuente: El. prop.	99
Ilustración 7.8 Valores mínimos y máximos de las tensiones en la Viga 2 para la combinación frecuente tras la apertura al tráfico y a tiempo infinito. Fuente: El. prop.	100
Ilustración 7.9 Vista en 3D del Tablero 1. Fuente: El. prop.	100
Ilustración 7.10 Armadura activa de las vigas de los tableros 2 y 3. Fuente: El. prop.	102
Ilustración 7.11 Valores mínimos y máximos de las tensiones en la Viga 2 para la combinación cuasi-permanente tras la transferencia de pretensado. Fuente: El. prop.	102
Ilustración 7.12 Valores mínimos y máximos de las tensiones en la Viga 2 para la combinación frecuente tras la apertura al tráfico y a tiempo infinito. Fuente: El. prop.	102
Ilustración 7.13 Vista esquemática de la armadura activa en el Tablero 2. Fuente: El. prop.	103
Ilustración 7.14 Vista en 3D de la tipología de pilas empleada. Fuente: El. prop.	104
Ilustración 7.15 Vista en 3D de la tipología de estribo empleada. Fuente: El. prop.	106
Ilustración 7.16 Sección de apoyos con anclaje mediante pernos. Fuente: El. prop.	108
Ilustración 7.17 Situación de apoyos en una de las pilas. Fuente: El. prop.	108

Ilustración 8.1 Interfaz de inicio de Revit® v.2020. Fuente: Autodesk, Inc.	109
Ilustración 8.2 Modelo analítico en Robot® (izda.) vs Modelo final en Revit® (dcha.). Fuente. Autodesk, Inc.	110
Ilustración 8.3 Proyecto exportado a Revit® en formato IFC. Fuente: El. prop..	112
Ilustración 8.4 Introducción del PRI en el Modelo. Fuente: El. prop.	113
Ilustración 8.5 Definición de vanos y ejes de la estructura mediante Rejillas. Fuente: El. prop.	114
Ilustración 8.6 Definición de alturas de la estructura mediante Niveles. Fuente: El. prop..	115
Ilustración 8.7 Edición de elementos en Revit®. Fuente: El. prop.	115
Ilustración 8.8 Edición de elementos en Revit® modificando los niveles. Fuente: El. prop.	116
Ilustración 8.9 Introducción y Edición de zapatas en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	117
Ilustración 8.10 Introducción y edición de las capas de nivelación en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	117
Ilustración 8.11 Introducción y edición de fustes en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	118
Ilustración 8.12 Edición de familias en Revit®. Fuente: El. prop.	119
Ilustración 8.13 Introducción y edición de la viga capitel en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	119
Ilustración 8.14 Introducción y edición de la zapata del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	121
Ilustración 8.15 Introducción y edición del cargadero del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	122
Ilustración 8.16 Edición del perfil del cargadero del Estribo 1. Fuente: El. prop.	122
Ilustración 8.17 Introducción y edición del cargadero del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	123
Ilustración 8.18 Introducción y edición de aletas del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	123
Ilustración 8.19 Introducción y edición de los muretes laterales del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	124
Ilustración 8.20 Pilas y Estribos del Modelo 3D. Fuente: El. prop.	124
Ilustración 8.21 Introducción y edición de los terraplenes en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	120
Ilustración 8.22 Introducción y edición de apoyos en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	125
Ilustración 8.23 Edición de la sección de la viga con el editor de familias. Fuente: El. prop.	126
Ilustración 8.24 Apariencia final de la viga creada. Fuente: El. prop.	126
Ilustración 8.25 Introducción y edición de vigas en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	127
Ilustración 8.26 Introducción y edición de prelosas en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	128
Ilustración 8.27 Introducción y edición de la losa en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	128
Ilustración 8.28 Avisos de Revit® durante la fase de modelado. Fuente: El. prop.	129
Ilustración 8.29 Introducción y edición de la capa de rodadura en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	130
Ilustración 8.30 Introducción de pretiles en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	131
Ilustración 8.31 Edición de materiales. Fuente: El. prop.	132
Ilustración 8.32 Aplicación de materiales a los elementos del Modelo 3D. Fuente: El. prop.	132
Ilustración 8.33 Introducción y edición de armaduras en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	133
Ilustración 8.34 Modificación de armaduras en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	134
Ilustración 8.35 Armadura oculta en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	134
Ilustración 8.36 Introducción de comentarios en los elementos del Modelo 3D. Fuente: El. prop.	135
Ilustración 8.37 Introducción de armaduras en las vigas. Fuente: El. prop.	136
Ilustración 8.38 Introducción y edición de encofrados en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	137

Ilustración 8.39 Creación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.	138
Ilustración 8.40 Simulación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fase 4. Fuente: El. prop.	139
Ilustración 8.41 Simulación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fase 5. Fuente: El. prop.	139
Ilustración 8.42 Simulación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fase 6. Fuente: El. prop.	140
Ilustración 8.43 Simulación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fase 6. Fuente: El. prop.	140
Ilustración 8.44 Modelo 3D finalizado. Fuente: El. prop.	141
Ilustración 8.45. Ejemplo de plano realizado con Revit®. Definición geométrica de pilas. Fuente: El. prop.	142
Ilustración 9.1 Interfaz de inicio de Navisworks® v.2019. Fuente: Autodesk, Inc.	143
Ilustración 9.2 Importación de archivos en Navisworks®. Fuente: El. prop.	147
Ilustración 9.3 Vigas creadas en un archivo de Revit® (.rvt). Fuente: El. prop.	148
Ilustración 9.4 Archivo de Revit® (.rvt) importado directamente en Navisworks®. Fuente: El. prop.	148
Ilustración 9.5 Importación del modelo original desde Revit® a Navisworks®. Fuente: El. prop.	149
Ilustración 9.6 Exportación del Modelo BIM 3D desde Revit® en formato .nwc. Fuente: El. prop.	149
Ilustración 9.7 Importación del Modelo BIM 3D en Navisworks® en formato .nwc. Fuente: El. prop.	150
Ilustración 9.8 Importación de ficheros de planificación en Navisworks®. Fuente: El. prop.	150
Ilustración 9.9 Selección de elementos del modelo desde las tablas de planificación. Fuente: El. prop.	151
Ilustración 9.10 Calendario laboral a nivel nacional para el año 2020. Fuente: El Mundo.com	153
Ilustración 9.11. Acceso al emplazamiento del proyecto. Fuente: Google Earth®.	156
Ilustración 9.12 Introducción del Calendario Laboral de 2020 en Microsoft® Project. Fuente: El. prop..	157
Ilustración 9.13 Introducción de la jornada intensiva en Microsoft® Project. Fuente: El. prop.	158
Ilustración 9.14 Planificación de la obra en Microsoft® Project. Fuente: El. prop.	159
Ilustración 9.15 Importación del Modelo BIM 3D en Navisworks®. Fuente: El. prop.	160
Ilustración 9.16 Importación del archivo de planificación en Navisworks®. Fuente: El. prop.	160
Ilustración 9.17 Creación de Conjuntos de Búsquedas en Navisworks®. Fuente: El. prop.	161
Ilustración 9.18 Exportación de Conjuntos de Búsquedas a formato .xml. Fuente: El. prop.	162
Ilustración 9.19 Selección de elementos del modelo a través de los Conjuntos de Búsquedas. Fuente: El. prop.	162
Ilustración 9.20 Enlace del Modelo BIM 3D con la planificación de obras. Fuente: El. prop..	163
Ilustración 9.21 Simulación del Modelo BIM 4D. Fuente: El. prop.	163
Ilustración 9.22 Apariencia final del Modelo BIM 4D. Fuente: El. prop.	164
Ilustración 9.23. Prueba de detección de conflictos en el Modelo BIM 4D. Fuente: El. prop..	164
Ilustración 9.24 Detección de conflictos entre varios modelos. Fuente: Instituto Didactia.	165
Ilustración 10.1 Interfaz de inicio de Presto® v. 2020. Fuente: RIB Spain	167
Ilustración 10.2. Parámetros a introducir de forma manual en los elementos del Modelo BIM 3D. Fuente: el. prop.	168
Ilustración 10.3. Vinculación de archivos mediante los catálogos de Revit® exportados desde Presto. Fuente: el. prop.	169
Ilustración 10.4 Vinculación de Revit® y Presto® a través del módulo Cost-It. Fuente: El. prop.	169
Ilustración 10.5. Datos IPC Extremadura enero 2012 – diciembre 2019. Fuente: INE	170

Ilustración 10.6. Asociación de elementos mediante Código de Montaje. Fuente: El. prop.	171
Ilustración 10.7 Información vinculada de la Base de Precios. Fuente: El. prop.	172
Ilustración 10.8. Información vinculada en las Tablas de Planificación. Fuente: El. prop.	172
Ilustración 10.9 Introducción de presupuestos parciales en las Tablas de Planificación I. Fuente: El. prop.	173
Ilustración 10.10 Introducción de presupuestos parciales en las Tablas de Planificación II. Fuente: El. prop.	173
Ilustración 10.11 Proceso de exportación del Modelo BIM 3D desde Revit® a Presto®. Fuente: El. prop.	174
Ilustración 10.12 Interoperabilidad Revit® -Presto®. Fuente: El. prop.	175
Ilustración 10.13 Partidas para las vigas prefabricadas. Fuente: El. prop.	176
Ilustración 10.14 Partida para la Capa de Rodadura. Fuente: El. prop.	176
Ilustración 10.15 Presupuesto Base de Licitación del Proyecto. Fuente: El. prop.	177
Ilustración 10.16 Introducción del coste en el archivo de Planificación previo. Fuente: El. prop.	178
Ilustración 10.17 Introducción del coste en la herramienta Timeliner de Navisworks®. Fuente: El. prop.	178
Ilustración 10.18 Simulación del Modelo BIM 5D. Fuente: El. prop.	179
Ilustración 10.19 Modelo BIM 5D definitivo. Fuente: El. prop.	179

Notación

AIM	Asset Information Model (Modelo de Información del Activo)
AIR	Asset Information Requirements (Requisitos de Información del Activo)
BIM	Building Information Modeling
BSI	British Standards Institution
CAD	Computer Aided Design
ECD	Entorno Común de Datos
EIR	Employer's Information Requirements (Requisitos de Intercambio de Información)
ELS	Estado Límite de Servicio
ELU	Estado Límite Último
IFC	Industry Foundation Classes
ISO	International Organization for Standardization
LOD	Level Of Development/ Level Of Detail
LOI	Level Of Information
OIR	Organisational Information Requirements (Requisitos de Información de la Organización)
PBL	Presupuesto Base de Licitación
PCAP	Pliero de Cláusulas Administrativas Particulares
PDF	Portable Document Format
PEB	Plan de Ejecución BIM
PIR	Project Information Requirements (Requisitos de Información del Proyecto)
PIM	Project Information Model (Modelo de Información del Proyecto)
PEM	Presupuesto de Ejecución Material
PPTT	Pliero de Prescripciones Técnicas Particulares
PYME	Pequeñas Y Medianas Empresas
TFG	Trabajo de Fin de Grado
TFM	Trabajo de Fin de Máster
UNE	Una Norma Española

1 METODOLOGÍA BIM

Quizás algunas de las preguntas más habituales que nos hayamos hecho, yo incluido antes de comenzar la elaboración de este Trabajo de Fin de Máster, son: ¿Qué es exactamente la Metodología BIM?, ¿Qué ventajas presenta frente al diseño tradicional de proyectos?, ¿Cómo se puede aplicar a un proyecto como por ejemplo el diseño de una estructura de una obra civil?.

Pues bien, ese será el propósito del presente TFM, conseguir que a lo largo de los Capítulos que aquí se describen cualquier lector, pertenezca al sector de la construcción o no, sea capaz de entender en qué consiste dicha metodología.

1.1. Introducción

Para comenzar, las siglas *BIM* proceden del término inglés *Building Information Modeling*, que realizando una traducción literal al castellano sería algo así como *Modelado de la Información de la Construcción*. Una definición más precisa es la que detalla el Standard Nacional BIM de los Estados Unidos (NBIMS-US™)[1]:

“a BIM is a digital representation of physical. and functional characteristics of a facility. As such, it serves as a shared knowledge resource for information about a facility, forming a reliable basis for decisions during its life cycle from inception onward.”

Cuya traducción sería: *“Un Modelo BIM es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. Como tal, un BIM es un recurso de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación, formando una base fiable para las decisiones durante su ciclo de vida desde el comienzo en adelante.”*



Ilustración 1.1. Metodología BIM aplicada al diseño de infraestructuras. Fuente: Instituto Didactia

El término “*facility*” o “*instalación*” al que se refiere la definición anterior se remite al origen que tiene esta Metodología, enfocada inicialmente a la construcción en la Arquitectura o la Industria, pero que cada vez más se aplica al campo de las Infraestructuras Civiles, como es nuestro caso.

La aparición de la Metodología BIM surge como necesidad de modernización del sector de la construcción, que ha llegado al S.XXI sin haber logrado integrar de manera eficaz los avances tecnológicos, de I+D+I y de gestión que permitan alcanzar niveles de producción parejos a los del resto de sectores industriales.

Esto no sólo ocurre en España, la mayoría de países desarrollados sufren el mismo problema dado que la construcción es un sector globalmente tradicional.

BIM supone una revolución de los métodos de trabajo que se han estado utilizando en la construcción hasta ahora; la metodología tradicional de proyectos implica el proceso de diseño mediante herramientas de CAD que imitan el dibujo en 2D de elementos sencillos como líneas, textos, tramas, etc. Esto supone una producción relativamente baja debido al tiempo necesario para la edición de esos elementos. Además, cualquier error en cualquiera de las fases implica un importante retraso en el resto de fases, puesto que no que no están interrelacionadas entre sí. En términos generales, la metodología tradicional de la construcción tiene asociado un elevado grado de incertidumbre en términos de cumplir con una serie de factores requeridos por el cliente como pueden ser el plazo de ejecución, el coste y la calidad final del trabajo.

Se podría decir que el avance que se consigue con el BIM respecto al diseño en 2D con herramientas de CAD, es equiparable o incluso mayor al que en su día supuso la implantación de dichas herramientas respecto al diseño manual mediante lápiz y papel.

1.2. ¿Qué es BIM?

BIM es una metodología de trabajo colaborativo entre todos los agentes implicados en el proceso real de la construcción, comprendiendo todas las fases del ciclo de vida del edificio o infraestructura en cuestión.

Su principal objetivo es centralizar toda la información en un único modelo tridimensional, que no es sólo un concepto puramente estético en el que se visualice una geometría de una forma más clara, si no que su representación lleva asociada multitud de datos, de tal manera que cualquier cambio realizado en el modelo provoque un cambio automático e instantáneo de los datos afectados. De esta forma, al poder optimizar el proceso se consigue un considerable ahorro de tiempo, una mayor rentabilidad y una mejor calidad final.



Ilustración 1.2 Proceso de aplicación de la Metodología BIM durante el ciclo de vida de un proyecto. Fuente: Autodesk, Inc.

Como hemos comentado anteriormente, BIM comprende todo el ciclo de vida de un proyecto: la definición conceptual, el diseño, la ejecución y el posterior mantenimiento. Todo ello se hace con la utilización de herramientas informáticas y a través de un *Modelo*, conteniendo toda la información necesaria en formato digital y a su vez en un número reducido de archivos, de tal manera que el acceso a ellos por parte de cualquiera de los agentes intervinientes en un proyecto sea mucho más ágil, sencillo y eficiente.

La palabra “*modelo*” o “*modelado*” aparecerá en numerosas ocasiones a lo largo del presente TFM, ya que es una de las bases de la Metodología BIM, tal y como establece Eastman, Chuck en su libro *BIM Handbook* [2]:

“*BIM es una tecnología de modelado, y una serie de procesos que sirven para generar, comunicar y analizar proyectos constructivos*”.

Si analizamos profundamente el significado del acrónimo BIM podemos separar por un lado las dos primeras siglas (*Building Information* o la traducción al español de *Información de la Construcción*); pues bien, en un proyecto constructivo intervienen multitud de datos, como por ejemplo:

- Datos topográficos
- Precios unitarios
- Geometrías
- Plazos de ejecución
- Materiales
- Tareas

Toda esa información debe ser integrada en un único modelo, y eso se consigue a través del proceso de *Modelado* o *Modeling*. Cabe insistir de nuevo que cuando hablamos de un modelo no sólo nos estamos refiriendo a una geometría tridimensional aislada, si no que el *Modelado* consiste, en primer lugar, en digitalizar toda esa información de la realidad para posteriormente asignarle una serie de operaciones interpretables por el software para conseguir un análisis detallado, relacionando todos esos datos entre ellos y así poder generar un producto que nos permitirá en un futuro construir un proyecto.

Tampoco puede considerarse como Modelo BIM una geometría 2D sobrepuesta manualmente para ofrecer una visibilidad en 3D. Como ya se ha explicado, los elementos de un modelo tienen que tener relación entre ellos, es decir, los tradicionales dibujos en CAD no serían considerados como Modelos BIM. Por poner un ejemplo, si queremos construir un pilar cimentado sobre una zapata aislada, el modelo debe entender que ambos elementos están estructuralmente conectados entre ellos, tienen materiales asignados (incluyendo propiedades físicas, térmicas, coste, etc.), tienen la capacidad para albergar armaduras en su interior, etc.

Por último, un Modelo BIM debe tener la capacidad de generar cambios en cada una de las vistas en las que pueda editarse. Esto puede parecer una simple propiedad de los softwares para facilitar el trabajo de diseño, pero reflexionando sobre el concepto de *relación* entre objetos, internamente tiene todo el sentido porque implica que las diferentes vistas y los diferentes elementos permiten generar cambios de forma automática, considerándolos como objetos inteligentes.



Ilustración 1.3 Aplicación de la Metodología BIM a infraestructuras civiles. Fuente: e-Zigurat

1.3. Ventajas de la Metodología BIM

La Metodología BIM ofrece grandes ventajas respecto a la metodología tradicional para la construcción de proyectos, entre las que se pueden destacar:

- 1) **Entorno multidisciplinar:** Con BIM se pueden diferenciar claramente cada una de las tareas del proyecto y los agentes implicados en ellas. Cada una de las personas que trabaje en un proyecto tendrá claras cuáles son sus funciones, y luego, todo el trabajo individual podrá ser integrado en un mismo Modelo, pudiendo corregir los errores de diseño que, trabajando por separado serían imposibles de detectar hasta una vez que el proyecto ha sido construido.
- 2) **Orden y coordinación en los proyectos:** La información generada en BIM puede actualizarse continuamente, permitiendo una mejor comunicación entre los agentes intervinientes en un proyecto, y aportando también una mayor fiabilidad y coherencia a dicha información.
- 3) **Ahorro y eficiencia:** Gracias a la unificación de toda la información de un proyecto es posible generar mayores producciones en menor tiempo, con el consiguiente ahorro de tiempo y económico que lleva asociado la construcción de un proyecto.
- 4) **Interoperabilidad en tiempo real:** Gracias a la metodología de trabajo colaborativo todos y cada uno de los agentes intervinientes en el proyecto pueden tener acceso a la información en cualquier instante, y además, cualquier cambio introducido en el modelo por alguno de ellos podrá ser visualizado por el resto. Con esto también se consigue tener una mayor transparencia, que resulta ser de especial importancia en los casos que nos ocupan, ya que en la gran mayoría de obras civiles el cliente es alguna de las Administraciones Públicas, y por ende, obras que están financiadas por la contribución de los ciudadanos.
- 5) **Menor incertidumbre:** BIM permite una mejor estimación de cumplimientos en términos de plazos de ejecución y coste total. Sabemos que el proceso de construcción de los grandes proyectos es largo, desde su concepción inicial (estudios informativos, anteproyectos, ...) hasta su ejecución y recepción. En todo ese tiempo es muy probable que los precios varíen, por lo que si simplemente tenemos un proyecto en papel, como se hace todavía hoy en día, no habrá posibilidad de actualizar esos precios a la situación de la Economía en general. Con BIM un proyecto permanece “vivo” durante todo su ciclo de vida, en el sentido que al estar digitalizada toda la información, es posible generar cambios y adaptarse a los nuevos precios que va imponiendo el mercado. Algo similar sucede con los plazos de ejecución; si por ejemplo planificamos una obra que tendrá una duración estimada de 3 años, y plasmamos esa planificación en papel, no habrá posibilidad de hacer frente a los retrasos e imprevistos que puedan surgir. Distinto es que podamos ir planificando el proyecto de construcción al mismo ritmo que se van ejecutando las obras, teniendo una mayor certeza sobre la fecha de finalización definitiva.
- 6) **Adaptabilidad:** La Metodología BIM puede aplicarse a cualquier proyecto de construcción, independientemente de su magnitud o complejidad, adaptándose a las necesidades del propio proyecto o a los requerimientos del cliente. Obviamente, cuanto mayor sea, mayores ventajas obtendremos con la aplicación de BIM, porque los grandes proyectos requieren tanta información que resultan ser inabarcables a menos que tras ellos haya un gran grupo de personas trabajando. Gracias al enfoque de metodología de trabajo colaborativo y a la unificación de toda esa información, se puede controlar un proyecto de una forma más sencilla y por un menor grupo de profesionales. Los mayores proyectos (viaductos, carreteras, túneles, etc.) pueden a su vez dividirse en sub-modelos, para finalmente unificarlo todo en el modelo del proyecto de tal manera que se puede trabajar con esos sub-modelos de forma independiente y cualquier cambio generado en ellos se actualizará automáticamente en el modelo global.
- 7) **Calidad del trabajo:** Aunque como ya se repetido en varias ocasiones que un simple Modelo 3D no necesariamente tiene que ser un Modelo BIM, también hay que saber apreciar las ventajas que ofrece

una visualización tridimensional frente a una bidimensional. La visualización 3D permite acercarnos a cómo sería el proyecto en la realidad. Con una geometría 3D visualizada en tiempo real es posible detectar errores en el modelo y corregirlos antes de que se puedan producir en la construcción real. Resulta incuestionable por lo tanto que la calidad final de los trabajos realizados con la Metodología BIM es superior a los proyectos realizados con la metodología tradicional.

- 8) **Compatibilidad con la metodología tradicional:** Al igual que BIM permite realizar innovadores Modelos 3D, es posible también no alejarse en exceso de los tradicionales proyectos en 2D, porque tenemos que ser conscientes que no todos los profesionales de la construcción están habituados a trabajar con esta metodología que todavía está en pleno desarrollo e implantación dentro del mundo de las obras civiles. Del mismo modo, podemos trabajar simultáneamente con vistas 2D y 3D, lo que nos facilita una experiencia más completa y nos ayuda a tener una mejor concepción global del proyecto.



Ilustración 1.4 Ventajas de la aplicación de la Metodología BIM. Fuente: El. prop¹.

1.4. Desventajas de la Metodología BIM

Al igual que se exponen las principales ventajas de la Metodología BIM, debemos ser lo más imparciales posible y exponer también algunos aspectos negativos de su aplicación, aunque sean menores en comparación con los aspectos positivos que presenta [3].

- 1) **Mayor dependencia de las herramientas informáticas:** El hecho de apostar por la unificación de toda la información en formato digital implica que nos veamos obligados a la utilización de aplicaciones y programas informáticos, que en muchos casos se adquieren a través de licencias que tienen un elevado coste. Muchas PYME's no tienen la posibilidad de adquirir esas licencias ya que no disponen de los suficientes recursos para obtener rentabilidad de la aplicación de la Metodología BIM a los proyectos, lo que les hace plantearse continuar con la metodología tradicional, que ya de por sí tiene costes atribuibles a licencias de softwares CAD, programas de elaboración de presupuestos, etc. Quiere decir, que, a día de hoy, sólo las grandes empresas tienen la capacidad de asumir esos gastos y obtener beneficios debido al volumen de proyectos que manejan.
- 2) **Entorno colaborativo en lugares remotos:** La Metodología BIM impulsa la utilización de los modelos digitales en lugar de los tradicionales planos en papel en la fase de construcción de los proyectos. Esos modelos, si están conectados a través de internet pueden compartir y actualizar información en tiempo real. Como bien sabemos, las obras civiles, en numerosos casos se ubican en emplazamientos remotos en los que no es posible conectarse a ninguna red, por lo que es un problema que todavía está pendiente por resolver, aunque es cierto que con los grandes avances que se producen en la tecnología año tras

¹ Elaboración propia.

año, no tardará mucho tiempo en resolverse.

- 3) **Personal poco formado:** La Metodología BIM en España (y más aún en el campo de la Ingeniería Civil) está en pleno desarrollo, por lo que no hay demasiados profesionales en el sector que tengan una dilatada experiencia con la utilización de esta metodología, lo que implica que a día de hoy es difícil implantarla en proyectos de gran complejidad. Si bien es cierto que cada vez hay una mayor oferta de Másteres, Cursos, charlas, convenciones, etc. para formar a profesionales, existe la duda por parte de muchas empresas de cómo afectaría a corto y/o medio plazo la formación del personal a la productividad de la propia empresa. Del mismo modo, el personal de las distintas Administraciones Públicas necesita ese proceso de adaptación, una formación que permita exigir la correcta aplicación de la Metodología BIM a los proyectos que sacan a concurso.
- 4) **Desconfianza:** Por nuestra naturaleza de seres humanos, siempre que haya un cambio que nos obligue a salir de nuestra zona de confort se genera cierta desconfianza o rechazo. En este hecho se puede aplicar a que la metodología de los proyectos en CAD y papel está sobradamente dominada, ya que se utiliza desde hace varias décadas, por lo que todavía existen muchos profesionales dentro del sector de la construcción que se niegan a dejar atrás la metodología tradicional y adaptarse a los nuevos tiempos porque consideran que es la mejor forma de realizar proyectos. Entre todos debemos ver que BIM es el futuro (no muy lejano) y que mientras antes consigamos dar ese paso, más fácil será la adaptación.



Ilustración 1.5 Desventajas de la aplicación de la Metodología BIM. Fuente: El. prop.

1.5. Niveles de madurez

Este concepto se utiliza para establecer de qué manera está implantada la Metodología BIM en un proyecto, para lo cual nos podemos basar en una escala estándar en la que se pueden diferenciar la Metodología BIM de menor a mayor grado de implantación. Un estudio llevado a cabo por los autores británicos *Mark Bew* y *Mervyn Richards* [4] indican cuatro grados de implantación, siendo el 0 el nivel más bajo y 3 el más alto. Conviene señalar en este momento que no debemos confundir los niveles de madurez con las dimensiones BIM o el nivel de detalle [5], conceptos que serán definidos posteriormente.

Con la escala del nivel de madurez podremos conocer qué datos deben ser adjuntados, cómo se deben estructurar esos datos, así como seguir una evolución progresiva del proyecto partiendo desde una colaboración nula hasta un entorno de trabajo colaborativo total. Los grados de la escala de niveles de madurez se exponen a continuación [6]:

- 1) **Nivel 0:** En este nivel el grado de colaboración entre distintos agentes intervinientes es nulo. Se podría asignar un Nivel 0 a la metodología tradicional de proyectos, en la que no existe interoperabilidad en la información compartida debido a que al estar en papel no puede ser editada (planos, documentos, presupuestos, etc.). A lo sumo, pueden compartirse en formatos estándar como los PDF. Es el nivel más

simple en la generación de datos, ya que se pueden intercambiar archivos (como los mismos PDF o los CAD) pero no modelos generados.

- 2) **Nivel 1:** En este Nivel se generan modelos digitales 3D para una mejor visualización pero sin contener información adicional. Los archivos intercambiados siguen siendo en formatos 2D. Aparece el *Common Data Environment*, en el que se genera un repositorio online para poder compartir y gestionar los archivos de un proyecto, aunque eso sí, la interoperabilidad de esos archivos por parte de los agentes intervinientes sigue siendo prácticamente nula.
- 3) **Nivel 2:** Se establece la colaboración entre agentes intervinientes. Cada uno de ellos tiene un modelo distinto que se integra en uno común. En este nivel pueden crearse modelos de hasta quinta dimensión, que están ligados al presupuesto total con toda la información económica de la obra.
- 4) **Nivel 3:** Toda la información del proyecto es compartida a través del *Common Data Environment*, estableciendo un entorno de trabajo colaborativo completo. Se trabaja en torno a un modelo integrado, lo que implica la reducción de errores no detectables en cada modelo individual. Los datos se comparten en un formato común como puede ser por ejemplo los *IFC (Industry Foundation Classes)*, para que puedan ser modificados por cada uno de los agentes. En este nivel se pueden crear modelos de hasta seis dimensiones. Para que podamos entenderlo mejor, este nivel corresponde a un Nivel 2 con toda la información volcada en un repositorio online de trabajo común.

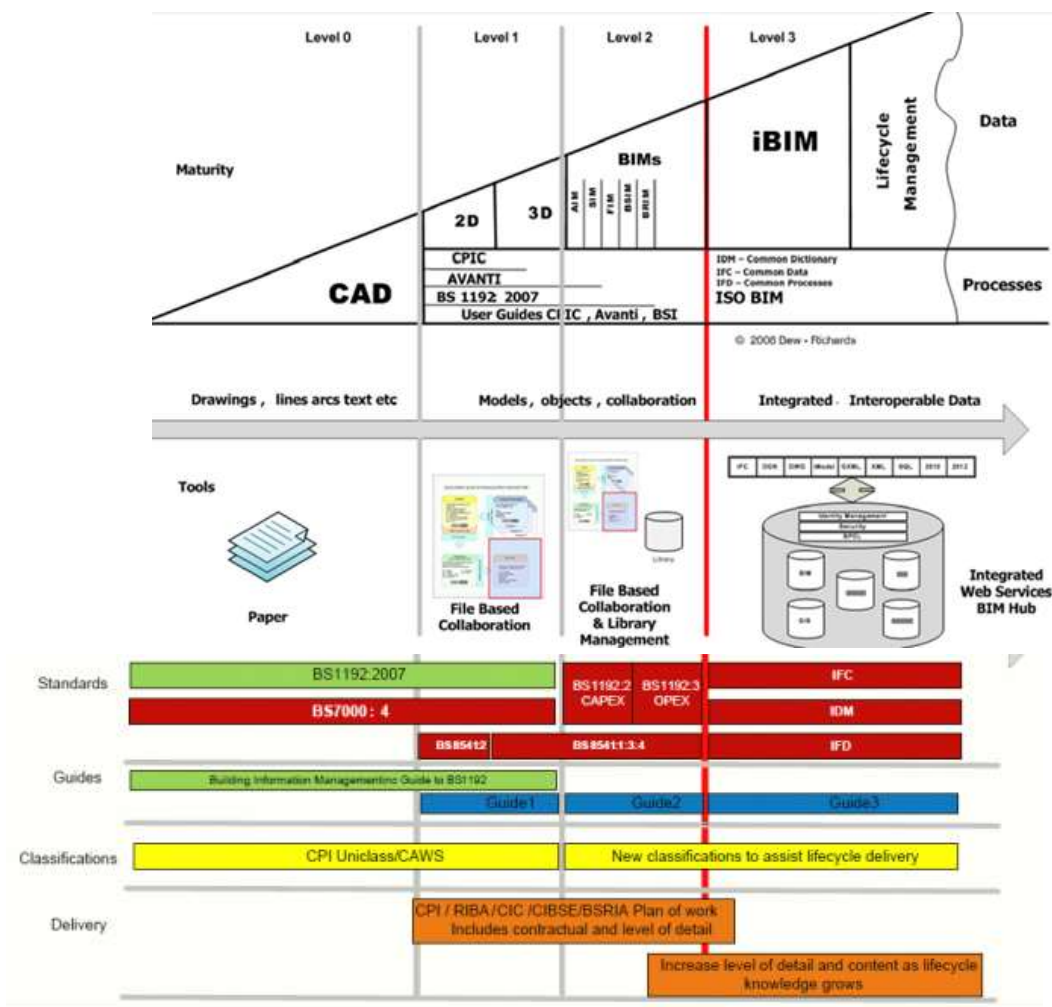


Ilustración 1.6 Niveles de madurez BIM. Fuente: Bew & Richards BIM Maturity Diagram (2008)

Para alcanzar cada uno de los niveles (sobre todo el Nivel 3) descritos son imprescindibles tres elementos que apliquen un procedimiento estándar, que según la web *espaciobim.com* [5], cito textualmente:

- **Protocolo BIM:** Se trata de un acuerdo legal que permite que un proyecto en BIM se desarrolle sin problemas. En este documento se establece el papel del gestor de la información y las normas incorporadas a seguir para todos los miembros del equipo. Además, obliga a los proveedores a proporcionar datos BIM en los niveles de detalle especificados y proporciona la protección necesaria a los productores de la información por medio de licencias específicas de BIM.
- **Plan de Ejecución BIM:** Es un documento compartido y admitido por todas las partes del proceso BIM en el cual se fija de qué manera trabajarán juntos los distintos agentes para alcanzar los estándares del EIR – *Employers Information Requirements**. Incluye los agentes implicados en el proceso y su papel, los entregables y el tiempo de entrega asociado a cada uno de ellos, los procesos de intercambio, la autoría y coordinación de los modelos y la *Model Element Table (MET)*, que debe recoger el nivel de detalle gráfico al que se modelarán los objetos BIM.
- **Common Data Environment:** Es el lugar donde se almacena toda la información relativa a un proyecto BIM y a la que pueden acceder todos los participantes de dicho proyecto. El caso más típico es la nube. Un ejemplo, en el caso de Autodesk Revit®, sería **BIM 360 Team**: una ubicación central en la que comunicarse, ver, anotar y revisar archivos de diseño de proyectos 2D y 3D desde cualquier lugar mediante un navegador web o un dispositivo móvil.

El hecho de estandarizar todo el proceso de aplicación de la Metodología BIM permite establecer un entorno común para todos los agentes que forman parte de un proyecto constructivo, evitando así la aparición de problemas al compartir información.

1.6. Dimensiones BIM

Nos referimos a dimensión BIM a cada una de las etapas que tiene un proyecto constructivo a lo largo de su ciclo de vida. Cada una de estas dimensiones hace referencia a la forma que la información es añadida al modelo. Con cada dimensión que agreguemos al modelo podemos obtener un mayor grado de conocimiento de la construcción del proyecto; desde cómo será la geometría de los distintos elementos que lo componen hasta cómo será el mantenimiento de la infraestructura una vez entregada al cliente.

Todas las fuentes consultadas coinciden que un proyecto, desde su concepción inicial hasta su entrega final, consta de 7 fases o dimensiones distintas [7] [8] [9][10]:

- **BIM 1D: La idea.** Todo proyecto tiene que comenzar de una idea inicial en la que se definen condiciones de partida como la localización y el emplazamiento, concepto geométrico, primera estimación de materiales o coste aproximado. También se establece un Plan de Ejecución Inicial: estudios previos, análisis del mercado, viabilidad del proyecto, etc. La idea inicial es la base sobre la cual se irán desarrollando las siguientes dimensiones del proyecto.
- **BIM 2D: El boceto.** En esta fase se desarrolla el diseño del proyecto, realizando el predimensionamiento con una geometría y unos materiales ya definidos, todos los cálculos necesarios y una estimación del coste final con mayor exactitud.
- **BIM 3D: El Modelo tridimensional.** Una vez recopilada toda la información de las dos dimensiones anteriores, ya tendremos una geometría concreta que será necesaria modelar en un espacio de 3 dimensiones. Como ya se ha repetido anteriormente, no es sólo una representación visual, ya que el Modelo BIM 3D llevará incluida gran cantidad de información relativa a materiales, coste, así como interconexión entre elementos del propio modelo. Toda la información asociada al Modelo BIM 3D será fundamental para el desarrollo de las siguientes dimensiones.
- **BIM 4D: El tiempo.** Hasta la dimensión anterior el proyecto permanece estático en el tiempo, sin embargo, con esta nueva dimensión es posible asignar una planificación temporal exhaustiva al Modelo. Se identifican con todo grado de detalle las fases de construcción y duración de cada una de ellas, pudiendo variar a medida que se introducen modificaciones y nuevos condicionantes en el proyecto.

Adicionalmente, se puede realizar la simulación de las distintas fases de ejecución, visualizando el avance de las obras, los posibles fallos que se puedan producir, interferencias con otras obras, así como la maquinaria y medios auxiliares que serán necesarios, lo que permite optimizar el proceso de ejecución y mejorar la coordinación entre el personal de obras. Esta es una de las principales diferencias de la Metodología BIM respecto a la tradicional.

- **BIM 5D: El coste.** A la planificación temporal por fases se le añade el coste total de cada una de ellas, de tal manera que no se concibe un proyecto con un presupuesto global, sino que este se controla según el ritmo de avance de las obras y las modificaciones introducidas. Esto permite evaluar impactos económicos en distintos escenarios y anticiparse a los posibles contratiempos. Al tener un registro más exhaustivo del coste del proyecto, las estimaciones y predicciones finales son más exactas, por lo que consecuentemente, la rentabilidad del mismo es mucho mayor que con la metodología tradicional.
- **BIM 6D: La sostenibilidad.** En esta dimensión se simula el grado de eficiencia del proyecto desde las dimensiones anteriores, evaluando posibles alternativas para finalmente llegar a la alternativa óptima. Está también relacionada con el rendimiento energético de instalaciones, permitiendo un menor consumo al hacerlas más eficientes.
- **BIM 7D: La gestión del ciclo de vida.** Esta dimensión hace referencia al mantenimiento de infraestructuras e instalaciones a lo largo de su vida útil, desde el diseño hasta la demolición. Son las directrices que hay que seguir, para, una vez construido, alcanzar el propósito para el que ha sido diseñado. Comprende operaciones de inspecciones, reparaciones, mantenimiento, etc., existiendo una conexión directa entre la realidad y el modelo, de tal forma que cualquier cambio aplicado en cada uno de ellos deberá verse reflejado en el otro. También pueden realizarse planes de emergencia o simulaciones de uso, en definitiva, todo lo que concierne a la utilización de la infraestructura.

Por otro lado, aunque todavía no está implantado en la Metodología BIM como tal, se empieza a hablar de la Seguridad y Salud y la Prevención de Riesgos Laborales como la siguiente dimensión, es decir, BIM 8D [10]. En un futuro no muy lejano deberá instaurarse definitivamente debido a la importancia que tiene en los proyectos de construcción, que desde hace ya bastantes años se exige en la metodología tradicional.

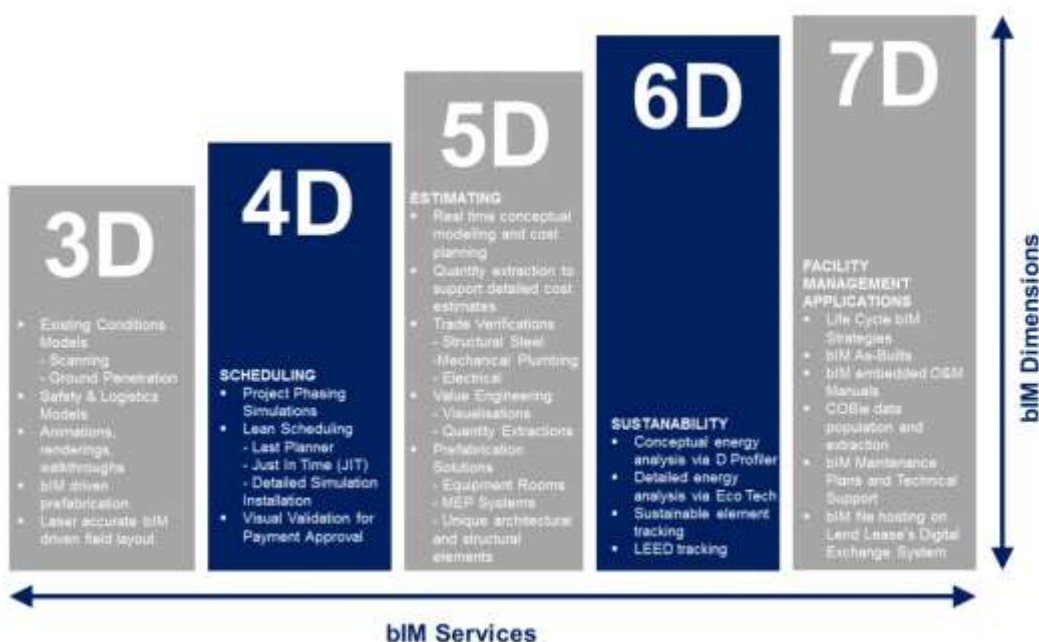


Ilustración 1.7 Dimensiones de un Modelo BIM. Fuente: bimnd.es

1.7. Nivel de Desarrollo

La implantación de la Metodología BIM en un proyecto dependerá entre otras cosas, del objetivo final que queramos alcanzar. Normalmente este objetivo es atribuible a las exigencias del cliente, que deberá tratarse como un aspecto inicial en los primeros contactos con la empresa encargada de realizar el Modelo BIM.

La concepción del proyecto por parte del cliente servirá a la empresa para seguir un plan estratégico de todo el proceso, valorando qué personal es necesario, así como el tiempo empleado y coste del mismo. Por eso, es fundamental decidir al inicio de un proyecto qué se modela y qué no, o cómo se modelan unos elementos y cómo se modelan otros. En esta fase del proyecto intervienen los denominados *Nivel de Detalle* y *Nivel de Desarrollo*. En la nomenclatura internacional pueden aparecer como *LOD* (que puede ser *Level Of Detail* o *Level Of Development*), que aunque pueden resultar similares, son conceptos distintos [11].

1.7.1. Nivel de Detalle

El Nivel de Detalle o *Level Of Detail (LOD)* Es una forma de cuantificar hasta qué punto se ha modelado el Elemento, es decir, teniendo en cuenta su información geometría [12].

Actualmente existen distintos estándares asociados a la definición del Nivel de Detalle dependiendo del país de origen, como por ejemplo Reino Unido y Estados Unidos [13]. Muchos profesionales siguen las pautas establecidas por el *American Institute of Architecture (AIA)*, pero cada vez se utiliza más en España la propuesta de la comisión *es.BIM* del *Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (antiguo Ministerio de Fomento)* en sus proyectos BIM [12], por lo que explicaremos a continuación los distintos Niveles de Detalle según establece esta comisión [14]:

- **Nivel G-001**: El Elemento en cuestión se define con respecto a la totalidad del emplazamiento y su entorno, mediante elementos de referencia, de forma literal o numérica.

Ejemplos: Datos de escaneados (nubes de puntos), limitaciones de parcela, referencias topográficas, planos imaginarios y/o de edificios existentes, etc.

- **Nivel G-100**: El Elemento objeto no se modela en 3D, pero puede estar representado por un símbolo u otra representación genérica que lo identifica, o bien su definición geométrica puede depender de otros objetos definidos gráfica y geoméricamente. Se puede obtener información relacionada con el elemento objeto derivándola de otros elementos del Modelo (por ejemplo, costes por metro cuadrado, número de elementos por metro lineal, orientación respecto a otros elementos, etc.). Cualquier información geométrica obtenida de estos elementos debe considerarse aproximada.

Ejemplos: Envolventes definidas por volumetrías (se puede obtener la orientación, ubicación y superficie aproximada de fachadas, cubiertas, etc.); recuento de elementos de mobiliario urbano por superficie de espacio urbanizado; esquemas de iluminación en planta (Interruptores, luminarias y conexiones definidos por símbolos); etc.

- **Nivel G-200**: El Elemento objeto está definido geoméricamente de forma aproximada en el Modelo como un sistema, objeto o montaje genérico con datos aproximados de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. Cualquier información geométrica obtenida de estos elementos debe considerarse aproximada.

Ejemplos: Tabiquería interior definida por igual a través de muros genéricos de dimensión reducida, en comparación con muros de fachada definidos de manera análoga con una dimensión superior para ser diferenciados; elementos de mobiliario definidos como volúmenes capaces que sirven como marcadores de posición y reserva de espacio; etc.

- **Nivel G-300**: El Elemento objeto está definido geoméricamente de forma precisa en el Modelo como un sistema, objeto o montaje específico, con datos precisos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. La información geométrica puede ser obtenida directamente del elemento sin

requerir de información ajena al modelo, como anotaciones o etiquetas.

Ejemplos: Muros diferenciados entre sí por sus dimensiones y composición material como elementos constructivos reales; elementos de mobiliario reconocibles y diferenciables entre sí por su forma y definición de sus partes; elementos de cimentación con dimensiones y cotas específicas; etc.

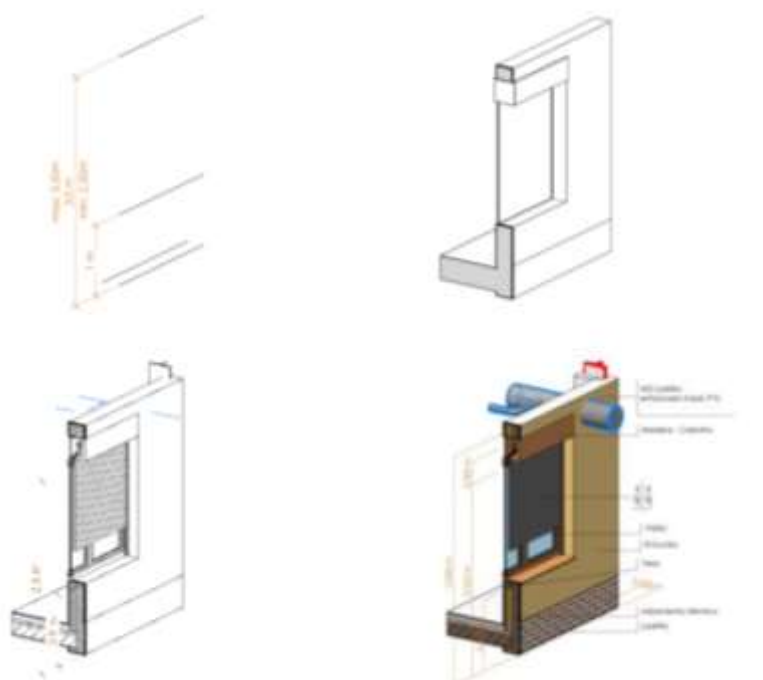


Ilustración 1.8 Niveles de Detalle G-001 – G-300 de un elemento BIM. Fuente: *esbim.es* [14]

- **Nivel G-350:** Definición geométrica similar a G-300. Adicionalmente, se modelan y definen los elementos de conexión y los encuentros con otros objetos o sistemas.

Ejemplos: Muro de fachada pasante con definición del perfil de apoyo en frente de forjado; elementos con perforaciones practicadas para paso de instalaciones; muros con definición de mochetas y dinteles en perímetro de carpinterías (cuando las carpinterías se definen a su vez como G350, con premarco, anclajes, etc.); definición del encuentro entre capas de muros que se acometen; zapatas con esperas de pilares; etc.

- **Nivel G-400:** El Elemento objeto está definido geométricamente en detalle en el Modelo como un sistema, objeto o montaje específico, con datos precisos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación, y detallado completo para su fabricación, puesta en obra, montaje o instalación.

Ejemplos: Conductos modelados según especificaciones de casas comerciales, incluyendo bridas y accesorios de montaje; elementos estructurales con armado completo; etc.

- **Nivel G-500:** El nivel de definición geométrica es análogo al G-400, representando el elemento objeto un sistema, objeto o montaje existente en su estado actual, con datos verificados in situ de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación, y detallado completo de su fabricación, puesta en obra, montaje o instalación.

Ejemplos: Estado final de los elementos efectivamente ejecutados; elementos con sus desviaciones, imperfecciones, añadidos o sustracciones; en rehabilitación, definición de las teselas existentes de un mosaico, o recuento y estado de tejas de una cubierta; lesiones en elementos constructivos; etc.

- **Nivel G-600:** El Elemento objeto está definido geométricamente en el Modelo por la suma de sus partes como elementos individuales, con datos precisos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y

orientación de sus componentes, así como sus condiciones geométricas de reciclado y desmontaje. La información geométrica puede ser obtenida directamente de los componentes del elemento sin requerir de información ajena al modelo, como anotaciones o etiquetas.

Ejemplos: Cubierta descompuesta en sus componentes constituyentes para desmontaje y reciclado de cada uno de ellos; muro formado por ladrillos individuales, placas de aislamiento, separadores, troceado de pilares con dimensiones máximas por contenedor, etc.



Ilustración 1.9 Niveles de Detalle G-350 – G-600 de un elemento BIM. Fuente: *esbim.es* [14]

1.7.2. Nivel de Desarrollo

Mientras que con el Nivel de Detalle nos referíamos a la cantidad de información geométrica contenida en un modelo, con el Nivel de Desarrollo hacemos referencia a la cantidad y calidad de la información geométrica y no geométrica (*Level Of Information (LOI)*). Tal y como expone Sánchez, Agustín en la web *espaciobim.com* [11], con el Nivel de Desarrollo se cuantifica la importancia y la veracidad de la información representada respecto a la realidad.

Algunos autores consideran que el Nivel de Detalle es la información de entrada y el Nivel de Desarrollo es la información de salida, aunque yo particularmente definiría el Nivel de Desarrollo como el conjunto del Nivel de Detalle (información geométrica) y el Nivel de Información (información no geométrica)(*LOI*).

El estándar más aplicado del Nivel de Desarrollo de un Modelo BIM es el que establece el *American Institute of Architects (AIA)*, que se va continuamente actualizando en la guía *Level of Development Specification*. El estándar G202–2013 de la *AIA* define el Nivel de Desarrollo como los datos mínimos dimensionales, espaciales, cuantitativos y de otro tipo incluido en un Modelo o Elemento para apoyar a los usos autorizados y asociados a dicho Nivel de Desarrollo.

La última modificación de este concepto data de abril de 2019 [15] en la que podemos diferenciar distintos Niveles de Desarrollo o *Level of Development (LOD)*:

- **LOD 100:** El Elemento puede estar representado gráficamente en el Modelo con un símbolo u otra representación, pero no satisface los requerimientos para un Nivel LOD 200. La información

relacionada al Elemento puede estar derivada de otros Elementos.

Los Elementos no son representaciones geométricas; muestran la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación precisa. Cualquier información derivada los Elementos LOD 100 debe considerarse aproximada.

- **LOD 200:** El Elemento se representa gráficamente dentro del Modelo como un sistema genérico, objeto o conjunto con cantidades aproximadas, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también se puede adjuntar a dicho Elemento.

En este LOD, los Elementos son marcadores de posición genéricos. Pueden ser reconocibles como los componentes que representan, o pueden ser volúmenes para reserva de espacio. Cualquier información derivada de elementos LOD 200 debe considerarse aproximado.

- **LOD 300:** El Elemento se representa gráficamente dentro del Modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también se puede adjuntar a dicho Elemento.

La cantidad, el tamaño, la forma, la ubicación y la orientación del elemento tal como se diseñó se pueden medir directamente desde el Modelo sin hacer referencia a información no modelada, como notas o llamadas de dimensión. El origen del proyecto está definido y el Elemento se ubica con precisión con respecto al origen del proyecto.

- **LOD 350:** El Elemento se representa gráficamente dentro del Modelo como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interconexión con otros sistemas de construcción. La información no gráfica también se puede adjuntar a dicho Elemento.

Se modelan las partes necesarias para la coordinación del Elemento con elementos cercanos o adjuntos. Estas partes incluirán elementos tales como soportes y conexiones. La cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación del elemento tal como fue diseñado se puede medir directamente desde el modelo sin hacer referencia a información no modelada, como notas o llamadas de dimensión.

- **LOD 400:** El Elemento se representa gráficamente dentro del Modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con información detallada, fabricación, montaje e instalación. La información no gráfica también se puede adjuntar a dicho Elemento.

Un Elemento LOD 400 se modela con suficiente detalle y precisión para que se pueda fabricar el componente representado. La cantidad, el tamaño, la forma, la ubicación y la orientación del Elemento tal como se diseñó se pueden medir directamente desde el modelo sin hacer referencia a información no modelada, como notas o llamadas de dimensión.

- **LOD 500:** El Elemento es una representación verificada en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación. La información no gráfica también se puede adjuntar a dicho Elemento.

Dado que el LOD 500 se relaciona con la verificación y no es una indicación de progresión a un nivel superior de geometría del Elemento o información no gráfica, esta especificación no la define ni la ilustra, por lo que este Nivel no es utilizado actualmente.

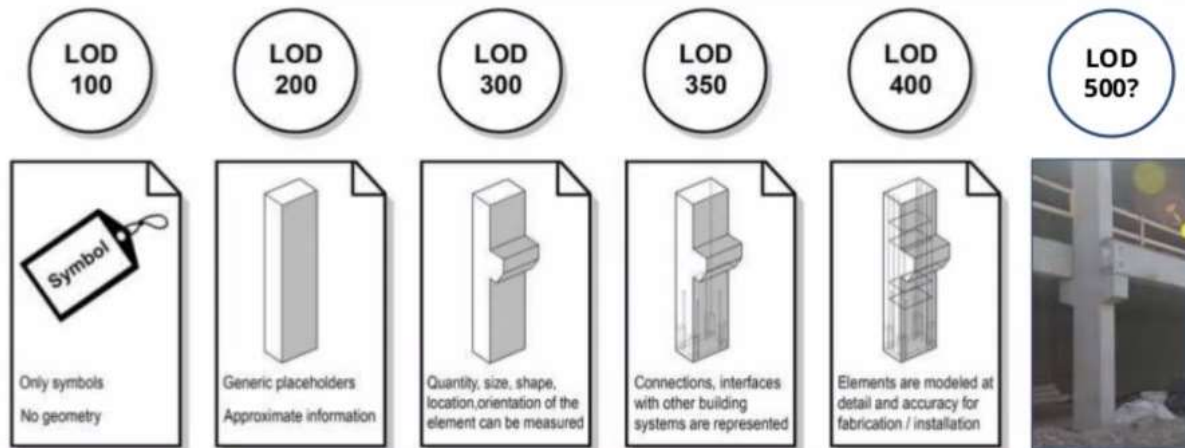


Ilustración 1.10 Niveles de Desarrollo (LOD) según la AIA 2019. Fuente: Canal GEDCOM de YouTube®

1.8. Funciones BIM

Hasta ahora hemos ido introduciendo el BIM como una metodología en la que se produce un entorno de trabajo colaborativo entre los distintos agentes intervinientes en un proyecto de construcción. El concepto **Funciones BIM** se refiere a los **Roles BIM**, que es el término adoptado en la normativa internacional. Esta modificación la establece la norma **UNE-EN ISO 19650-1:2019**.

Debemos diferenciar claramente cuál es la función de cada uno de los agentes dentro del proyecto para conseguir una correcta coordinación y la optimización de los recursos. El trabajo a realizar por parte de cada miembro del equipo se define al inicio del proyecto junto al *BIM Execution Plan (BEP)*, del que hablaremos con profundidad más adelante, pero estos pueden ir variando dependiendo del desarrollo del proyecto, de la organización o de los requerimientos en un determinado momento.

Conviene señalar varios puntos que debemos tener claros respecto a las funciones de un proyecto BIM, que expone Ortega, Borja.S en la web *espaciobim.com* [16] :

- En la gestión de un proyecto BIM las funciones no son cargos en la empresa, son funciones y responsabilidades asignados en el equipo de trabajo.
- Una función puede ser realizado por más de un miembro del equipo de trabajo.
- Un miembro del equipo de trabajo puede asumir más de una función.
- Los miembros del equipo de trabajo deben ser competentes para desempeñar la función asignada.
- Los miembros del equipo de trabajo deben tener autoridad para desempeñar el función asignada.
- Las funciones pueden pasar de una actividad a otra durante el ciclo de vida de un proyecto BIM

1.8.1. Equipos de Trabajo

Una vez aclarados los aspectos anteriores, definiremos cada uno de los equipos de trabajo que intervienen en un proyecto BIM. La comisión de implantación de la Metodología BIM en España *es.BIM* considera los siguientes equipos de trabajo en un proyecto BIM, que pueden intervenir durante una, varias o todas las etapas su ciclo de vida:

- **EQUIPO DEL PROMOTOR / CLIENTE (EP) o CLIENT TEAM (CT)**
- **EQUIPO DE GESTIÓN DEL PROYECTO (EGP) o PROJECT MANAGEMENT TEAM (PMT)**
- **EQUIPO DE DISEÑO DEL PROYECTO (EDP) o INTEGRATED DESIGN PROJECT TEAM**

(IDPT)

• **EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN (EC) o CONSTRUCTION TEAM (CT)**

- Equipo de Dirección de Construcción.
- Equipo de Producción.

EQUIPO DE POST-CONSTRUCCIÓN:

• **EQUIPO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (EOM) o FACILITY MANAGEMENT TEAM (FMT)**

EQUIPOS DE DE-CONSTRUCCIÓN:

- **EQUIPO DE DEMOLICIÓN (ED) O DEMOLITION TEAM (DM)**
- **EQUIPO DE REUTILIZACIÓN O RE-USE TEAM**
- **EQUIPO DE RECICLAJE O RECYCLE TEAM**

1.8.2. Esquema de Funciones

La misma comisión *es.BIM* define las siguientes funciones de un proyecto BIM, de la cual se han extraído directamente de la fuente consultada [17]:

1.8.2.1. PROMOTOR / CLIENTE – OWNER / CLIENT

Es la persona u organización que decide poner en marcha y financiar el Proyecto BIM y para ello contrata los servicios del Equipo de Gestión del Proyecto, EGP (Project Management Team, PMT), formando parte del Entorno Colaborativo (*Common Data Environment, CDE*).

1.8.2.2. DIRECTOR DE PROYECTO BIM - BIM PROJECT MANAGER

Persona nombrada por el cliente para liderar al equipo de proyecto BIM, gestionar el proyecto BIM, y alcanzar los objetivos para que se cumplan las expectativas del cliente. Forma parte del Equipo de Gestión del Proyecto, EGP (Project Management Team, PMT). Opera a Nivel Estratégico, Táctico y Operacional.

Funciones y responsabilidades:

- Desarrollar los protocolos BIM de acuerdo a los EIR's (Requisitos de Información del Cliente).
- Definir los objetivos y usos BIM del Cliente.
- Desarrollar el plan de proyecto (no el BEP que es un plan subsidiario y será desarrollado por el BIM Manager).
- Definir el alcance del proyecto.
- Desarrollar el acta de constitución del proyecto.
- Seleccionar, conformar y liderar el proyecto.
- Identificar y evaluar a los agentes intervinientes en el proyecto.
- Generar el plan de gestión del proyecto, incluyendo: alcance, presupuesto y cronograma.
- Gestionar y controlar los riesgos.
- Gestionar los cambios en el proyecto.
- Gestionar la calidad.
- Mantener el proyecto en coste y plazo.

- Hacer el seguimiento e informar del progreso y estado del proyecto.

1.8.2.3. DIRECTOR DE LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN - INFORMATION MANAGER

Es el agente responsable de gestionar y controlar el flujo de información entre todos los agentes intervinientes en el proyecto BIM a lo largo de todas las fases del ciclo de vida del proyecto.

Es el responsable de que todos dispongan de la información adecuada y en el momento oportuno. Gestiona la transmisión de información del proyecto al Promotor o Cliente.

Funciones y responsabilidades:

Es el responsable de gestionar la transmisión de la información necesaria para entregar al promotor o cliente durante todas las fases, con el fin de que pueda:

- Diseñar.
- Construir.
- Explotar y mantener.

El flujo de información se establece en una serie de hitos durante el ciclo de vida del proyecto (data drops). Debe crear, desarrollar y gestionar el Entorno Colaborativo (Common Data Environment, CDE) entre todos los agentes intervinientes en el proyecto.

1.8.2.4. DIRECTOR TÉCNICO BIM - BIM MANAGER

Es la persona nombrada por el Equipo de Gestión de Proyecto EGP en cualquier fase del ciclo de vida y a la aprobación del Promotor o Cliente, siendo plenamente responsable de la calidad digital y la estructura de contenidos para el proyecto BIM.

Lidera la correcta implantación y uso de la metodología BIM, coordinando el modelaje del proyecto y los recursos en colaboración con todos los agentes implicados, asegurando la correcta integración de los modelos y sus disciplinas con la visión global del proyecto, coordinando también la generación de contenidos, con capacidad para comunicar los beneficios y dificultades de BIM. Opera a Nivel Operativo (Técnico y Sistemático).

Funciones y responsabilidades:

- Proponer y coordinar la definición, implementación y cumplimiento del *BIM Execution Plan (BEP)*.
- Aplicar los flujos de trabajo en los proyectos.
- Aplicación y validación de los protocolos BIM.
- Manual de usuario BM.
- Apoyar el trabajo colaborativo y coordina el Equipo de Diseño del Proyecto EDP (Integrate Design Project Team, IDPT).
- Establecer en el Entorno Colaborativo (CDE) el cumplimiento de los requisitos de información del cliente (EIR's).
- Normalización y estandarización.
- Software y plataformas.
- Establecer los niveles de detalle y de información – LOD.
- Gestión del modelo.
- Gestión de cambios en el modelo.

- Gestión de la calidad en el modelo.
- Asistencia en las reuniones del Equipo de Diseño del Proyecto EDP (Integrated Design Project Team, IDPT) y el Promotor o Cliente.
- Establecer flujos de trabajo y gestión de requisitos.
- Garantizar la interoperabilidad.
- Apoyo técnico en la detección de colisiones.

1.8.2.5. DIRECTOR DE LA GESTIÓN DEL DISEÑO - LEAD DESIGNER

Es quien administra el diseño, incluyendo la aprobación y desarrollo de la información. Es quien confirma los resultados de diseño del Equipo de Diseño del Proyecto, EDP (Integrated Design Project Team, IDPT). Firma y aprueba la documentación para la coordinación del diseño de detalle antes de ser compartida.

Funciones y responsabilidades:

- Administrar el diseño
- Aprobar y desarrollar la información.
- Aprobar los resultados del Equipo de Diseño del Proyecto, EDP (Integrated Design Project Team, IDPT).

Es la persona que proporciona, junto con el Director de la Gestión de la Ejecución, un enlace de comunicaciones entre los diferentes Equipos de Diseño del Proyecto y los Equipos de Construcción.

Es quien coordina, junto con el Director de la Gestión de la Ejecución (si se trata de cuestiones que puedan afectar a dicha ejecución), las entregas de diseño de los diseñadores principales, diseñadores de especialidades (estructuras, MEP, etc.) y los subcontratistas, de cara al responsable del Equipo de Construcción para asegurar la entrega oportuna en costo.

1.8.2.6. DIRECTOR DE LA GESTIÓN DE LA EJECUCIÓN - LEAD CONSTRUCTION

Es quien administra la dirección de la ejecución mediante las correspondientes gestiones con sistemas BIM, incluyendo la aprobación y desarrollo de la información. Es quien confirma los resultados de la ejecución del Equipo de Construcción, CT (Construction Team). Firma y aprueba la documentación para la coordinación de la ejecución antes de ser compartida.

Funciones y responsabilidades:

- Administrar la ejecución
- Aprobar y desarrollar la información.
- Aprobar los resultados del Equipo de Construcción, CT (Construction Team).

Es la persona que proporciona un enlace de comunicación, en cuanto a la dirección ejecutiva de la obra en el ámbito BIM, entre los diferentes equipos de Diseño del Proyecto y los equipos de Construcción. Es quien coordina en cuanto a la dirección ejecutiva de la obra en el ámbito BIM, en colaboración con el Director de la Gestión del Diseño, los distintos intervinientes (diseñadores, especialistas, subcontratistas, etc.).

1.8.2.7. DIRECTOR DEL EQUIPO DE TRABAJO - TASK TEAM MANAGER

Es responsable de la producción del diseño y de todos los elementos que se relacionan con una tarea determinada. Estas tareas están a menudo basadas en unas disciplinas que tienen que ser compartidas por todo el equipo, existiendo un jefe de disciplinas que responde ante el Director de la Gestión del Diseño.

Funciones y responsabilidades:

- Responsable de la producción del diseño en una tarea determinada.

1.8.2.8. COORDINADOR BIM - BIM COORDINATOR

Es el agente responsable de coordinar el trabajo dentro de una misma disciplina, con la finalidad de que se cumplan los requerimientos del Director Técnico BIM. Realiza los procesos de chequeo de la calidad del modelo BIM, y que éste sea compatible con el resto de las disciplinas del proyecto. Habrá tantos Coordinadores BIM como especialidades incluya el proyecto (diseño, estructura, MEP, sostenibilidad, seguridad y salud, calidad ...etc.).

Funciones y responsabilidades:

- Coordinar el trabajo dentro de su disciplina.
- Realizar los procesos de chequeo de la calidad del modelo BIM.
- Asegurar la compatibilidad del modelo BIM con el resto de las disciplinas.

1.8.2.9. MODELADOR BIM - BIM MODELER / BIM OPERATOR

Es la persona responsable del modelado de acuerdo a los criterios recogidos en el BEP.

Funciones y responsabilidades:

- Debe estar especializado en construcción, ya que “se modela como se construye”.
- Proporciona información fundamental para todas las disciplinas involucradas utilizando herramientas de software BIM.
- Exportación del modelo 2D.
- Creación de visualizaciones 3D, añadir elementos de construcción para los objetos de la biblioteca y enlace de datos del objeto.
- Debe seguir en su trabajo los protocolos de diseño.
- Coordina constantemente y con cuidado su trabajo con las partes externas tales como
- arquitectos, ingenieros, asesores, contratistas y proveedores.
- Posee técnicas y habilidades capaces para arreglar, organizar y combinar la información.
- Mantener su enfoque en la calidad y llevar a cabo sus tareas de una manera estructurada y disciplinada.
- Conocimientos de las TIC y específicamente de estándares abiertos y bibliotecas de objetos.

1.8.2.10. OTRAS ACTIVIDADES DERIVADAS DE LA METODOLOGÍA BIM

• ANALISTA BIM - BIM ANALYST

Realiza los análisis y las simulaciones basadas en el modelo BIM: analiza el funcionamiento y el rendimiento del edificio, simula las circulaciones del edificio, realiza los análisis de seguridad y el análisis del comportamiento energético.

• COORDINADOR CAD – CAD COORDINATOR

Coordina el proyecto CAD, acordando “estándares y métodos” y garantiza su cumplimiento. Este rol debe ser responsabilidad del Director del Equipo de Trabajo (Task Team Manager) y del Director de la Gestión de la Información (Information Manager).

• DIRECTOR TÉCNICO CAD – CAD MANAGER

Garantiza que los modelos CAD se integran en el proyecto utilizando los estándares y métodos acordados. Este

rol debe ser responsabilidad del Coordinador CAD (CAD Coordinator).

- **PROGRAMADOR DE APLICACIONES BIM - BIM APPLICATION DEVELOPER**

Desarrolla y personaliza el software para dar a poyo a la integración de los procesos BIM.

- **ESPECIALISTA IFC – IFC SPECIALIST**

Profesional IT que contribuye, junto con expertos en diferentes áreas de la industria AEC/FM (arquitectura/ingeniería/construcción/Facility Management), al formato IFC y a la definición inicial de los requisitos de las extensiones IFC. Han de estar familiarizados con la estructura de datos y los conceptos de modelado. Es responsable del mapeo de los requisitos de intercambio (Exchange Requirements). Para hacer que esto sea posible, trabaja con el Coordinador BIM y atiende a los requerimientos del Director Técnico BIM.

- **FACILITADOR BIM - BIM FACILITATOR**

Ayuda a otros profesionales, no en el funcionamiento del software, si no en la visualización de la información del modelo. Ayuda a la labor del ingeniero para comunicarse con los contratistas. Ayuda a los FM para extraer información de los modelos BIM con distintas finalidades: asset management, space planning, mantenimiento, planificación...etc.

- **CONSULTOR BIM – BIM CONSULTANT / BIM EXPERT**

Ofrece guías para proyectos de diseñadores, desarrolladores y constructores para la implantación BIM en empresas grandes y medianas que han adoptado esta metodología y no tienen experiencia como expertos en BIM. Encontramos tres tipos:

- **Consultor Estratégico** - Strategic Consultant
- **Consultor Funcional** - Functional Consultant
- **Consultor Operativo** - Operational Consultant

- **INVESTIGADOR BIM – BIM RESEARCHER**

Experto que enseña, coordina y desarrolla la investigación sobre BIM.

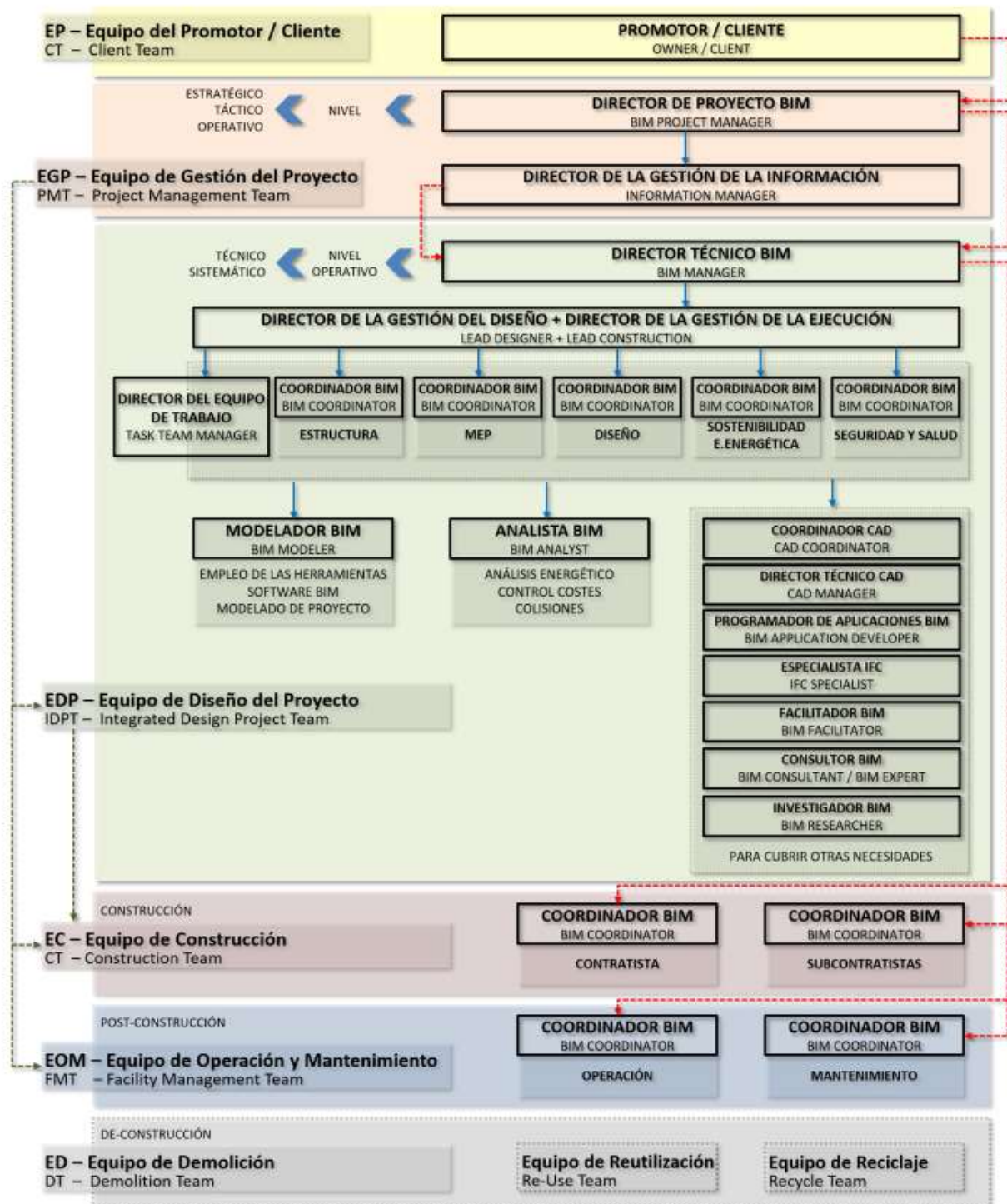


Ilustración 1.11 Funciones en un proyecto BIM. Fuente: es.BIM [17]

1.9. Gestión de la Información en un Proyecto BIM

Según la norma **UNE-EN ISO 19650-1:2019**, la gestión de la Información de un Proyecto BIM debe estructurarse en una serie de repositorios que resultan ser necesarios para la toma de decisiones a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.

La propia norma define diferentes modelos de información según su objetivo, por lo que cada uno deberá cumplir una serie de requisitos:

1.9.1. Requisitos de Información de la Organización (OIR)

Los OIR describen la información necesaria para responder a los objetivos estratégicos de algo nivel del Cliente. Estos requisitos pueden surgir de una serie de factores, incluyendo:

- Operación estratégica empresarial.
- Gestión estratégica de activos².
- Planificación de cartera.
- Obligaciones regulatorias
- Desarrollo de políticas.

1.9.2. Requisitos de Información del Activo (AIR)

Los AIR establecen aspectos de gestión, comerciales y técnicos de la producción de información de los activos. Estos aspectos deberían incluir el estándar de información, así como los métodos y procedimientos de producción que implementará el equipo de desarrollo.

Los aspectos técnicos de los AIR especifican la información detallada necesaria para dar respuesta a los OIR relacionados con los activos. Estos requisitos deberían expresarse de tal manera que puedan incorporarse en las contrataciones para dar soporte a la toma de decisiones de la organización sobre gestión de activos.

Se debería preparar un conjunto de AIR en respuesta a cada evento desencadenante que tenga lugar durante la operación del activo y, cuando corresponda, también se vincule a los requisitos de seguridad.

1.9.3. Requisitos de Información del Proyecto (PIR)

Los PIR describen la información necesaria para lograr, o para informar, los objetivos estratégicos de la parte contratante, en relación con un proyecto en particular, los PIR se identifican tanto en el proceso de gestión del proyecto como en el proceso de gestión de activos.

1.9.4. Requisitos de Intercambio de Información (EIR)

Los EIR describen los aspectos de la gestión, comerciales y técnicos de la producción de información del proyecto. Los aspectos de gestión y comerciales deberían incluir el estándar de información, los métodos y procedimientos de producción que implementará el equipo de desarrollo.

Los aspectos técnicos de los EIR deberían especificar la información detallada necesaria para cumplir los PIR. Estos requisitos deberían definirse de tal manera que puedan incorporarse en las contrataciones relacionadas con el proyecto. Normalmente, los EIR deberían alinearse con los eventos desencadenantes que representan la finalización de todos o parte de los hitos del proyecto.

A lo largo de un proyecto pueden existir varias contrataciones diferentes. Los EIR de todas las contrataciones deberían formar un conjunto único de requisitos de información coherente y coordinado, y suficiente para

² Un activo puede ser un elemento, objeto o entidad que tiene un valor potencial o real para una organización.

abordar todos los PIR.

1.9.5. Modelo de Información del Activo (AIM)

El AIM da soporte a los procesos de gestión de activos, estratégicos y diarios, establecidos por la parte contratante. También puede proporcionar información al inicio del proceso de desarrollo del proyecto. Por Ejemplo, el AIM puede contener registros de equipos, tarifas de mantenimiento acumuladas, registros de fechas de instalación y mantenimiento, información acerca de los derechos de propiedad y otra información que la parte contratante considera valiosa y desea gestionar de forma sistemática.

1.9.6. Modelo de Información de Proyecto (PIM)

El PIM da soporte al desarrollo del proyecto y contribuye al AIM para facilitar las actividades de gestión de activos. El PIM también debería almacenarse con fines de activo a largo plazo y someterse a una auditoría. Por ejemplo, el PIM puede contener información de la geometría del proyecto, la ubicación de los equipos, los requisitos de funcionamiento en la etapa de diseño del proyecto, el método de construcción, la programación, los costes y, durante la etapa de construcción del proyecto, la información de los sistemas, componentes y equipos, incluidos requisitos de mantenimiento.

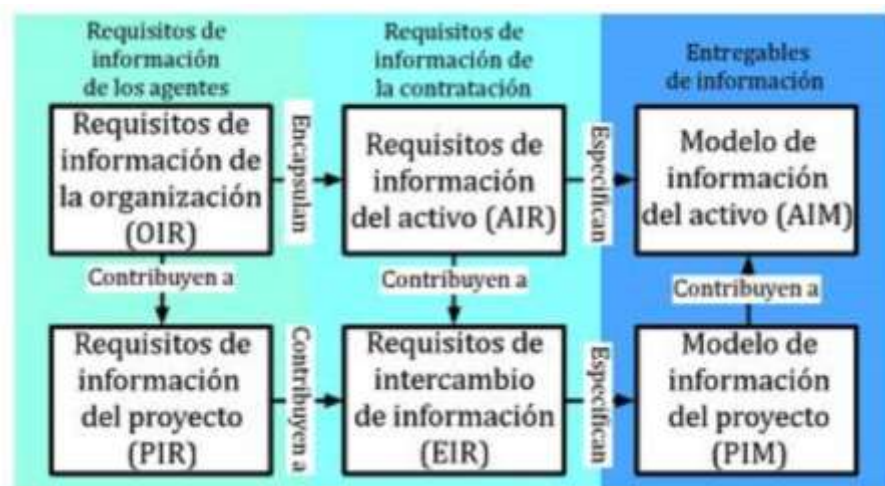


Ilustración 1.12 Jerarquía de los requisitos de información³³. Fuente: norma UNE-EN ISO 19650-1:2019

Para más información acerca de la organización y digitalización de la información en proyectos BIM se recomienda consultar las normas:

- **UNE-EN ISO 19650-1:2019.** Parte 1: Conceptos y principios.
- **UNE-EN ISO 19650-2:2019.** Parte 2. Fase de desarrollo de los activos.

³³ En la ilustración, “encapsula” significa “proporciona la entrada a”, “contribuye a” significa “proporciona una entrada a”, y “especifica” significa “determina el contenido, la estructura y la metodología”.

2. ESTADO ACTUAL DE LA METODOLOGÍA BIM

Ahora ya que hemos expuesto en qué consiste la Metodología BIM y cuáles son sus principales características, debemos comentar en qué estado se encuentra actualmente, ponerla en contexto en el mundo y sobre todo en nuestro país. En este Capítulo hablaremos de la evolución del BIM desde su implantación hasta la actualidad, la normativa al respecto, trabajos publicados, así como proyectos finalizados con éxito.

2.1. Cronología

Tras un proceso de búsqueda en distintas fuentes [18][19][20][21], podemos llegar a la conclusión de que no existe una fecha concreta en la que se creara la metodología BIM como tal, sino que lo que hoy se entiende como BIM ha ido evolucionando y desarrollando con el paso de los años. Aun así, iremos explicando los principales acontecimientos que se han producido para llegar al actual BIM, ya en el año 2020.

- **1973:** Se crea el predecesor de BIM, un programa CAD que permitía generar elementos con geometría tridimensional. Este concepto fue desarrollado por separado en las Universidades de Cambridge, Stanford y Rochester.
- **1975:** Se publica el primer trabajo de investigación sobre la metodología BIM, un concepto novedoso introducido por el profesor Chuck Eastman en su libro “*An outline of the building description system*”. Chuck Eastman es reconocido a día de hoy como uno de los máximos expertos en BIM a nivel mundial.
- **1984:** Se crea el ISO STEP, normativa que regula la forma estándar del Modelo de Datos para el intercambio de productos. Se crea en Hungría el primer software BIM denominado **ArchiCAD®**, de la compañía *Graphisoft®*.
- **1994:** *Autodesk, Inc.* forma un consorcio industrial conocido como *Industry Alliance for Interoperability (IAI)*, encargado de facilitar la elaboración de una norma no propietaria, así como de crear el formato *IFC* [22].
- **2000:** Se crea la primera versión del software de modelado BIM 3D **Revit® 1.0**, de *Autodesk, Inc.*
- **2002:** Fecha del primer proyecto BIM integrado en Finlandia.
- **2006:** Se lleva a cabo el primer proyecto *Integrated Project Delivery (IPD)* en Estados Unidos. Este término hace referencia a la necesidad de una definición del producto completa desde la fase de planificación, así como un coste que se ajuste al presupuesto objetivo, sin desviaciones ni sobrecostes [23].
- **2007:** Se crea en EEUU la *General Services Administration (GSA)* y en Finlandia el *Senate Properties*, que son guías que indican las pautas a seguir para la elaboración de un proyecto BIM.
- **2010:** El Gobierno de Reino Unido anuncia los requisitos para la implantación de la Metodología BIM, que se haría efectiva al año siguiente, ya en 2011.
- **2012:** Finlandia publica los requerimientos BIM comunes a nivel nacional.
- **2015:** Países como España establecen una hoja de ruta para la implantación de la Metodología BIM.
- **2016:** Reino Unido hace obligatoria la implantación de la Metodología BIM en los proyectos de obras públicas mayores de 5M£.
- **2018:** En España es obligatoria la utilización de BIM en proyectos de licitaciones públicas en

Edificación, mientras que en Obras Públicas comienza a exigirse en algunos proyectos, dependiendo de la Administración competente.

2.2. BIM en el mundo

La Metodología BIM está actualmente en pleno desarrollo, por lo que como es de imaginar, pocos son los países en los que tienen instaurada esta metodología en sus proyectos. Está íntimamente relacionada con el grado de desarrollo de los países, siendo los países más desarrollados los que antes han apostado por implantarla.

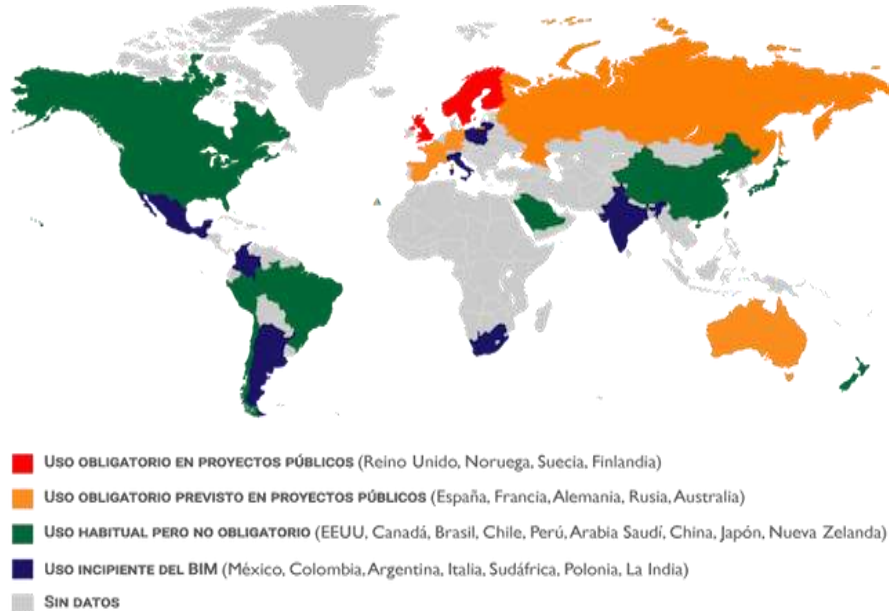


Ilustración 2.1 BIM a nivel mundial en el año 2018. Fuente: tecnocarreteras.es

En la imagen anterior podemos observar a grosso modo el estado de la Metodología BIM a nivel global. A continuación, exponemos con más detalle la situación del BIM a nivel mundial.

2.2.1. América

- **Estados Unidos:** Son pioneros en la implantación de la Metodología BIM en sus proyectos desde 2007, pero aunque actualmente son bastantes los proyectos en los que se ha utilizado el BIM, no logran superar una serie de obstáculos relacionados con la falta de coordinación y la estandarización pública a nivel federal. Es por este motivo por el que otros países han progresado más rápidamente en cuanto a conocimientos de la Metodología BIM se refiere [24]. La Administración de Servicios Generales (*GSA*) es la encargada de marcar las pautas a seguir en la elaboración de proyectos BIM.
- **Canadá:** Existe desde 2008 el *Canada BIM Council (CanBIM)*, que se encarga de apoyar a toda la industria de la construcción en el proceso de transformación digital de los proyectos hacia un estándar específico.
- **Brasil:** La Metodología BIM fue utilizada por vez primera para la construcción de estadios e instalaciones para la Copa Mundial de la FIFA (2014) y para los Juegos Olímpicos de Río de Janeiro (2016). En junio del 2017 se creó el Comité Estratégico para la Implementación del BIM (CE-BIM) y un *Grupo de Apoyo Técnico (CAT-BIM)*. Será obligatorio en los proyectos de construcción a partir del año 2021 [25].

2.2.2. Asia

- **China:** Aunque todavía no existen unos estándares definidos para la implantación de BIM, desde 2016 las empresas chinas están integrándolo en sus proyectos, siendo uno de los países con más previsiones

de crecimiento en este aspecto. Se ha implantado en grandes proyectos de varias de las ciudades más importantes del país como son Pekín y Shanghái. En el **Apartado 2.6** expondremos los principales proyectos realizados con BIM hasta ahora.

- **Japón:** Existe el *BIM Consortium*, donde las empresas del sector de la construcción colaboran en la asistencia a la implantación de la Metodología BIM en proyectos. Por su parte, el gobierno ha impulsado en los últimos años la creación de un estándar BIM con la vista puesta en los Juegos Olímpicos que se celebrarán este año en la ciudad de Tokio, aunque todavía no se ha acabado de hacer efectivo.
- **Corea del Sur:** El Servicio de Contratación Pública tiene implantada de forma obligatoria la Metodología BIM en los proyectos públicos de más de 50M\$ desde 2016.
- **Singapur:** Su normativa contempla la implantación de la Metodología BIM como requisito indispensable en sus proyectos desde el año 2015. Tiene una hoja de ruta marcada para la implantación de BIM a través de las denominadas *Singapore BIM Guide*, cuya primera versión data de 2012 y desde 2015 existe la versión 2.0 de la misma [26]

2.2.3. Europa

- **Reino Unido:** Se sitúa a la cabeza de proyectos, normativas e iniciativas llevadas a cabo con la Metodología BIM a nivel europeo y mundial. Desde 2011 se comenzó a seguir una estrategia para la implantación BIM en proyectos del Sector Público, y desde 2016 su legislación exige la aplicación de BIM en proyectos constructivos de más de 5M£. La mayoría de referencias, procedimientos y pautas a seguir en la implantación de BIM provienen de los estándares británicos.
- **Finlandia:** Fue uno de los primeros países europeos en adoptar la Metodología BIM (2007), exigiendo archivos en formato *IFC* para cualquier profesional que desarrolle proyectos de construcción. A día de hoy la Metodología BIM está asentada en los proyectos constructivos, que ya en 2017 alrededor del 90% de los estudios de Arquitectura y más del 60% de empresas de Ingeniería utilizaron esta metodología [27].
- **Suecia:** Es otro país con gran desarrollo de la Metodología BIM. En 2013 se creó la *BIM Alliance Sweden* con el fin de homogeneizar los estándares BIM y conseguir así un mayor desarrollo e innovación en el sector de la construcción, de manera que a día de hoy la mayoría de empresas que se dedican a este sector tienen implantado el BIM en sus métodos de trabajo.
- **Dinamarca:** Fue uno de los países pioneros en Europa en la implantación de BIM, comenzando las primeras labores en el año 2001 para definitivamente, en el año 2007 considerarlo obligatorio en los proyectos de construcción públicos. En el año 2011 se extendió su uso a las instituciones regionales y locales. Desde las instituciones estatales se incita a adoptar prácticas BIM cada vez más avanzadas, mientras que las Universidades y empresas privadas están apostando fuertemente por la investigación y el desarrollo.
- **Noruega:** la *Norwegian Homebuilders Association* ha promovido activamente el uso de la Metodología BIM junto con la *Norwegian Directorate of Public Construction and Property* desde el año 2011. A día de hoy tienen implantado el BIM de forma obligatoria, ya que exigen a las empresas el uso de archivos *IFC* para su intercambio en el ciclo de vida completo de las construcciones. Los últimos cuatro países mencionados tienen organizaciones que se coordinan entre sí formando parte de la *buildingSMART International*, que es una alianza que promueve el desarrollo de técnicas BIM, aunque debe aclararse que Noruega actúa de modo independiente (*buildingSMART Norway*) frente a Finlandia, Suecia y Dinamarca (*buildingSMART Nordic*).
- **Alemania:** Siguiendo la línea de los países escandinavos, en 2013 se creó desde el Ministerio Federal de Transporte e Infraestructura Digital la *Construction of Major Projects Reform Commission*, una iniciativa destinada a garantizar el desarrollo de grandes proyectos públicos, con gasto eficiente de

fondos públicos. En 2015 el mismo Ministerio anunció a través del *Masterplan Bauen 4.0* que la Metodología BIM sería obligatoria a partir de 2020 [28]. Por otro lado, el Ministerio Federal de Construcción decidió en 2017 que BIM debía ser utilizado para proyectos con un importe igual o superior a 5M€.

- **Francia:** El *Plan Transition Numérique dans le Bâtiment*, promovido por el gobierno francés en 2014 en un periodo de aplicación de 3 años, propone como 2022 el año en el que la difusión del BIM en el sector de la construcción será completa [29].
- **Italia:** En 2017 se aprobó un Decreto que implantaba la Metodología BIM en los proyectos de construcción. Así mismo existe la *IBIMI* o Instituto para BIM Italia, junto con la *buildingSMART Italy*.

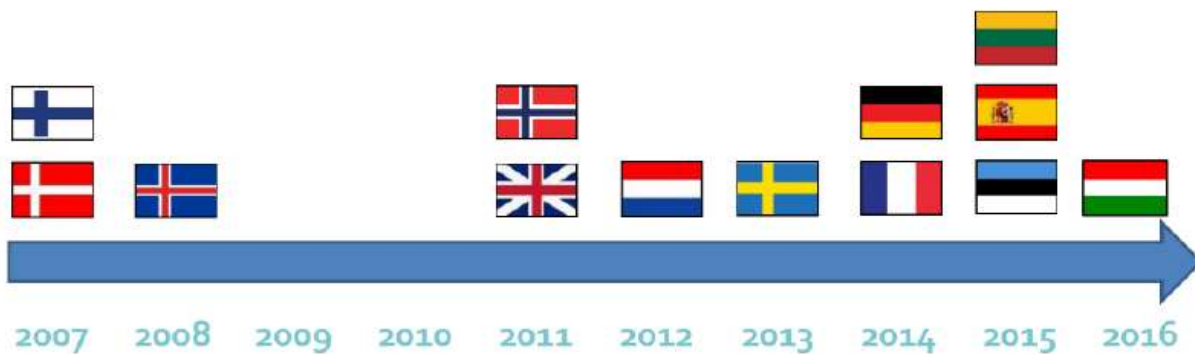


Ilustración 2.2 Implantación de la Metodología BIM en Europa. Fuente: buildingSMART

2.2.4. Oceanía

- **Australia:** Si bien todavía no hay mandatos gubernamentales cubiertos en Australia, en marzo de 2016, el Comité Permanente de Infraestructura, Transporte y Ciudades del Gobierno de Australia instó a hacer obligatorio el BIM en proyectos de infraestructura financiados por el gobierno que superen 50M\$ en costos [30].

2.3. BIM en España

Al mismo tiempo que la mayoría de países desarrollados, España está apostando fuertemente por la implantación de la Metodología BIM en los últimos años, con la vista puesta a medio y/o largo plazo. Sabiendo que esta forma de llevar a cabo la ejecución de proyectos de construcción será en un futuro cercano la metodología habitual, debemos implantarla lo antes posible si no queremos quedar relegados en la competencia por el diseño y construcción de proyectos tanto a nivel nacional como a nivel internacional, donde las empresas españolas gozan de un reconocido prestigio, que han conseguido forjarse a lo largo de varias décadas con la consecución de muchas de las mayores obras de ingeniería del mundo.

2.3.1. Implantación

Como necesidad de adaptación a los nuevos tiempos e innovaciones en el mundo de la construcción, en el año 2015 se creó por parte del antiguo Ministerio de Fomento (actual Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana) la comisión *es.BIM*, en cumplimiento con la *Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo y del Consejo*, sobre contratación pública.

Esta comisión tiene como objetivo principal elaborar una hoja de ruta para la implantación de la Metodología BIM en España para conseguir la productividad en un sector que en la mayoría de ocasiones todavía se emplean técnicas y recursos que pronto quedarán obsoletos.



Ilustración 2.3 Hoja de ruta marcada por la Comisión es.BIM para la implantación de la Metodología BIM en España. Fuente: esbim.es

La hoja de ruta iniciada en el año 2015 por parte del Gobierno de España condujo a incluir la recomendación de la utilización de BIM para contratos públicos de obras, de concesión de obras, de servicios y concursos de proyectos en la *Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público*, cuya entrada en vigencia se produjo en abril de 2018.

Por otro lado, la Directiva europea anteriormente citada señalaba el 17 de diciembre de 2018 como fecha límite para la obligatoriedad de la implantar la Metodología BIM en los proyectos de Edificación, mientras que para los proyectos de Infraestructuras la misma norma se pospondría hasta el 26 de julio de 2019, dado que en este campo los avances hasta ahora son mucho menores que en Edificación.

Si bien cabe destacar que a día de hoy, estas imposiciones están costando cumplirse a nivel nacional debido al desconocimiento de métodos, técnicas y herramientas necesarias, por lo que todavía estamos en pleno proceso de aprendizaje y adaptación [31][32][33][34].

El mismo mes de diciembre de 2018 salió publicado en el *Boletín Oficial del Estado (BOE)* la creación de la comisión para la implantación de la Metodología BIM en la contratación pública [35].

La comisión *es.BIM* está formada por un grupo de colaboración en el que intervienen administraciones públicas, empresas privadas, universidades, etc., haciendo así partícipes a todos los agentes implicados en el sector. Entre otros, se exponen a continuación los objetivos que marca esta comisión, extraídos de su propia página web *esbim.es* [36]:

- Establecimiento de la estrategia para alcanzar un determinado nivel de madurez, que se irá incrementando de forma progresiva (soft landing) evitando grandes cambios que puedan ser un trauma para el sector.
- Promover el uso de BIM en el ámbito profesional y docente.
- Posicionar a España como referente a nivel mundial en el uso de BIM.
- Representar a España en los distintos foros internacionales.
- Promoción de la innovación en el sector de las infraestructuras.
- Análisis de las mejores prácticas llevadas a cabo por las iniciativas internacionales más exitosas.
- Establecimiento de la hoja de ruta y el calendario de implantación.
- Impulsar un mandato que acelere los objetivos de implantación.
- Definir la estrategia de implantación: plan de acción y hoja de ruta.
- Fortalecer la capacidad del sector público en la aplicación BIM.
- Fomentar la interoperabilidad entre herramientas como garante del libre acceso a la tecnología.

El organigrama de la Comisión está compuesto por varios Grupos de Trabajo, cada uno con unas tareas y objetivos, y por un Comité Técnico, que es el encargado de coordinar entre sí las labores de los distintos Grupos de Trabajo, así como de gestionar su relación con la propia Comisión.

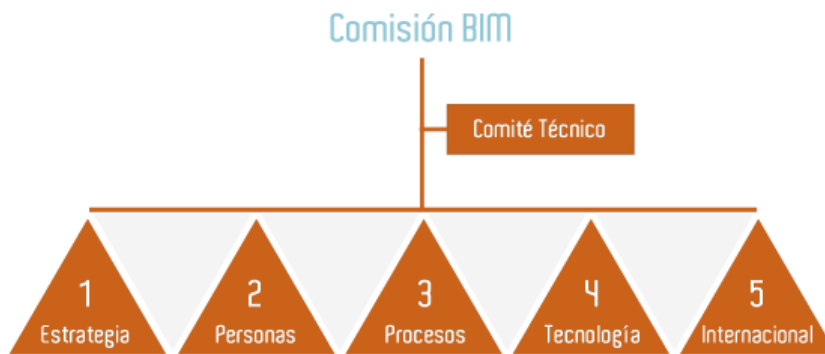


Ilustración 2.4 Organigrama de la Comisión BIM en España. Fuente: es.BIM

2.3.1.1. Comité Técnico

Entre las funciones de este Comité están las siguientes, extraídas de la propia página web:

- Asesoramiento técnico a la Comisión.
- Proponer a la Comisión las líneas de actividad de los grupos de trabajo.
- Trasladar a los Grupos de Trabajo las actividades aprobadas por la Comisión.
- Servir de enlace entre la actividad de los Grupos de Trabajo y la Comisión.
- Coordinar la actividad de los diferentes Grupos de Trabajo entre sí.
- Representar la Estrategia Española en aquellos foros de carácter técnico tanto nacionales como internacionales.

2.3.1.2. Grupos de Trabajo

En total se proponen 5 grupos de trabajos distintos, a los cuales pueden incorporarse todas aquellas organizaciones o personas que puedan aportar temáticas definidas:

- **GT1 – Estrategia:**

Objetivos:

- Definir la hoja de ruta con los hitos intermedios necesarios para su cumplimiento.
- Establecer un mandato BIM en España.
- Fomentar la innovación y creación de nuevos modelos de negocio.

Funciones:

- Análisis de las estrategias de implantación europeas.
- Establecimiento del plan de acción.
- Redacción del Mandato BIM.
- Establecimiento de líneas de investigación y desarrollos futuros.
- Definir los niveles de maduración exigibles en cada uno de los hitos.

- **GT2 – Personas:**

Objetivos:

- Mejora de la capacitación de estudiantes y profesionales: formación y certificación.
- Fomento de la investigación alrededor de BIM.
- Promoción y difusión de BIM
- Mejora de la visibilidad.

Funciones:

- Impulsar la incorporación de BIM a los estudios universitarios tanto a nivel de grado universitario como en máster u otros estudios postgrado.
- Establecimiento de los requisitos mínimos para la certificación de profesionales y organizaciones.
- Participación en Campus Virtual BIM y BIM Academic Fórum.
- Promover y difundir el uso de BIM mediante la realización de Jornadas, Seminarios, etc.

- **GT3 – Procesos:**

Objetivos:

- Estandarizar el uso de BIM en España.
- Actualizar la normativa para el uso de BIM.
- Adecuar los pliegos de licitación para el empleo de BIM.

Funciones:

- Desarrollo de Guías, Protocolos y Estándares.
- Redacción de recomendaciones para la modificación de la Normativa Española.
- Redacción de pliegos de licitación adaptados a BIM en las distintas fases del ciclo de vida útil de la infraestructura.
- Definición de los procesos de entrega de documentación BIM.

- **GT4 – Tecnología:**

Objetivos:

- Garantizar la Interoperabilidad entre plataformas de software.
- Afianzar el uso de Open BIM.

Funciones:

- Definir los requisitos tecnológicos (hardware, software) para permitir el trabajo en una plataforma colaborativa: Accesibilidad, Usabilidad, Seguridad, Conectividad,

- **GT5 – Internacional:**

Objetivos:

- Conocer la experiencia internacional en estrategias de implantación.
- Alineamiento con las iniciativas europeas.
- Fomentar el liderazgo de España en el proceso en Hispanoamérica.

Funciones:

- Compartir experiencias con otros grupos que estén desarrollando una tarea semejante, tanto en el entorno de la UE como en Hispanoamérica:

Cada uno de los grupos de trabajo se organizará de la siguiente forma:

- **Coordinación:** El coordinador será el encargado de las tareas de cooperación y dinamización del Grupo de Trabajo.
- **Secretaría:** Como apoyo a las labores de coordinación.
- **Subgrupos de trabajo:** Dado que la temática de cada grupo es muy amplia, se desarrollarán subgrupos con el desarrollo de temática o temáticas concretas.

En principio, estos son los 5 grupos propuestos, y la inclusión de alguno más dependerá fundamentalmente de los siguientes factores:

- La temática a desarrollar en el nuevo grupo es independiente de las temáticas en desarrollo o previstas en los grupos existentes.
- El volumen de trabajos asignados a un grupo supera la capacidad del mismo y la incorporación de nuevas tareas ralentizarían o dificultarían los desarrollos existentes.

2.3.1.3. Plan de Acción

Así mismo, la Comisión *es.BIM* establece 10 puntos clave en el procedimiento a seguir en la implantación de BIM en España. Al igual que el resto de puntos del presente Apartado, han sido extraídos directamente de la web *esbim.es*:

- 1) Impulsar la implantación de BIM en la industria de la construcción española a partir de la creación de un Grupo de Trabajo con una participación abierta a todo el sector, tanto público como privados.
- 2) Fomentar el uso de BIM en todo el ciclo de vida de las Infraestructuras.
- 3) Sensibilizar a las Administraciones Públicas en el establecimiento de requisitos BIM en las licitaciones de infraestructuras con el objetivo de reducir sus costes.
- 4) Establecer un calendario para la adaptación de normativa para el empleo generalizado de BIM.
- 5) Desarrollar los estándares nacionales que posibiliten el uso homogéneo de BIM.
- 6) Realizar el mapa académico de la formación BIM en España y promover su inclusión en planes de estudio.
- 7) Promover la digitalización de los trabajos derivados del desarrollo de las infraestructuras, desterrando el formato físico, con el consiguiente ahorro económico y medioambiental.
- 8) Fomentar la aplicación de “Open BIM”, es decir que todas las operaciones relacionadas con BIM se basen en estándares abiertos y universales, interoperables entre sí.
- 9) Apoyar un mayor y mejor posicionamiento de la industria española en el mundo a través del empleo de la metodología BIM.
- 10) Afianzar la participación de España en los foros de decisión internacionales.

2.3.2. Licitaciones Públicas

A continuación, vamos a realizar un estudio acerca del estado actual de la Metodología BIM en las licitaciones públicas en España. Para ello vamos a apoyarnos en los datos proporcionados por la comisión *es.BIM*, que desde 2017, realiza una evaluación semestral de las licitaciones públicas que entre los requisitos impuestos en sus Pliegos está la aplicación de BIM. Según la fuente consultada, el último observatorio, a fecha de enero de 2020, data de julio de 2019 [37].

Analizaremos los datos obtenidos, así como comentaremos los aspectos más relevantes de dicho informe:

A nivel general, se observa un notable crecimiento en el número de licitaciones, así como de la inversión realizada desde que se comenzó a recopilar datos de la implantación de la Metodología BIM en proyectos constructivos. De forma cuantitativa, el número de licitaciones en el último semestre evaluado es aproximadamente el total del año anterior (195 frente a 216), mientras que las inversiones alcanzan en el periodo de enero a julio de 2019 un total de 843,3 M€, valor que prácticamente duplica a todo el ejercicio anterior (424,81 M€), si bien debemos puntualizar que tan elevada inversión se debe en gran parte, al número de licitaciones sacadas a concurso público con un alto valor en el importe del contrato.



Tabla 1. Desglose anual del número e inversión en las licitaciones públicas con requisitos BIM.

	2017	2018	2019*	total
número	106	216	195	517
inversión	264,5 mill.	424,8 mill.	843,3 mill.	1.532,7 mill.

* Ter semestre 2019

Ilustración 2.5 Licitaciones públicas con requisitos BIM en el periodo de enero 2017– julio 2019. Fuente: *esbim.es*

Si analizamos los datos de cada trimestre, observamos que en el periodo abril–junio de 2019 la Metodología BIM ha recibido un gran impulso por parte de las distintas administraciones del Estado, siendo la inversión 5 veces mayor que en trimestres anteriores:

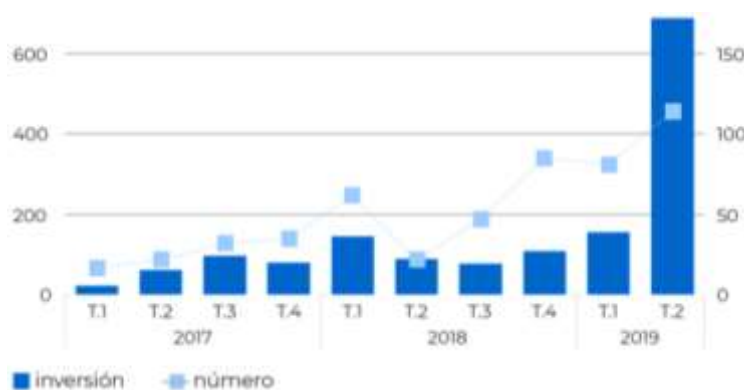


Ilustración 2.6. Evolución trimestral de licitaciones públicas con requisitos BIM. Fuente: *esbim.es*

De entre todas las distintas administraciones del Estado, las autonómicas son las que más están apostando por la

implantación de la Metodología BIM en sus proyectos, con un total de 279 licitaciones con requisitos BIM publicadas, lo que supone más del 50% del total acumulado.

En términos de inversiones, las administraciones autonómicas han invertido 591,1 M€, es decir, un 55% de la inversión total acumulada desde 2017.

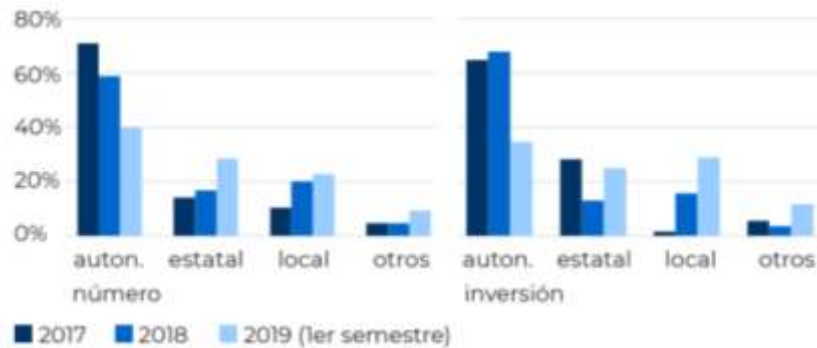


Tabla 3. Desglose del número e inversión total acumulada en las licitaciones públicas con requisitos BIM según nivel de la administración.

	auton.	estatal	local	otros
número	279	106	98	33
inversión	591,1 mill.	224,9 mill.	181,3 mill.	74,5 mill.

Ilustración 2.7 Licitaciones públicas con requisitos BIM por Administraciones. Fuente: esbim.es

Sin embargo, podemos observar que los valores autonómicos han ido disminuyendo con cada ejercicio tanto en número de licitaciones como inversión realizada.

A nivel estatal, el número de licitaciones con requisitos BIM en el primer semestre de 2019 prácticamente duplica a todas las del año 2018. A nivel local sucede algo similar, los datos han ido aumentando con cada ejercicio y en términos de inversión, los valores del primer semestre de 2019 es aproximadamente el doble de todo 2018.

Centrándonos en la distribución de los datos por Comunidades Autónomas, Cataluña es la región que lidera la aplicación de BIM en las licitaciones los proyectos constructivos en España, con 212 licitaciones en total desde 2017 (41% del conjunto nacional), seguida de la Comunidad Valenciana con 66 (13%), Madrid y Andalucía, ambas con 49 (9%). En el lado opuesto se sitúan Castilla y La Mancha, Asturias y Cantabria (menos del 1%).



Ilustración 2.8 Distribución de la inversión por CCAA acumulada desde 2017. Fuente: esbim.es

En lo que a inversión se refiere (Il. 2.8), Cataluña lidera la inversión total realizada desde 2017 con 350,1 M€ (23%), seguida del País Vasco con 128,6 M€ (8%) y Comunidad Valencia con 127,6 M€ (8%).

Hasta ahora hemos hablado de licitaciones con requisitos BIM en España en términos cuantitativos, pero la Comisión *es.BIM* también evalúa la calidad y madurez de dichas licitaciones, registrando la inclusión de una serie de requisitos exigibles en los pliegos o no.

Entre los porcentajes de estos indicadores dentro del total acumulado, destaca la definición de entregables BIM frente a los usos (Il. 2.9). Un 65% de las licitaciones publicadas con requisitos BIM definen algún entregable BIM, mientras que 51% definiría algún uso. También es destacable el requisito de usar formatos abiertos (45%).

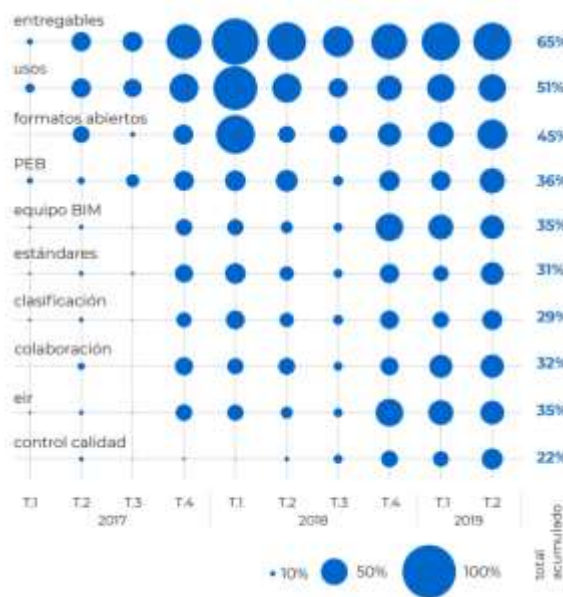


Ilustración 2.9 Evolución trimestral de los indicadores cualitativos establecidos y madurez en las licitaciones públicas con requisitos BIM. Fuente: esbim.es

Los datos expuestos hasta ahora corresponden al total de licitaciones relacionadas con el sector de la construcción, formado a su vez por el campo de la Edificación y las Infraestructuras Civiles. Pasaremos a continuación a analizar los datos que más nos atañen, que son los relacionados con la Ingeniería Civil.

En líneas generales, podemos concluir que el sector de las Infraestructuras Civiles ha aumentado considerablemente desde que se comenzó el registro de datos, con un total de 142 licitaciones y 394 M€ en el primer semestre de 2019 frente a 13 licitaciones y 42,2 M€ en todo 2017 (Il. 2.10). Y si relacionamos el número de licitaciones públicas con requisitos BIM publicadas en el sector de las Infraestructuras con las de Edificación, actualmente una de cada tres corresponde al sector de las Infraestructuras.

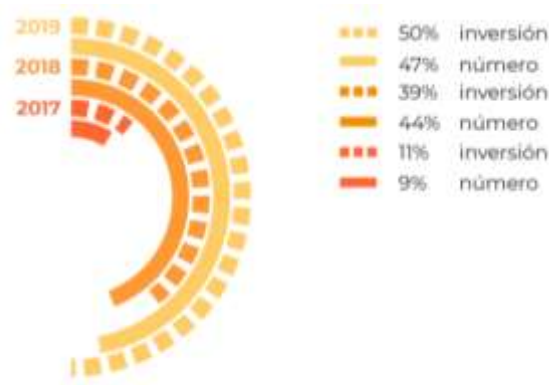


Tabla 9. Desglose anual del número e inversión en las licitaciones públicas con requisitos BIM en infraestructuras.

	2017	2018	2019*	Total
número	13	62	67	142
inversión	42,2 mill.€	153,1 mill.€	198,7 mill.€	394 mill.€

* 1er semestre 2019

Ilustración 2.10 Licitaciones públicas en Infraestructuras con requisitos BIM en el periodo de enero 2017 – julio 2019. Fuente: esbim.es

Tan solo en el primer semestre de 2019 se ha invertido la cantidad del 50% del total desde principios de 2017, y el número de licitaciones sigue creciendo progresivamente. Respecto al número de licitaciones, en este periodo ya se han sacado a concurso más que todo el ejercicio anterior (67 frente a 62),

Observando la evolución trimestral, si bien es cierto que en los últimos trimestres han ido aumentando los datos tanto del número de licitaciones como de inversiones realizadas, este crecimiento no es tan significativo como se apuntaba en la **Ilustración 2.6**, por lo que podemos concluir que el mayor impulso recibido se debe al campo de la Edificación.

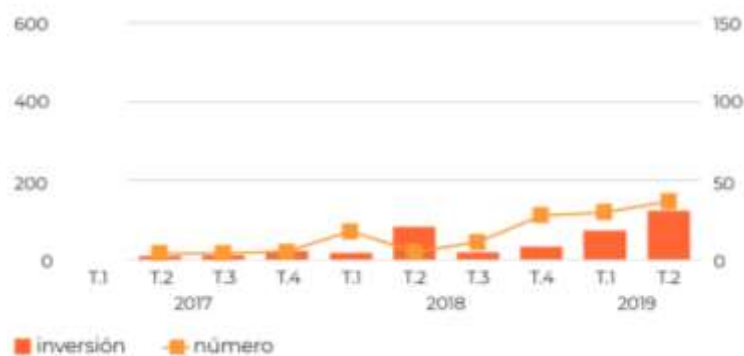


Ilustración 2.11 Evolución trimestral de licitaciones públicas en infraestructuras con requisitos BIM. Fuente: esbim.es

Aunque bien podemos destacar que en los últimos 4 trimestres la tendencia en el total de inversiones ha sido a duplicarse, no así en el número de licitaciones.

En cuanto a su tipología, En los proyectos de Infraestructuras, el porcentaje de licitaciones de rehabilitación suponen más del doble que el de obra nueva (70% y 30% respectivamente), sin embargo, es en obra nueva donde el porcentaje en inversión ha sido mayor en estos tres años (52%). Respecto al tipo de uso al que va a destinarse la infraestructura objeto de la licitación, vemos que predomina en número carreteras y ferrocarril (46% y 25% respectivamente del total acumulado) y en inversión es en carreteras donde se ha invertido un mayor presupuesto con un 41% del valor total acumulado.

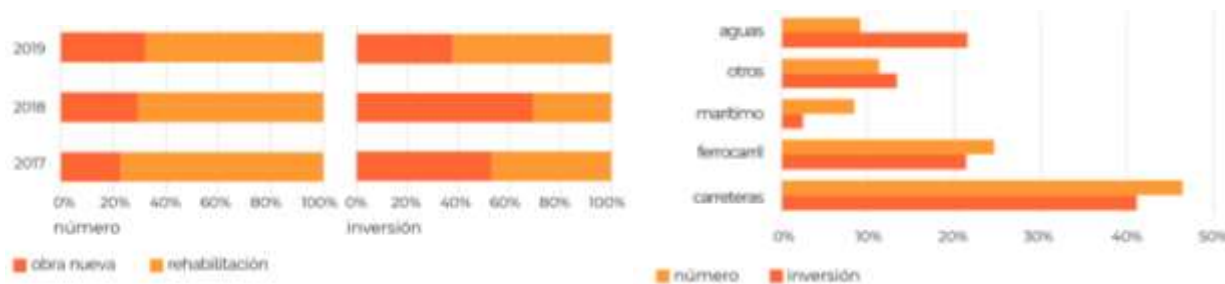


Ilustración 2.12 Tipología y usos de las licitaciones en Infraestructuras con requisitos BIM. Fuente: *esbim.es*

Al igual que comentábamos anteriormente, son las Administraciones Autonómicas las que mayor impulso le dan a la Metodología BIM en las licitaciones de Infraestructuras, aunque los datos han ido disminuyendo desde el primer trimestre de 2017, con una caída aproximadamente del 50% en el número de licitaciones y un 54% en el total de inversiones desde entonces.

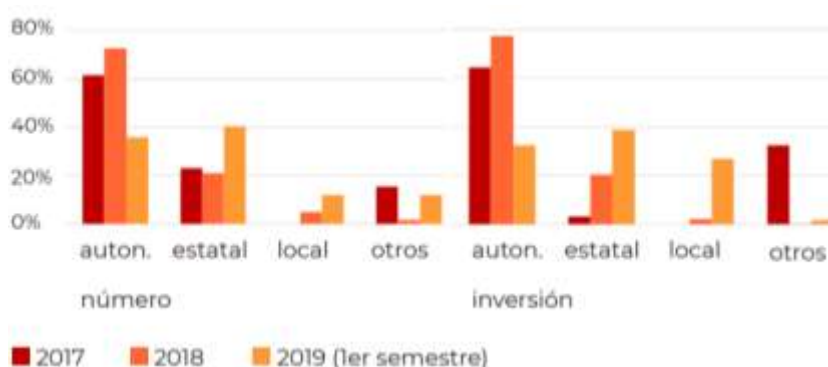


Ilustración 2.13 Licitaciones públicas en Infraestructuras con requisitos BIM por Administraciones. Fuente: *esbim.es*

En las licitaciones de Infraestructuras, los requisitos BIM predominan sobre todo en la fase de ejecución de obras frente a la fase de diseño, al contrario de lo que sucede en las licitaciones de Edificación. Así mismo, En las licitaciones públicas con requisitos BIM en el sector de las infraestructuras, el uso de BIM es en su mayoría, es obligatorio y valorable u obligatorio.

Los resultados de la inversión total acumulada en estos tres años, muestran que País Vasco, Comunidad Valenciana, Cataluña y Galicia, son las comunidades autónomas donde se ubican proyectos de infraestructuras con los porcentajes de inversión más altos (30%, 20%, 15% y 15% respectivamente).



Ilustración 2.14 Distribución de la inversión en Infraestructuras por CCAA acumulada desde 2017. Fuente: *esbim.es*

Evaluando estas licitaciones desde un aspecto cualitativo, comentar que tienen en general porcentajes más altos de los indicadores registrados en el sector de la Edificación (64%-46%). En términos globales el 27% de las licitaciones de infraestructuras tienen definidos los indicadores mínimos establecidos (usos, entregables, Plan de Ejecución BIM, nivel de desarrollo, uso de formatos abiertos, estándares, clasificación, requisitos de colaboración y control de calidad). Este porcentaje es muy superior al de Edificación que sería de un 15%.

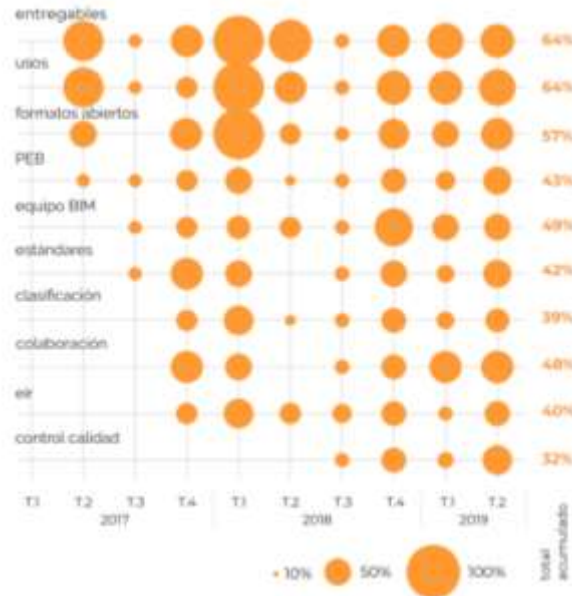


Ilustración 2.15 Evolución trimestral de los indicadores cualitativos establecidos y madurez en las licitaciones públicas en Infraestructuras con requisitos BIM. Fuente: esbim.es

Para una información completa, se recomienda consultar el informe de la Comisión *es.BIM* [37].

2.3.3. Empresas Privadas

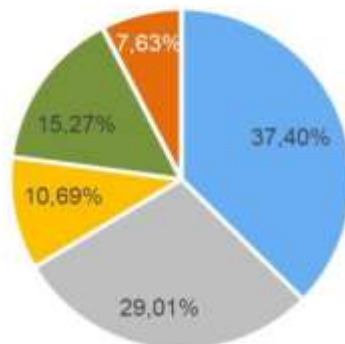
Aparte de la iniciativa por parte de las distintas administraciones del Estado por llevar a cabo la implantación de la Metodología BIM en el sector de la construcción, debemos conocer el estado actual de las empresas privadas y su disposición por adaptarse a los nuevos cambios.

No resulta sencillo acceder a este tipo de datos, de hecho, las últimas encuestas encontradas datan de 2018. Analizaremos a continuación los datos más relevantes de las fuentes consultadas.

La primera de ellas [38], de febrero de 2018, de un total de 131 medianas y grandes empresas dedicadas a la actividad en obra civil, pública y privada, el 55% tiene establecido una hoja de ruta para la implantación de BIM, pero llama la atención que tan solo el 15% del total lo tiene implantado y trabaja con él de forma habitual.

Además, el 37% considera que no es una prioridad y que no recibe presión alguna por parte del sector para utilizar esta metodología.

¿En qué fase de adopción de BIM se encuentra su empresa?



- No es una prioridad, no vemos necesidad, ni presión de los agentes del sector
- Formación sobre BIM: Importancia de BIM, beneficios de su adopción, expectativas, terminología BIM, herramientas BIM existentes en el mercado, usos BIM, procesos BIM
- En desarrollo de un proyecto piloto
- Desplegado de forma general en los proyectos
- NS/NC

Ilustración 2.16 Encuesta realizada sobre la aplicación de la Metodología BIM. Fuente: ibermatica.com

Según la propia web *ibermatica.com*, la mayor parte de las empresas encuestadas cree conveniente el establecimiento de una estrategia nacional por parte del Gobierno para una adopción y estandarización de la metodología BIM en el país. El 56% opina que un plan de ayudas públicas, junto con un calendario realista de implantación, les ayudaría en la adopción de BIM. Además, un 24% indica que hay escasez de profesionales, por lo que habría que realizar un mapa académico de formación en esta metodología.

Así, el proceso de implantación de BIM en las empresas españolas sigue en cierto modo en líneas generales lo explicado en el **Apartado 1.4**, en el que la falta de formación de los agentes implicados y el elevado coste de licencias de softwares todavía suponen un obstáculo a superar (el 20% de las empresas ve en el coste de las licencias una de las principales barreras para la entrada, un 18% se encuentra con que sus empresas colaboradoras en proyectos u obras no lo usan, y un 12% no tiene personal suficientemente capacitado).

La otra fuente consultada es la web *editeca.com* [39], que dispone para el mismo año 2018 de un mayor número de datos de los que podemos obtener varias conclusiones:

La primera de ellas es que existe una tendencia al alza en la demanda de profesionales expertos en BIM, ya que, del total de empresas encuestadas, el 45% han experimentado un crecimiento de la demanda en un 70%, y un 24% de empresas entre un 50% y un 70%. Son datos reveladores que hacen ver la visión optimista por la implantación de la Metodología BIM a corto/medio plazo.



Ilustración 2.17 Demanda de profesionales con conocimientos BIM en 2018. Fuente: editeca.com

Esta demanda de profesionales está íntimamente relacionada con la demanda de proyectos BIM, es decir, a mayor demanda de proyectos, mayor demanda de profesionales, por lo que las empresas optan por contratar a expertos para trabajos a realizar a corto plazo, o por la formación de personal si la visión va encaminada más hacia medio o largo plazo.

De entre los perfiles más solicitados, entre Arquitectos y Arquitectos Técnicos copan la mitad de la demanda, hecho que revela a día de hoy una mayor influencia de BIM en el sector de la Edificación.



Ilustración 2.18. Perfiles demandados para puestos relacionados con BIM en 2018. Fuente: editeca.com

Para el 43% de las empresas encuestadas, los perfiles que comprendan la metodología en su conjunto normalmente son difíciles de encontrar actualmente, mientras que otro 32% entiende que es difícil encontrar profesionales con una experiencia mínima, no expertos en la materia.

Este hecho condiciona que, para los puestos demandados, en el 75% de los casos se exija una experiencia de como máximo 3 años, que comparando con otras ofertas en el sector, en numerosas ocasiones se exige un perfil Senior (con más de 10 años de experiencia demostrable). Es evidente que la corta trayectoria de la Metodología BIM tiene que ver en esto, además, los que aparecen con una amplia experiencia con el BIM suelen estar ya asentados en una empresa o puesto de trabajo determinado.



Ilustración 2.19 Experiencia exigida a los profesionales BIM. Fuente: editeca.com

Con esta situación de mercado laboral las empresas tienen dos opciones; o bien contratar profesionales con poca experiencia demostrada, con el objetivo de reducir el tiempo de formación requerido, o contratar personas del perfil tipo Junior sin ninguna experiencia en BIM o incluso recién graduados, con la intención de formarlos y vistas a que a largo plazo puedan convertirse en expertos y se adapten a la metodología de la propia empresa. Es por ello que el 84,4% de los perfiles demandados sean de personas de menos de 30 años.



Ilustración 2.20 Edades para los perfiles BIM demandados: Fuente: editeca.com

Otro dato significativo de la fuente consultada es que el 99% de las empresas encuestadas consideran que en un corto plazo de tiempo se demandarán más profesionales BIM y mejor cualificados, siguiendo la tendencia de los últimos años de apostar por la Metodología BIM como la nueva forma de trabajar en proyectos de construcción. Obviamente, a la demanda futura afectarán factores ya comentados como la obligatoriedad de aplicación de BIM en las licitaciones públicas o la evolución de la metodología. Esto implica que no sólo se exijan perfiles ya conocidos, si no que conforme avance la técnica irán apareciendo nuevos puestos de desarrollo de BIM que requiera la especialización a largo plazo.

Con todo el impulso que está recibiendo la Metodología BIM, ya sea del Gobierno, Universidades, fundaciones privadas, etc. en poco tiempo los profesionales dedicados a la metodología CAD quedarán relegados en el mercado laboral, ya que no aportan nada nuevo que les diferencie del resto, por lo que tener conocimientos CAD dejará de suponer un aspecto añadido que pueda ser valorado, sino que se pedirá como requisito básico.

Como conclusión a todos los datos extraídos, decir que en pocos años dejaremos de utilizar el término *profesional BIM* para referirnos a un perfil concreto dentro del sector de la construcción si no que hablaremos de *profesional de la construcción* sin más, porque se da por hecho que la Metodología BIM se asentará de forma definitiva en nuestro sector en un futuro cercano. Cada vez se irá aumentando el grado de profesionalización de esta metodología, por lo que todas las empresas, incluso las que a día de hoy se oponen a su implantación bien por desconfianza, bien por desconocimiento, deberán aplicarlas a su metodología de trabajo si no quieren quedar relegadas en la competencia del panorama laboral.

2.4. Normativa

La asociación que regula los estándares de calidad internacionales es la *International Organization for Standardization*, más conocida por la abreviatura *ISO*. A su vez, *AENOR (Asociación Española de Normalización)* es la asociación encargada de implantar los estándares de calidad en España, así como de velar del cumplimiento de la normativa técnica *ISO*. La normativa vigente que esta organización impone a los estándares de calidad BIM es la siguiente:

- **ASTM E3035-15:** Standard Classification for Facility Asset Component Tracking System (FACTS)
- **ISO 12006-2:2015:** Building construction – Organization of information about construction works -- Part 2: Framework for classification.
- **ISO 12006-3:2007:** Building construction – Organization of information about construction works – Part 3: Framework for object – oriented information.
- **ISO 16354:2013:** Guidelines for knowledge libraries and object libraries.
- **ISO 16739-1:2018:** Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema.

- **ISO 16757-1:2015:** Data structures for electronic product catalogues for building services – Part 1: Concepts, architecture and model.
- **ISO 16757-2:2016:** Data structures for electronic product catalogues for building services – Part 2: Geometry.
- **ISO 22263:2008:** Organization of information about construction works – Framework for management of project information.
- **ISO 29481-1:2016:** Building information models – Information delivery manual – Part 1: Methodology and format.
- **ISO 29481-2:2012:** Building information models – Information delivery manual – Part 2: Interaction framework.
- **ISO/TS 12911:2012:** Framework for building information modelling (BIM) guidance.
- **UNE-EN ISO 19650-1:2019:** Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 1: Conceptos y principios. (ISO 19650-1:2018).
- **UNE-EN ISO 19650-2:2019:** Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 2: Fase de desarrollo de los activos. (ISO 19650-2:2018).

A continuación, se expone otra relación de otras normativas internacionales encontradas:

- **BS 1192:2007:** Collaborative production of architectural, engineering and construction information. Code of practice. British Standards Institute (BSI).
- **BS 8536-1:2015:** Briefing for design and construction. Code of practice for facilities management (Buildings infrastructure), British Standards Institute (BSI).
- **BS 8536-2:2016:** Design and construction: Code of practice for asset management (Linear and geographical infrastructure), British Standards Institute (BSI).
- **PAS 1192-3:2014:** Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling, British Standards Institute (BSI).
- **BS 1192-4:2014:** Collaborative production of information. Fulfilling employer's information exchange requirements using COBie. Code of practice. British Standards Institute (BSI).
- **PAS 1192-5:2015:** Specification for security-minded building information modelling, digital built environments and smart asset management. British Standards Institute (BSI).
- **CIC BIM Protocol:** Building Information Modelling Protocol: Standard protocol for use in projects using Building Information Models. Construction Industry Council (CIC).

2.5. Proyectos realizados con éxito

A continuación, se va a exponer una relación de proyectos alrededor de todo el mundo en los que la implantación de la Metodología BIM ha sido un éxito:

- 1) **Riyadh Metro, Package 3 (Lines 4, 5, 6), Riyadh (Arabia Saudí, 2013):** Empresas de distintos países llevaron a cabo el proyecto desde sedes en sus países de origen en coordinación con el centro de operaciones instalado en Riyadh. Las empresas utilizaron BIM para sincronizar modelos y poder disponer de información revisada cuando el proyecto lo requería [40].

- 2) **Doha Metro Red Line South Elevated & at Grade, Doha (Qatar, 2014)**: Proyecto de 8 km de longitud, de los cuales 6 son de estructura elevada. Tiene 3 estaciones de metro y un paso inferior formado por dos túneles idénticos. Todo el proyecto fue realizado en BIM a exigencias del cliente, desde planos extraídos del propio modelo hasta la planificación de la obra.
- 3) **Phoenix Media Center, Pekín (China, 2014)**: Con una superficie de 65.000 m², este edificio destaca por la singularidad de su estructura. La empresa encargada del diseño necesitó una estrategia avanzada por parte del equipo del proyecto con un modelado 3D detallado [41].
- 4) **Torre Shanghái, Shanghái (China, 2015)**: Con 632 m, es el edificio más alto de China y el segundo del mundo sólo por detrás del Burj Khalifa de Dubái (828 m). La empresa encargada del diseño dirigió el grupo de trabajo utilizando para ello BIM desde el inicio del proyecto. En comparación con construcciones similares, su proceso de construcción fue un 30% más rápido, gracias en parte a la eficiencia de la aplicación de BIM
- 5) **Shanghái Disneyland Resort, Shanghái (China, 2016)**: Este complejo turístico es otro ejemplo de éxito en la aplicación de la Metodología BIM en este país asiático.
- 6) **Nuevo Aeropuerto Internacional, Ciudad de México (México, 2016)**: Infraestructura de 555.000 m² para la Terminal de pasajeros, con un edificio de 1,5 km de longitud. Todo el proyecto ha sido elaborado en BIM, integrando 120 modelos de arquitectura, 130 modelos para la cubierta y 35 modelos de estructuras e instalaciones en un único modelo conjunto. Todos los planos (más de 5.000) se fueron obteniendo directamente de esos modelos. La cantidad de modelos que forman el proyecto hacen ver la complejidad y la magnitud de este proyecto, que sin la coordinación que proporciona el BIM hubiese sido bastante más complicado llevar a cabo.
- 7) **Estadio Wanda Metropolitano, Madrid (España, 2017)**: La empresa encargada del diseño optó por la utilización de la Metodología BIM debido a la gran coordinación que requerían las distintas fases del proyecto, y por otro lado, para reducir costes y tiempo de ejecución [42].
- 8) **Ampliación del Canal de Panamá (Panamá, 2019)**: Conocido como uno de los mayores retos de la historia de la Ingeniería Civil, la aplicación de la Metodología BIM resultó ser necesaria para diseñar hasta el más mínimo detalle para que la fabricación, instalación y puesta en marcha del sistema de esclusas pudiera finalizarse según los plazos previstos [43].
- 9) **Puente de Pumarejo, Barranquilla (Colombia, 2019)**: Inaugurado a finales de 2019, uno de los puentes más grandes de Colombia con 2.173 m, también ha utilizado la Metodología BIM para poder finalizar tal obra en un tiempo de 4 años.
- 10) **Accesos a la estación de La Sagrera, Barcelona (España, 2019)**: Actualmente se encuentra en construcción y con ritmos de avances en la ejecución nunca vistos para proyectos de tal complejidad técnica [44].

2.6. Trabajos, Publicaciones y Documentación

2.6.1. Trabajos Académicos

Se ha realizado una labor de investigación a lo largo de las bibliotecas de las principales Universidades de España en búsqueda de trabajos en los que se aplique la Metodología BIM a obras de carácter civil. Obviando las del sector de la Edificación y el sector de la Industria, el primer filtro realizado se corresponde con las Universidades donde se imparte el Grado en Ingeniería Civil, o Universidades donde se imparten dicho Grado junto con el Máster Habilitante en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Algunos ejemplos de trabajos encontrados son los siguientes:

- **Universidad de Sevilla (US)**: <https://bib.us.es/> ; <http://bibing.us.es/proyectos/>
 - TFG. Aplicación del software AutoCAD Civil 3D al diseño de una nueva presa en el Pantano de la Concepción, Málaga. Algarín, Alejandro (2017). Tutor: Morato, Manuel.
 - TFM. Aplicación de La Metodología BIM a un Proyecto de Construcción de un Corredor de Transporte para un Complejo Industrial. Modelo BIM 3D Obra Lineal. Ferreiro, Miguel Ángel (2018). Tutor: González, Blas.
 - TFM. Aplicación de La Metodología BIM a un Proyecto de Construcción de un Corredor de Transporte para un Complejo Industrial. Modelo BIM 4D Planificación. Bermejo, Juan Bautista (2018). Tutor: González, Blas.
 - TFM. Aplicación de La Metodología BIM a un Proyecto de Construcción de un Corredor de Transporte para un Complejo Industrial. Modelo BIM 5D Costes. Vera, Carmen (2018). Tutor: González, Blas.
 - TFG: Aplicación de la Metodología BIM 4D a un proyecto de infraestructura nodal. Martín, Alejandro (2019).
 - TFG: Diseño de Modelos BIM para Infraestructuras Civiles Con Dynamo. Benavente, Manuel (2019).
- **Universidad Politécnica de Madrid (UPM)**: <http://oa.upm.es/>
 - TFG: Análisis y Evaluación de la tecnología (BIM) Building Information Modeling. González, Javier (2018). Tutor: Fernández, José Luis.
 - TFG: Aplicación de la Metodología BIM al diseño de campos de golf. Lozano, Pablo (2019). Tutores: Martínez, María Luisa y Carretero, Antonio María.
 - TFM: Posibilidades de la Metodología BIM en la Ingeniería Civil. Pérez, Luis Augusto (2019). Tutores: García, Marcos y Moreno, Ángela.
- **Universidad Politécnica de Catalunya (UPC)**: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/1365>
 - Tesina: Building Information Modeling: benefits, challenges and possible applications in infrastructure projects. Lorente, Pol (2014). Tutores: Turmo, José y Schneider, Gonzalo.
 - Tesina: Estudi del potencial de la tecnologia BIM i la seva implementació dins l'àmbit de la construcció. Echegaray, Francesc Xavier (2014). Tutor: Molins, Climent.
 - PFC: Passarel·la sobre la connexió de les carreteres C-244 i la BV-2136 a Sant Pere Sacarrera utilitzant la Metodologia BIM. Chalé, Jordi (2015). Tutor: Font, Xavier.
 - TFG: Implantación del BIM en pequeñas y grandes empresas. Fortuny, Joel (2016). Tutores: Estrada, Miguel Ángel y Torres, Sergio.
 - TFG: Posibilidades de la Realidad Virtual para la prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción. Rigol, Arnau (2017). Tutores: Valero, Ignacio y Mora, Javier.
- **Universidad Politécnica de Valencia (UPV)**: <https://riunet.upv.es/handle/10251/11261/discover>
 - TFM: Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos. González, Carlos (2015). Tutor: Cerveró, Fernando.
 - TFM: Análisis de la gestión de proyectos mediante la metodología Building Information Modeling (BIM). Aplicación al proyecto de ampliación del puerto deportivo Poble Marina (Puebla de Farnals, Valencia). Roca, Adrián (2018). Tutor: Domingo, Alberto.

- TFM: Aplicación de la tecnología BIM al proyecto de un hangar metálico en el aeródromo de El Rebollar, en el T.M. de Requena (Valencia). Pérez, Sergio (2018). Tutor: Moragues, Juan José.
- TFM: Estudio sobre BIM integrado. Análisis del caso práctico de la ampliación de la tercera compuerta en la esclusa de Beatriz y ensanchamiento del canal de Lek (Holanda). Calderón, Saray (2018). Tutores: Yepes, Víctor y Malvar, Víctor.
- TFM: Proyecto de construcción de un depósito de regulación en el TM de San Juan de Alicante (Alicante). Rosell, Miguel Ángel (2019). Tutor: Sopeña, Francisco Javier.
- **Universidad de Cantabria (UC):** <http://catalogo.unican.es/cgi-bin/abnetopac?FORM=8>
 - TFG: Aplicación de metodología BIM a una EDAR existente y modelado a partir de nubes de puntos. Otero, José Miguel (2017). Tutora: Manchado, Cristina.
 - TFM: Aplicación de un modelo BIM con 4D a la instalación del sistema de venteo filtrado en la contención (FVCS). Orcajo, Marta (2017). Tutor: Ballester, Francisco.
 - TFM: Desarrollo de un Modelo BIM para operación y mantenimiento (7D). López, Julen (2019). Tutora: Manchado, Cristina.
 - TFM: Modelado BIM 7D adaptado a la red de saneamiento del Alfoz de León y metodología de mejora de la integridad de los datos de partida. Preciados, Adrián (2019). Tutores: Otero, César y Gómez-Jáuregui Valentín.
- **Universidad de Extremadura (UEX):** <http://dehesa.unex.es/>
 - TFM: Diseño, automatización y modelización de una nave prefabricada mediante metodología BIM. Lajas, Rodrigo (2019). Tutores: Cortés, Juan Pedro y Arias, Juana.

Resulta evidente que no se pueden plasmar aquí todas las publicaciones académicas encontradas, ni a la vez se puede investigar en la biblioteca de cada una de las Universidades españolas porque sería una tarea desmesurada. Pero aun así podemos extraer algunas conclusiones de esta labor de búsqueda:

La primera de ella es que no son demasiadas publicaciones respecto a otras temáticas como puede ser la elaboración de proyectos de diversa índole o trabajos orientados a la investigación, lo que nos hace ver una vez más que a día de hoy toda queda un largo recorrido para implantar el BIM de forma definitiva en nuestro sector. Además, si comprobamos el año de publicación, la mayoría de ellas corresponde al periodo 2017–2019, coincidiendo con la importancia que está adquiriendo en los últimos años. Tan solo algunas datan de 2014 ó 2015, y ya de años anteriores no se han encontrado.

Otra conclusión que podemos extraer es que se ha intentado exponer el mayor número de casos distintos aplicados a obras civiles; podemos comprobar que hay publicaciones acerca de la implantación BIM en estructuras, obras hidráulicas, carreteras, etc., pero en la mayoría de las situaciones corresponden a casos aislados, por lo que no existe a día de hoy una línea clara en el proceso de implantación de la Metodología BIM en proyectos de obras civiles. No me cabe ninguna duda que en los próximos años, a medida que aumente el conocimiento sobre métodos y técnicas BIM, veremos muchas más publicaciones de este tipo, porque entre otras cosas, desde las propias universidades se está apostando fuertemente por el BIM incluyéndolo en el Plan de Estudios de algunas asignaturas, o incluso con charlas, convenciones, talleres, cursos, etc.

2.6.2. Publicaciones

Del mismo modo, se ha llevado a cabo una labor de búsqueda para recopilar información acerca de las publicaciones relacionadas con la Metodología BIM tanto a nivel nacional como internacional. Una vez más, quiero insistir que no se trata de una búsqueda profunda porque no es el objetivo principal de este TFM, sino que de lo que trata este Apartado es de obtener una visión general del estado en el que se encuentra el BIM.

2.6.2.1. Publicaciones Internacionales

Las publicaciones internacionales analizadas sobre la aplicación de la Metodología BIM en Infraestructuras Civiles van encaminadas generalmente hacia tres líneas claramente definidas:

- Necesidad de la implantación de la Metodología BIM: Ventajas y obstáculos encontrados [45]
- Métodos, pasos a seguir y recomendaciones en la implantación de la Metodología BIM [46][47][48]
- Uso de nuevas tecnologías [49][50]

2.6.2.2. Publicaciones Nacionales

Aparte de todas las referencias citadas a lo largo del TFM, las principales organizaciones acreditadas para la publicación de contenidos relacionados con la Metodología BIM en España son *buildingSMART Spain*, y *es.BIM*.

- *buildingSMART Spain* [51]: Organización sin ánimo de lucro compuesta por todos los agentes que pueden intervenir en el proceso de construcción de un proyecto. Esta asociación pertenece a su vez a *buildingSMART International*, cuya iniciativa es implantar la Metodología BIM en todos los países interesados bajo unos estándares concretos. En su web (<https://www.buildingsmart.es/>) podemos encontrar las últimas noticias, eventos, estudios relacionados con BIM incluso recursos y estándares para su implantación.

Para ello existen las denominadas *Guías uBIM*, que tienen como objetivo facilitar la adaptación de BIM y coordinar a todas las disciplinas implicadas en la confección de Modelos, garantizando su uso efectivo en el sector. Compuesta inicialmente por 13 documentos, las *Guías uBIM*, surgen a finales de 2014 como adaptación de las guías *COBIM (Common BIM Requirements 2012)*, elaboradas en Finlandia por *buildingSMART Finland*, a nuestra casuística, y la normativa y estándares vigentes en España.

Posteriormente, en el año 2018, en el marco del Grupo de Trabajo LEGEND-BIM, se ha desarrollado un nuevo documento, la Guía de BIM aplicado al Patrimonio Cultural, en el que han participado de forma desinteresada 40 profesionales independientes.

Por otro lado, existe la *Spanish Journal of Building Information Modeling*, que nace en el seno de *buildingSmart Spanish Chapter* y su propósito principal es el de divulgar las investigaciones que cualquier persona, grupo de personas o entidad de cualquier tipo realice sobre la base del uso de la tecnología BIM en lengua española.

- *es.BIM* [52]: Comisión de la que ya hemos hablado en el presente Capítulo de forma extendida en el **Aparado 2.3**. Simplemente comentar que visitando su sitio web (<https://www.esbim.es/>) también podemos disponer de multitud de datos, noticias de actualidad, informes actualizados cada semestre sobre la situación de BIM en España.

3. OBJETIVO DEL TFM

Una vez hemos expuesto en qué consiste la Metodología BIM y en qué estado se encuentra actualmente en el mundo, debemos concretar el objetivo principal del TFM. En el presente Capítulo definiremos en líneas generales la metodología a seguir, así como haremos una breve síntesis de los principales puntos del proyecto.

El TFM gira en torno al diseño de una estructura, que en este caso será un paso superior de autovía, y cómo se le puede aplicar la Metodología BIM desde el inicio del proyecto.

3.1. Adjudicación del Proyecto

En un supuesto imaginario, una empresa cuyo nombre podría ser *USBIM S.L.* presenta su oferta técnica y económica para el diseño y construcción de un tramo de 23 km de autovía en Extremadura. Dicha autovía consta de 4 viaductos y 13 pasos superiores en total.

En la oferta técnica, la empresa describe cómo realizará el proyecto y cómo aplicará la Metodología BIM al mismo, requisito indispensable en que figura en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (PPTP) publicado por la Administración competente. Tras un periodo de evaluación, *USBIM S.L.* resulta ser la empresa adjudicataria, por lo que es en este momento cuando comienzan los trámites y pasos a seguir para la construcción de dicho proyecto.

USBIM S.L. es una gran empresa de Ingeniería que se compone de dos departamentos claramente diferenciados:

- ***USBIM Designs***: Sección encargada del diseño y redacción de proyectos. Entre sus labores principales estará el estudio de alternativas, trazados, drenaje, selección de tipologías estructurales, cálculos, elaboración de Modelos BIM 3D, entre otras.
- ***USBIM Constructions***: Sección encargada de realizar un estudio del mercado, procedimientos de ejecución, transporte y logística, planificación de la obra (Modelo BIM 4D), presupuesto de ejecución (Modelo BIM 5D), entre otras.

Dada la gran magnitud del proyecto, la empresa forma varios equipos de cada departamento, debiéndose coordinar entre ellos para conseguir llevar a cabo la construcción del tramo de autovía de la forma más eficiente posible, ajustándose a los plazos de ejecución y al presupuesto presentado en la oferta de la licitación.

Se establece por tanto un entorno de trabajo colaborativo entre ambos departamentos, de manera que el proyecto se irá ejecutando dependiendo de los condicionantes encontrados en cada fase.

Como se ha anunciado al inicio, el objeto de este TFM será el diseño de uno de los pasos superiores, para el cual la empresa ha concretado un grupo de trabajo, cuyas funciones y responsabilidades se describen a continuación.

3.2. Equipos y Funciones

Como un solo paso superior es un proyecto de reducidas magnitudes, no será necesario formar equipos con todas las funciones descritas en el **Apartado 1.8**, si no que se adaptará a las necesidades del mismo. En el proyecto objeto de este TFM cada agente interviniente estará asociado a un equipo distinto y tendrá asignadas unas determinadas tareas. Se han identificado los siguientes agentes intervinientes:

- **EQUIPO DEL PROMOTOR/CLIENTE:** Este equipo es el que formará la Administración competente para llevar a cabo la ejecución del proyecto. La Administración nombrará un DIRECTOR/A DE OBRAS, que será la persona encargada de representar al promotor de la obra, que en este caso será la propia Administración. Además, el/la DIRECTOR/A DE OBRAS deberá desempeñar las siguientes funciones:
 - Relación directa con la empresa adjudicataria.
 - Dirección, comprobación y vigilancia de la correcta ejecución del proyecto.
 - Aseguramiento y supervisión a efectos del cumplimiento de las condiciones de Seguridad y Salud.
 - Aseguramiento y supervisión a efectos del cumplimiento de las condiciones medioambientales.

Existen más persona físicas o jurídicas que la Administración debe nombrar para llevar a cabo la ejecución del proyecto y que formarán parte del Equipo del Promotor/Cliente, pero nos centraremos en la máxima figura, que en este caso será el/la DIRECTOR/A DE OBRAS.

- **EQUIPO DE GESTIÓN DE PROYECTO:** En representación de *BIMUS S.L.* está D. ANTONIO MARTÍNEZ DE LA CONCHA, que será la persona que mantenga los contactos necesarios con el promotor, facilitando toda la información requerida y detallando en qué situación se encuentra el proyecto en cada momento. Es por ello que desempeñará el papel de *Director del Proyecto BIM*, siendo para ello necesario la previa aprobación del *Cliente*. Como máximo responsable del proyecto, deberá coordinar los distintos equipos de la empresa y solicitar la información a cada responsable de cada uno de ellos según el cliente lo precise, cumpliendo también las funciones de *Director de la Gestión de la Información*.
- **EQUIPO DE DISEÑO DEL PROYECTO:** *BIMUS Designs* tendrá un *Director Técnico BIM* que será el máximo responsable del diseño del proyecto objeto del TFM frente al *Director del Proyecto BIM*. Esta función recaerá a cargo de D. MANUEL DORADO RASERO, que será el encargado de realizar el diseño y el cálculo estructural, así como coordinar y supervisar el trabajo de DÑA. CRISTINA RIVERA BLÁZQUEZ (nombre generado aleatoriamente), que con las funciones de *Modeladora BIM* y *Analista BIM*, será la encargada de realizar el Modelo BIM 3D del proyecto. El *Director Técnico BIM* también será el encargado de mantener los contactos pertinentes con el Equipo de Construcción, con el objetivo de conseguir una absoluta coordinación en el proyecto.
- **EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN:** para este proyecto, *BIMUS Constructions* tendrá dos *Coordinadores BIM*: en primer lugar está DÑA.VICTORIA CASTILLO RODRÍGUEZ (nombre generado aleatoriamente), que será la responsable de realizar los Modelos BIM 4D (planificación) y BIM 5D (costes). En segundo lugar está D. FERNANDO SERRANO MORÁN (nombre generado aleatoriamente), que será el responsable de mantener los oportunos contactos con los distintos subcontratistas así como de velar por el cumplimiento de las medidas de Seguridad y Salud durante la fase de construcción. Además, los *Coordinadores BIM* deberán estar en permanente contacto con el *Director de la Gestión de la Información* y con el *Director Técnico BIM* para conseguir una correcta coordinación y llevar a cabo el proyecto según lo indique el *Cliente*.

Dado el carácter individual del presente TFM, resulta evidente que debemos incluir a otras personas, reales o no, si queremos establecer una metodología de trabajo colaborativo, aunque todas las funciones las desempeñe la misma persona, es decir, el autor de dicho TFM. En este caso se ha optado por generar nombres aleatorios.

A continuación se muestra un esquema con los distintos Equipos de Trabajo con todos los agentes intervinientes del proyecto:

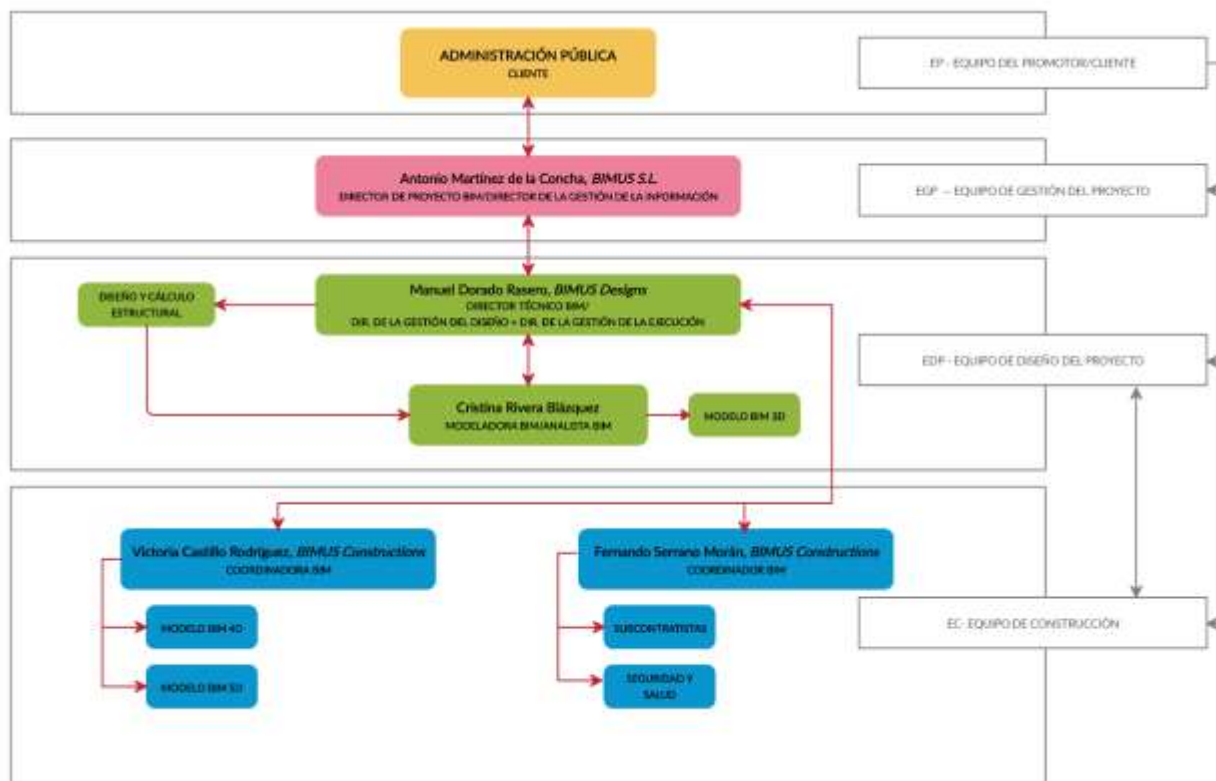


Figura 3.1. Esquema de Equipos de Trabajo y funciones asignados para el proyecto: Fuente: El. prop.

3.3. Plan de Ejecución BIM (PEB)

Se definirá un PEB conforme a las especificaciones del Cliente para establecer una relación abierta entre todos los agentes intervinientes en el proyecto, de tal modo que cada uno de ellos tenga disponibilidad de la información necesaria en cada fase del ciclo de vida del mismo.

3.4. Diseño de la Estructura

Será el primer paso para la elaboración del proyecto. Antes de realizar el diseño de la estructura, se realizará un estudio de alternativas para seleccionar una tipología estructural correcta. Posteriormente se evaluarán todas las acciones según establece la normativa vigente y se realizará un predimensionamiento inicial. Se optimizará el dimensionamiento para finalmente realizar el cálculo estructural y comprobar que el diseño es válido para el servicio que prestará. El diseño de la estructura se abordará en los **Capítulos 5 y 6**.

3.5. Modelo BIM 3D

Una vez se apruebe el diseño provisional de la estructura será el momento de realizar el Modelo BIM 3D. Toda la información necesaria, tanto geométrica como no geométrica deberá ser introducida en el Modelo. Se comprobarán los posibles errores detectados en el diseño, y en caso de ser necesario, se volverá a realizar el cálculo con las nuevas modificaciones que se produzcan, obteniendo el diseño definitivo. El Modelo BIM 3D será objeto del **Capítulo 7**.

3.6. Modelo BIM 4D

Con los datos necesarios procedentes del Modelo BIM 3D, se podrán obtener las mediciones al completo para realizar una planificación temporal de la obra, realizando una estimación en base a unos rendimientos teóricos reales. La planificación de la obra se realizará con un Diagrama de Gantt, que posteriormente se anexará al Modelo BIM 3D, obteniendo por tanto el Modelo BIM 4D, objeto del **Capítulo 8**.

3.7. Modelo BIM 5D

Cuantificando los materiales necesarios procedentes del Modelo BIM 3D y aplicándoles un precio unitario conforme a la situación actual del mercado, se obtendrá el Presupuesto de Ejecución Material de la obra (PEM).

Una vez que tengamos el PEM, lo anexaremos al Modelo BIM 4D de manera que podremos realizar un seguimiento económico de la obra conforme se va ejecutando, obteniendo en este caso el Modelo BIM 5D, objeto del **Capítulo 9**.

4. PLAN DE EJECUCIÓN BIM (PEB)

Como ya hemos expuesto en qué consistirá el proyecto a grandes rasgos, debemos establecer en este momento unas pautas para implantar esta metodología. En este Capítulo describiremos de qué forma se lleva a cabo, así como las distintas partes que componen el Plan.

Un Plan de Ejecución BIM (PEB) o *BIM Execution Plan (BEP)* en inglés, es un documento en el que se reflejan las estrategias, procesos, recursos, técnicas, herramientas, sistemas, etc., que son aplicados para asegurar el cumplimiento de los requisitos BIM solicitados por un cliente para un proyecto determinado y una fase o fases concretas del ciclo de vida del mismo, asegurando que todos los agentes intervinientes tienen constancia lo que sucede en torno al proyecto en todo momento.

Si la oferta técnica de la licitación publicada por la Administración así lo establece, el PEB será un documento vinculante entre la propia Administración y la empresa adjudicataria, que se firmará previamente al resto de documentos del contrato. Al tener carácter vinculante, la empresa adjudicataria del proyecto deberá cumplir sus especificaciones, y en caso de realizar alguna modificación deberá ser expresamente comunicada a la Administración competente a través de su representante (en este caso el Director/a de Obras), que deberá dar su aprobación para que se pueda llevar a cabo.

El objetivo del Plan de Ejecución BIM es proveer de un marco de funcionamiento que permitirá a los distintos agentes del proyecto desarrollar los procesos BIM, así como las mejores prácticas de una manera eficiente. Este plan determina las funciones y responsabilidades de cada agente, el alcance de la información que tiene que ser compartida, los procesos de trabajo necesarios, así como el software y hardware necesario, entre otros, a la fase concreta del ciclo de vida para la cual se redacta el PEB.

Es recomendable que todos los agentes que participan en el proyecto puedan participar en la redacción y aprobación del PEB, así como en las sucesivas versiones del mismo que puedan afectar a sus trabajos.

Para elaborar el PEB se han seguido las recomendaciones que establece la Comisión *es.BIM* a través de su guía publicada en 2018 [53], aunque eso sí, adaptándolo a este proyecto en particular puesto que la plantilla que proporciona dicha comisión está enfocada a un nivel de máximos dentro de un proyecto.

A continuación, se irán detallando los apartados más importantes que deberán incluirse en el PEB.

4.1. El Plan de Ejecución

4.1.1. Histórico de Revisiones

Será importante incluir todas las revisiones que ha sufrido el proyecto durante cada fase de su ciclo de vida. Es una forma de comprobar la evolución que sufre el proyecto desde su inicio.

Tabla 4.1 Histórico de revisiones del PEB. Fuente: *esbim.es*

Versión	Fecha	Responsable	Motivo de la modificación
1.0	dd/mm/aaaa	Nombre y Apellidos	Publicación Primera versión
2.0	dd/mm/aaaa	Nombre y Apellidos	Modificación de alcance modelos BIM

4.2. El Proyecto

Este Apartado tiene como objetivo conseguir que cualquiera de los agentes intervinientes disponga de la información necesaria del proyecto en cualquier momento que sea necesario realizar una consulta. En este Apartado podemos encontrar:

4.2.1. Datos de Identificación

En cada proyecto deben introducir los datos más significativos del mismo para conseguir diferenciarlo del resto. Son datos relativos al nombre del proyecto, su ubicación, fecha de comienzo y finalización, así como una breve descripción del mismo.

4.2.2. Hitos del Proyecto

Otra forma de comprobar la evolución del proyecto es mediante la tabla de hitos. En esta tabla se irán introduciendo los acontecimientos más importantes del proyecto para que cualquier agente implicado en el desarrollo de modelos BIM, generación de derivados o subproductos de los modelos BIM (como planos, tablas, infografías, etc.) y uso de los modelos BIM para otras funciones tenga a su disposición toda la información completa.

Tabla 4.2 Hitos del proyecto BIM. Fuente: esbim.es

Nº	Hito	Entregable	Fecha Inicio	Fecha Entrega
1	Trabajos Previos			
1.1		Nube de puntos		
1.2		Topográfico		
2	Proyecto Básico			
2.1		Planos		
2.2		Presupuesto		
3	Proyecto Constructivo			
3.1		Planos		
3.2		Presupuesto		
3.3		Pliego		
3.4		Planificación		
4	Licencia de obra aprobada			

4.2.3. Objetivos BIM del Cliente

Si bien este Apartado podría simplemente referirse al documento de requerimientos BIM, al pliego de condiciones o a su apartado BIM, se recomienda resumir o extraer los objetivos de una manera fiel al mismo para facilitar que todos los agentes implicados puedan consultar los objetivos reconocidos por el cliente relativos al uso de la metodología BIM.

4.3. Usos del Modelo

El documento PEB, debería incluir una descripción de todos los usos que se le darán y podrán dar al modelo BIM, asociando cada uno de ellos a la fase en la que se encuentra el proyecto una vez que se recibe el encargo. De esta manera, se creará una asociación y alineación desde los objetivos del proyecto hasta las aplicaciones

últimas detalladas en los usos de BIM. La relación de usos del Modelo se expone a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4.3 Relación de usos del Modelo del PEB: Fuente: esbim.es

Uso	Descripción	FASE 1		FASE 2		FASE 3	
		¿Aplica?	Responsable	¿Aplica?	Responsable	¿Aplica?	Responsable
Uso 1		SI	Empresa A	NO		NO	
Uso 2		NO		SI	Empresa A	NO	
Uso 3		NO		SI	Empresa B	SI	Empresa C

4.4. Entregables BIM

Se incluirán en este Apartado toda la información contenida en formato BIM. Se considera el núcleo del alcance de los trabajos a desarrollar en BIM, para lo cual será necesario entregar, como mínimo, los siguientes Apartados:

4.4.1. Listado de Entregables

Esta tabla listará todos los entregables relativos a BIM entre los que se incluyen el propio PEB, los modelos BIM y cualquier derivado posible extractable de los modelos BIM (infografías, planos, tablas, etc.).

Tabla 4.4 Listado de Entregables BIM. Fuente: esbim.es

Código y Nombre Entregable	Fase de Proyecto	Fecha de entrega	Responsable de la entrega	Formato de entrega	Método de entrega
Plan de Ejecución BIM					
Modelos					
Derivados de los modelos					

4.4.2. Nivel de Detalle Gráfico

Sin perjuicio que los Niveles de Detalle Gráfico (G1, G2, G3 y G4), Niveles de Información No Gráfica (D1, D2, D3 y D4) y Niveles de Información Vinculada (V1, V2, V3 y V4) hayan sido generados por el promotor, se incluirán aquí, bien éstos o bien los sugeridos por el equipo de Gestión BIM para el desarrollo de los entregables Modelos BIM.

Tabla 4.5. Nivel de Detalle Gráfico. Fuente: *esbim.es*

NIVEL DE DETALLE				
DETALLE GRÁFICO	G1	G2	G3	G4
DESCRIPCIÓN	Prisma envolvente del pilar	Prisma de sección simplificada del perfil.	Prisma de la sección normalizada del perfil.	Prisma de la sección normalizada del perfil con patologías.
IMAGEN				

4.4.3. Nivel de Información no Gráfica y Vinculada

Se incluirá una tabla que deberá contener todo tipo de información adicional al respecto, como por ejemplo una descripción del elemento, grupos de parámetros, unidades de medida, comentarios, etc.

Los mismos parámetros y datos se aportan para aquella información vinculada al elemento como referencia externa dentro del modelo, definiéndose los valores V1, V1, V3 y V4.

4.4.4. Tabla de Desarrollo del Modelo

En la tabla de Desarrollo del Modelo, para cada elemento y cada fase del ciclo de vida del proyecto, se debe incluir:

- Equipo de trabajo responsable de su definición, modificación o especificación.
- Los niveles de información gráfica, no gráfica y vinculada.

4.5. Organización del Modelo

4.5.1. Estructura de Datos

Se deberá incluir:

- Estructura de datos de ficheros
- Clasificación de elementos constructivos.
- Organización de capas.
- Organización de parámetros.
- Organización de ficheros y modelos.

4.5.2. Matriz de interferencias

Consiste en un sistema de comprobación de todas las colisiones que se pueden producir entre los diferentes elementos que componen el proyecto de referencia. Gracias al uso de la tecnología BIM, en la que se integran diferentes disciplinas en un mismo modelo, podemos comprobar todos los conflictos e interferencias que ocurren entre los elementos de una misma disciplina y los elementos de diferentes disciplinas entre sí de una manera más inmediata.

4.7.2. Recursos Materiales

- Hardware: se deberá de recopilar el hardware recomendable al menos:
 - El que requerirá el cliente para visualización de entregables BIM.
 - El que requerirá el equipo de modelado.
 - El que requerirá el equipo que utilice el modelo BIM según cada uso específico.
- Software: se relacionará los softwares que a utilizar durante la fase en la que se aplique el PEB. Se indicará para cada software el sistema operativo, la memoria RAM necesaria, el formato y demás datos que se consideren significativos para la interoperabilidad.
- Mapa de software: se relacionará los softwares que se emplearán en las distintas tareas dentro del desarrollo de los modelos: modelado de las distintas disciplinas, realización de los usos definidos en el PEB, etc.

4.8. Gestión de la Información

Se entiende por Sistema de Gestión de Información al conjunto de herramientas, técnicas, procesos, aplicaciones, etc. que sirven para definir, recopilar, intercambiar, almacenar, etc. Tanto información en formato dato como información en formato archivo digital o formato físico.

4.8.1. Estrategia de Comunicación

Para la colaboración se recomienda la aplicación y configuración de un entorno de colaboración que asegure la existencia de una única fuente de información para todos los agentes.

El entorno de colaboración (EDC) es el ámbito en el que se desarrolla el proyecto y debe permitir el acceso a la información de todos los agentes involucrados en el mismo con diferentes funciones de lectura, escritura, aprobación, etc. Se definirán todos los agentes y cuál es el rol que desempeñan, estableciendo asimismo sus responsabilidades.

Los procesos dentro del EDC definen la relación entre agentes, procedimientos de verificación y aprobación de la información, estatus de la misma, etc. El esquema propuesto es el siguiente:

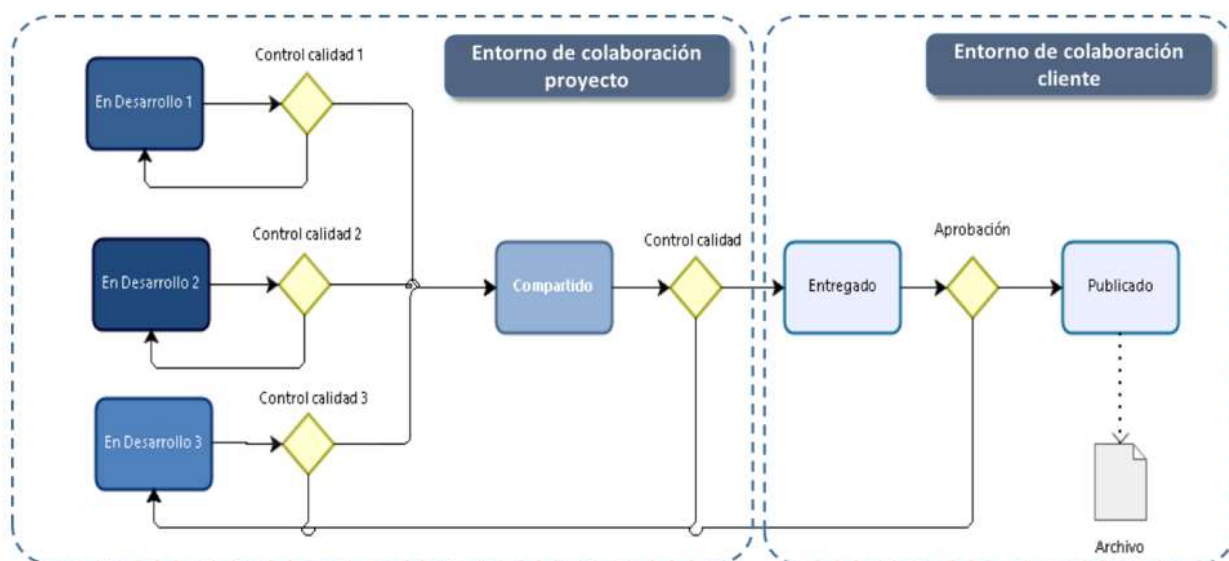


Ilustración 4.1 Entorno de colaboración. Fuente: *esbim.es*

La información del proyecto puede considerarse de cuatro formas distintas:

- **En progreso:** modelos o documentos en desarrollo, realizados por disciplinas. Versiones no verificadas sometidas a un proceso de control de calidad como paso previo al siguiente estado.
- **Compartida:** información que ya ha superado el control de calidad previo, verificada e integrada y disponible para todo el equipo de proyecto.
- **Entregada:** información disponible para la dirección de proyecto y accesible para todos los agentes que intervienen en el proyecto.
- **Publicada:** información ya aprobada, supervisada por el cliente, accesible a todos los agentes

4.9. Riesgos y Oportunidades

El objetivo de este Apartado es identificar, categorizar el impacto y diseñar una respuesta para cada uno de los posibles riesgos derivados de la incorporación de la metodología BIM descrita en el PEB en el proyecto. Cada posible riesgo deberá contemplar los siguientes aspectos:

- **Identificación:** a través de códigos, descripción, causas, fases y consecuencias.
- **Evaluación:** se evaluarán los riesgos en función de la probabilidad de ocurrencia y el impacto en el proyecto.
- **Planificación:** se plantearán posibles acciones a llevar a cabo en caso de que el riesgo se llegara a producir.

4.10. Procesos BIM

Cada proceso se caracteriza por sus entradas, herramientas y técnicas que se puedan aplicar y por las salidas que se obtienen. Los procesos comenzarán con un hito de inicio y terminarán con un hito final.

Deberán incluir los siguientes aspectos:

- Proceso de generación de modelos BIM y derivados
- Proceso de verificación de modelos BIM y derivados
- Proceso de gestión de cambios en el modelo BIM
- Proceso de intercambio de información BIM entre agentes
- Proceso de entrega a cliente
- Otros procesos según usos BIM especificados

4.11. Estándares BIM

Para el desarrollo de la metodología BIM resulta conveniente la adopción de buenas prácticas y procedimientos para alcanzar la máxima efectividad. En este sentido deben cumplirse unos estándares, que por una parte son los requerimientos del cliente y por otra los que demanda la industria. También deben considerarse los estándares propios de la empresa, que cada una tiene una metodología de trabajo y que por lo tanto debe adaptar.

- **ESTÁNDARES DEL CLIENTE:** Establece sus propios protocolos, estándares o guías en los que incluye distintas especificaciones referentes a usos, niveles de información, tabla de desarrollo del modelo, estructura de datos, niveles y ejes de referencia, gestión de la información, procesos, etc.

En este Apartado deberán listarse los documentos propios facilitados por el cliente para su perfecta identificación (código, nombre del documento, formato digital y ubicación como mínimo).

- **ESTÁNDARES DE LA INDUSTRIA:** La implantación de la Metodología BIM en España debe seguir una normativa internacional, adaptándola a nuestra propia normativa, para de este modo establecer un marco común.
- **ESTÁNDARES DE LA EMPRESA:** La empresa responsable de la Gestión BIM del proyecto o la propia UTE responsable del contrato podría contar ya con estándares propios y estar haciendo alusión a ellos en el documento PEB.

A continuación se muestra una tabla para incluir los estándares adoptados en el PEB:

Tabla 4.7 Estándares BIM a incluir en el PEB. Fuente: *esbim.es*

CÓDIGO	NOMBRE	FORMATO	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
XXX-XX-XX-XXX	Documento A	.pdf	Breve descripción del objeto del documento	Ubicación en entorno común de datos
XXX-XX-XX-XXZ	Documento B	.xlsx	Breve descripción del objeto del documento	Ubicación en entorno común de datos

En este punto me gustaría hacer hincapié que el objetivo de los Apartados anteriores no es plasmar íntegramente la guía que ha elaborado la Comisión *es.BIM*, para la realización de un PEB, ya que puede consultarse directamente en su página web <https://www.esbim.es/>, por lo que incluirla aquí carecería de sentido. Con los apartados anteriores se ha intentado hacer que el lector del presente TFM tenga una visión general de los aspectos más importantes a incluir en un PEB, ya que la guía es mucho más extensa y con mucha más información.

4.12. Justificación del PEB del TFM

Este Apartado tiene como objetivo la justificación de la decisión de no elaborar un PEB para el presente TFM. Así, se expone:

- 1) **FINALIDAD DEL TFM:** Al tratarse de un trabajo con fines académicos, ya de entrada estamos realizando varios casos de suposición como puede ser la adjudicación de contratos, pliego de prescripciones de dicho contrato, fechas de inicio y finalización del proyecto, etc., por lo que harían falta muchos más datos de los que actualmente se disponen para poder elaborar un PEB con todas las garantías.
- 2) **SITUACIÓN DEL BIM ACTUALMENTE:** Incluso si el autor, junto con el tutor del presente TFM, hubieran puesto todo empeño y dedicación posible a este Apartado, aun así no se hubiera podido llevar a cabo la elaboración de un PEB completo debido a la situación actual que se encuentra la Metodología BIM en nuestro país, y más aún si nos referimos a las obras civiles. Y es que como hemos comentado, es una forma de trabajar que estamos implantando poco a poco, lo que hace que a día de hoy desde las propias administraciones públicas no se tenga un absoluto conocimiento de los procedimientos y métodos a seguir.
- 3) **GUÍA DE LA COMISIÓN *es.BIM*:** Aunque no sea de obligado cumplimiento, sí que se podría decir que esta guía es el documento “oficial” a seguir en la aplicación de la Metodología BIM a proyectos de construcción, ya que esta comisión pertenece al Ministerio de Movilidad, Transporte y Agenda Urbana. Esta guía está en cierto modo orientada a la Edificación, por lo que en primer lugar se precisaría una adaptación de la misma al sector de las Infraestructuras Civiles.
- 4) **SOBRE EL AUTOR:** Como autor del presente TFM, una de las motivaciones al comienzo de redacción de este trabajo fue conocer en qué consiste exactamente la Metodología BIM y cómo se puede aplicar a un proyecto real, aun siendo consciente de que los conocimientos y experiencia en esta

metodología eran prácticamente nulos. Esto implicaba un gran esfuerzo a realizar desde el inicio para poder plasmarlo de la forma más clara posible en el presente trabajo.

Dado que no es un concepto puramente teórico que se pueda estudiar o investigar, o que exista una gran cantidad de documentos al respecto, no he conseguido alcanzar en este proceso el nivel de madurez y conocimientos necesarios para poder realizar un PEB de la forma correcta, también en cierto modo en consonancia con lo expuesto en el punto 2.

Este TFM ha sido elaborado asumiendo la responsabilidad de cometer posibles imprecisiones y errores que pueda tener el proyecto, derivados de la falta de un PEB que indique las pautas a seguir por todos los agentes intervinientes.

- 5) **EXTENSIÓN DEL TFM:** En relación con los puntos 1 y 4, se ha optado por no incluir un PEB en el presente TFM debido a la extensión del mismo. El objetivo final será realizar un Modelo BIM 5D de un proyecto, que completo con un PEB o no, ya de por sí comprende una gran cantidad de tareas a realizar, que normalmente le corresponden a uno o varios equipos multidisciplinares.

5. ENTORNO COMÚN DE DATOS (ECD)

Anteriormente en el **Apartado 1.5** se comentó brevemente que para llevar a cabo un proyecto BIM es necesario aplicar una metodología colaborativa que nos permita alcanzar los objetivos marcados al inicio. Para ello es fundamental poder intercambiar los datos con los otros agentes intervinientes en el proyecto, para que de este modo, cada uno pueda tener acceso a ellos en cualquier momento.

En este Capítulo desarrollaremos el concepto de *Common Data Environment*, Entorno Común de Datos, o como muchos autores también denominan como *Entorno Colaborativo*. Describiremos en qué consiste el ECD y cómo se puede aplicar a nuestro proyecto, que hasta este punto todavía no se ha iniciado como tal.

Para comenzar con este concepto, podremos definir como trabajo colaborativo aquel que se realiza de forma simultánea en torno a un Modelo. La forma de conseguir establecer un entorno colaborativo es a través de una plataforma en la que a través de internet podamos subir, guardar, compartir y sincronizar todos los distintos archivos que forman parte del Modelo.

Con el ECD se consigue una mayor agilidad y rapidez en el intercambio de información, así como una mayor transparencia con el Cliente, que podrá tener acceso en todo momento a la situación del proyecto, costes, materiales, etc.

5.1. Intercambio de Información

5.1.1. Plataforma

Existen actualmente varias plataformas informáticas que permiten el intercambio y sincronización de archivos de manera instantánea, o incluso si se trata de grandes empresas con un elevado volumen de información a intercambiar, estas tienen complejas infraestructuras informáticas que vuelcan toda su información a través de unos servidores.

No vamos a entrar en detalles acerca de todas las plataformas disponibles actualmente, sólo diremos que las más típicas son las denominadas “nubes”, que algunos ejemplos son:

- **iCloud** de Apple, Inc.
- **OneDrive** de Microsoft®.
- **Google Drive** de Alphabet, Inc.
- **Dropbox®**, de Dropbox, Inc.
- **NextCloud**, disco duro de la Universidad de Sevilla

Existen también otras herramientas más sofisticadas orientadas sobre todo a la Metodología BIM, como son:

- **Autodesk BIM 360**, de Autodesk, Inc.
- **Bentley ProjectWise**, de Bentley Systems, Inc.

Lo ideal sería disponer de una herramienta con enfoque BIM, pero dada la finalidad académica del presente trabajo, con alguna de las aplicaciones citadas anteriormente será suficiente para mostrar lo que sería un ECD.

Además, el hecho de que todo el trabajo que en este TFM se muestra esté realizado por la misma persona, es decir, el autor, hace que el uso de una herramienta u otra resulte prácticamente indiferente, a pesar de que como se expuso en el Capítulo anterior, se ha introducido varios nombres imaginarios para poder darle sentido al ECD.

La herramienta informática seleccionada en este caso para establecer un ECD será **Dropbox®**, que desde el punto de vista personal, ha proporcionado grandes resultados en ocasiones anteriores y además dispone una gran cantidad de espacio libre para almacenamiento de archivos (25 GB con una versión de prueba de 6 meses), que serán más que suficientes para contener toda la información de este TFM.

Si se desea tener más información acerca de las ventajas que presenta una plataforma BIM, como por ejemplo puede ser **Autodesk BIM 360**, frente a las herramientas para uso cotidiano, se recomienda visitar su página web (<https://www.autodesk.com/bim-360/>) o algún documento de carácter más ilustrativo, como infografías, vídeos, etc. (<https://www.youtube.com/watch?v=G6ZVhHMB1uw>).

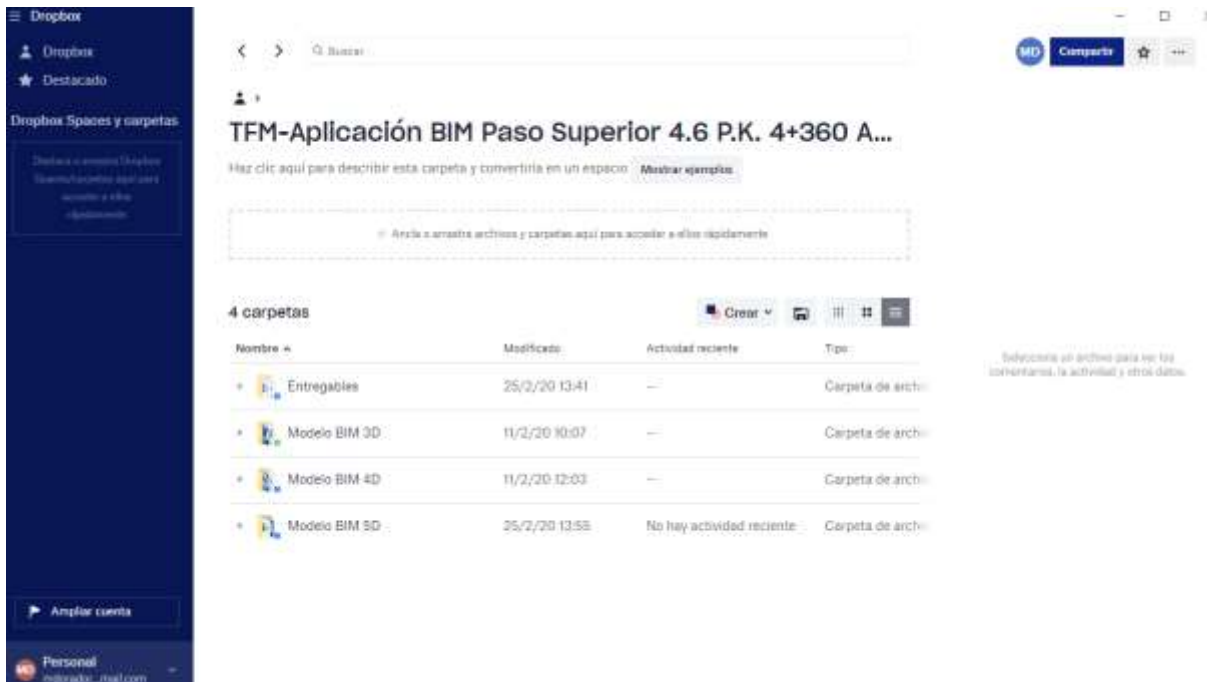


Ilustración 5.1 Ejemplo de ECD para un proyecto BIM. Fuente: El. prop.

5.1.2. Formato de Archivos

Para garantizar la colaboración de todos los agentes intervinientes del proyecto, así como asegurar la interoperabilidad entre todos ellos es fundamental compartir los distintos archivos en un formato compatible, o más bien un formato estándar, dándole sentido al concepto de trabajo colaborativo. Al comienzo de un proyecto deberán aclararse con qué formato o formatos será compartida la información.

A continuación se plantean diferentes formatos dependiendo del tipo de archivo en cuestión:

- **Archivos de Texto:** Se pueden compartir en formato **.docx**, que son legibles por los procesadores de texto más habituales, aunque para evitar modificaciones debido al formato que se le da al texto, lo más común es compartirlos en formatos habituales como los **.pdf** (Portable Document Format).
- **Archivos de Tablas de Datos:** Hay diversos formatos según la herramienta informática que utilizemos, pero el más común es el **.xlsx**, que a su vez puede exportarse a un formato convencional como los **.csv**
- **Archivos de Imágenes:** Son habituales sobre todo los formatos **.jpeg** o **.png**
- **Archivos de Vídeo:** Los formatos **.avi**, **.mp4** o **.mpeg4** son los más comunes y los que permiten reproducirse por la mayoría de aplicaciones.
- **Archivos de CAD:** El formato estándar es el **.dxf** (Drawing Exchange Format), con el que todas las aplicaciones para el diseño asistido por ordenador permiten trabajar. Si nos referimos a uno de los

softwares más utilizados actualmente, como es AutoCAD® de *Autodesk, Inc.*, el formato habitual es el *.dwg* aunque tenemos que prestar atención en utilizar una versión que nos permita importar archivos del mismo tipo de pero de las versiones más recientes posibles, que también permite abrir versiones anteriores.

Mención especial merecen los archivos BIM del proyecto. Para un trabajo colaborativo propio de la empresa se utilizarán los formatos de los softwares con lo que trabaje dicha empresa, pero para compartir información con el Cliente y con otros agentes intervinientes ajenos a la empresa, será necesario establecer un formato estándar.

Dicho formato es el **IFC (Industry Foundation Classes)** que sugiere la Comisión *buildingSMART International*. Según la página web *biblus.com* [54], el formato IFC permite el intercambio de un modelo informativo a través de un formato abierto, neutro, no controlado por los productores de software y nacido para facilitar la interoperabilidad entre varios operadores.

La principal ventaja ofrecida por el formato IFC es la posibilidad de colaboración entre las varias figuras involucradas en el proceso de construcción permitiendo el intercambio de información a través de un formato estándar.

Esto lleva a una calidad mayor, a una disminución de los errores, una reducción de los costes y a un ahorro de tiempo con coherencia de datos e informaciones durante todo el proceso de ejecución y de mantenimiento.

Los archivos IFC han ido evolucionando enormemente desde la primera versión creada en 1997, permitiendo que cada vez se pueda intercambiar mayor cantidad de información a través de este formato estándar, si bien es cierto que todavía presenta algunas carencias que hacen que de la exportación de datos de un software no sea completa, como se comenta en el **Apartado 8.1.3**, por lo que su uso a día de hoy está limitado. Sin duda alguna conforme avanza la Metodología BIM en su conjunto el intercambio de información a través de formatos estándar también lo hará.

5.2. Estado de Archivos

Durante todo el ciclo de vida de un proyecto, como bien sabemos ya, existirán multitud de archivos que se irán modificando dependiendo de la fase en la que se encuentre el proyecto en un determinado momento. Para los datos del ECD la normativa británica una organización estructurada de esos archivos mediante lo que denominaremos “estado” del archivo. Esa organización se compone de 4 subáreas [55] conectadas entre ellas por el flujo de información.

5.2.1. Work In Progress (WIP)

Aquí se encuentran las áreas “en proceso”, relativas a los diversos contextos aplicativos, tales como el área relacionada con el diseño geométrico, con el diseño estructural, etc. En cada área se desarrolla la parte del proyecto en cuestión y los documentos relacionados. Estos documentos se quedarán en el área hasta alcanzar un cierto nivel de desarrollo. Posteriormente, serán disponibles para los otros equipos del proyecto.

Antes de alcanzar el objetivo, los documentos estarán disponibles sólo para el equipo de los técnicos de referencia del área.

5.2.2. Shared

Es el área en la cual los diversos equipos de diseño depositan los avances progresivos del propio trabajo, en los varios estados de desarrollo, compartiéndolos. En esta fase el proyecto todavía está en construcción. La documentación es cíclicamente depositada y proveniente de los diversos equipos. Esto permite a todos de alinearse de forma rápida con las eventuales alteraciones y mejoras producidas por cada equipo.

5.2.3. Published

Es el área en la que se deposita la documentación de proyecto finalizada y compartida por los distintos equipos,

así como aprobada por el Cliente. La documentación depositada es adecuada para la fase de realización.

5.2.4. Archived

Es el área que guarda toda la información de diseño del edificio realizado, con toda la información relacionada, a partir de los requisitos de proyecto hasta los requisitos legales y normativos.

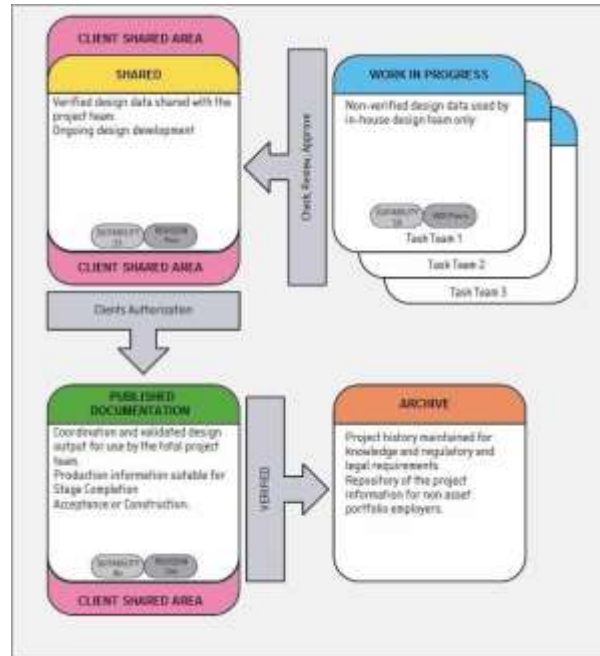


Ilustración 5.2 Entorno de trabajo colaborativo en el ECD. Fuente: British Standards Institution (BSI)

5.3. Codificación de Archivos

Una vez definidos los formatos de archivos que utilizaremos y la plataforma en la que los compartiremos deberemos seguir una codificación que nos permita encontrar y distinguir archivos de una forma más rápida y sencilla, así como el estado en el que se encuentra.

Siguiendo la línea que establece el estándar británico, se propone a continuación una codificación propia dependiendo del estado en el que se encuentre el archivo (**Apartado 5.2**)

Tabla 5.1 Codificación de archivos según su estado en el proyecto.

ESTADO	DESCRIPCIÓN
WIP (Work in Progress o Trabajo en Curso)	
S0	<i>Estado inicial:</i> será la codificación que reciban los archivos creados al inicio de cada fase por cada persona implicada en el proyecto BIM. Se trabajará de forma individual sobre ellos, pudiendo realizar cualquier modificación que se considere oportuna antes del siguiente estado. En este estado todavía no existe un entorno colaborativo entre los distintos agentes.
Shared o Compartido	
S1	<i>Compartido para coordinación:</i> esta codificación se establece para aquellos archivos individuales que forman parte de un Modelo conjunto. Cada uno de ellos será necesario para detectar errores en el Modelo, posibles conflictos, etc. Se

ESTADO	DESCRIPCIÓN
S2	<p>comienza la colaboración entre agentes intervinientes, continuando en un proceso repetitivo hasta que el Modelo no presente errores ni incongruencias.</p> <p><i>Compartido para revisión:</i> cuando el modelo se haya comprobado al completo, todos los archivos e información contenida con esta codificación pasarán al <i>BIM Manager</i> para que proceda a revisarlos y dar su visto bueno antes de ser entregados al Cliente.</p>
S3	<p><i>Compartido para aprobación:</i> como máximo responsable del proyecto, el <i>BIM Manager</i> proporcionará toda la información necesaria al Cliente, que deberá comprobar si se cumplen todos los requisitos impuestos. Es el paso previo a la aprobación definitiva.</p>
S4	<p><i>Compartido para coordinación interna:</i> los distintos departamentos de la empresa compartirán entre ellos archivos con esta codificación para las gestiones internas, como pueden ser compras, ofertas, subcontratas, autorizaciones, etc.</p>
S5	<p><i>Compartido para aprobación interna:</i> al igual que sucede con los archivos S1, las gestiones relacionadas con el proyecto que sean ajenas al cliente (S4) también deben ser revisados por el <i>BIM Manager</i>, que deberá expresar su aprobación para que puedan ser llevadas a cabo.</p>
Published o Publicado	
P	<p><i>Aprobado:</i> Una vez que el Cliente revisa los archivos proporcionados por el <i>BIM Manager</i>, los archivos que reciban esta codificación tendrán la expresa aprobación para ser llevados a cabo o para ser considerados como definitivos.</p>
Archived o Archivado	
A	<p><i>As Built:</i> esta codificación correspondería a aquellos archivos de un proyecto que ya ha sido construido. Sería toda la información relativa a la construcción, así como a las siguientes fases del ciclo de vida de la infraestructura.</p>

Además de la codificación relativa al estado del archivo, conviene establecer una codificación completa en la que se puedan distinguir disciplinas del proyecto, autor del archivo, nombre del archivo, etc. Para este proyecto se propone la siguiente codificación:

BIMUS_2X_000_DIS_AUT_nom_VER_EST.ext

Cuyos caracteres tienen el siguiente significado:

- **BIMUS:** Será la seña de identidad de los archivos de la empresa, todos los archivos deberán comenzar con estos caracteres, en mayúsculas.
- **2X:** Corresponde a las dos últimas cifras del año de adjudicación del proyecto, pues recordemos que la Metodología BIM comprende todo el ciclo de vida de una infraestructura y de algún modo tendremos que establecer un criterio para seguir un orden de cada proyecto en particular.
- **000:** Numeración del proyecto. Es normal que las empresas trabajen con varios proyectos a la vez, por

lo que asignarles un código ayuda a identificarlos más fácilmente.

- **DIS:** Hace referencia a la disciplina del proyecto. Normalmente cada disciplina estará asociada a un equipo distinto. Se coloca una D mayúscula seguida de dos números, con el significado de:
 - D01: Diseño
 - D02: Producción
 - D03: Costes
 - D04: Calidad
 - D05: Seguridad y Salud
- **AUT:** Se refiere a las iniciales autor del archivo, que para este proyecto se han identificado las siguientes personas:
 - AMC: Antonio Martínez de la Concha.
 - MDR: Manuel Dorado Rasero
 - CRB: Cristina Rivera Blázquez
 - VCR: Victoria Castillo Rodríguez
 - FSM: Fernando Serrano Morán
- **nom:** En letra minúscula y con una extensión reducida, se pondrá el nombre del archivo en cuestión. Dentro de un mismo proyecto, serán los caracteres que lo diferencien del resto de la forma más clara.
- **VER:** Un mismo archivo podrá tener varias versiones dependiendo de las veces que sea modificado o revisado. Se colocará una V mayúscula seguido del número de la versión, comenzando por 01.
- **EST:** Indica al estado del archivo según la **Tabla 5.1**
- **.ext:** Es la extensión del archivo. Hace referencia al formato de archivo en cuestión.

En el **Anexo D Histórico de Archivos del ECD** se incluye lo que sería un proceso para el control de archivos de un proyecto BIM a lo largo de las distintas etapas que lo componen.

6. CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO

En este capítulo vamos a describir la estructura en su conjunto en cuanto a su morfología, para lo cual, se elaborará un estudio en el que se seleccionará la tipología adecuada para este tipo de estructura en concreto.

La estructura en sí se trata de un Paso Superior de Autovía, por lo que se calculará conforme a la normativa vigente en materia de Carreteras (este aspecto se detallará con profundidad posteriormente). Mediante dicha normativa se evaluarán todas las acciones que afectan a la estructura, justificando las hipótesis y simplificaciones adoptadas.

6.1. Antecedentes

Para intentar realizar un TFM lo más próximo a la realidad posible, se ha utilizado de base un proyecto existente de la Junta de Extremadura. Se trata del *Proyecto de las obras de la Autovía Autónoma EX-A4 de Cáceres a Badajoz, Tramo: A-66 – Sierra del Horno*. Dicho proyecto fue redactado en febrero de 2010 y aprobado en octubre de 2013, aunque su construcción **no ha sido sacada a licitación por falta de financiación a fecha de enero de 2020** [56].

Cabe destacar que el día 17 de abril de 2019, el Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (antiguo Ministerio de Fomento) y la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura suscribieron un acuerdo sobre el cambio de titularidad a favor del Ministerio de Fomento de la carretera EX-100, que va desde Cáceres a Badajoz desde la conexión con la autovía de la Plata A-66 hasta su conexión con la A-5, autovía del Suroeste [57]. Con este cambio de titularidad, la citada carretera cambió su denominación a N-523, integrándose de esta manera en la red de carreteras del Estado.

Una de las consecuencias más importantes derivadas de ese acuerdo que afectan a esta infraestructura es que la Dirección General de Carreteras aprobó provisionalmente el día 19 de junio de 2019 el *Proyecto de Construcción “Autovía A-58 Trujillo – Cáceres – Badajoz. Tramo A-66 – Río Ayuela”*. Provincia de Cáceres, comprendido dentro del proyecto utilizado como base anteriormente mencionado.

Este hecho resulta de especial interés dada la urgencia del proyecto, que se especifica en la resolución de su aprobación (publicada en el BOE el día 24 de junio de 2019). Tras un proceso de información pública previa a la ocupación de bienes y derechos afectados por la ejecución del mismo, y la posterior revisión y actualización de los Documentos que integran dicho proyecto, (publicada en el BOE el día 27 de septiembre de 2019). Las obras necesarias para su construcción serán sacadas a licitación.

Esto quiere decir, que los datos necesarios que hemos obtenido del proyecto base para la realización de este Trabajo de Fin de Máster se ajustan a un proyecto real de construcción.

6.2. Situación y Emplazamiento

La estructura calculada se encuentra en el P.K. 4+680 del *Proyecto de las obras de la Autovía Autónoma EX-A4 de Cáceres a Badajoz, Tramo: A-66 – Sierra del Horno*. En dicho punto está proyectado un Paso Superior (P.S. 4.6) formado por un tablero de tipo losa de 62 m de longitud, un total de tres pilas de un único fuste con sección circular y estribos cerrados sobre terraplenes artificiales. La cimentación de las pilas es del tipo superficial dadas las aptas condiciones del terreno existente.

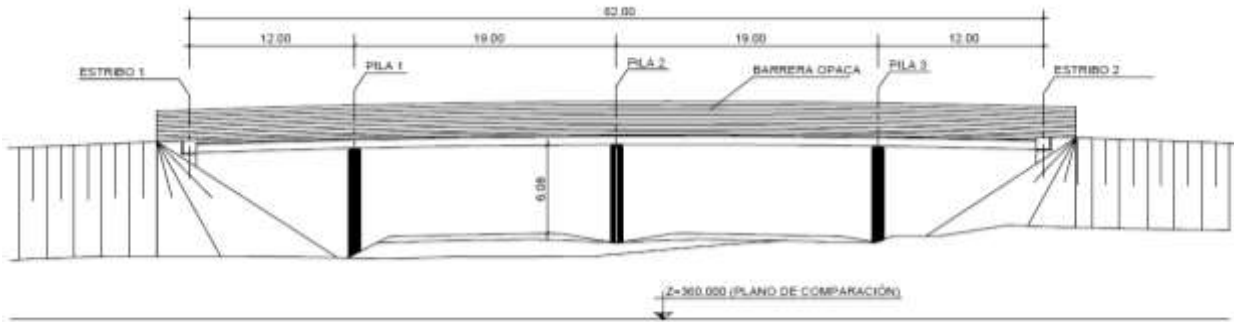


Ilustración 6.1. Alzado del Paso Superior proyectado. Fuente: Proyecto Original

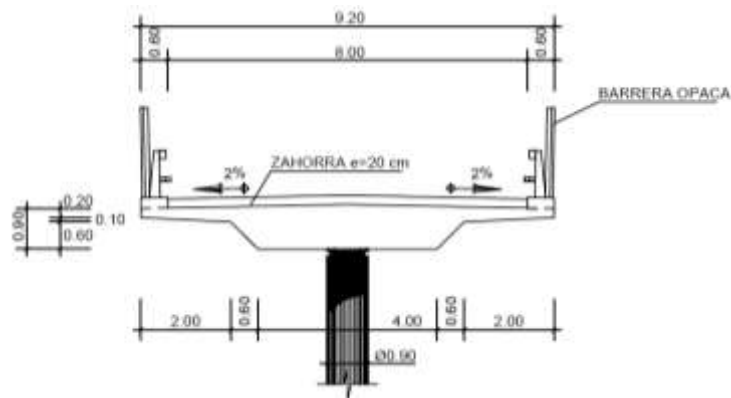


Ilustración 6.2. Sección transversal del tablero del Paso Superior proyectado. Fuente: Proyecto Original

Posteriormente en el siguiente Capítulo se detallarán con alto grado de detalle todas las dimensiones tanto en alzado como en planta, así como la sección transversal del tablero.

Retomando el propósito de este Apartado, el Paso Superior se ubicará a 20 Km al Suroeste de la ciudad de Cáceres tomando la EX-100, más concretamente en el enclave de coordenadas UTM:

X: 721.959 m; Y: 4.365.351 m

Referidas al sistema ETRS89, huso 29.

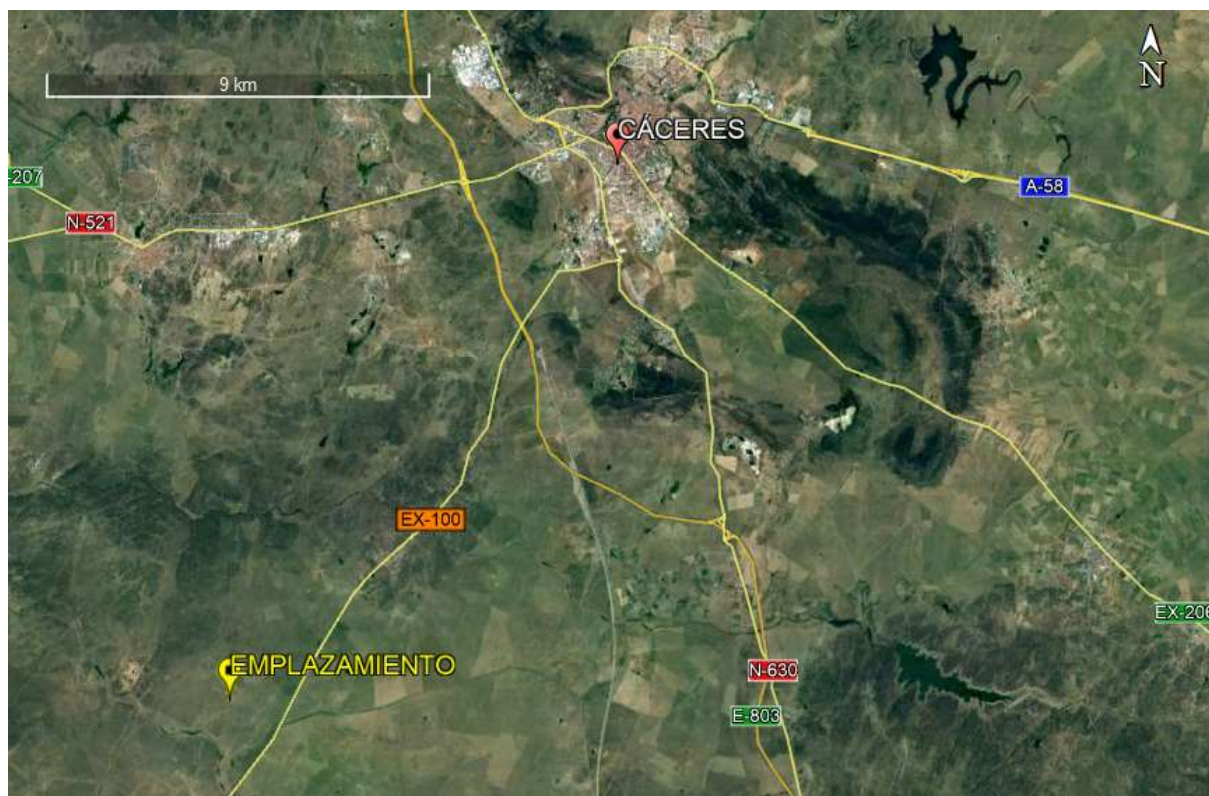


Ilustración 6.3. Emplazamiento del Paso Superior. Fuente: Google Earth®

6.3. Descripción de la Solución

6.3.1. Tipología Estructural

Para la selección de una tipología correcta de puente se ha atendido a los siguientes condicionantes:

- **Luz de vanos:** En este caso en particular, nos encontramos con una estructura que posee un total de 4 vanos, siendo los dos vanos extremos de 12 m y los dos centrales de 19 m de longitud. Para luces cortas y medias (<50 m) son válidos tanto los tableros tipo losa, cuyo rango habitual de luces se sitúa en torno a los 30-40 m, como los tableros formados por vigas prefabricadas, que pueden alcanzar fácilmente luces de 40-50 m. Se descartan por completo las tipologías de puentes en arco, atirantados o colgantes por el elevado coste que supondría respecto a las dos tipologías inicialmente propuestas.
- **Trazado en planta:** El trazado en planta de este paso superior es recto, siendo su eje perpendicular al eje de la autovía. Para este condicionante también serían válidas ambas opciones planteadas, aunque en este caso, la ventaja que presentan los puentes losa frente a los puentes de vigas prefabricadas, al poder adaptarse a trazados curvos o variables debido a que se hormigonan in situ, resulta indiferente.
- **Proceso constructivo:** En este aspecto toma ventaja el puente de vigas prefabricadas respecto a los puentes tipo losa al no precisar de apoyo en el terreno. Los puentes losa, al estar hormigonados in situ, precisan de una cimbra para la ejecución del tablero. Con un tablero de vigas prefabricadas, además de evitar la disposición de una cimbra, también conseguimos que los medios de montaje necesarios sean de poca importancia, al manejar pesos más reducidos.

Otros aspectos positivos que se le pueden atribuir a la construcción de puentes de vigas prefabricadas es la reducción de los plazos de ejecución, así como una gran calidad en el acabado de los materiales. Por el contrario, el principal inconveniente que tienen los puentes de vigas prefabricadas es el transporte y colocación de grandes elementos. Pero como en este caso, la mayor de las vigas sería de 19 m de longitud, hace que su transporte hasta el lugar de emplazamiento sea factible, y más teniendo en cuenta

que se encuentra próximo a la Autovía de la Plata (A-66) y a la Carretera N-523, por lo que el acceso no debe suponer a priori ningún impedimento.

Por lo anteriormente comentado, la tipología para el nuevo Paso Superior será un **tablero isostático de vigas prefabricadas**. Entrando en mayor grado de detalle, éstas a su vez pueden ser vigas “artesa” (a) o en sección doble “T” (b).

La selección de un tipo u otro de sección dependerá en gran medida de las cargas que vaya a soportar la estructura; respecto a la respuesta resistente en general, la viga “artesa” es más eficaz que la doble “T”, dado que al tener una mayor rigidez a la torsión mejora los mecanismos de reparto transversal en el tablero. Por el contrario, es mucho más pesada al ser de mayores dimensiones, y además de tener un proceso de fabricación mucho más costoso [58].

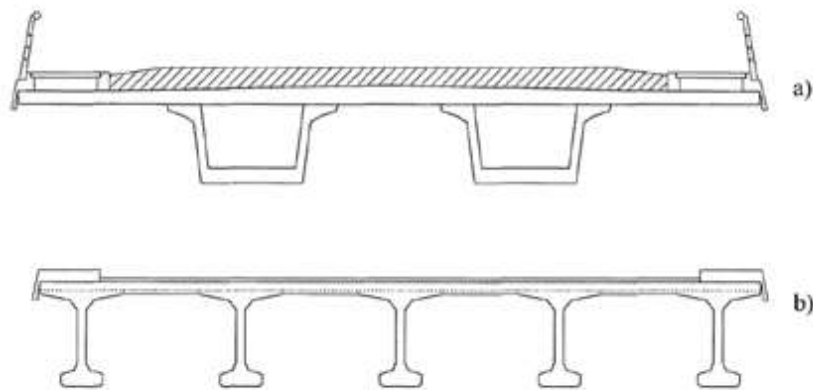


Ilustración 6.4. Tipos de vigas prefabricadas. Fuente: Manterola, Javier “Puentes I”[58]

Las vigas “artesa” suelen colocarse en aquellos casos donde se requiere un número reducido de vigas, y que además tengan una sección con un gran radio de giro, para resistir las grandes variaciones de momentos flectores que soporta la estructura. El ejemplo más típico se produce en los puentes de ferrocarril, donde los momentos debidos a la sobrecarga son mucho mayores que los debidos a la carga permanente, por lo que es necesario mantener a la sección en constante estado de compresión para que pueda hacer frente a las oscilaciones de tensión producidas en los cables de pretensado, evitando así la posible aparición de problemas de fatiga.

En los puentes de carretera mantener a la sección en permanente estado de compresión no es una condición indispensable, puesto que los momentos flectores debidos a la sobrecarga son menores que los debidos a las cargas permanente.

En este caso, seleccionaremos un tablero de vigas prefabricadas en sección doble “T”, al primar el factor económico en su conjunto, la facilidad de transporte y de montaje.

6.3.2. Proceso Constructivo

En el diseño de la estructura se ha tenido en cuenta que la afcción a la ejecución de autovía sea mínima. A pesar de que la construcción de la nueva autovía no sea objeto de este TFM, se supondrá coetánea a la construcción de la estructura.

En primer lugar, se excavarán las cimentaciones de las pilas. Puesto que serán hormigonadas in situ, en el espacio excavado se colocarán las armaduras y las esperas para unir la cimentación con los fustes de las pilas. Acto seguido, se colocarán los encofrados y se hormigonarán éstas. El mismo procedimiento se seguirá con los fustes y el dintel de las pilas.

Una vez ejecutadas las pilas, se realizará la construcción de los terraplenes artificiales que servirán como sustento de los estribos. Los terraplenes, al estar ejecutados con material granular, deberán ser correctamente extendidos

en tongadas y compactados antes de proceder a la construcción de los estribos. El procedimiento de construcción de los estribos será similar al de las pilas al ser hormigonados in situ, es decir, primero se dispondrá la armadura de las distintas partes que los componen, luego se colocarán los encofrados y se finalizará con el vertido y curado del hormigón.

El proceso constructivo del paso superior continuará con la colocación de los elementos de apoyo, anclándolos a los estribos y al dintel de las pilas, (esta decisión adoptada se detallará con profundidad en el siguiente Capítulo).

El siguiente paso será situar las vigas en sus respectivas posiciones, que serán llevadas desde la fábrica al emplazamiento mediante góndolas y colocadas directamente utilizando un camión grúa de un tonelaje adecuado.

Puesto que como hemos comentado anteriormente, evitaremos el apoyo en el terreno durante la fase de construcción, para la ejecución de la losa deberán disponerse unas prelosas apoyadas sobre las cabezas de las vigas ya colocadas que actúen a modo de encofrado perdido. A partir de esta fase, la losa podrá hormigonarse in situ con un procedimiento similar al llevado a cabo para las pilas y estribos.

Una vez curado el hormigón de la losa, se extenderá la mezcla bituminosa que servirá como capa de rodadura, y por último, se colocarán los elementos de defensa.

6.4. Normativa Aplicada

Para la realización del cálculo de las estructuras contempladas en el presente Trabajo de Fin de Máster, se han considerado las siguientes normativas:

Acciones:

- **INSTRUCCIÓN IAP-11**: “Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera” (2012).
- **NCSE-02**: “Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación” (2009).
- **NCSP-07**: Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (2008)
- Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera (2009)
- Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera (1995).

Estructuras de hormigón:

- **EHE-08**: “Instrucción de Hormigón Estructural” (2008).

Aparatos de apoyo:

- **UNE-EN 1337-3**: Apoyos estructurales. Parte 3: Apoyos elastoméricos (2005).

6.5. Parámetros Geotécnicos

Para la obtención de los parámetros geotécnicos del emplazamiento se ha consultado el Anejo de *Geotecnia de Cimentaciones*, incluido en el proyecto original. Para la zona que estamos tratando, nos encontramos que se encuentra situada en una gran extensión ocupada prácticamente en su totalidad por granito biotítico, tal y como se muestra en las siguientes ilustraciones:



Ilustración 6.5. Vista en planta de la cartografía geológico-geotécnica del emplazamiento. Fuente: Proyecto Original

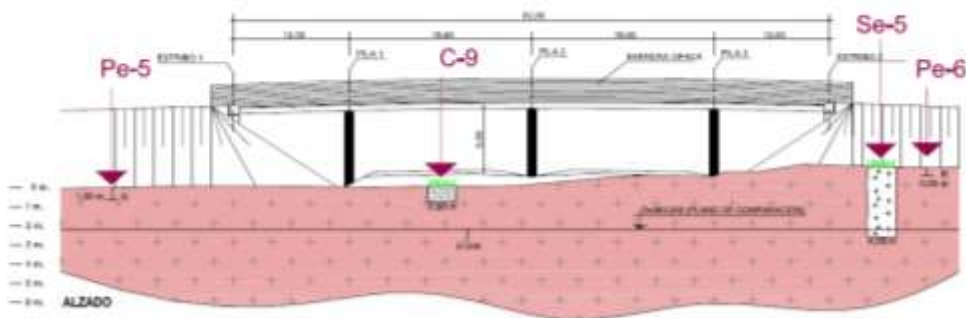


Ilustración 6.6. Perfil estratigráfico del emplazamiento. Fuente: Proyecto Original

Los parámetros geotécnicos directamente obtenidos del proyecto para este material son los siguientes:

Tabla 6.1. Parámetros geotécnicos para la cimentación de pilas

GRANITO BIOTÍTICO	
Peso específico aparente (γ)	25 KN/m ³
Tensión admisible (σ_{adm})	400 – 500 KN/m ²
Módulo de Balasto Vertical (K_{SBL})	100.000 KN/m ³

La cimentación de cada estribo, sin embargo, ha de construirse sobre terraplenes artificiales, por lo que deberemos elegir un material apropiado y hallar sus parámetros, acorde a un rango de valores reales.

En este caso, el material que conformará los terraplenes será una grava bien graduada con un bajo contenido en finos. Para un material de estas características, *la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera* establece los siguientes parámetros preliminares, a partir de los cuales obtendremos el resto de parámetros necesarios para la realización de los cálculos:


TIPO DE SUELO		PESO ESPECÍFICO SECO (kN/m ³)	COHESIÓN EFECTIVA c' (kPa)	ÁNGULO DE ROZAMIENTO EFECTIVO ψ' (°)	MÓDULO DE DEFORMACIÓN E _d (MPa)
Gravas		17-22	0	25-40	20-50

Figura 6.1. Características preliminares de gravas. Fuente: Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera

En primer lugar, tomamos como Peso Específico Seco un valor intermedio de 19 KN/m³. Según Matías, Agustín [59], el Peso específico aparente de un suelo se puede obtener a partir de la relación:

$$\gamma = \frac{\text{Peso Total}}{\text{Volumen total}} = \frac{W}{V} = \frac{G_s + S_r e}{1 + e} \gamma_w$$

Donde

G_s: Peso específico relativo de las partículas sólidas. En general, para una grava toma el valor de 2,6 – 2,7.

S_r: Grado de saturación del suelo. S_r = 0 (0%) corresponde a un suelo totalmente seco, y S_r = 1 (100%) a un suelo totalmente saturado.

e: Índice de poros de la grava.

γ_w: Peso específico del agua. Se toma el valor aproximado de 10 KN/m³.

A partir de la expresión para el Peso Específico Seco (γ_d) se puede obtener el índice de poros, utilizando para ello un grado de saturación de S_r = 0:

$$\gamma_d = \frac{\text{Peso Sólido}}{\text{Volumen total}} = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$$

$$e = \left(G_s \frac{\gamma_w}{\gamma_d} \right) - 1$$

$$e = \left(2,65 \cdot \frac{10}{19} \right) - 1 = 0,394 \approx 0,4$$

Con este parámetro, podemos hallar el Peso Específico Aparente (γ) con un grado de saturación del 55 %, que corresponde a una situación normal dada la humedad de la zona, y el Peso Específico Saturado (γ_s):

$$\gamma = \frac{2,65 + 0,55 \cdot 0,4}{1 + 0,4} \cdot 10 = 20,50 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_s = \frac{2,65 + 1 \cdot 0,4}{1 + 0,4} \cdot 10 = 21,78 \approx 22 \text{ KN/m}^3$$

Otro parámetro a calcular es el Coeficiente o Módulo de Balasto, K_s, que se define como la relación entre la presión que actúa en un punto, p, y el asiento que se produce, y, es decir K_s = p/y. Aunque este parámetro depende de las propiedades del terreno, no es una constante del mismo ya que también depende de las dimensiones del área que carga contra el terreno.

Los valores proporcionados según diversos autores están referidos a un ensayo en una placa de carga de 30x30 cm (K_{s30}), por lo que habrá que tomar un valor y extrapolarlo a una cimentación rectangular de dimensiones BxL, como es nuestro caso.

Según el CTE⁴ [60] el Módulo de Balasto Vertical para una grava compacta (K_{s30}) puede tomar valores entre los 120 – 300 MN/m³, Tomaremos un valor intermedio de 210 MN/m³ y calcularemos este parámetro para una

⁴ Código Técnico de la Edificación

zapata de dimensiones 2,50x9,40 m, que serán las que tendrá la cimentación de cada estribo.

El Módulo de Balasto Vertical para una zapata cuadrada de ancho B en terrenos granulares se calcula como [60]:

$$K_{sB} = K_{s30} \left(\frac{B + 0,3}{2B} \right)^2 ; K_{sB} = 210 \left(\frac{2,50 + 0,3}{2 \cdot 2,50} \right)^2 = 65,86 \text{ MN/m}^3$$

Para una zapata rectangular de dimensiones $B \times L$:

$$K_{sBL} = \frac{2}{3} K_{sB} \left(1 + \frac{B}{2L} \right) ; K_{sBL} = \frac{2}{3} 65,86 \left(1 + \frac{2,50}{2 \cdot 9,40} \right) = 49,74 \text{ MN/m}^3$$

En este caso, tomaremos un valor redondeado de $K_{sBL} = 50 \text{ MN/m}^3 = 50.000 \text{ KN/m}^3$.

A continuación, se muestra una tabla resumen con los valores adoptados para los parámetros geotécnicos de la grava, tanto los aquí calculados como otros que se han tomado en base a materiales de características similares por falta de mayor concreción de datos:

Tabla 6.2. Parámetros geotécnicos para la cimentación de los estribos

GRAVA	
Peso específico (γ_d)	19 KN/m ³
Peso específico aparente (γ)	20,5 KN/m ³
Peso específico saturado (γ_s)	22 KN/m ³
Ángulo de rozamiento interno (ϕ')	30°
Cohesión efectiva (c')	0 KN/ m ²
Tensión admisible (σ_{adm})	200 KN/m ²
Módulo de Balasto Vertical (K_{sBL})	50.000 KN/m ³

6.6. Materiales Empleados

Los materiales empleados para el nuevo Paso Superior serán fundamentalmente hormigón y acero.

En primer lugar, debemos especificar la vida útil de la estructura, que según el Art. 5 de la EHE-08, y el Ap. 2 de la IAP-11, para puentes de carretera se toma el valor de 100 años.

También deberemos conocer las características que debe cumplir un hormigón dependiendo del ambiente al que esté expuesto. Con la aplicación informática del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana [61] es posible saber la clase de ambiente en cada municipio de España. Para el caso de Cáceres, que es el municipio más cercano, nos encontramos ante un ambiente IIB⁵, obteniendo los siguientes datos:

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (t_p), (años)	
			50	100
II b	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	35
		$f_{ck} \geq 40$	20	30

Figura 6.2. Recubrimientos mínimos (mm) para la clase general de exposición IIB. Fuente: EHE – 08.

⁵ Tabla 8.2.2. de la EHE-08: "Instrucción del Hormigón Estructural"

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Iib
		Resistencia mínima (N/mm ²)
	Armado	30
	Pretensado	30

Figura 6.3. Resistencia mínima (N/mm²) para la clase general de exposición Iib. Fuente: EHE – 08

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Iib
		Máxima relación a/c
Armado	0,55	
Pretensado	0,55	
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	Masa	—
	Armado	300
	Pretensado	300

Figura 6.4. Parámetros de dosificación para la clase general de exposición Iib. Fuente: EHE – 08

A efectos de la designación que establece la EHE-08, para el dimensionamiento de los distintos elementos que componen las estructuras y para la realización de los cálculos de comprobación de los mismos, se ha considerado la utilización de los siguientes hormigones:

Tabla 6.3. Tipos de hormigones utilizados

Elemento Estructural	Hormigón	Resistencia Característica f_{ck}
Vigas Prefabricadas	HP-55/B/20/Iib	55 N/mm ²
Losa del Tablero	HA-30/B/20/Iib	30 N/mm ²
Prelosas	HA-30/B/20/Iib	30 N/mm ²
Pilas	HA-30/B/20/Iib	30 N/mm ²
Estribos	HA-30/B/20/Iib	30 N/mm ²
Zapatas	HA-30/B/20/Iib	30 N/mm ²
Capa de Nivelación	HL-150/B/20	-

Respecto al material utilizado en las armaduras, se han considerado los siguientes aceros:

Tabla 6.4. Tipos de acero utilizados

Elemento	Función	Acero	Carga unitaria máxima $f_{máx}$
Vigas Prefabricadas	Armadura activa de pretensado	Y 1860 C	1.860 N/mm ²
Losa del Tablero	Armadura pasiva	AP500 S	500 N/mm ²
Pilas	Armadura pasiva	AP500 S	500 N/mm ²
Estribos	Armadura pasiva	AP500 S	500 N/mm ²
Zapatas	Armadura pasiva	AP500 S	500 N/mm ²

Para un control estadístico intenso en elementos prefabricados, normal en la ejecución del hormigón, e intenso en la del acero, se han adoptado los siguientes coeficientes de minoración de la resistencia, para el estudio de los

Estados Límites Últimos⁶:

Situación de proyecto	Hormigón γ_c	Acero pasivo y activo γ_s
Persistente o transitoria	1,5	1,15
Accidental	1,3	1,0

Figura 6.5. Coeficientes de seguridad de los materiales para ELU. Fuente: EHE – 08

6.7. Recubrimientos

El recubrimiento total que se aplicarán a los distintos elementos de hormigón armado vendrá determinado, según el Art. 372.2 de la EHE-08, por:

$$r_{nom} = r_{mín} + \Delta_r$$

Donde:

r_{nom} : Recubrimiento nominal

$r_{mín}$: Recubrimiento mínimo

Δ_r : Resguardo. Dependerá del nivel de control de ejecución.:

- 0 mm en elementos prefabricados con control intenso de ejecución.
- 5 mm en elementos ejecutados *in situ* con nivel intenso de ejecución.
- 10 mm en el resto de los casos

El recubrimiento nominal, para una clase de ambiente IIb, se toma de la **Figura 4.2.**:

Tabla 6.5. Recubrimientos adoptados para los distintos elementos estructurales

Elemento	Cemento	$r_{mín}$ (mm)	Δ_r (mm)	$r_{nom} = r_{mín} + \Delta_r$ (mm)
Vigas Prefabricadas	CEM I	25	0	25
Losa del tablero	CEM II/A-S	35	10	45
Pilas	CEM II/A-S	35	10	45
Estribos	CEM II/A-S	35	10	45
Zapatas	CEM II/A-S	35	10	45

6.8. Coeficientes de Seguridad

La comprobación de los elementos estructurales se realizará siguiendo las directrices que se indican en el Ap. 2.3.3. de IAP-11.

Para la verificación de *ELU de rotura* (STR) se cumplirá que:

$$E_d \leq R_d$$

Siendo:

E_d : Valor de cálculo del efecto de las acciones obtenido para una determinada comprobación, según se indica en el Capítulo 6 de dicha normativa.

R_d : Valor de cálculo de la resistencia correspondiente

⁶ En adelante, ELU

Por su parte, la verificación en *Estados Límites de Servicio*⁷ deberá satisfacer la siguiente condición:

$$E_d \leq C_d$$

Siendo:

C_d : Valor límite del efecto de las acciones para *ELS* considerado.

Para el cálculo del valor de las distintas acciones en la comprobación de cada *Estado Límite* se han adoptado los siguientes coeficientes parciales:

- **Estados Límites Últimos (ELU)**

Tabla 6.6. Coeficientes para las acciones en ELU

ACCIONES	SITUACIONES PERSISTENTES Y TRANSITORIAS		SITUACIONES ACCIDENTALES	
	FAV.	DESFAV.	FAV.	DESFAV.
PERMANENTE DE VALOR CONSTANTE (G)	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
PERMANENTE DE VALOR NO CONSTANTE (G*)	Pretensado P1	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Otras presolicitaciones	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Reológicas	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,35$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Empuje del terreno	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
VARIABLE (Q)	Sobrecarga de uso	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,35$	$\gamma_Q = 0,00$
	SC de uso en terraplén	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$
	Acciones climáticas	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$
	SC de construcción	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,35$	$\gamma_Q = 0,00$
ACCIDENTAL (A)	-	-	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

- **Estados Límites de Servicio (ELS)**

Tabla 6.7. Coeficientes para las acciones en ELS

ACCIONES	SITUACIONES PERSISTENTES Y TRANSITORIAS	
	FAVORABLE	DESFAVORABLE
PERMANENTE DE VALOR CONSTANTE (G)	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
PERMANENTE DE VALOR NO CONSTANTE (G*)	Pretensado P1 (arm. pretesas)	$\gamma_{G^*} = 0,95$
	Otras Presolicitaciones	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Reológicas	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Empuje del Terreno	$\gamma_{G^*} = 1,00$
VARIABLE (Q)	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

⁷ En adelante, ELS

6.9. Acciones de Cálculo

Para la definición de las acciones de diversa índole que actúan sobre la estructura se han tenido en consideración las directrices indicadas en la *IAP-11*.

6.9.1. Acciones Permanentes (G)

Se considerarán en este Apartado el peso propio del hormigón y las cargas muertas que actúan en el tablero, que en este caso son el pavimento, las aceras y los elementos de defensa y seguridad (pretilos). Para una longitud unitaria (L), y dimensiones de ancho (b) y espesor (e), las cargas permanentes que actúan sobre la superestructura quedan resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 6.8. Cargas Permanentes (G) que actúan sobre la estructura.

TIPO DE CARGA	PESO	b (m)	e (m)	CARGA (KN/m ²)	% Inc. CARGA ⁸
Peso propio hormigón	25,00 (KN/m ³)		1,00	25,00	0,00%
Acera (hormigón)	25,00 (KN/m ³)		0,20	5,00	0,00%
Elem. Seguridad y defensa	1,20 (KN/m)	0,60		2,00	0,00%
Pavimento bituminoso	23,00 (KN/m ³)		0,05	1,15	50,00%

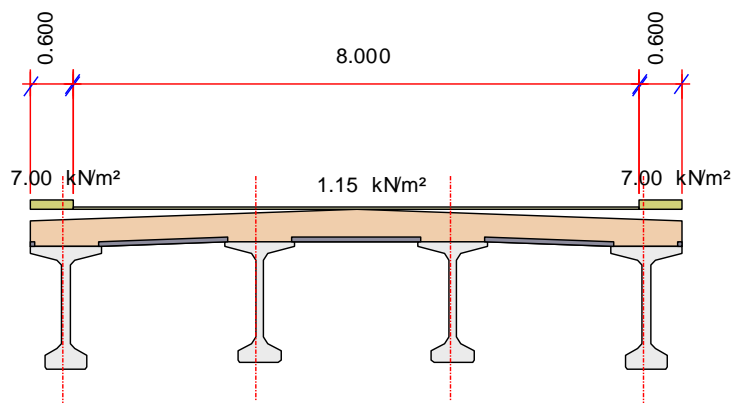


Ilustración 6.7 Acciones Permanentes sobre la superestructura. Fuente: El. prop.

6.9.2. Acciones Permanentes de Valor no Constante (G*)

Se considerarán en este Apartado todas aquellas acciones presentes a lo largo de la vida útil de estructura, pudiendo inducir esfuerzos a la misma, pero cuya magnitud no permanece constante.

6.9.2.1. Presolicitaciones. Pretensado

Únicamente se considerará la acción del Pretensado *Tipo P1*, que según el Art. 3.2.1.1. de la *IAP-11* es, cito textualmente: “la inducida por elementos colocados dentro del contorno de la sección estructural de hormigón (pretensado interior), o fuera de la sección pero dentro del canto de la estructura (pretensado exterior).”

En nuestro caso, los únicos elementos estructurales que soportarán la acción del pretensado serán las vigas, que al ser prefabricadas, en primer lugar se tensarán los cordones (pre-tesado), posteriormente se hormigonarán, y cuando el hormigón haya adquirido la suficiente resistencia⁹ se cortarán dichos cordones, transfiriendo los esfuerzos de pretensado al hormigón por rozamiento.

⁸ Art. 3.1.2 de la *IAP-11*

⁹ Posteriormente, en el Apartado 7.2.2 se profundizará con mayor grado de detalle.

6.9.2.2. Acciones reológicas

Se considerarán como acciones reológicas aquellas producidas por la fluencia y la retracción del hormigón, cuyos coeficientes serán calculados conforme a lo especificado en los Art. 39.8 y 39.9 de la EHE-08 respectivamente, para los cuales se tomará como Humedad Relativa de referencia un valor del 65 %, que es la existente en la zona de Cáceres, tal y como se puede apreciar en la siguiente Ilustración:



Ilustración 6.8. Humedad Relativa Media anual en España. Fuente: Google

6.9.2.3. Empuje del Terreno

El empuje del terreno se considerará como una Acción Variable, conforme a lo especificado a continuación en el **Apartado 6.9.3**.

6.9.2.4. Asientos del Terreno de Cimentación

No se considerarán asientos del Terreno de Cimentación puesto que la cimentación de las pilas se efectuará sobre una roca sana (en este caso granito biotítico) y la de los estribos sobre un terraplén artificial de grava, que se deberá compactar correcta e intencionadamente precisamente para evitar estos asientos.

6.9.2.5. Rozamiento de Apoyos Deslizantes

No se considerará el rozamiento de apoyos deslizantes, puestos que éstos estarán anclados al elemento estructural que soporta el tablero, ya sean pilas o estribos. El hecho de que los apoyos estén anclados mediante pernos y no sean del tipo deslizantes o unidos a la estructura se explicará detenidamente en el **Apartado 7.5**.

6.9.3. Acciones Variables (Q)

Se considerarán como Acciones Variables aquellas acciones externas a la estructura, pudiendo actuar sobre ella o no, y además en el caso de actuar, pudiéndolo hacer con diferentes valores.

6.9.3.1. Sobrecarga de Uso

División de la Plataforma en Carriles Virtuales

En primer lugar, se dividirá la plataforma en una serie de carriles virtuales, conforme a lo especificado en la siguiente Figura (Tabla 4.1–a de la IAP–II):

ANCHURA DE LA PLATAFORMA (w)	NÚMERO DE CARRILES VIRTUALES (n_i)	ANCHURA DEL CARRIL VIRTUAL (w_i)	ANCHURA DEL ÁREA REMANENTE
$w < 5,4$ m	$n_i = 1$	3 m	$w - 3$ m
$5,4$ m $\leq w < 6$ m	$n_i = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$w \geq 6$ m	$n_i = \text{ent} \left(\frac{w}{3} \right)$	3 m	$w - 3n_i$

Figura 6.6. Definición de los Carriles Virtuales. Fuente: IAP-11

En nuestro caso, al tener una plataforma (w) de 8,00 m dispondremos un total de 2 carriles virtuales (n_i) de 3,00 m de anchura cada uno, por lo que la anchura del área remanente, de acuerdo con la Figura anterior, será de 2,00 m.

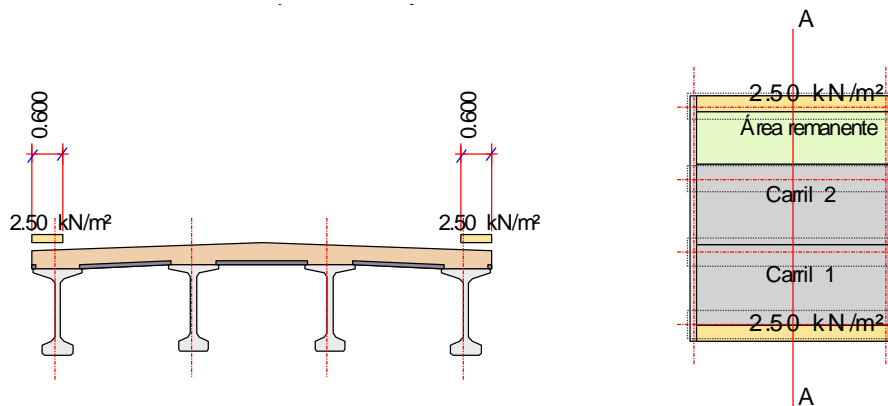


Ilustración 6.9 Acciones variables. Sección del tablero (izda.) y definición de carriles virtuales, hipótesis 2 (dcha.). Fuente: El. prop.

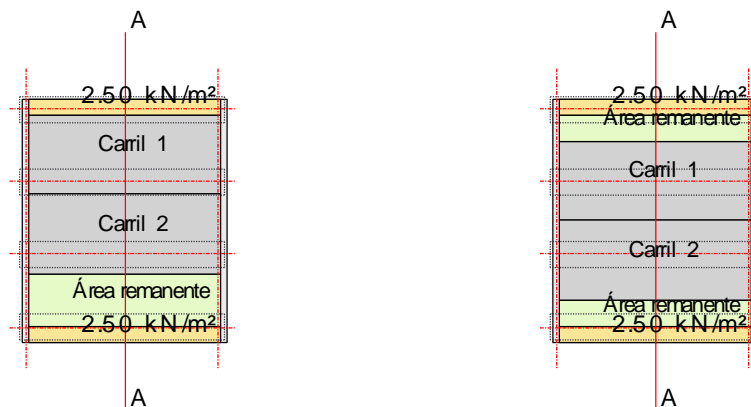


Ilustración 6.10 Acciones variables. Definición de carriles virtuales hipótesis 1 (izda.) e hipótesis 3 (dcha.). Fuente: El. prop..

Cargas Verticales debidas al Tráfico de Vehículos

Se considerará la acción simultánea de las siguientes cargas:

SITUACIÓN	VEHÍCULO PESADO $2Q_i$ (KN)	SOBRECARGA UNIFORME q_u (ó q_v) (KN/m ²)
Carril virtual 1	2 - 300	9,0
Carril virtual 2	2 - 200	2,5
Área remanente (q_r)	0	2,5

Figura 6.7. Valor característico de la Sobrecarga de Uso. Fuente: IAP-11

Para las cargas verticales debidas al tráfico de vehículos se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- En cada carril virtual únicamente se considerará la acción de un único vehículo pesado de peso total $2Q_i$, siendo Q_i el peso de cada eje en KN.
- Se supondrá que cada vehículo actúa de manera centrada en el carril virtual, a efectos de las comprobaciones generales.
- Las dos ruedas de cada eje tendrán la misma carga, siendo por lo tanto la carga de cada una de ellas de $0,5Q_i$.
- La separación transversal entre ruedas de un mismo eje será de 2,00 m, mientras que la distancia longitudinal entre ejes será de 1,20 m.
- Para comprobaciones locales, se supondrá que la carga total de cada vehículo pesado se repartirá uniformemente en entre cada una de las ruedas con una huella de 0,4x0,4 m, que a su vez se repartirá desde pavimento hasta el centro de la losa con una pendiente de 1H:1V.
- Para comprobaciones locales, el vehículo pesado se situará transversalmente en la posición más desfavorable dentro del carril virtual. En el caso de considerar dos vehículos en carriles virtuales adyacentes, la distancia entre ruedas deberá ser mayor o igual que 0,5 m.

Las sobrecargas uniformemente repartidas (q_{ik}) se extenderán, longitudinal y transversalmente, a todas las zonas donde su efecto resulte desfavorable para el elemento de estudio, incluso en aquellas zonas ya ocupadas por algún vehículo pesado.

Cargas Verticales en la Zona Peatonal

Dado que en la zona no destinada a la circulación de vehículos, es decir, los extremos del tablero en los que se ubicarán los elementos de seguridad y defensa, no será posible el tránsito de personas, se considerará el valor reducido de las cargas que actúan en dichas zonas, esto es, 2,5 KN/m² (Tabla 4.1-c de la IAP-11).

Cargas Horizontales

Son las provocadas por el frenado, arranque o cambio de velocidad en los vehículos, y por el efecto de la fuerza centrífuga.

En primer lugar, se calcula la carga debida al frenado y arranque como:

$$Q_{lk} = 0,6 \cdot 2 Q_{ik} + 0,1 \cdot q_{ik} w_i L$$

Siendo L la distancia entre juntas contiguas, que en nuestro caso, y como más desfavorable, la tomamos como 19 m, que es la luz del vano más largo.

El resto de parámetros son los indicados en la **Figura 4.6**. Por tanto, tenemos que:

$$Q_{lk} = 0,6 \cdot 600 + 0,1 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 19 = 411,30 \text{ KN}$$

Por otro lado, no se considerará el efecto de la fuerza centrífuga puesto que el tablero es de planta recta.

Sobrecarga de Uso en Terraplenes Adyacentes a la Estructura

Conforme a lo especificado en el Ap. 4.1.6. de la *IAP-II*, se tomará el modelo simplificado consistente en una sobrecarga uniforme de 10 KN/m^2

Empujes sobre Barandillas

Conforme a lo especificado en el Ap. 4.1.7 de la *IAP-II*, se adoptará una carga de $1,5 \text{ KN/m}$.

6.9.3.2. Viento

Velocidad Básica del Viento

La velocidad básica del viento v_b , se calculará como:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Donde:

c_{dir} es el factor direccional del viento, que se toma el valor de 1,00

c_{season} es el factor estacional del viento que se toma el valor de 1,00

$v_{b,0}$ es la velocidad fundamental del viento (m/s), que se toma de la siguiente Figura dependiendo de la zona donde se encuentre ubicada la estructura:

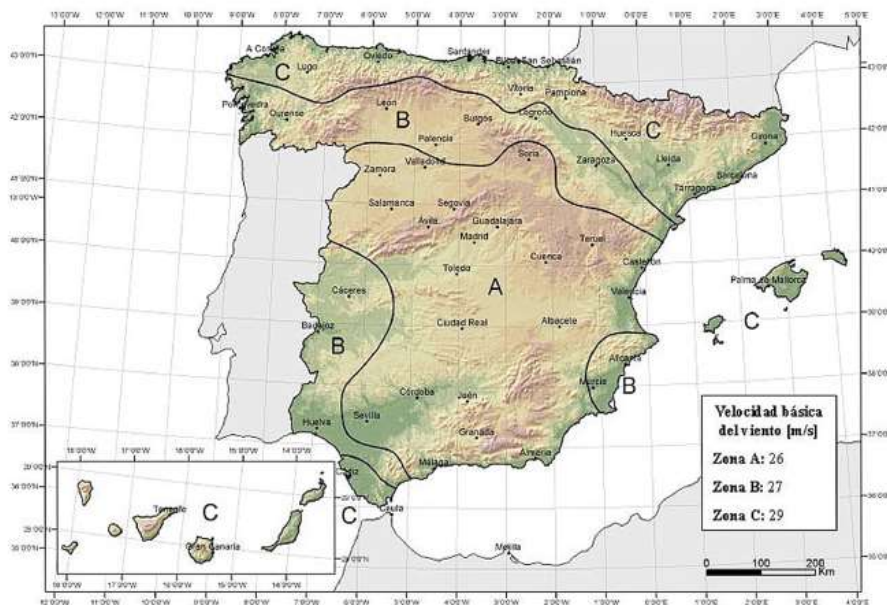


Figura 6.8. Mapa de Isotacas para la obtención de $v_{b,0}$. Fuente: CTE DB SE-AE

Para Cáceres, situada en la Zona B, tomamos el valor de $v_{b,0}$ igual a 27 m/s , siendo por tanto:

$$v_b = 27 \text{ m/s}$$

La normativa especifica que para el valor de $v_{b,0}$ se toma para un periodo de retorno (T) de 50 años. Para periodos de retorno distintos a 50 años se tomará:

$$v_b(T) = c_{prob} \cdot v_b$$

Donde c_{prob} es un coeficiente de probabilidad, que para situaciones persistentes con un periodo de retorno considerado de $T = 100$ años, toma el valor de 1,04, por lo que de este modo:

$$v_b(100) = 1,04 \cdot 27 = 28,08 \text{ m/s}$$

Para situaciones transitorias se tomarán los siguientes periodos de retornos:

DURACIÓN DE LA SITUACIÓN	PERIODO DE RETORNO, T (AÑOS)
< 3 días	2
> 3 días y < 3 meses	5
> 3 meses y < 1 año	10
> 1 año	50

Figura 6.9. Periodos de Retorno para Situaciones Transitorias. Fuente: IAP-11.

Velocidad Media del Viento

La velocidad media del viento $v_m(z)$, a una altura z sobre el terreno dependerá de la rugosidad del terreno, de la topografía y de la velocidad básica del viento v_b y se determinará, de acuerdo con el Ap. 4.2.2. de la IAP-11 mediante la siguiente expresión:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0 \cdot v_b(T)$$

Donde:

$v_b(T)$ velocidad básica del viento (m/s) para un periodo de retorno considerado T , anteriormente calculada.

c_0 factor de topografía, que habitualmente tomará el valor de 1,00.

$c_r(z)$ factor de rugosidad, obtenido de las siguientes fórmulas:

$$c_r(z) = k_r \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \text{ para } z \geq z_{\min}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ para } z < z_{\min}$$

Siendo:

z la altura del punto de aplicación del empuje del viento respecto del terreno (m).

k_r el factor del terreno

z_0 la longitud de rugosidad (m).

z_{\min} la altura mínima (m).

Los tres últimos parámetros se toman de la siguiente Figura, correspondiente a la Tabla 4.2-b de la IAP-11:

TIPO DE ENTORNO	k_r	z_0 (m)	z_{\min} (m)
0	0,156	0,003	1
I	0,170	0,01	1
II	0,190	0,05	2
III	0,216	0,30	5
IV	0,235	1,00	10

Figura 6.10. Coeficientes según el tipo de entorno. Fuente: IAP-11

En nuestro caso, consideramos un entorno *Tipo II*, que se refiere a zonas rurales con vegetación baja y obstáculos aislados, como árboles, construcciones pequeñas, etc.

De esta manera, para distintas alturas z , la velocidad media del viento $v_m(z)$ toma los siguientes valores:

Tabla 6.9. Parámetros para el cálculo de $v_m(z)$

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
$v_b(T)$	28,08	m/s
c_0	1,00	
k_r	0,19	
z_0	0,05	m
$z_{mín}$	2,00	m

Tabla 6.10. Valores de $v_m(z)$ para distintas alturas de aplicación

z (m)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$c_r(z)$	0,70	0,70	0,83	0,91	0,96	1,01	1,04	1,07	1,10	1,12	1,14
$v_m(z)$ (m/s)	19,68	19,68	23,38	25,54	27,08	28,27	29,24	30,06	30,78	31,40	31,97

Empuje del Viento

El empuje del viento sobre cualquier elemento se calculará mediante la expresión:

$$F_w = \left[\frac{1}{2} \rho v_b^2(T) \right] c_e(z) c_f A_{ref}$$

Siendo:

F_w Empuje horizontal del viento (N).

$\left[\frac{1}{2} \rho v_b^2(T) \right]$ Presión de la velocidad básica del viento (N/m²).

ρ Densidad del aire, que se tomará igual a 1,25 Kg/m³.

$v_b(T)$ Velocidad básica del viento (m/s) para un periodo de retorno T en años.

c_f Coeficiente de fuerza del elemento considerado.

A_{ref} Área de referencia, que se obtendrá como la proyección del área sólida expuesta sobre el plano perpendicular a la dirección del viento (m²).

$c_e(z)$ Coeficiente de exposición en función de la altura z calculado según la fórmula siguiente:

$$c_e(z) = k_r^2 \left[c_0^2 \ln^2 \left(\frac{z}{z_0} \right) + 7 k_l c_0 \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right] \text{ para } z \geq z_{mín}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{mín}) \text{ para } z < z_{mín}$$

Donde:

k_l Factor de turbulencia, que se tomará igual a 1,00

$c_0, z_0, z_{mín}$ Coeficientes definidos en la Tabla 4.9

De esta manera, para distintas alturas z (m), el coeficiente de exposición c_e toma los siguientes valores:

Tabla 6.11. Valores de $c_e(z)$ para distintas alturas de aplicación

z (m)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$c_e(z)$	1,42	1,42	1,80	2,04	2,21	2,35	2,47	2,57	2,66	2,74	2,81

Dirección del Viento

Para evaluar la acción del viento sobre la estructura se considerará su actuación en dos direcciones:

- Perpendicular al eje del tablero: dirección transversal (X). Ésta a su vez puede tener ir acompañada de una componente asociada en la dirección vertical (Z).
- Paralela al eje del tablero: dirección longitudinal (Y).

Empuje del Viento sobre Tableros

Efectos provocados por el viento transversal

Empuje horizontal

Para el cálculo de la acción del viento sobre el tablero en la dirección transversal, en primer lugar, se considerará que es un *tablero de alma llena*¹⁰.

El coeficiente de fuerza en la dirección X, $c_{f,X}$, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$c_{f,X} = 2,5 - 0,3 \left(\frac{B}{h_{eq}} \right)$$

Donde

B es la anchura total del tablero, en nuestro caso 9,20 m.

h_{eq} es la altura equivalente, que tomaremos un valor aproximado de 3,00 m (barreras opacas + canto de las vigas), por lo que:

$$c_{f,X} = 2,5 - 0,3 \left(\frac{9,20}{3} \right) = 1,58$$

Teniendo todos los parámetros necesarios, es posible calcular el empuje horizontal por unidad de longitud (m) para distintas alturas como:

$$F_{w,X} = \left[\frac{1}{2} \rho v_b^2(T) \right] c_e(z) c_{f,X} A_{ref,X}; \quad A_{ref,X} = L h_{eq}$$

$$F_{w,X} = \left[\frac{1}{2} \rho v_b^2(T) \right] c_e(z) c_{f,X} h_{eq}$$

Donde $F_{w,X}$ vendrá dada en N/m.

Si tomamos el punto de aplicación situado a una altura de 10 m, tenemos:

$$F_{w,X} = \left[\frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 28,08^2 \right] 2,35 \cdot 1,58 \cdot 3 = 5.489,34 \text{ N/m} \approx \mathbf{5,50 \text{ KN/m}}$$

Empuje vertical

Se considerará el empuje vertical en la dirección Z por unidad de área (m²) como:

¹⁰ Ap. 4.2.5.1.1. de la IAP-11

$$F_{w,z} = \left[\frac{1}{2} \rho v_b^2(T) \right] c_e(z) c_{f,z}$$

El coeficiente $c_{f,z}$ tomará el valor de $\pm 0,9$, por lo que $F_{w,z}$ tendrá unidades de N/m^2 .

Repitiendo las operaciones para una altura de 10 m, se obtiene:

$$F_{w,z} = \left[\frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 28,08^2 \right] 2,35 \cdot 0,9 = 1.042,28 N/m^2 = \mathbf{1,04 KN/m^2}$$

Que podrá ser en sentido ascendente o descendente, dependiendo del signo que tome el coeficiente $c_{f,z}$

Momento de vuelco sobre el tablero

Para el cálculo del momento de vuelco sobre el tablero se considerará que el empuje transversal estará aplicado al 60% de la altura del primer frente máximo adoptado en el cálculo del área expuesta a la componente horizontal del viento transversal, incluyendo, en su caso, el área correspondiente a la sobrecarga de uso.

En este caso, la altura considerada para la sobrecarga de uso es la misma que la altura de las barreras opacas (2,00 m). El primer frente máximo será la suma de la altura del tablero ($\approx 1,40$ m) y las barreras opacas, por lo que el momento de vuelco estará aplicado a 2,04 m.

El empuje vertical está aplicado a una distancia del borde igual a un cuarto de la anchura del tablero, es decir, a 2,30 m.

Efectos provocados por el viento longitudinal

La acción provocada por el viento transversal se considerará como una fracción del empuje transversal anteriormente calculado, multiplicado por un coeficiente reductor. Al tener un tablero de vigas, y barreras opacas en los extremos del mismo, la fracción del empuje transversal será del 25% (Ap. 4.5.2.2. IAP-11).

Por otro lado, el coeficiente reductor estará determinado por la siguiente expresión:

$$\gamma = 1 - \left[\frac{7}{c_0 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) + 7} \right] \phi[L/L(z)]$$

Donde:

c_0 es el factor de topografía definido en el **Apartado 4.9.3.2**.

z es la altura del punto de aplicación del empuje del viento respecto del terreno (m).

z_0 coeficiente definido en la Tabla 4.9 (m).

$$\phi(L/L(z)) = 0,230 + 0,182 [Ln(L/L(z))]$$

Siendo

L la longitud total del puente (m).

$L(z)$ la longitud integral de turbulencia (m), definida por:

$$L(z) = \begin{bmatrix} 300(z_{min}/200)^\alpha & z < z_{min} \\ 300(z/200)^\alpha & z_{min} \leq z \leq 200 \\ 300 & z > 200 \end{bmatrix}$$

Donde:

z_{min} factor definido en la **Tabla 6.9**

α coeficiente dependiente del tipo de entorno. Para un entorno *Tipo II*, toma el valor de 0,52.

Todos los coeficientes descritos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.12 Parámetros para el cálculo del efecto provocado por el viento longitudinal

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
c_0	1,00	
z_0	0,05	m
$z_{mín}$	2,00	m
L	62,00	m
α	0,52	

Tomando como altura de aplicación $z = 10$ m, se obtiene;

$$L(z) = 300 \cdot (z/200)^\alpha = 300 \cdot (10/200)^{0,52} = 63,181 \text{ m}$$

$$\phi(L/L(z)) = 0,230 + 0,182 \left[\text{Ln} \left(\frac{62}{63,181} \right) \right] = 0,227$$

$$\gamma = 1 - \left[\frac{7}{\text{Ln} \left(\frac{10}{0,05} \right) + 7} \right] 0,227 = 0,871$$

Por lo que la acción del viento longitudinal a considerar será:

$$F_{w,Y} = F_{w,X} \cdot \% \cdot \gamma = 5,5 \cdot 0,25 \cdot 0,871 = \mathbf{1,20 \text{ KN/m}}$$

Empuje del Viento sobre Pilas

El empuje se obtendrá en función del área de referencia y el coeficiente de fuerza adecuado a la forma de su sección transversal. En nuestro caso, las pilas serán cilíndricas, por lo que de acuerdo a la Tabla 4.2-b de la IAP-11, para el coeficiente de empuje c_f se tomará el valor de 1,20.

6.9.3.3. Temperatura

En primer lugar, para evaluar el efecto de la acción térmica sobre el tablero, se considerará a éste como *Tipo 3* (Ap. 4.3.1 IAP-11).

Componente uniforme de la temperatura del tablero

Temperatura máxima y mínima del aire

La temperatura máxima del aire a la sombra $T_{máx}$ para un periodo de retorno de 50 años se tomará de la siguiente Figura:

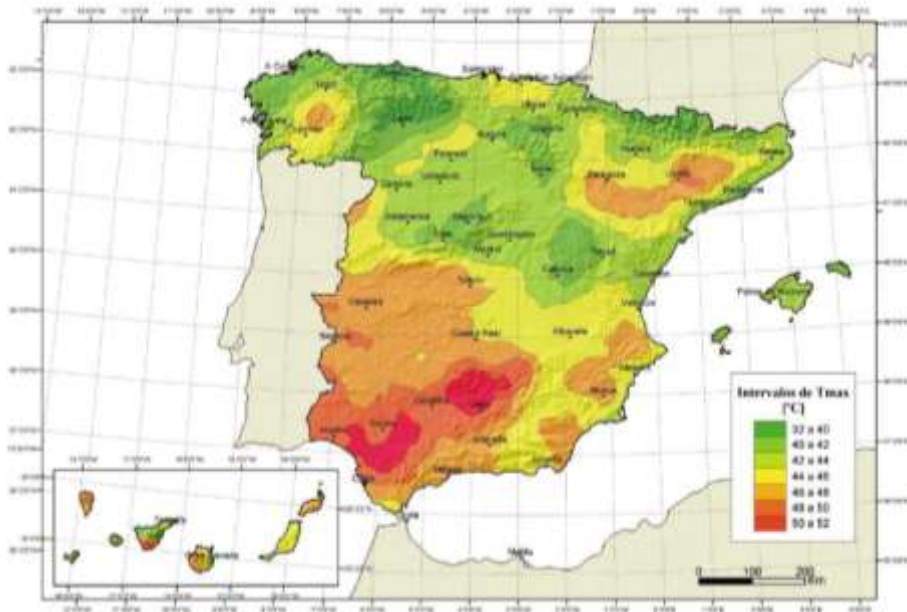


Figura 6.11 Isotermas de la Temperatura máxima anual $T_{m\acute{a}x}$ (°C). Fuente: CTE DB SE-AE

Para Cáceres, se tomará un valor de 46 – 48°C.

Por otro lado, la temperatura mínima anual del aire a la sombra $T_{m\acute{i}n}$ se tomará en función de la altitud del emplazamiento y de la zona climática invernal, que se obtiene de la siguiente Figura:



Figura 6.12 Zonas climáticas de invierno. Fuente: CTE DB SE-AE

ALTITUD [m]	ZONA DE CLIMA INVERNAL (SEGUN FIGURA 4.3-b)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	-7	-11	-11	-6	-5	-6	6
200	-10	-13	-12	-8	-8	-8	5
400	-12	-15	-14	-10	-11	-9	3
600	-15	-16	-15	-12	-14	-11	2

Figura 6.13 Temperatura mínima del aire $T_{m\acute{i}n}$ (°C). Fuente: IAP-11

Como Cáceres se sitúa dentro de la Zona 4, y se encuentra a una altitud aproximada de 450 m.s.n.m, interpolaremos entre los valores de 400 y 600 m para tomar una temperatura $T_{mín}$ de -11°C

Para periodos de retorno diferentes a 50 años, $T_{máx}$ y $T_{mín}$ se calcularán como:

$$T_{máx,p} = T_{máx}[k_1 - k_2 \text{Ln}(-\text{Ln}(1 - p))]$$

$$T_{mín,p} = T_{mín}[k_3 + k_4 \text{Ln}(-\text{Ln}(1 - p))]$$

Donde

p es el inverso del periodo de retorno considerado (100 años)

k_i son coeficientes tales que $k_1=0,781$; $k_2=0,056$; $k_3=0,393$ y $k_4=-0,156$.

De este modo:

$$T_{máx,p} = T_{máx}[0,781 - 0,056 \text{Ln}(-\text{Ln}(1 - 0,01))] = T_{máx} \cdot 1,04$$

$$T_{mín,p} = T_{mín}[0,393 - 0,156 \text{Ln}(-\text{Ln}(1 - 0,01))] = T_{mín} \cdot 1,11$$

Componente uniforme de la temperatura

También denominada como temperatura efectiva, alcanzará un valor mínimo $T_{e,mín}$, y un valor máximo $T_{e,máx}$ que estará determinado por las siguientes expresiones:

$$T_{e,mín} = T_{mín} + \Delta T_{e,mín}$$

$$T_{e,máx} = T_{máx} + \Delta T_{e,máx}$$

Donde

$T_{mín}$ y $T_{máx}$ son respectivamente el valor de la temperatura mínima y máxima del aire a la sombra en el lugar de emplazamiento del paso superior, calculadas para el periodo de retorno considerado (100 años), tal y como se muestra en el Apartado anterior.

$\Delta T_{e,mín}$ y $\Delta T_{e,máx}$ son los diferentes incrementos de temperatura considerados, que se toman de la siguiente Figura:

TIPO DE TABLERO	$\Delta T_{e,mín}$ [°C]	$\Delta T_{e,máx}$ [°C]
Tipo 1: Tablero de acero	-3	+16
Tipo 2: Tablero mixto	+4	+4
Tipo 3: Tablero de hormigón	+8	+2

Figura 6.14 Valores de $\Delta T_{e,mín}$ y $\Delta T_{e,máx}$ para el cálculo de la componente uniforme de la temperatura.

Fuente: IAP-11

Al tener un tablero de hormigón, es decir de Tipo 3, se tiene:

$$T_{e,mín} = -11 \cdot 1,11 + 8 = -4^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,máx} = 47 \cdot 1,04 + 2 = 51^{\circ}\text{C}$$

Rango de la componente uniforme de la temperatura

Al tratarse de un tablero isostático sin coacción inicial de movimientos, se producirá un incremento de longitud, que estará determinado por el rango de variación de la componente uniforme:

$$\Delta T_N = T_{e,máx} - T_{e,mín} = 55^{\circ}\text{C}$$

Con la temperatura inicial T_0 , que será la temperatura media del tablero en el momento de la ejecución y que al tratarse de Cáceres se podrá tomar 25°C , se podrá obtener la máxima variación de la componente uniforme de temperatura en contracción:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,mín} = 25 - (-4) = 29^\circ\text{C}$$

y de dilatación:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,máx} - T_0 = 51 - 25 = 26^\circ\text{C}$$

Componente de la diferencia de temperatura

Diferencia vertical

Para tableros de hormigón armado (*Tipo 3*), los valores de la diferencia de temperatura entre las fibras superior e inferior del tablero, $\Delta T_{N,heat}$ y $\Delta T_{N,cool}$, se toman de la siguiente tabla:

TIPO DE TABLERO	FIBRA SUPERIOR MÁS CALIENTE	FIBRA SUPERIOR MÁS FRÍA
	$\Delta T_{N,heat}$ ($^\circ\text{C}$)	$\Delta T_{N,cool}$ ($^\circ\text{C}$)
Tipo 1: Tablero de acero	18	13
Tipo 3: Tablero de hormigón		
— Sección cajón	10	5
— Sección de vigas	15	8
— Sección losa	15	8

Figura 6.15 Componente lineal de la diferencia vertical de temperatura. Fuente: IAP-11

Por lo tanto, $\Delta T_{N,heat}$ y $\Delta T_{N,cool}$, serán $+15^\circ\text{C}$ y $+8^\circ\text{C}$ respectivamente, a los cuales no será necesario aplicar ningún factor corrector dado que el espesor del pavimento proyectado es de 50 mm (Ap. 4.3.1.2.1 IAP-11).

Estas son las indicaciones que establece la IAP-11, pero dado que el tablero es isostático, no se considerará gradiente térmico alguno en la dirección vertical del puente.

Diferencia horizontal

No se considerará gradiente térmico alguno en la dirección horizontal del puente puesto que el tablero es isostático.

Simultaneidad de la componente uniforme y de la diferencia de temperatura

Para tener en cuenta la actuación simultánea de la componente uniforme de la temperatura $\Delta T_{M,exp}$ o $\Delta T_{M,con}$, y la diferencia de temperatura, $\Delta T_{N,heat}$ y $\Delta T_{N,cool}$, ambas componentes se combinarán conforme a las siguientes expresiones:

$$\Delta T_M + \omega_N \Delta T_N$$

$$\omega_M \Delta T_M + \Delta T_N$$

Siendo $\omega_N = 0,35$ y $\omega_M = 0,75$.

De las ocho posibles combinaciones se elegirán las que produzcan las situaciones más desfavorables.

6.9.3.4. Nieve

No se considerará la sobrecarga de nieve debido a que en el **Apartado 4.9.3.1.** se ha considerado que la sobrecarga de uso actúa en toda la superficie del tablero propensa a la acumulación de nieve. Adicionalmente, el Ap. 4.4.1. de la *IAP – II* establece que sólo será necesario considerar la sobrecarga de nieve en puentes situados en zonas de alta montaña, el cual no es nuestro caso.

6.9.4. Acciones Accidentales (A)

6.9.4.1. Impactos

No se considerará la acción de impactos contra los elementos estructurales del puente puesto que se dispondrán los elementos de seguridad necesarios para una correcta protección de los mismos, conforme a la normativa vigente.

6.9.4.2. Acción Sísmica (A_E)

Tal y como recoge la *NCSP-07* en su Art. 2.8, no se considerarán las acciones sísmicas en aquellos lugares de emplazamiento en los que la aceleración sísmica horizontal básica a_b sea inferior a $0,04g$, donde g es el valor de la aceleración de la gravedad. El valor de a_b para cualquier emplazamiento del territorio nacional se obtiene del siguiente mapa sísmico de la *NCSE-02*:

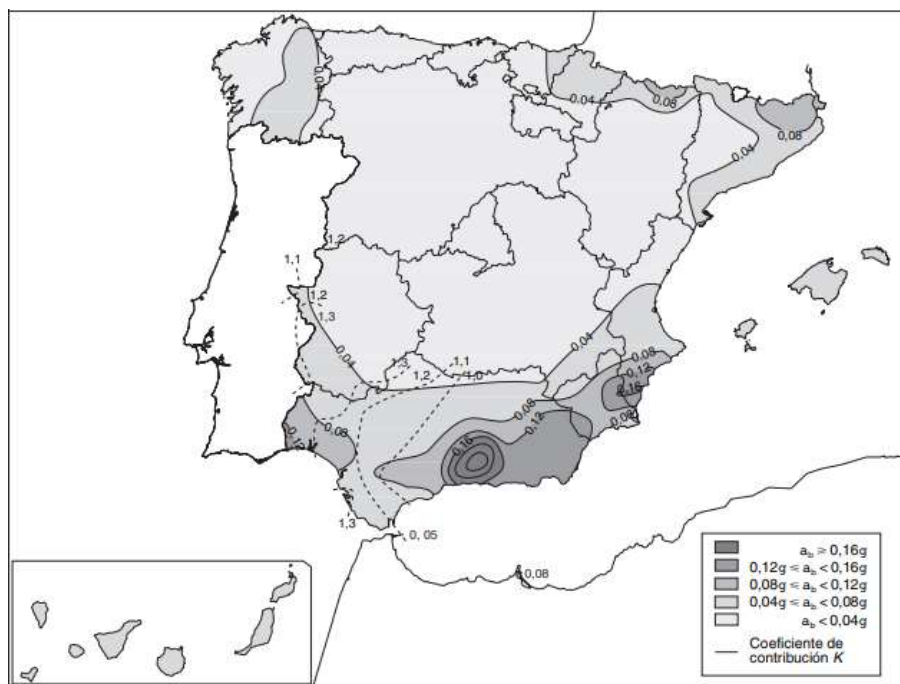


Figura 6.16 Mapa de peligrosidad sísmica. Fuente: *NCSE-02*

En nuestro caso, el Paso Superior se encuentra en una zona con $a_b < 0,04g$, por lo que no será necesario considerar las acciones sísmicas.

6.10. Combinación de Acciones

6.10.1. Combinaciones en ELU

6.10.1.1. En situación persistente o transitoria

Entendiéndose por situación persistente o transitoria aquellas que corresponden a las condiciones de uso normales de la estructura durante su vida útil. La combinación de acciones para estos casos se realizará de

acuerdo con la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Siendo

$G_{k,j}$ el valor característico de cada acción permanente.

$G_{k,m}$ el valor característico de cada acción permanente de valor no constante.

$Q_{k,1}$ el valor característico de la acción variable dominante.

$\psi_{0,i} Q_{k,i}$ el valor de combinación de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante.

$\gamma_G, \gamma_{Q,1}$ los coeficientes parciales.

6.10.1.2. En situación accidental

Entendiéndose por situación accidental aquellas que corresponden a condiciones excepcionales aplicables a la estructura. La combinación de acciones para estos casos se realizará de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} G_{k,m}^* + \gamma_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} + A_d$$

Siendo

$G_{k,j}$ el valor representativo de cada acción permanente.

$G_{k,m}$ el valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.

$\gamma_{1,1} Q_{k,1}$ el valor frecuente de la principal acción variable concomitante con la acción accidental.

$\psi_{2,i} Q_{k,i}$ el valor casi-permanente del resto de las acciones variables concomitantes.

A_d el valor de cálculo de la acción accidental.

6.10.2. Combinaciones en ELS

6.10.2.1. Combinación característica (poco probable o rara)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

6.10.2.2. Combinación frecuente

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

6.10.2.3. Combinación casi-permanente

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Para el cálculo de cualquier combinación de acciones, ya sea en ELU o ELS, los factores de simultaneidad ψ se tomarán de la siguiente tabla:

ACCIÓN		ψ_1	ψ_2	ψ_3	
Sobrecarga de uso	gr 1, Cargas verticales	Vehículos pesados	0,75	0,75	0
		Sobrecarga uniforme	0,4	0,4	0 / 0,2 ^{II}
		Carga en aceras	0,4	0,4	0
	gr 2, Fuerzas horizontales	0	0	0	
	gr 3, Peatones	0	0	0	
	gr 4, Aglomeraciones	0	0	0	
Sobrecarga de uso en pasarelas:		0,4	0,4	0	
Viento	F_{w1}	En situación persistente	0,6	0,2	0
		En construcción	0,8	0	0
		En pasarelas	0,3	0,2	0
Acción térmica	T_s	0,6	0,6	0,5	
Nieve	Q_{snt}	0,8	0	0	
Acción del agua	W_s	Empuje hidrostático	1,0	1,0	1,0
		Empuje hidrodinámico	1,0	1,0	1,0
Sobrecargas de construcción	Q_s	1,0	0	1,0	

Figura 6.17 Factores de simultaneidad ψ . Fuente: IAP-11

7. DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL

Una vez evaluadas las acciones que actuarán sobre la estructura, el siguiente paso será llevar a cabo del dimensionamiento de la misma y el cálculo de los elementos estructurales que la componen.

En este Capítulo se realizará un predimensionamiento, atendiendo a criterios especificados en la distinta bibliografía existente o estructuras similares que se hayan proyectado. Posteriormente se comprobará si la estructura cumple con los requisitos de funcionabilidad, durabilidad y resistencia que exige la normativa vigente conforme al servicio que presta.

7.1. Software de cálculo

Para el cálculo estructural del Paso Superior se utilizará el programa *CivilEstudio*® v.34.2, desarrollado *CivilCAD Consultores S.L.* especialmente para proyectos de estructuras de obra civil. El Software en sí está compuesto por módulos que pueden funcionar independientemente unos de otros, permitiendo el uso de diferentes normativas, sistemas de unidades, así como la adopción de diferentes tipologías y geometrías de estructuras.

Una de las razones principales por la que se ha utilizado este programa es por su enfoque a la *Metodología BIM* que se va a aplicar en este TFM, ya que unifica el tratamiento de toda la información.

En los proyectos de estructuras tradicionales se pueden destacar 3 fases claramente diferenciadas:

- 1) Diseño y encaje geométrico
- 2) Cálculo estructural
- 3) Edición de planos

Estas 3 fases solían ser independientes unas de otras, y podían estar dirigidas por la misma persona o no, si en el proyecto se encontraba trabajando un equipo multidisciplinar. En cualquier caso, para cada tarea se precisaban softwares distintos, de tal manera que las modificaciones producidas en la primera fase repercutían en las siguientes, con la posible aparición de errores y la más que evidente demora en los plazos de entrega.

Con este software, el proyecto del cálculo estructural queda englobado en uno sólo y llevado a cabo por una sola persona, consiguiendo de esta manera la disminución del volumen de trabajo, ahorrar costes y evitar errores en la gestión de los cambios.

Otro aspecto importante es la estructura modular del programa, de tal manera que podemos utilizar el que mejor se adapte a nuestras necesidades, puesto que no son los mismos cálculos a realizar por ejemplo en el proyecto de un Puente de Vigas Prefabricadas, que en el de un marco para una Obra de Drenaje Transversal.



Ilustración 7.1. Proyecto de Puente de Vigas Prefabricadas. Fuente: CivilCAD Consultores S.L.

Cabe destacar que este software por sí solo no comprende todo el procedimiento de la *Metodología BIM* que se quiere aplicar a este proyecto, aunque sí servirá de gran ayuda en la fase del cálculo estructural y en lo sucesivo que iremos viendo a lo largo de los siguientes Capítulos.

El software tiene una versión gratuita, aunque bastante limitada. Por eso, se solicitó al propio gestor de *CivilCAD Consultores S.L.* una licencia como estudiante de la Universidad de Sevilla (US), porque, aunque se trata de un trabajo académico, se ha procurado utilizar softwares originales sin infringir los derechos de autor.

Una vez comentados los aspectos más relevantes del programa informático, pasaremos ahora dimensionar la estructura para posteriormente realizar el cálculo estructural.

7.2. Tablero

7.2.1. Predimensionamiento

Para tener una estimación inicial del canto de la viga, hemos tomado como referencia las indicaciones de Manterola, Javier [58], en cuyo capítulo dedicado especialmente a los puentes de vigas prefabricadas establece que la relación canto/luz (h/L) debe situarse entre 1/15 y 1/20. De este modo tomando la mayor de las luces del paso superior (19 m), tenemos que:

$$h/L = 1/15 \rightarrow h = 1,27 \text{ m}$$

$$h/L = 1/20 \rightarrow h = 0,95 \text{ m}$$

Elegiremos un canto intermedio de $h = 1,10 \text{ m}$. Ahora bien, es habitual trabajar con una serie de vigas convencionales, es decir, que estén disponibles en el catálogo de algún fabricante y cuya puesta en obra sea frecuente en proyectos similares. Seleccionaremos una viga del fabricante *Prefabricaciones Y Contratas S.A.U (Precon)*, concretamente el modelo **DT-PRE-110-100-A**, cuya sección es:

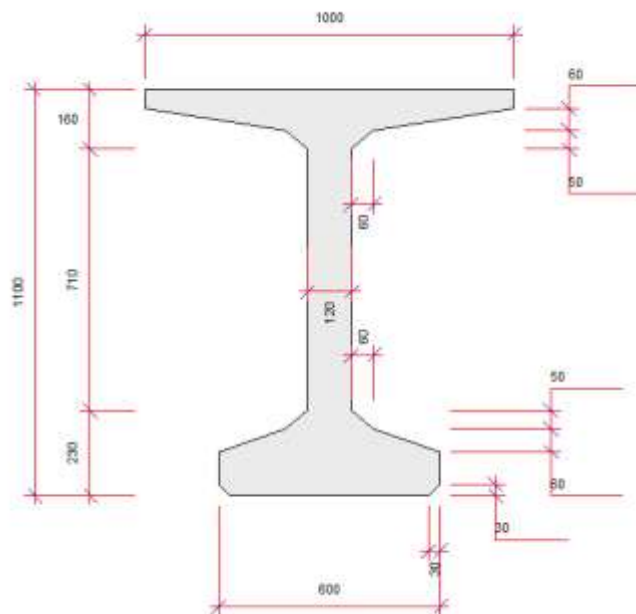


Ilustración 7.2 Sección de las vigas. Cotas en mm. Fuente: El. prop.

Para seleccionar un número óptimo de vigas a disponer en el tablero tendremos que tener en cuenta la separación entre vigas contiguas, así como la anchura total del tablero.

De este modo, para vigas de un canto de 1,10 m, la separación S , no suele ser mayor de 3,00 m. También tenemos considerar de qué manera se va a hormigonar el tablero, que en este caso, para evitar la colocación de una cimbra, sobre las vigas se dispondrán unas prelosas de hormigón actuando a modo de encofrado perdido. Por consiguiente, las cabezas de las vigas exteriores deben situarse en los extremos del tablero, para evitar que parte del peso del tablero esté en voladizo, apoyándose de esta manera sobre las propias cabezas.

En primera instancia, 4 parece ser un número razonable de vigas a colocar, teniendo en cuenta que la anchura total del tablero es de 9,20 m.

Colocando las vigas exteriores tal y como hemos dicho, y teniendo en cuenta que la anchura del ala superior de las vigas es de 1,00 m, la separación entre vigas será de:

$$B = (n - 1) \cdot S + 2 \cdot b/2 ;$$

Donde

B ancho total del tablero (m).

S separación entre ejes de vigas contiguas (m).

n número de vigas.

b anchura total del ala superior de la viga (m).

Despejado por lo tanto S , se obtiene:

$$S = \frac{B - 2 \cdot b/2}{n - 1} = \frac{9,20 - 2 \cdot 0,50}{4 - 1} = 2,73 \text{ m}$$

Que nos proporciona una separación dentro de los márgenes habituales.

Por razones constructivas, el espesor de la losa e será de 25 cm, para que de esta manera se pueda colocar la armadura sin dificultades. Por otro lado, el espesor de las prelosas e' será de 5 cm. Con estas dimensiones, la sección del tablero sería la siguiente:

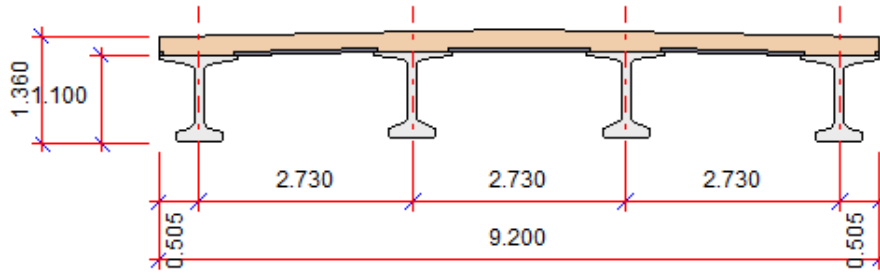


Ilustración 7.3 Vista en sección del tablero. Fuente: El. prop.

Por otro lado, a las vigas se les proporcionará una longitud de la culata de 35 cm, que esto es, la distancia que existe entre el eje del apoyo y el extremo de la viga. Esta longitud es con la que normalmente trabaja el fabricante, de tal manera que el tablero en planta quedaría definido tal y como se muestra a continuación:

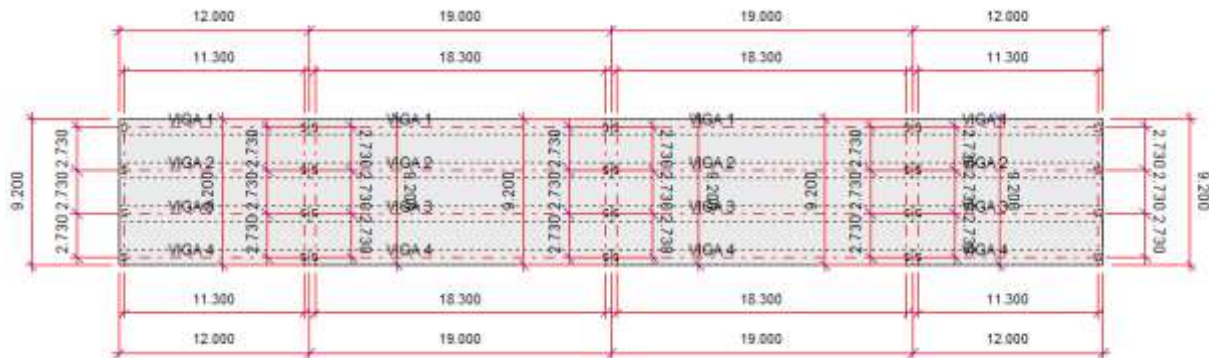


Ilustración 7.4 Vista en planta del tablero. Fuente: El. prop.

7.2.2. Calendario

A la hora de proceder con el cálculo de los elementos estructurales del paso superior, y en particular con el de las vigas, es importante establecer las fechas en las que el hormigón va adquiriendo distintos valores de su resistencia característica f_{ck} a medida que se va produciendo el proceso de curación.

Las fechas más destacadas en dicho proceso son las siguientes:

- Día en el que se hormigonan las vigas: **0**
- Día en el que se transfiere el pretensado en el parque de vigas: **7**
- Día en el que se hormigona la losa: **90**
- Día en el que se aplica la carga permanente sobre el tablero (vigas + losa): **120**

Día en el que se hormigonan las vigas: Corresponde al inicio del proceso de prefabricación. Se hormigonan las vigas con la armadura activa tensada por gatos hidráulicos.

Día en el que se transfiere el pretensado en el parque de vigas: La transferencia de la tensión de pretensado de la armadura activa al hormigón de las vigas se produce por rozamiento en el momento en el que se cortan los cables. Antes de proceder a este paso es preciso que las vigas tengan la suficiente resistencia como para soportar la acción del pretensado, y que como norma general, se tomará mayor que $0,6f_{ck}$. Se podría tomar directamente el valor de f_{ck} , que se produce a los 28 días, pero en este caso, la construcción del paso superior sufriría una

demora innecesaria, con el correspondiente incremento del gasto económico.

Se ha optado por imponer 7 días para la transferencia de pretensado. En ese periodo de tiempo un hormigón fabricado con cemento de alta resistencia habrá alcanzado aproximadamente el 75% de su resistencia característica f_{ck} .

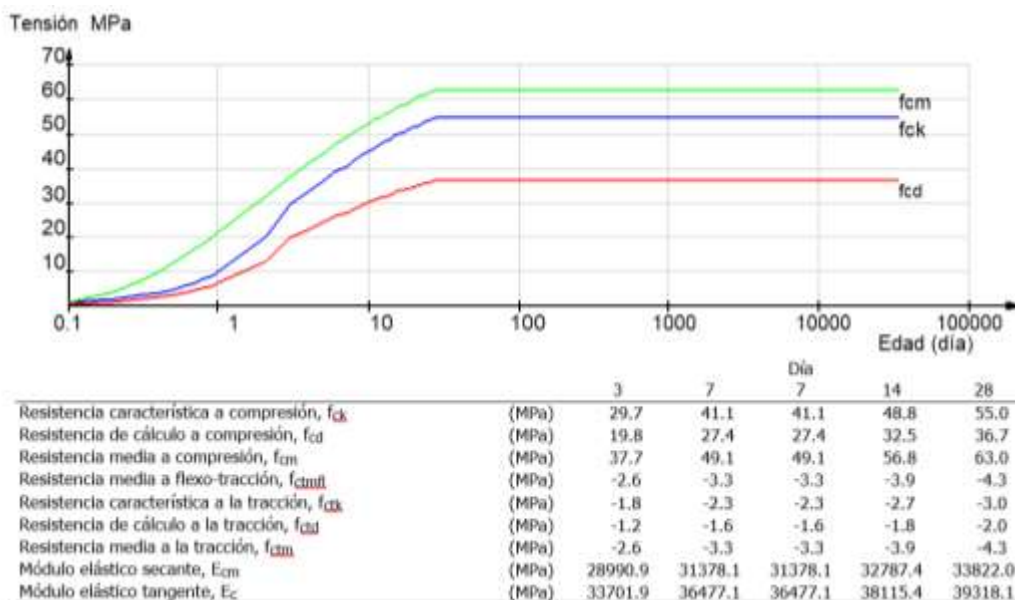


Figura 7.1 Resistencia a compresión de un hormigón HA-55. Fuente: El. prop.

Día en el que se hormigona la losa: Antes de proceder a hormigonar la losa se deberán colocar las diferentes vigas en sus respectivas posiciones, para lo cual es necesario que transcurra un periodo de tiempo suficientemente largo como para que las deformaciones por fluencia y retracción sufran escasas variaciones para que en la losa no se produzcan tracciones debidas a estos fenómenos. Se establece dicho periodo de tiempo en 90 días, en el que las vigas prefabricadas ya hayan alcanzado aproximadamente el 70 % de la deformación total:

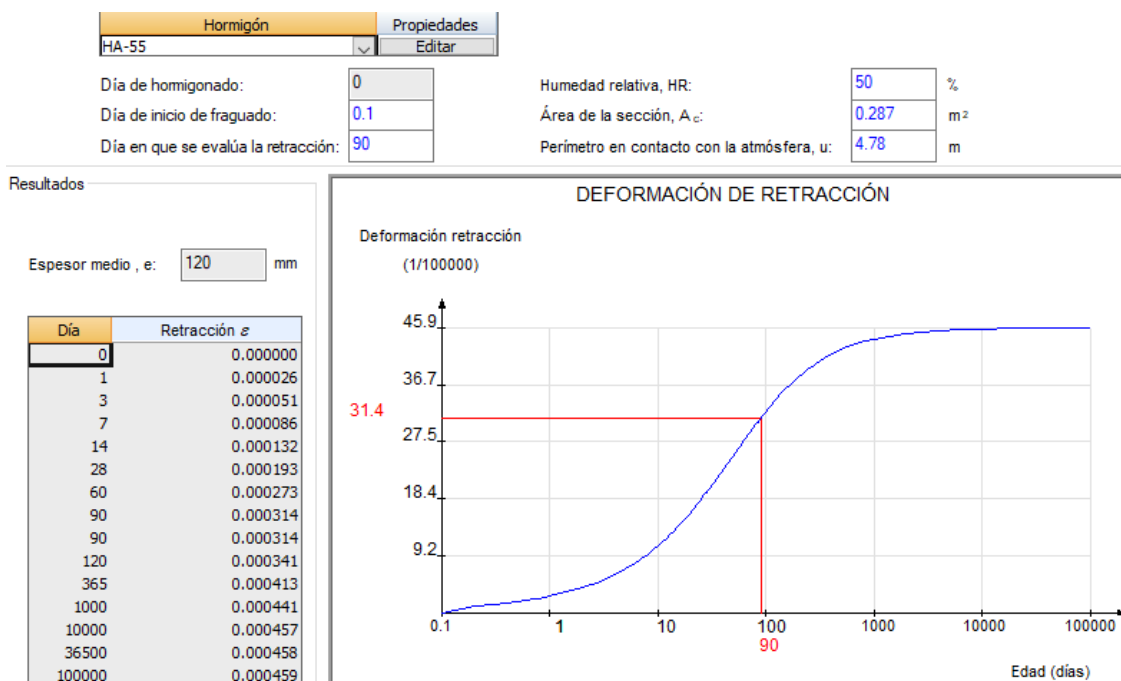


Figura 7.2 Deformación por retracción de un hormigón HA-55. Fuente: El. prop.

Como podemos observar en la gráfica anterior, unos valores más altos de la deformación producida (en torno al 85 – 90%) se alcanzaría una vez pasado el año desde que se comenzó el proceso, por lo que mantener las vigas en el parque durante todo ese tiempo resultaría económicamente inviable.

Día en el que se aplica la carga permanente sobre el tablero (vigas+losa): Una vez colocadas las vigas y hormigonada la losa, será necesario que ésta adquiera la totalidad de su resistencia característica f_{ck} antes de aplicar las cargas permanentes, esto es, a los 28 días desde que se hormigona la losa.

7.2.3. Armadura activa

Como armadura activa, en cada una de las vigas se introducirán dos filas para el alojamiento de los cordones en el ala inferior y una en el ala superior. El número de cordones variará en función de la anchura de cada una de las alas, así como de la separación entre cordones contiguos, que se colocarán de tal manera que el proceso de fabricación resulte lo más sencillo posible. De esta manera se colocarán a una distancia de 50 mm o un múltiplo de esta, que es con la que normalmente trabaja el fabricante.

Se seleccionarán cordones de 0,6", cuyo diámetro nominal es de 15,2 mm y tienen sección de 140 mm².

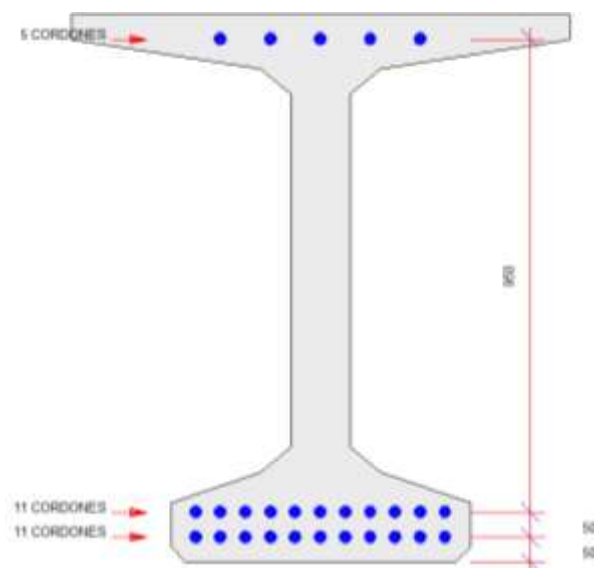


Ilustración 7.5 Armadura activa de las vigas. Fuente: El. prop.

La tensión de tesado se establecerá según lo indicado en el Art. 20.2.1 de la EHE-08, que se tomará como el menor de los siguientes valores:

$$0,75 f_{p \max k} = 0,75 \cdot 1.860 = 1.395 \text{ N/mm}^2$$

$$0,95 f_{pk} = 0,95 \cdot 1.670 = 1.586,5 \text{ N/mm}^2$$

El objetivo de introducir una armadura activa no es otro que conseguir que toda la pieza esté comprimida, evitando así tracciones, dada la baja resistencia del hormigón a estos esfuerzos. Las vigas trabajarán fundamentalmente a flexión compuesta, produciéndose los mayores esfuerzos de tracción en el ala inferior de éstas, por lo que será el lugar donde deberá colocarse la mayor cuantía de armadura activa. Ahora bien, se dispondrá un número de cordones de tal manera que la tensión máxima no supere el 60% de la resistencia característica del hormigón f_{ck} , que es el valor a partir del cual comienza a producirse la fisuración.

Esto quiere decir que no tiene por qué introducirse todos los cordones de las filas propuestos; el número de

cordones dependerá, entre otras cosas, de las tracciones producidas, que a su vez son proporcionales a la luz de las vigas. Esto es lo que vamos a estudiar a continuación.

7.2.3.1. Vigas Tableros 1 y 4

Tableros de idéntica luz con vigas de 12 m. En este caso es suficiente disponer 9 cordones en ala inferior y 2 en el ala superior.

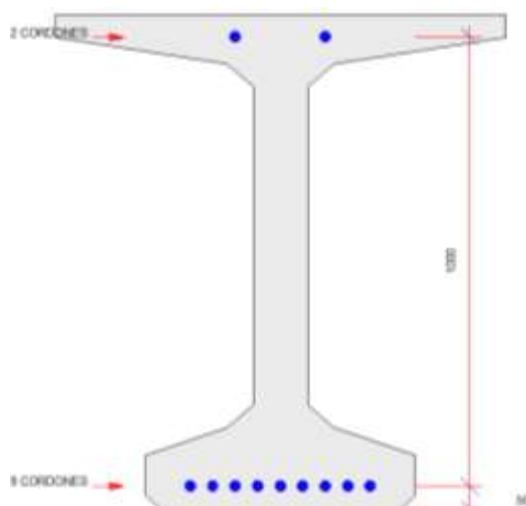


Ilustración 7.6 Armadura activa de las vigas de los tableros 1 y 4. Fuente: El. prop.

A continuación, veremos una gráfica del estado tensional producido en la viga 2¹¹, tras la transferencia del pretensado, que es el momento en el que las tensiones del pretensado son máximas. A partir de ese momento se producen pérdidas de pretensado y las tensiones son menores.



Ilustración 7.7 Valores mínimos y máximos de las tensiones en la Viga 2 para la combinación cuasi-permanente tras la transferencia de pretensado. Fuente: El. prop.

También incluiremos una gráfica de las tensiones en ELS para una combinación frecuente, que se corresponden con acciones tales que sean sobrepasadas durante un periodo de corta duración respecto a la vida útil del puente.

¹¹ Se elige la Viga 2 porque al estar situada en la parte central del tablero, será en la que se produzcan las mayores tensiones. Indiferentemente, se podría haber seleccionado la Viga 3 puesto que el tablero es simétrico y las tensiones producidas serán las mismas que en la Viga 2.

El periodo de retorno se suele establecer en una semana.

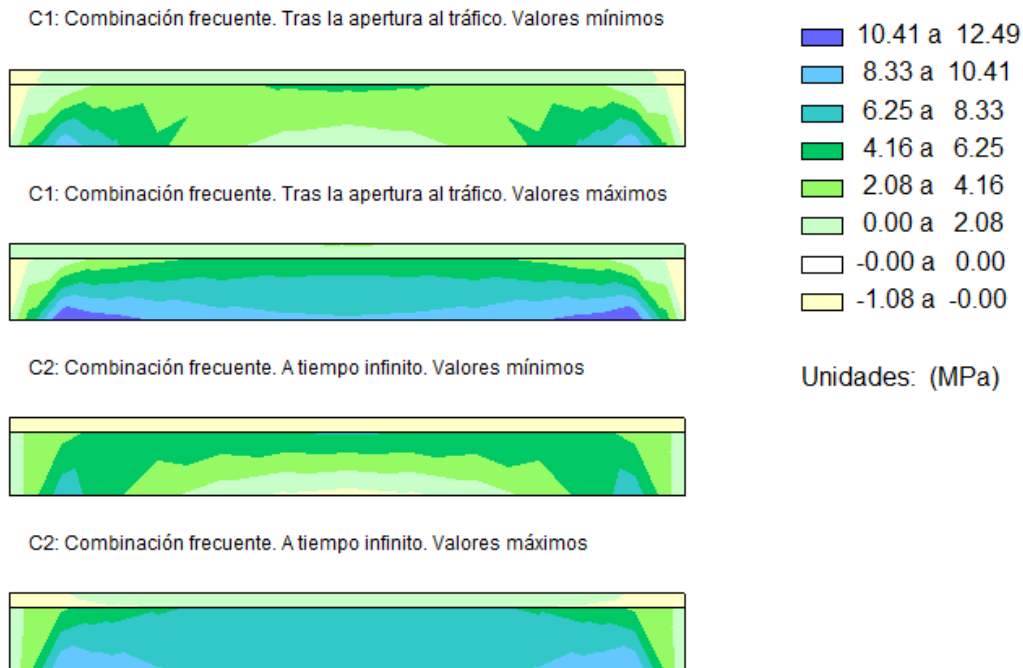


Ilustración 7.8 Valores mínimos y máximos de las tensiones en la Viga 2 para la combinación frecuente tras la apertura al tráfico y a tiempo infinito. Fuente: El. prop.

El tablero, en una vista tridimensional, sería finalmente como se indica a continuación:



Ilustración 7.9 Vista en 3D del Tablero 1. Fuente: El. prop.

7.2.3.2. Vigas Tableros 2 y 3

Los tableros 2 y 3 tienen una luz de 19 m, por lo que la cuantía de armadura activa será considerablemente mayor a la del caso anterior.

En este caso surge el siguiente problema: no es posible resistir las tracciones producidas en la fibra inferior comprimiendo la pieza sin llegar a fisurarla en el momento de la transferencia del pretensado, que resulta ser crítico debido a que las tensiones debidas al pretensado son máximas, y el hormigón aún no habrá adquirido la suficiente resistencia, pues recordemos que este paso se llevaba a cabo a los 7 días desde el inicio del hormigonado.

En la siguiente Figura se puede comprobar de forma gráfica el problema que comentamos:

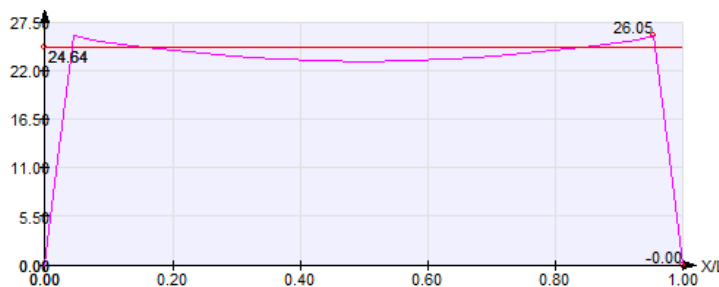


Figura 7.3 Tensiones en la fibra inferior de la Viga 2 (MPa). Fuente: El. prop.

Con un número necesario de al menos 18 cordones en el ala inferior, se producen unas compresiones que tienen su valor máximo en **26,05 MPa**, siendo **41,1 MPa** la resistencia característica del hormigón f_{ck} a los 7 días, tal y como se puede obtener de la **Figura 7.1**, si tomamos el 60% de f_{ck} el valor a partir el cual se produce un estado de fisuración, obtenemos el valor de **24,64 MPa**, que es el valor indicado en la gráfica.

Ante la imposibilidad de reducir el número de cordones para que las tensiones sean menores, puesto que por otro lado no se podrían resistir las tracciones, la solución adoptada consiste en colocar una vaina de plástico en varios de los cordones de la primera fila para así evitar la transferencia del pretensado en estos, que se realiza por rozamiento con el hormigón.

Si observamos detenidamente la gráfica anterior, podemos comprobar que las tensiones producidas son menores que la resistencia del hormigón aproximadamente a partir del 20% de la luz (en el eje de abscisas tenemos X/L, siendo X la distancia respecto de la luz L) desde los extremos de la viga, por lo que colocaremos vainas de plástico de 4 m en 4 cordones alternados de la segunda fila, obteniéndose ahora las siguientes tensiones:

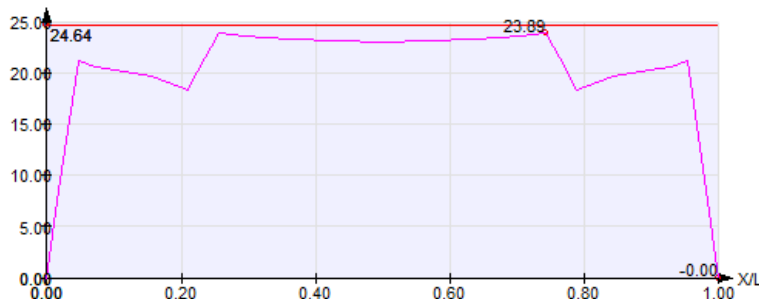


Figura 7.4 Tensiones en la fibra inferior de la Viga 2 (MPa) con 5 cordones envainados. Fuente: El. prop.

Comparando ambas gráficas, con un valor máximo de las compresiones de **23,89 MPa**, podemos observar el efecto que produce la colocación de vainas de plástico alrededor de algunos cordones.

De este modo, las vigas de los tableros 2 y 3 tendrán la siguiente armadura activa:

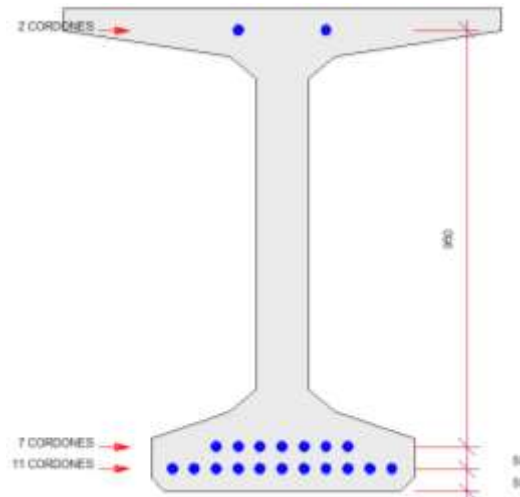


Ilustración 7.10 Armadura activa de las vigas de los tableros 2 y 3. Fuente: El. prop.

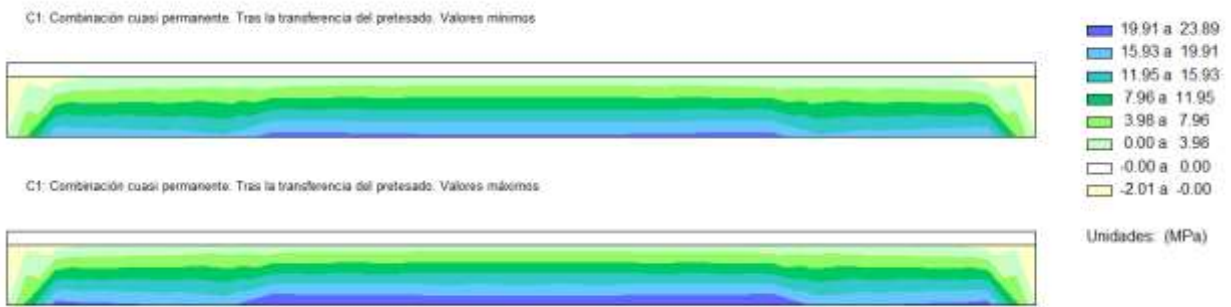


Ilustración 7.11 Valores mínimos y máximos de las tensiones en la Viga 2 para la combinación cuasi-permanente tras la transferencia de pretensado. Fuente: El. prop.

Del mismo modo que para los tableros 1 y 4, se incluye a continuación una gráfica con las tensiones producidas en ELS para una combinación frecuente:



Ilustración 7.12 Valores mínimos y máximos de las tensiones en la Viga 2 para la combinación frecuente tras la apertura al tráfico y a tiempo infinito. Fuente: El. prop.

En la siguiente ilustración se aprecia en una vista esquemática de la armadura activa de las vigas (color azul) así como las vainas de plástico de 4 m colocadas de forma alterna en la segunda fila de cordones (color rojo).

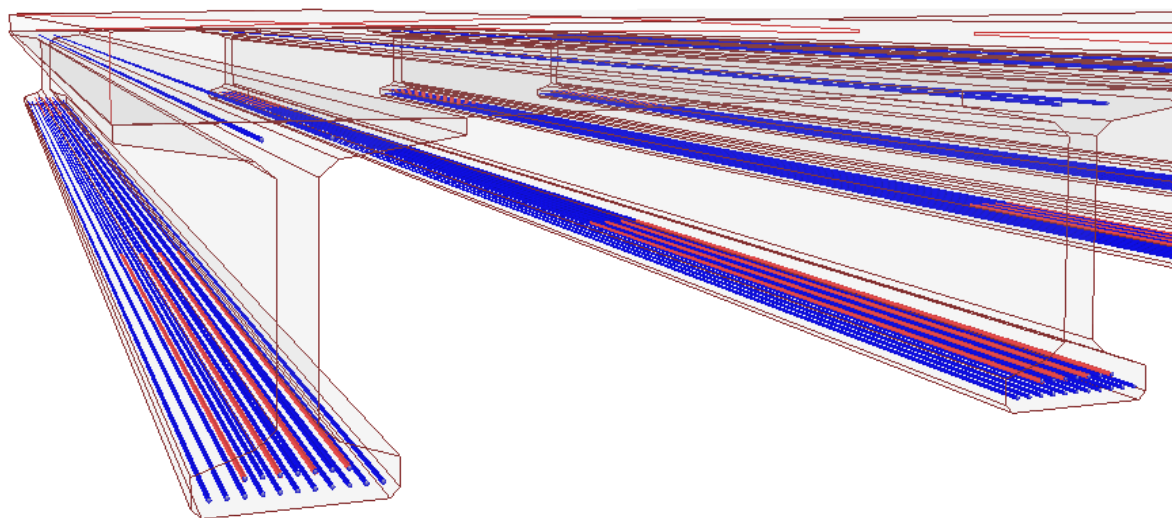


Ilustración 7.13 Vista esquemática de la armadura activa en el Tablero 2. Fuente: El. prop.

Todos los cálculos realizados se encuentran en el **Anexo A Cálculo Estructural**, que se pueden resumir en la siguiente tabla con las comprobaciones realizadas:

Tabla 7.1 Resumen de verificaciones en los Tableros

Tableros: TODOS		
Vigas: TODAS		
Estado límite estructural de servicio de fisuración. Encaje tensional		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación frecuente	Cumple
	Combinación característica	Cumple
Estado límite estructural último de rotura por flexión		
Situación persistente	Combinación fundamental	Cumple
Estado límite estructural último de rotura por cortante		
Situación persistente	Combinación fundamental	Cumple
Estado límite estructural último de rotura por torsión		
Situación persistente	Combinación fundamental	Cumple
Estado límite estructural último de rotura por rasante		
Situación persistente	Combinación fundamental	Cumple
Estado límite estructural de servicio de deformaciones		
Situación persistente	Combinación característica	Cumple
Estado límite estructural de servicio de fisuración. Control de fisuración.		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación frecuente	Cumple

Combinación característica		Cumple
Estado límite estructural último de rotura por fatiga		
Combinación de fatiga	Combinación fundamental	Cumple
Obtención del despiece de la armadura		
Generación del armado	.	Cumple

7.3. Pilas

La tipología de tablero seleccionada obliga a que todas las vigas que lo constituyen estén biapoyadas. En este caso, se podría disponer una pila por cada una de las vigas, lo cual desde el punto de vista económico y constructivo no resulta la mejor opción.

La solución adoptada pasa por una única pila con una viga capitel en la que se apoyen todas las vigas, evitándose así la disposición de muchas pilas, o en su defecto, una pila tipo tabique, que puedan dar la sensación de “efecto pantalla” en el paso por la vía inferior. Esta viga capitel estará sometida a grandes esfuerzos de flexión y de torsión, por lo que se colocarán dos fustes de manera que la rigidez a torsión de la pila sea mayor. La sección de los fustes será circular, una geometría sencilla que facilita el proceso de ejecución.

La cimentación de las pilas será del tipo superficial dadas las aptas condiciones del terreno, siendo ésta una zapata rectangular. La cimentación se ejecutará sobre una capa previa de hormigón de nivelación.

Respecto a las dimensiones en planta la viga capitel, ésta tendrá que tener la suficiente anchura como para permitir el apoyo de las vigas de dos tableros contiguos, y además, la suficiente longitud transversal como para que las 4 vigas del tablero quepan en ella.

La longitud de los fustes variará en función de la cota a la que se tenga que situar cada uno de los tableros, que estarán determinados por la cota de rasante, aunque eso sí, los dos fustes de una misma pila deberán ser idénticos.

En el **Anexo A Cálculo Estructural** se detallan con más precisión todas las dimensiones y cálculos realizados en cada pila.



Ilustración 7.14 Vista en 3D de la tipología de pilas empleada. Fuente: El. prop.

Los cálculos realizados en cada pila son las siguientes:

Tabla 7.2. Resumen de verificaciones en las pilas

PILA DE PUENTE: TODAS		
Estado límite geotécnico último de hundimiento		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación característica	Cumple
Estado límite geotécnico de servicio de asientos		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación característica	Cumple
Estado límite estructural último de rotura por flexión		
Situación persistente	Envolvente global	Cumple
Estado límite estructural último de rotura por torsión		
Situación persistente	Envolvente global	Cumple
Estado límite estructural de servicio de fisuración		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
Estado límite estructural último de rotura por cortante		
Situación persistente	Envolvente global	Cumple
Estado límite estructural de servicio de deformaciones		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación frecuente	Cumple
	Combinación característica	Cumple
Obtención del despiece de la armadura		
Generación del armado	.	Cumple

7.4. Estribos

Los estribos seleccionados para este paso superior son del tipo flotante o también denominados de “silla-cargadero”. Constan de un muro frontal, el estribo propiamente dicho, que a su vez se compone de un cargadero y un espaldón, y aletas para la contención de tierras. Además, en este caso se han colocado muretes laterales en el cargadero. Este tipo de estribos no son aconsejables en las estructuras hiperestáticas debido a los asientos que se puedan producir, pero son perfectamente utilizables para estructuras isostáticas, como es nuestro caso.

El estribo se cimentará sobre una zapata rectangular, que debido a que el terraplén será artificial, con un material según lo especificado en el **Apartado 6.5** del Capítulo anterior, no será necesario realizar una cimentación profunda. Los taludes se ejecutarán con pendiente 3H:2V.

Todos los elementos estructurales que componen el estribo tendrán una anchura de al menos 35 cm, permitiendo así la colocación de la armadura y el hormigonado sin dificultad. Cabe destacar que los muretes laterales tendrán una anchura de 20 cm, porque a pesar de ser también necesario el armado, éstos no cumplen ninguna función estructural.

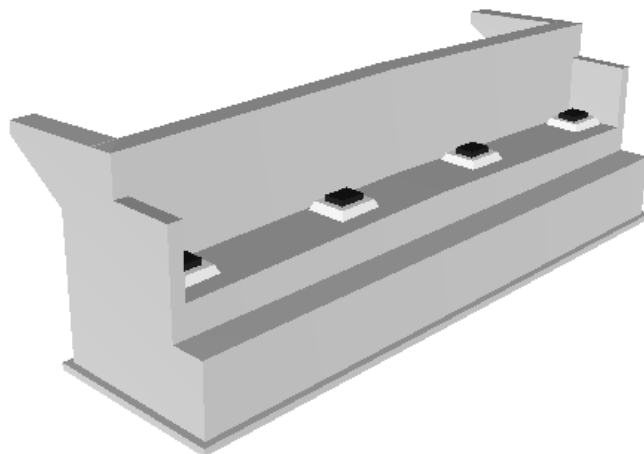


Ilustración 7.15 Vista en 3D de la tipología de estribo empleada. Fuente: El. prop.

En el **Anexo A Cálculo Estructural** se recogen de forma detallada todos los cálculos realizados para los estribos, así como las dimensiones de los mismos.

A continuación, se muestra un resumen con las comprobaciones realizadas:

Tabla 7.3 Resumen de verificaciones en los estribos

ESTRIBO CERRADO: AMBOS		
Estado límite de deslizamiento zapata - terreno		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación característica	Cumple
Estado límite de vuelco rígido		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación característica	Cumple
Estado límite geotécnico último de hundimiento		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación característica	Cumple
Estado límite geotécnico de servicio de asientos		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación característica	Cumple
Estado límite estructural último de rotura por flexión		
Situación persistente	Envolvente global	Cumple
Estado límite estructural de servicio de fisuración		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
Estado límite estructural último de rotura por cortante		
Situación persistente	Envolvente global	Cumple
Estado límite estructural de servicio de deformaciones		
Situación persistente	Combinación cuasi permanente	Cumple
	Combinación frecuente	Cumple
	Combinación característica	Cumple

7.5. Apoyos

Los aparatos de apoyos tienen como misión principal transmitir las cargas del tablero a las pilas y/o estribos, por lo que de la correcta elección y colocación de los mismos dependerá que las cargas puedan transmitirse al terreno eficazmente. Los apoyos deberán absorber las fuerzas horizontales y verticales transmitidas por el tablero, así como también deben permitir determinados movimientos e impedir otros.

Hay varios tipos de apoyos, pero son los de neopreno zunchado los más comunes en los puentes de luces cortas y medias. Esto se explica porque para este rango de luces las cargas verticales no suelen ser excesivamente altas, por lo que no se generan tensiones inadmisibles para este tipo de apoyos en concreto. Para otras tipologías y por lo tanto, luces mayores, se utilizan otro tipo de apoyo como por ejemplo rótulas en los casos de puentes arco.

Se utilizarán por tanto, aparatos de neopreno zunchado tanto en los estribos como en las pilas, porque a parte de su buen comportamiento frente grandes incrementos de temperatura y la capacidad de absorción de desplazamientos horizontales, son la opción más económica desde el punto de vista de la conservación y el mantenimiento, ya que pueden ser fácilmente sustituidos cuando han alcanzado el final de su vida útil.

Los apoyos utilizados, tanto en los estribos como en las pilas, tendrán forma rectangular en planta, **siendo los de los estribos de 300x400 mm y 85 mm de espesor, y los de las pilas de 250x400 mm y 63 mm de espesor.** La razón de colocar apoyos de mayores dimensiones en los estribos reside en que las cargas aplicadas son mayores, puesto que en las pilas se repartirán entre los apoyos de dos tableros contiguos.

Disponer de aparatos de apoyos de gran tamaño puede provocar problemas de estabilidad frente a la rotación. Por otro lado, pueden producirse problemas de estabilidad frente al deslizamiento debido a los movimientos del tablero sobre los apoyos si estos pueden moverse libremente, así como también problemas de compresión mínima. Esto último se debe a la deformación producida a las cargas verticales excéntricas, que al inducir un giro del apoyo, provoca que parte del mismo esté en situación de descompresión, quedando cargado sólo una parte de él.

La solución adoptada ha sido anclar los aparatos mediante una placa de acero externa unida al elastómero, que se fijará a los estribos y a las pilas mediante pernos. De esta manera se permite la deformación de los apoyos pero sin que puedan desplazarse longitudinal o transversalmente, por lo que se pueden omitir las siguientes comprobaciones de cálculo

- Estabilidad relativa a la rotación
- Estabilidad relativa a la torsión
- Estabilidad al deslizamiento
- Compresión mínima

En la siguiente tabla se muestran las comprobaciones realizadas en los apoyos:

Tabla 7.4 Resumen de verificaciones en los apoyos

NEOPRENOS: TODOS		
Deformación máxima de cizalla		
Neoprenos	Neoprenos	Cumple
Deformación de diseño máxima		
Neoprenos	Neoprenos	Cumple
Tensión en placas de refuerzo		
Neoprenos	Neoprenos	Cumple
Estabilidad relativa a la rotación		
Neoprenos	Neoprenos	No cumple
Estabilidad relativa a la torsión		
Neoprenos	Neoprenos	Cumple
Estabilidad al deslizamiento		
Neoprenos	Neoprenos	No cumple
Compresión mínima		
Neoprenos	Neoprenos	No cumple

Las verificaciones no válidas se pueden omitir debido a lo anteriormente comentado.

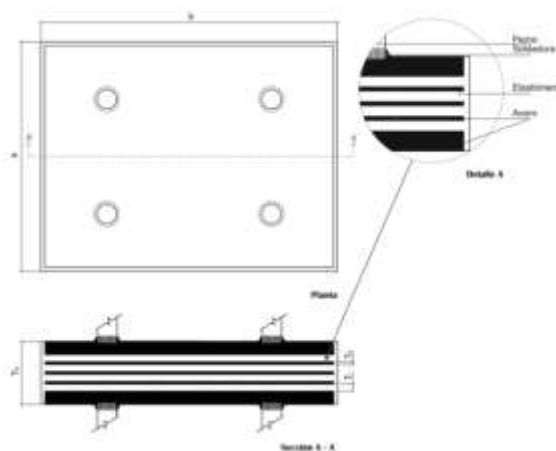


Ilustración 7.16 Sección de apoyos con anclaje mediante pernos. Fuente: El. prop.



Ilustración 7.17 Situación de apoyos en una de las pilas. Fuente: El. prop.

8. MODELO BIM 3D

Hasta ahora hemos abordado el cálculo estructural del paso superior sin profundizar demasiado en lo que es la aplicación de la **Metodología BIM** en sí. En este Capítulo se tratará de realizar un modelo BIM 3D de la estructura descrita en el capítulo anterior, que será la base de nuestro proyecto.

8.1. Software

La herramienta que utilizaremos para realizar el Modelo BIM 3D será **Revit® v.2020**, de **Autodesk, Inc.**

Revit® es una herramienta de modelado 3D con la que se consigue una mayor facilidad y rapidez en el diseño de proyectos, lo que hace que sea comúnmente utilizada por los profesionales de la construcción con experiencia en la Metodología BIM. Esto es debido, entre otras cosas, a la posibilidad de modelar de objetos mediante familias paramétricas, que pueden ser añadidas por librerías creadas por los fabricantes de la construcción o editadas por el mismo usuario del programa. Estas familias incorporan ya directamente datos de geometría, materiales, propiedades físicas, etc., por lo que el tiempo necesario para realizar un proyecto es considerablemente menor que utilizando los tradicionales programas de CAD, en los que hay que ir editando los elementos uno a uno y sin que tengan ningún tipo de relación entre sus propiedades.

Las librerías de familias pueden ser utilizadas en tantos proyectos como deseemos, y además, también es posible compartirlas con otros usuarios, a través de internet, con fabricantes etc., por lo que entre todos podemos colaborar a tener una base de datos de la construcción cada vez más extensa, estandarizando la mayoría de los elementos que componen un proyecto.



Ilustración 8.1 Interfaz de inicio de Revit® v.2020. Fuente: Autodesk, Inc.

Antes de proseguir con el presente Apartado me gustaría realizar dos aclaraciones:

- 1) **Revit® por sí sólo no es BIM:** O dicho de otra manera, el hecho de realizar un modelo 3D no significa que estemos aplicando la Metodología BIM. Podemos tener una geometría 3D sin que tenga asignada más datos como por ejemplo el material con el que está hecha, el coste de dicho material, o el momento en el que se construye. Para aplicar la Metodología BIM a un proyecto hace falta algo más que un modelo 3D, y eso será lo que intentaré explicar a lo largo del presente Capítulo.

- 2) **Revit® es un software de diseño, no de cálculo estructural:** Ciertamente que Revit® permite crear un modelo analítico para que pueda ser exportado a programas de cálculo estructural como por ejemplo Robot®, de la misma compañía *Autodesk*, pero con Revit® no se pueden obtener datos de tensiones, diagramas de momentos flectores, esfuerzos cortantes, etc. Con esto quiero decir que el proceso para modelar una estructura con la Metodología BIM no es automático, y tampoco está completamente alejada de la metodología tradicional; el cálculo estructural debe realizarse conforme a una geometría basada en la experiencia y conocimientos del proyectista, en proyectos similares, etc., y una vez que se compruebe que la estructura resiste las cargas para las que ha sido proyectada, realizar el Modelo BIM 3D definitivo.



Ilustración 8.2 Modelo analítico en Robot® (izda.) vs Modelo final en Revit® (dcha.). Fuente. Autodesk, Inc.

8.1.1. Requisitos del Sistema

Los requisitos del Sistema para utilización de Revit® han sido obtenidos directamente de la web de la compañía [62]:

Tabla 8.1 Requisitos del Sistema para Revit®. Fuente: Autodesk, Inc.

Sistema operativo ¹	Microsoft® Windows® 10 de 64 bits <ul style="list-style-type: none"> • Windows 10 Enterprise • Windows 10 Pro
Tipo de CPU	Nota: Microsoft® Windows® 7 SP1 de 64 bits, Enterprise, Ultimate y Professional son compatibles, pero no se recomiendan.
Tipo de CPU	Procesador Intel®, Xeon® o i-Series de uno o varios núcleos, o procesador AMD® equivalente con tecnología SSE2. Se recomienda adquirir un procesador con la máxima velocidad posible.
Memoria	Los productos de software Revit utilizan varios núcleos para muchas tareas. 8 GB de RAM <ul style="list-style-type: none"> • Normalmente es suficiente para una sesión estándar de edición de un solo modelo de hasta 100 MB aproximadamente en disco. Este cálculo está basado en pruebas internas e informes de clientes. Los modelos individuales difieren en cuanto al uso de los recursos de ordenador y a las características de rendimiento.

- Los modelos creados en versiones anteriores de los productos de software de Revit pueden requerir más memoria disponible para el proceso único de actualización a la versión nueva.

Resoluciones de vídeo	Mínimo: 1280 x 1024 con color verdadero
	Máximo: pantalla de ultra alta definición (4K)
Adaptador de vídeo	Gráficos básicos: Adaptador de pantalla compatible con color de 24 bits
	Gráficos avanzados: Tarjeta gráfica compatible con DirectX® 11 y Shader Model 3
Espacio en disco	30 GB de espacio libre en disco
Soporte	Descarga o instalación desde DVD9 o llave USB
Dispositivo señalador	Dispositivo compatible con ratón de Microsoft o 3Dconnexion®
Explorador	Microsoft® Internet Explorer® 10 (o superior)
Conectividad	Conexión a Internet para registro de licencia y descarga de componentes obligatorios

8.1.2. Nivel de Desarrollo

El Nivel de Desarrollo adoptado para elaborar el Modelo BIM 3D será un LOD 300, de acuerdo con lo especificado en el **Apartado 1.7**, ya que un Nivel LOD 400 implicaría también la fabricación e instalación de los elementos modelados, no siendo este parte objetivo del presente TFM.

Así, por tanto, los elementos se modelarán con una geometría completamente precisa en términos de forma, cantidades, dimensiones, ubicación y orientación. La información no gráfica como materiales, fase de ejecución, código de montaje, coste, etc. también serán añadidas al Modelo.

8.1.3. Interoperabilidad CivilEstudio® – Revit®

Al comienzo de la fase de diseño y cálculo estructural teníamos dos opciones: bien utilizar un programa de cálculo estructural con el que tanto mi tutor como yo estuviéramos familiarizados y posteriormente utilizar Revit® para realizar el Modelo BIM 3D, o bien utilizar Revit® y Robot® y conseguir un diseño simultáneo al cálculo estructural.

Varios fueron los motivos por los que nos decantamos por la primera de ellas:

- 1) El hecho de utilizar Revit® y Robot® llevaba consigo un considerable esfuerzo adicional ya que implicaba aprender a manejar con soltura dos nuevos programas si queríamos hacer un buen trabajo. Partiendo de la base que ni mi tutor ni yo no teníamos conocimientos previos de ninguno de ellos, decidimos emplear el Software CivilEstudio® para el cálculo estructural, con el que mi tutor tiene amplia experiencia, y posteriormente yo me encargaba de forma autodidacta a modelar con Revit®.
- 2) No hemos investigado con profundidad las funciones que ofrece Robot® en el cálculo estructural, pero CivilEstudio®, al ser un software diseñado específicamente para esta tipología de estructuras, resulta

ser mucho más completo al detallar todas variables con multitud de comprobaciones en todos los elementos que la conforman. Además, nos permite trabajar tanto con la normativa española como con Eurocódigos, así como con catálogos de elementos normalmente utilizados a nivel nacional, como es el caso de vigas, aparatos de apoyo, tipología de pilas, etc.

- 3) Como comentábamos en el Capítulo anterior, el software CivilEstudio® está enfocado a la Metodología BIM de manera que en él, el encaje geométrico del puente, el cálculo estructural y la edición de elementos se hace de manera simultánea, por lo que ya de entrada nos supone un gran ahorro de tiempo, a la vez que tenemos toda la información focalizada en un mismo archivo visualizándola desde la propia interfaz del programa o a través de la generación de informes. Por otro lado, CivilEstudio® permite la exportación de un proyecto en formatos IFC 2X3 y 4X1, lo que me hizo pensar al principio que si existía la posibilidad de exportar el proyecto a un formato compatible con Revit®, aparte del enorme ahorro de tiempo que supondría el no tener que modelar la estructura desde el comienzo, se estaría aplicando la Metodología BIM de una forma mucho más directa.

Esta idea fue la que se intentó llevar a cabo, pero una vez se dio por finalizado el cálculo estructural, al exportar el proyecto en formato IFC 4X1, se consiguió visualizar la geometría en Revit® pero sin que tuviera todas las propiedades al completo, y además, tampoco tenía la posibilidad de agregarle materiales, nombres, o la inclusión de otras familias de Revit®. Y es que los archivos IFC son formatos de intercambio entre distintos programas, por lo que del paso de un software a otro se pierden muchas de sus propiedades. Esto resulta ser totalmente incompatible con la Metodología BIM, y para nuestro propósito, que no es otro que realizar un modelo completo de la estructura, no tiene una utilidad completa. Finalmente, la decisión que tomamos fue calcular la estructura con CivilEstudio®, y una vez obtenida una geometría definitiva, realizar el Modelo 3D con Revit®, partiendo para ello desde el comienzo.

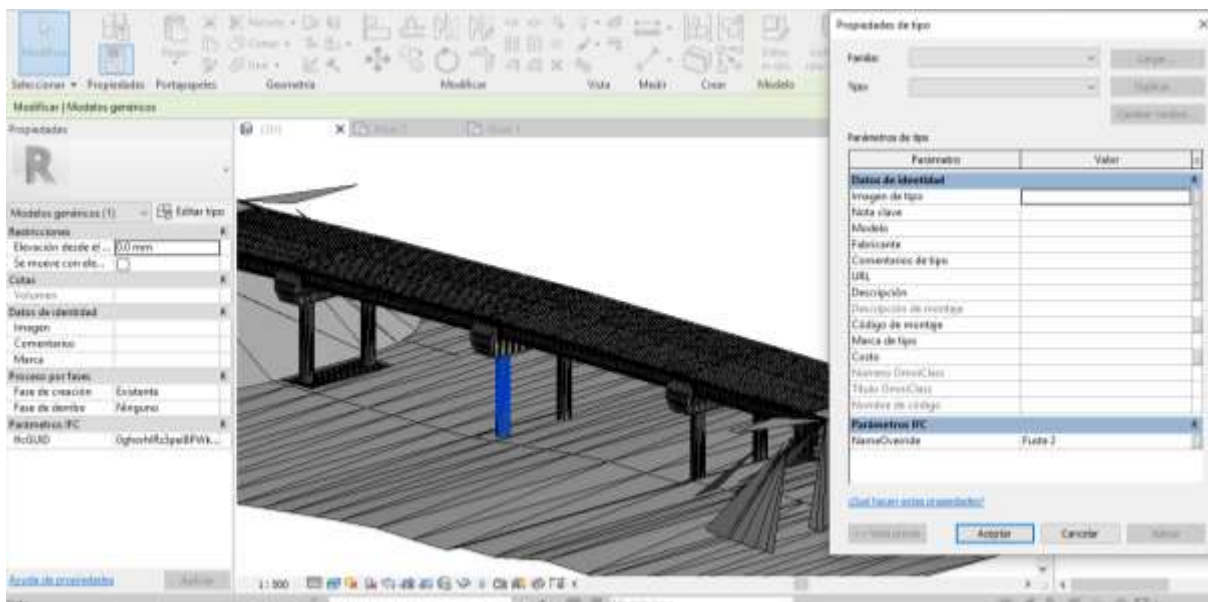


Ilustración 8.3 Proyecto exportado a Revit® en formato IFC. Fuente: El. prop..

De aquí en adelante se intentará aclarar cómo se ha realizado el Modelo BIM 3D de forma detallada, sin que ello suponga una explicación a modo de manual de usuario de Revit®, porque para ello existen numerosos Cursos, Másteres, charlas, coloquios, etc. que organizan diversas instituciones especializadas, así como gran cantidad de información y contenidos multimedia disponibles en internet.

8.2. Georreferenciación del Modelo

En primer lugar, la primera tarea a realizar es dotar al Modelo de un sistema de coordenadas local y otro global, de tal manera que cuando queramos exportarlo a otro programa, o queramos establecer un entorno de trabajo colaborativo entre varias personas, el Modelo esté correctamente orientado al Norte Geográfico, así como ubicado en las coordenadas reales del proyecto.

Con una nueva plantilla de Revit®, lo primero que nos encontramos es un *Punto Base del Proyecto*, que será el punto a partir del cual calcularemos coordenadas locales del Modelo, y un *Punto de Reconocimiento Interno* y un que tendrá coordenadas conocidas de un punto del proyecto y a partir del cual se medirán coordenadas globales.

El PBP¹² y el PRI¹³ pueden estar situados donde deseemos, pero es preferible que no estén muy alejados uno del otro, porque como todo software, Revit® trabaja con unidades que tienen cierta tolerancia, entonces si colocamos un punto muy distanciado del otro, pueden producirse errores innecesarios de medida cuando queramos pasar de coordenadas locales a globales o viceversa. También son atribuibles errores al factor humano, al estar midiendo coordenadas desde el punto equivocado.

Lo más sencillo es colocar ambos puntos en el mismo lugar y a la vez que sea un lugar fácilmente identificable en el proyecto. En este caso, se ha seleccionado como posición para ambos puntos el punto de intersección entre los dos ejes de simetría en planta de la estructura, y en alzado, estarán situados en la cara superior de la zapata central, que se encuentra a la cota -0,500 m (local) siendo:

Tabla 8.2 Coordenadas de los puntos de referencia del Modelo

	X	Y	Z	Orientación respecto al Norte Geográfico
PBP	0,000 m	0,000 m	-0,500 m	0,00°
PRI	721.959,174 m	4.365.351,243	363,972 m	+25,00°

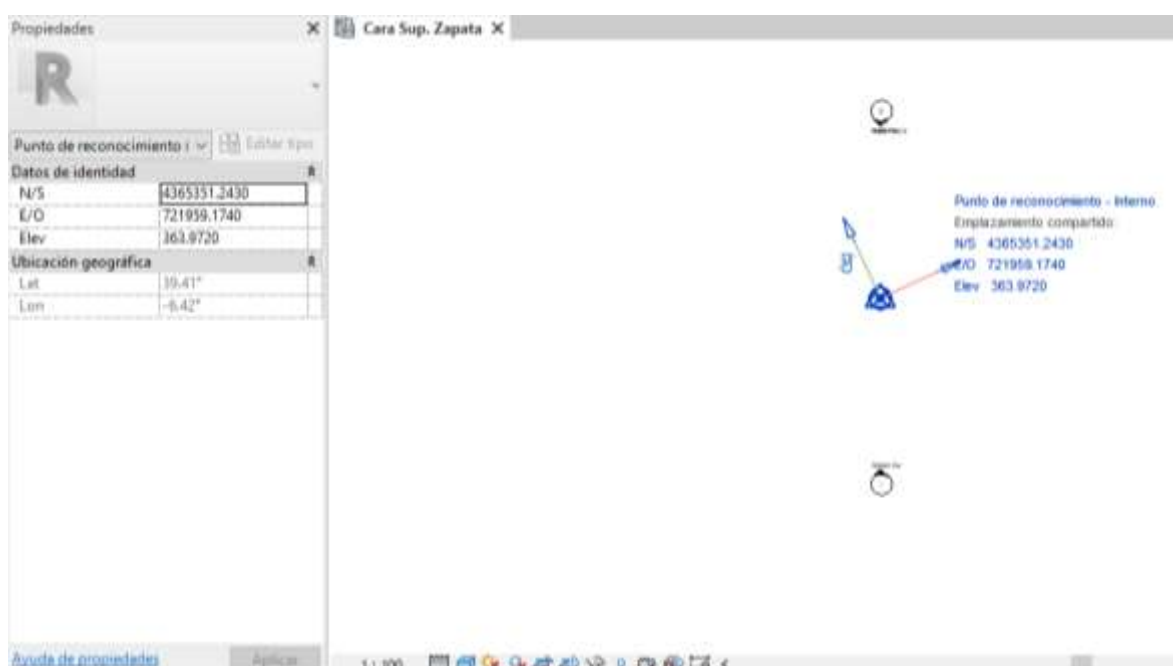


Ilustración 8.4 Introducción del PRI en el Modelo. Fuente: El. prop.

¹² Punto Base del Proyecto

¹³ Punto de Reconocimiento Interno

8.3. Líneas de Referencia

Las líneas de referencia nos ayudarán a definir la geometría de una forma sencilla sin necesidad de estar midiendo continuamente sobre el Modelo, puesto que prefijamos con anterioridad la distancia a la que queremos colocarlas unas de otras. De esta manera tenemos la certeza de cuánto medirán los elementos que se encuentren entre dos líneas, o a qué distancia se encuentran unos de otros.

Las líneas de referencia que vamos a introducir en el modelo son *Rejillas*, para el diseño en planta, y *Niveles*, para el diseño en alzado. El hecho de que unas líneas sirvan de referencia para el diseño en planta y otras en alzado no quiere decir que dichos diseños sean independientes uno de otro, al igual que sucede con los tradicionales programas CAD. Revit® nos permite tener tantas vistas abiertas como deseemos, de tal manera que al seleccionar un elemento en una de ellas se seleccionarán de automáticamente en el resto de vistas abiertas, siendo esta propiedad de gran utilidad al realizar el diseño de por ejemplo la armadura en un elemento como veremos posteriormente; teniendo una vista en planta, otra en alzado y otra en 3D se consigue visualizar con mayor claridad lo que estamos modificando.

Colocaremos las Rejillas en los puntos más singulares de la planta de la estructura, como son la separación de vanos, los ejes de las vigas, el eje del tablero y los fustes de las pilas. Por otro lado, colocaremos Niveles en las distintas alturas que podamos tener en el puente, como pueden ser las caras inferior y superior de las zapatas de las pilas, las alturas de las pilas o los estribos.

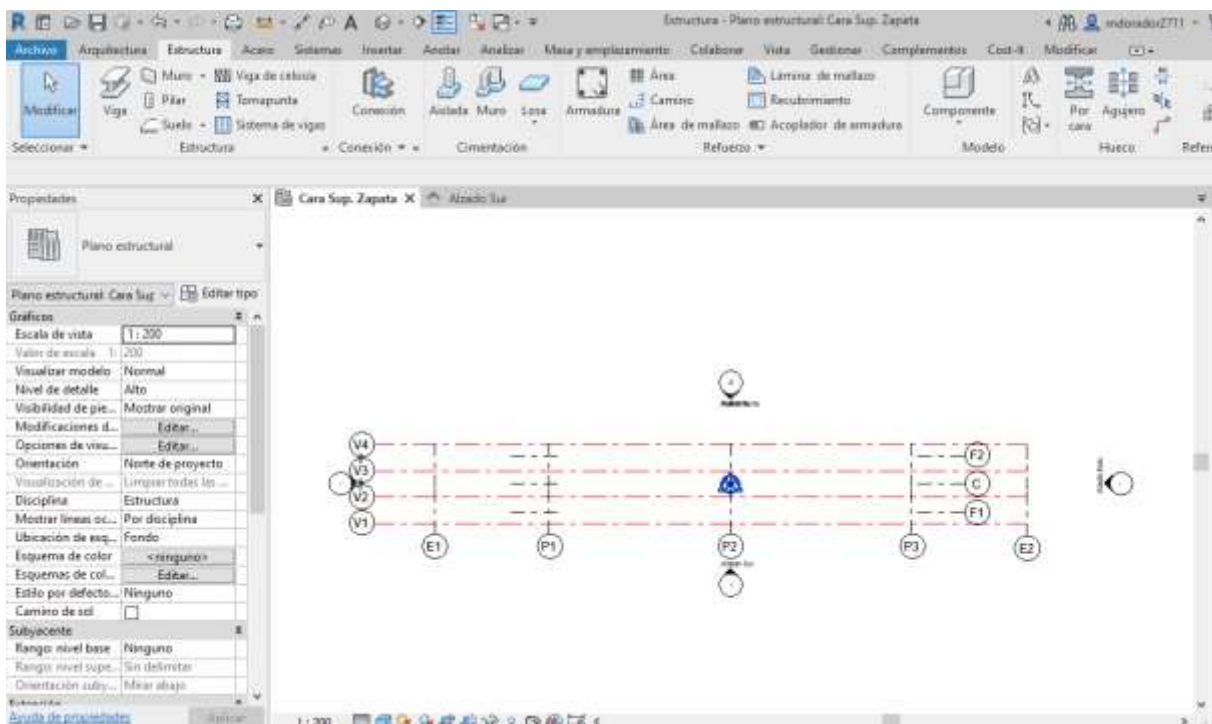


Ilustración 8.5 Definición de vanos y ejes de la estructura mediante Rejillas. Fuente: El. prop.

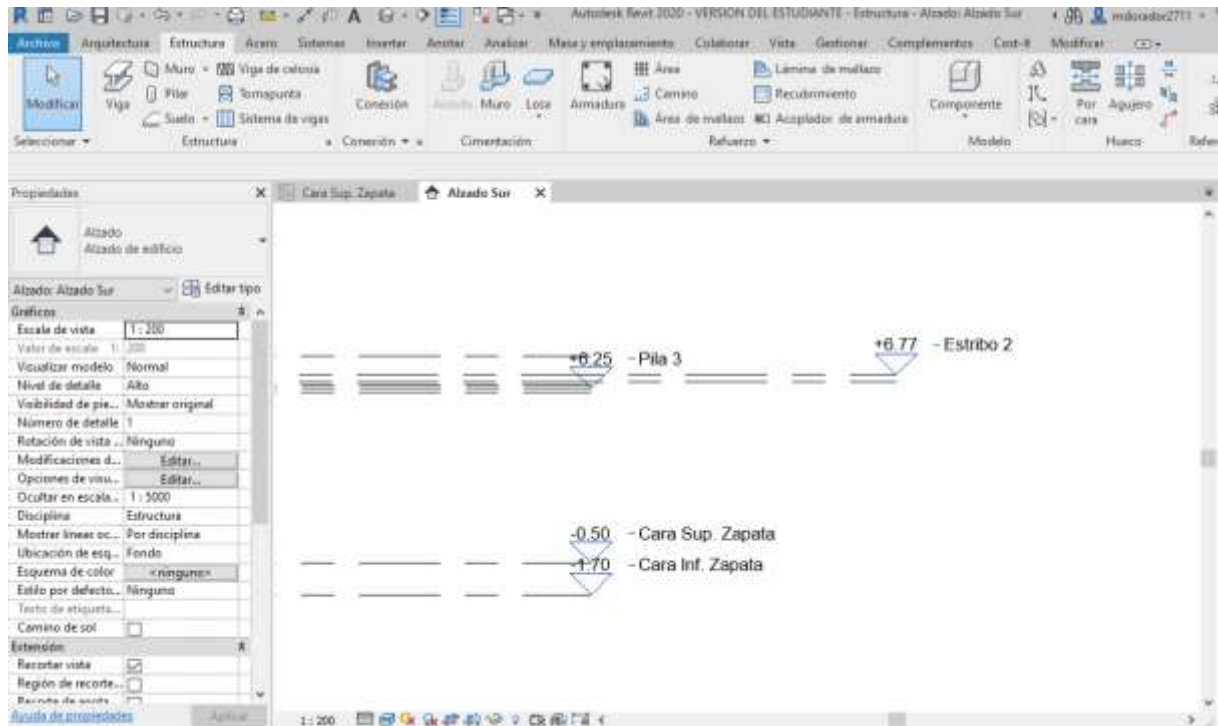


Ilustración 8.6 Definición de alturas de la estructura mediante Niveles. Fuente: El. prop..

Como podemos observar en la imagen anterior, los niveles están referidos a un sistema local del proyecto, puesto que lo que nos interesa en este momento es trabajar de la forma más sencilla posible.

Otra gran ventaja del uso de *Rejillas* y *Niveles* es el hecho de que los elementos definidos mediante estas líneas pueden seleccionarse para que se muevan de forma solidaria a ellas, de tal manera que, si por ejemplo entre dos niveles tenemos un total de 20 pilas, y por cualquier decisión de proyecto hay que modificar 30 cm la longitud de todas ellas, basta con mover el nivel que deseemos 30 cm y la longitud de todas las pilas se actualizará de forma automática, como puede apreciarse en la siguientes ilustraciones:

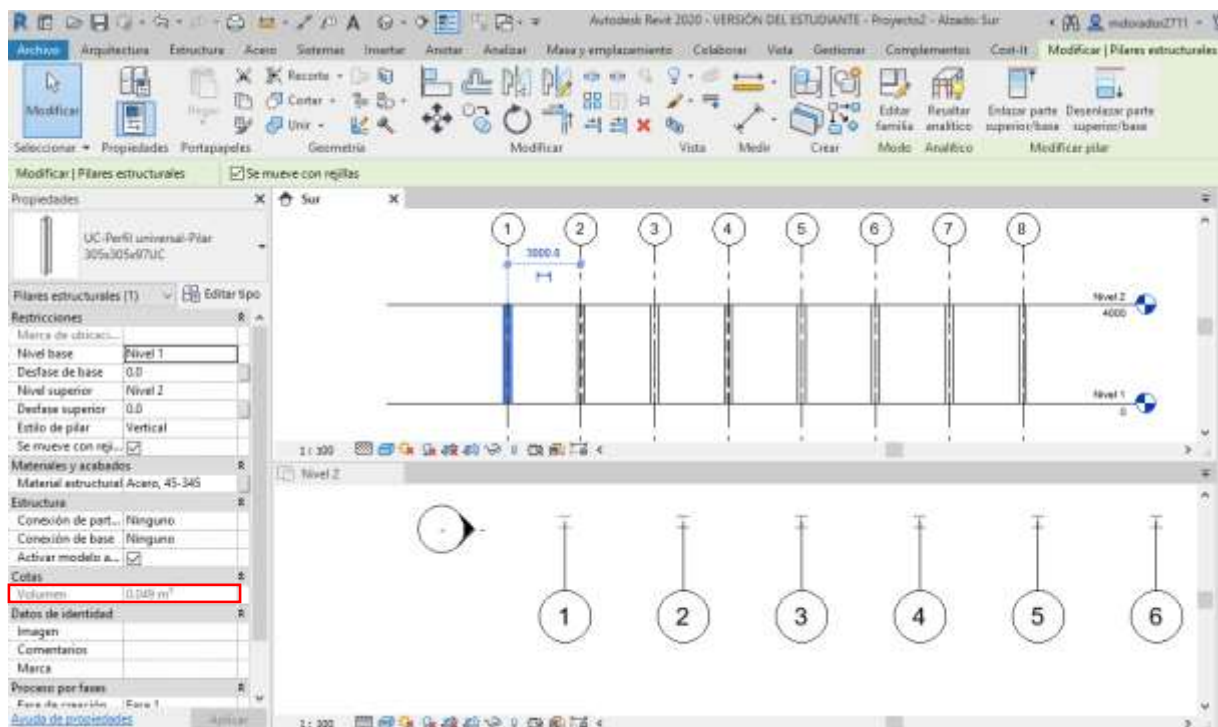


Ilustración 8.7 Edición de elementos en Revit®. Fuente: El. prop.

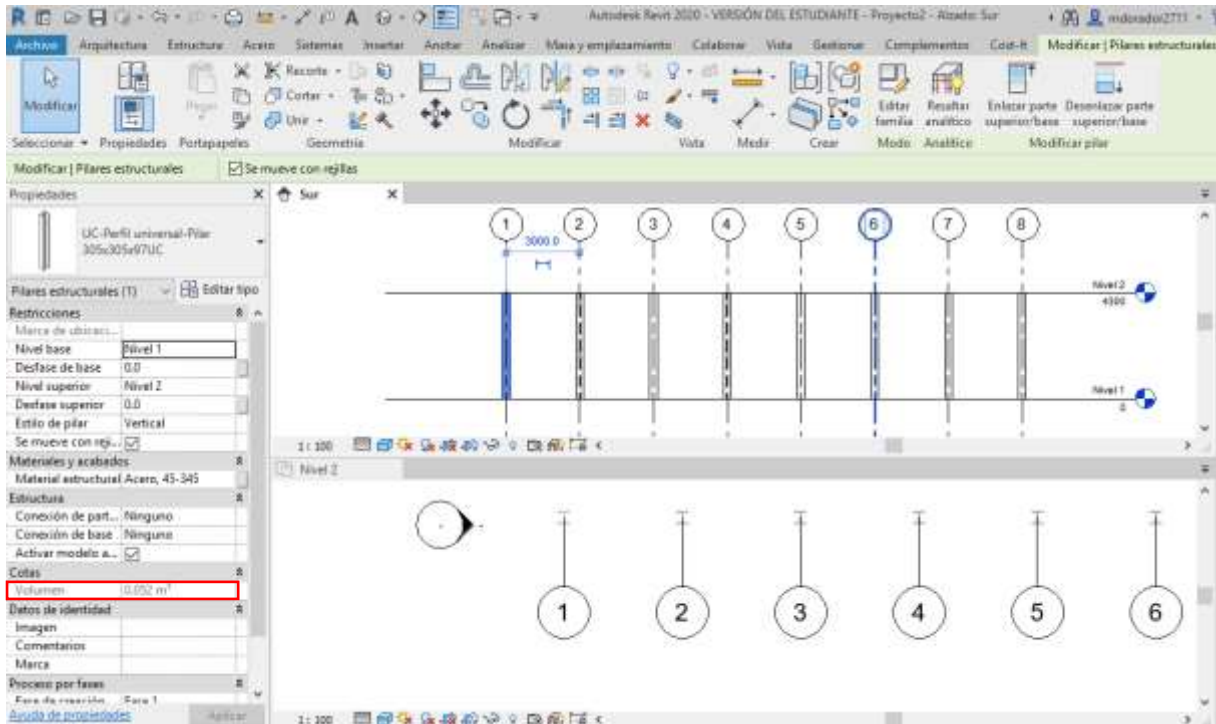


Ilustración 8.8 Edición de elementos en Revit® modificando los niveles. Fuente: El. prop.

Tal y como se puede apreciar, en la segunda ilustración, al modificar el nivel desde la cota +4000 mm a la +4300 mm, el volumen del pilar, y por lo tanto su altura, varían.

Una vez introducidos los puntos y las líneas que sirven de guía para referenciación del modelo, podemos añadir las distintas partes que componen la estructura.

8.4. Zapatas

Modelaremos el paso superior de la misma forma que se construiría en la realidad, es decir, comenzando por la subestructura y finalizando por la superestructura. En este caso, en primer lugar deben ejecutarse las zapatas de las pilas.

Cargando una de las familias de la librería de Revit®, incluidas dentro de la categoría *Cimentación estructural*, encontramos una geometría sencilla y ampliamente utilizada como es una zapata aislada rectangular, que duplicaremos para crear la que tenga las dimensiones de nuestro proyecto y no modificar la que viene por defecto. Así, conseguimos crear con un único elemento una zapata para cada pila de la estructura de dimensiones 8,00x3,00x1,20 m, tal y como se puede apreciar en la siguiente ilustración:

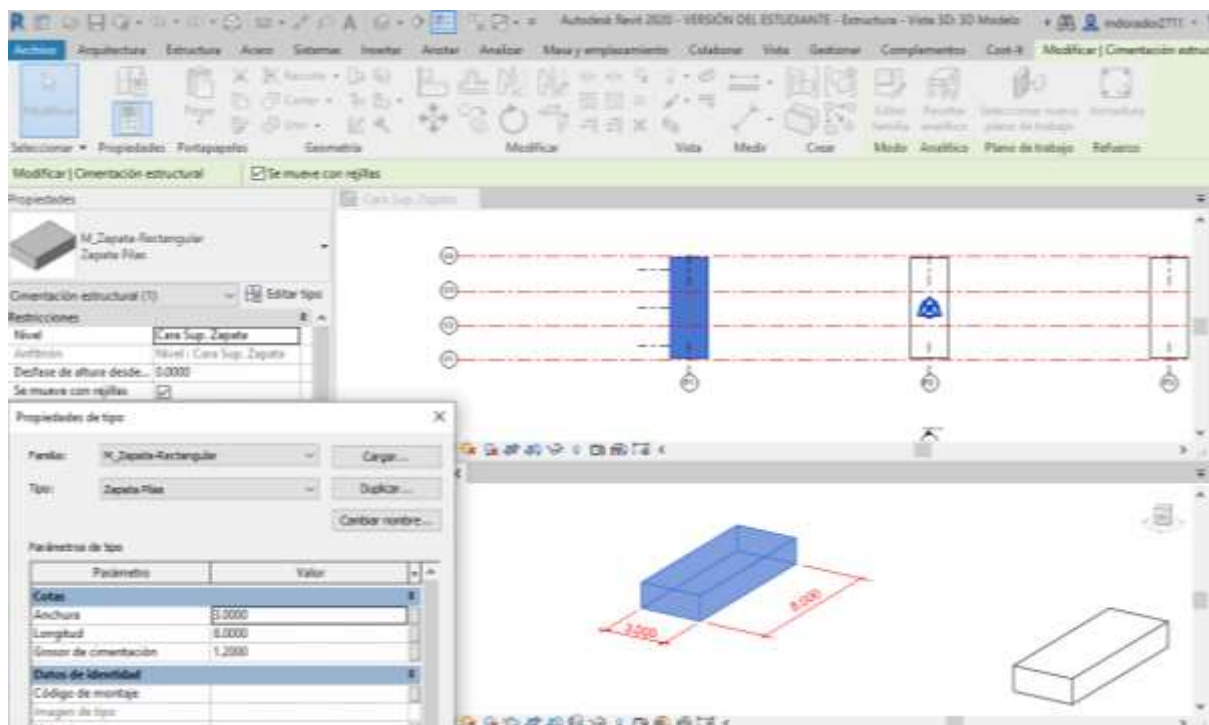


Ilustración 8.9 Introducción y Edición de zapatas en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

Las zapatas se ejecutarán sobre una capa de hormigón de limpieza de 15 cm, que para hacer un Modelo lo más real posible, también deberán ser cuantificadas. Eligiendo en este caso un elemento de la familia *Suelo*, y realizando la misma operación que en paso anterior, conseguimos crear este objeto.

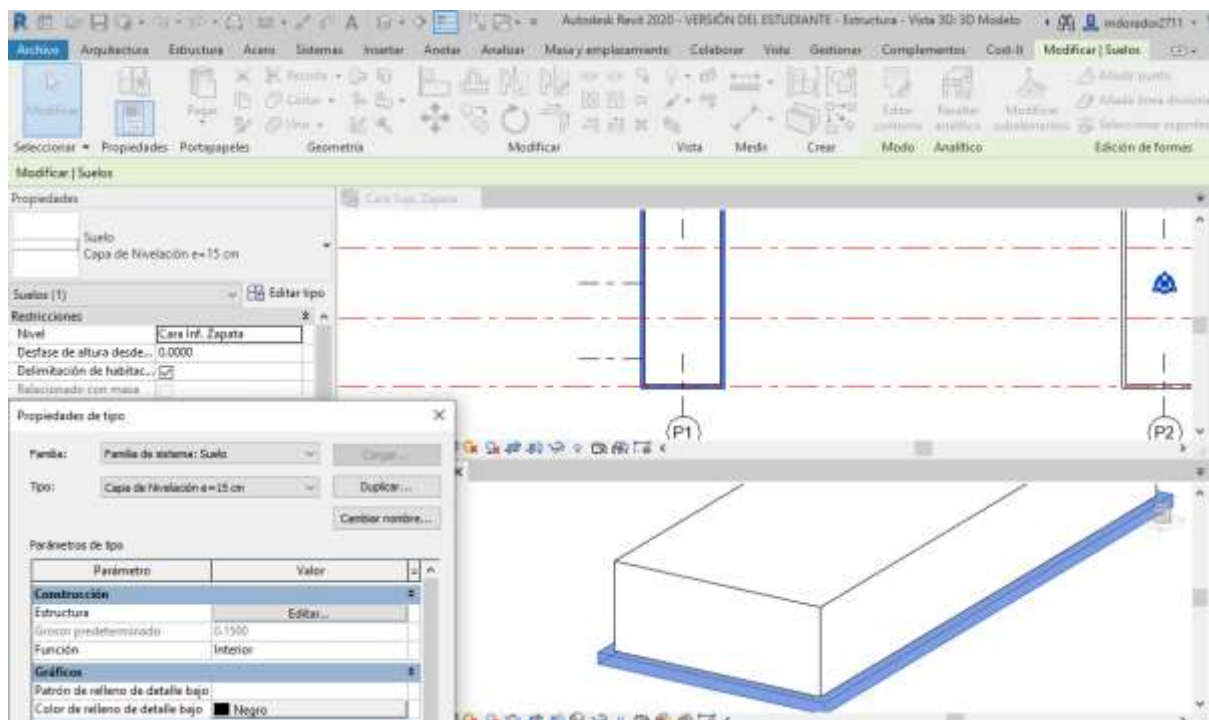


Ilustración 8.10 Introducción y edición de las capas de nivelación en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.5. Pilas

8.5.1. Fustes

Al igual que sucede con las zapatas, los fustes de las pilas de nuestro proyecto son elementos estructurales que tienen una geometría sencilla y por lo tanto, incorporadas en las librerías de Revit®, por lo que el modelado de estos elementos no presenta de entrada ninguna complicación adicional. Seleccionamos un pilar de sección circular de la familia *Pilares estructurales* y lo modificamos para que tenga un diámetro de 1,00 m.

Los fustes de cada pila estarán conectados en su parte inferior por el Nivel de la cara superior de la zapata, y por su parte superior al Nivel que le corresponda a cada pila, puesto que como el paso superior debe seguir el trazado de la rasante, cada una de las pilas estará a una cota distinta. Con este paso nos aseguramos que los fustes tienen la altura correcta y además quedan totalmente unidos a la zapata.

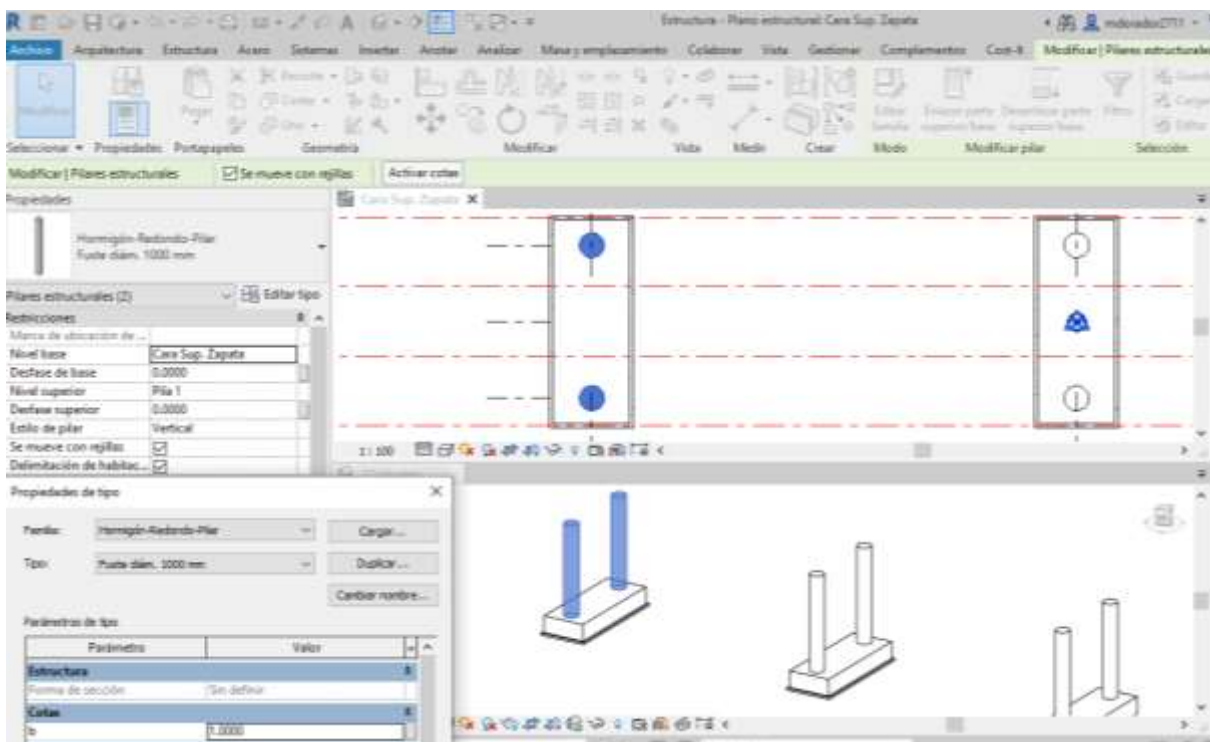


Ilustración 8.11 Introducción y edición de fustes en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.5.2. Capitel

En este Apartado tenemos que hacer una obligada pausa en el procedimiento seguido hasta ahora, porque sucede que la viga capitel de las pilas tienen una geometría singular, diseñada para este proyecto en particular, por lo que como es evidente, no estará disponible en ninguna librería de Revit®, y muy difícilmente la podremos encontrar en las librerías de alguna empresa o a través de internet. La solución pasa por crear nuestra propia familia y una vez editada, agregarla a nuestra base de datos, para que en un futuro, si necesitamos en otro proyecto un elemento similar, podamos simplemente modificar las dimensiones como hemos estado haciendo hasta ahora y no tener que volverla a crear desde el principio. Este es uno de los fundamentos en los que se basa la Metodología BIM y el modelado en Revit®.

Pues bien, seleccionamos una familia *Armazón estructural métrico* genérico y abrimos el editor de familias disponible en Revit®. Teniendo la posibilidad de editar el contorno de la geometría según las dimensiones de la viga capitel diseñada en CivilEstudio®, conseguimos crear la sección del elemento. Adicionalmente, para tener

una geometría con volumen necesitamos realizar una extrusión de dicha sección. Como el ancho total de la viga capitel es de 2,50 m, editamos la extrusión entre los límites ± 1.125 mm. De esta forma, ya tenemos completamente creada la viga capitel, pudiéndose cargar en nuestro proyecto directamente y añadir a nuestra librería particular.

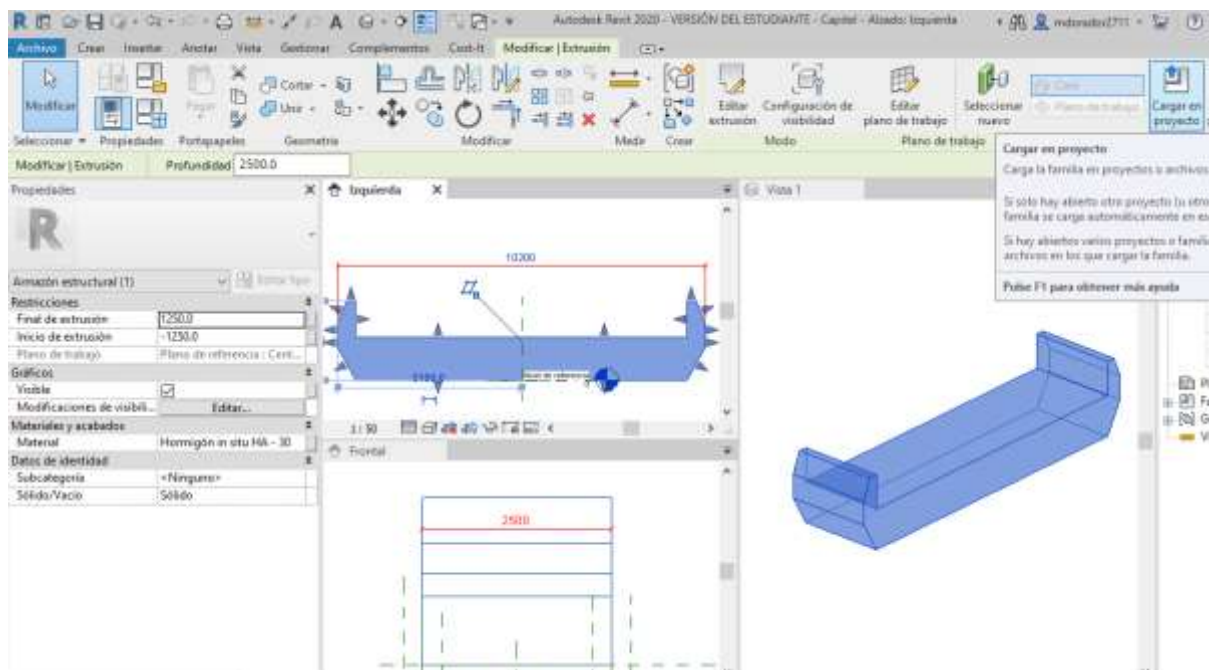


Ilustración 8.12 Edición de familias en Revit®. Fuente: El. prop.

Una vez cargada en el proyecto, se colocan al Nivel de la pila que corresponda para que queden unidos a los fustes. De esta manera tenemos un elemento estructural como son las pilas, compuestas a la vez por la viga capitel, los fustes y las zapatas, actuando todo como un único conjunto.

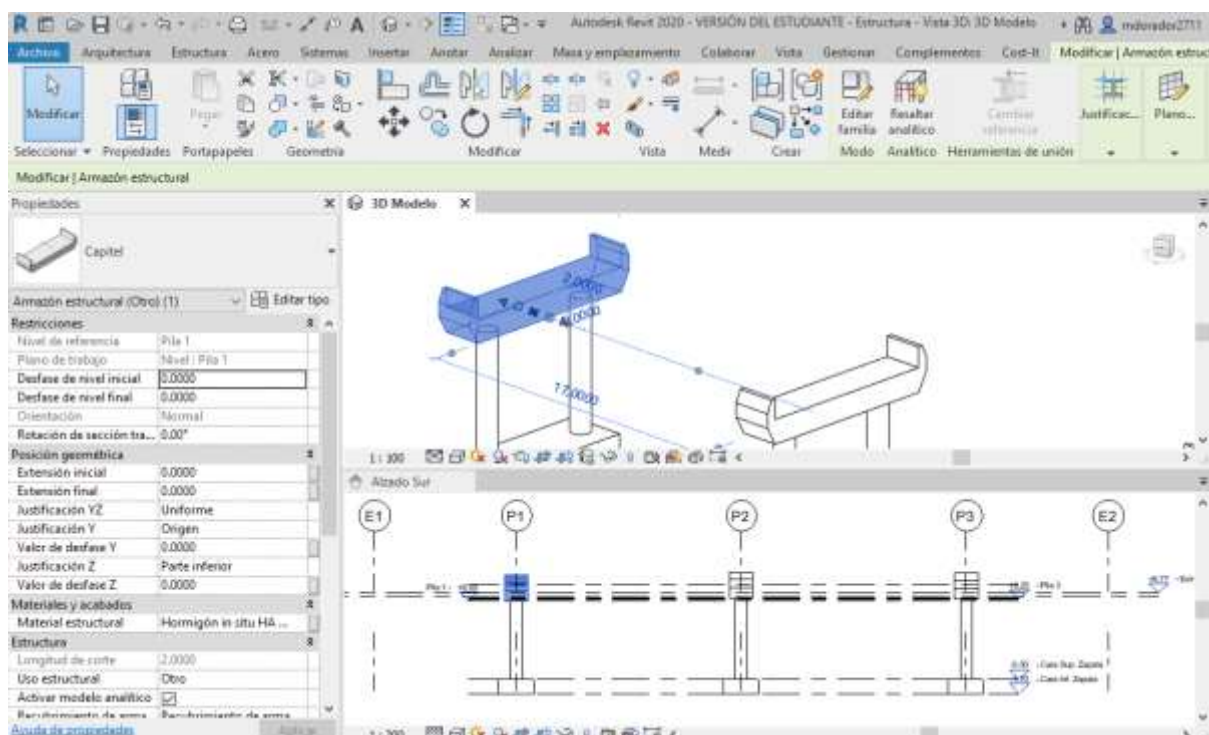


Ilustración 8.13 Introducción y edición de la viga capitel en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.6. Terraplenes

Los terraplenes sobre los que se apoyarán los estribos no pueden añadirse como familias paramétricas dado que no existen tales familias, ni siquiera una genérica que pueda ser modificada como hemos hecho para el capitel de las pilas.

Esto no quiere decir que no se puedan modelar, porque en este caso, Revit® nos permite crear las denominadas *Masas conceptuales*, que pueden adoptar prácticamente cualquier forma (previamente tenemos que editar la geometría) aunque no dispongan de todos los parámetros como puedan tener cualquier elemento de una familia de la librería.

Crearemos los volúmenes con la forma deseada y posteriormente le asignaremos el material con el que estén ejecutados, que en este caso será grava. De esta forma, al menos podremos cuantificar el volumen total de material empleado.

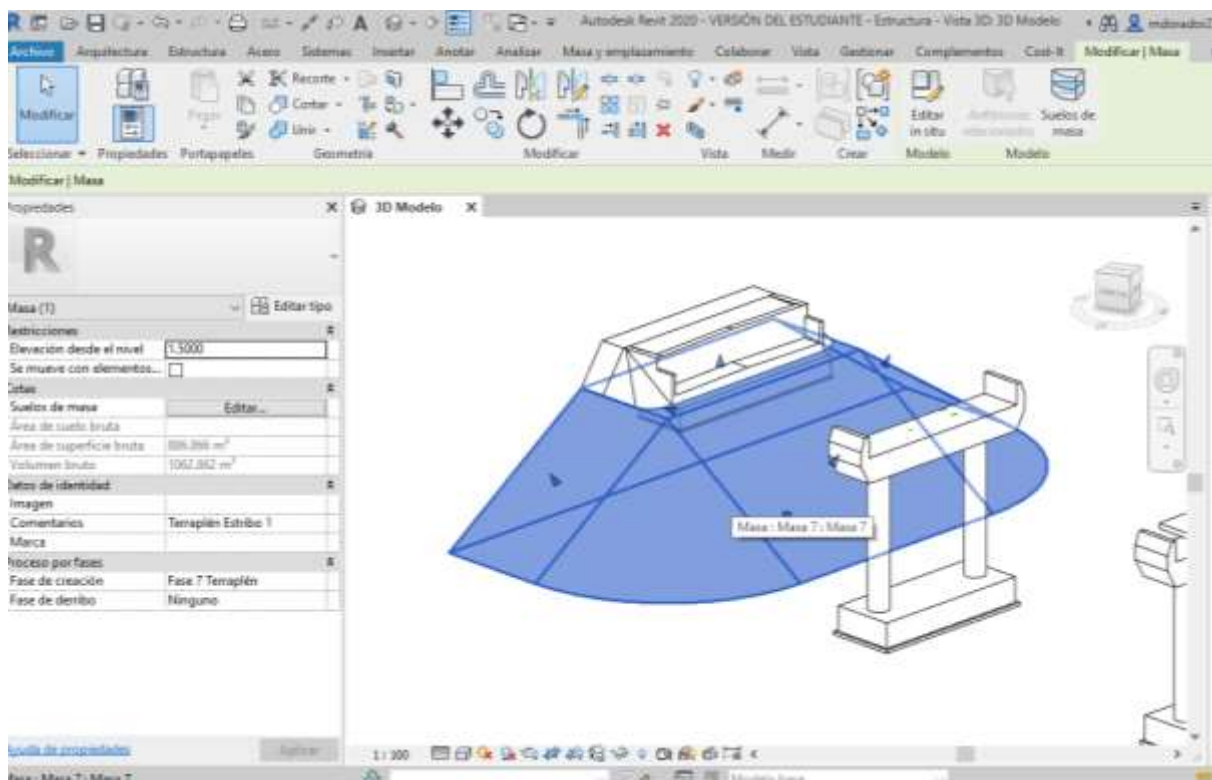


Ilustración 8.14 Introducción y edición de los terraplenes en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.7. Estribos

Los estribos son los elementos más difíciles de modelar debido a los distintos componentes que llevan asociados, con el consiguiente tiempo extra requerido. Podemos distinguir la zapata (con la correspondiente capa de nivelación), el cargadero, el espaldón, las aletas y los muretes laterales. Cada uno se modela según una familia distinta, y además, algunos elementos como el cargadero y el espaldón, llevan la dificultad añadida de tenerlos que editar con la pendiente de bombeo a cada lado.

Obviamente, un elemento así resulta imposible de encontrar en una librería online, por lo que se ha procedido a modelar cada una de las partes que lo componen por separado y posteriormente, Revit® permite la unión inteligente de todos ellos formando un único elemento estructural.

Seguiremos el procedimiento de construcción habitual para el modelado de estos elementos.

8.7.1. Zapata

El mismo procedimiento aplicado en las pilas será llevado a cabo en los estribos para modelar la zapata y la capa de hormigón de limpieza. Como anteriormente ya hemos creado estos elementos, ahora bastará con duplicar esos elementos con otro nombre y asignarles las medidas adecuadas, puesto que no son las mismas que las de las pilas.

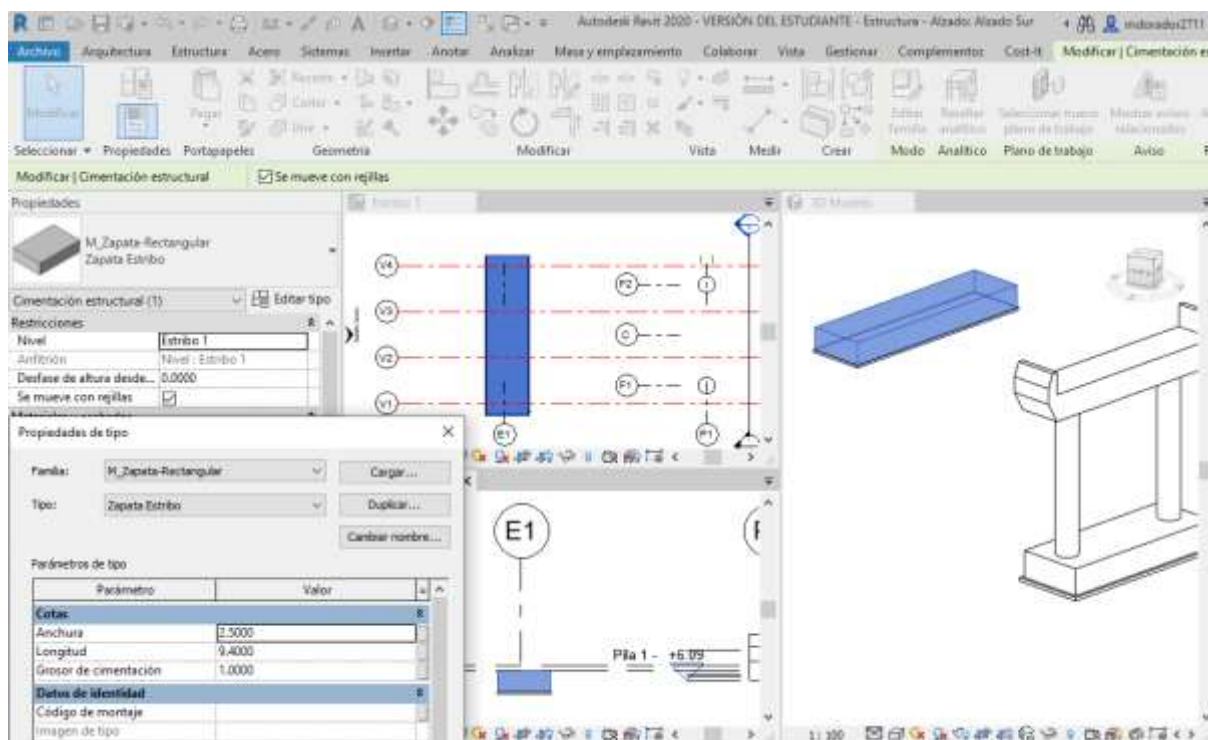


Ilustración 8.15 Introducción y edición de la zapata del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.7.2. Cargadero

El cargadero es la zona del estribo donde se apoyan las vigas, y se modelará como un elemento de la familia *Suelo*. Seleccionamos un suelo genérico de 350 mm de espesor y editamos la geometría colocando una línea divisoria en el centro del mismo, que nos servirá de base para dotar al elemento del bombeo necesario (2%) al modificar su altura.

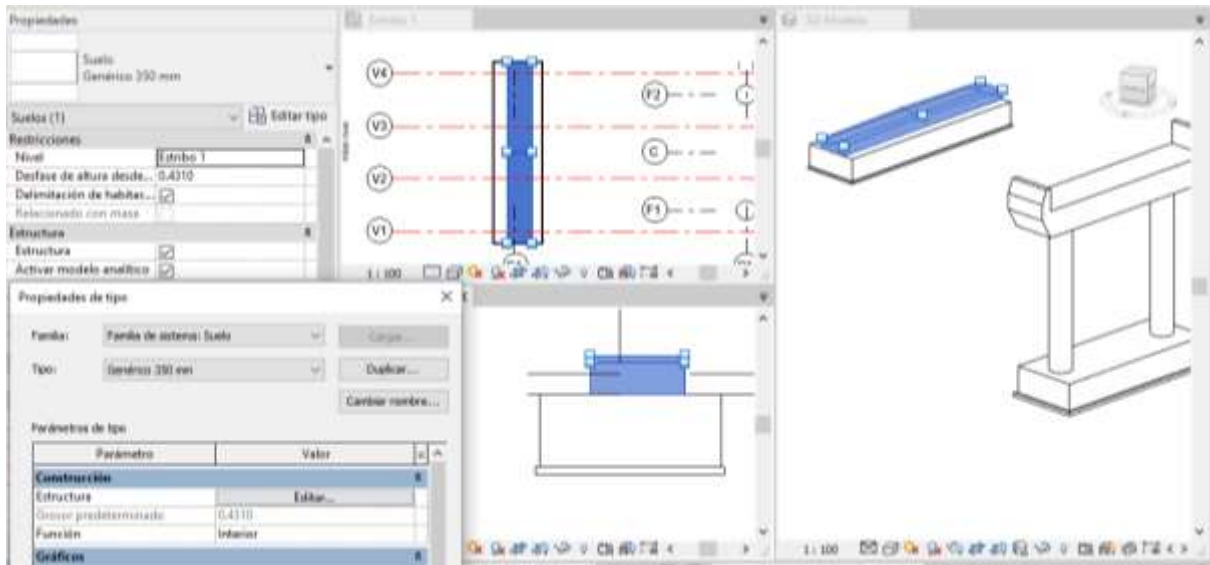


Ilustración 8.16 Introducción y edición del cargadero del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

Como podemos observar, el hecho de disponer de varias vistas a la vez nos permite visualizar el elemento que estamos editando de una forma más cómoda. Si en vez de una sola pantalla de ordenador tenemos la posibilidad de trabajar con varias a la vez, la ventaja es mucho mayor.

8.7.3. Espaldón

Puesto que es un componente vertical, esta parte del estribo se modelará como un elemento de la familia *Muros*. Seleccionamos un muro genérico de 350 mm de espesor (si no aparece librería de Revit® se crea un duplicado de uno cualquiera y se le asigna el espesor deseado, al igual que se ha hecho con otros elementos del puente) y editamos el perfil para dotar a la parte superior del bombeo necesario.

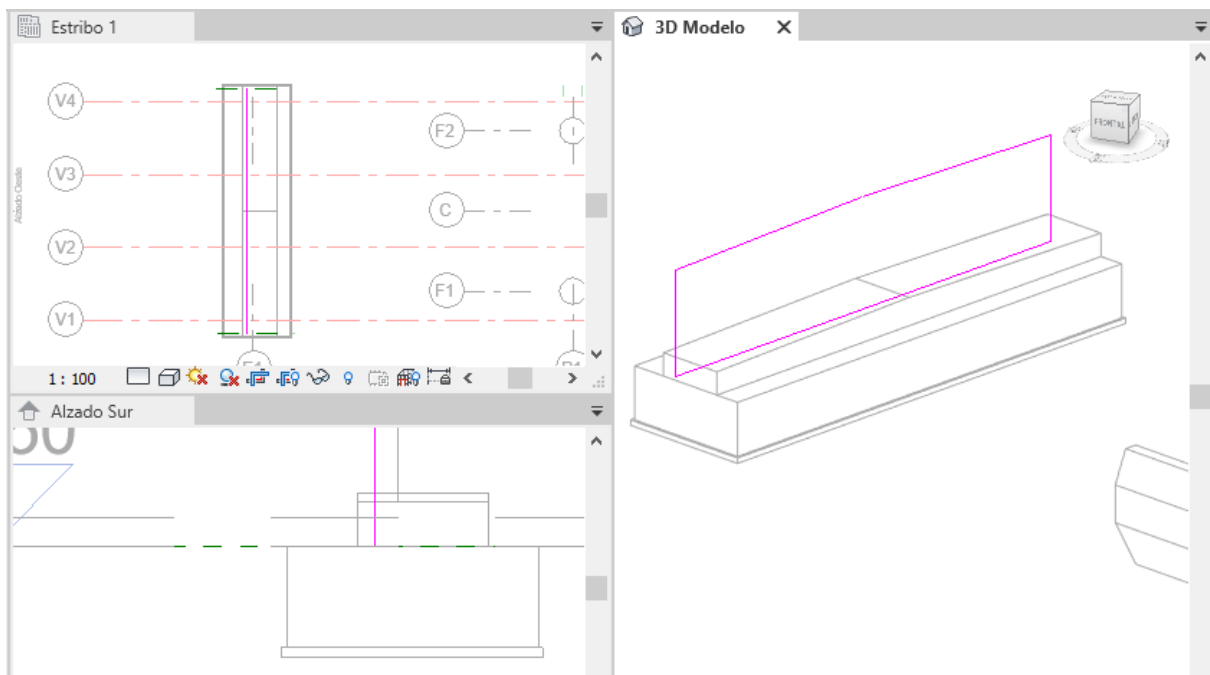


Ilustración 8.17 Edición del perfil del cargadero del Estribo 1. Fuente: El. prop.

Por último, al estar referido al Nivel Estribo 1 (+6.500 m), necesitamos aplicar un desfase de 2,2697 m para que la parte superior del cargadero coincida con el ala superior de las vigas, para que de esta manera la rasante sea continua y no se produzcan saltos bruscos.

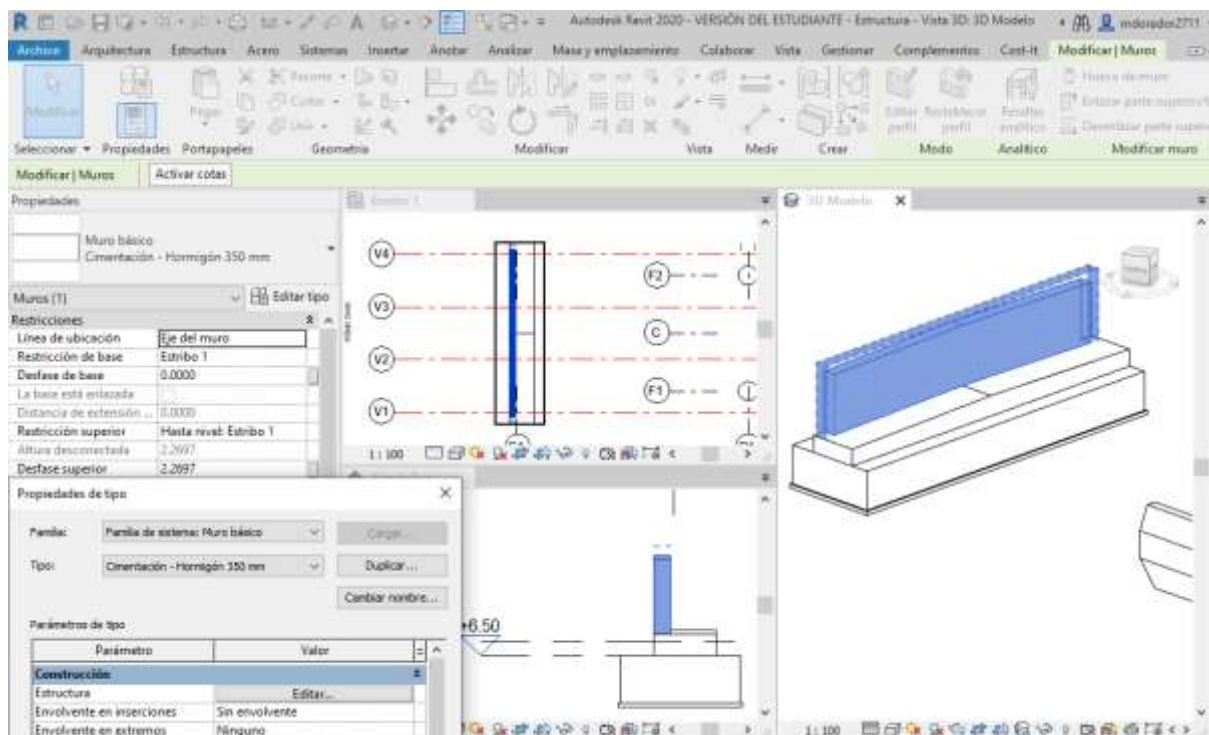


Ilustración 8.18 Introducción y edición del cargadero del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.7.4. Aletas

Las aletas sirven para la contención de tierras del terraplén, y al igual que el espaldón, son elementos verticales y por lo tanto deberán ser modelados como *Muros*. Seleccionamos el mismo tipo de muro que para el espaldón (el espesor en este caso es el mismo, es decir, 350 mm) y editamos el perfil de dicho muro par que tenga la forma deseada.

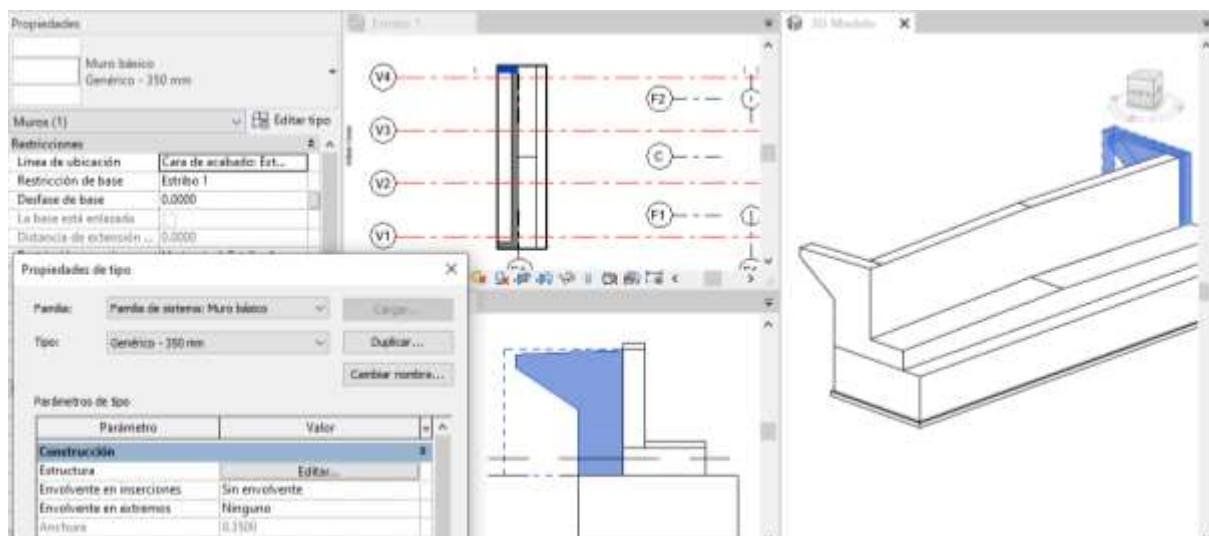


Ilustración 8.19 Introducción y edición de aletas del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.7.5. Muretes

Los muretes laterales, como su propio nombre indica, serán modelados como elementos de la familia *Muros*. Al tener una geometría sencilla, simplemente introducimos un muro similar a los anteriores, (pero esta vez con un espesor de 200 mm) con la altura y la anchura deseada. Por último, asignamos un desfase de 1,431 m respecto a la restricción de base (Nivel Estribo 1) para colocarlos a la altura correcta.

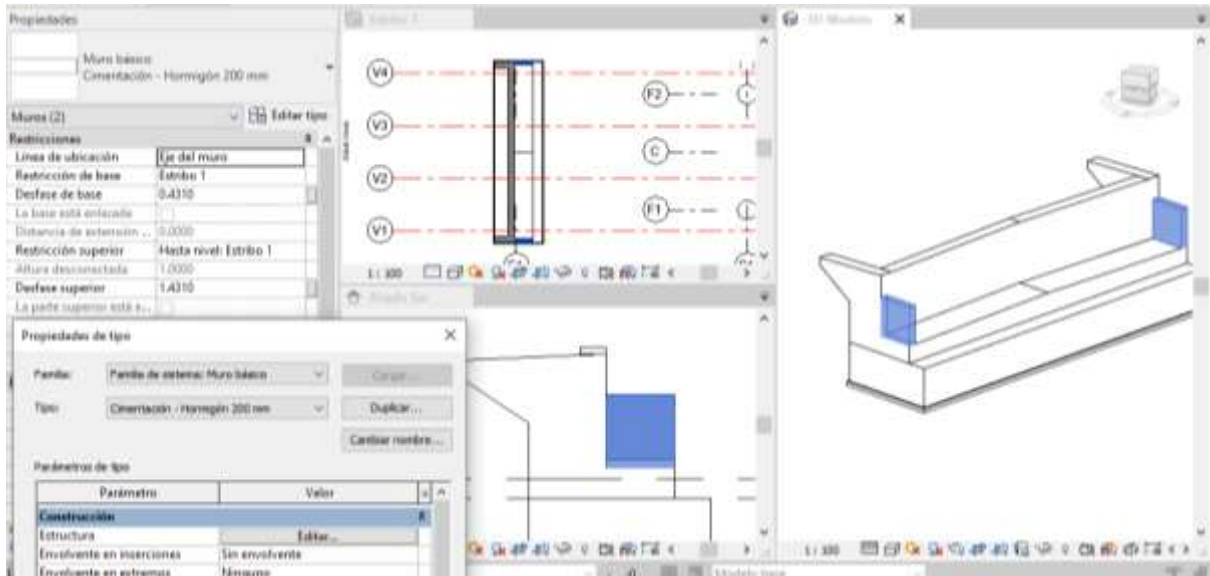


Ilustración 8.20 Introducción y edición de los muretes laterales del Estribo 1 en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

Una vez modelados todos los elementos que forman parte del Estribo 1, por simetría creamos el Estribo 2, asignándole a los Elementos la restricción de base correspondiente (Nivel Estribo 2, a la cota +6,774 m).

Revit® nos permite, además de incluir familias paramétricas, trabajar con algunas de las propiedades de diseño que se pueden encontrar en cualquier programa CAD, por lo que crear el Estribo 2 desde el comienzo sería una pérdida de tiempo cuando las dimensiones son exactamente las mismas que las del Estribo 1.

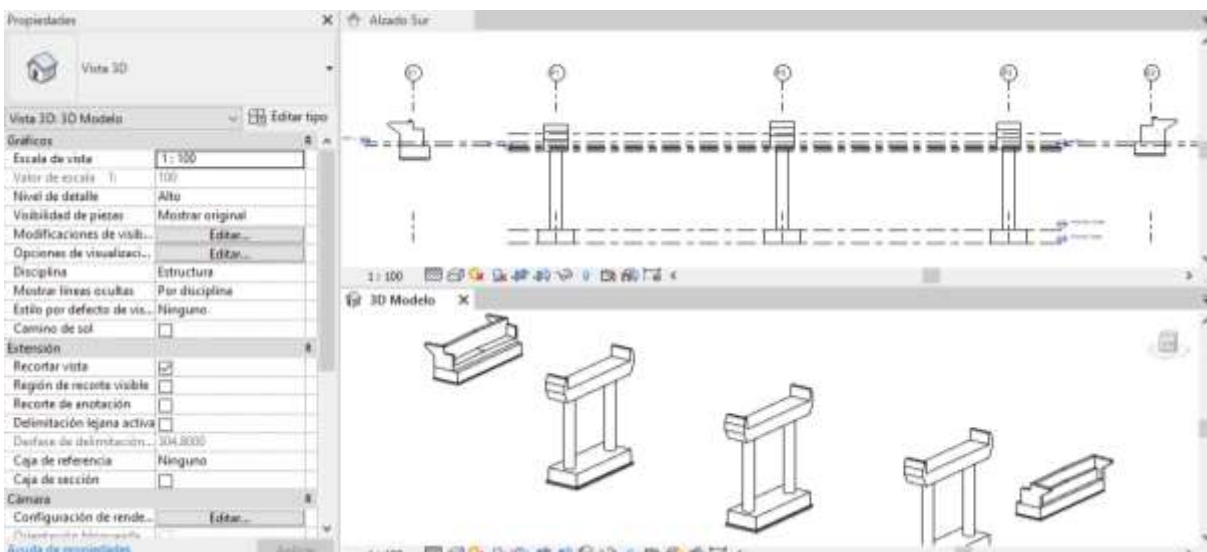


Ilustración 8.21 Pilas y Estribos del Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.8. Apoyos

Los apoyos se modelarán como elementos de la familia *Suelo*, ya que una familia de las características que necesitamos no se encuentra disponible actualmente. Y es que Revit® es un software orientado principalmente al modelado 3D en Arquitectura, por lo que todavía muchos de los elementos comúnmente utilizados en Obra Civil no han sido añadidos como familias.

Seleccionamos las dimensiones en planta y el espesor de los apoyos (los apoyos de los estribos son diferentes a los de las pilas) y los colocamos en su ubicación exacta, coincidiendo con los ejes de las vigas. Posteriormente crearemos el material con el que estarán hechos y se lo aplicaremos.

A su vez, los apoyos estarán colocados sobre una base de hormigón, que también será modelada como *Suelo*.

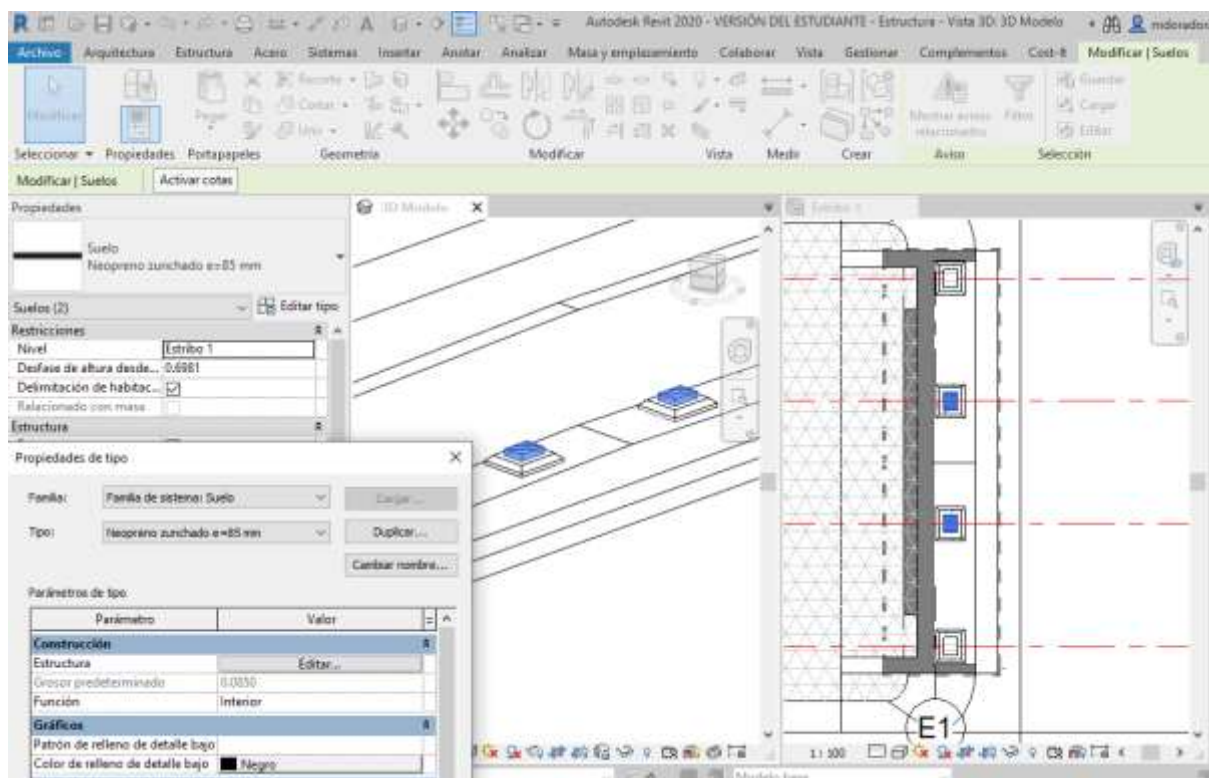


Ilustración 8.22 Introducción y edición de apoyos en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

Al estar referidos al Nivel Estribo 1 (cota +6,500 m) deberá aplicarse un desfase para situarlos a la cota correcta, tal y como se puede apreciar en la imagen anterior.

8.9. Vigas

Revit® cuenta con una amplia librería de vigas que pueden añadirse mediante las familias *Perfiles*, *Armazón Estructural* o *Vigas*, según sea el elemento en cuestión, pero para este proyecto en particular, las vigas seleccionadas en la fase de diseño y cálculo estructural no están creadas, ni siquiera unas similares. Procederemos de la misma forma que anteriormente hemos hecho con el capitel, es decir, creando nuestra propia familia de vigas y añadiéndola a nuestra librería personal para tenerla cuando sean necesarias. Pero en este caso, no sólo crearemos un elemento singular con unas dimensiones muy concretas, si no que crearemos nuestro propio catálogo de vigas.

Para ello, tomamos de base una familia *Armazón estructural métrico* genérico y abrimos el editor de familias de Revit®. Parametrizando algunas de las medidas como el canto, la anchura de las alas superior e inferior o el espesor del alma conseguimos incluir varios elementos de la misma familia del mismo modo que podemos hacer con las familias propias de Revit®.

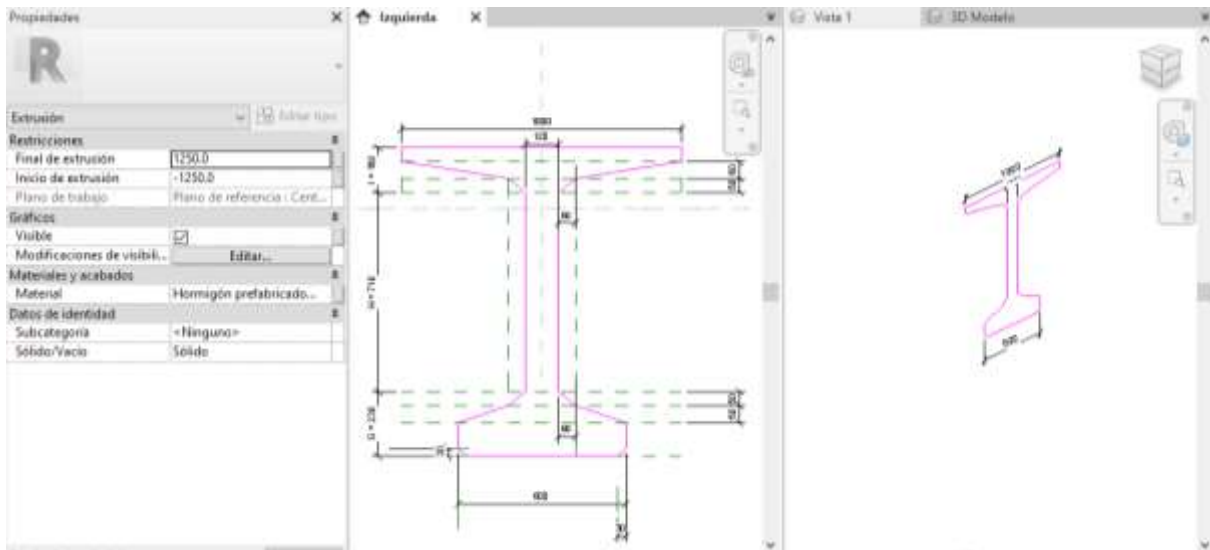


Ilustración 8.23 Edición de la sección de la viga con el editor de familias. Fuente: El. prop.

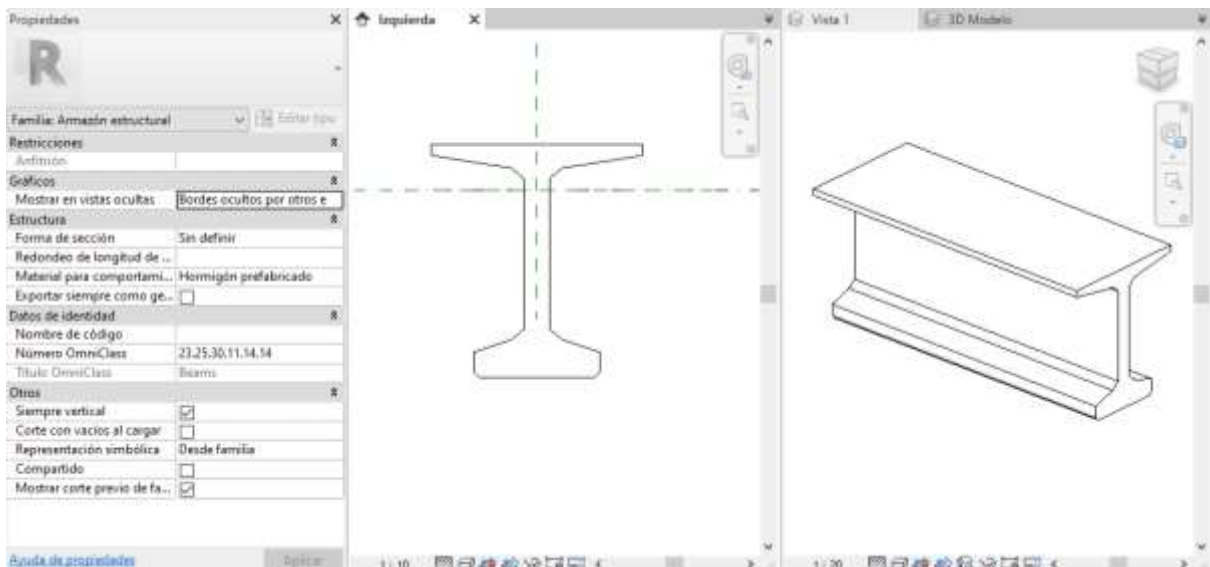


Ilustración 8.24 Apariencia final de la viga creada. Fuente: El. prop.

Finalmente cargamos la familia en nuestro proyecto y las colocamos con la longitud y posición adecuada.

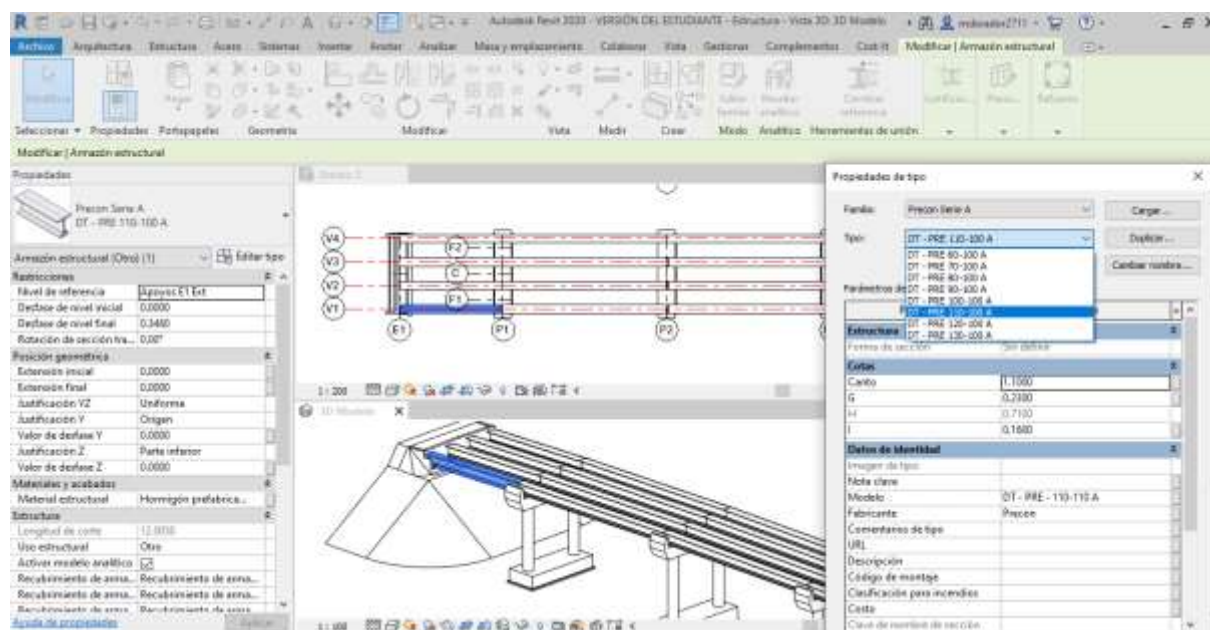


Ilustración 8.25 Introducción y edición de vigas en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

En la imagen anterior podemos observar de qué manera pueden modificarse varios de los parámetros de la viga como por ejemplo el canto, o cómo han sido añadidas varios tipos de vigas de la misma familia, en este caso la Serie A del fabricante.

Respecto a la colocación de las vigas, tendremos que aplicar un desfase en uno de los extremos para que coincidan en su posición exacta, puesto que la rasante no es completamente horizontal.

8.10. Prelosas

Las prelosas servirán de encofrado perdido para evitar la colocación de una cimbra. Estos elementos, al ser horizontales, lo más idóneo es modelarlas como elementos *Suelo*. Para no resultar demasiado repetitivo, de aquí en adelante, no haré demasiado hincapié en explicar el proceso de modelado de los elementos que hayan sido modelados de una forma similar anteriormente, como es este caso.

Como queremos que las prelosas estén cuantificadas como elementos prefabricados, y no como un solo conjunto, crearemos una de ellas y el resto simplemente las crearemos con la opción *Copiar*.

Pues bien, seleccionamos un elemento de la familia *Suelo*, lo duplicamos y editamos para que tenga un espesor de 5 cm y creamos el elemento con dimensiones de 1,83 m de ancho (1,73 m es la distancia horizontal entre las alas superiores de vigas contiguas, y 5 cm de apoyo en cada una de ellas) y 1,00 m de largo (una medida estándar).

Teniendo el paso superior una longitud total de 62 m, y 3 filas correspondientes a los espacios intermedios de las 4 vigas, hacen un total de 186 elementos *Prelosas*.

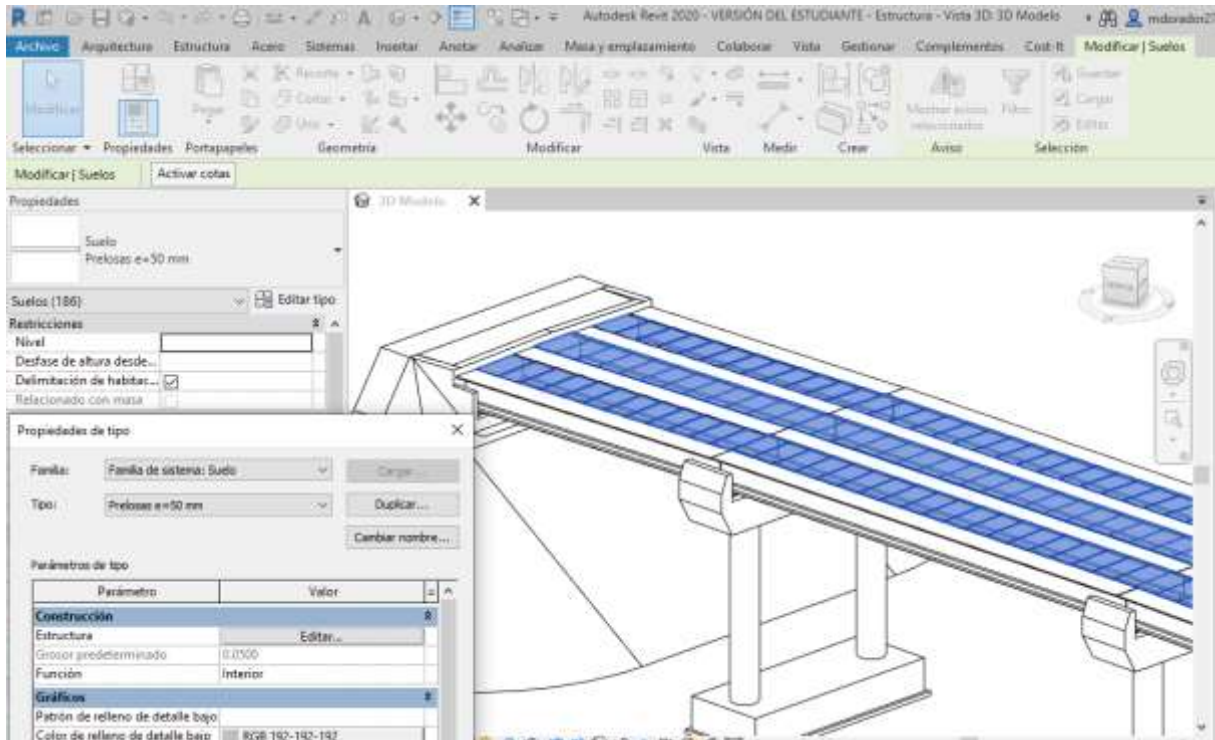


Ilustración 8.26 Introducción y edición de prelosas en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.11. Losa

La losa se modelará como un elemento de la familia *Suelo*. Creamos un elemento partiendo de los suelos genéricos de Revit® de 25 cm de espesor y editamos la geometría añadiendo líneas divisorias de manera que se adapte a la rasante, y además, lleve incluido el bombeo del 2% a cada lado del eje.

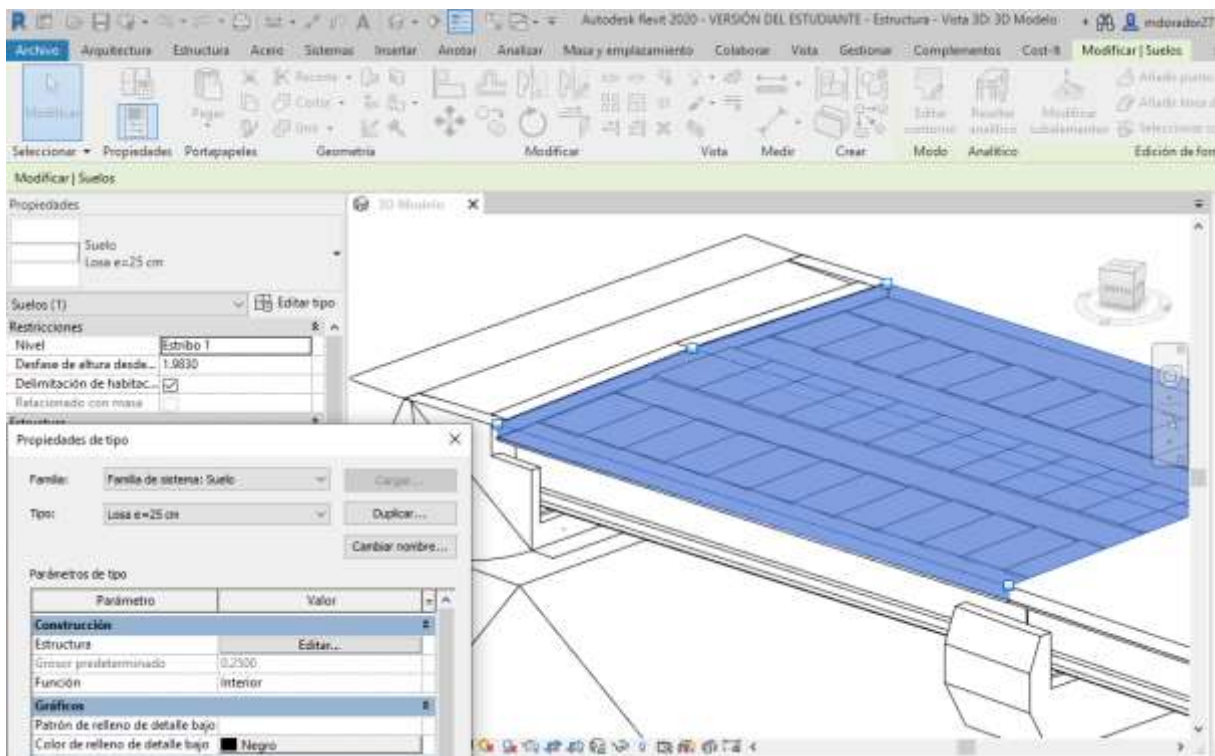


Ilustración 8.27 Introducción y edición de la losa en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

Por otro lado, Revit® permite el modelado inteligente de elementos, pudiendo localizar fallos en el modelo no visibles a simple vista y mostrándonos avisos o errores, aunque tenemos que utilizar nuestro sentido común para

saber si los fallos detectados deben ser corregidos o sin embargo son fallos realizados a propósito.

En la siguiente imagen vemos los avisos recibidos al intentar colocar la losa de hormigón sobre las prelosas. En total se producen 57 avisos correspondientes a las 57 prelosas que tiene el vano 2 (19 m de longitud de vano, con 3 filas de prelosas de 1,00 m de longitud cada una de ellas)

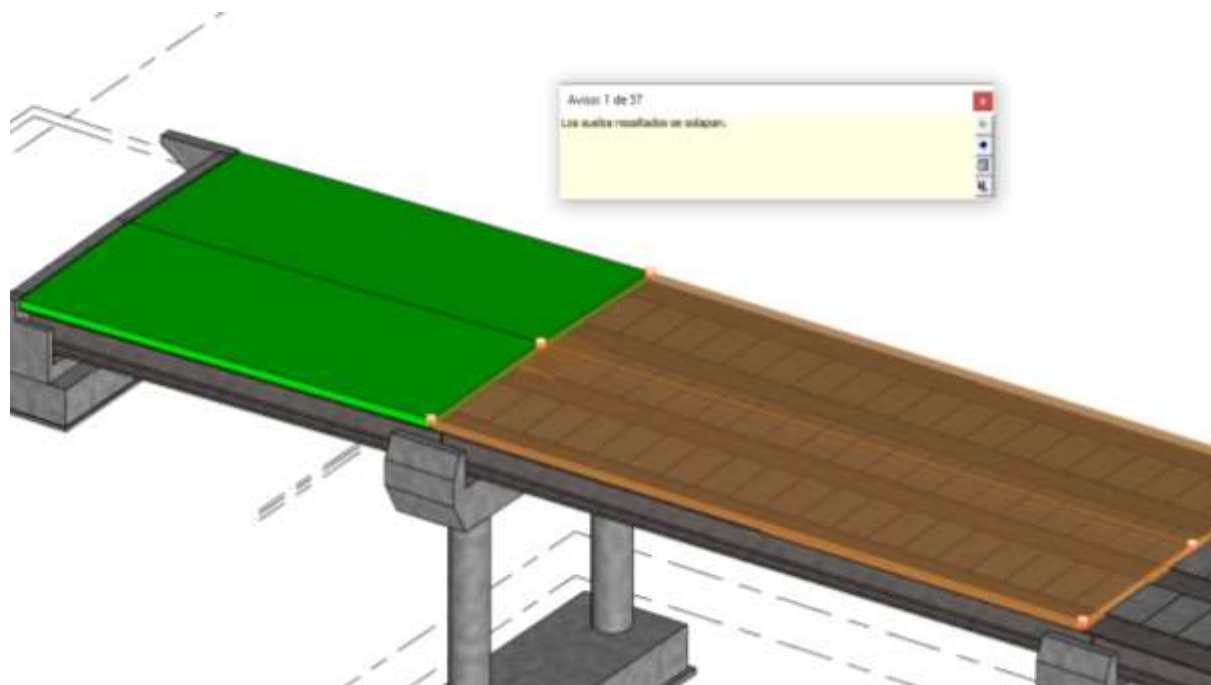


Ilustración 8.28 Avisos de Revit® durante la fase de modelado. Fuente: El. prop.

En efecto, nos indica que los suelos resaltados en color naranja “se solapan”. Esto se debe porque las prelosas, al considerarlas que actúan a modo de encofrado perdido, quedan “embebidas” dentro de la losa cuando ésta se hormigone, entonces se produce una colisión entre los elementos *Suelo* de las prelosas y la losa. En este caso podemos omitir los avisos porque queremos que la estructura se construya de esta manera (que es como se hace en la realidad), pero en otros casos estos avisos nos ayudarán a corregir los errores y así tener un modelo lo más exacto posible.

8.12. Capa de Rodadura

El mismo procedimiento seguido con la edición de la losa será de aplicación para la capa de rodadura, que incluso al tener ya creada la losa, creamos un elemento de la familia *Suelo* idéntico y lo colocamos encima de ésta, siendo la única modificación necesaria cambiar el espesor de la capa, que en este caso es de 5 cm en lugar de 25.

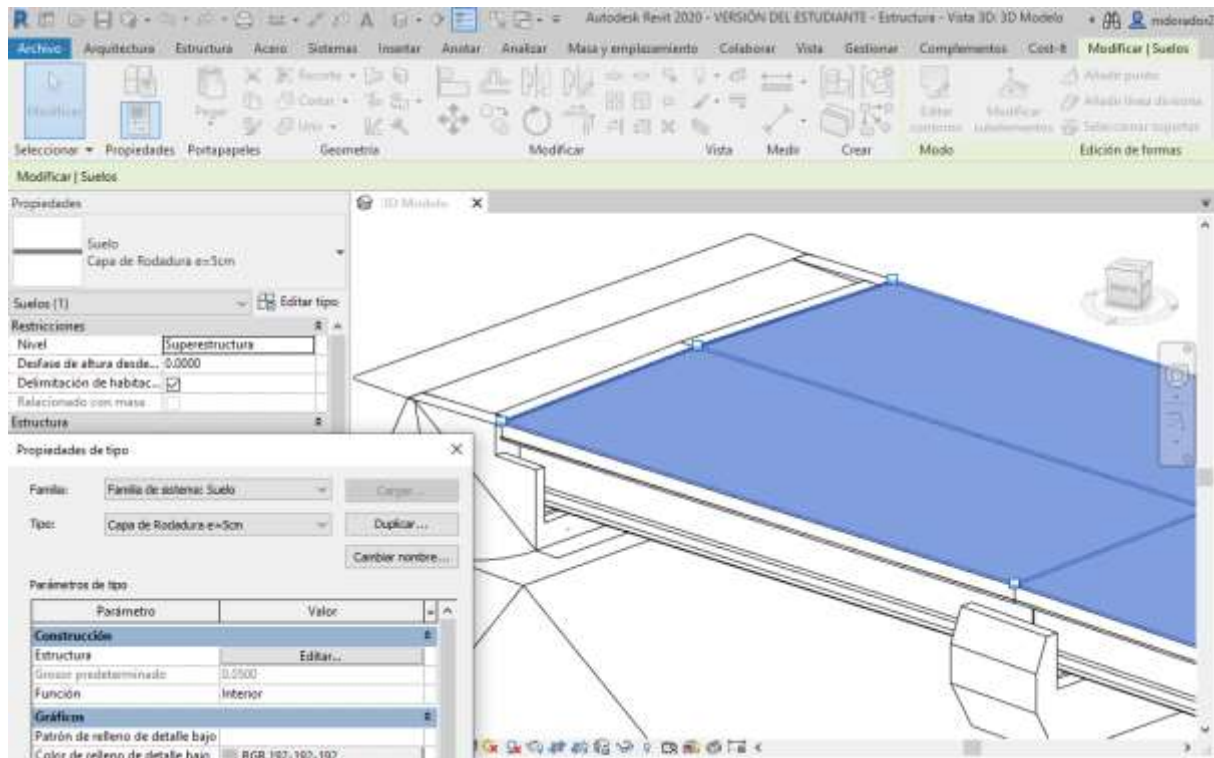


Ilustración 8.29 Introducción y edición de la capa de rodadura en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

En este caso, como tanto la losa como la capa de rodadura tienen la misma geometría y encajan perfectamente una con la otra, no se producen avisos ni errores de ningún tipo.

8.13. Pretilos

Los pretilos del paso superior serán añadidos como elementos de la familia *Barandilla* que trae Revit® por defecto en su librería. Se selecciona el tipo de elemento más adecuado y se colocan encima de la capa de rodadura.

Las barandillas que incluye Revit® están más bien orientadas a Edificación, por lo que no resulta apropiado para considerarlas como barreras de contención para puentes. En este caso, en lugar de crear el elemento desde el principio, al igual que hemos hecho con las vigas y el capitel, se ha buscado a través de las librerías disponibles en internet.

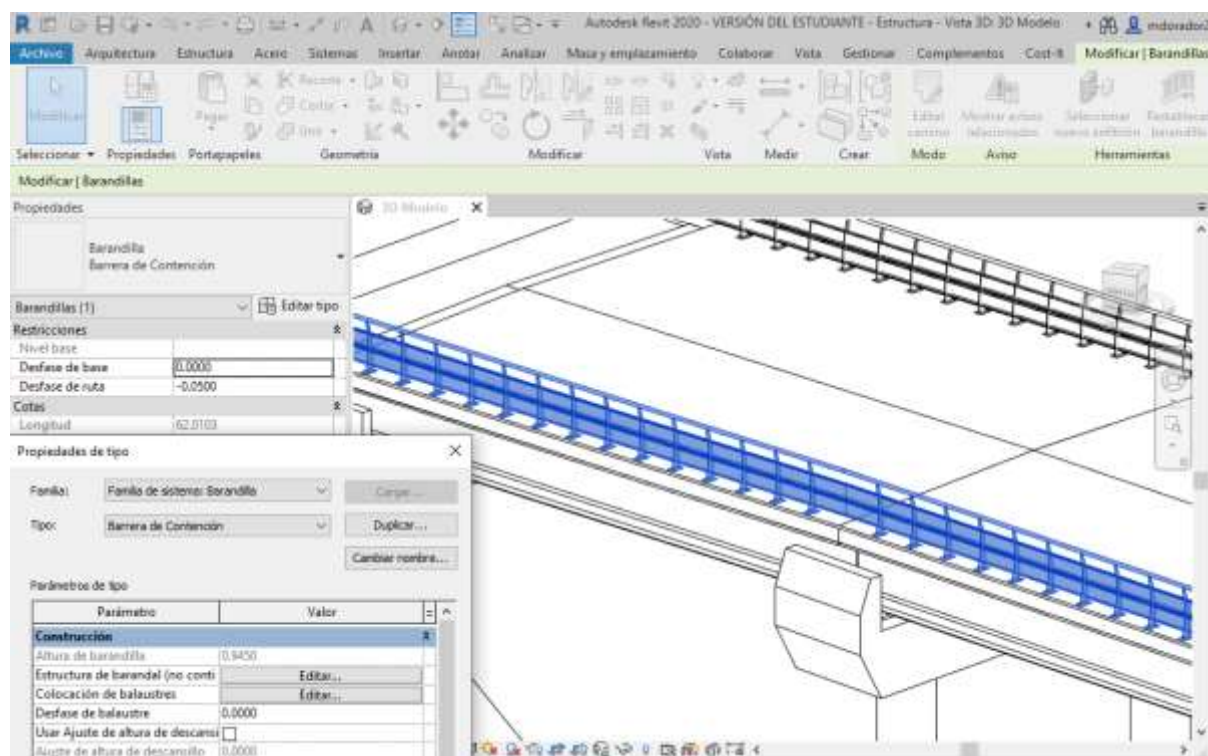


Ilustración 8.30 Introducción de pretilas en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.14. Materiales

Llegados a este punto, en el que la mayoría de los elementos han sido modelados, resulta conveniente aplicarles el material correspondiente con el que estarán fabricados, porque una simple geometría en 3D no nos sirve para mucho más que para una mejor visualización del proyecto.

Aplicando un material a cada elemento podemos obtener cantidades directamente sin tener la necesidad de realizar mediciones como se hace en la metodología tradicional de proyectos, en los que una vez diseñado el proyecto, se procede a cuantificar los materiales, con la más que posible aparición de errores debidos al factor humano. En otros casos, las mediciones son las correctas, pero sin embargo se precisa mucho tiempo para repasar todas y cada una de ellas, y más cuando tenemos geometrías más complejas, en los que el número de operaciones a realizar es mayor para tener una medición completa y exacta.

En Revit®, sea cual sea la geometría del elemento, la cuantificación del volumen es automática, por consiguiente, aplicándole un material tendremos cantidades de ese material sin que haya posibilidad de cometer errores, y en el caso de modificar la geometría, las nuevas cantidades se actualizan de forma instantánea.

Al igual que sucede con las familias, Revit® incluye una librería con materiales comúnmente utilizados en la construcción, pero es habitual no disponer de todos los materiales existentes en nuestro proyecto. Como también podemos crear nuestros propios materiales y añadirlos a la librería que viene por defecto, procederemos a duplicar algún material existente de las mismas características, y editándolo cambiaremos parámetros como el nombre, la designación, el fabricante, la apariencia que tendrá en el Modelo o incluso parámetros físicos o térmicos.

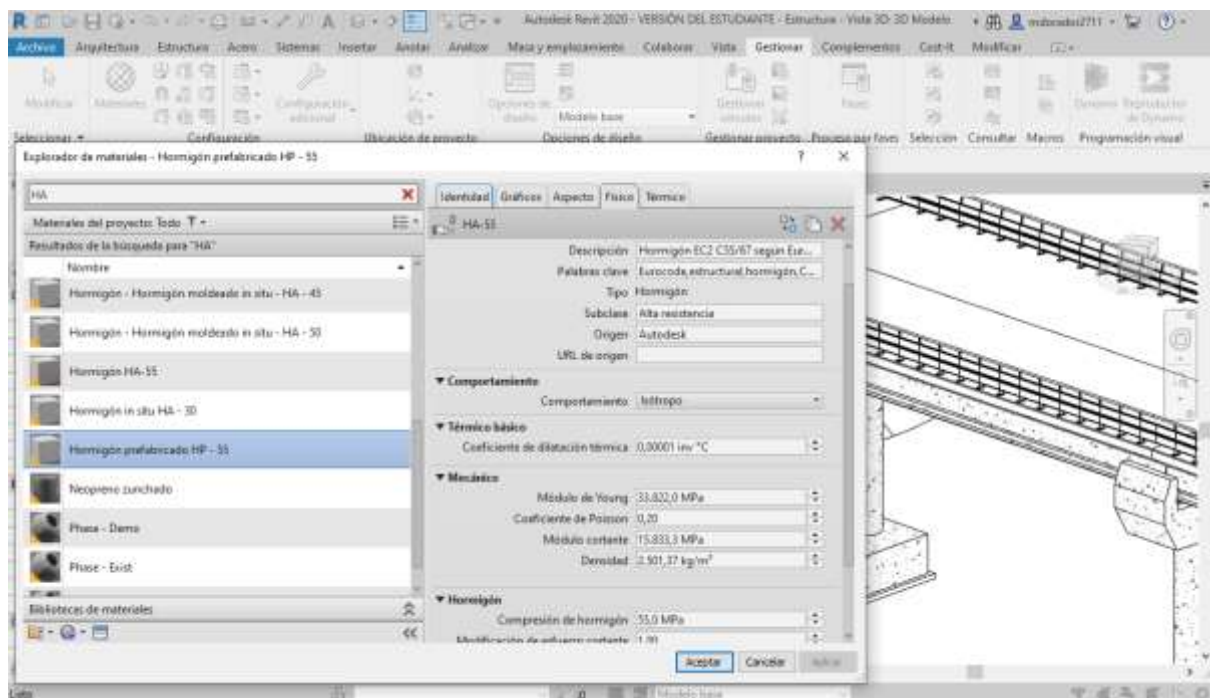


Ilustración 8.31 Edición de materiales. Fuente: El. prop.

Crearemos materiales como hormigones, el acero de la armadura activa y pasiva, los neoprenos de los aparatos de apoyo, etc. y se lo aplicaremos a sus respectivos elementos.

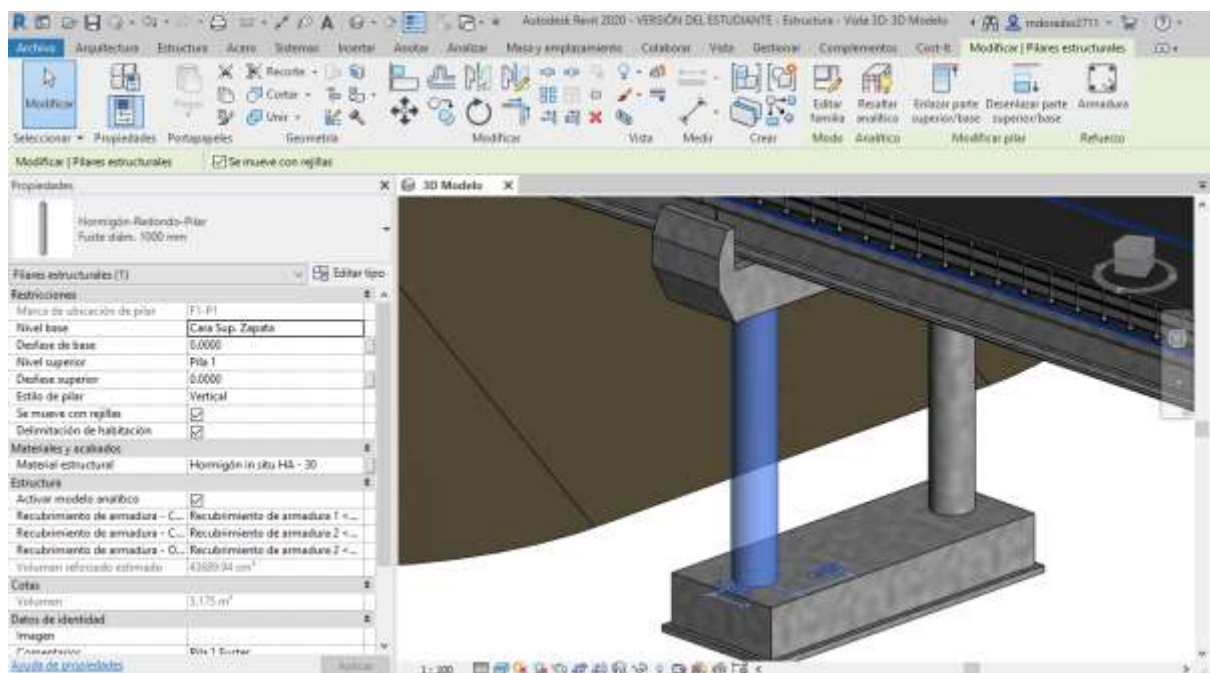


Ilustración 8.32 Aplicación de materiales a los elementos del Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.15. Armaduras

Como elementos estructurales de hormigón, la inclusión de armadura es necesaria en proyectos de estas características. El programa CivilEstudio® genera el armado, bien sea de forma automática según las cargas y dimensiones de la estructura, o bien el proyectista en base a su experiencia y criterio profesional elige parámetros tales como diámetros de las barras, número de barras y separación entre ellas.

En Revit®, el proceso de generado del armado no es tan sencillo como lo hemos hecho con CivilEstudio®: en base al armado que hemos obtenido en la fase del cálculo estructural, lo que haremos en este Apartado será introducir la misma cantidad de armadura en los elementos de hormigón del Modelo 3D.

Pero esto no quiere decir que tengamos que introducir las barras una a una, si no que tenemos la opción de colocarlas mediante un número fijo de barras, mediante una separación fija o mediante ambas a la vez. Al anfitrión (un anfitrión puede ser una zapata, una viga, etc.) al que queramos añadirle la armadura le asignamos un recubrimiento determinado, y el programa, de forma inteligente, no permitirá introducir armadura a una distancia de la cara superficial menor que la distancia de recubrimiento. De la misma forma, si por cualquier casual modificamos el recubrimiento, bien sea por decisiones tomadas en la fase de proyecto o bien sea por un error humano, no hará falta introducir la armadura de nuevo si no que se modificará automáticamente con el recubrimiento. Utilizando también las herramientas *Simetría* y *Copiar* podemos hacer que el proceso sea menos tedioso y así ahorrar tiempo.

Seleccionando uno de los tipos de armadura incluidos en la familia *Armadura Estructural* que trae Revit® por defecto, y aplicándole el material creado en la librería como “Acero B-500 S”, conseguimos introducir la armadura en cada una de las partes que conforman la estructura. En la mayoría de los casos, será necesario editar la geometría para que se adapte al anfitrión de manera correcta y que no haya solapamientos entre distintos grupos de armaduras. Para ello, es esencial trabajar con varias vistas abiertas a la vez, obteniendo una visión general del anfitrión desde cada uno de los distintos ángulos.

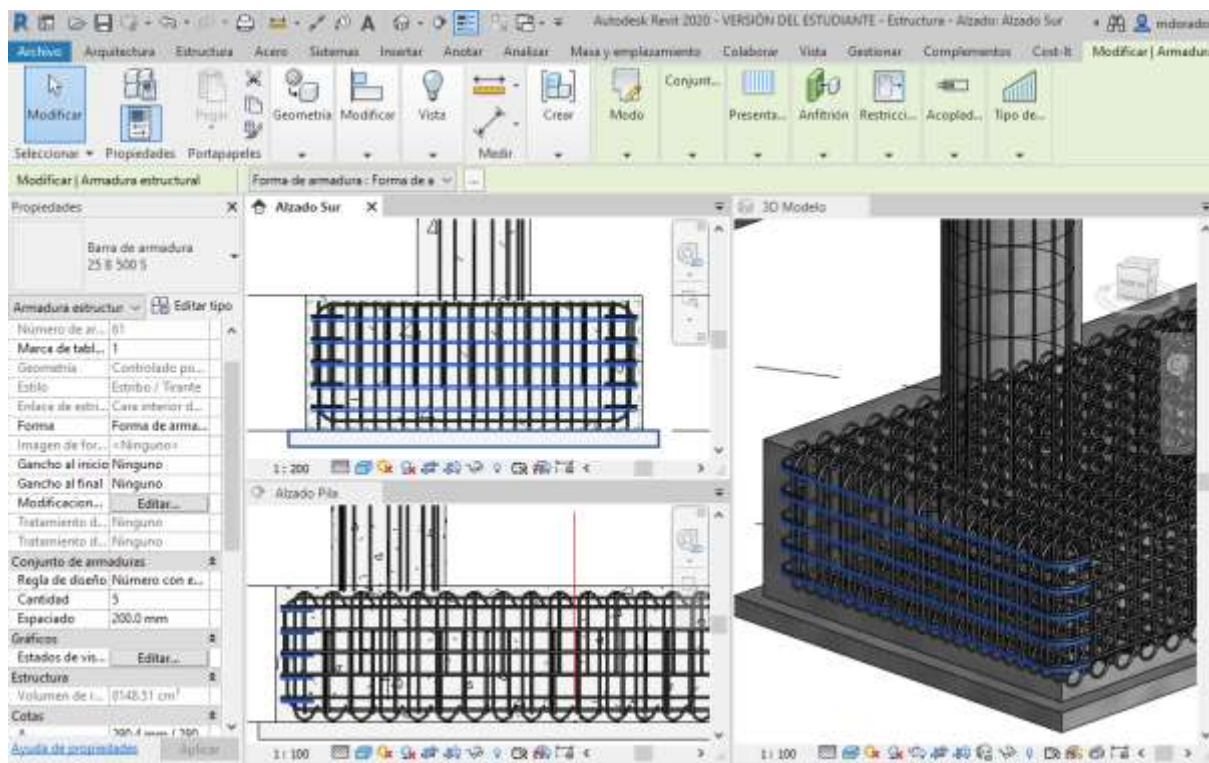


Ilustración 8.33 Introducción y edición de armaduras en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

La armadura correspondiente a un anfitrión se actualiza no sólo si modificamos el recubrimiento, sino también

al modificar las dimensiones de dicho anfitrión, como podemos ver en la siguiente ilustración, en la que se ha modificado intencionadamente la anchura de la zapata de 3,00 a 4,00 m:

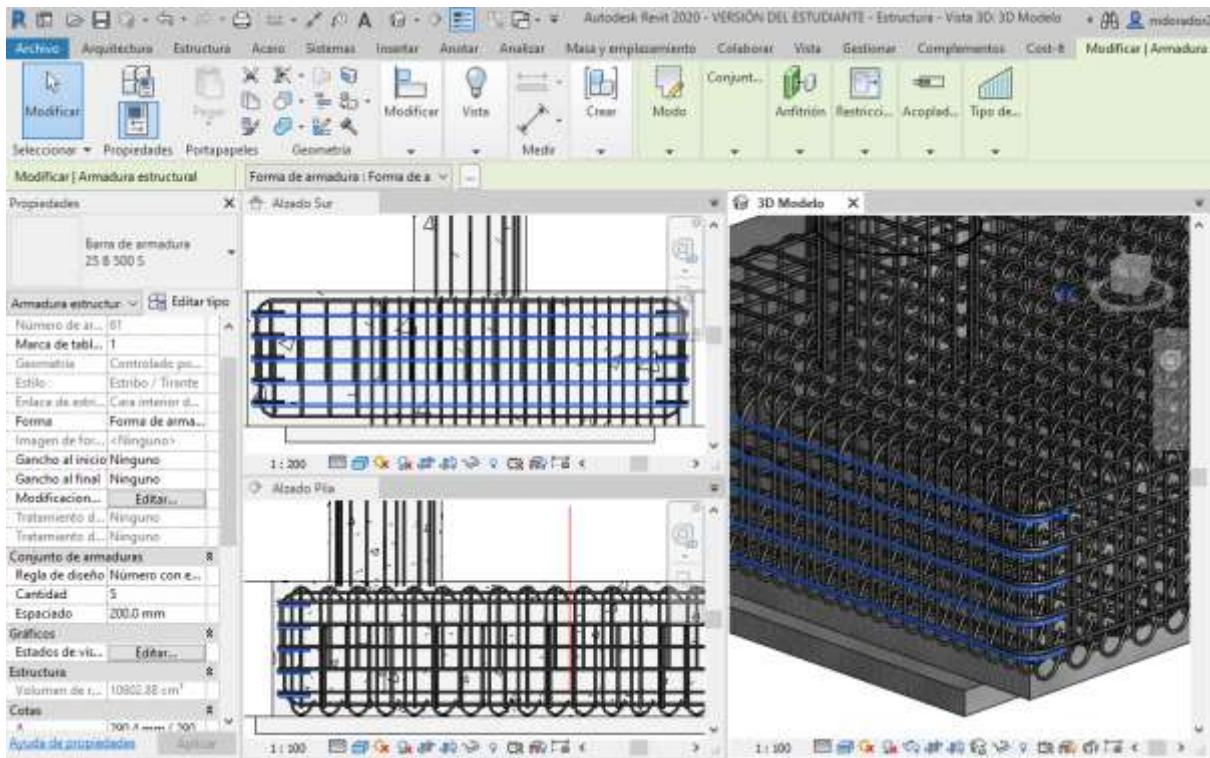


Ilustración 8.34 Modificación de armaduras en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

Con estas explicaciones, vamos agregando paso a paso a cada elemento la cantidad de armadura necesaria.

Aunque se introduzca toda la armadura en el modelo de la estructura, ésta estará oculta, porque aparte de ser un elemento que en la realidad no se aprecia a simple vista, la gran cantidad de barras introducidas, al tener un nivel alto de gráficos, hace que el modelo se ralentice y no nos permita trabajar con facilidad.

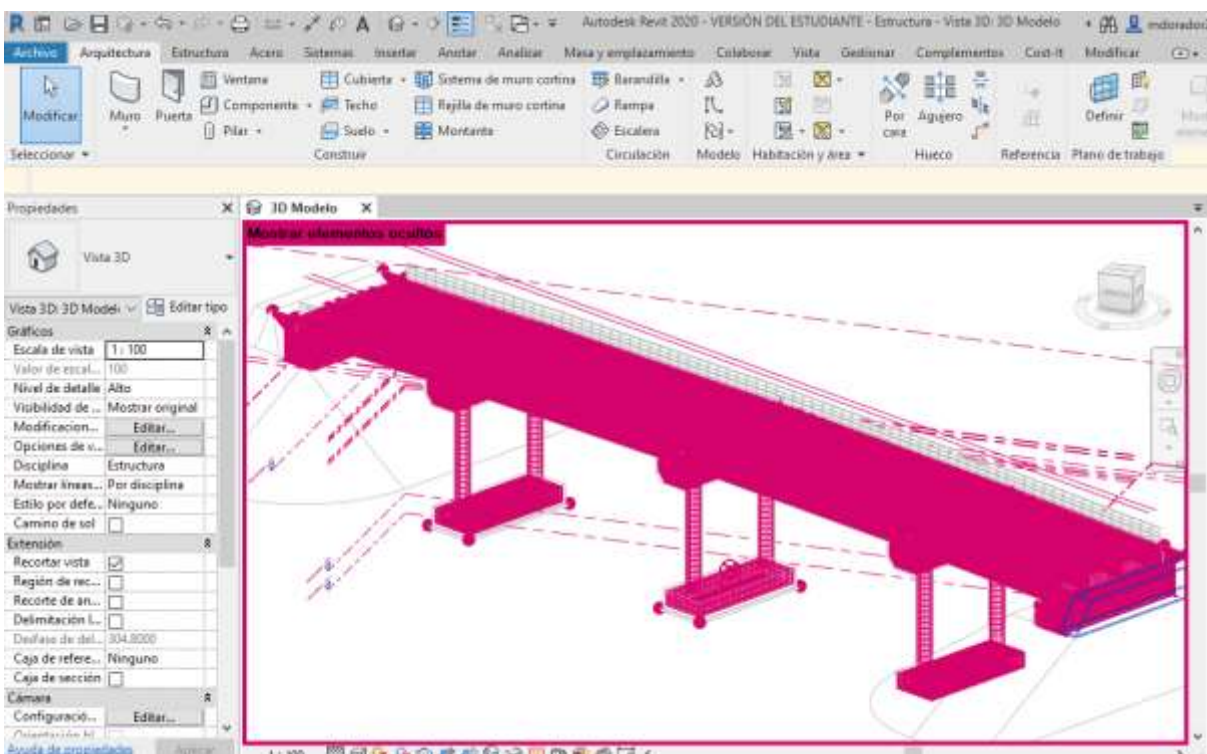


Ilustración 8.35 Armadura oculta en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

A la hora de realizar cualquier trabajo es esencial seguir un orden, intentando hacer las cosas lo más sencillas posibles. Un paso del que no hemos hablado hasta ahora, que nos supone un gran ahorro de tiempo a posteriori pero que no nos produce grandes retrasos mientras realizamos el modelo, es el hecho de introducir comentarios en cada uno de los elementos que vayamos modelando con el nombre o designación de dichos elementos.

En el caso específico de las armaduras, el programa tiene contabilizado más de 2.000 elementos distintos (un elemento puede estar compuesto a su vez por varias barras), y si no seguimos un orden, localizar una armadura concreta en el proyecto, o saber a qué anfitrión pertenece resultará una tarea prácticamente imposible. Como veremos en el siguiente Capítulo cuando expliquemos con detenimiento las *Tablas de Planificación (Apartado 9.2)* teniendo un listado completo de las armaduras podremos localizar la armadura que deseemos de forma automática porque sabemos con los comentarios a qué anfitrión y a qué parte del anfitrión pertenece.

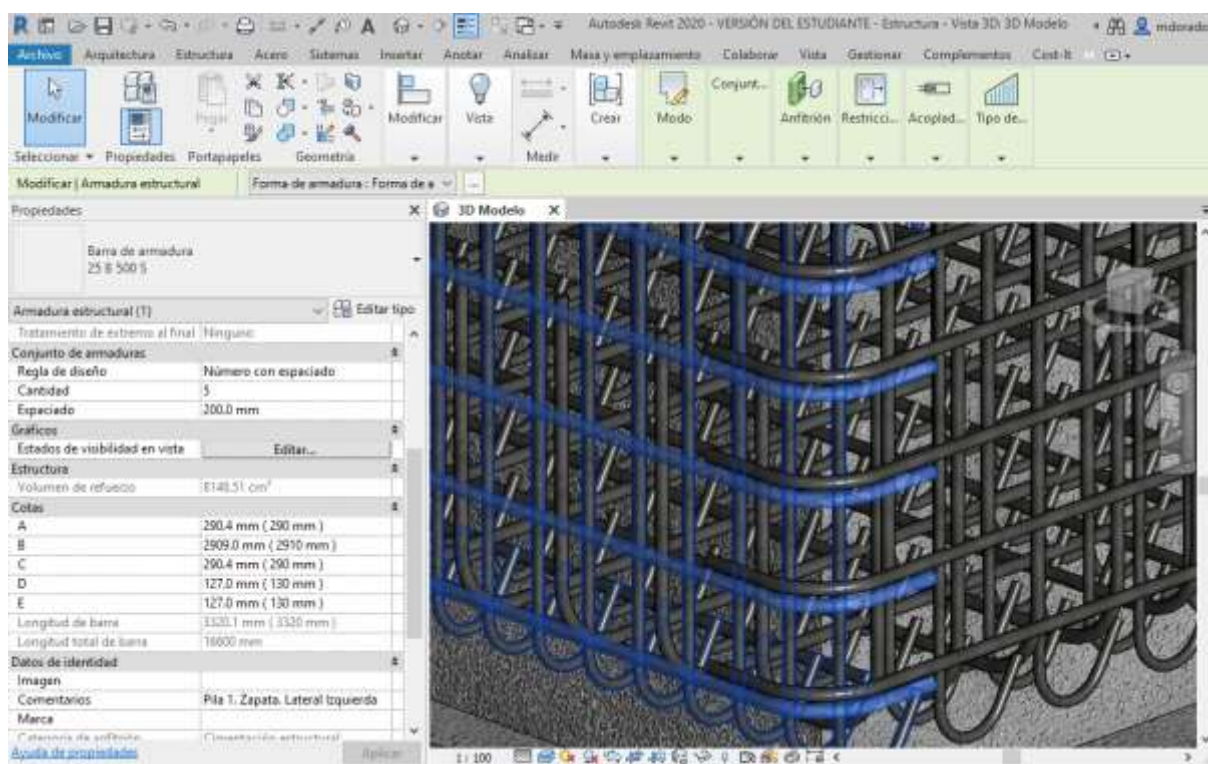


Ilustración 8.36 Introducción de comentarios en los elementos del Modelo 3D. Fuente: El. prop.

Las vigas, a pesar de ser elementos prefabricados, también se modelarán como el resto de elementos ejecutados in situ, incluyendo toda la armadura activa y pasiva necesaria.

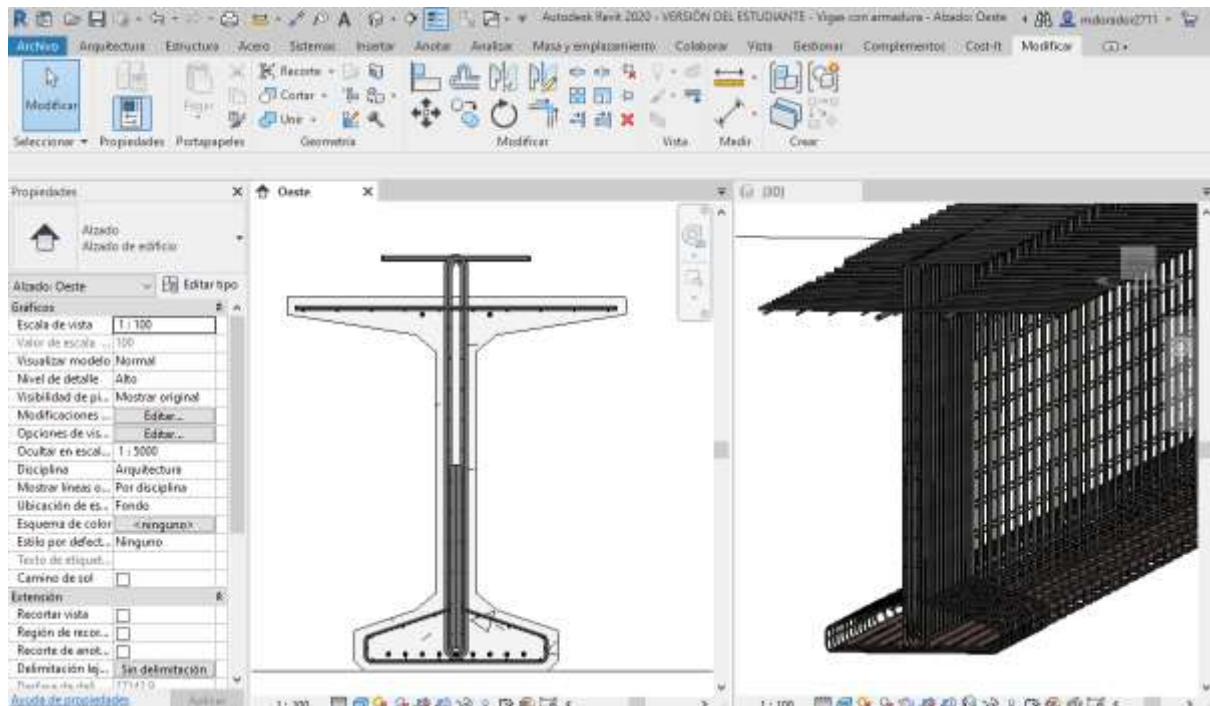


Ilustración 8.37 Introducción de armaduras en las vigas. Fuente: El. prop.

8.16. Encofrados

Los encofrados no son habitualmente considerados proyectos de estas características, al menos en la fase de diseño, pero deben ser modelados igualmente si nuestra intención es representar el procedimiento de construcción de la forma que más se asemeje a la realidad posible. Y es que para elementos de hormigón in situ resultan ser imprescindibles, por lo que de alguna manera debemos cuantificarlos y considerarlos a la hora de elaborar un presupuesto.

Existen varias formas de considerar los encofrados; una de ellas sería con la opción *Aplicar pintura* a los elementos de hormigón, y esa pintura considerarla como material (en este caso madera), obteniendo como resultado superficie pintada. Esta forma, aparte de no resultar demasiado real, tiene el inconveniente de que, en geometrías más complejas, como por ejemplo la del capitel, no se pueda aplicar correctamente.

Otra forma más laboriosa es considerar los encofrados como elementos tipo *Suelo* y elementos tipo *Muros* al igual que hemos creado otros componentes del proyecto, adaptándose a cada geometría. El tiempo requerido es bastante mayor que con la opción *Aplicar pintura*, pero a la vez el resultado es mucho más real y el resultado de la cuantificación de los encofrados es mucho más exacto.

Creando elementos con un material apropiado y con un espesor de por ejemplo 10 cm, vamos colocando los encofrados alrededor de los elementos de hormigón.

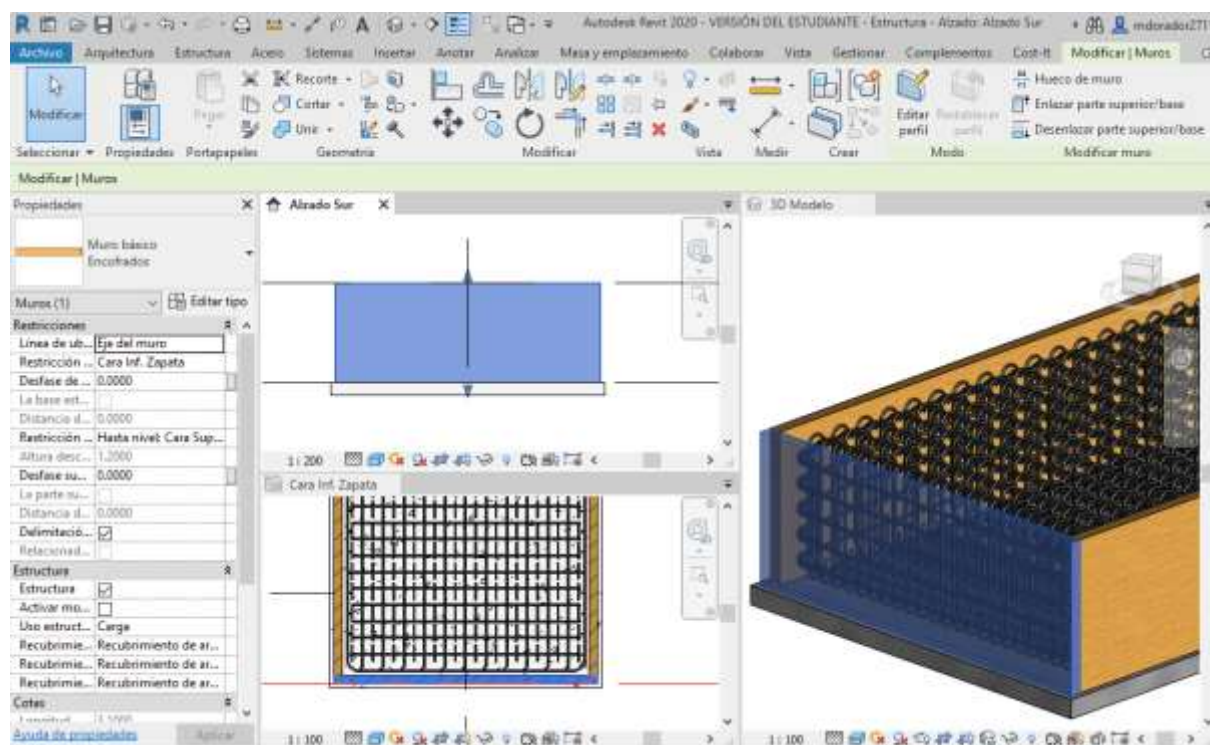


Ilustración 8.38 Introducción y edición de encofrados en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

8.17. Fases del Proyecto

Una de las utilidades más importantes que tiene Revit®, al menos desde mi punto de vista, es el diseño y construcción por *Fases*. El diseño por fases consiste en la organización del proceso de ejecución de un proyecto y cómo se podría aplicar en la realidad, de tal manera que podamos controlarlo de una forma más sencilla y eficiente. Como veremos en los Modelos BIM 4D y 5D, seguir un orden en la construcción de la estructura nos permitirá llevar a cabo una planificación de obras ordenada y detallada de cada uno de los elementos, así como controlar el coste de cada una de las fases en lugar de elaborar presupuestos por capítulos, como se hace todavía en los proyectos de hoy en día. Las ventajas del diseño por fases de la construcción las iremos apreciando en lo sucesivo.

Para situarnos, hacemos un salto hacia atrás justo al comienzo del Modelo, en el que todavía no hemos introducido ninguno de los elementos, y en este punto creamos las fases necesarias que nosotros pensamos que podrían producirse en un proyecto de estas características. A cada una de las fases le añadimos una pequeña descripción para tener una mejor comprensión de ellas, y para que cualquier persona que colabore en el proyecto pueda saber a qué nos estamos refiriendo.

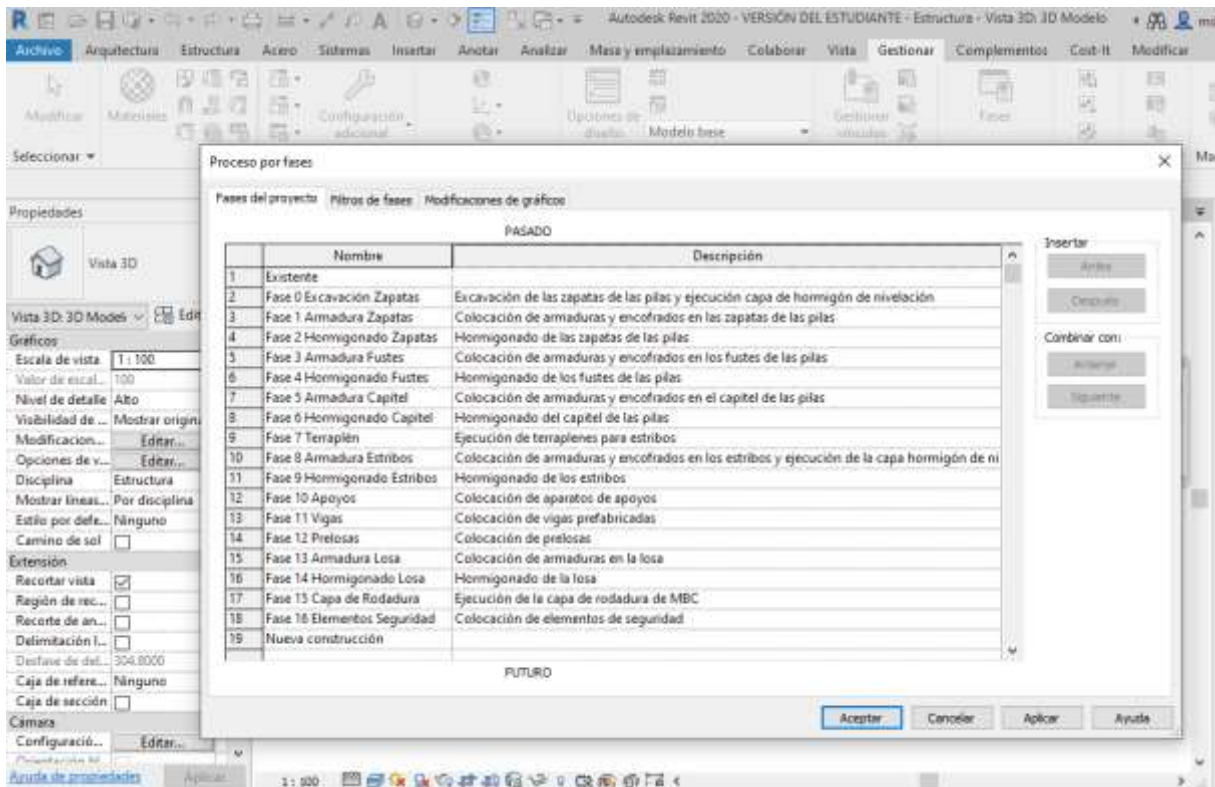


Ilustración 8.39 Creación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fuente: El. prop.

Ahora ya, una vez que comencemos a introducir los distintos elementos del modelo les iremos asignando su respectiva fase de construcción.

Esto no quiere decir que se tenga que realizar el Modelo dos veces, o que una vez que se tenía el Modelo completo he ido asignando fases, lo que sucede es que he creído conveniente esperar a este preciso momento para explicar todo el procedimiento. Ocurre algo similar a lo que explicaba en el **Apartado 8.15** acerca de introducir comentarios en cada uno de los elementos del modelo; todo se ha ido modelando siguiendo un orden, pero se tiene que explicar así para que se entienda todo con mayor facilidad, incluso para personas que no estén familiarizadas con la Metodología BIM.

Retomando el propósito de este Apartado, veamos a continuación como sería por ejemplo el procedimiento de ejecución por fases del capitel de una de las pilas:

- **Fase 4.** En este momento se han hormigonado los fustes de las pilas y se han dejado las esperas de la armadura para unirlas al capitel. Como podemos apreciar, los encofrados se mantienen hasta que el hormigón fragüe.

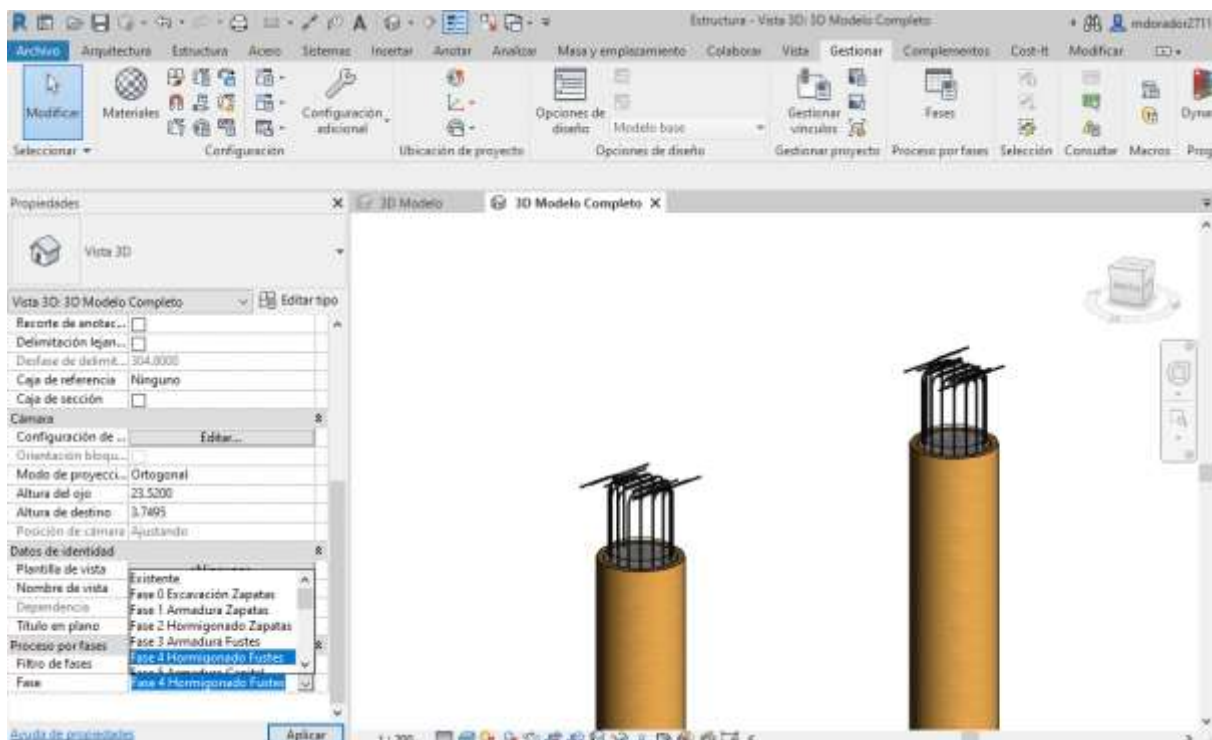


Ilustración 8.40 Simulación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fase 4. Fuente: El. prop.

- **Fase 5.** Los encofrados de los fustes ya se han retirado y se ha colocado la armadura y encofrados del capitel, esperando a que se hormigone.

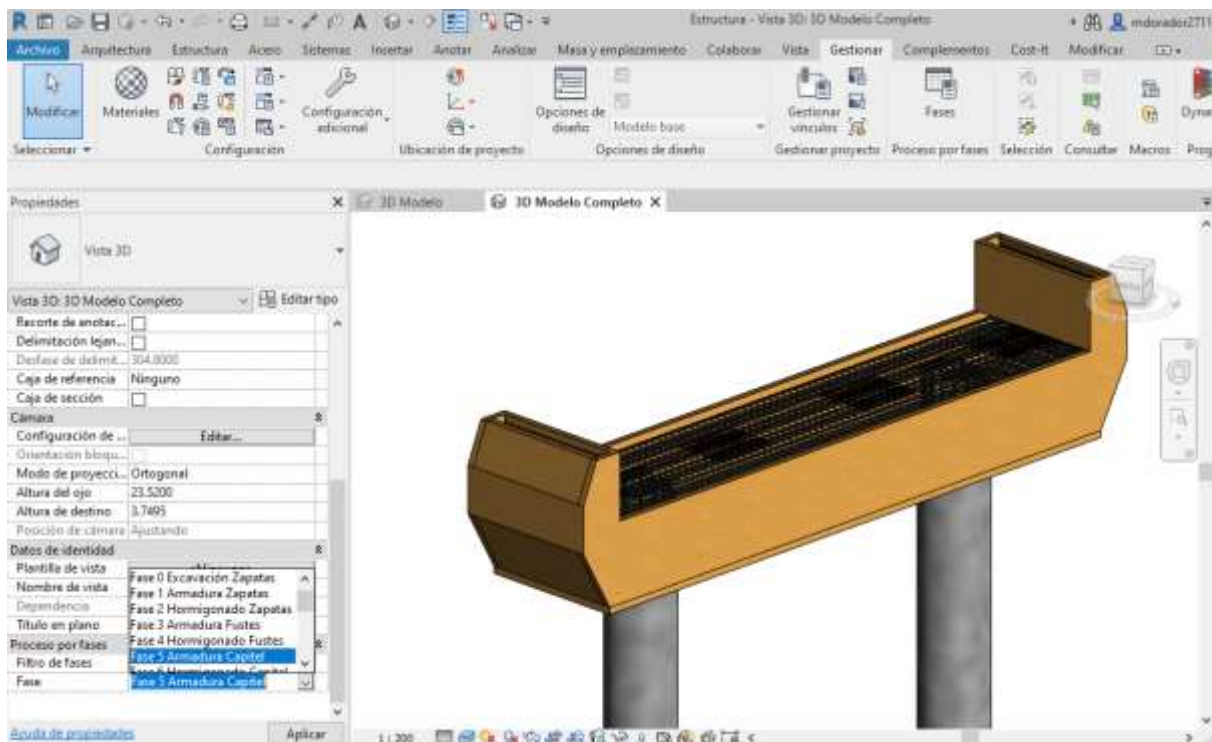


Ilustración 8.41 Simulación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fase 5. Fuente: El. prop.

- **Fase 6.** Como podemos apreciar, se ha hormigonado el capitel y la armadura que antes estaba descubierta ahora ya se encuentra oculta.

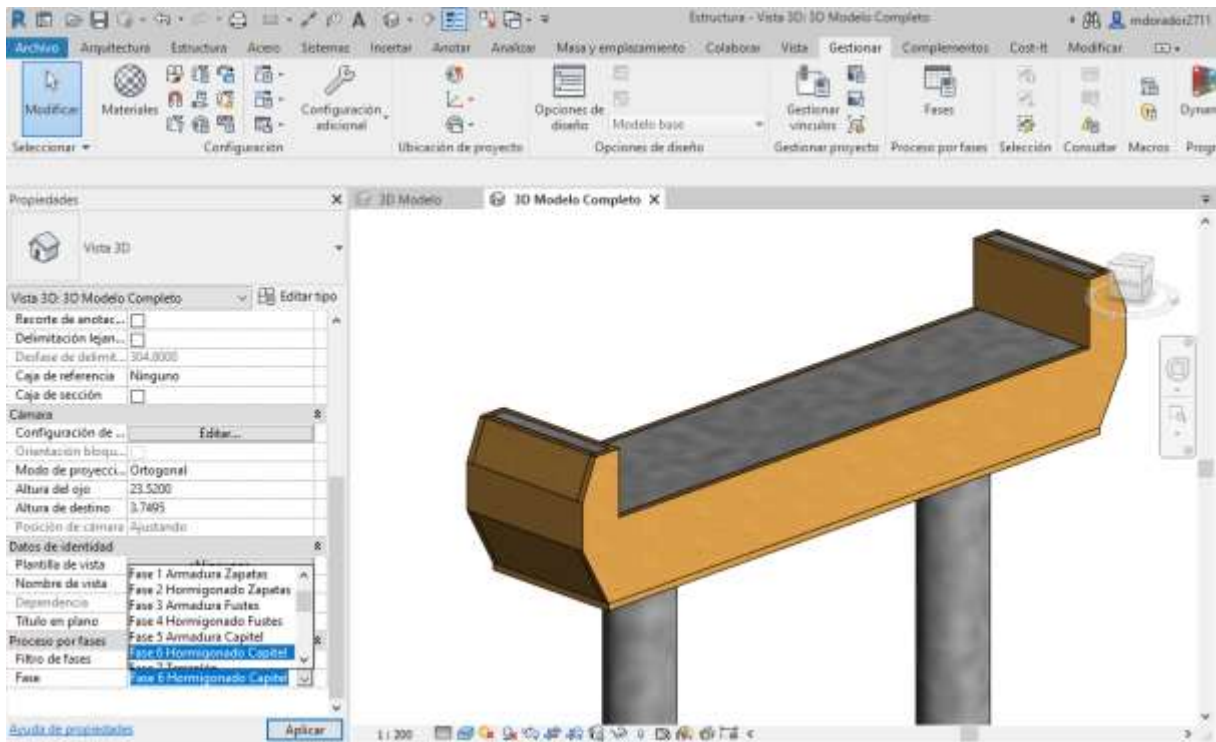


Ilustración 8.42 Simulación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fase 6. Fuente: El. prop.

- **Fase 7.** El proyecto continúa con la ejecución de los terraplenes de los estribos y en esta fase el capitel aparece totalmente terminado, incluso con la retirada de encofrados.

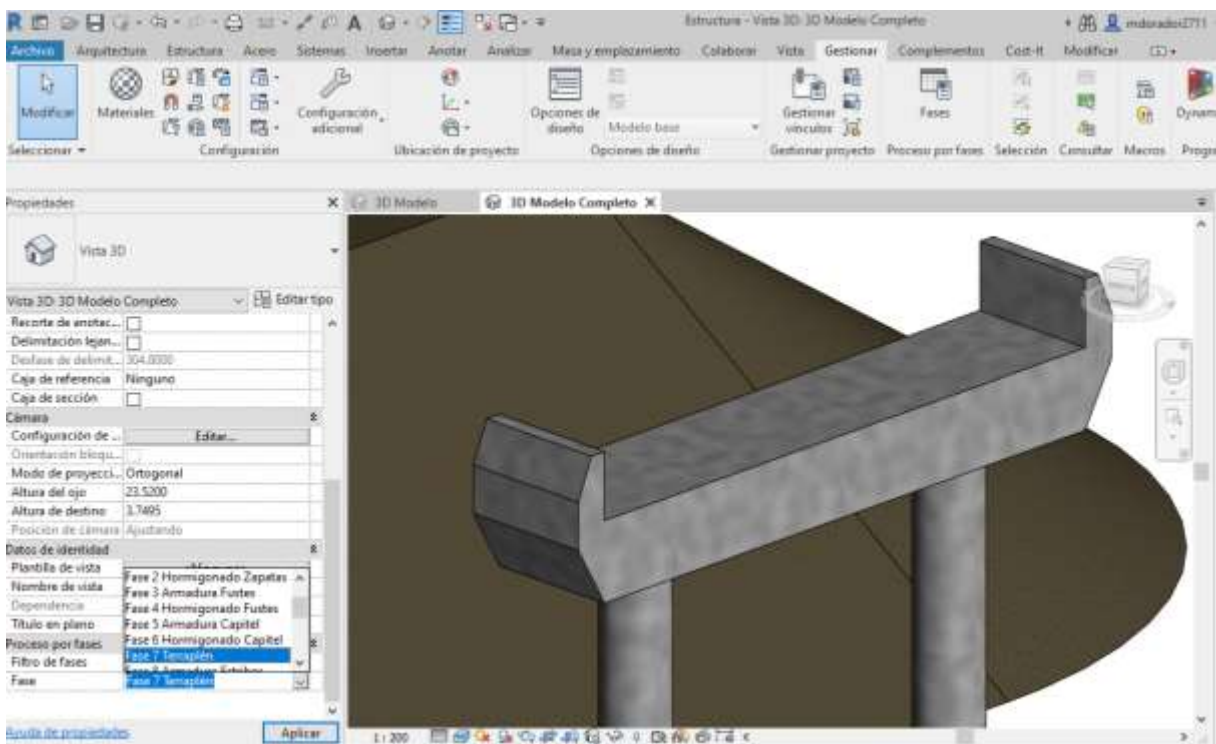


Ilustración 8.43 Simulación de fases de la construcción en el Modelo 3D. Fase 6. Fuente: El. prop.

Finalmente, una vez introducidos todos los datos y elementos necesarios, el modelo completo quedaría de la siguiente manera:

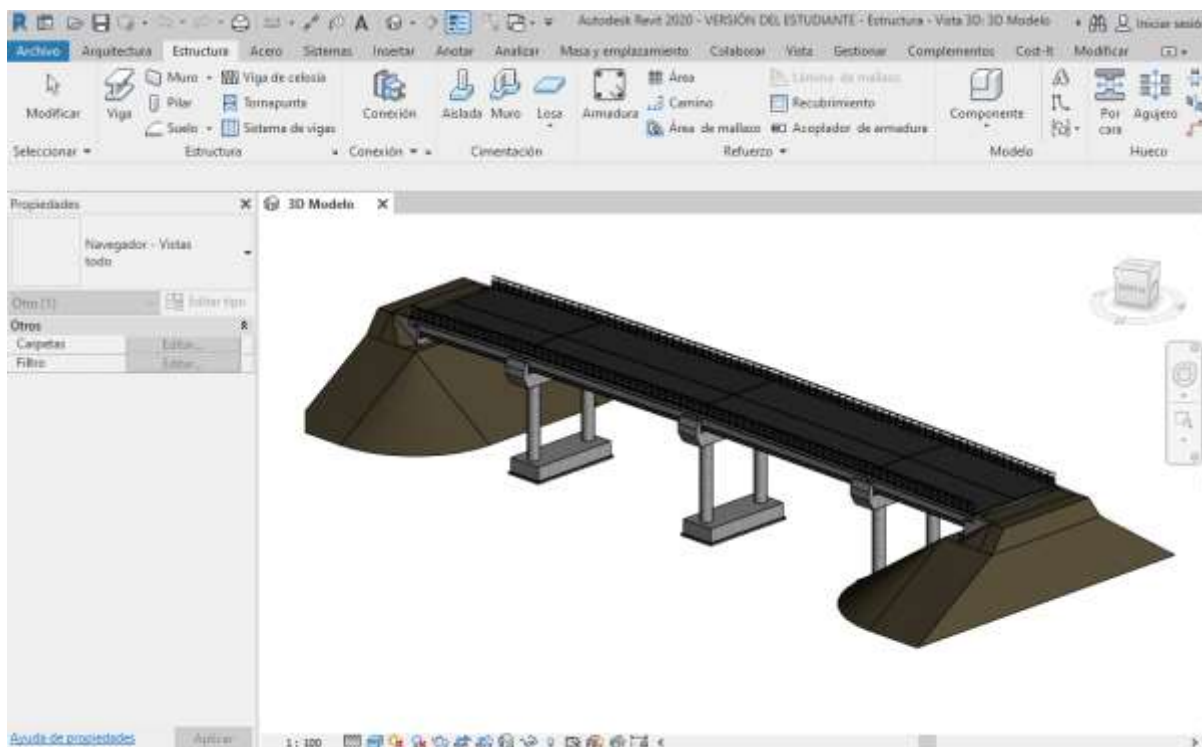


Ilustración 8.44 Modelo 3D finalizado. Fuente: El. prop.

La planificación por fases se apreciará con claridad cuando realicemos el Modelo BIM 4D y simulemos el procedimiento de construcción.

Este modelo será la base de nuestro proyecto, y cualquier consulta que queramos hacer, ya sean medidas, cantidades de material, geometría de los elementos, etc. podrán obtenerse de manera inmediata.

La intención es utilizar este modelo no sólo en la fase de diseño, sino que se utilice durante todo el ciclo de vida de la estructura; desde el diseño hasta su demolición y a su vez por todos los agentes que intervienen en el proceso, desde el proyectista o empresa consultora encargada del diseño, el constructor o el propio cliente (en este caso la Administración Pública).

Una vez completado el modelo, podrá ser compartido con otros usuarios, estableciendo de esta forma un entorno de trabajo colaborativo, con la intención de corregir posibles errores, conseguir una mayor transparencia en las cantidades necesarias, y en definitiva, llevar el proyecto de una forma más ordenada.

En los modelos BIM 3D diseñados en Revit® no resulta imprescindible la elaboración de planos para poder construir un proyecto. Uno de los objetivos que se persigue en este TFM es imaginar que este proyecto se va a llevar a la realidad y que se va a trabajar en torno al Modelo 3D, desde la oficina donde se diseñe hasta en la propia obra. Esto requiere un esfuerzo por parte de todos los agentes intervinientes en la construcción para adaptarnos a los nuevos cambios que van sucediendo con el tiempo, comenzando a dejar atrás los proyectos “en papel” y utilizar los formatos digitales.

Esto quiere decir, que desde la propia obra, bien sea utilizando ordenadores portátiles, tablets, smartphones, etc. se controle el procedimiento de ejecución del proyecto, pudiendo realizar sobre el modelo cualquier operación. Y es que Revit® permite hacer secciones y vistas sobre cualquier parte que nos interese de dicho modelo, así como insertar cotas, coordenadas o medir distancias entre elementos.

No sería necesario por ejemplo disponer de planos de cada una de los elementos de hormigón armado y sus respectivas armaduras, porque en el modelo podemos mostrar y ocultar lo que nos resulte de interés.

El hecho de no editar planos en un proyecto y posteriormente imprimirlos en papel supone un gran ahorro de tiempo, así como un gran ahorro económico y medioambiental. Tenemos que ser conscientes y no perjudicar al medio ambiente más de lo que ya lo hacemos a diario, por lo que desde mi punto de vista, la época de entregar los proyectos en grandes tomos en papel, con multitud de documentación que con el paso del tiempo quedará obsoleta en algún lugar de las oficinas de las empresas o Administraciones Públicas debe quedar atrás y dar paso a una nueva era.

Aun así, Revit® permite el diseño y la edición de planos de manera muy intuitiva y rápida, totalmente diferente al diseño tradicional con programas CAD, en los que tenemos que ir editando cada uno de los elementos que queremos que aparezcan en los planos (dibujos, tramados, textos, cotas, escalas, etc.).

Simplemente con “arrastrar” una o varias de las vistas disponibles en nuestro modelo a un cajetín, que puede ser de la librería de Revit® o editado por nosotros mismos, conseguimos colocar el dibujo a la misma escala que se encuentre la vista, con todos los elementos y el nivel de detalle que nosotros le hayamos asignado a la vista.

Yo personalmente, abogo por la supresión de los planos en proyectos de construcción en un futuro no muy lejano, pero aun así, he querido incluir algunos de ellos a modo de ejemplo ilustrativo con los principales elementos que definen la estructura. Dichos planos se encuentran en el **Anexo B Planos**.

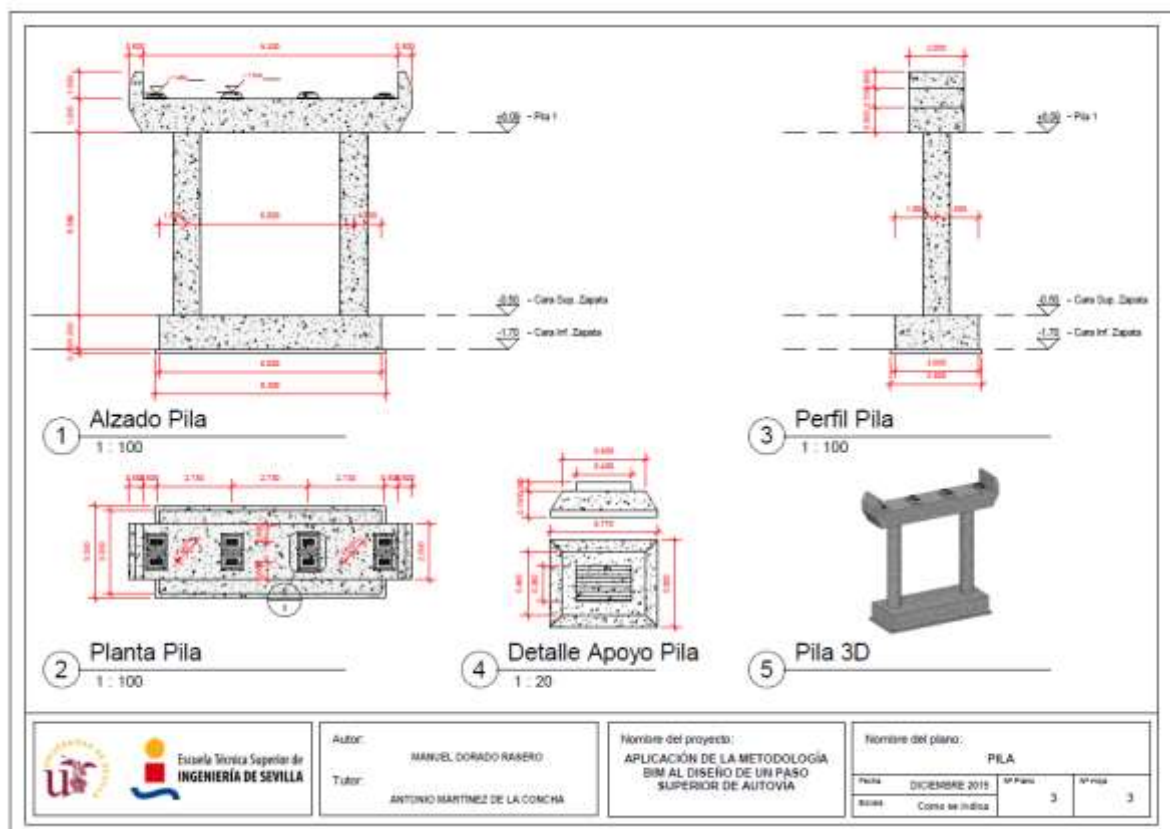


Ilustración 8.45. Ejemplo de plano realizado con Revit®. Definición geométrica de pilas. Fuente. El. prop.

9. MODELO BIM 4D

Continuaremos con la aplicación de un “timing” al Modelos BIM 3D realizado anterior en el Capítulo anterior. Y es que como ya se explicó en el **Apartado 1.6**, la cuarta dimensión corresponde al tiempo (en este caso se refiere al tiempo de planificación de una obra). Intentaremos realizar una planificación del proyecto teniendo en cuenta el Calendario Laboral, las jornadas de trabajo y la duración de las actividades de la obra.

9.1. Software

Existen actualmente numerosas herramientas informáticas en el mercado para la Planificación 4D, cada una, como sucede en todos los campos, con sus ventajas y desventajas. En este particular, Bermejo, Juan Bautista [63] establece en su TFM una amplia comparativa entre los distintos softwares disponibles, aunque todos ellos tienen la misma función principal, que no es otra que la Planificación 4D.

Desde mi punto de vista he creído más útil emplear la herramienta que ofrece la misma casa de **Autodesk, Inc.** que es **Navisworks® v.2020**. La razón de utilizar este software y no otro reside en que, al tener formatos de ficheros de la misma corporación, la interoperabilidad entre ellos es mucho más ágil y dinámica. En lo sucesivo iremos explicando las ventajas y desventajas que ofrece este programa.



Ilustración 9.1 Interfaz de inicio de Navisworks® v.2019. Fuente: Autodesk, Inc.

Entrando en detalle acerca del programa, Navisworks® permite vincular un Modelo BIM 3D a una planificación temporal que puede realizarse desde el mismo programa, o bien apoyándonos a través de un programa externo, como pueden ser Microsoft Project® u Oracle Primavera®. Ciertamente es que la gestión de la planificación de obras en Navisworks es bastante limitada al no poder relacionar tareas entre sí para elaborar por ejemplo un diagrama de Gantt, pero tenemos la posibilidad de realizar la planificación con uno de estos programas, diseñados exclusivamente para tal fin, e importar el archivo generado al programa Navisworks®.

Hay autores y personas con amplia formación en la Metodología BIM que ven el hecho de utilizar un software externo para la Planificación 4D como un gran inconveniente porque argumentan que el proceso es menos ágil al tener que vincular el Modelo 3D a las modificaciones realizadas en la planificación de obras. Y es que, como trataré de explicar en los sucesivos epígrafes, no necesariamente tiene que ser un proceso lento y tedioso.

Para una planificación de obras, lo que necesitamos en primer lugar, estemos utilizando la Metodología BIM o no, es tener unas mediciones exactas del proyecto. Posteriormente, estimando unos rendimientos diarios en base

a proyectos reales y a la propia experiencia del proyectista, esas mediciones se transforman en actividades con una cierta duración. Esas actividades ya están en condiciones de ser relacionadas de una forma específica para obtener una planificación en el tiempo, y esa planificación resulta indiferente si la realizamos de forma interna o externa siempre y cuando el software permita la importación de datos y su sincronización de forma instantánea una vez cargados correctamente, como sucede con Navisworks®.

Según la web *areabim.com* [64] entre las ventajas que presenta Navisworks® se pueden destacar:

- 1) Gran visualización de Modelos BIM 3D en diferentes formatos, con la importación directa de datos de otros softwares (sobre todo de Revit®).
- 2) Generación de animaciones y renderizados simulando el proceso de construcción, lo que acerca el modelo a la realidad.
- 3) Comprobación y detección de interferencias, incidencias y posibles errores con el fin de ser corregidos durante la fase de proyecto, todo ello se realiza con su herramienta *Clash Detective*.
- 4) Posibilidad de realizar medidas, anotaciones, y establecer distintos puntos de vista sobre el propio Modelo BIM 3D.
- 5) Posibilidad de realizar una Planificación 4D a través de su herramienta *Timeliner*.
- 6) Integración de la Planificación 4D y 5D.
- 7) Su aprendizaje es relativamente rápido y sencillo.

El hecho de que el mismo programa, y además realizando pocos más ajustes, permita simular el proceso de Planificación 4D y 5D ha sido otra de las razones por las que finalmente se utilizará Navisworks®.

9.1.1. Versiones de Navisworks®

Para empezar, debemos aclarar que existen distintas versiones de Navisworks® y por lo tanto tenemos que elegir la que mejor se adapte a lo que pretendemos realizar. En concreto existen 3 versiones distintas, cada una con unas utilidades concretas y por lo tanto un precio distinto, pero que en este caso se ha solicitado una licencia de estudiante, que tiene validez de 3 años. Las 3 versiones de las que hablamos son:

- **Navisworks® Manage:** Ofrece todas las propiedades que hemos comentado anteriormente. Es la herramienta más completa de *Autodesk, Inc.* y a la vez la de mayor coste económico por licencia.
- **Navisworks® Simulate:** La principal diferencia con Navisworks® Manage está en que no es posible analizar y detectar interferencias entre distintos modelos integrados (herramienta *Clash Detective*). Debido a esto, el coste de la licencia también es más asequible [65].
- **Navisworks® Freedom:** Esta herramienta sólo permite la visualización de modelos, sin poder realizar ninguna otra tarea. Tiene la ventaja que no hace falta tener conocimientos acerca de la Metodología BIM, simplemente con importar un archivo se puede visualizarlo. Por el contrario, su adquisición es gratuita.

Por lo anteriormente comentado, utilizaremos Navisworks® Manage en la versión 2020, porque como tenemos la licencia que para estudiantes resulta ser gratuita, mejor utilizar un software que tenga todas las herramientas disponibles.

9.1.2. Requisitos del Sistema

Los requisitos del Sistema para poder utilizar Navisworks® han sido directamente extraídos de la web oficial de Autodesk, Inc. [66]:

Tabla 9.1 Requisitos de instalación específicos para Navisworks®

SISTEMA OPERATIVO	Microsoft® Windows® 10, Microsoft Windows 8.1, Microsoft Windows 8 (64 bits) o Microsoft Windows 7 (64 bits) (Service Pack 1) Home Basic, Home Premium, Professional, Enterprise o Ultimate (recomendado)
CPU	Intel® Pentium® 4 o AMD Athlon™ 3 GHz (o superior) con tecnología SSE2
RAM	2 GB de RAM (mínimo)
ESPACIO EN DISCO	15 GB de espacio libre en disco para la instalación
GRÁFICOS	Tarjeta gráfica compatible con Direct3D 9® y OpenGL® con Shader Model 2 (como mínimo)
PANTALLA	Pantalla VGA con una resolución de 1280 x 800 y color verdadero (se recomienda un monitor de 1920 x 1080 y un adaptador de pantalla de vídeo de 32 bits)
DISPOSITIVO SEÑALADOR	Dispositivo señalador compatible con ratón de Microsoft
EXPLORADOR	Microsoft Internet Explorer® 8.0 o posterior

Tabla 9.2 Requisitos de implantación para Navisworks®

Requisitos de hardware y software para la ubicación de la imagen administrativa	
ESPACIO EN DISCO	10 GB de espacio en disco
Requisitos de hardware y software del equipo cliente	
SISTEMA OPERATIVO	Microsoft Windows 10, Microsoft Windows 8.1, Microsoft Windows 8 (64 bits) o Microsoft Windows 7 (64 bits) (Service Pack 1) Home Basic, Home Premium, Professional, Enterprise o Ultimate (recomendado)
CPU	Procesador Intel Pentium 4 o AMD Athlon™ a 3 GHz (o superior) con tecnología SSE2
RAM	2 GB de RAM (mínimo)

ESPACIO EN DISCO	15 GB de espacio libre en disco para la instalación
GRÁFICOS	Tarjeta gráfica compatible con Direct3D 9 y OpenGL con Shader Model 2 (como mínimo)
PANTALLA	Pantalla VGA con una resolución de 1280 x 800 y color verdadero (se recomienda un monitor de 1920 x 1080 y un adaptador de pantalla de vídeo de 32 bits)
DISPOSITIVO SEÑALADOR	Dispositivo señalador compatible con ratón de Microsoft
EXPLORADOR	Microsoft Internet Explorer 8.0 o posterior

Requisitos de hardware y software para el servidor de licencias de red (Windows)

SISTEMA OPERATIVO	Microsoft Windows 10, Microsoft Windows 8.1, Microsoft Windows 8 o Microsoft Windows 7 (Service Pack 1)
CPU	Intel Pentium 3 o superior, 450 Mhz (mínimo)
RED	Tarjeta de interfaz de red compatible con la infraestructura de red Ethernet existente Nota: Network License Manager admite solo configuraciones de red Ethernet. Protocolo de comunicación TCP/IP Nota: Network License Manager utiliza tipos de paquete TCP. FLEXnet 11.12.0.0 o posterior

9.1.3. Tipos de archivos de Navisworks®

Navisworks® trabaja con distintos archivos y cada uno de ellos se utiliza para una función específica. En concreto, son 3 los tipos de archivos que podemos tener [67]:

- **Navisworks Cache File (.nwc):** Este archivo se genera por defecto al importar un modelo en Navisworks® directamente de otro programa (Revit®, AutoCAD® Civil 3D, etc.). Estos archivos aparecen con el mismo nombre y en el mismo directorio que el original, y a su vez contienen toda la información geométrica y propiedades del modelo, lo que los hace considerablemente pesados, dependiendo en este caso del tamaño del modelo original. Los archivos *.nwc* interpretan la información exportada por otros programas, de tal manera que cualquier cambio realizado en los archivos originales generará un nuevo archivo de caché, que Navisworks® actualizará al ser más reciente, y por lo tanto, entiende que ha habido modificaciones que debe aplicar a su propio archivo.
- **Navisworks File Set (.nwf):** Los archivos *.nwf* contienen datos propios de Navisworks®, vinculados a los archivos originales. Estos archivos no contienen la información geométrica y propiedades de los archivos originales, por lo que su tamaño es considerablemente menor que los *.nwc*.

- **Navisworks Model (.nwd):** Estos archivos contienen toda la información del modelo original junto con datos propios de Navisworks®. Su tamaño también depende del tamaño del archivo original, pero se consigue una reducción de aproximadamente del 20% respecto a los archivos .nwc. Se puede considerar que un archivo .nwd es una instantánea del estado actual del modelo [67].

9.1.4. Interoperabilidad de Navisworks®

Navisworks® permite la importación de archivos de multitud de programas con distintos tipos de archivos, lo que la hace una de las herramientas más potentes del mercado en cuanto a la Planificación BIM 4D.

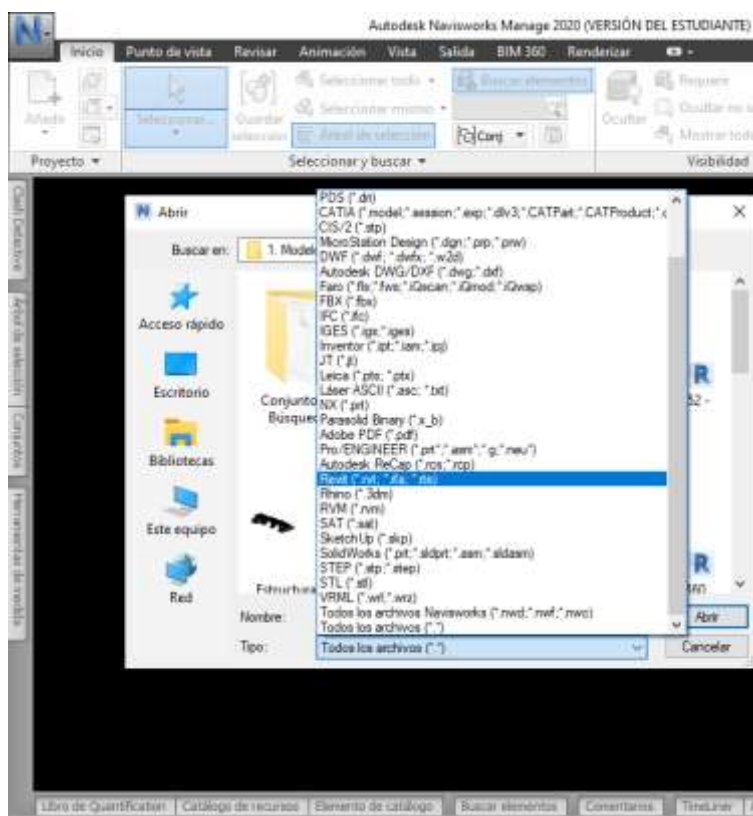


Ilustración 9.2 Importación de archivos en Navisworks®. Fuente: El. prop.

Si bien hay que señalar que no se ha probado a importar archivos CAD/BIM de otros programas que no sean propios de la compañía Autodesk, Inc., con el grado de precisión, exactitud y calidad de la importación, pero ya de entrada existe la opción de importar una amplia variedad de programas compatibles con Navisworks®.

9.1.4.1. Interoperabilidad Navisworks® - Programas BIM

Al ser programas de la misma compañía, la interoperabilidad entre Navisworks® y Revit® resulta ser exacta. Abriendo el programa y creando un nuevo archivo, conseguimos importar la geometría de la estructura modelada en Revit® con todo grado de detalles. Eso sí, es fundamental que ambos programas tengan la misma versión, porque si no tendremos problemas en la lectura de archivos. Por eso, estamos utilizando en ambos la versión de 2020.

Tenemos que comentar también que existen principalmente dos formas de importar modelos de Revit® en Navisworks®:

Por un lado, tenemos la opción de importar el modelo directamente, ya que como podemos comprobar en la ilustración anterior, Navisworks® es compatible con los archivos de Revit®. Si el modelo no contiene demasiados elementos se importa sin ningún tipo de problemas, y en pocos segundos, la geometría se aparece exactamente igual que ha sido creada en Revit®. En las siguientes ilustraciones veremos un ejemplo en el que

se ha creado un archivo de Revit® (.rvt) con una de las vigas de 12 m y otra de 19 m de longitud del modelo original y se ha importado en Navisworks®

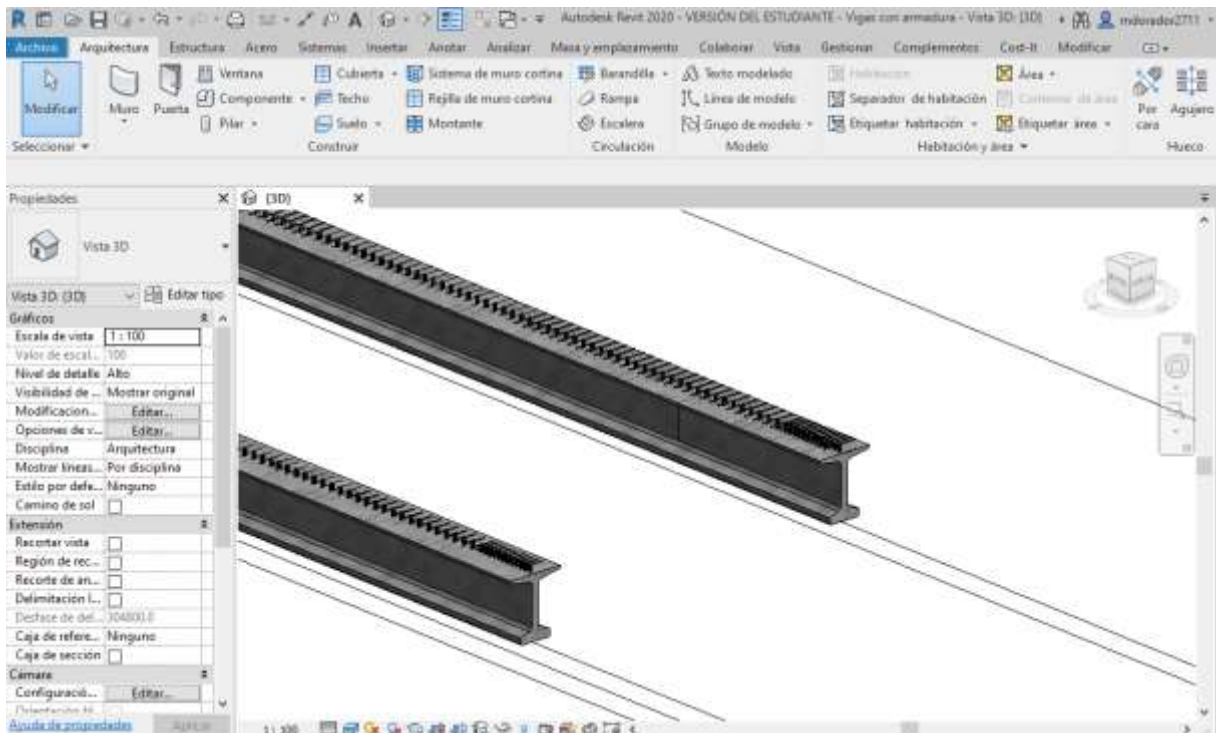


Ilustración 9.3 Vigas creadas en un archivo de Revit® (.rvt). Fuente: El. prop.

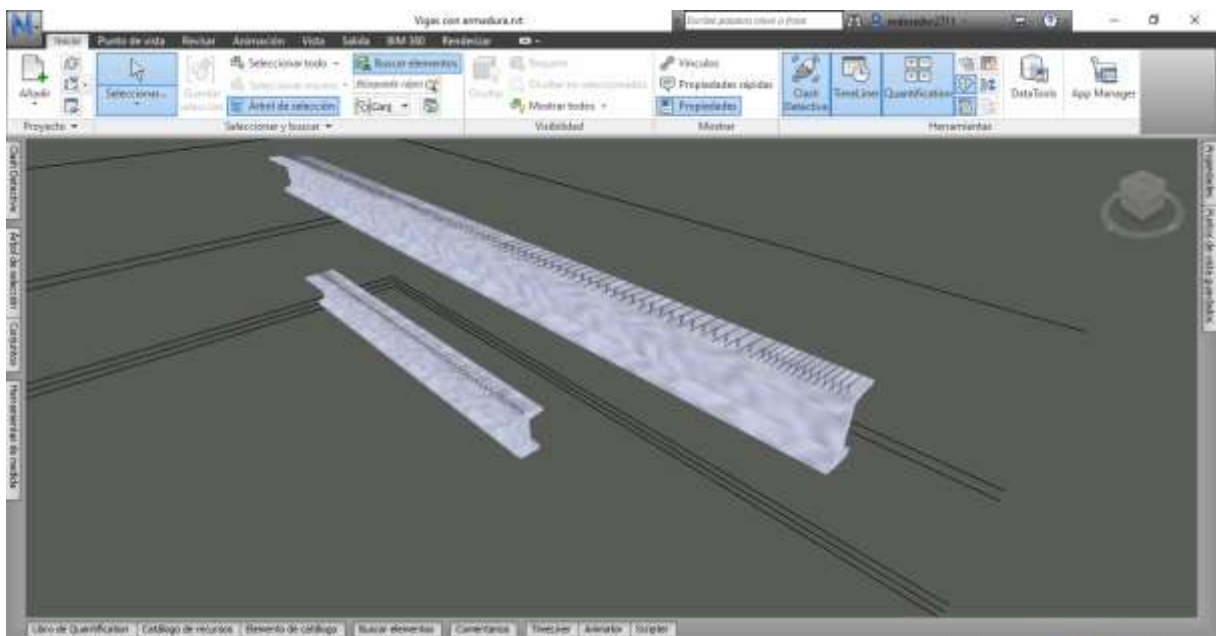


Ilustración 9.4 Archivo de Revit® (.rvt) importado directamente en Navisworks®. Fuente: El. prop.

El problema ocurre cuando el modelo es más pesado y contiene una gran cantidad de elementos e información, como es el caso de la estructura que estamos diseñando. Cuando importamos directamente desde Navisworks® no se consigue visualizar la geometría 3D si no lo que se importa es el modelo analítico, que no resulta de interés puesto que no contiene toda la información necesaria para realizar la Planificación 4D.

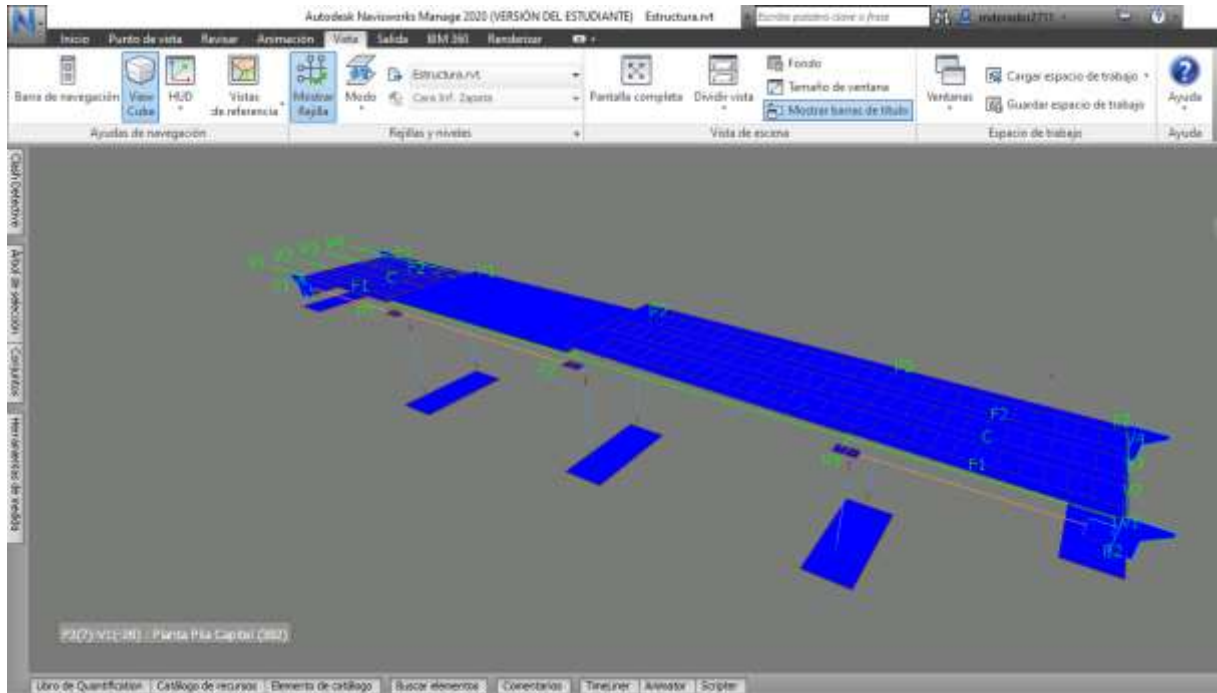


Ilustración 9.5 Importación del modelo original desde Revit® a Navisworks®. Fuente: El. prop.

Investigando a fondo, no ha sido posible encontrar la causa del porqué sucede este hecho. Quizás pueda deberse a que el modelo original, al contener demasiada información, sólo es capaz de extraer lo más básico y a la vez lo menos pesado. Esto no quiere decir que no se pueda importar una geometría 3D que contenga toda la información necesaria de un modelo de mayor tamaño; existe la opción de exportar en primer lugar el archivo original en formato caché (.nwc) desde Revit® y posteriormente abrirlo desde Navisworks®.

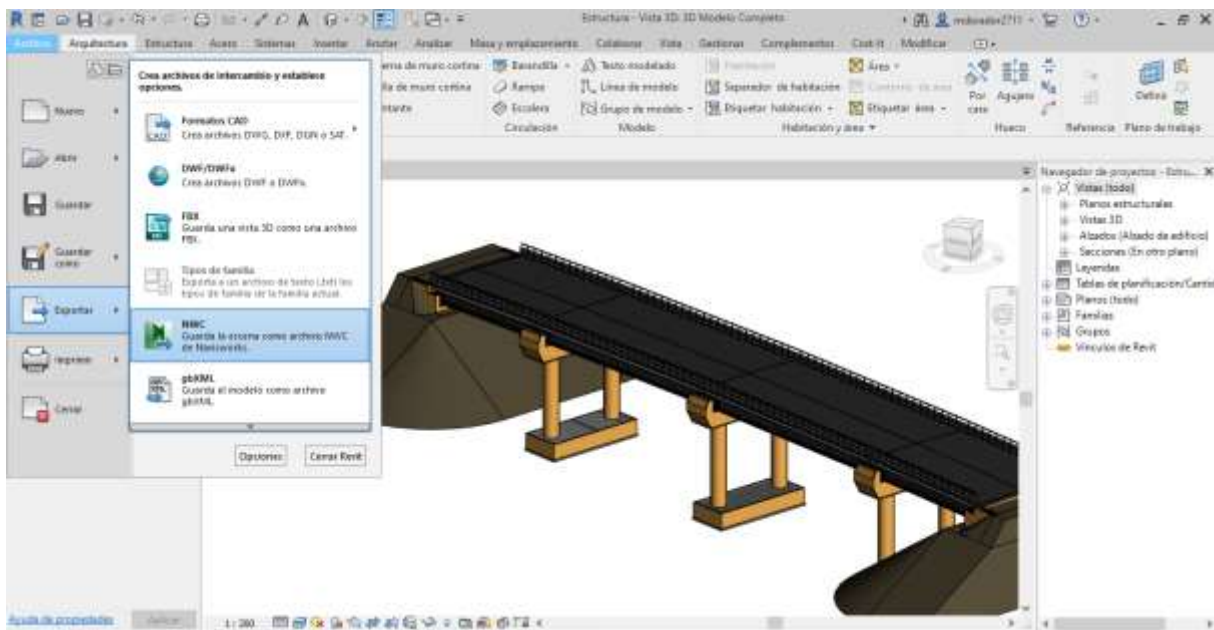


Ilustración 9.6 Exportación del Modelo BIM 3D desde Revit® en formato .nwc. Fuente: El. prop.

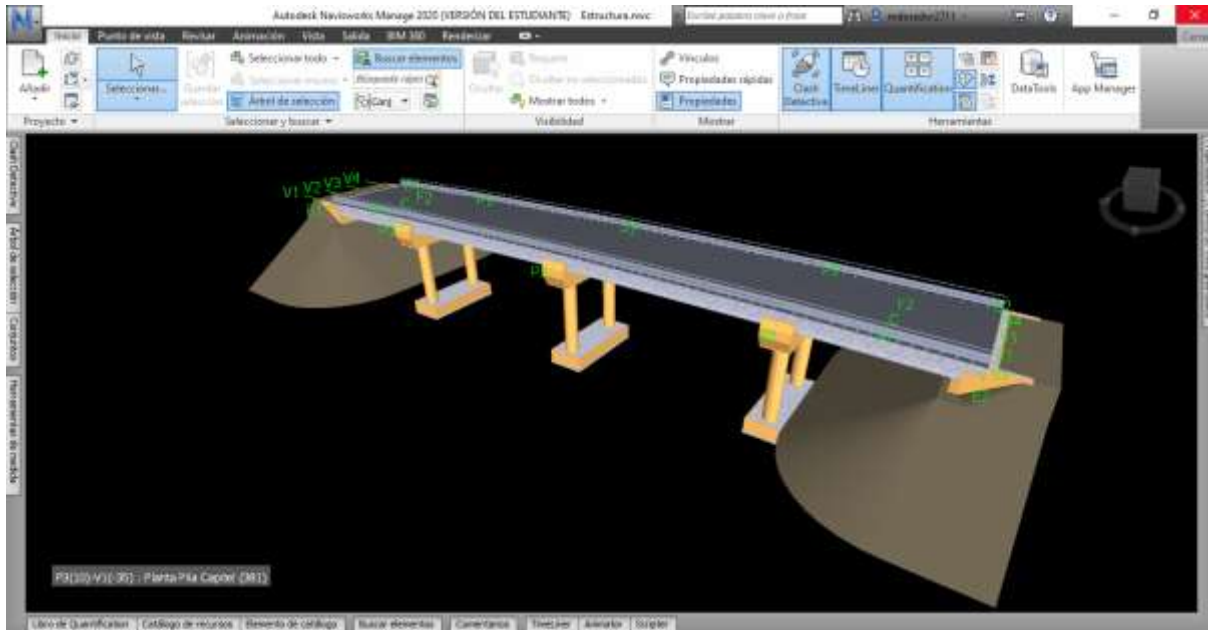


Ilustración 9.7 Importación del Modelo BIM 3D en Navisworks® en formato .nwc. Fuente: El. prop.

Con esta opción se puede importar el modelo completo y empleando para ello prácticamente el mismo tiempo que en la primera.

9.1.4.2. Interoperabilidad Navisworks® - Programas de Planificación

Como comentábamos al inicio del presente Capítulo, Navisworks® permite la importación directa de distintos tipos de archivos. Con su herramienta *Timeliner*, permite vincular un modelo BIM 3D a una planificación de tareas, ya sea de Microsoft® Project, Oracle® Primavera u otros archivos convencionales como los .csv, además de incluir su propia herramienta para la planificación de tareas.

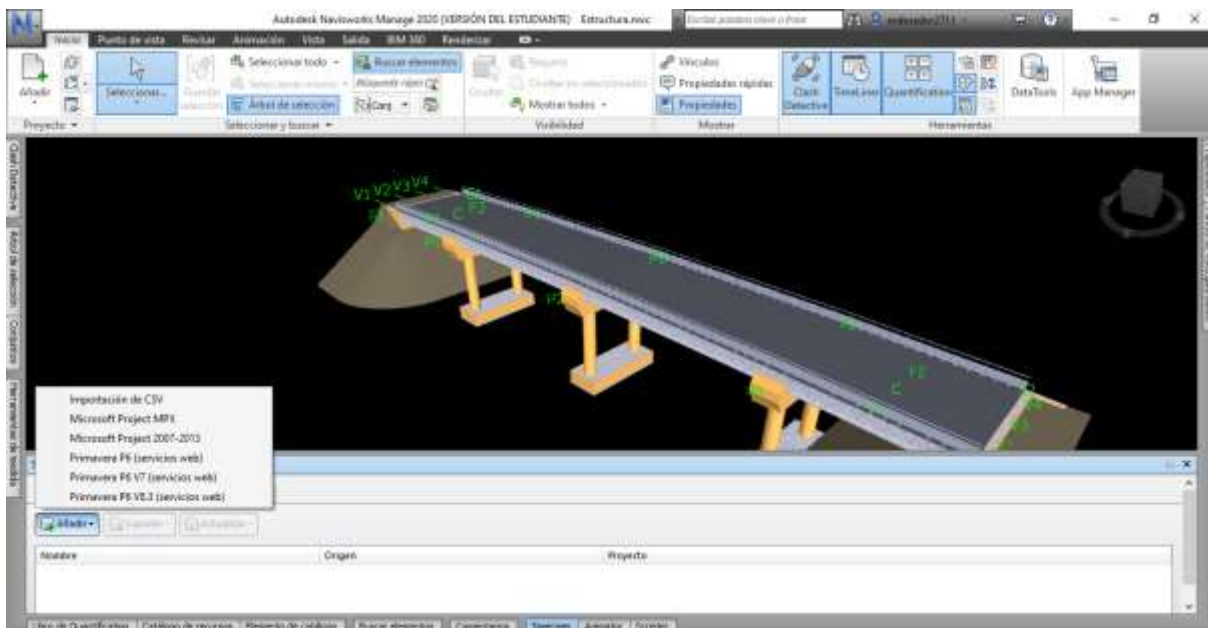


Ilustración 9.8 Importación de ficheros de planificación en Navisworks®. Fuente: El. prop.

Como la propia herramienta de Navisworks® para la programación de tareas no resulta ser demasiado completa, recurriremos a uno de estos programas externos siempre y cuando tengamos garantizada la interoperabilidad entre ambos programas, es decir, que al igual que sucede con los Modelos BIM 3D elaborados en Revit®,

cualquier cambio generado en el archivo original pueda sincronizarse rápidamente con el programa que contiene el Modelo BIM 4D, porque es que si no, no estaremos aplicando la Metodología BIM como tal.

En este caso utilizaremos Microsoft® Project para realizar la planificación y posteriormente cargarla en Navisworks®, ya es un programa comúnmente utilizado a nivel mundial.

La idea también es que el mismo archivo que utilizamos para la Planificación BIM 4D nos pueda ser útil de cara a elaborar el Modelo BIM 5D, por lo que necesitaremos tener los presupuestos en un formato compatible entre ambos programas. A la planificación económica de la obra le dedicaremos especial atención en el siguiente Capítulo.

9.2. Tablas de Planificación de Revit®

Comenzaremos el proceso de un Modelo BIM 4D con la obtención de mediciones. Las *Tablas de Planificación* de Revit® nos ayudan a deducir las cantidades y cómputo de materiales para cuantificar y analizar los componentes y los materiales utilizados en un proyecto [68].

En esas tablas se pueden incluir toda la información que nos resulte de interés, como materiales, volúmenes, subtotales, fases de ejecución e incluso los comentarios introducidos en los elementos para poder localizarlos en el modelo de una forma rápida y sencilla (este es uno de los propósitos a los que hacíamos referencia en el Capítulo anterior cuando introducíamos los comentarios en el modelo).

El hecho de poder realizar un filtro de fases a las tablas de planificación nos permite llevar un control más detallado y ordenado de todos los materiales que intervienen en el proyecto.

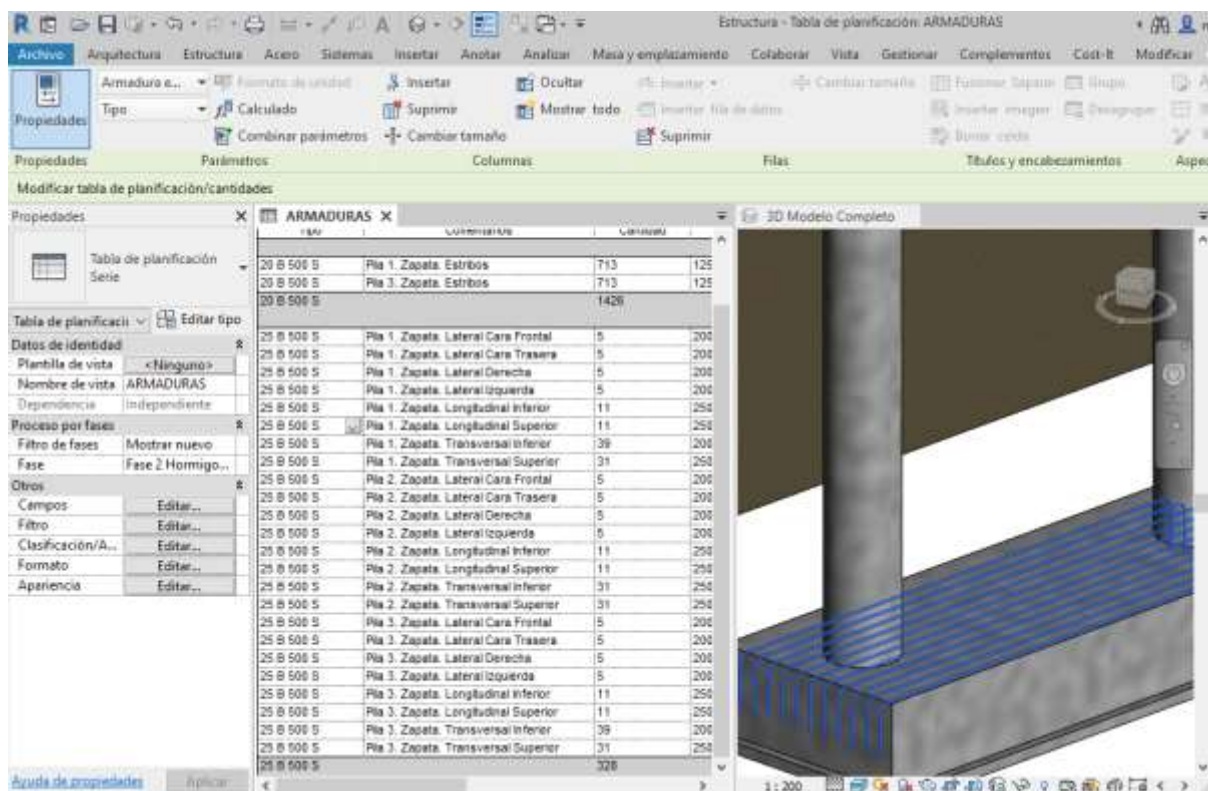


Ilustración 9.9 Selección de elementos del modelo desde las tablas de planificación. Fuente: El. prop.

En la ilustración anterior podemos observar cómo a través de las tablas de planificación podemos localizar un elemento en el modelo de forma instantánea. Resulta de especial interés para casos como las armaduras; en este proyecto en particular hay contabilizados más de 2.000 elementos de este tipo y si no fuera de esta manera, localizar uno de ellos para consultar por ejemplo su geometría sería una tarea bastante tediosa.

Estas tablas pueden exportarse en formato compatible como por ejemplo los .csv, para obtener una actividad con

una cierta duración que se deduce a partir de un rendimiento diario estimado. Las mediciones pueden comprobarse en el archivo **BIMUS_20_001_D02_VCR_mediciones_V02_S3.xlsx**.

9.3. Rendimientos diarios

En este proyecto, por su naturaleza, se distinguen pocas unidades de obra, pero aun así cada una deberá ejecutarse en base a un rendimiento acorde a la realidad. A continuación, se muestran las distintas unidades de obras, junto con sus unidades y rendimientos estimados calculados respecto a proyectos similares:

Tabla 9.3 Rendimientos medios de las unidades de obra del proyecto

Unidad de obra	Ud.	Rendimiento medio (teórico)
Excavación Terreno Tránsito	m ³	200 m ³ /día
Armaduras	kg	5.000 kg/día
Encofrados	m ²	50 m ² /día
Hormigón in situ	m ³	20 m ³ /día
Terraplén Grava	m ³	400 m ³ /día
Apoyos	dm ³	300 dm ³ /día
Colocación Vigas Prefabricadas	ud	5 ud/día
Capa de rodadura M.B.C.	t	500 t/día
Pretilos	m	100 m/día

A los rendimientos anteriores se les debe aplicar un factor reductor debido a los distintos imprevistos que puedan surgir en la ejecución normal de las obras, como pueden ser condiciones meteorológicas adversas, averías de maquinaria, accidentes, etc.

Aplicando el correcto coeficiente a cada actividad de nuestro proyecto obtenemos los rendimientos diarios reales esperados:

Tabla 9.4 Rendimientos reales de las actividades del proyecto

Unidad de obra	Ud.	Rdto. medio (teórico)	CT'	Rdto. medio (real)
Excavación Terreno Tránsito	m ³	200 m ³ /día	0,837	167,365 m ³ /día
Armaduras	kg	5.000 kg/día	0,858	4.290,755 kg/día
Encofrados	m ²	50 m ² /día	0,858	42,908 m ² /día
Hormigón in situ	m ³	20 m ³ /día	0,836	16,717 m ³ /día
Terraplén Grava	m ³	400 m ³ /día	0,818	327,253 m ³ /día
Apoyos	dm ³	300 dm ³ /día	0,858	257,445 dm ³ /día
Colocación Vigas Pref.	ud	5 ud/día	0,858	4,291 ud/día
Prelosas	ud	100 ud/día	0,858	85,82 ud/día
Capa de rodadura M.B.C.	t	500 t/día	0,788	394,234 t/día
Pretilos	m	100 m/día	0,858	85,815 m/día

Se recomienda recurrir al **Anexo C Planificación** si se desea consultar el cálculo de los distintos coeficientes reductores, las mediciones totales del proyecto y su duración esperada.

9.4. Calendario Laboral

Se tomará como referencia el 2020 el año en el que se ejecutarán las obras, del cual se extraerán los días laborables y no laborables. De esta forma, el calendario laboral a nivel nacional es el siguiente [69]:



Ilustración 9.10 Calendario laboral a nivel nacional para el año 2020. Fuente: El Mundo.com

A los días marcados como no laborables en la ilustración anterior hay que añadirle los días no laborables a nivel autonómico y local, que son los siguientes [69]:

ABRIL:

- jueves 23 de abril de 2020: San Jorge (Fiesta Local).

MAYO:

- viernes 29 de mayo de 2020: Feria de San Fernando (Fiesta Local).

SEPTIEMBRE:

- martes 8 de septiembre de 2020: Día de Extremadura (Fiesta Autonómica)

El total de los días laborables organizados por meses son los que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 9.5 N.º días laborables del año 2020

MES	N.º días laborables
ENERO	21 días laborables
FEBRERO	20 días laborables
MARZO	22 días laborables
ABRIL	19 días laborables
MAYO	19 días laborables
JUNIO	22 días laborables
JULIO	23 días laborables
AGOSTO	21 días laborables
SEPTIEMBRE	21 días laborables
OCTUBRE	21 días laborables
NOVIEMBRE	20 días laborables
DICIEMBRE	20 días laborables
TOTAL AÑO 2020	249 días laborables

9.4.1. Jornada Laboral

La jornada laboral estándar en España según el convenio establecido se sitúa en las 8 h. diarias, y como media, 40 h. semanales. Se establecen a continuación dos jornadas laborales en función de la época del año, ya que a efectos de la Seguridad y Salud en el Trabajo, se evitarán las horas más intensas en el periodo estival:

- **Jornada no intensiva** con horario de 8:00 – 14:00 y continuando de 16:00 – 18:00, comenzando el jueves 2 de enero hasta el viernes 12 de junio, ambos inclusive. En el periodo comprendido entre los días citados, la jornada será no continuada, y no se podrán finalizar las tareas a una hora posterior a la establecida para cada una de las dos divisiones de la jornada.
- **Jornada intensiva** con horario de 7:00 – 15:00, comenzando el lunes 15 de junio hasta el viernes 18 de septiembre, ambos inclusive. En el periodo comprendido entre los días citados, la jornada será continuada y no se podrán finalizar las tareas a una hora posterior a la establecida.
- **Jornada no intensiva** con horario de 8:00 – 14:00 y continuando de 16:00 – 18:00, comenzando el lunes 21 de septiembre hasta el jueves 31 de diciembre, ambos inclusive. En el periodo comprendido entre los días citados, la jornada será no continuada, y no se podrán finalizar las tareas a una hora posterior a la establecida para cada una de las dos divisiones de la jornada.

9.5. Calendario del Proyecto

Recordemos que el paso superior que estamos proyectando se engloba dentro del *Proyecto de Construcción “Autovía A-58 Trujillo – Cáceres – Badajoz. Tramo A-66 – Río Ayucla”*. Provincia de Cáceres, proyecto que a fecha de enero de 2020 todavía se encuentra en plena tramitación administrativa, por lo que al ser un trabajo con fines académicos, vamos a realizar un ejercicio de imaginación y suponer que la firma del contrato para la construcción de dicho proyecto se produce el **lunes día 2 de marzo de 2020**.

A continuación, exponemos los principales hitos que se producen en el proyecto constructivo antes de comenzar las obras:

1) **lunes día 3 de febrero de 2020:** Resolución de la licitación de obras. La empresa constructora adjudicataria es notificada. En el periodo que comprende desde la notificación de la resolución de la licitación hasta la firma del contrato, ambos inclusive, la empresa constructora adjudicataria deberá realizar las siguientes actividades:

- Acta de comprobación de replanteo y viabilidad del proyecto: Se reflejarán aquellas circunstancias que puedan suponer alguna problemática en el desarrollo de la ejecución de las obras, previendo los plazos en que se habrán de resolver, a fin de que no se produzcan imprevisiones ni alteraciones en el camino crítico de la planificación.

El Acta será firmada, en su caso y siempre que sea posible, en la misma fecha del correspondiente contrato o, en su defecto dentro del primer mes desde su formalización, determinándose en su caso la fecha iniciación de las obras mediante la oportuna y expresa orden de inicio.

- Planificación de detalles: El adjudicatario de las obras deberá presentarla en un plazo de tiempo conforme a lo establecido en el Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares (PCAP). La planificación de detalle deberá ser aprobada por la Dirección de Obra y por la Administración competente, y se hará contractual en el momento de la firma del contrato.
- Comprobación de servicios afectados: El contratista deberá revisar los servicios afectados por la ejecución de las obras, estimándose, valorados en su caso según los precios de la propia oferta, otros que denominaremos servicios ocultos (no previstos y no detectables por simple inspección visual) en los que las gestiones de comprobación de la información, no hayan obtenido adecuada respuesta en el periodo hasta la adjudicación.
- Plan de Seguridad y Salud en el trabajo: Cuando fuera exigible, se presentará un Plan, redactado por un técnico con la titulación legal exigida y junto con el informe del Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra a la Administración competente en un plazo que estará establecido según las directrices del propio PCAP.
- Organigrama del equipo de obra: La empresa adjudicataria deberá presentar los títulos profesionales u otros certificados de formación y experiencia del personal de obras. Los plazos de presentación también los impondrá el PCAP de la Administración competente.
- Desarrollo a nivel de ejecución y aprobación del Plan de Aseguramiento de la Calidad (PAC): La empresa adjudicataria deberá presentar dentro de un plazo también establecido el PAC ofertado en la licitación, adaptándolo en su caso a lo contenido en el PCAP y en el PPTP (Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares).
- Desarrollo del Plan de Gestión Medioambiental de las obras (PGM): Este Plan tendrá carácter dinámico a lo largo del periodo de ejecución, debiendo actualizarse cuando surjan nuevos factores, y será vinculante tanto para el contratista principal como para sus distintas subcontratas. Se deberá presentar según los plazos establecidos.

2) **lunes 2 de marzo de 2020:** Como norma general, la firma del contrato parte de la empresa constructora adjudicataria y la Administración se producirá en un plazo no inferior a 20 días hábiles contados a partir de la notificación de la adjudicación. Se plantea un total de 5 días hábiles a partir de la firma del contrato, con dicho día inclusive, para realizar las siguientes tareas antes de comenzar la ejecución de las obras:

- Acceso a la obra: El acceso a la obra se realizará a través de la carretera EX-100 tal y como se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 9.11. Acceso al emplazamiento del proyecto. Fuente: Google Earth®.

- Señalización y cerramiento de la obra.
 - Implantación de instalaciones auxiliares como oficinas, casetas, almacenes, etc.
 - Acondicionamiento de la zona de acopio y la zona de residuos.
- 3) **lunes 9 de marzo de 2020:** Comienzo de las obras para la ejecución del paso superior. Siguiendo la línea del Capítulo anterior, estableceremos un procedimiento de ejecución por fases claramente diferenciadas, lo que nos permitirá llevar un control más ordenado y detallado de las obras. Las distintas fases de las que se compone el proyecto son las siguientes:
- Fase 0 Excavación Zapatas: Excavación de las zapatas de las pilas y ejecución capa de hormigón de nivelación.
 - Fase 1 Armadura Zapatas: Colocación de armaduras y encofrados en las zapatas de las pilas.
 - Fase 2 Hormigonado Zapatas: Hormigonado de las zapatas de las pilas.
 - Fase 3 Armadura Fustes: Colocación de armaduras y encofrados en los fustes de las pilas.
 - Fase 4 Hormigonado Fustes: Hormigonado de los fustes de las pilas.
 - Fase 5 Armadura Capitel: Colocación de armaduras y encofrados en el capitel de las pilas.
 - Fase 6 Hormigonado Capitel: Hormigonado del capitel de las pilas.
 - Fase 7 Terraplén: Ejecución de terraplenes para estribos.
 - Fase 8 Armadura Estribos: Colocación de armaduras y encofrados en los estribos, y ejecución de la capa hormigón de nivelación.
 - Fase 9 Hormigonado Estribos: Hormigonado de los estribos.
 - Fase 10 Apoyos: Colocación de aparatos de apoyos.
 - Fase 11 Vigas: Colocación de vigas prefabricadas.
 - Fase 12 Prelosas: Colocación de prelosas.
 - Fase 13 Armadura Losa: Colocación de armaduras en la losa.
 - Fase 14 Hormigonado Losa: Hormigonado de la losa.

- Fase 15 Capa de Rodadura: Ejecución de la capa de rodadura de M.B.C.
- Fase 16 Elementos de Seguridad: Colocación de elementos de seguridad.

9.6. Diagrama de Gantt

Un diagrama de Gantt es una herramienta que nos permite visualizar el avance de las tareas programadas en un periodo de tiempo específico [70]. Con un diagrama de Gantt podemos claramente diferenciar:

- Tareas que componen un proyecto.
- Fechas de inicio y final de las tareas, mostrando su duración.
- Dependencia de las tareas respecto al resto, con actividades predecesoras.
- Agrupación y superposición de las tareas.
- Avance del proyecto en el tiempo.
- Consecución de objetivos planteados al inicio conforme avanza el proyecto.

Esta será la herramienta que utilizaremos para la planificación de nuestro proyecto, para lo cual nos apoyaremos, como ya introducimos anteriormente, en el software Microsoft® Project.

Una vez obtenidas las mediciones del proyecto, y estimados los rendimientos diarios que se esperan producir, podemos transformar esas mediciones en actividades con una cierta duración en el tiempo (consúltese el **Anexo C Planificación**).

El primer paso para elaborar el diagrama de Gantt de nuestro proyecto en Microsoft® Project es introducir el calendario laboral del año 2020, tal y como se muestra en el **Apartado 9.4** del presente Capítulo:

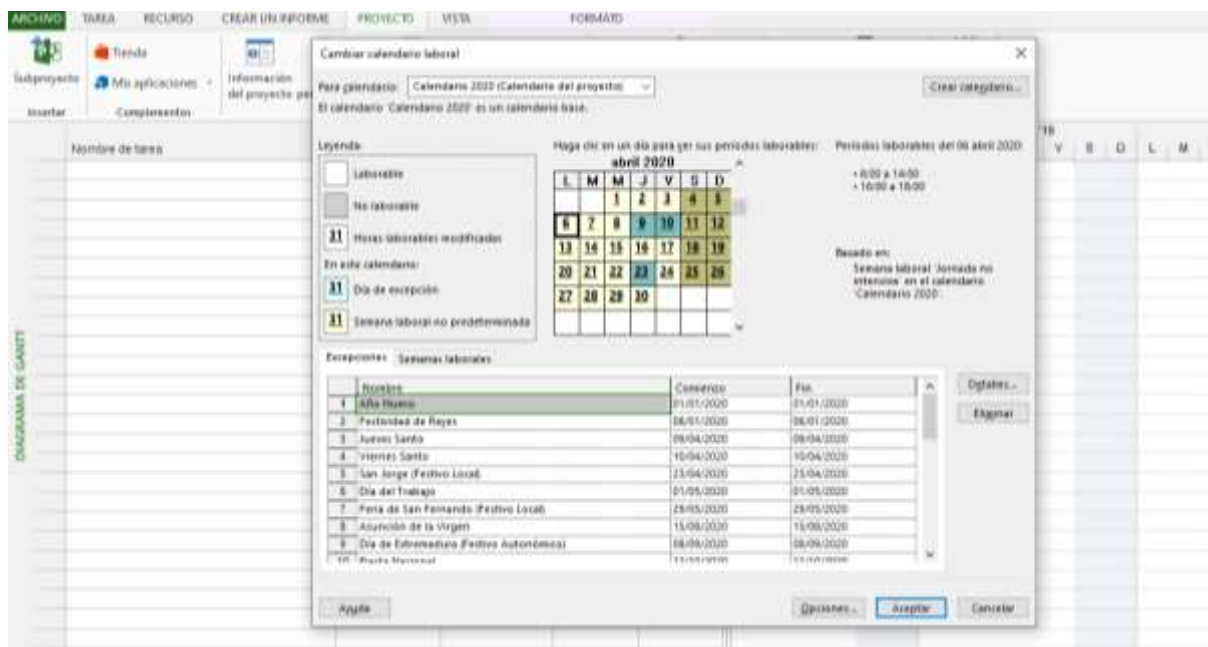


Ilustración 9.12 Introducción del Calendario Laboral de 2020 en Microsoft® Project. Fuente: El. prop..

En la ilustración anterior podemos comprobar que se han introducido los días señalados como no laborables, así como el horario establecido de la jornada laboral, ya que por defecto el programa incluye una jornada de 9:00–13:00 y de 15:00–19:00, algo no muy habitual en nuestro país. De la misma forma, también se ha introducido la jornada intensiva para los meses de verano, tal y como se muestra a continuación:

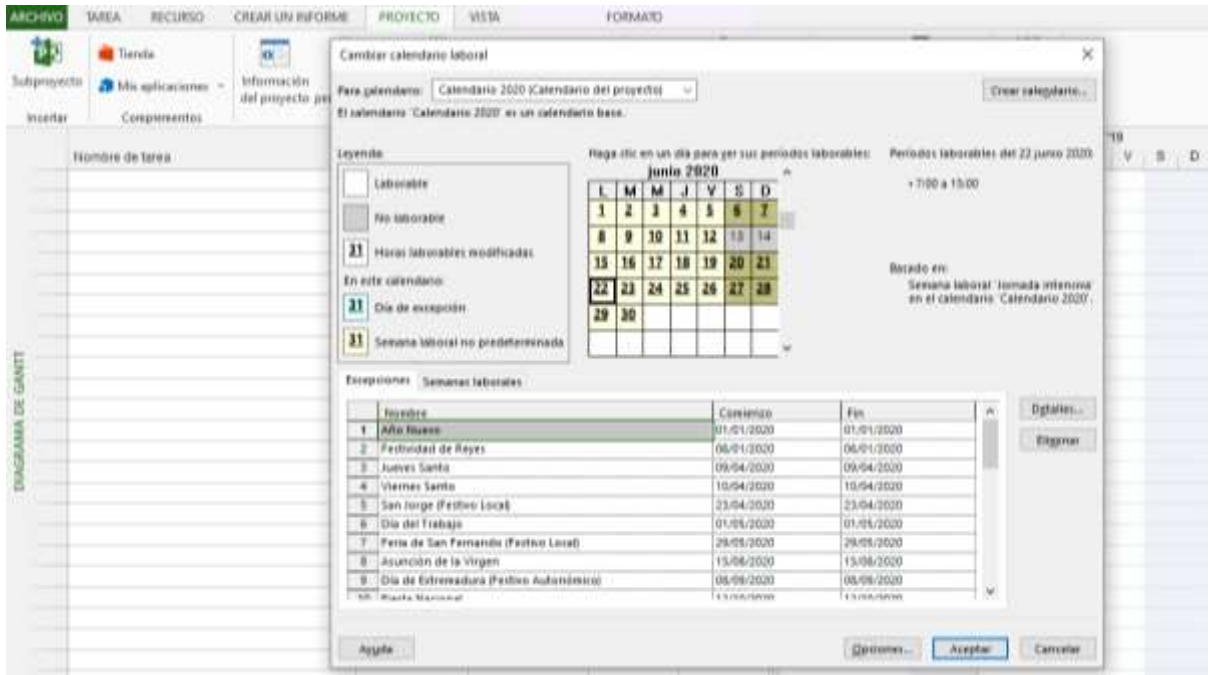


Ilustración 9.13 Introducción de la jornada intensiva en Microsoft® Project. Fuente: El. prop.

Con todas las actividades de nuestro proyecto y su duración calculada según el archivo **BIMUS_20_001_D02_VCR_mediciones_V02_S3.xlsx** simplemente copiamos esas dos columnas en un nuevo archivo de Microsoft® Project, debiendo establecer en este momento el orden en el que serán ejecutadas, así como la relación entre actividades predecesoras.

Algunos de los hitos más importantes en la construcción del proyecto según la planificación propuesta son:

- 1) **lunes 2 de marzo de 2020:** Inicio de las obras. Comienzan a ejecutarse los accesos a los tajos de obra, la señalización y cerramiento de la obra, la implantación de instalaciones auxiliares y se determinan las zonas de acopios y de residuos.
- 2) **lunes 9 de marzo de 2020:** Comienzo de las obras por la Fase 0, que se corresponde con la excavación de las Zapatas de las Pilas. Las obras se desarrollan en orden sucesivo hasta la Fase 6, con la consecución del Capitel de las Pilas, que se terminarán el martes día 7 de abril de 2020.
- 3) **martes 17 de marzo 2020:** De forma paralela a las obras que se están ejecutando correspondientes a las fases anteriores, comienzan a ejecutarse los Terraplenes de los Estribos (Fase 7), estimando su finalización para el jueves 26 de marzo de 2020. A continuación de la Fase 7 se ejecutan orden sucesivo las Fases 8 y 9. Se pretende conseguir con esta planificación que tanto las Pilas como los Estribos finalicen el mismo día y así poder ejecutar todos los Aparatos de Apoyo (Fase 10) a la misma vez, a la espera de que se coloquen las Vigas Prefabricadas en sus respectivas posiciones. Por lo tanto, se estima la consecución de los Estribos también para el martes día 7 de abril de 2020.
- 4) **martes 7 de abril de 2020:** Como ya se ha comentado, se espera colocar todos los Aparatos de Apoyo de la estructura a la vez (Fase 10), estimándose su finalización para el miércoles día 8 de abril. En esta parte del proyecto se realizará un paréntesis de casi 2 meses para ejecutar la Fase 11, correspondiente a la colocación de las Vigas Prefabricadas.
- 5) **lunes 1 de junio de 2020:** Como comentábamos en el **Apartado 7.2.2.**, el proceso de fabricación de las Vigas lleva su propio calendario, y no saldrán de la fábrica antes de los 90 días desde el comienzo de su fabricación. Suponiendo que se realiza el encargo en el momento de la firma del contrato, esta es la fecha que como mínimo deberá cumplirse para alcanzar la resistencia especificada. Se prevé finalizar la colocación de las Vigas (Fase 11) el viernes día 5 de junio de 2020.

El hecho de paralizar una obra durante todo ese tiempo no se contempla en la realidad porque supone grandes pérdidas para la empresa constructora, pero es habitual en contratos como la construcción de una autovía que la obra completa se adjudique por tramos, con todo lo que ello conlleva (estructuras, accesos, ODT's¹⁴, etc.), por lo que no es frecuente que se adjudique una sola estructura por separado, lo que quiere decir que en ese lapso de tiempo la empresa constructora estaría desempeñando otras actividades, pero ese no es objetivo de este TFM.

- 6) **jueves 23 de julio de 2020:** Tras la ejecución de las Fases 12,13 y 14 se finaliza la construcción de la Losa del Tablero, estimada para el jueves día 25 de junio de 2020. Antes de proceder a ejecutar la Capa de Rodadura (Fase 15) y los Elementos de Seguridad (Fase 16) deberá respetarse un periodo de al menos 28 días naturales para que el hormigón de la Losa fragüe y adquiera su resistencia característica antes de aplicarle las cargas permanentes.
- 7) **viernes 24 de julio de 2020:** Tras la colocación de los Elementos de Seguridad (Fase 16) se da por finalizada la construcción de la estructura. En este momento se deja un periodo de 5 días hábiles para los remates y acabados de la obra, por lo que la obra al completo finalizará el viernes día 31 de julio de 2020.

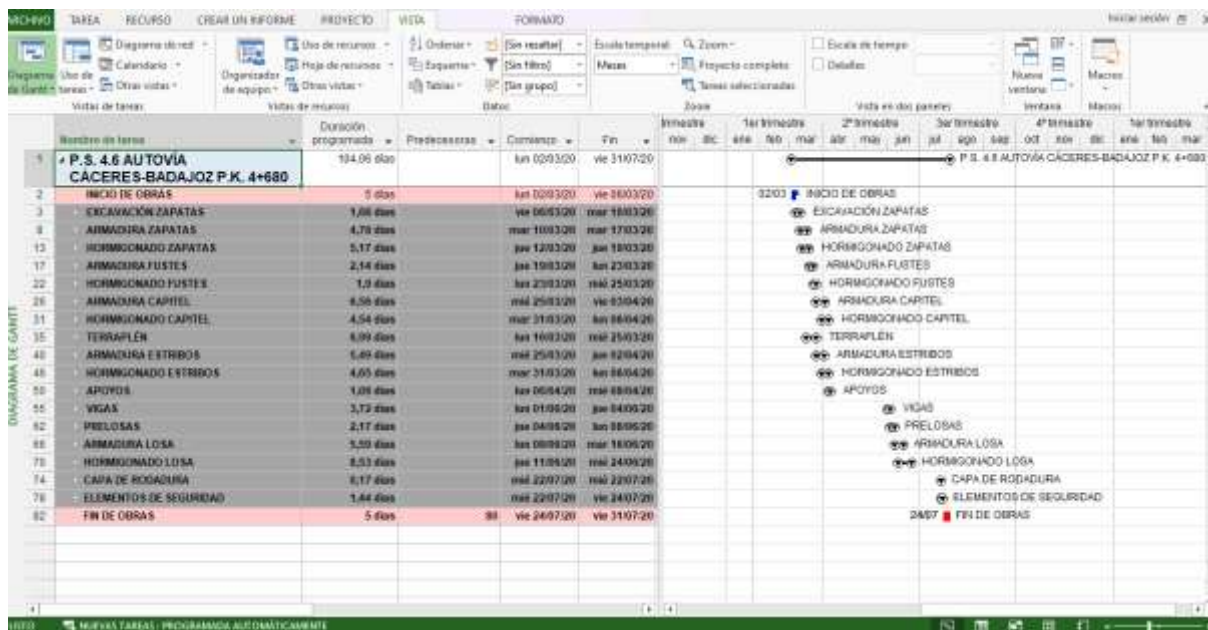


Ilustración 9.14 Planificación de la obra en Microsoft® Project. Fuente: El. prop.

Para más información se recomienda consultar el **Anexo C Planificación**.

9.7. Planificación BIM 4D

Una vez finalizado el Modelo BIM 3D y la planificación de obras por separado, es hora de asignar a cada uno de los elementos de dicho modelo una planificación en el tiempo, con esto nos estamos refiriendo a la Planificación BIM 4D. Como ya sabemos, esta tarea la haremos con la herramienta de Autodesk, Inc. Navisworks® v.2020.

9.7.1. Importación del Modelo BIM 3D

Como explicamos en el **Apartado 9.1.4.1.**, exportaremos en primer lugar el modelo desde Revit® en formato caché con el nombre de **BIMUS_20_001_D01_CRB_modeloBIM3D_V04_S3.nwc** para posteriormente

¹⁴ ODT: Obra de Drenaje Transversal

abrirlo desde Navisworks®, y lo guardaremos en formato archivo de Navisworks® con el nombre de **BIMUS_20_001_D02_VCR_modeloBIM4D_V02_S3.nwf**.

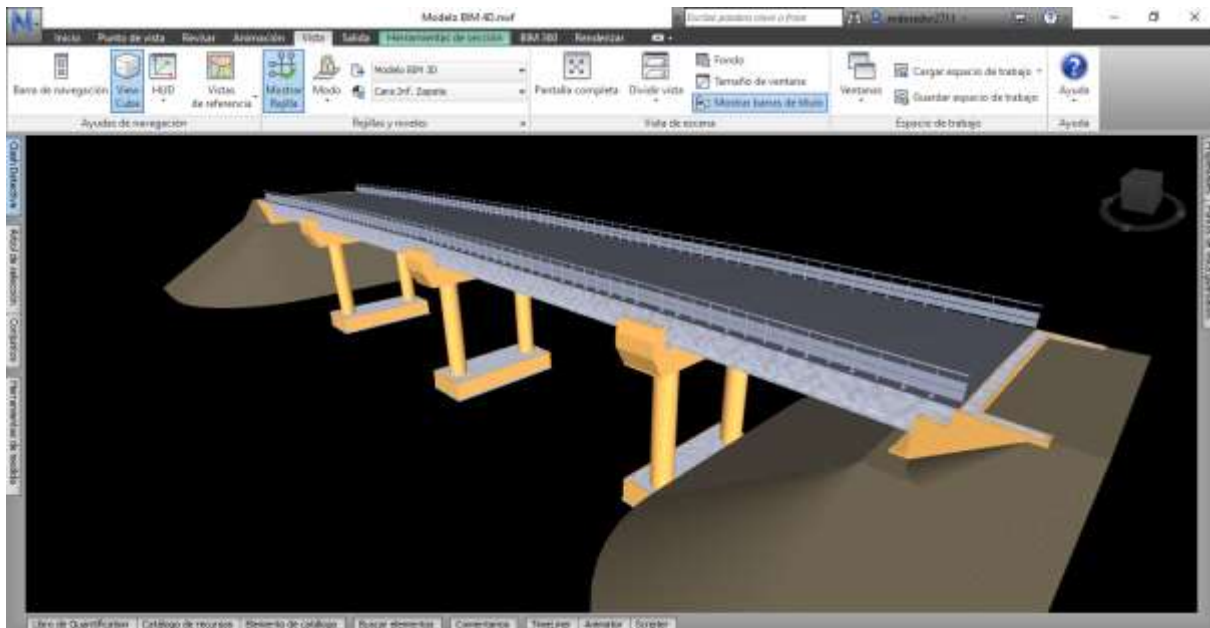


Ilustración 9.15 Importación del Modelo BIM 3D en Navisworks®. Fuente: El. prop.

9.7.2. Importación del Archivo de Planificación

A través de la herramienta *Timeliner* agregaremos al archivo de Navisworks® el archivo de planificación de Microsoft® Project **BIMUS_20_001_D02_VCR_planificacion_V03_S3.mpp**

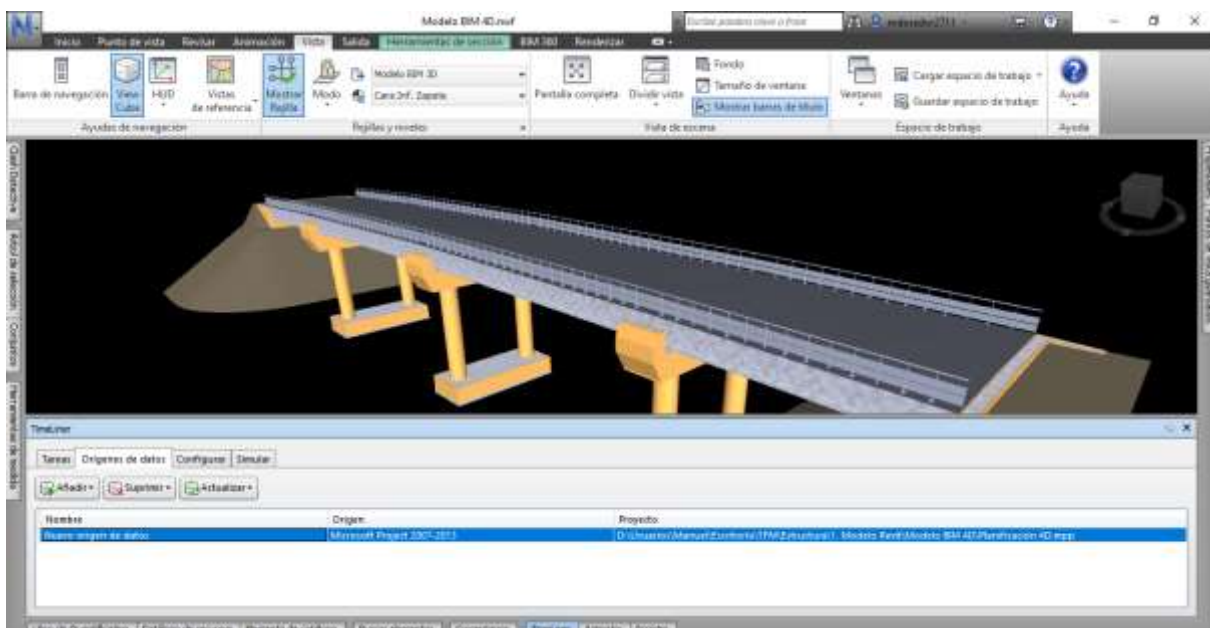


Ilustración 9.16 Importación del archivo de planificación en Navisworks®. Fuente: El. prop.

9.7.3. Conjuntos de Búsquedas

Una vez tenemos cargados en el mismo archivo el Modelo BIM 3D y la planificación establecida según el Diagrama de Gantt, el siguiente paso será relacionar ambos archivos para darle sentido a la Planificación BIM

4D, porque hasta ahora el programa no entiende que un elemento cualquiera debe construirse cuando le corresponde. Para ello existen en Navisworks® los *Conjuntos de Búsquedas*, que nos permiten realizar un filtro con los elementos del Modelo BIM 3D que nos interesan y enlazarlos a una tarea específica. Seleccionar de forma manual uno a uno cada uno de los elementos del modelo que pretendemos asignarle una planificación en el tiempo resulta ser una tarea lenta, pesada y poco eficaz, y por lo tanto, no nos resulta de interés de cara a la aplicación de la Metodología BIM.

En este caso, como del Modelo BIM 3D hemos importado todas sus propiedades, lo que haremos será seleccionar aquellos elementos que cumplan una serie de requisitos y guardarlo como un conjunto de búsqueda, de tal forma que, simplemente seleccionando el conjunto de búsqueda deseado, el programa automáticamente diferencie esos elementos del resto. El filtro lo realizaremos básicamente por material, fase de ejecución y comentarios (de nuevo, se aprecia la ventaja de haber añadido previamente en el Modelo BIM 3D de Revit® toda esa información).



Ilustración 9.17 Creación de Conjuntos de Búsquedas en Navisworks®. Fuente: El. prop.

Como es probable que el proyecto sufra modificaciones a lo largo de todo el proceso (recordemos, una de las ventajas de la Metodología BIM es que el proyecto permanece en constante adaptación a los cambios), deberemos cargar y actualizar el modelo en numerosas ocasiones, pero esto no implica que tengamos que realizar el proceso de creación de conjuntos de búsquedas cada vez que cargamos y actualizamos el modelo, existe la posibilidad de exportar esos conjuntos de búsquedas en formato *.xml* para posteriormente volverlos a importar de nuevo, lo que supone un gran ahorro de tiempo. Los conjuntos de búsqueda del archivo que contiene el Modelo BIM 4D se encuentran en la carpeta **BIMUS_20_001_D02_VCR_busquedas_V01_S1**

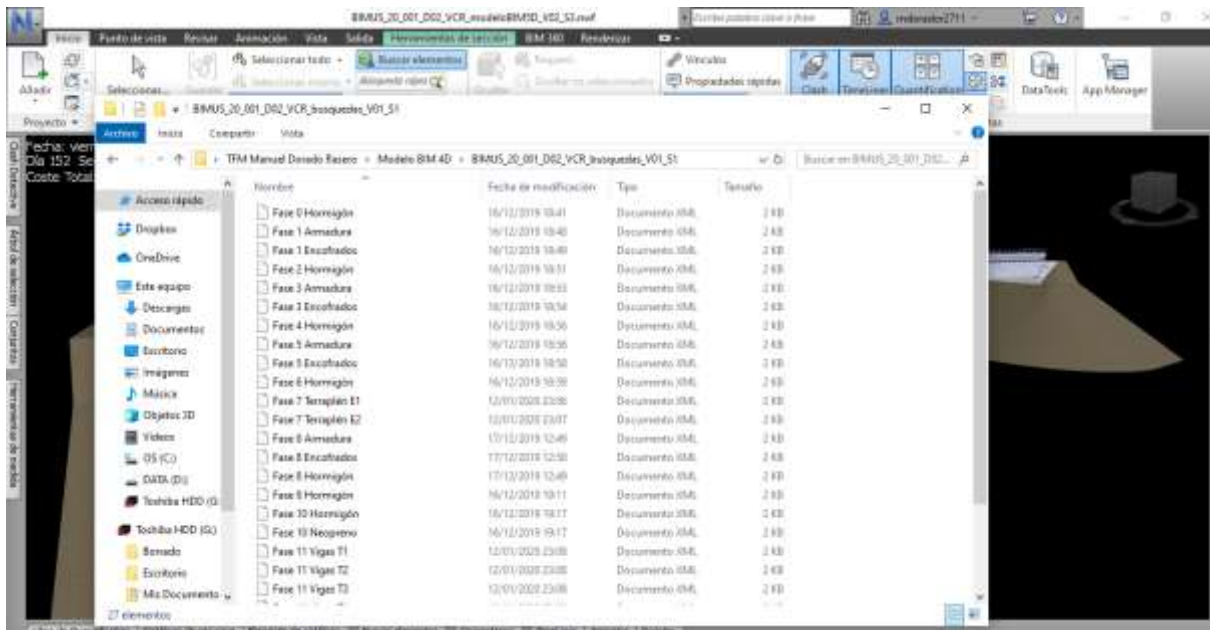


Ilustración 9.18 Exportación de Conjuntos de Búsquedas a formato .xml. Fuente: El. prop.

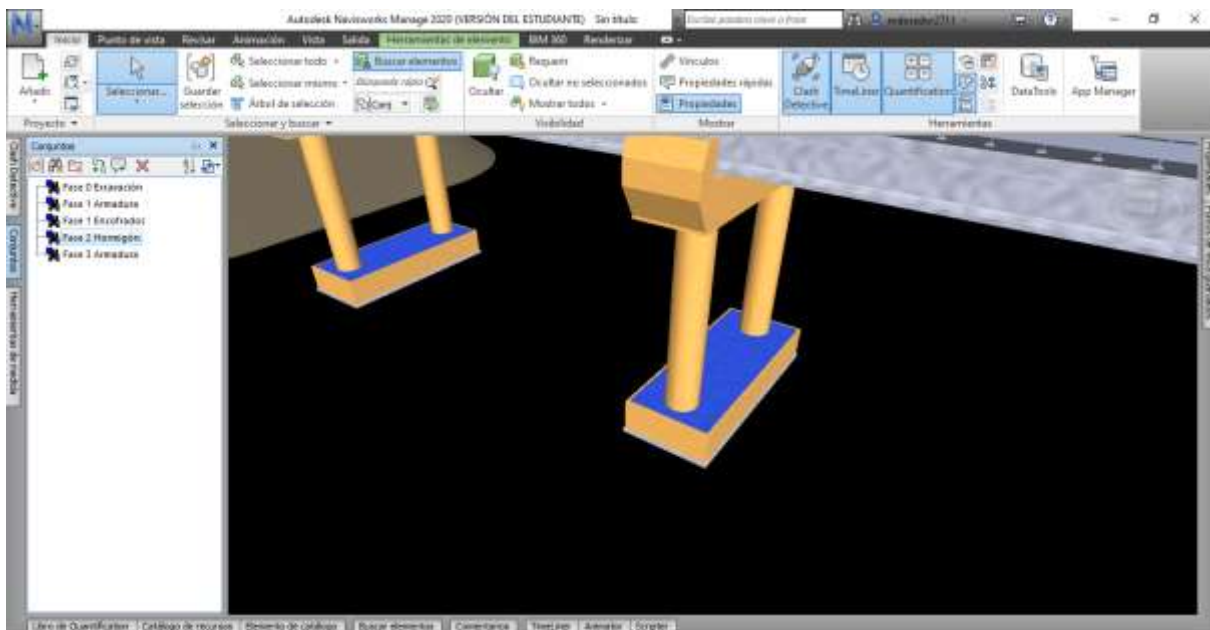


Ilustración 9.19 Selección de elementos del modelo a través de los Conjuntos de Búsquedas. Fuente: El. prop.

9.7.4. Simulación del Modelo BIM 4D

Ahora ya simplemente tenemos que enlazar cada tarea con el Conjunto de Búsqueda que le corresponde, y especificar si se trata de una actividad de construcción (color verde), temporal (color amarillo) o de demolición (color rojo). Esto último tendrá efecto en la visualización del modelo mientras se ejecuta la construcción y al final de la misma, porque como es evidente, hay elementos que han sido importados desde el Modelo BIM 3D como por ejemplo los encofrados, que no deberán apreciarse en la apariencia final del modelo.

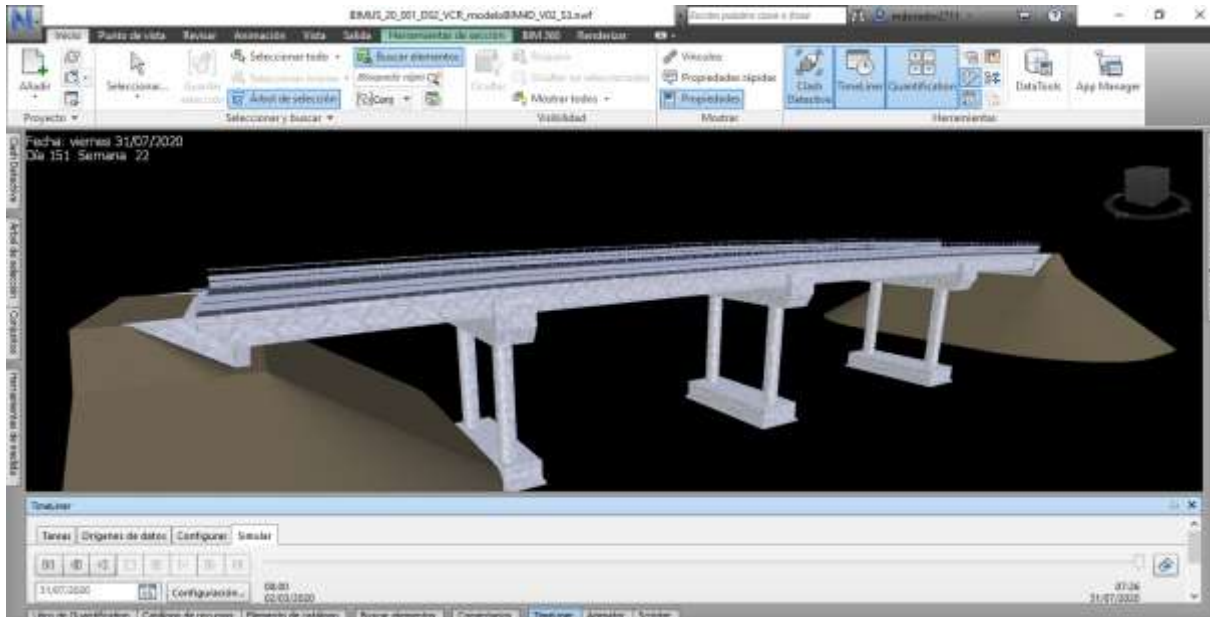


Ilustración 9.22 Apariencia final del Modelo BIM 4D. Fuente: El. prop.

9.8. Detección de Conflictos

La detección de conflictos es una de las utilidades más importantes que tiene la Metodología BIM, ya que nos permite identificar los fallos cometidos en la fase de proyecto y solucionarlos antes de que sean llevados a la realidad. Todo ello se consigue a través de la herramienta *Clash Detective*, en la que importando varios archivos al mismo modelo es posible establecer una prueba de choque entre los elementos de cada uno de ellos y comprobar qué errores se producen en el proyecto.

Si bien es cierto que en este TFM no se puede apreciar las ventajas de esta herramienta, no quería dejar pasar la oportunidad de explicar al menos en qué consisten las pruebas para la detección de conflictos. Y es que no se puede aplicar a este proyecto porque tan solo tenemos un modelo, por lo que no hay posibilidad de que haya interferencias con otros modelos porque no tenemos más archivos importados. Los choques detectados en el Modelo BIM 3D de la estructura ya se comentaron en el **Apartado 8.11** con el solapamiento de las prelasas y la losa.

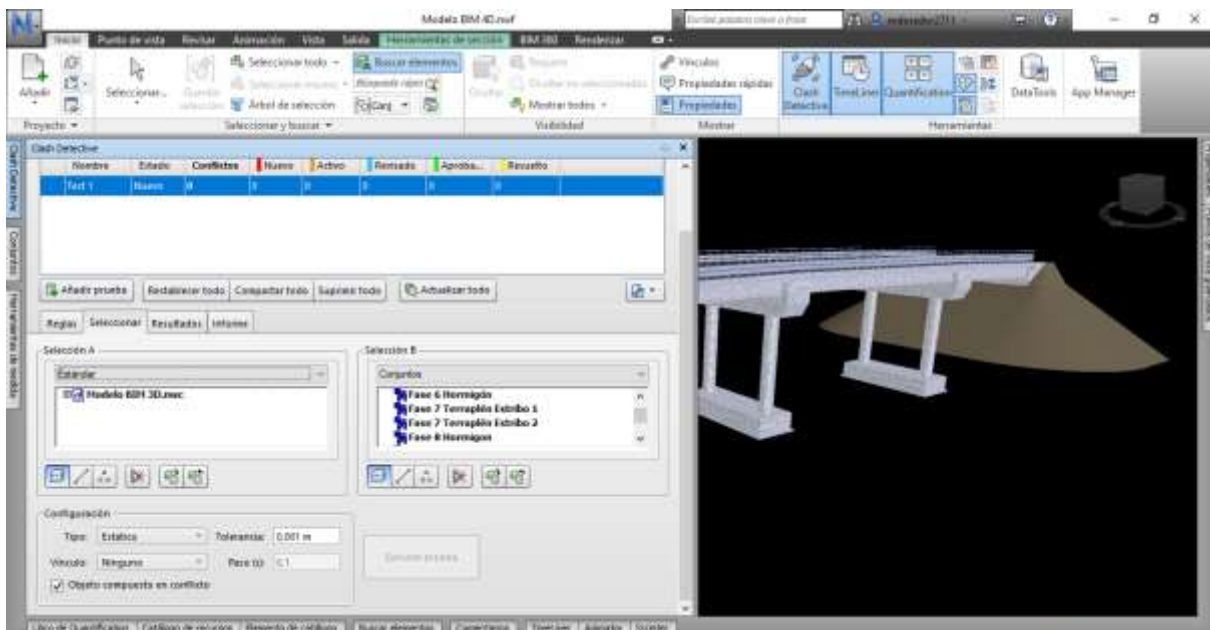


Ilustración 9.23. Prueba de detección de conflictos en el Modelo BIM 4D. Fuente: El. prop..

Resultaría interesante comprobar, por ejemplo, si tuviéramos además del Modelo BIM 3D del paso superior el de la autovía, cómo interfieren la construcción de ambas obras.

Por otro lado, imaginemos también que ha habido un error en la georreferenciación de la estructura y no se sitúa exactamente en la posición que le corresponde, sino que se coloca dentro de la traza de la autovía, ese error con la metodología tradicional sería prácticamente imposible de detectar en la fase de diseño de proyecto, mientras que con la herramienta *Clash Detective* es posible resolverla en el momento adecuado.

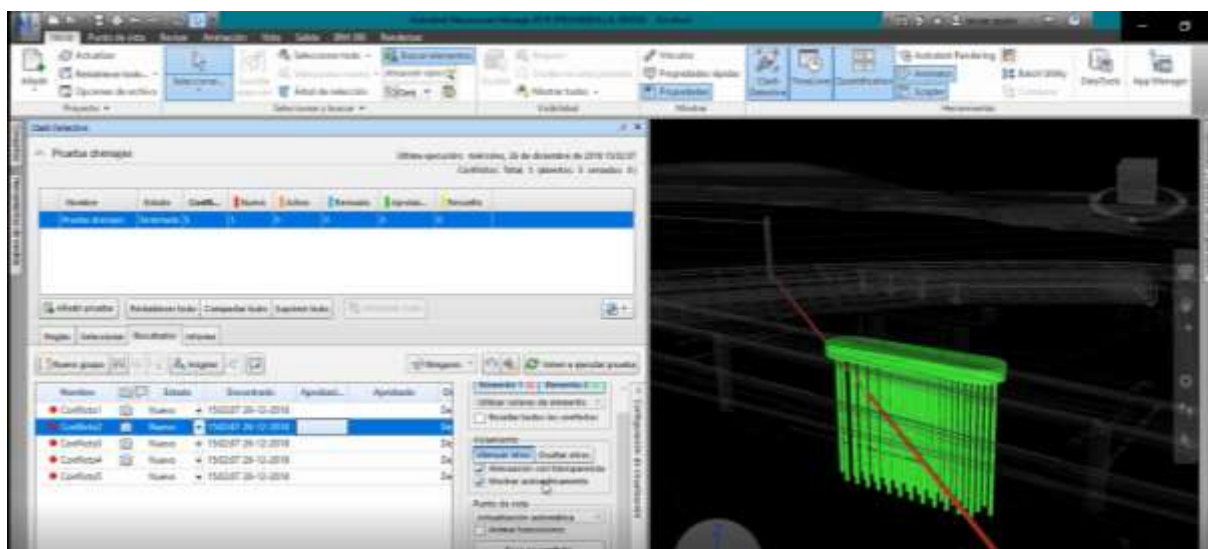


Ilustración 9.24 Detección de conflictos entre varios modelos. Fuente: Instituto Didactia.

En la ilustración anterior podemos observar una prueba de choque realizada para otro proyecto. Aparece el conflicto ocasionado entre dos modelos independientes en el que el elemento señalado en color verde se corresponde con la cimentación profunda de un paso superior de autovía, y en color rojo una red de saneamiento existente.

Esos conflictos pueden detectarse y resolverse por parte de cada una de las personas responsables de cada uno de los modelos independientes, de tal manera que se consigue establecer entorno colaborativo y no individual.

10. MODELO BIM 5D

La última parte del presente TFM concluye con la elaboración de un Modelo BIM 5D. Como se comentó anteriormente en el **Apartado 1.5**, la quinta dimensión de un proyecto BIM corresponde al coste del proyecto. El objetivo del presente Capítulo será la elaboración de un presupuesto a partir de las mediciones obtenidas del Modelo BIM 3D, y posteriormente, ese presupuesto se vinculará con el Modelo BIM 4D del Capítulo anterior, obteniendo así una completa visión de cómo se ejecutaría el proyecto en la realidad, controlando el procedimiento de ejecución y los costes de cada fase del mismo.

En este Capítulo se explicará de forma clara y concisa el procedimiento seguido para la realización del Modelo BIM 5D, aunque una vez más me gustaría recalcar que no se tratará de realizar un “manual de usuario”, sino una aplicación directa de las herramientas utilizadas.

10.1. Software

Para la elaboración del Modelo BIM 5D se ha seleccionado el software **Presto v.2020**, de la Compañía **RIB Spain**. Este software es comúnmente utilizado para la elaboración de presupuestos dentro del sector de la construcción, pero en este caso era preciso disponer de un software compatible con la Metodología BIM, porque si no la elaboración de este Capítulo carecería de sentido absolutamente. Al igual que con todos los programas con enfoque BIM utilizados en el presente TFM, se solicitó una versión de prueba como estudiante de la Universidad de Sevilla (US), la cual se concedió sin ningún impedimento.

Si bien cabe señalar que no se ha investigado acerca de la utilidad de otras herramientas similares, la decisión final de utilizar este software, aparte de estar ya familiarizado con versiones anteriores, es la incorporación del módulo *Cost-It*, que permite vincular proyectos realizados en Revit® a presupuestos, como veremos a continuación. De este modo, además de ahorrar tiempo al poder vincular modelos y archivos de presupuesto, podemos contener toda la información necesaria dentro del mismo modelo, por lo que la aplicación de la Metodología BIM es completamente directa.

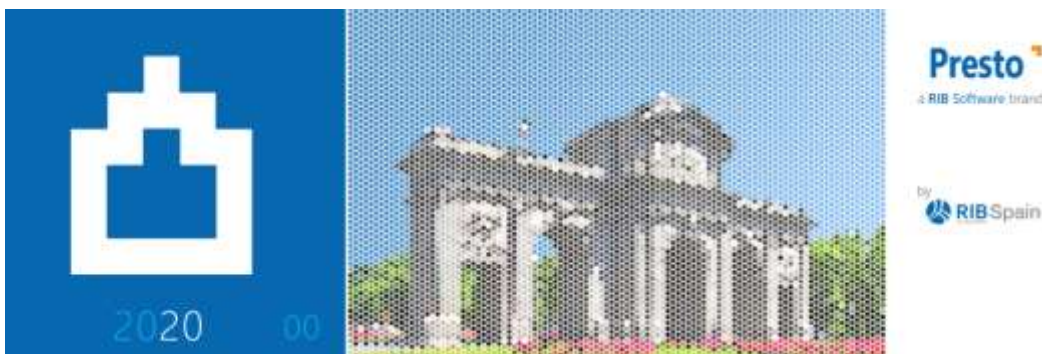


Ilustración 10.1 Interfaz de inicio de Presto® v. 2020. Fuente: RIB Spain

10.1.1. Interoperabilidad Presto® - Revit®

En primer lugar, es fundamental que previamente hayamos utilizado una versión de 2019 o mejor aún, la última versión de Revit®, porque entonces no tendremos la posibilidad de utilizar ambos programas de manera conjunta.

Una vez dicho esto, conviene señalar las ventajas que proporciona el complemento *Cost-It*, según la propia compañía [71] son las siguientes:

- Generar las mediciones completas del modelo, de forma estructurada y con trazabilidad.
- Convertir las mediciones en el presupuesto necesario para valorar o licitar el proyecto.
- Obtener otra información relacionada, como las superficies útiles y construidas, los parámetros relevantes para determinar el precio o la documentación gráfica de la oferta.
- Identificar los elementos del modelo Revit en Presto y viceversa.
- Insertar de nuevo en el modelo información que se ha introducido en el presupuesto.
- Visualizar gráficamente la información del presupuesto, como estados de aprobación, elementos de cada unidad de obra o capítulo, fases de planificación, ejecución o certificación.
- Proporcionar sistemas para la sincronización de los cambios en el modelo y el presupuesto.

Para aplicar la Metodología BIM de una forma correcta, el Modelo BIM 5D deberá contener como mínimo, aparte de toda la información del Modelo BIM 3D, el *Código de Montaje* y el *Coste*, para de esta forma poder identificar y cuantificar desde el punto de vista económico cada elemento del Modelo. El Código de montaje hace referencia fundamentalmente al código asignado a un capítulo, partida, material, etc. de un presupuesto, que normalmente dependerá de la Base de Precios que utilicemos, ya sea alguna oficial o la propia de la empresa.

Investigando acerca de las posibilidades del programa de presupuestos y su vinculación con Revit®, se han obtenido 3 formas distintas de vincular archivos, corroborando también la información aportada por Vera, Carmen en su TFM [72]:

- 1) **Introduciendo de forma manual el Código de Montaje y el Coste en cada elemento del Modelo BIM 3D.** Se descarta por completo esta opción porque, en primer lugar, el tiempo empleado es muy elevado comparado con las otras opciones, además de ser una tarea muy poco ágil y dinámica. En segundo lugar, y más importante, porque no existe vinculación alguna entre ambos archivos, por lo que las modificaciones producidas en uno de ellos no se ven reflejadas en el otro. Por lo tanto, no se estaría aplicando la Metodología BIM como tal.

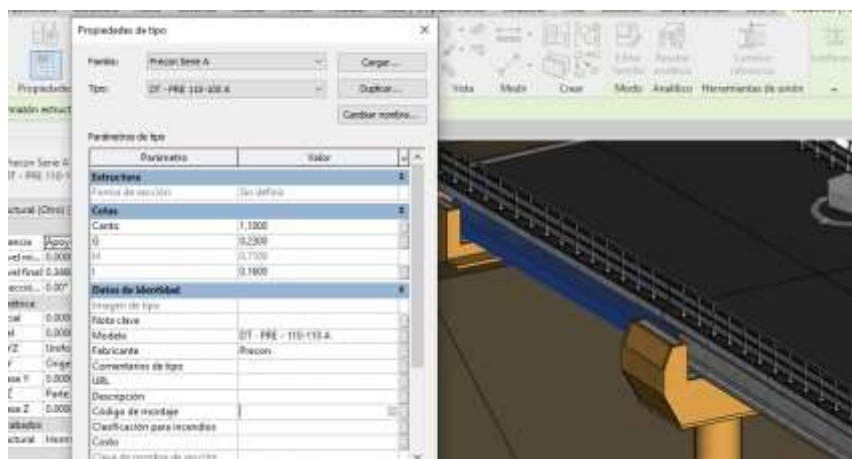


Ilustración 10.2. Parámetros a introducir de forma manual en los elementos del Modelo BIM 3D. Fuente: el. prop.

- 2) **Exportar un catálogo Revit® desde Presto® que hemos creado previamente con todos los elementos del proyecto y asociarlo desde el Modelo BIM 3D.** Si bien es cierto que permite una vinculación entre archivos de una forma más rápida, con esta opción no se asocian toda la información relevante; el coste debería ser introducida de forma manual.



Ilustración 10.3. Vinculación de archivos mediante los catálogos de Revit® exportados desde Presto. Fuente: el. prop.

A pesar de suponer un gran avance respecto a la opción anterior, descartaremos esta opción por no ser la más ortodoxa.

- 3) **Vinculación de archivos mediante el Módulo Cost-It.** Como complemento de Revit® tenemos la opción de vincular directamente un elemento del Modelo BIM 3D a una partida del presupuesto mediante la opción *Asociar código de montaje*.

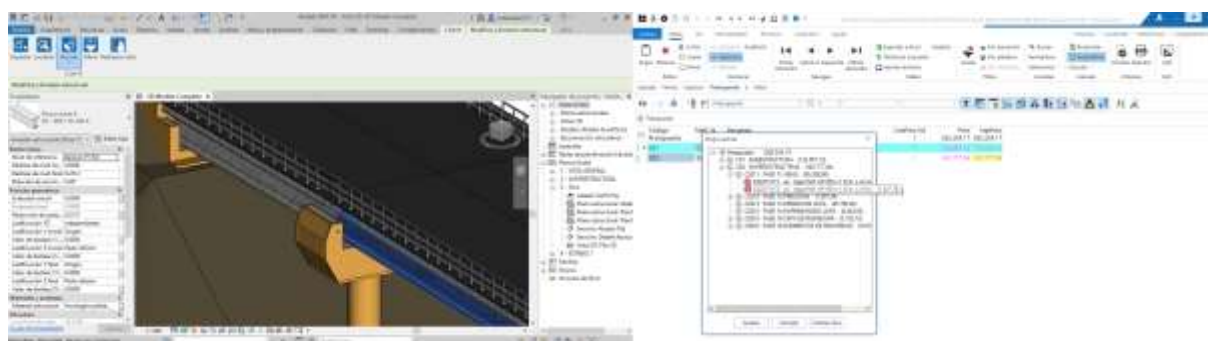


Ilustración 10.4 Vinculación de Revit® y Presto® a través del módulo Cost-It. Fuente: El. prop.

Con esta opción conseguimos vincular toda la información necesaria en pocos pasos, asociando cada elemento del modelo a su correspondiente partida del presupuesto, por lo tanto, será la que elegiremos.

Como podemos comprobar, con este paso la elaboración de un presupuesto no es independiente al diseño, de tal manera que al estar asociados, cada modificación realizada en la geometría del Modelo repercutirá de forma directa en el presupuesto. Se aprecia la gran ventaja que presenta la Metodología BIM respecto a la tradicional, en la que cualquier modificación en el proyecto suponía la reelaboración de planos, mediciones y finalmente el presupuesto, ya que todo era independiente.

10.2. Metodología a seguir

Una vez ha quedado claro cómo vincularemos ambos archivos, resulta conveniente explicar a grandes rasgos los pasos a seguir para la elaboración del Modelo BIM 5D.

En primer lugar, seleccionaremos las partidas que intervendrán en el presupuesto, bien de una base de precios personal o bien de algún organismo oficial. Esas partidas, que incluyen códigos de montaje, descripción y coste, se vincularán con los elementos del Modelo BIM 3D tal y como se ha comentado en el Apartado anterior. Posteriormente ya con toda la información disponible en el Modelo de Revit®, se exportará todo el presupuesto a Presto®. Todo esto que estamos comentando se llevará a cabo a través del complemento *Cost-It*.

Una vez tengamos el presupuesto tendremos que realizar algunos cambios, porque como es habitual, no todo el

proceso se genera de forma automática. Para tener un presupuesto final acorde a la realidad, deberemos introducir conceptos como porcentaje de Costes Indirectos, IVA, incluso unas partidas dedicadas a la Seguridad y Salud y a la Gestión de Residuos, porque el presupuesto que se exporta desde Revit® son mediciones con un precio unitario asignado.

Una vez editado el presupuesto y revisado para detectar posibles errores, tendremos finalizado el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), que con los porcentajes aplicados darán como resultado el Presupuesto Base de Licitación (PBL). De ese PBL se generarán los informes necesarios, tal y como se hace también en la metodología tradicional.

Por último, para vincular la gestión económica de la obra con la planificación temporal de la misma, exportaremos el coste de cada fase de construcción a un archivo de planificación como el del Capítulo anterior, y dicho archivo lo sincronizaremos con Navisworks®, que recordemos era el software utilizado en este TFM para la simulación de la construcción.

10.3. Base de Precios

Al tratarse de un proyecto que tendría lugar en Extremadura se ha optado por utilizar la Base de Precios de la propia Comunidad Autónoma, que además es una de las más completa a nivel nacional. El problema reside en que esta Base de Precios está desactualizada, ya que su última revisión data de 2012 (BPC12GEX). La solución adoptada pasa por adaptar las partidas y materiales que serán necesarios para el proyecto al Índice de Precios de Consumo (IPC), que como define el Instituto Nacional de Estadística (INE) [73] *es una medida estadística de la evolución de los precios de los bienes y servicios que consume la población residente en viviendas familiares en España*.

Consultando la variación que ha sufrido el IPC por Comunidades Autónomas desde enero de 2012 hasta diciembre de 2019 se ha obtenido la siguiente gráfica:

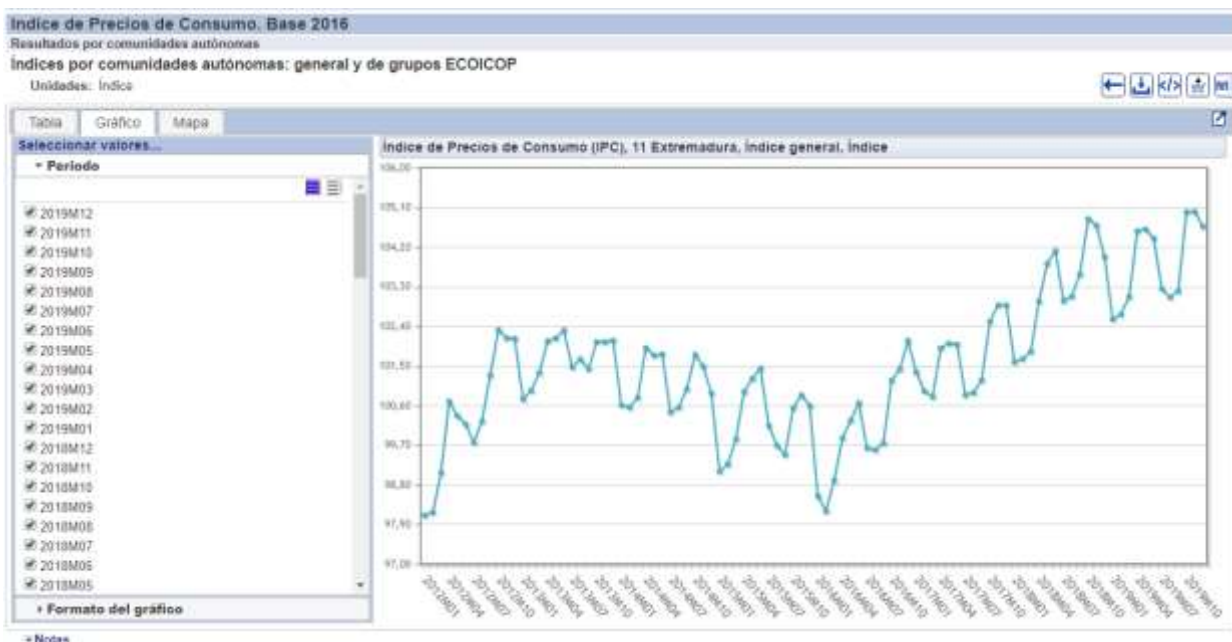


Ilustración 10.5. Datos IPC Extremadura enero 2012 – diciembre 2019. Fuente: INE

Observamos que el IPC en el primer trimestre de 2012 (fecha aproximada de la publicación de la BPC12GEX) se situaba en los 99,068 puntos, mientras que el último dato disponible de diciembre de 2019 se situaba en los 104,664 puntos, es decir, en Extremadura se ha producido un incremento del IPC general de aproximadamente el 5%, que será el porcentaje que se aplicará a los precios de dicha Base de Precios para actualizarlos a la fecha más reciente.

En la siguiente tabla vemos la comparativa de precios de algunos de los materiales empleados en el proyecto:

Tabla 10.1. Comparativa de precios de materiales empleados

Código de Montaje	Material	Precio unitario BPC12GEX	Precio unitario BP19
P03AC200	Acero B – 500 S	1,82 €/kg	1.91 €/kg
P01HC102	HA-30/P/20/IIb	56,36 €/m ³	59,18 €/m ³
P01HD160	HM-15/B/20	50,64 €/m ³	53,17 €/m ³

No todos los materiales y partidas del proyecto se han localizado en la BPC12GEX, por lo que se han añadido al presupuesto atendiendo al coste de elementos similares en otros proyectos. Para más información acerca de los precios adoptados se recomienda consultar el **Anexo E Presupuestos**.

10.4. Vinculación con el Modelo BIM 3D

La forma de vincular el Modelo BIM 3D de Revit® a la información procedente de la Base de Precios ya ha sido descrita anteriormente. Simplemente volver a comentar que una vez tengamos todas las partidas y materiales del proyecto, a través de la pestaña *Asociar* podemos incluir la información necesaria en cada elemento en cuestión del Modelo para posteriormente exportar todo el presupuesto desde Revit® a un archivo de Presto®.

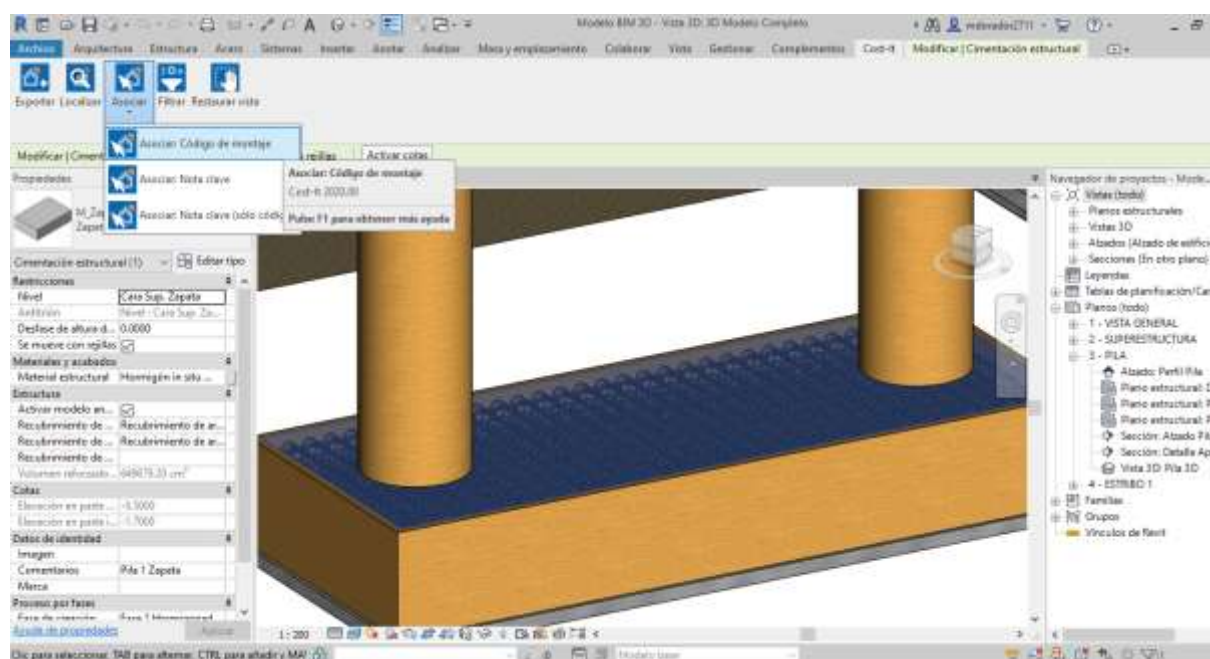


Ilustración 10.6. Asociación de elementos mediante Código de Montaje. Fuente: El. prop.

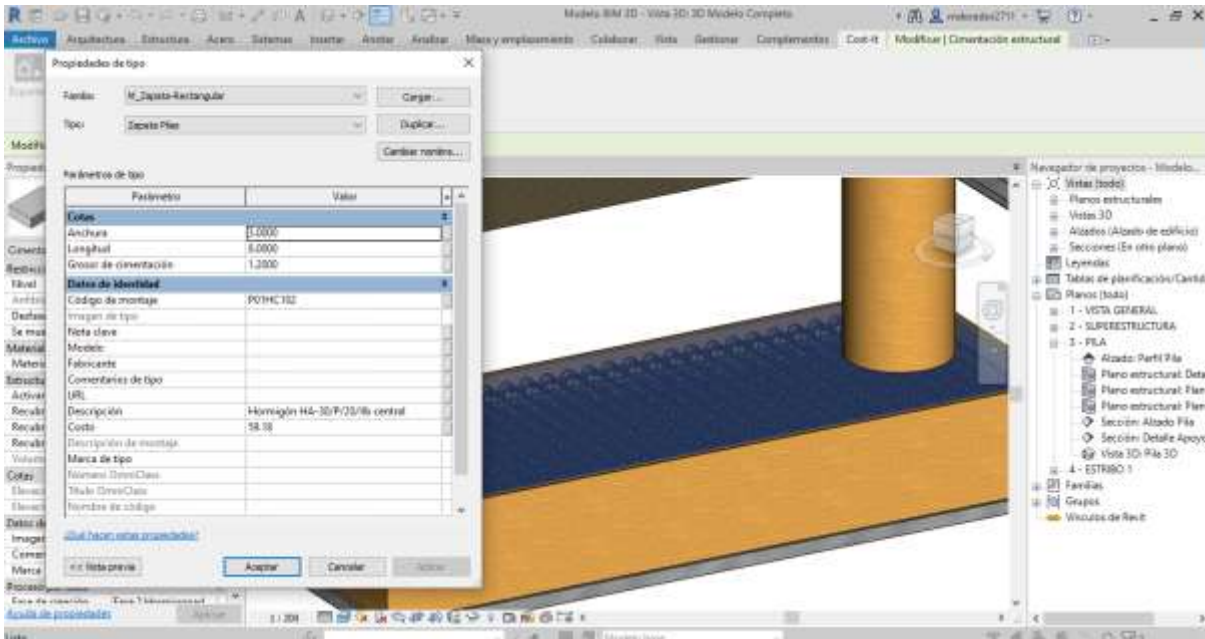


Ilustración 10.7 Información vinculada de la Base de Precios. Fuente: El. prop.

En la ilustración anterior podemos observar la información que se ha añadido al vincular el elemento con el material procedente de la Base de Precios.

Por otro lado, aunque tengamos que vincular los elementos de forma manual (de otra forma no sería posible), no quiere decir que tengamos que repetir la operación para cada elemento idéntico del Modelo, el programa, de forma automática asocia la información a cada uno de los elementos idénticos que existen en el Modelo, es decir, en este caso en concreto, tenemos tres elementos del tipo *Zapata Pilas*, por lo que el vínculo se establece en todos esos elementos. Esto se puede comprobar a través de las Tablas de Planificación, en las que, si añadimos a los anteriores campos una columna con el Código de Montaje y otra con el Coste, obtenemos:

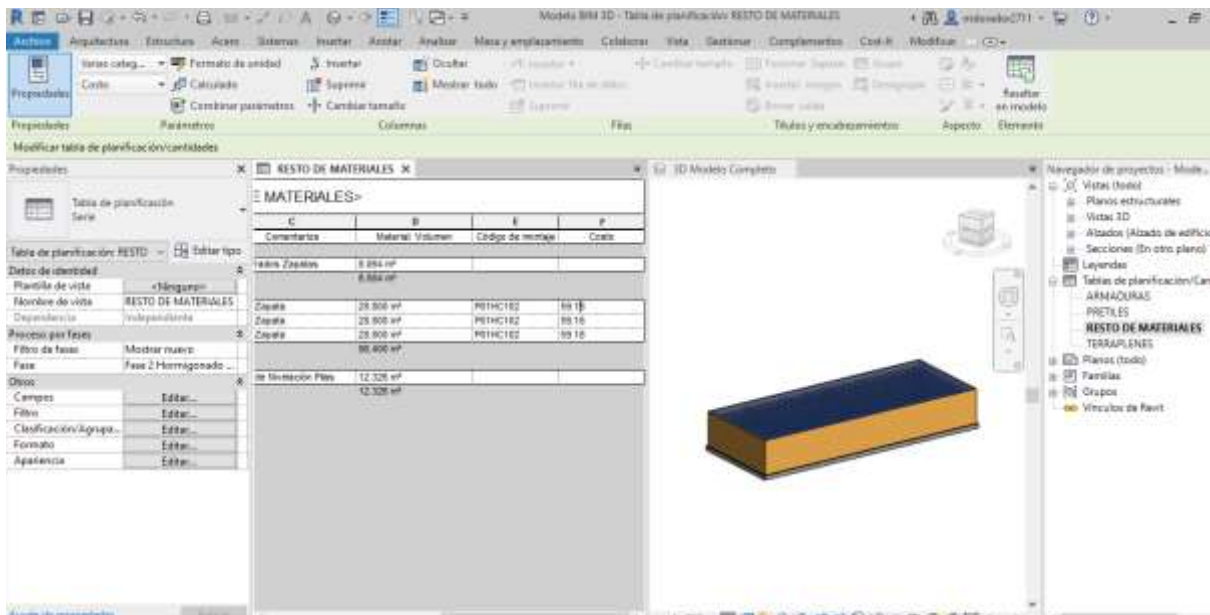


Ilustración 10.8. Información vinculada en las Tablas de Planificación. Fuente: El. prop.

Podemos apreciar que se ha introducido la información para elementos idénticos.

Otra gran utilidad que tiene trabajar con Revit® es que tenemos toda la información necesaria en el mismo archivo. En este caso, para saber el coste que tendría el hormigón empleado en las zapatas no sería falta recurrir a un programa de presupuestos ya que podemos añadir una columna, que en este caso llamaremos “Subtotal”,

que multiplique el volumen del material por el coste del mismo, obteniendo las siguientes cantidades:

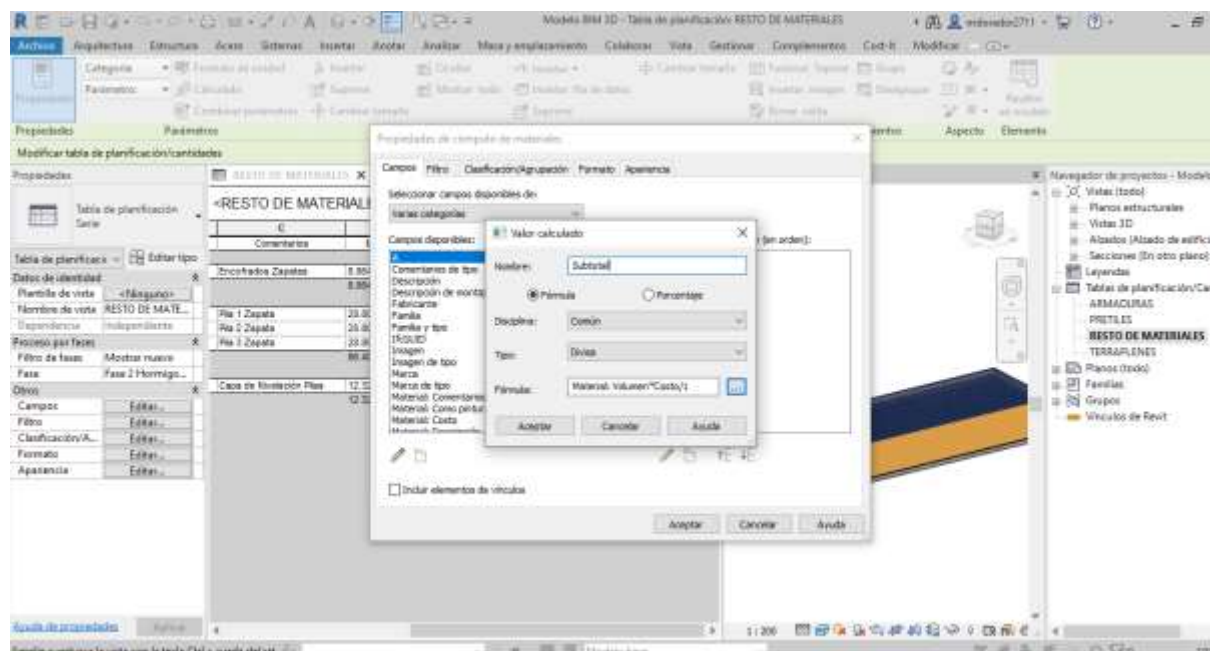


Ilustración 10.9 Introducción de presupuestos parciales en las Tablas de Planificación I. Fuente: El. prop.

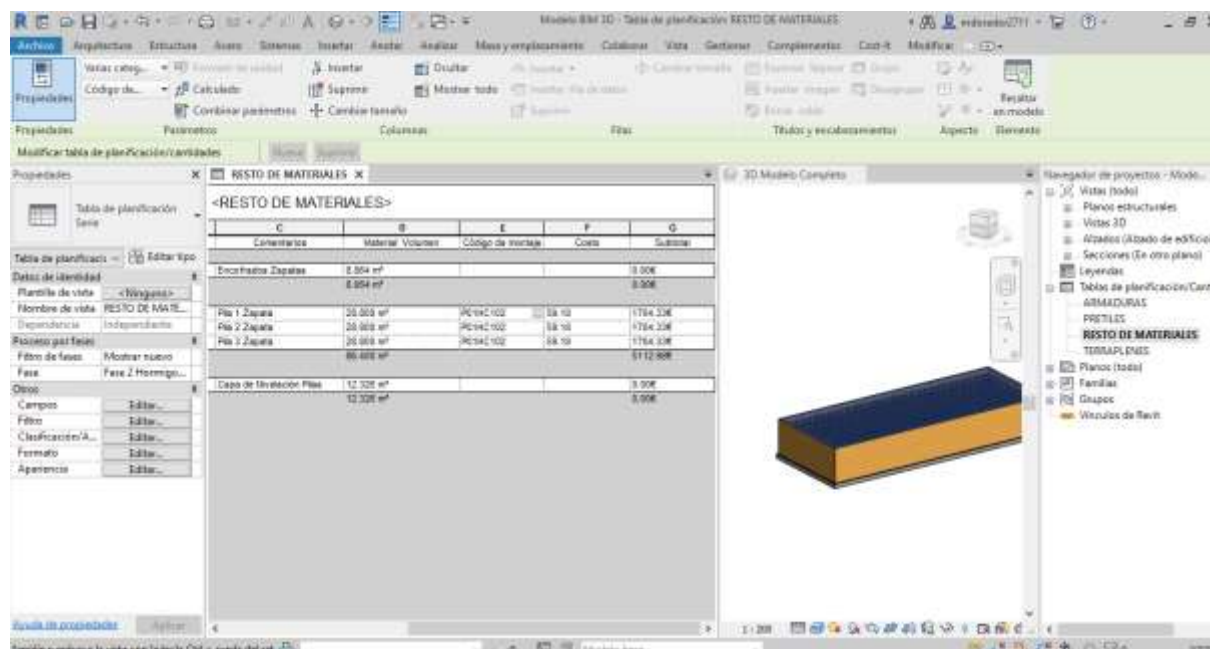


Ilustración 10.10 Introducción de presupuestos parciales en las Tablas de Planificación II. Fuente: El. prop.

Efectivamente, tenemos calculado el coste del hormigón para la ejecución de las zapatas, mientras que en los otros elementos el coste permanece a 0,00 € debido a que aún no se han vinculado con la Base de Precios.

En este momento podemos hacernos una idea de la utilidad que tienen las Tablas de Planificación dentro de un proyecto BIM. Con ellas podemos información relativa a materiales, cantidades, costes, incluso localizarlo con un simple “click” dentro de todo el Modelo.

Continuaremos vinculando elementos a la Base de Precios para poder obtener un presupuesto completo.

10.5. Elaboración del presupuesto en Presto®

Aunque hemos visto que es posible obtener presupuestos parciales a través de las *Tablas de Planificación*, conviene exportar toda la información a un programa específico para tal fin, puesto que como hemos comentado anteriormente, Revit® está limitado en cuanto a introducción de costes indirectos, impuestos adicionales o emisión de certificaciones, entre otros aspectos.

El objetivo será exportar el proyecto desde Revit® a Presto® a través del módulo *Cost-It*, generando de esta manera un formato habitual en los presupuestos de los proyectos, pero con la gran ventaja de estar vinculado al programa del que procede.

Para información del lector, se recomienda visitar el siguiente vídeo del canal de YouTube® Precio Centro donde se explica gráficamente el procedimiento a seguir de una forma breve y a la vez fácil de comprender:

https://www.youtube.com/watch?v=AP_HnRVUX-Q

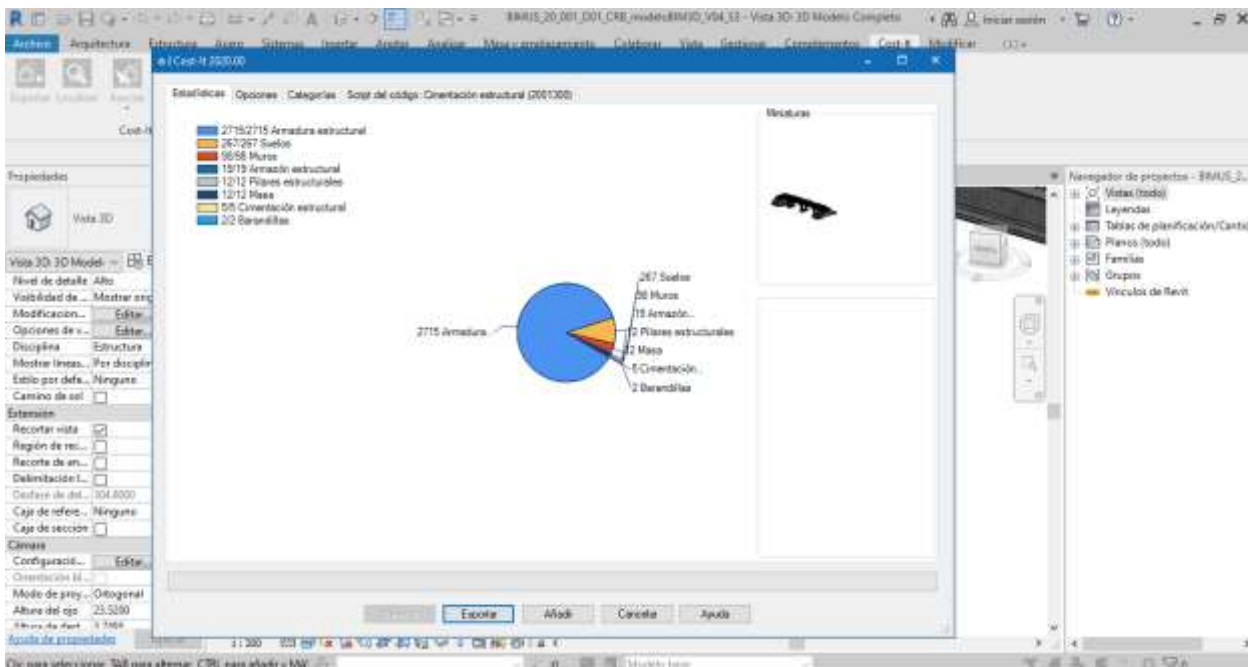


Ilustración 10.11 Proceso de exportación del Modelo BIM 3D desde Revit® a Presto®. Fuente: El. prop.

Con el archivo exportado directamente desde Revit® a Presto® se obtendrá una relación bidireccional entre ambos softwares, pudiendo seleccionar la partida de Presto® desde el elemento de Revit® y viceversa.

La completa interoperabilidad entre ambos softwares permite obtener en un archivo de Presto® toda la información del Modelo BIM 3D, incluyendo familias, elementos, mediciones, fases de ejecución, etc., pudiendo posteriormente reestructurarlo en capítulos o según considere oportuno el proyectista.

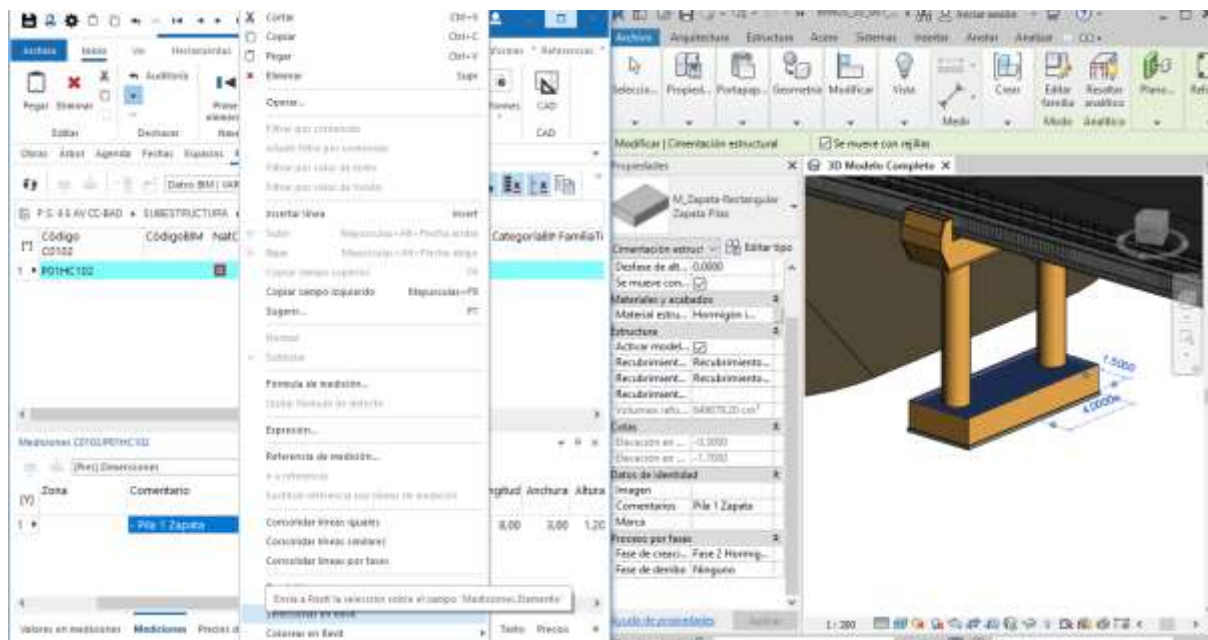


Ilustración 10.12 Interoperabilidad Revit® -Presto®. Fuente: El. prop.

El archivo **BIMUS_20_001_D03_VCR_presupuesto_V03_S3.Presto** que contiene el presupuesto del proyecto ha sido elaborado mediante la reestructuración del archivo procedente de la exportación del Modelo BIM 3D, en el que una vez exportadas todas las mediciones con el coste parcial asociado, procederemos a realizar algunos cambios en el archivo:

- 1) **Cálculos, redondeos y porcentajes:** Introducción de Costes Indirectos, porcentajes, información adicional, etc. Se aplicará un porcentaje de Costes Indirectos del 3%. Los porcentajes que se aplicarán serán los siguientes:
 - Gastos Generales: 13%
 - Beneficio Industrial: 6%
 - IVA: 21%

- 2) **Reestructuración de Capítulos:** Se mantiene la ejecución por fases tal y como se planificó desde el inicio, pero a efectos de tener un presupuesto más estructurado, las distintas fases se agruparán en dos Capítulos principales dependiendo si pertenece a la Subestructura o a la Superestructura:
 - Subestructura: desde la Fase 0 (Excavación Zapatas) hasta la Fase 10 (Apoyos).
 - Superestructura: desde la Fase 11 (Vigas) hasta la Fase 16 (Elementos de Seguridad).

- 3) **Reestructuración de partidas:** Se creará una partida para las vigas con un Código de Montaje asignado, que al ser prefabricadas se cuantificarán como unidades en lugar de cuantificar los materiales por separado. Dicha partida incluirá el hormigón y armadura (activa y pasiva) necesaria, así como Maquinaria y Mano de Obra. En la siguiente ilustración vemos la partida creada para las vigas de los Tableros 1 y 4, de 12 m de luz.

P.S. 4.6 AV CC-BAD ▶ SUPERESTRUCTURA ▶ FASE 11 VIGAS ▶ Vigas Pref. HP-55 h=1,10 m, L=12 m

[*]	Código	NatC	le	Resumen	CanPres Ud	Pres	ImpPres
	C02211VT1		eE	Vigas Pref. HP-55 h=1,10 m, L=12 m	8,00 ud	3.233,32	26.642,56
1	P01HC109		eE	Hormigón HP-55/B/20/1lb central	3,440 m3	102,85	353,80
2	P03AC200		eE	Acero corrugado B 500 S	577,800 kg	1,91	1.103,60
3	P03ACAR1		eE	Acero Alta Resistencia Y-1860 C	186,303 kg	8,02	1.494,15
4	M02GE010		eE	Grúa telescópica autoprop. 20 t.	2,000 h.	76,97	153,94
5	O01BG025		eE	Oficial 1ª Gruista	2,000 h.	14,43	28,86
5	M07CG01		eE	Camión góndola	1,000 h.	69,15	69,15
7	O01A010		eE	Encargado	2,000 h.	14,91	29,82

Ilustración 10.13 Partidas para las vigas prefabricadas. Fuente: El. prop.

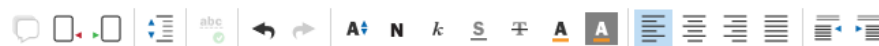
El tiempo estimado para el transporte de las vigas desde la fábrica (Sevilla) al lugar de emplazamiento (Cáceres) es aproximadamente 4 h, pero como en un mismo viaje pueden transportarse 4 vigas a la vez, para crear la partida se ha asignado un tiempo unitario de 1 h para cada una de las vigas. De este modo para transportar las 8 vigas de 12 m de luz harían falta 8 h, es decir, un viaje con dos góndolas.

Por otro lado, se ha utilizado un concepto similar para la capa de rodadura. Como del Modelo BIM 3D únicamente hemos obtenido el área (o en su defecto el volumen) de dicha capa, deberemos incluir en la partida los materiales necesarios como el riego de adherencia, el betún o el filler de aportación (no se tiene información acerca del firme adoptado para el proyecto original, pero se han seleccionado unos materiales acordes a proyectos de características similares en emplazamientos cercanos). En este caso no es necesario incluir la Maquinaria o Mano de Obra debido a que las partidas importadas de la BPC12GEX ya consideran estos costes intrínsecos.

P.S. 4.6 AUTOVÍA CC-BAD ▶ SUPERESTRUCTURA ▶ FASE 15 CAPA DE RODADURA

[*]	Código	NatC	le	Resumen	CanPres Ud	Pres	ImpPres
	C0215		eE	FASE 15 CAPA DE RODADURA	1,00	3.800,58	3.800,58
1	U04CRA060		eE	RIEGO DE ADHERENCIA ECR-1	570,40 m2	1,71	1.003,90
2	U04CM030		eE	M.B.C. TIPO AC16 surf D DESG.ÁNGELES<25	67,02 t.	17,00	1.173,52
3	U04CM110		eE	BETÚN B 60/70 EN MBC DREN.C/ELAS	3,35 t.	417,15	1.439,36
4	U04CM130		eE	FILLER CALIZO EN MBC	3,69 t.	48,36	183,80

Texto U04CM030 M.B.C. TIPO AC16 surf D DESG.ÁNGELES<25 466 bytes



Mezcla bituminosa en caliente tipo AC16 surf D en capa de rodadura, con áridos con desgaste de los Ángeles < 25, fabricada y puesta en obra, extendido y compactación, excepto filler de aportación y betún. Densidad 2,35 t/m3.

Ilustración 10.14 Partida para la Capa de Rodadura. Fuente: El. prop.

4) Introducción de nuevos Capítulos: Hay costes de un proyecto que no se pueden cuantificar con Revit®, por lo que se introducirán los siguientes Capítulos, con la correspondiente justificación:

- **C03 Seguridad y Salud:** Se ha optado por incluir una partida de 3.000,00 € destinados a la Prevención de Riesgos Laborales, aunque no se ha realizado un Estudio de Seguridad y Salud completo por los siguientes motivos:
 - El TFM no se trata de un proyecto constructivo completo, por lo que además del Estudio de SyS tampoco se incluirán Anejos tales como Clasificación del Contratista, Justificación de Precios, Declaración de Obra Completa, etc.
 - No se dan los supuestos que se especifican en el *Art.4 del R. D. 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción* para la obligatoriedad de redacción del Estudio de Seguridad

y Salud [74].

El importe se considerará destinado a un Estudio de Seguridad y Salud Básico. Dicho importe se considera suficiente para la Prevención de Riesgos Laborales en el proyecto que nos ocupa.

- **C04 Gestión de Residuos:** Tampoco se ha elaborado un estudio completo acerca de la Gestión de Residuos de las obras de construcción dada la extensión del presente TFM, pero para minimizar esta carencia se ha introducido una partida de 2.000,00 €, como forma de considerarla de algún modo.

Con estos cambios realizados, se puede considerar que el presupuesto se aproxima al concepto de presupuesto de un proyecto real. A continuación se expone un resumen del PBL elaborado, aunque para mayor información se recomienda consultar el **Anexo E Presupuesto**.

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	IMPORTE	%
C01	SUBESTRUCTURA	124.568,30	41,91
C0100	FASE 0 EXCAVACIÓN ZAPATAS	1.538,77	
C0101	FASE 1 ARMADURA ZAPATAS	25.479,24	
C0102	FASE 2 HORMIGONADO ZAPATAS	3.266,94	
C0103	FASE 3 ARMADURA FUSTES	3.955,52	
C0104	FASE 4 HORMIGONADO FUSTES	1.933,04	
C0105	FASE 5 ARMADURA CAPITEL	22.859,17	
C0106	FASE 6 HORMIGONADO CAPITEL	4.623,21	
C0107	FASE 7 TERRAPLEN	30.740,62	
C0108	FASE 8 ARMADURA ESTRIBOS	14.541,78	
C0109	FASE 9 HORMIGONADO ESTRIBOS	4.732,83	
C0110	FASE 10 APOYOS	6.897,08	
C02	SUPERESTRUCTURA	187.689,84	58,41
C0211	FASE 11 VIGAS	87.850,00	
C0212	FASE 12 PRELOSAS	1.037,54	
C0213	FASE 13 ARMADURA LOSA	47.230,91	
C0214	FASE 14 HORMIGONADO LOSA	8.697,77	
C0215	FASE 15 CAPA DE RODADURA	3.800,58	
C0216	FASE 16 ELEMENTOS DE SEGURIDAD	19.073,04	
C03	SEGURIDAD Y SALUD (BÁSICO)	3.000,00	1,01
C04	GESTIÓN DE RESIDUOS	2.000,00	0,67
		PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	297.258,14
		13,00 % Gastos generales	38.643,56
		6,00 % Beneficio industrial	17.635,49
		Suma	56.479,05
		PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA	383.737,19
		21% IVA	74.284,81
		PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	428.022,00
Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de CUATROCIENTOS VEINTIOCHO MIL VEINTIDÓS EUROS			
28 de enero 2020.			

Ilustración 10.15 Presupuesto Base de Licitación del Proyecto. Fuente: El. prop.

10.6. Vinculación con el Modelo BIM 4D

Una vez finalizado el presupuesto en Presto® exportamos el coste de las partidas a un formato compatible con el archivo de Planificación 4D. A dicho archivo se le aplicarán también las partidas relativas a la Seguridad y Salud y a la Gestión de Residuos, puesto que el Modelo BIM 4D sólo comprendía el proceso constructivo (aunque estos aspectos también deban considerarse de principio a fin de la construcción, no suponía ningún cambio significativo en lo que pretendíamos visualizar).

Nombre de tarea	Duración programada	Comienzo	Fin	Texto1	Texto2	Trimestre	1er trimestre	2º trimestre	3er trimestre	4º
P.S. 4.6 AUTOVÍA CACERES-BADAJOSZ P.K. 4+680	154.05 días	Jun 02/03/20	Jun 31/07/20		297258.14					
INICIO DE OBRAS	5 días	Jun 02/03/20	Jun 06/03/20				02/03			
EXCAVACIÓN ZAPATAS	1.84 días	Jun 06/03/20	Mar 10/03/20				06/03			
Inicio Fase 0	0 días	Jun 06/03/20	Jun 06/03/20				06/03			
Excavación	0.97 días	Jun 06/03/20	Mar 10/03/20	Construcción	863.46		06/03			
Hormigón	0.74 días	Mar 10/03/20	Mar 10/03/20	Construcción	875.31		10/03			
Fin Fase 0	0 días	Mar 10/03/20	Mar 10/03/20				10/03			
ARMADURA ZAPATAS	4.78 días	Mar 10/03/20	Mar 17/03/20				10/03			
Inicio Fase 1	0 días	Mar 10/03/20	Mar 10/03/20				10/03			
Armadura	2.88 días	Mar 10/03/20	Jun 13/03/20	Construcción	24.421.24		10/03			
Encofrados	1.89 días	Jun 13/03/20	Mar 17/03/20	Temporal	1.059.00		13/03			
Fin Fase 1	0 días	Mar 17/03/20	Mar 17/03/20				17/03			
HORMIGONADO ZAPATAS	5.17 días	Jun 12/03/20	Jun 20/03/20				12/03			
Inicio Fase 2	0 días	Jun 12/03/20	Jun 12/03/20				12/03			
Hormigón	5.17 días	Jun 12/03/20	Jun 20/03/20	Construcción	5.286.94		12/03			
Fin Fase 2	0 días	Jun 20/03/20	Jun 20/03/20				20/03			
ARMADURA FUSTES	1.3 días	Jun 20/03/20	Jun 23/03/20				20/03			
Inicio Fase 3	0 días	Jun 20/03/20	Jun 20/03/20				20/03			
Armadura	0.48 días	Jun 20/03/20	Jun 20/03/20	Construcción	4.125.02		20/03			
Encofrados	0.81 días	Jun 20/03/20	Jun 23/03/20	Temporal	1.830.58		20/03			
Fin Fase 3	0 días	Jun 23/03/20	Jun 23/03/20				23/03			
HORMIGONADO FUSTES	1.8 días	Jun 23/03/20	Mar 25/03/20				23/03			
Inicio Fase 4	0 días	Jun 23/03/20	Jun 23/03/20				23/03			
Hormigón	1.8 días	Jun 23/03/20	Mar 25/03/20	Construcción	1.933.94		23/03			

Ilustración 10.16 Introducción del coste en el archivo de Planificación previo. Fuente: El. prop.

Una vez tengamos el coste de cada fase incluido en el archivo de Planificación, realizamos la sincronización con el archivo de Navisworks que contenía el Modelo BIM 4D, añadiendo el campo *Coste de subcontratación* como *Texto 2*, para que así Navisworks® pueda interpretarlo correctamente.

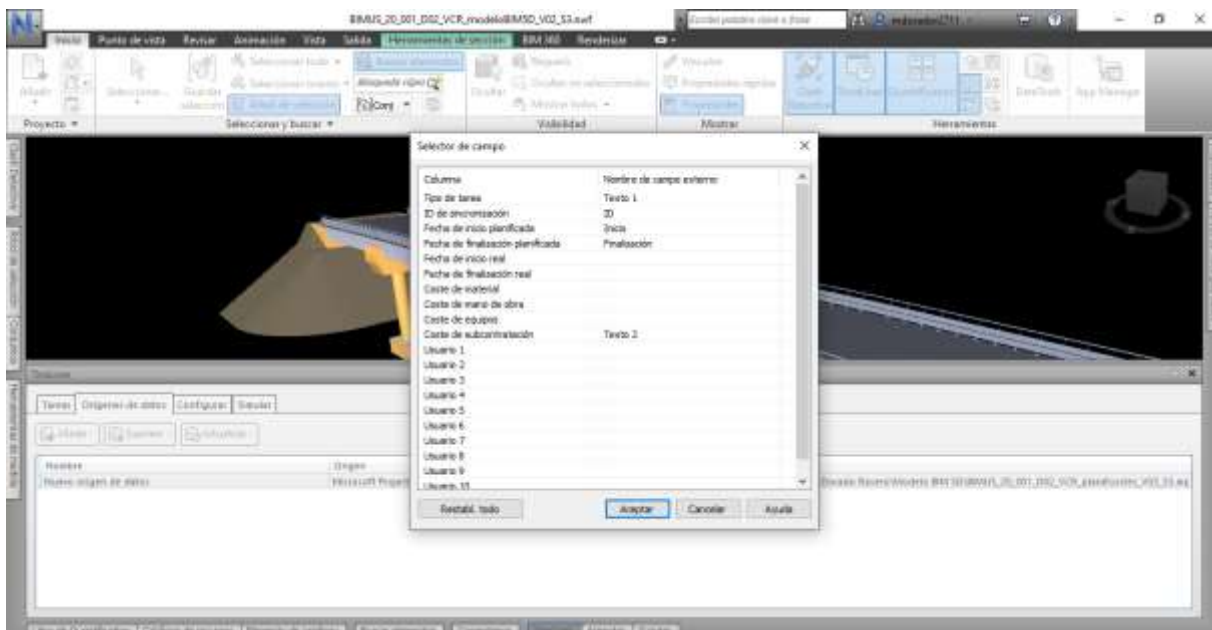


Ilustración 10.17 Introducción del coste en la herramienta Timeliner de Navisworks®. Fuente: El. prop.

En este punto no es necesario volver a enlazar cada tarea con los distintos elementos del modelo, puesto que se mantienen de la etapa anterior.

Así mismo, al sincronizar los archivos se han añadido las tareas creadas para la Seguridad y Salud y la Gestión de Residuos.

10.7. Modelo BIM 5D definitivo

Una vez realizados los ajustes de la simulación, con la selección de distintos puntos de vistas, así como con la introducción de información relevante en la pantalla (fecha, semana, coste, etc.) el Modelo BIM 5D se daría por finalizado.

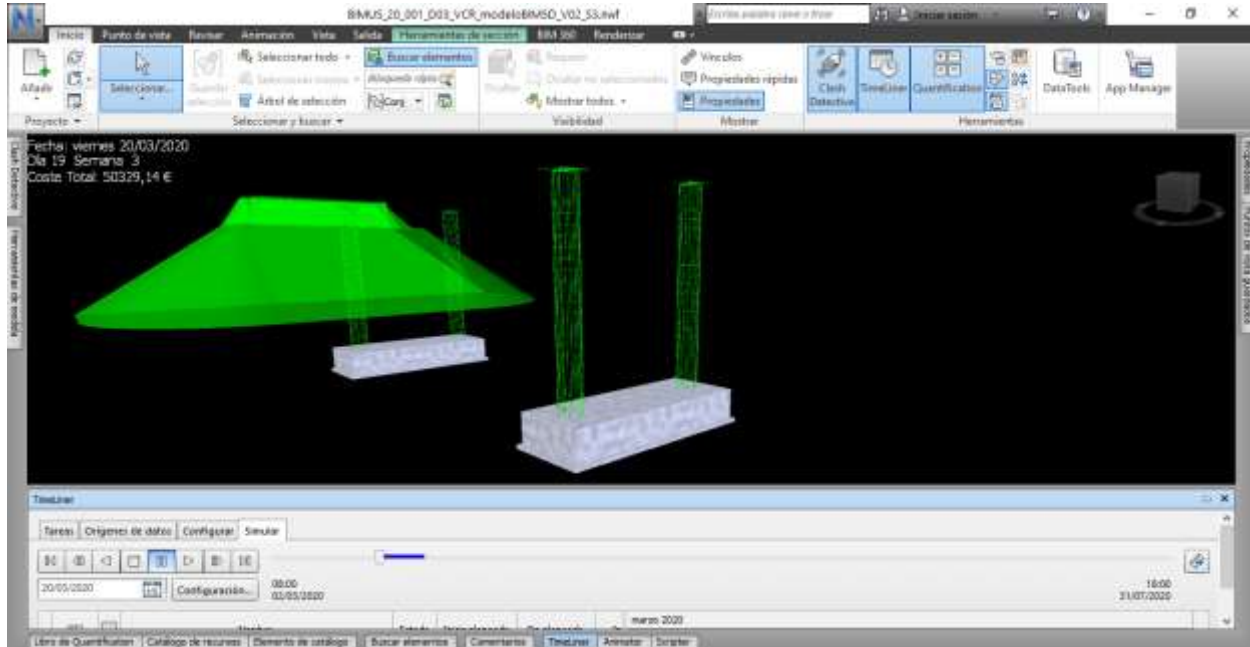


Ilustración 10.18 Simulación del Modelo BIM 5D. Fuente: El. prop

En la ilustración anterior podemos comprobar de qué manera se está ejecutando el proyecto; cada elemento se va construyendo según la planificación definida y se aprecia también el coste total acumulado desde el inicio del proyecto.

El Modelo final se obtendría al terminar el proceso de ejecución, debiendo coincidir con la fecha de planificación estimada, así como con el coste total ejecutado, correspondiente al PEM:

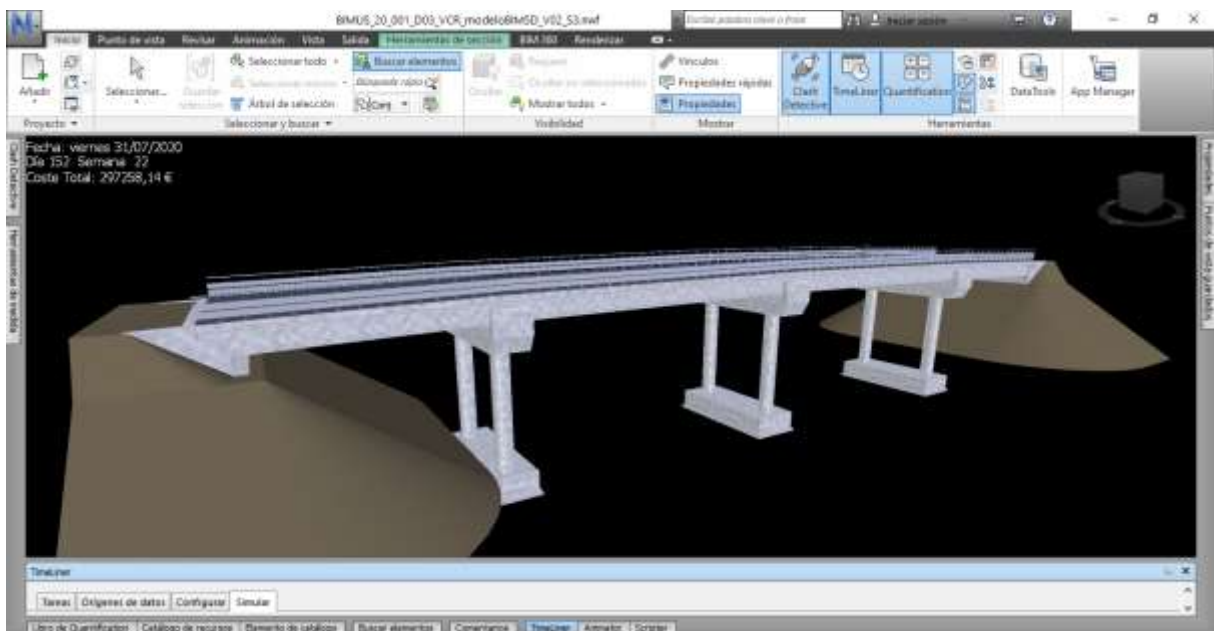


Ilustración 10.19 Modelo BIM 5D definitivo. Fuente: El. prop.

11. ARCHIVOS DEL TFM

En este punto se podría decir que se ha completado el objetivo inicial del presente TFM, que no era otro que la aplicación de la Metodología BIM a una estructura hasta la quinta dimensión de su ciclo de vida. Se procederá a continuación a presentar la relación de archivos que se adjuntarán a este documento, diferenciando cada etapa del proceso llevado a cabo, así como una breve descripción de cada uno para una mejor interpretación de la codificación adoptada.

Decir, que según lo especificado en el **Apartado 5.3**, la mayoría de archivos se encuentran en estado *Compartido para aprobación*, que en este caso es una tarea que le corresponde el supuesto Cliente. Se comprende por tanto que el *BIM Manager* del proyecto, que en este caso es el mismo que el tutor del presente TFM, es decir, Antonio Martínez de la Concha ha dado su aprobación para que este documento sea entregado.

En el supuesto ECD se establecería un entorno de trabajo colaborativo entre los distintos equipos con los archivos principales que contienen toda la información necesaria del proyecto, por lo tanto, se podría omitir la inclusión de archivos repetidos en fases posteriores, pero en este caso, se ha creído oportuno entregar todos los archivos necesarios para la ejecución de cada una de las etapas del proyecto individualmente.

Aun así, vamos a seguir en la línea de aplicación de la Metodología BIM a través de un entorno de trabajo colaborativo, exponiendo a continuación los archivos principales y secundarios de cada etapa, siendo estos últimos archivos procedentes de los principales.

11.1. Modelo BIM 3D

- **BIMUS_20_001_D01_MDR_estructura_V04_S3.pvh:** Archivo que contiene la geometría de la estructura. Al ejecutarse se obtienen los resultados del cálculo estructural. Se podría separar del resto de archivos al ser más bien parte de un Modelo BIM 2D, pero finalmente se ha introducido en esta carpeta en relación al orden seguido en el TFM.
- **BIMUS_20_001_D01_CRB_capitel_V01_S3.rfa:** Archivo de tipo familia de Revit®. Contiene la geometría del capitel que ha sido expresamente creado para este proyecto en particular, y por tanto no se encontraba disponible en las librerías propias del software.
- **BIMUS_20_001_D01_CRB_precon_V01_S3.rfa:** Archivo de tipo familia de Revit®. Contiene la geometría de las vigas empleadas en este proyecto. No se trata solo de un elemento individual, al estar parametrizado permite la importación de todas las vigas de la Serie A del fabricante.
- **BIMUS_20_001_D01_CRB_vigas_V01_S3.rvt:** Archivo de Revit®. Contiene la geometría de dos vigas prefabricadas de 12 y 19 m de longitud respectivamente junto con la armadura activa y pasiva de las mismas.
- **BIMUS_20_001_D01_CRB_modeloBIM3D_V05_S3.rvt:** Archivo de Revit® que contiene toda la información necesaria del Modelo BIM 3D. Es el archivo base del proyecto, sobre el cual dependen el resto de etapas.
- **BIMUS_20_001_D01_CRB_modeloBIM3D_V01_S3.ifc:** Archivo en formato *IFC* del Modelo BIM 3D. Permite ser intercambiado y compartido con otros agentes intervinientes para que pueda consultarse sin la necesidad de tener instalado Revit®. Cualquier software que admita este tipo de formato podrá importarlo.

11.2. Modelo BIM 4D

- **BIMUS_20_001_D01_CRB_modeloBIM3D_V05_S3.rvt:** Archivo de Revit® que contiene toda la información necesaria del Modelo BIM 3D. Es idéntico al de la etapa anterior.
- **BIMUS_20_001_D02_VCR_modeloBIM3D_V01_S3.nwc:** Archivo de caché de Navisworks® del Modelo BIM 3D de Revit®. Permitirá la interoperabilidad entre ambos softwares para realizar la planificación 4D.
- **BIMUS_20_001_D02_VCR_planificacion_V03_S3.mpp:** Archivo de Microsoft® Project que contiene la planificación de las obras mediante un Diagrama de Gantt. Contiene además el calendario laboral de 2020 así como los periodos donde se aplica una u otra jornada de trabajo.
- **BIMUS_20_001_D02_VCR_modeloBIM4D_V02_S3.nwf:** Archivo de Navisworks® que relaciona los dos archivos anteriores, dándole así sentido a la Planificación BIM 4D. Incluye una simulación del proceso constructivo a través de la herramienta *Timeliner*.
- **BIMUS_20_001_D02_VCR_mediciones_V02_S3.xlsx:** Archivo de Microsoft® Excel que contiene las mediciones del proyecto exportadas desde Revit®. Contiene además el cálculo de la duración de actividades, según como se ha descrito a lo largo del presente TFM.
- **BIMUS_20_001_D02_VCR_búsquedas_V01_S1:** Carpeta que contiene los archivos en formato *.xml* para enlazar los elementos del Modelo BIM 3D con su tarea correspondiente según la planificación definida.
- **BIMUS_20_001_D02_VCR_ptosvista_V01_S1.xml:** Archivo que guarda la información de varios puntos de vista de la estructura guardados y poder realizar una simulación en la que se observe dicha estructura desde distintos ángulos.

11.3. Modelo BIM 5D

- **BIMUS_20_001_D01_CRB_modeloBIM3D_V04_S3:** Archivo de Revit® que contiene el modelo BIM 3D modificado de la etapa anterior. Se ha añadido el Código de Montaje y el Costo de cada Elemento.
- **BIMUS_20_001_D02_VCR_modeloBIM3D_V01_S3.nwc:** Archivo de caché de Navisworks® del Modelo BIM 3D de Revit®. Permitirá la interoperabilidad entre ambos softwares para realizar la planificación 5D.
- **BIMUS_20_001_D03_VCR_presupuesto_V03_S3.Presto:** Archivo de Presto® que contiene el presupuesto del proyecto.
- **BIMUS_20_001_D03_VCR_planifcostes_V02_S3.mpp:** Archivo de Microsoft® Project modificado de la etapa anterior. Contiene el coste de cada fase para que posteriormente se pueda sincronizar con el archivo de Navisworks® de Planificación 5D.
- **BIMUS_20_001_D03_VCR_modeloBIM5D_V02_S3.nwf:** Archivo de Navisworks® modificado de la etapa anterior. Contiene el mismo archivo de caché del Modelo BIM 3D que el archivo anterior, sincronizado esta vez con el archivo de Microsoft® Project que incluye los costes de cada fase, dándole así sentido a la Planificación BIM 5D. Incluye una simulación del proceso constructivo a través de la herramienta *Timeliner*.

-
- **BIMUS_20_001_D02_VCR_mediciones_V02_S3:** Archivo de Microsoft® Excel modificado de la etapa anterior. Se ha añadido el Código de Montaje y el Costo de cada Elemento para posteriormente incorporar el coste parcial al archivo de planificación.
 - **BIMUS_20_001_D02_VCR_búsquedas_V01_S1:** Carpeta que contiene los archivos en formato *.xml* para enlazar los elementos del Modelo BIM 3D con su tarea correspondiente según la planificación definida. Los archivos contenidos en la carpeta son idénticos a los de la etapa anterior.
 - **BIMUS_20_001_D02_VCR_ptovista_V01_S1.xml:** Archivo que guarda la información de varios puntos de vista de la estructura guardados y poder realizar una simulación en la que se observe dicha estructura desde distintos ángulos. Archivo idéntico al de la etapa anterior.

12. CONCLUSIONES

Legados a este punto conviene hacer una valoración subjetiva de lo que ha supuesto elaborar este TFM, qué problemas he encontrado en todo el proceso, qué adversidades he ido superando y también lo más importante: qué ventajas he conseguido apreciar respecto a la metodología tradicional.

12.1. Accesibilidad a la Metodología BIM

En primer lugar, antes de comenzar la parte práctica del TFM realicé una profunda investigación acerca de la Metodología BIM, investigación que se pudo plasmar en los Capítulos iniciales. En ellos expuse la gran dependencia que existe de las herramientas informáticas y el elevado coste que tienen sus licencias. Mi primera intención fue comprobar qué posibilidades podría tener cualquier profesional que se dedique a la construcción y quiera implantar la Metodología BIM, eso sí, utilizando las versiones de prueba.

Tras todo el proceso de adquisición e instalación de programas con versiones de prueba, es decir, sin coste alguno, aprecié la poca utilidad que tienen, ya que resultaban incompletas para lo que se pretendía realizar. No significa esto una reclamación que para las versiones “premium” de cada software sean gratuitas, porque también debemos situarnos en el lugar de las empresas que comercializan estas herramientas, que evidentemente su objetivo no es otro que obtener un beneficio de un servicio que prestan.

Simplemente mi intención es exponer que los gastos de las licencias son difícilmente asumibles para PYME’s hoy en día, por lo que no todos los profesionales del sector se pueden adaptar a la demanda del mercado actual. Por poner un ejemplo, se detallan a continuación el coste anual que tendría la adquisición de las principales herramientas utilizadas en el TFM, extraídos de las fuentes oficiales de cada compañía:

Tabla 12.1. Precios de la licencia premium de los softwares utilizados.

SOFTWARE	COMPANÍA	COSTE DE LICENCIA
CivilEstudio® v.34.2	CivilCAD Consultores S.L.	2.950 €/año, I.V.A. incluido
Revit® v.2020	Autodesk, Inc.	3.044 €/año, I.V.A. incluido
Navisworks® Manage v.2020	Autodesk, Inc.	2.868 €/año, I.V.A. incluido
Presto® v.2020	RIB Spain S.A.	510 €/año, I.V.A. incluido
BIM 360® Design ¹⁵	Autodesk, Inc.	810 €/año, I.V.A. incluido
TOTAL:		10.182 €/año, I.V.A. incluido

Lo que supone un coste bastante elevado para esas PYME’s, sin contar otros programas o costes adicionales relacionados con BIM como puede ser la formación de los trabajadores en esta metodología. Obviamente con la versión de prueba para estudiantes se pueden utilizar sin restricciones estos programas informáticos, pero desde el punto de vista profesional, ético y moral, no es la opción más acertada para personas que no sean estudiantes, porque si no provocaremos que esas licencias queden restringidas, restando recursos a las Universidades para realizar labores de investigación y desarrollo, tanto en la Metodología BIM como en otras disciplinas.

¹⁵ Si además queremos utilizar un ECD BIM

12.2. Nivel de madurez de la Metodología BIM

Otro de los hechos que he podido corroborar a lo largo de la elaboración del presente TFM es que, también como se expuso en los Capítulos iniciales, la Metodología BIM en España y sobre todo en el campo de las Infraestructuras Civiles aún se encuentra en la fase inicial de su implantación.

Existen todavía una multitud de imprecisiones a la hora de trazar una hoja de ruta concreta para su implantación, en la que el grado de desconocimiento es a día de hoy bastante elevado. Lo he podido comprobar por ejemplo en el Capítulo dedicado al Plan de Ejecución BIM (PEB). Intenté resumir los aspectos más importantes de este documento, pero no fue posible llevarlo a la práctica en este proyecto, en parte por desconocimiento propio y en parte por no existir una clara documentación y referencias disponibles al respecto con las que poder investigar.

El PEB debe ser un documento esencial en cualquier proyecto en el que se aplique la Metodología BIM, ya que se asimila por así decirlo a los actuales PPTP. Por eso, en primer lugar, desde las propias administraciones se debe hacer un gran esfuerzo para adaptar esta metodología, y una vez se tenga pleno conocimiento de todo el proceso a seguir, indicar las directrices necesarias al resto de agentes implicados.

Otra cosa que me ha llamado la atención, a través de las distintas referencias consultadas, es que existe confusión en algunos términos como *Nivel de Detalle* y *Nivel de Desarrollo*, y en muchas traducciones de términos procedentes del inglés. Sin ir más lejos, el propio concepto de *BIM (Building Information Modeling)* a mucha gente la palabra *modelado* todavía le sugiere realizar un modelo tridimensional de un proyecto, concepto que según todo lo que se ha expuesto en el presente TFM, se ha comprobado que es mucho más que una mejor representación visual.

También he apreciado mediante el uso de las herramientas informáticas, la orientación que tiene la Metodología BIM hacia el sector de la Edificación más que hacia el de las Infraestructuras Civiles. La mayor parte del tiempo dedicado a la parte práctica del TFM ha sido realizando el Modelo BIM 3D en Revit®, con el cual no estaba familiarizado ni tenía experiencia previa en su manejo, lo que quiere decir, que el Modelo BIM 3D se ha realizado de forma completamente autodidacta a través de búsquedas de internet, vídeos tutoriales y manuales de referencia. En todo el tiempo que me ha llevado realizar el Modelo BIM 3D, he podido ver que la mayoría de ejemplos y casos prácticos consultados se correspondían con edificaciones, que en este caso he tenido que adaptar para el diseño de una infraestructura civil como es un Paso Superior de Autovía. También desde el propio programa he notado la ausencia de muchos componentes y materiales habituales en obra civil, teniendo que crear elementos que forman parte de una librería propia o modelando partes del proyecto con elementos que su terminología está lejos de la empleada en el campo de la Ingeniería Civil.

12.3. Intercambio de Archivos

Uno de los requisitos que se le exige a la Metodología BIM es el intercambio de información entre los distintos agentes intervinientes en un proyecto. Al ser una metodología orientada al formato digital, se exige además que la información intercambiada tenga un formato estándar, independientemente del software empleado. En los archivos BIM ese formato es el *IFC*, que como ya se ha explicado en varias ocasiones es un formato común en que se pierde gran cantidad de información entre softwares incompatibles entre ellos.

Yo personalmente no he encontrado una gran utilidad en este tipo de archivos. Como comenté en el Capítulo dedicado al diseño y cálculo de la estructura, la idea inicial era exportar la geometría final desde el software de cálculo (CivilEstudio®) al software de modelado (Revit®) a través de un archivo con formato *IFC*, pero al importarlo desde Revit® comprobé que únicamente se mantenía la geometría, sin además tener la posibilidad de añadir la información necesaria. Por lo tanto, se descartó esa opción al no estar aplicándose la Metodología BIM.

Uno de los aspectos a mejorar en un futuro es el intercambio de toda la información a través de los archivos *IFC*. Si fuera posible, supondría un gran avance así como un gran ahorro de tiempo. Por poner un ejemplo, una estructura como la del presente TFM, que recordemos que no es de gran envergadura, puede tardarse en modelar

según mis estimaciones en torno a 2 ó 3 semanas de trabajo si el modelador BIM tiene un nivel medio/alto, sobre todo por la gran cantidad de armadura que incluye. En proyectos más complejos normalmente no suele haber un único modelador sino un equipo, pero aun así el tiempo necesario para realizar el modelo completo suele ser de uno a varios meses de trabajo. Si fuera posible exportar el modelo al completo desde los softwares de cálculo a los programas de modelado, el ahorro de tiempo sería bastante significativo.

Así mismo destaco también la importancia que tiene el ECD en el intercambio de la información, ya que puede ser compartida con todos los agentes intervinientes en tiempo real, consiguiendo una mayor agilidad en el proyecto, así como una mayor transparencia.

12.4. Impulso recibido

Si bien es cierto que todavía queda un largo camino para implantar la Metodología en nuestro país, cabe señalar que al menos existe una iniciativa por parte de las administraciones y por la mayoría de empresas y profesionales del sector de la construcción para adaptarnos a los nuevos cambios.

Muchas de las administraciones del Estado ya exigen BIM en sus licitaciones, por lo que es una manera de condicionar a las empresas a modificar sus métodos de trabajo si quieren seguir teniendo la opción de adjudicarse contratos.

Internamente en las administraciones también se trabaja por aplicar unos estándares y un protocolo específico a seguir en los proyectos. El más claro ejemplo lo podemos comprobar en la Comisión *es.BIM* creada en el año 2015 para tal fin, la adaptación de normativa internacional y la elaboración de guías BIM.

Las administraciones y sus entidades dependientes como las Universidades también impulsan la aplicación de la Metodología BIM a través de una mayor difusión, una mayor oferta de másteres, cursos, convenciones, etc., así como la colaboración con empresas privadas especializadas en BIM para ofrecer una formación a profesionales y estudiantes.

Las empresas privadas del sector de la construcción por su parte también demandan cada vez más puestos de trabajos relacionados con la Metodología BIM, bien sea por destacar dentro del mercado actual o por adaptarse a la competencia existente. Apoyan la creación de puestos de trabajos destinados a personas sin experiencia en BIM o a recién graduados, ofreciendo una formación adaptada a la propia empresa, con el objetivo de obtener a medio o largo plazo auténticos profesionales que les puedan prestar sus servicios.

12.5. Principales ventajas de BIM

Después realizar trabajos y proyectos con la metodología tradicional tanto en mi etapa como estudiante como ejerciendo la profesión por así decirlo, he conseguido apreciar las enormes ventajas que presenta la Metodología BIM, aunque haciendo hincapié que tras realizar el TFM no he adquirido la experiencia que tendría un profesional experto, pero sí una buena aproximación de lo que consiste el BIM en sí.

En primer lugar, he comprobado la utilidad de tener toda la información integrada en el mismo modelo, ya sea de la disciplina de modelado 3D, la planificación de la obra o la relativa a costes. Anteriormente, cada una de estas etapas implicaba llevar a cabo procesos de forma independiente, con el consiguiente desorden del proyecto, la más que posible aparición de errores y el tiempo que era necesario invertir en modificar todas las partes del proyecto ante cualquier cambio. Con la aplicación de la Metodología BIM hemos comprobado que esos cambios que se producen en el proyecto se actualizan de forma instantánea, por lo que se minimiza el riesgo de cometer errores durante el proceso de diseño y se consigue una diferencia abismal en el tiempo invertido.

Otra gran ventaja de BIM está en poder relacionar una geometría a una planificación temporal y económica de la obra. En cualquier proyecto tradicional se puede estimar como sería la construcción de la obra y el coste de la misma, pero de una forma completamente teórica. BIM es lo más próximo a la realidad, porque se puede comprobar como avanza la obra conforme se va ejecutando antes de ser ejecutada propiamente dicho, pudiendo

introducir variaciones en la planificación que afecten de forma directa al proyecto. Es evidente por tanto que una de las grandes ventajas que presenta BIM es que el proyecto permanezca “activo” desde que se diseña hasta que se construye.

Por último, mi idea al comienzo del TFM, desconociendo aún la Metodología BIM, era conseguir realizar un Modelo de un proyecto y mostrar que es posible llevarlo a cabo sin la necesidad de elaborar los tradicionales planos. He intentado explicar de la mejor manera posible cómo se puede hacer, y en ese sentido creo que el objetivo se ha cumplido de manera satisfactoria, dejando constancia de ello a lo largo de todo el presente documento.

12.6. Futuras líneas de Trabajo

Cabe mencionar que el presente TFM está sujeto a ampliaciones a realizar en un futuro. Se entiende que por la extensión y finalidad del mismo no es posible abarcar todas las tareas de un entorno BIM real. En líneas generales, se proponen a continuación una serie de futuras líneas de trabajo a llevar a cabo:

- Integración de la estructura de este TFM al proyecto BIM real y completo de autovía.
- Programación utilizando el plug-in *Dynamo* de Revit® para realizar el Modelo BIM de la estructura de forma automática.
- Elaboración de un PEB completo que se aplique al proyecto.
- Detección de conflictos entre el Modelo de la estructura y el de la autovía.
- Elaboración de un Modelo BIM 4D con la planificación temporal de las obras en la realidad, comprobando la variación producida respecto a la estimada. Planificación de distintas alternativas, seleccionando el proceso de ejecución óptimo.
- Simulación del proceso de construcción del proyecto completo con la maquinaria y medios auxiliares necesarios. Visualización de interferencias a efectos de prevenir posibles riesgos y accidentes.
- Elaboración de un Modelo BIM 5D con el presupuesto adjudicado de la obra, emitiendo certificaciones y controlando el coste real de cada fase de construcción.
- Elaboración de modelos de realidad virtual, llevando el Modelo del proyecto constructivo a un Modelo digital del emplazamiento, para comprobar de qué manera interfiere la obra con su entorno, así como el impacto visual y medioambiental producido.

12.7. Opinión personal

Desde el principio he intentado plasmar de la forma más objetiva posible todo el proceso de elaboración del TFM, pero en lo que respecta a mi opinión personal, es que ha sido una experiencia completamente satisfactoria para mí.

Atraído por la curiosidad de saber en qué consistía exactamente la Metodología BIM, mis ganas por querer adquirir nuevos conocimientos, y también sabiendo que tarde o temprano debería adaptarme a esta nueva forma de enfocar la profesión, me llevó a proponerle a mi tutor la temática del TFM, al cual le pareció una buena idea.

Mis dos objetivos principales eran, por un lado, profundizar sobre el cálculo y diseño de puentes, y por otro, llevar el diseño de un proyecto a la Metodología BIM. Desde mi humilde punto de vista creo que ambos objetivos se han cumplido, eso sí, dedicándole una gran cantidad de horas en total.

He conseguido aprender, gracias a Antonio, como se calcula un puente correctamente, en este caso de vigas prefabricadas, obteniendo conocimientos que normalmente en las distintas asignaturas, tanto del Grado como del Máster, no da tiempo a ver por restricciones del calendario académico. Creo que ese primer objetivo se ha conseguido con creces.

Respecto a la Metodología BIM, ha sido el centro sobre el cual ha girado la temática del TFM, y tras finalizarlo, me encuentro satisfecho por todo lo que he podido poner en práctica y toda la formación adquirida.

Como conclusión final, decir que ha sido una tarea larga pero que sin lugar a dudas ha merecido la pena, y además, creo que será de gran utilidad de aquí en adelante en mi carrera profesional.

Referencias

- [1] “Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States™ | National BIM Standard - United States.” <https://www.nationalbimstandard.org/faqs>.
- [2] K. L. Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, “Eastman, Chuck, Teicholz, Paul, and Sacks, Rafael. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (2nd Edition). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011. ProQuest ebrary. Web. 6 April 2,” in *BIM Handbook Chapter 1*, no. April, 2011.
- [3] “Ventajas y desventajas de trabajar con BIM.” <https://esdima.com/ventajas-y-desventajas-de-trabajar-con-bim/>.
- [4] “BIM ThinkSpace.” <https://www.bimthinkspace.com/2015/02/index.html>.
- [5] “Madurez en entorno BIM: Level 0/1/2/3 | Espacio BIM.” <https://www.espaciobim.com/madurez-bim-level-0-1-2-3/>.
- [6] “De 0 a 3 ¿Qué son los niveles de madurez BIM? - BibLus.” <http://biblus.accasoftware.com/es/de-0-a-3-que-son-los-niveles-de-madurez-bim/>.
- [7] “BLANCA-BIM Y LAS 7 DIMENSIONES | Espacio BIM.” <https://www.espaciobim.com/bim-3d-4d-5d-6d-7d/>.
- [8] “Las 7 dimensiones del BIM y las razones para su dominio.” <https://blog.structuralia.com/las-7-dimensiones-del-bim-y-las-razones-para-su-dominio>.
- [9] “Dimensiones BIM, el alcance del programa. | Editeca.” <https://editeca.com/dimensiones-bim-alcance-del-programa/>.
- [10] “BIM Dimensions - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=aDrHKnywG1A>.
- [11] “LOD ¿Nivel de desarrollo o nivel de detalle? | Espacio BIM.” <https://www.espaciobim.com/que-es-el-lod-nivel-de-detalle/>.
- [12] “Nivel de detalle de un Proyecto BIM | Espacio BIM.” <https://www.espaciobim.com/nivel-detalle-proyecto-bim/>.
- [13] “LOD. Level of Development: Nivel de desarrollo - EADIC - Cursos y Master para Ingenieros y Arquitectos.” <https://www.eadic.com/lod-level-development-nivel-de-desarrollo/>.
- [14] Grupo, “Niveles de Detalle.”
- [15] “Part I For Building Information Models Level of Development Specification,” 2019.
- [16] “Funciones en procesos BIM | Espacio BIM.” <https://www.espaciobim.com/funciones-procesos-bim/>.
- [17] “Definición de Funciones en procesos BIM.”
- [18] “Qué es el BIM y cuál es su historia - Infografía | Seys.” <https://seystic.com/bim-la-historia-del-building-information-modelling/>.
- [19] “Historia del BIM - YouTube.” https://www.youtube.com/watch?v=Ki4JCyl_nXc.
- [20] “Nacimiento del BIM y el modelo virtual según Eastman - BibLus.” <http://biblus.accasoftware.com/es/nacimiento-del-bim-eastman/>.
- [21] “TECNOLOGIA BIM: Origen del BIM.”: <http://tecnobimudc.blogspot.com/2016/11/origen-del-bim.html>.
- [22] J. Universitat Politècnica de València. Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes - Departament d'Enginyeria i Infraestructura dels Transports *et al.*, “BIM para infraestructuras de carreteras: Verificación de la normativa de diseño geométrico,” *Spanish J. Build. Inf. Model. ISSN-e 2386-5784, N.º. 15, 1, 2015, págs. 40-56*, no. 15, pp. 40–56, 2017.
- [23] “Integrated Project Delivery - BuildingSMART Spanish Chapter.” <https://www.buildingsmart.es/2019/03/04/integrated-project-delivery/>.

- [24] “BIM en el mundo: Estados Unidos los inventores del BIM se han quedado atrás - BibLus.” <http://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-el-mundo-estados-unidos-los-inventores-del-bim-se-han-quedaado-atras/>.
- [25] “¿El BIM llega a Brasil! Aquí están los 9 puntos más importantes para su difusión - BibLus.” <http://biblus.accasoftware.com/es/el-bim-llega-a-brasil-aqui-estan-los-9-puntos-mas-importantes/>.
- [26] “Singapore BIM Guide Version 2.0.” <https://www.corenet.gov.sg/general/bim-guides/singapore-bim-guide-version-20.aspx>.
- [27] “BIM en el mundo, en los países escandinavos es una práctica consolidada el uso del BIM en la construcción - BibLus.” <http://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-el-mundo-en-los-paises-escandinavos-es-una-practica-consolidada-el-uso-del-bim-en-la-construccion/>.
- [28] “BIM en Europa: la política pública en Alemania y proyectos piloto de autopistas y ferrocarriles -.” <http://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-europa-politica-publica-en-alemania-proyectos-piloto-autopistas-ferrocarriles/>.
- [29] “BIM en Europa: Francia anuncia para el 2022 difusión completa gracias al KROQUI.” <http://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-europa-francia-anuncia-para-el-2022-difusion-completa-gracias-a-la-plataforma-kroqui/>.
- [30] “Future use of Building Information Modelling (BIM) in Australia - Morrissey Law + Advisory.” <https://morrisseylaw.com.au/future-of-bim-in-australia/>.
- [31] “Legislación Europea sobre BIM y su obligatoriedad.” <https://esdima.com/legislacion-europea-sobre-bim-y-su-obligatoriedad/>.
- [32] “Artículo Revista Obras Urbanas nº 74 | BIM en España.” <https://www.obrasurbanas.es/bim-en-espana/>.
- [33] “El BIM será obligatorio en España para licitaciones públicas de edificación.” <https://www.e-zigurat.com/blog/es/bim-obligatorio-espana-licitaciones-publicas-edificacion/>.
- [34] “Implantación y Obligación aplicar BIM en España: quién y cuándo.” <https://www.bimnd.es/quien-cuando-obligatorio-bim/>.
- [35] M. DE La Presidencia and R. E. Con Las Cortes Igualdad, “I. DISPOSICIONES GENERALES MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, RELACIONES CON LAS CORTES E IGUALDAD,” 2019.
- [36] “Misión | esBIM.” <https://www.esbim.es/es-bim/mision/>.
- [37] “Observatorio de Licitaciones.”
- [38] “El 85% de las empresas constructoras no ha desplegado aún en obra la metodología BIM - Ibermatica.” <https://ibermatica.com/85-las-empresas-constructoras-no-ha-desplegado-aun-obra-la-metodologia-bim/>.
- [39] “Situación del empleo BIM en la empresa española en 2018 | Editeca.” <https://editeca.com/empleo-bim-empresa-espanola-2018/>.
- [40] “Casos de éxito | esBIM.” <https://www.esbim.es/casos-de-exito/>.
- [41] “BIM en el mundo: 3 proyectos realizados con el BIM en China - BibLus.” <http://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-el-mundo-3-proyectos-realizados-con-el-bim-en-china/>.
- [42] “3 proyectos en España en los que se aplicó la metodología BIM.” <https://blog.structuralia.com/3-proyectos-en-espana-en-los-que-se-aplico-la-metodologia-bim>.
- [43] “Tres grandes casos de éxito recientes con BIM en empresas españolas | Editeca.” <https://editeca.com/casos-de-exito-con-metodologia-bim/>.
- [44] “Las obras de la Sagrera avanzan a un ritmo nunca visto.” <https://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20190731/463798296331/obras-sagrera-adif-40-ejecucion.html>.
- [45] “The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation - ScienceDirect.” <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813008308>.

- [46] L. Wang and F. Leite, "Process-Oriented Approach of Teaching Building Information Modeling in Construction Management," *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, vol. 140, no. 4, p. 04014004, Oct. 2014, doi: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000203.
- [47] T. Randall, "Construction Engineering Requirements for Integrating Laser Scanning Technology and Building Information Modeling," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 137, no. 10, pp. 797–805, Oct. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000322.
- [48] J. D. Goedert and P. Meadati, "Integrating Construction Process Documentation into Building Information Modeling," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 134, no. 7, pp. 509–516, Jul. 2008, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:7(509).
- [49] R. Sacks, C. M. Eastman, and G. Lee, "Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete," *Autom. Constr.*, vol. 13, no. 3, pp. 291–312, May 2004, doi: 10.1016/S0926-5805(03)00043-8.
- [50] A. Meskenas, V. Gelazius, G. Kaklauskas, V. Gribniak, and A. Rimkus, "A new technique for constitutive modeling of SFRC," in *Procedia Engineering*, 2013, vol. 57, pp. 762–766, doi: 10.1016/j.proeng.2013.04.096.
- [51] "BIM en Español - BuildingSMART Spanish Chapter." <https://www.buildingsmart.es/>
- [52] "esBIM | Implantación del BIM en España." <https://www.esbim.es/>
- [53] "Plan de Ejecución BIM. Guía de elaboración | Espacio BIM." <https://www.espaciobim.com/plan-ejecucion-bim/>.
- [54] "IFC ¿Qué es, a qué sirve y cuál es su relación con el BIM? - BibLus." [http://biblus.accasoftware.com/es/ifc-que-es-y-relacion-con-el-bim/..](http://biblus.accasoftware.com/es/ifc-que-es-y-relacion-con-el-bim/)
- [55] "El flujo de información en el BIM: las normas BS 1192 y Pas 1192-2 (parte 1) - BibLus." <http://biblus.accasoftware.com/es/el-flujo-de-informacion-en-el-bim-las-normas-bs-1192-y-pas-1192-2-parte-1/>.
- [56] "La autovía Cáceres-Badajoz sale del cajón tras una década - Noticias Extremadura - El Periódico Extremadura." https://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/extremadura/autovia-caceres-badajoz-sale-cajon-decada_1172692.html.
- [57] "Firmado el cambio de titularidad de la carretera EX-100, Badajoz a Cáceres a favor del Ministerio de Fomento | Ministerio de Fomento." <https://www.fomento.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/vie-14062019-1320>.
- [58] A. Peñín Llobell, "Javier Manterola," *Palimpsesto*, no. 5, pp. 2–5, 2012.
- [59] A. Matías Sánchez, *Ejercicios resueltos de geotecnia*. Bellisco, 2008.
- [60] "Ministerio de Fomento Seguridad estructural Cimientos," 2019.
- [61] "Consulta Exposición de Ambientes - Órganos colegiados - Organización institucional - Ministerio - Ministerio de Fomento." <https://apps.fomento.gob.es/cea/>.
- [62] "Comprar suscripción de Revit | Obtener Precios de Revit 2020 | Tienda en línea de Autodesk España." https://www.autodesk.es/products/revit/subscribe?mktvar002=afc_es_buyonline&AID=11043037&PID=8227014&SID=jkp_EAIaIQobChMIwNnljsH-5gIVRPIRCh3yvAKjEAAAYASAAEgKWE_D_BwE&click_id=EAIaIQobChMIwNnljsH-5gIVRPIRCh3yvAKjEAAAYASAAEgKWE_D_BwE&cjevent=c86978e4355a11ea835402530a18050e&ds_rl=1232386&gclid=EAIaIQobChMIwNnljsH-5gIVRPIRCh3yvAKjEAAAYASAAEgKWE_D_BwE&gclsrc=aw.ds&affname=8227014_11043037&plc=RVT&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1.
- [63] Juan Bautista Bermejo: Blas González González, "Aplicación De La Metodología Bim Al Proyecto De Construcción De Un Corredor De Transporte Para Un Complejo Industrial - Modelo Bim 4D Planificación," 2018.
- [64] "¿Qué es Navisworks y para qué sirve esta herramienta?" [https://esdima.com/que-es-navisworks-y-para-que-sirve-esta-herramienta/..](https://esdima.com/que-es-navisworks-y-para-que-sirve-esta-herramienta/)

- [65] “Compare Navisworks Manage Vs. Simulate | Autodesk.”
<https://www.autodesk.com/products/navisworks/compare/compare-products>.
- [66] “Suscripción a Navisworks | Comprar el software Navisworks 2020| Autodesk.”
<https://www.autodesk.es/products/navisworks/subscribe?plc=NAVMAN&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>.
- [67] “Formatos de archivo nativos | Productos Navisworks 2019 | Autodesk Knowledge Network.”
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/navisworks-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Navisworks/files/GUID-C6936A0B-1597-4880-83F9-7041894A4204-htm.html>.
- [68] “Tablas de planificación | Productos Revit 2019 | Autodesk Knowledge Network.”:
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Revit-DocumentsPresent/files/GUID-F50D6FF4-859E-43A2-A2F6-81C84A1BA0EB-htm.html>.
- [69] “Calendario laboral de 2020: festivos y puentes | Economía.”
<https://www.elmundo.es/economia/2020/01/07/5e146845fdddf31a18b461f.html>.
- [70] “Diagrama de Gantt ¿Qué es, para qué sirve, cómo elaborarlo? Ejemplos.”
[https://www.plandemejora.com/diagrama-de-gantt-que-es-para-que-sirve-como-elaborarlo/..](https://www.plandemejora.com/diagrama-de-gantt-que-es-para-que-sirve-como-elaborarlo/)
- [71] “Cost-It: BIM 5D con Presto ¿Qué hace exactamente Cost-It?”
- [72] D. Carmen, V. Galindo, and D. Blas González González, “Trabajo Fin de Máster MODELO BIM 5D COSTES.”
- [73] “INEbase / Nivel y condiciones de vida (IPC) / Índices de precios de consumo y vivienda / Índice de precios de consumo / Últimos datos.”
https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176802&menu=ultiDatos&idp=1254735976607.
- [74] L. Ley, “TEXTO CONSOLIDADO Última modificación: 23 de marzo de 2010 LEGISLACIÓN CONSOLIDADA.”