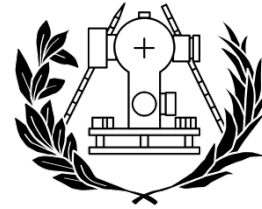




UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRÁFICA

Metodología BIM para Proyectos de Ingeniería Civil

Autor:

ALVARO MONTAGUD ANDRES

Tutor:

JESUS LORENZO OLIVARES
BELINCHON

Curso:

2017-2018

Fecha:

Julio de 2018



"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante, no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"



Resumen.

La Metodología BIM no es algo nuevo, esta lleva existiendo desde hace más de una década y ha sido utilizada por empresas constructoras, promotores y agencias gubernamentales para poder tomar ventaja de ella. Y es que La Metodología BIM es una gran ventaja a tener en cuenta, y no solo por el gran avance tecnológico que trae consigo por los nuevos softwares que está saliendo al mercado, sino porque trae consigo una mentalidad colaborativa que va a modificar a mejor la que se tiene hoy en día.

Es esto mismo lo que se quiere expresar en este Trabajo Final de Grado, la importancia de implantar de forma satisfactoria la Metodología BIM en la industria AEC y de forma más específica en la obra civil. Hasta ahora la Edificación lleva la delantera en cuando a desarrollo tecnológico ya que es la más estandarizada, pero la Ingeniería Civil está empezando a levantarse y con ella una nueva forma de trabajar. Es por eso por lo que en el siguiente texto se van a exponer las ideas claves que deben de tenerse claras para poder enfrentarse a este nuevo salto.



Abstract

BIM Methodology is nothing new, it exists since more than a decade and it's been used by the key stakeholders (constructors, Government Agencies, owners) to take advantage from it. That is because BIM Methodology is a great Benefit to have in mind and not only for the technology quantum leap that it carries with it for all the new software that is emerging, but also because of the collaborative mentality that is going to change for good the one that it's been having nowadays.

It's this idea what is intent to express on this Bachelor Final Project, the level of importance of making a satisfactory BIM implant in the AEC Industry and being more specific in the Civil Construction. Since now Edification construction takes the lead as for technology development as it is more standardize, but Civil Construction is Beginning to wake up and with this new Methodology a new way of working. It's because for all that it's been said that in the next text it's going to be exposed the key ideas that should been taken place to have a clear idea of what it is and how you can affront this new leap to the future.



Agradecimientos

Quiero agradecer la ayuda y apoyo que he recibido por parte de mi Tutor Jesús Lorenzo Olivares Belinchón, el cual me ha servido de guía durante este proyecto. Y también a la buena enseñanza que me ha dado en la asignatura de Diseño Geométrico de Obras, la cual ha despertado mi vocación por la Ingeniería Civil.

Quiero agradecer a todos los profesores por haberme brindado tan buena educación que seguro me ayudara en mi futuro profesional y que me ha ayudado también al desarrollo de este proyecto.

Ultimo, pero no menos importante, quiero agradecer a mi Novia el apoyo sentimental que me ha dado a lo largo del proyecto y la paciencia que ha tenido conmigo. Y también a mi familia, la cual también me ha apoyado en la realización de este proyecto.

Índice de contenido

Resumen.....	2
Abstract	3
Agradecimientos.....	4
Índice de contenido	5
Índice de ilustraciones.....	8
Índice de tablas.....	14
1. INTRODUCCIÓN	15
2. ¿QUÉ ES BIM?	17
2.1. Definición de BIM	17
2.2. Metodología BIM.....	20
2.2.1. <i>Nivel de Madurez.....</i>	20
2.2.1.1. Estadios de capacidades BIM.	21
2.2.1.2. Sets de Competencias BIM.....	23
2.2.1.3. Escalas de los Organismos.....	26
2.2.1.4. Nivel de Madurez BIM.....	27
2.2.1.5. Niveles de granularidad o detalle BIM.	28
2.2.1.6. Aplicación de los componentes BIM.	28
2.2.1.7. Conclusión.	29
2.2.2. <i>Proyecto BIM, que hay que tener en cuenta.</i>	30
2.2.2.1. Proceso del proyecto BIM.	30
2.2.2.2. Roles y Etapas del proyecto BIM.....	34
2.2.2.3. CDE (Common Data Environment) o Entorno de Colaboración Común.	38
2.2.3. <i>Marco Político.</i>	40
2.2.3.1. Marco Político: Legislación.....	40
2.2.3.2. Marco Político: Normativa	43
2.3. Elementos y características de la Metodología BIM	48
2.3.1. <i>Dimensiones del BIM</i>	48
2.3.1.1. Dimensión BIM 3D.....	48
2.3.1.2. Dimensión BIM 4D.....	49
2.3.1.3. Dimensión BIM 5D.....	50
2.3.2. <i>Nivel de detalle de los objetos BIM</i>	51

3. HERRAMIENTAS BIM	53
3.1. Infracworks: Herramienta BIM para la Ingeniería Civil	57
3.1.1. <i>Características importantes de Infracworks.</i>	58
3.1.1.1. Modelado.	58
3.1.1.2. Normativa de Diseño.....	60
3.1.1.3. Modelo de datos y estilos de visualización	60
3.1.1.4. Diseño geométrico	64
3.1.2. <i>Exportación del modelo.</i>	67
3.1.2.1. De Infracworks a AutoCAD Civil 3D.....	67
4. DESARROLLO DE ANTEPROYECTOS DE DISEÑO DE OBRAS DE CARRETERA CON INFRAWORKS	74
4.1. Primer anteproyecto: Diseño del enlace que conecte la autovía V-21 con la playa de la Patacona.	75
4.1.1. <i>Alternativa de glorieta de Distribución</i>	86
4.1.2. <i>Alternativa de giro a la Izquierda con Ramal Semidirecto</i>	88
4.1.3. <i>Solución conjunta de las dos alternativas anteriores</i>	89
4.2. Segundo anteproyecto: Diseño de un nudo en el estado de Oklahoma, Nudo de OK-36, y US-277 (Highway I-44).	90
4.2.1. <i>Estudio de tráfico del trazado original.</i>	91
4.2.1.1. Parametrización de las simulaciones.	93
4.2.1.2. Análisis de tráfico.	97
4.2.2. <i>Diseño del nudo</i>	100
4.2.3. <i>Estudio de tráfico del nuevo trazado.</i>	110
4.3. Tercer Anteproyecto: Diseño de un puente en la ciudad de Nueva York que eleve la Calle Este 48 (East 48th Street) para salvar la intersección con la primera avenida (1th Avenue).	113
5. PRESUPUESTO	124
5.1. Presupuesto por contrata.	124
5.1.1. <i>Valor añadido BIM (VAB).</i>	126
6. CONCLUSIONES	128



7. BIBLIOGRAFÍA	130
Que es BIM.....	130
Definición de BIM.....	130
Metodología de BIM.....	130
Elementos y características principales de la Metodología BIM.....	132
Herramientas BIM.....	133
Infraworks: Herramienta BIM para la Ingeniería Civil.....	134
Presupuesto.....	134

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Niveles de madurez. Fuente: (BIM Maturity Level by Bew-Richards @ 2008/2016, 2016)	21
Ilustración 2. Pre-BIM, representa la información bidimensional con la que se está tratando. Fuente: (Succar, 2008)	22
Ilustración 3. Estadio 1, se ve representado el objeto 3D, pero sin ninguna relación entre las distintas disciplinas. Fuente: (Succar, 2008)	22
Ilustración 4. Se sigue trabajando bajo objeto y empieza a haber coordinación entre diversas disciplinas. La disciplina A colabora con la disciplina B compartiendo modelos. Fuente: (Succar, 2008)	22
Ilustración 5. Estadio3, en este estadio se trabaja con el modelo compartido a través de una red. Todas las disciplinas participan. Fuente: (Succar, 2008)	23
Ilustración 6. Imagen que muestra como los Sets de Competencias ayudan a pasar de un Estadio al siguiente. Fuente: (Succar, 2010).	23
Ilustración 7. Campos del BIM representados por esferas. Cada esfera está compuesta por los jugadores, los entregables y los requerimientos de cada uno de los campos. Se puede ver que existe un solapamiento entre los tres campos. Fuente: (Succar, 2012)	24
Ilustración 8. Competencias BIM y sus sets a nivel de granularidad o de detalle 2. Fuente: (Succar, 2010).....	26
Ilustración 9. Niveles de Madurez BIM propuestos por Bilal Succar. Para poder alcanzar cierto nivel de madurez es necesario evaluar los sets de competencias. Fuente: (Succar, 2010).....	27
Ilustración 10. En esta Imagen se muestra el flujo de análisis de madurez propuesto por Succar (2010) para obtener la madurez BIM. Fuente: (Succar, 2010).....	29
Ilustración 11. Imagen extraída del documento ligero sobre Guía del BEP de esBIM. Se puede observar que en los entregables no solo aparece el modelo BIM, sino también una serie de documentos adicionales como son el PEB (en esta fase el definitivo porque se corresponde al emitido tras finalizar las obras) además de también la posible documentación gráfica o escrita convencional (informes, memoria, anejos, etc.) en un proyecto dentro del marco Español. Fuente: (Instituto Eduardo Torroja, 2017)	31
Ilustración 12. Esquema explicativo sobre el EIR en el ámbito español. Fuente: (Instituto Eduardo Torroja. 2017).	32
Ilustración 13. Esquema en el que se muestra la información que se pide a través de los requisitos BIM. En este texto se van a tratar el PEB, el CDE, los roles, los formatos de intercambio de información y los niveles de información. Fuente: (Guía para apoyo a la licitación., 2017).	33
Ilustración 14. El PEB se entregará en la oferta, dando respuesta a los requerimientos del cliente/promotor. AL ser un documento vivo que puede cambiar a lo largo del curso del Proyecto se entregara el PEB definitivo, es decir, el que al final ha descrito como se ha llevado a cabo el proyecto BIM. Fuente: (Instituto Eduardo Torroja, 2017).....	34
Ilustración 15. Imagen que muestra la relación que existe entre las Etapas del proyecto BIM y las fases del ciclo de vida del proyecto BIM. Fuente (Choclán Gamez, 2017).	35
Ilustración 16. Imagen que indica la jerarquía de los grupos de trabajo propuestos, así como los roles. Los roles descritos pertenecen a los más importantes dentro de la estructura. Fuente: (Choclán Gámez, Barco Moreno, 2017).	37
Ilustración 17. Work in progress del CDE Fuente: (BSI, 2013).	38
Ilustración 18. Zona de compartido de CDE. Fuente: (BSI, 2013).	39
Ilustración 19. Documentacion publicada en el CDE. Fuente: (BSI, 2013).....	39

Ilustración 20. Work in progress de CDE (para los fabricantes) en el CDE. Fuente: (BSI, 2013).	39
Ilustración 21. Esquema final de CDE aunando todos los pasos descritos anteriormente. Fuente: (BSI, 2013).	40
Ilustración 22. Estructura jerárquica de la Comisión BIM, el Comité Técnico y los Grupos de trabajo de esBIM. Fuente: ().	42
Ilustración 23. Hoja de ruta de esBIM para implantación BIM en España en licitaciones para edificación e infraestructuras. Fuente: (Comisión BIM. Intro, 2015).	43
Ilustración 24. Relación entre IFC, IDM y IFD. Fuente: (buildingSmart, n.d.).	44
Ilustración 25. Esquema de la clase IfcAlignment. Fuente: (buildingSmart, 2015).	45
Ilustración 26. Esquema de IfcLocalPlacement con sus clases hijas. Fuente: (buildingSmart, 2015).	46
Ilustración 27. Esquema de los sistemas de representación para las alineaciones: Axis 3D y FootPrint 2D. Fuente: (buildingSmart, 2015).	46
Ilustración 28. Imagen del posible esquema que tendrá IfcRoad y sus distintas clases. Fuente: (Chica Ramos et al., 2017).	47
Ilustración 29. Imagen de "A1 Major Corridor" entre North East England y Yorkshir. Fuente: (Carillion, Morgan Sindall, AECOM and Grontmij, 2015).	49
Ilustración 30. Ejemplo de un modelo 4D BIM. Fuente: (NIBT, n.d.)	49
Ilustración 31. Fuente: (RIB U.S.COST, 2013).	50
Ilustración 32. Ejemplo de Niveles de detalle desde el nivel 200 hasta el 400 para una estructura de hormigón prefabricada en forma de T invertida. Fuente: (LEVEL OF DEVELOPMENT SPECIFICATION PART I, 2017).	52
Ilustración 33. En esta imagen se muestran las herramientas más utilizadas según el objetivo que se tenga en el proyecto (Diseño, producción, coordinación, análisis, fabricación, colaboración). Fuente: (Gonzalez, 2016).	53
Ilustración 34. Imagen de una obra lineal en Clip. Fuente: (CooperativaCamino, n.d.)	54
Ilustración 35. Imagen que muestra la modelización de un puente utilizando la herramienta Revit. Fuente: (BIM42, 2015).	55
Ilustración 36. Imagen del análisis de la carga de un puente debido al tráfico. Fuente: (Bentley, 2017).	55
Ilustración 37. Ejemplo del diseño de una estructura teniendo en cuenta el análisis hidráulico del entorno mediante GeoHECRAS. Fuente: (CivilGeo, n.d.)	56
Ilustración 38. Imagen que muestra el entorno de usuario para crear un nuevo modelo. a) Como se puede observar, se puede seleccionar una área en concreto. b) Cuando lo creas en Model Builder debes guardar el proyecto en la nube de forma obligatoria. Fuente: (Infraworks, 2018).	58
Ilustración 39. Imagen extraída de un Modelo ejemplo donde se puede ver que la compleción en cuanto a datos cartográficos del dataset de edificaciones no es muy buena. Fuente: (Infraworks, 2018).	59
Ilustración 40. Imagen extraída del mismo Modelo ejemplo, donde se observa la generalidad del Modelo de elevaciones. Se nota que a la hora de obtener el MDE se ha tomado todo en su conjunto (Terreno y Superficie), dejándolo poco viable para zonas Urbanizadas o de cambios grandes de altitud, ya que la resolución suaviza dichos cambios. Fuente: (Infraworks, 2018).	59
Ilustración 41. Imagen ejemplo de los sistemas de coordenadas y de referencia que soporta el programa Infraworks. Fuente: (Infraworks, 2018).	60

Ilustración 42. Imagen sobre el menudo de selección de normas de diseño de carreteras a utilizar en el modelo. Además, se puede seleccionar el lado de dirección de conducción. Fuente: (Infraworks, 2018).....	60
Ilustración 43. Imagen con las categorías o Clases que existen por defecto en el modelo de datos de un modelo en Infraworks. A partir de ellas se pueden generar nuevas clases con nuevos atributos. Fuente: (Infraworks, 2018).....	61
Ilustración 44. Código empleado para el ejemplo. Fuente (Propia)	61
Ilustración 45. Imagen que ilustra el resultado del ejemplo. La clase Carreteras creada tiene los atributos nuevos Pavimentos y Pintura. Fuente: (Infraworks, 2018).	62
Ilustración 46. Imagen que ilustra la asignación de estilos a los elementos vectoriales. En este caso a este camino se le ha asignado de forma automática un estilo de carretera con acera y carril bici además de postes de hormigón para la seguridad de los peatones. Fuente: (Infraworks, 2018).	62
Ilustración 47. Imagen ejemplo de la paleta de estilos para carreteras con un ejemplo de carretera. La definición es bastante detallada de los elementos que tendrá dicha carretera. Fuente: (Infraworks, 2018).....	63
Ilustración 48. Imagen ejemplo de un elemento de carretera en u nivel boceto. Aparte de los atributos descritos también se pueden especificar otros atributos referentes a su geometría. Fuente: (Infraworks, 2018).....	64
Ilustración 49. Imagen ejemplo para visualizar las propiedades geométricas de alineamiento vertical y horizontal de un trazado de carretera. En la parte central se ve el modelo con el tramo y sus puntos de trazado. A mano derecha se ven las características geométricas de la curva horizontal. En la parte inferior se encuentra el perfil longitudinal del trazado junto con las características geométricas del acuerdo vertical en el lado izquierdo. Fuente: (Infraworks, 2018).	65
Ilustración 50. Ejemplo de un componente de carretera. El carril derecho esta seleccionado y pueden modificarse tanto el material del que está hecho, su anchura, su profundidad y la pendiente. Fuente: (Infraworks, 2018).	66
Ilustración 51. Imagen ejemplo de los peraltes aplicados a un trazado compuesto y vista de la sección transversal en la curva de transición. Fuente: (Infraworks, 2018).....	66
Ilustración 52. Exportación a formato de archivo IMX desde Infraworks. Fuente: (Infraworks, 2018).	67
Ilustración 53. Comunicación entre Infraworks y AutoCAD Civil 3D. Cambio de tipo de objetos entre los dos Softwares. Fuente: (Help.autodesk.com, 2018).....	68
Ilustración 54. Apertura del archivo IMX generado por Infraworks desde la página inloop.github.io/sqlite-viewer/. Fuente: (Novák, 2018)	69
Ilustración 55. Modelo de Infraworks exportado a AutoCAD Civil 3D. Fuente: (AutoCAD Civil 3D, 2018).	70
Ilustración 56. Se puede configurar que objetos de Infraworks se quieren exportar a AutoCAD Civil 3D. Esta configuración se guarda en archivos de datos XML para guardar la estructura de los datos y sus atributos. Fuente: (AutoCAD Civil 3D).	71
Ilustración 57. Importación de archivo DWG de AutoCAD Civil 3D a Infraworks. Fuente: (Infraworks, 2018).....	72
Ilustración 58. Objetos que pueden exportarse con el formato de archivo LandXML. Fuente: (AutoCAD Civil 3D, 2018).....	73
Ilustración 59. Menú de exportación de formato IFC en versión 2x3. No tiene en su esquema la definición de la clase IFCAlignments. Fuente: (AutoCAD Civil 3D, 2018).....	73

Ilustración 60. Imagen que muestra las calles y nombres dichos en las rutas anteriores. Fuente: (Google Maps, 2018).....	75
Ilustración 61. Imagen del menú de configuración de los raster. Se ve el valor introducido para el factor de brillo en la imagen (Gamma). Fuente: (Infraworks, 2018).....	77
Ilustración 62. Imagen de la zona de actuación para la creación del nuevo nudo para llegar a La Patacoca. Fuente: (Infraworks, 2018).	78
Ilustración 63. Imagen de la zona donde se van a estudiar las alternativas del nudo en la V-21. Fuente: (Infraworks, 2018).....	79
Ilustración 64. Imagen que muestra las calles y avenidas que están junto a la autovía V-21. Fuente: (Google Maps, 2018).....	79
Ilustración 65. Imagen de los diseños de las carreteras. De izquierda a derecha: V-21, Av. MareNostrum y C. Camí a la Mar. A la derecha se puede ver la configuración para la V-21 como ejemplo (freeway, 100km/h, AASHTO). Fuente: (Infraworks, 2018).	81
Ilustración 66. Solucionado el problema con el elemento de ferrocarril y el nuevo elemento de carretera para la V-21. Fuente: (Infraworks, 2018).	82
Ilustración 67. Imagen de la aplicación de peraltes sobre la V-21 generada con ejemplo de seccion transversal en el pk 0+387,270. Fuente: (Infraworks, 2018).	83
Ilustración 68. Imagen de las curvas de transición aplicadas por el programa, las cuales no son las adecuadas. Fuente: (Infraworks, 2018).	83
Ilustración 69. Gráfico de las longitudes de Clotoide a elegir en función de la Velocidad de proyecto. Fuente: (Ministerio de Fomento, 2016).	84
Ilustración 70. Solución al problema de la curva de transición en el tramo de la C. Camí a la Mar. Se han aplicado la longitud aproximada extraída. Fuente: (Infraworks, 2018).	85
Ilustración 71. Resultado de la restitución de la Av. Mare Nostrum. Fuente: (Infraworks, 2018).	86
Ilustración 72. Perfil longitudinal de la rampa con las pendientes en cada tramo del trazado. La pendiente máxima en valor absoluto es de 2,33, menor al 3%. Fuente: (Infraworks, 2018).....	86
Ilustración 73. Imagen de cómo quedaría el carril de deceleración una vez aplicados los cambios de longitud en cuña y carril. Fuente: (Infraworks, 2018).....	87
Ilustración 74. Localización de la glorieta para la conexión de la Patacoca con la V-21. En la imagen se ven los parámetros hablados anteriormente. Fuente: (Infraworks, 2018).	88
Ilustración 75. Obra de paso ya creada para el ramal semidirecto entre la v-21 y la Calle del Ingeneiro Fausto Elío. Fuente: (Infraworks, 2018).....	88
Ilustración 76. Resultado final de la combinación de ambas alternativas en una misma. Fuente: (Infraworks, 2018).....	89
Ilustración 77. Imagen del nudo. La carretera que comienza en la esquina inferior Izquierda se trata de la I-44, la que pasa por encima es la OK-36. Fuente: (Google Maps, 2018).....	91
Ilustración 78. Panel de control de las simulaciones. Es necesario estar conectado a Autodesk 360 ya que esta operación se hace online. Fuente: (Infraworks, 2018).	92
Ilustración 79. Imagen ejemplo de la zona de estudio y el menú de selección del Panel de Análisis de Trafico. Fuente: (Infraworks, 2018).	93
Ilustración 80. Creación de las dos simulaciones. Fuente: (Infraworks, 2018).....	94
Ilustración 81. Características añadidas a la colección "Parámetros". Fuente: (Infraworks, 2018).	95
Ilustración 82. Ejemplo de las intersecciones y sus señales. Por ejemplo, el giro W12>Carretera 10 no necesita de ninguna regularización porque es solo una salida. Fuente: (Infraworks, 2018).	96

<i>Ilustración 83. Imagen de cómo queda la matriz de tránsito de vehículos desde cada una de las zonas. Las filas y las columnas representan las zonas de entrada/salida. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	96
<i>Ilustración 84. A mano derecha se ven los componentes seleccionado para la Simulación Extrema. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	97
<i>Ilustración 85. Imagen de la simulación normal del nudo original. Se pueden ver las barras rojas que representan una espera mayor a 55 segundos (umbral de demora) representada también por su altura y un largo de barra que indica visualmente la cola. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	99
<i>Ilustración 86. Imagen de la simulación extrema del nudo original. Como se puede observar, aumentar el flujo de coches es dañino para los niveles de servicio del trazado. Las colas para poder pasar la intersección llegan casi a ser kilométricas. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	100
<i>Ilustración 87. Imagen que muestra el modelo creado por Infraworks mediante Model Builder. La cantidad de atributos que se han pasado desde la cartografía a los elementos es bastante pobre. Además, la I-44 la ha representado como dos carreteras separadas. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	101
<i>Ilustración 88. Imagen del Geoportal de Oklahoma GIC. Se ha cargado la capa ODOT_Highway con servicio WFS y se pueden visualizar los atributos para los tramos. Fuente: (okmaps, n.d.).</i>	102
<i>Ilustración 89. Imagen de las carreteras confeccionadas. De izquierda a derecha, la I-44, la OK-36 y la CO RD E2000. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	103
<i>Ilustración 90. Imagen del problema que tiene Infraworks cuando se ponen dos rampas a la misma altura. Al detectar que hay 2 ejes conectándose en zonas cercanas del eje de la carretera principal genera de forma automática una intersección. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	104
<i>Ilustración 91. Imagen del resultado final tras modificar las distancias de transición de velocidades, además de adelantar un poco más la rampa para el giro a derechas de la CO RD E2000. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	105
<i>Ilustración 92. Imagen del resultado tras unificar los ramales para el giro a derechas y a izquierdas de la I-44 sentido Suroeste. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	105
<i>Ilustración 93. Imagen del resultado del giro directo de la I-44 sentido Noreste. Se hace pasar por debajo del giro semidirecto entre la I-44 sentido Suroeste y la CO RD E2000 sentido Este. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	106
<i>Ilustración 94. Imagen de cómo quedan los giros a izquierda y derecha del trazado de la carretera OK-36 sentido Este con la carretera I-44. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	107
<i>Ilustración 95. Imagen de los puentes colocados en los ramales indirectos. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	108
<i>Ilustración 96. Imagen que muestra el último ramal para poder tener las 3 vías intercomunicadas. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	108
<i>Ilustración 97. Imagen resultado de la propuesta uno comparada con la situación inicial. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	109
<i>Ilustración 98. Imagen de la simulación normal en el nudo nuevo. SE puede observar que ningún ramal tiene grandes afecciones, como mucho tiempos de espera de menos de 1 minuto en los ramales de entrada y salida de la I-44. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	111
<i>Ilustración 99. Imagen de la simulación extrema sobre el nudo nuevo. Es idéntica en barras de coste de tiempo y longitud a la de la simulación normal hecha anteriormente. Fuente: (Infraworks, 2018).</i>	112

Ilustración 100. Imagen donde se aprecian las imperfecciones de las intersecciones. Fuente: (Infraworks, 2018).	113
Ilustración 101. Imagen de los edificios mal geolocalizados, seguramente por la zona de corte de extracción de la cartografía. Fuente: (Infraworks, 2018).	114
Ilustración 102. Calle Este 48 ya convertida a carretera de diseño y sobre elevada. Fuente: (Infraworks, 2018).	115
Ilustración 103. Puente utilizado para salvar la Primera avenida. A mano derecha se pueden ver todos los parámetros que pueden ser modificados para el puente. Fuente: (Infraworks, 2018).	116
Ilustración 104. Componentes de un puente en Infraworks. Fuente: (Infraworks, 2018).	116
Ilustración 105. Apoyos de las jácenas en las pilas. Fuente: (Infraworks, 2018).	117
Ilustración 106. Ejemplo de modificación de apoyos. Se les ha aumentado la profundidad a los neoprenos y los cementos autonivelantes. Fuente: (Infraworks, 2018).	117
Ilustración 107. Como quedan las vigas posicionadas sobre los apoyos. Fuente: (Infraworks, 2018).	118
Ilustración 108. Resultado final del dintel + fuste del puente. Fuente: (Infraworks, 2018).	119
Ilustración 109. Aspecto final de la cimentación del puente. Fuente: (Infraworks, 2018).	120
Ilustración 110. Resultado del estribo abierto con aletas a 10º y cimentación de zapata y pilotes. Fuente: (Infraworks, 2018).	121
Ilustración 111. Resultado del tablero para le puente de la Calle Este 48. Fuente: (Infraworks, 2018).	122
Ilustración 112. Imagen de alta definición con el puente modelado sobre la primera avenida de Nueva York entre sus edificios. Fuente: (Infraworks, 2018).	122
Ilustración 113. Puente generado entre las ciudades de Nueva York y Long Island. De fondo se ven los edificios generados a partir de la información de OpenStreetMaps de la Ciudad de Nueva York. Fuente: (Infraworks, 2018).	123

Índice de tablas

Tabla 1. Segunda columna descripción de granularidad, tercera columna organismo al que aplicar y cuarta quien podría asesorar, junto con el nombre del reporte y la guía a seguir. Fuente: (Succar, 2010)	28
Tabla 2. Datos acerca de los requerimientos BIM del Cliente y el resumen del PEB que se debería redactar para presentar en la licitación y al finalizar el proyecto. Fuente: (Propia).	74
Tabla 3. Tabla de características geométricas de las carreteras V-41, C. Camí a la Mar y Av. Mare Nostrum. Fuente: (Centro de descargas del CNIG, 2018).	80
Tabla 4. Tabla con los anchos de los carriles y arcenes, así como pendientes peraltes máximos y radio mínimo, de las carreteras V-21,C. Camí a la Mar y Av. Mare Nostrum. Fuente: (Ministerio de Fomento, 2016).	80
Tabla 5. Tabla con los tramos conflictivos del nudo Original con simulación normal. Fuente: (Infraworks, 2018).	98
Tabla 6. Tabla con los tiempos medios de trayecto y unidades de CO2 y NOx del nudo original con simulación normal. Fuente: (Infraworks, 2018).	98
Tabla 7. Tabla con los tramos conflictivos del nudo Original con simulación extrema. Fuente: (Infraworks, 2018).	99
Tabla 8. Tabla con el tiempo medio de los trayectos y las unidades de CO2 y NOx del nudo original con simulación extrema. Fuente: (Infraworks, 2018).	100
Tabla 9. Tabla de las características de las carreteras a utilizar en este proyecto. Fuente: (AASHTO, 2001; okmaps, nd).	103
Tabla 10. Tabla con los tramos conflictivos del nudo nuevo con simulación normal. Fuente: (Infraworks, 2018).	110
Tabla 11. Tabla con el tiempo medio de los trayectos y las unidades de CO2 y NOx del nudo nuevo con simulación normal. Fuente: (Infraworks, 2018).	110
Tabla 12. Tabla con los tramos conflictivos del nudo nuevo con simulación extrema. Fuente: (Infraworks, 2018).	111
Tabla 13. Tabla con el tiempo medio de los trayectos y las unidades de CO2 y NOx del nudo nuevo con simulación extrema. Fuente: (Infraworks, 2018).	112
Tabla 14. Sueldo bruto de un año de trabajo. Fuente: (Blanch Puertes and Olivares Belinchon, 2017).	125
Tabla 15. Tabla con el total del coste directo del presupuesto. Fuente: (Propia).	125
Tabla 16. Tabla con el total del presupuesto general por contrata de los tres Anteproyectos teniendo en cuenta el IVA en el total. Fuente: (Propia).	125
Tabla 17. Tabla del coste de los Usos BIM para el primer anteproyecto. Fuente: (Propia).	126
Tabla 18. Tabla del coste de los Usos BIM para el segundo anteproyecto. Fuente: (Propia). ..	126
Tabla 19. Tabla del coste de los Usos BIM para el tercer anteproyecto. Fuente: (Propia).	126
Tabla 20. Tabla con la valoración económica de los ítems de Nivel de conocimiento, Inversión de implantación y LOD BIM. Fuente: (Propia).	126
Tabla 21. Tabla de los precios totales de los Anteproyectos con el Valor BIM añadido. Fuente: (Propia).	127

1. Introducción

El presente Trabajo final de grado pretende dar a conocer la nueva metodología de trabajo en el mundo de la construcción: BIM (Building Information Modeling). Dentro de la construcción se pueden diferenciar entre la obra de edificación y la de infraestructuras. Este Trabajo final de grado se va a centrar en la Metodología BIM dentro de la infraestructura.

Si bien es correcta realizar esta diferenciación por los procesos que se realizan en cada uno, el núcleo de ambas es el mismo. Y eso mismo he tratado de plasmarlo en este trabajo: Puede que los equipos de trabajo cambien dependiendo de si estamos en una obra de edificación o en una obra de infraestructuras, pero la forma de trabajar y de compartir estos datos será la misma para los dos mundos. Sí que es verdad que ahora mismo la Metodología BIM está más evolucionada en el mundo de la edificación que en el de Infraestructuras. Por ejemplo, los formatos de intercambio y modelo de datos para los objetos y modelos BIM están mucho más avanzados en la edificación que en las infraestructuras, aunque esto está cambiando en los últimos años.

Es importante destacar que para no hacer muy extenso este trabajo tan solo se han mostrado las características que el autor ha considerado relevantes tener en cuenta a la hora de comprender la metodología BIM y cómo puede cambiar el sector de la industria AECO. El mundo BIM es muy amplio y es imposible abarcarlo todo en un solo documento.

El siguiente documento está estructurado en tres partes bien definidas:

- Una primera parte donde se aborda todo lo relacionado con la Metodología BIM de forma teórica centrándose más en las obras de infraestructuras.
- Una segunda parte donde se expone los beneficios que aporta esta nueva metodología apoyándose en el software Infracore, desarrollado por Autodesk.
- Desarrollos de Anteproyectos mediante el Software Infracore.

En esta primera parte, primero se tratará de definir qué significan las palabras Building Information Modelling (BIM), introduciendo así al lector una primera idea de lo que se espera de esta nueva metodología.

En capítulos siguientes dentro de esta primera parte se definirá la Metodología BIM sustentándose en tres pilares importantes: La implantación de esta metodología, los nuevos procesos que esta metodología conlleva y como el marco político aporta al crecimiento y definición de esta metodología. Se deja un último apartado donde se hablan de ciertos aspectos relevantes dentro de esta metodología, los cuales son relacionados con los temas tratados anteriormente.

En la segunda parte, primero se hará un estudio de las herramientas tecnológicas de las que se disponen actualmente para la metodología BIM dentro de la Ingeniería Civil, seleccionando Infracore como herramienta final para demostrar las ventajas que aporta este software BIM en el estudio de diseño de una obra civil.

Una vez se hayan introducido las principales herramientas entonces se estudiará Infracore y sus alcances, es decir, hasta donde se puede llegar con él. Esto se hará comentando las principales características de este software y que lo hacen distinguible del resto. Luego, este estudio continuara con la confección de propuestas de infraestructuras viales, tratando en



todo momento de utilizar las herramientas que pone el software Infracore al alcance del usuario. De esta manera el lector podrá hacerse una idea del potencial de esta herramienta BIM.

Como apartado final y finalización de este trabajo, se redactarán unas conclusiones que permitan tener en mente las ideas principales a extraer de este estudio y también hagan llegar al lector la importancia y la relevancia que tiene esta metodología en la construcción, así como su gran potencial. Así mismo también se realizará un presupuesto que haga ver el beneficio económico que se puede extraer utilizando herramientas BIM para el diseño de una obra civil.

2. ¿Qué es BIM?

2.1. Definición de BIM

BIM está adentrándose cada vez más en la Industria del AEC (Architecture, Engineering and Construction) para facilitar el diseño de las estructuras. Su definición es compleja, ya que hay muchos agentes de distintos ámbitos que con sus definiciones no logran describir del todo la palabra BIM, pero entre todos se puede hacer una muy buena definición.

Si por ejemplo se toma la definición de BIM que da Autodesk por parte de Bond, PR Manager para AEC e infraestructuras en Autodesk, dice:

“BIM es un proceso inteligente basado en el modelado 3D que ayuda a hacer más precisa, accesible y fácil la información del diseño, ingeniería y proyecto para la infraestructura”.

Esta definición ya da a entender que el modelado 3D de la infraestructura que se va a construir. Pero no solo el modelo es importante, además indica la importancia de la información dentro de la metodología BIM. La información ayuda a que todos los que participan en el proyecto estén informados y ayuda a que todo el proceso de diseño, construcción y mantenimiento sea más eficiente.

Pero no es la única definición que hay sobre BIM. Mary Moscarello, relación social en Graphisoft, define BIM como:

“BIM es el uso de modelos virtuales 3D de las infraestructuras, así como de los procesos de recolectar y tratar los datos de esa infraestructura. Cuando se trata de BIM, todo debe comenzar con un modelo 3D digital de la infraestructura”.

Se puede ver que tanto en una definición tanto como en otra se aprecian similitudes: los datos y el modelo 3D de la infraestructura. Pero con la salvedad de que en este se da más importancia al modelo 3D, el cual es la parte fundamental de la Metodología BIM, ya que es la base donde se alza todo el proyecto.

Por parte de Bentley Systems, a partir de Harry Vitelli define el BIM como:

“Usar la metodología BIM mejora la colaboración y asegura un nuevo nivel de control sobre los proyectos de todos los tamaños. Mejores productos se consiguen a través del intercambio de información entre las aplicaciones y entre los diferentes equipos del proyecto para una mejor precisión a lo largo de toda la cadena de trabajo”.

En esta definición ya da una importante característica que hace destacar a la metodología BIM sobre una metodología más tradicional dentro de la Industria del AEC, y es la colaboración. Como se comunican los diferentes agentes de un proyecto BIM es crucial para poder llevar a cabo este tipo de proyectos, y con BIM es posible llegar a ese entorno colaborativo a un nivel muy superior del que se tiene ahora.

Estados Unidos tiene un comité sobre BIM llamado "US National BIM Model Standard Project", el cual también define que es la palabra BIM:

"BIM es la representación digital de las características físicas y funcionales de una construcción. BIM es un sabio y compartido recurso de información sobre la construcción que forma una base para la toma de decisiones durante su ciclo de vida; definido como la duración desde el primer concepto hasta su demolición".

Es una definición algo distinta a lo que se ha visto, ya que destaca la importancia del BIM para el desarrollo de un proyecto de construcción a lo largo de su ciclo de vida y no solo para el modelado de la estructura. BIM está pensado como una nueva forma de trabajo que engloba a todas las partes de una construcción.

Esta forma de pensar también se asemeja a la que transmite esBIM y la página buildingSmart Spain con sus definiciones. El primero define BIM de la siguiente manera:

"BIM es una metodología de trabajo colaborativa que documenta todo el ciclo de vida de la edificación y las infraestructuras, haciendo uso de herramientas informáticas con el fin de generar un repositorio único con toda la información útil para todos los agentes que participan en él y durante todo su ciclo de vida".

Y el segundo define el BIM de la siguiente forma:

"BIM es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. El objetivo de BIM es centralizar toda la información del proyecto en un solo modelo de información digital creado por todos sus agentes".

Si tenemos en cuenta todas las definiciones que se han dicho hasta ahora, se podría decir que todas son válidas, ya que todas van a parar a lo mismo. BIM se usa para poder modelar en 3D la infraestructura, el cual contiene toda la información de ésta de forma organizada, la cual se comparte y se moldea dentro de un entorno colaborativo y permite a través de estos tres agentes poder hacer un seguimiento de este durante todo el ciclo de su vida.

Es importante destacar que, desde el inicio del texto, hasta en el título de este trabajo se habla todo el rato de metodología, y es así porque BIM no se trata solo de software nuevo, sino de una nueva forma de trabajar con el acompañamiento de la tecnología, la cual ayudara a entrar dentro de un entorno más colaborativo. En la industria de la construcción, la metodología tradicional utilizaba la tecnología en aislamiento, pero el proceso de BIM usa la tecnología en colaboración. Todos los agentes trabajan en un solo modelo 3D creado a partir de metodología BIM, permitiendo que todos puedan acceder a los datos actualizados y no a través de miles de planos asociados a la forma tradicional.

Se ha estado hablando de BIM todo el rato, pero sin llegar a decir que significan estas siglas. BIM se puede descomponer en Building Information Modeling. Y se ha dicho puede porque también puede ser Building Information Model, que es distinto ya que el primero hace referencia a Little BIM (Solo el modelado sin tener en cuenta el ciclo de vida) y el segundo hace referencia a BIG BIM (Se tiene en cuenta todo, el modelado, el ciclo de vida, información de todo tipo referente al proyecto y su contexto, etc...).

La palabra BIM entonces se puede desmembrar en las palabras Building Information Modeling. ¿Y qué significado tienen esas palabras? Pues bien, conforme se iban dando definiciones de BIM esas palabras ya se estaban definiendo, se ha dicho a que hace referencia Building, que se entiende por Information y que es Modeling para este nuevo paradigma de trabajo.

B es por Building como ya se ha dicho antes, que traducido literalmente al castellano sería Edificio. Pero esta traducción y forma de verlo sería incorrecta. Building hace más referencia a “to Built”, es decir construir, que acompaña a la idea vista anteriormente de construir algo juntos. Además, en las definiciones anteriores no se habla en ningún momento de edificio o edificación, sino de infraestructura y construcción, que son términos algo más generales y que acompañan más a esta idea de “to built”. Por lo tanto, se elimina la idea de que BIM sirva solo para el mundo de edificación ya que es una metodología de cómo construir.

I es por Information, o en castellano información. Respecto a la información ya se ha hablado antes, y lo que nos da son datos que son necesarios para describir en su totalidad al proyecto, es decir, desde que precisión y definición de producto hasta los tiempos de construcción, seguridad y calidad en cada fase del proyecto. Es lo que hace un proyecto BIM tan inteligente y permite tener ya una precisión de cómo va a ser el proyecto durante todo su ciclo de vida antes de ser construido.

Esta información puede estar en forma de metadatos o enlaces a documentos externos (links, documentos en la nube, etc.). Esta información puede cubrir diferentes aspectos, desde la geometría del objeto hasta sus datos físicos, características de ecoeficiencia, geotecnia, coste, tiempo de ejecución, entre otros.

La información está asociada a objetos, los cuales componen el modelo (en forma de símil como ladrillos para un muro). A estos objetos se les dota de valor añadiéndoles la información antes dicha. Es importante entonces también que esta información este almacenada de forma que todos puedan entenderla (cuando digo todos me refiero a los softwares utilizados para BIM). Es por eso que estará estructurada siguiendo estándares nacionales y/o internacionales, los cuales garanticen la universalidad de intercambio de información del conjunto y las partes del modelo.

M es por Modeling o Model, que en castellano se traduciría a Modelado o Modelo. En este caso la traducción se adecua más a lo que realmente significa el modelado o modelo en la metodología BIM. En párrafos anteriores ya se ha explicado la diferencia entre el modelado (Little BIM) y el modelo (BIG BIM). Si nos centramos más en la primera, modelado, este hace referencia al modelado tridimensional de todos los aspectos y detalles que tendrá la construcción. Es decir, desde la propia infraestructura hasta su entorno. De esta manera se sabe siempre el escenario en el que se sitúa y como se va a construir.

A partir del Modelo se pueden obtener cualquier documentación de construcción que se desee, ya que el modelo contiene la información de forma estructurada de la infraestructura. No solo eso, también se pueden detectar colisiones y evitarlas antes de que empiece la construcción y los materiales hayan sido comprados.

2.2. Metodología BIM

En este subapartado se hablará sobre la metodología BIM. En un primer punto se hablará sobre el nivel de madurez de una empresa a la hora de realizar un trabajo BIM, aspecto fundamental ya que sin él no se sabe cómo de implantado está BIM y cómo mejorar. En el segundo punto se hablará sobre el proyecto BIM, que aspectos se han de tener en cuenta para poder llevar a cabo un proyecto apoyándose en la metodología BIM. Y para finalizar, en el último punto de este subcapítulo se hará un repaso al marco legal que rodea la metodología BIM y también al Normativo.

2.2.1. Nivel de Madurez.

El nivel de madurez BIM es un apartado importante dentro de la metodología BIM ya que nos permite saber cómo de avanzado está un proyecto BIM dentro de esta metodología, como bien indicaría la palabra madurez “estado de desarrollo que ha alcanzado una cosa”.

Este nivel de madurez ayuda a determinar la capacidad de la cadena constructiva, dentro de un proyecto, para operar e intercambiar información. El camino hacia este objetivo final, que sería un flujo de trabajo 100% colaborativo, se puede encuadrar en 4 niveles que van del 0 al 3.

Nivel 0: Uso de softwares de dibujo asistido por ordenador (CAD) para crear planos y detalles constructivos en 2D. El nivel de colaboración es nulo y la información que se genera de los dibujos se distribuye en papel o documentos electrónicos.

Los siguientes niveles, del 1 al 3, definen hasta qué grado se modela, colabora y se comparte la información.

Nivel 1: El uso del 3D está pensado solo para el diseño conceptual, mientras que el 2D sigue utilizándose para generar toda la documentación del proyecto. En este nivel aún no existe trabajo colaborativo entre las disciplinas.

Nivel 2: Se pasa a un nuevo nivel de modelo 3D dentro del proyecto, donde aparecen nuevas formas de compartir dicho modelo entre las diferentes disciplinas (Modelo federado, modelo de referencia) junto a un entorno colaborativo de los datos (CDE) que permite compartir ese modelo entre todos.

El Modelo Federado es una manera de compartir archivos vinculándolos mediante un CDE: los datos de un modelo BIM de una de las disciplinas dentro del proyecto es compartido con otro modelo BIM de otras de las disciplinas. El modelo de referencia es también un modelo federado que contienen enlaces a repositorios de datos externos; de esta manera el objeto dentro del modelo tendría un enlace para ver la información no básica de dicho objeto.

Nivel 3: La información del modelo del proyecto está totalmente integrada y desarrollada en un CDE, trabajada por todos los miembros del proyecto en tiempo real. Este modelo, al contrario que el anterior, es único. Su metodología de compartición de datos es la integración de datos, en la cual se tiene la información de cada una de las disciplinas que intervienen en la construcción para que cada disciplina pueda actuar sobre las otras y todo dentro de un mismo marco computacional.

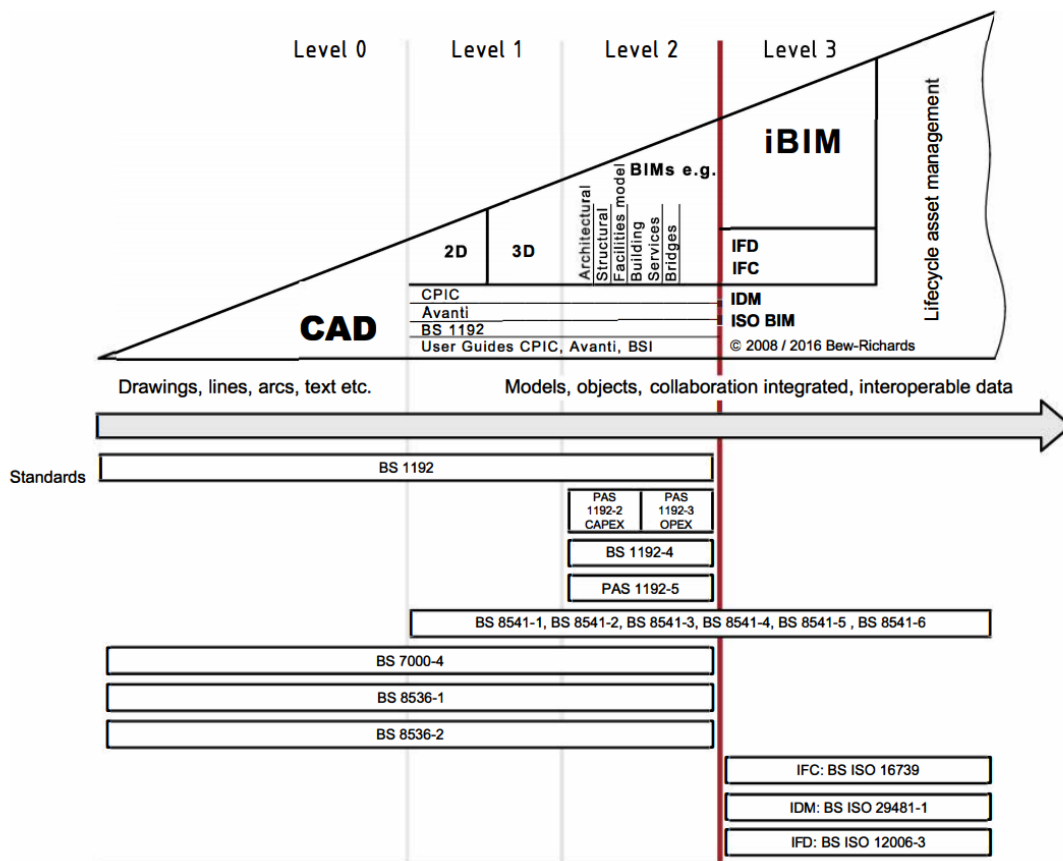


Ilustración 1 Niveles de madurez. Fuente: (BIM Maturity Level by Bew-Richards @ 2008/2016, 2016)

Este nivel aún está muy lejos de lo que realmente se está hoy en día dentro del mercado del AEC (poner referencia a B1M), es por eso por lo que ahora mismo se están centrando más es abarcar más campo y profundizar más en el nivel 2.

Como se ha podido observar, los niveles de madurez dependen directamente de como de implantada este la metodología BIM dentro de una empresa. Por lo tanto, para hablar de madurez BIM, también se debe hablar de esos otros componentes que permiten saber en qué nivel de madurez BIM te encuentras. Estos cinco componentes sirven para identificar el grado de desarrollo BIM, y son los siguientes: Estadios de capacidades BIM, Niveles de Madurez BIM, Competencias BIM, Escalas de organizaciones y niveles de Granularidad.

2.2.1.1. Estadios de capacidades BIM.

En este punto es necesario separar las palabras estadios y capacidades, y tratar de entender primero las dos por separado. Las capacidades BIM hace referencia a la capacidad de poder llevar a cabo una tarea o un servicio/producto BIM. Por otro lado, los estadios hacen referencia a los hitos a los que hay que llegar mientras se implementan tecnología y conceptos BIM, por así decirlo los requerimientos BIM mínimos.

Cada estadio BIM está definido por unos requisitos mínimos que se deben cumplir para poder llegar a ese estadio. Los estadios son escalones que andar entre lo que sería el estado pre-BIM (representado por como estaba antes la industria de la construcción) y el post-BIM (el cual no es algo fijo, y va variando y evolucionando según aparecen más y mejores herramientas y conceptos sobre esta industria).

La definición de cada estadio y su enumeración es la siguiente:

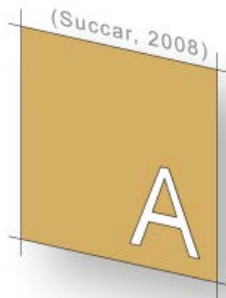


Ilustración 2. Pre-BIM, representa la información bidimensional con la que se está tratando. Fuente: (Succar, 2008)

Pre-BIM: en este panorama existe aún mucha dependencia en describir un mundo tridimensional mediante documentación bidimensional. Datos como cantidades, estimación de costes y

especificaciones no son extraídas del propio modelo y tampoco están ligadas a la documentación. Las prácticas de colaboración no es una prioridad y flujo de trabajo es lineal y asíncrono. La aportación monetaria en tecnología es baja y carece de interoperabilidad.

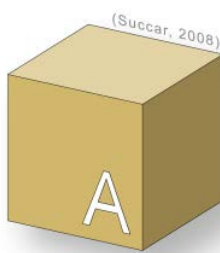


Ilustración 3. Estadio 1, se ve representado el objeto 3D, pero sin ninguna relación entre las distintas disciplinas. Fuente: (Succar, 2008)

Estadio 1, Modelado basado en objeto: En este estadio se empiezan a usar softwares paramétricos basados en objetos 3D. Por cada disciplina que entra en juego dentro de todas las fases del ciclo de vida del

proyecto se genera un modelo 3D. A partir de estos modelos se extrae información en forma de entregables como datos básicos del modelo, modelos ligeros 3D sin atributos paramétricos. Las prácticas

de colaboración en este estadio son similares a las de pre-BIM.

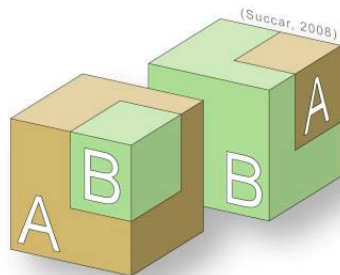


Ilustración 4. Se sigue trabajando bajo objeto y empieza a haber coordinación entre diversas disciplinas. La disciplina A colabora con la disciplina B compartiendo modelos. Fuente: (Succar, 2008)

Estadio 2, Colaboración basado en modelo: En este estadio ya existe colaboración entre los agentes de distintas disciplinas. Esta colaboración puede ser llevada a cabo mediante distintas soluciones tecnológicas, como por ejemplo intercambio entre modelos o entre partes del modelo a través de software propietario (formatos de

archivos no abiertos como .RVT de Autodesk Revit) o no propietario (formato de archivos abiertos como IFC). Esta colaboración solo ocurre en una fase o entre dos fases del ciclo de vida. Además, solo uno de los modelos deberá contener la información geométrica, de esta manera se puede realizar intercambios entre varias disciplinas del

proyecto. En este estadio la comunicación entre los jugadores sigue siendo asíncrona, pero la separación que había en pre-BIM entre los roles, disciplinas y ciclos de vida empieza a desdibujarse. El nivel de detalle del modelo aumenta a medida que se va avanzado en fases del ciclo de vida del proyecto.

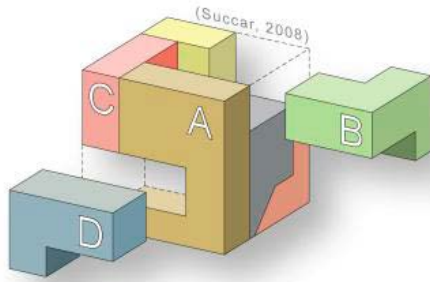


Ilustración 5. Estadio3, en este estadio se trabaja con el modelo compartido a través de una red. Todas las disciplinas participan. Fuente: (Succar, 2008)

Estadio 3, Integración basada en la red: En este estadio los modelos integrados con creados compartidos y mantenidos de forma colaborativa a través de las distintas fases del ciclo de vida. La integración se consigue a través de tecnologías de servidores para modelo, bases de datos de modelos federados, Modelos en la nube (Cloud Computing o SaaS, Software as a Service). Además, en este estadio permite un mejor análisis del diseño y construcción virtual gracias a las diferentes dimensiones del BIM. La colaboración ahora sobre un único y compartido modelo, permitiendo que el proceso entre las fases del ciclo de vida se sincronice y se vayan solapando entre ellas.

Post-BIM, Meta final de la implementación BIM: Representa una visión a largo plazo del BIM como una amalgama de tecnología, procesos y política. Un término genérico para dar a entender que aún está por ver que le depara el futuro al BIM.

Como se habrá podido observar tras su lectura, los estadios descritos anteriormente guardan mucha similitud con los niveles que se han descrito al principio de este capítulo. El nivel 0 correspondería con el pre-BIM, el nivel 1 con el estadio 1 del BIM, en nivel 2 con el estadio 2 del BIM y el nivel 3 con el estadio 3 del BIM, y por último quedaría el post-BIM como algo genérico, un futuro al que se podría llegar tras superar el nivel 3.

Una vez descritos los Estadios de capacidades BIM es hora de determinar que permite moverse entre los distintos estadios. Y eso es precisamente lo que se llama Sets de competencias BIM. Estas competencias sirven como pasos (steps) que se dan dentro de cada capacidad y que permiten evolucionar y llegar a un nuevo estadio.

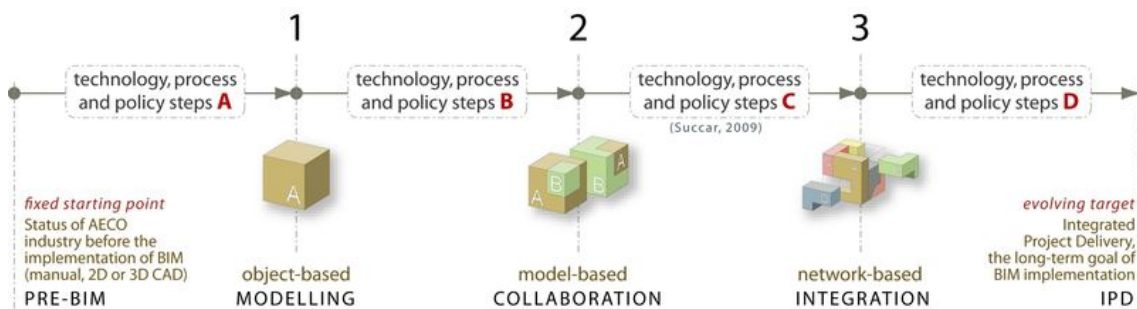


Ilustración 6. Imagen que muestra como los Sets de Competencias ayudan a pasar de un Estadio al siguiente. Fuente: (Succar, 2010).

2.2.1.2. Sets de Competencias BIM.

Los sets de competencias BIM son una colección jerárquica de competencias individuales que están identificadas en función de la implementación y mejora del BIM. Estas competencias se componen de un abanico de habilidades necesarias para implementar y mejorar las capacidades BIM. En función de si estos sets se utilizan para implementar o mejorar una implementación BIM, se les llama Pasos de implementación BIM o Pasos de Mejora BIM respectivamente.

Las competencias BIM son un reflejo de cómo está estructurado los campos del BIM. Los Campos del BIM se refieren a los Agentes, requisitos y servicios/productos que generan la Política, los Procesos y la Tecnología y como estos tres campos se relacionan entre ellas.

Campo de la Tecnología: Se refiere a todos los agentes que se encargan de generar productos informáticos, como: software, hardware, redes, etc.; que aumenta la eficiencia, productividad y aprovechamiento del sector AECO.

Campo de los Procesos: En este campo se encuentran los agentes que hacen posible el diseño, construcción, uso y mantenimiento de las estructuras, y por lo tanto reúne a todo los relacionados con la industria AECO que están relacionados con todas las fases de ciclo de vida de un proyecto.

Campo de Política: En este grupo se encuentran a los actores que se encargan de minimizar los conflictos dentro de la industria AECO, organizaciones especializadas que se encargan de la parte preparatoria, reguladora y contractual dentro del ciclo de vida de los proyectos. Por ejemplo, organismos de estándares, los estados y sus leyes, empresas de seguros, etc....

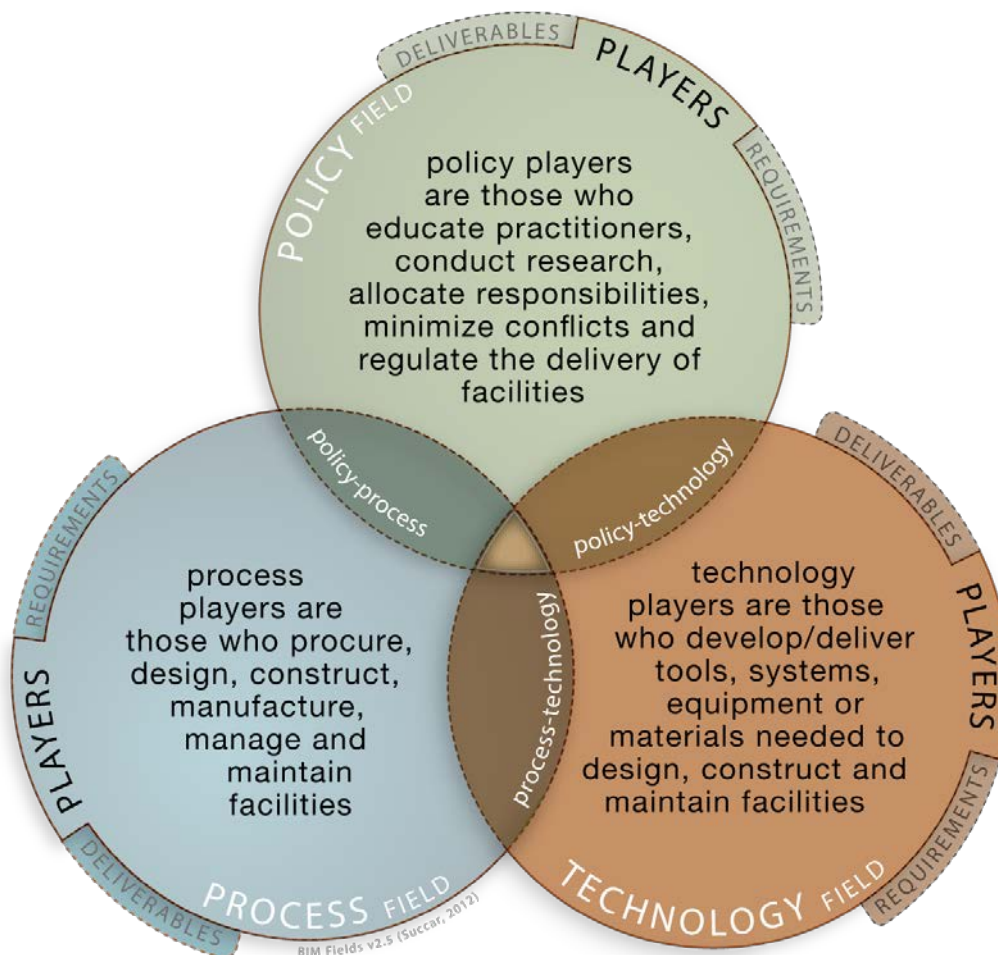


Ilustración 7. Campos del BIM representados por esferas. Cada esfera está compuesta por los jugadores, los entregables y los requerimientos de cada uno de los campos. Se puede ver que existe un solapamiento entre los tres campos. Fuente: (Succar, 2012)

Entre estos campos existe un traspaso de conocimiento, que hace que exista un solapamiento entre ellos. Por ejemplo, el solapamiento entre el campo de la política y de la tecnología hace que se creen estándares para la comunicación interoperable entre distintos softwares, por lo tanto, la política necesita de agentes tecnológicos. Otro ejemplo sería el de política y procesos, donde un arquitecto se encuentra redactando guías o especificaciones para la construcción. Otro ejemplo sería entre el campo de Procesos y Tecnología, donde el de procesos requiere softwares más específicos para realizar su trabajo y los agentes del campo de tecnología lo proporcionan en forma de código abierto o comercial.

Pues bien, las competencias BIM se alimentan de los Requerimientos y los productos/servicios ofrecidos por los campos antes descritos. De esta manera, existen tres competencias, que son:

Set de competencias tecnológicas: Dentro de este set se encuentra otra batería de competencias que son software, hardware y redes. Dentro de estos set hay una batería más grande, de manera que en función de que nivel de detalle se tenga sobre la competencia habrán más o menos. Por ejemplo, el tener un software que te permite migrar de un dibujo en 2D a 3D, o pasar de tener ordenadores antiguos a nuevos.

Set de competencias de Proceso: Dentro de este set se encuentran set como Liderazgo, infraestructura, recursos humanos y productos y servicios. Como se puede observar este está muy encaminado a cómo se organiza la empresa y que tipo de productos/ servicios entrega. Por ejemplo, es necesario que los trabajadores tengan nociones sobre procesos de colaboración y habilidades para compartir bases de datos en una red para poder trabajar bajo modelos compartidos.

Set de Política: Dentro de este set se encuentran sets como contratos, regulaciones e investigación. Por ejemplo, la necesidad de incluir procesos estandarizados para conseguir un CDE. O la necesidad de cambiar condiciones de contrato para con los riesgos de la compartición de datos para alcanzar la integración del modelo basada en la red.

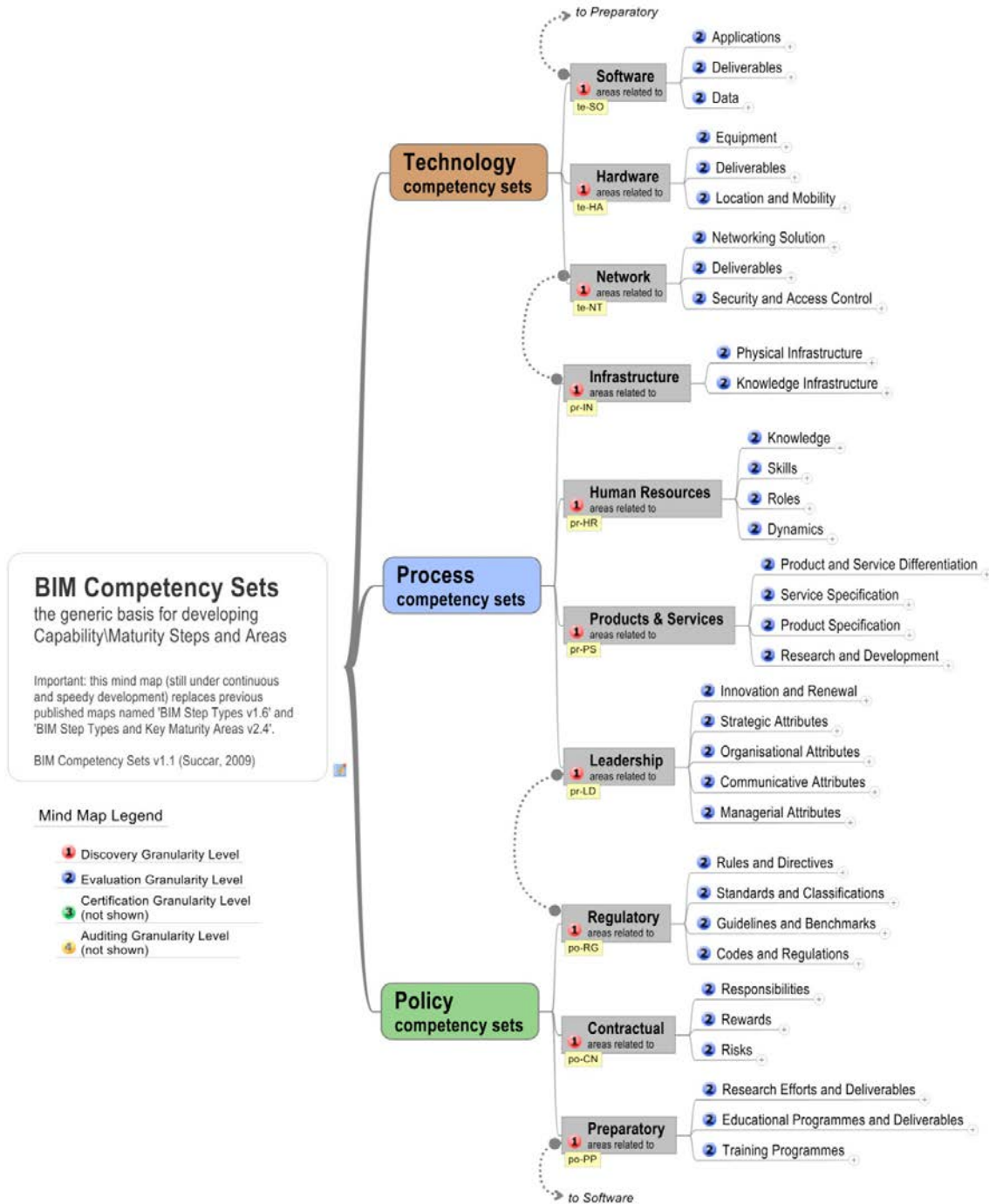


Ilustración 8. Competencias BIM y sus sets a nivel de granularidad o de detalle 2. Fuente: (Succar, 2010).

Estas capacidades BIM se deben tener siempre en cuenta para saber que se tiene y que se necesita para poder alcanzar un nuevo estadio BIM. Para saber que competencias se deben tener en cuenta, es decir, hasta que nivel de detalle, se debe tener también en cuenta otro componente. Este componente es el de las Escalas de los organismos.

2.2.1.3. Escalas de los Organismos.

Esta componente lo que hace es representar como se pueden ordenar los organismos en base a su nivel de detalle dentro del mercado. De modo que encontramos, de menos a más detallado, el nivel Macro (perteneciente a las industrias y los mercados) el nivel Meso (perteneciente a los proyectos y sus equipos) y el nivel Micro (Unidades del organismo, sus

equipos y miembros). Dentro de estos niveles existen otros más de mayor nivel de detalle que permiten aproximarse más a la realidad.

Si bien es cierto que esta escala permite encajar a la mayoría de las organizaciones que existen, también es cierto que en función del proyecto o de la industria en la que se esté, el proyecto siempre será único. Pero el proceso que siguen esos proyectos es bastante parecido. Esa similitud que permite decir que se puede lograr a partir de un conjunto de procesos estandarizados.

2.2.1.4. Nivel de Madurez BIM.

Este componente no debe confundirse con el que se utiliza al comienzo de este capítulo. Este último hace referencia a la jerarquía utilizada por Bew-Richards, que ha sido extraída desde el documento PAS 1192-2:2013 y es utilizada por el Reino Unido.

En este caso, el Nivel de Madurez BIM hace referencia a el límite al cual se ha llegado dentro de un estadio de capacidad para realizar o dar un servicio o producto BIM. Este concepto se extrajo de la idea de madurez dentro de los Modelos de Madurez de las Capacidades (CMM). Estos Modelos de Madurez se componen de varios niveles de Madurez. Una vez has desarrollado y completados los requisitos de un nivel, puedes pasar al siguiente basándote en lo que ya habías conseguido anteriormente.

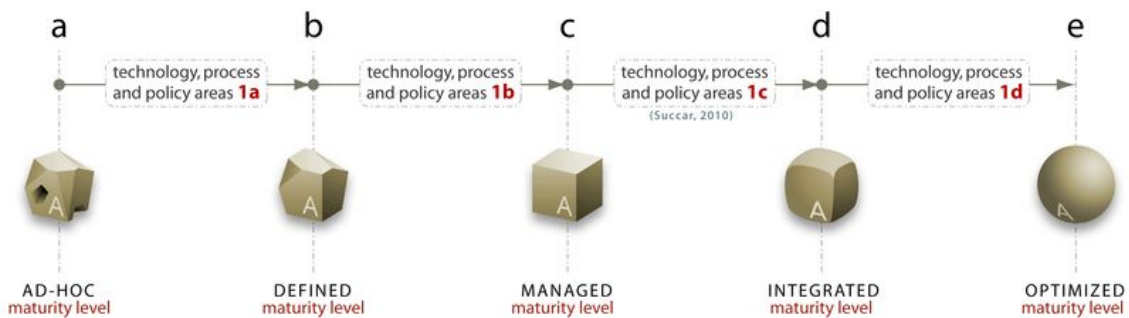


Ilustración 9. Niveles de Madurez BIM propuestos por Bilal Succar. Para poder alcanzar cierto nivel de madurez es necesario evaluar los sets de competencias. Fuente: (Succar, 2010).

Estos modelos fueron creados dentro del campo del control de calidad y existen muchos dentro de las industrias pero que son especializados para esos tipos de industrias. Pero no sirven para la industria de la construcción. Es por eso por lo que desarrollo un nuevo Modelo para BIM (BIM Maturity Index) integrando diferentes modelos de otras industrias para poder reflejar las especificaciones de las capacidades BIM, los requisitos de implementación, objetivos de mejora y control de calidad.

Los niveles de este Modelo de Madurez BIM son: Nivel a de Madurez (Ad-Hoc); Nivel b de Madurez (Definido); Nivel c de Madurez (Gestionado); Nivel d de Madurez (Integrado); Nivel e de Madurez (Optimizado).

De forma que ir aumentando en los nivel (que se encuentran dentro de los estadios de capacidades) implica una mejor aplicación de las competencias necesarias para subir de estadio. Cuanto más alto es el nivel de madurez, las competencias como procesos, tecnología y política mejoran para avanzar a nuevos escalafones en la metodología BIM.

2.2.1.5. Niveles de granularidad o detalle BIM.

Para finalizar, falta una última componente a explicar que ya se ha mencionado cuando se hablaba de las competencias BIM y esta es el Nivel de Granularidad o Detalle BIM. No debe confundirse este nivel con el nivel de detalle de los objetos del modelo, ya que no tiene nada que ver. Esta componente tiene por objetivo el actuar como filtro para saber cómo mejorar en las capacidades y la madurez BIM.

Se compone de 4 niveles, los cuales son, de más bajo a más alto en definición: **Descubrimiento** (Discovery); **Evaluación** (Evaluation); **Certificación** (Certification); y **Auditoria** (Auditing). A mayor nivel de granularidad las competencias son más detalladas que a menores niveles de granularidad, y por lo tanto aumentarían las competencias a evaluar y mejorar. De esta manera, en función del estudio que se plantee hacer acerca de la implantación BIM se podrá pasar de niveles más genéricos a muy detallados.

Tabla 1. Segunda columna descripción de granularidad, tercera columna organismo al que aplicar y cuarta quien podría asesorar, junto con el nombre del reporte y la guía a seguir. Fuente: (Succar, 2010)

GLevel Number, GLevel Name, Description and Scoring System (Numerical and/or Named)			OScale applicability	Assessment By, Report Type and Guide Name	
1	Discovery	A low detail assessment used for basic and semi-formal discovery of BIM Capability and Maturity. Discovery assessments yield a basic numerical score.	All Scales	Self	Discovery Notes <i>BIMC&M Discovery Guide</i>
2	Evaluation	A more detailed assessment of BIM Capability and Maturity. Evaluation assessments yield a detailed numerical score.	All Scales	Self and Peer	Evaluation Sheets <i>BIMC&M Evaluation Guide</i>
3	Certification	A highly-detailed appraisal of those Competency Areas applicable across disciplines, markets and sectors. Certification appraisal is used for Structured (Staged) Capability and Maturity and yields a formal, Named Maturity Level.	8 and 9	External Consultant	Certificate <i>BIMC&M Certification Guide</i>
4	Auditing	The most comprehensive appraisal. In addition to competencies covered under Certification, Auditing appraises detailed Competency Areas including those specific to a market, discipline or a sector. Audits are highly customisable, suitable for Non-structured (Continuous) Capability and Maturity and yield a Named Maturity Level plus a Numerical Maturity Score for each Competency Area audited.	8, 9, 10 & 11	Self, Peer and External Consultant	Audit Report <i>BIMC&M Auditing Guide</i>

2.2.1.6. Aplicación de los componentes BIM.

Para dar aplicación a los componentes BIM se debe relacionar cada uno de ellos. De esta manera se tendrá un estudio y visualización completa sobre el estado de la organización sobre su implantación BIM. Estos modelos ya se han comentado antes y se llaman Modelos de Madurez de las capacidades (CMM).

Para el caso de BIM y su implantación, Bilal Succar hace un estudio sobre los modelos de madurez, destacando que “no existen ningún modelo o índice de madurez que se pueda aplicar a BIM, a sus etapas de implantación, sus agentes, productos o servicios derivados o en sus efectos en las fases del ciclo de vida del proyecto” (Succar, 2009).

Es por esto que durante el transcurso del texto establece un modelo de madurez a partir de modelos ya existentes. Aunque estos modelos no están diseñados para la industria AECO, se pueden utilizar como base para obtener uno si específico. También se basa en modelos de Mejora y calidad para poder tener una buena base que permita obtener una puntuación que mida las capacidades y madurez BIM. Se adjunta en Anexos las tablas para el cálculo de la madurez BIM.

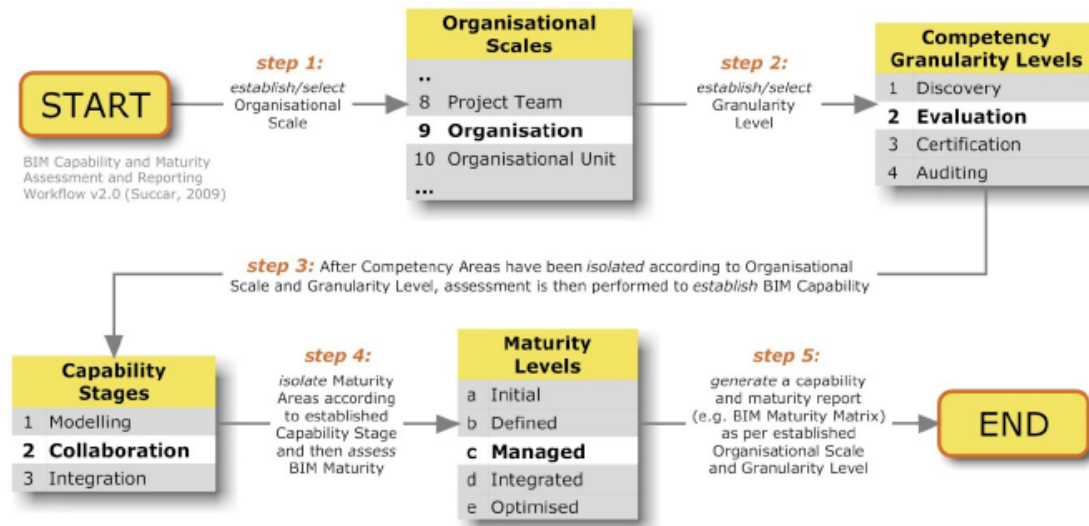


Ilustración 10. En esta Imagen se muestra el flujo de análisis de madurez propuesto por Succar (2010) para obtener la madurez BIM. Fuente: (Succar, 2010).

En la imagen se puede observar el flujo de análisis, pasando por la determinación de la escala del organismo, el nivel de granularidad de las competencias en función de ese organismo, determinar en qué estadio de capacidad se encuentra y por último determinar en qué nivel de madurez se encuentra dichas capacidades.

Por último, en el texto analizado se compara el modelo propuesto con uno ya establecido por la USBIMS (U.S. National Building Information Mode Standard™) el cual el autor considera como una herramienta específica para la evaluación de la implantación y mejora de BIM, pero se queja de su limitación estructural que restringe su usabilidad y utilidad.

2.2.1.7. Conclusión.

Existen muchas más herramientas de medición de madurez BIM en el mundo de la Industria AECO, los cuales también tiene sus ventajas e inconvenientes, así como también tiene el que he descrito. En el anterior apartado se ha hablado brevemente sobre el modelo NBIM Standard, pero existen otros más que miden el nivel de madurez dentro del dominio de IT y la construcción. Se deja como anexo un listado de las herramientas recopiladas por NBIM Standard en su versión 3.

Mi decisión por escoger la descrita por el Dr. Bilal Succar fue porque me interesa como explica las relaciones de lo que caracteriza una implantación BIM y también porque me parece que lo hace con mucho detalle el análisis de los componentes que rodean el rendimiento BIM. Hoy en día, este estudio de la Madurez BIM es utilizado por la organización BIM excelence para evaluar y mejorar el rendimiento de individuos, organizaciones y equipos de proyecto.

2.2.2. Proyecto BIM, que hay que tener en cuenta.

Ya explicado el grado de implantación de BIM en una organización es necesario ahora hablar sobre cómo se estructura un proyecto BIM. Hasta ahora y con la metodología llevada a cabo en la industria AECO se han conseguido realizar grandes construcciones y de forma eficiente. Pero con la aparición del BIM un nuevo paradigma ha aparecido, el cual trae con él mayores beneficios y eficacia a la hora de realizar el trabajo. Y como nuevo paradigma es necesario hablar de cómo se trabaja bajo el y como se estructura.

Es por eso por lo que en este capítulo se hablara sobre el proceso que se lleva a cabo en un proyecto BIM, es decir, como se comunican las diferentes partes y se establece el proyecto, así como los nuevos roles y equipos que se encargaran de llevar a cabo el proyecto BIM. También se hablará sobre las fases del ciclo de vida del proyecto que se han nombrado a lo largo de este proyecto.

2.2.2.1. Proceso del proyecto BIM.

En este apartado se va a hablar sobre el proceso BIM atendiendo a lo ya especificado por grupo esBIM, el cual se dedica a la implementación en España de la Metodología BIM.

“Independientemente del nivel de detalle o de información que contenga un modelo BIM jamás podrá constituir únicamente en sí mismo el equivalente a un proyecto tradicional, tal y como queda regulado por las distintas leyes en España, puesto que nuestra normativa obliga a que siempre existan partes descriptivas o justificativas (urbanísticas, de cálculo, de cumplimiento de disposiciones, etc.), condiciones establecidas (legales, económicas, de procesos constructivos, etc.) que deben desarrollarse de manera escrita, así como una parte gráfica (justificación de cumplimiento de normativas urbanísticas o de accesibilidad) de difícil integración dentro de un modelo BIM, la necesidad de la realización de detalles constructivos de difícil modelado, o la utopía, por lo menos en la actualidad, de que las Mediciones y el Presupuesto puedan obtenerse directamente del modelo BIM, sin la necesidad de añadir partidas indispensables y no modelables en la ejecución de las obras.” (Choclán Gámez, Barco Moreno, 2017).

Es importante tener esto en cuenta antes de empezar a hablar sobre el proceso BIM. EL modelo y los roles asignados no van a cambiar la manera de entregar la documentación al cliente ya que el modelo en la actualidad no puede almacenarlo todo. Si bien es cierto que tal y como he explicado en el capítulo anterior el modelo debe de ser capaz de dar toda la documentación pertinente de la obra/proyecto, hoy en día es bastante difícil conseguir ese objetivo. Por lo tanto, en el proyecto BIM nunca deberá estar solamente el Modelo BIM como documentación única del proyecto. También deberá estar La parte escrita, la gráfica y el modelo. Aunque también es verdad que el modelo tendrá ya una gran cantidad de información gráfica y escrita sobre el proyecto.

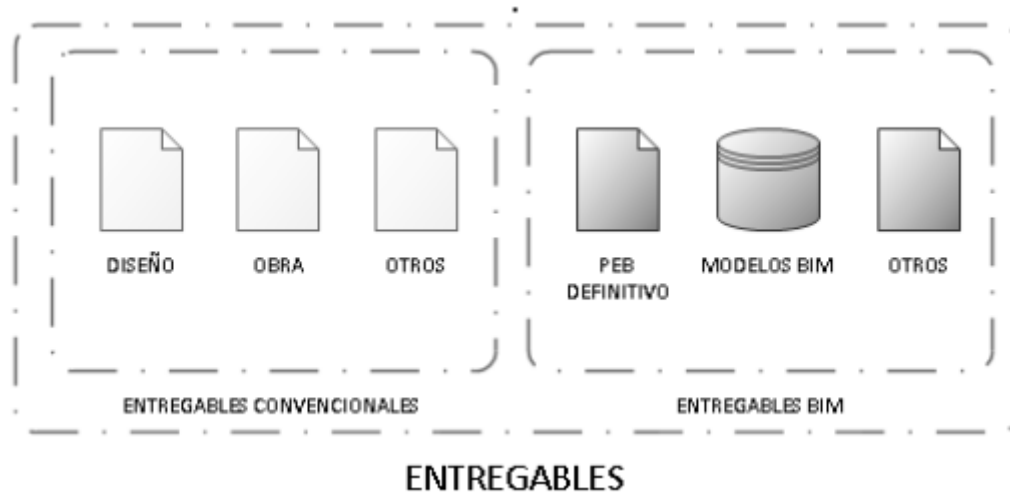


Ilustración 11. Imagen extraída del documento ligero sobre Guía del BEP de esBIM. Se puede observar que en los entregables no solo aparece el modelo BIM, sino también una serie de documentos adicionales como son el PEB (en esta fase el definitivo porque se corresponde al emitido tras finalizar las obras) además de también la posible documentación gráfica o escrita convencional (informes, memoria, anejos, etc.) en un proyecto dentro del marco Español. Fuente: (Instituto Eduardo Torroja, 2017)

Dicho esto, se va a proceder a hablar sobre los procesos que se siguen para poder llevar a cabo un proyecto BIM. Al igual que un proyecto normal, es necesario definir el contrato, es decir, como se van a comprometer las diferentes partes del proyecto (cliente y proyectista) para poder llevar a cabo el proyecto. Con la aparición de la metodología BIM han surgido nuevos términos, y dos de los que se van a hablar ahora son parte del contrato de obra BIM:

Protocolo BIM: El protocolo BIM es un acuerdo legal suplementario desarrollado por el CIC del Reino Unido que puede ser introducido dentro del contrato a través de un punto nuevo. Tiene por objetivo fundamental habilitar la producción de información sobre cada una de las etapas del proyecto, además de dar soporte al entorno colaborativo. Requiere de un Manager de la información y permite que se apliquen estándares para una buena práctica de trabajo.

Por lo tanto, es necesario que aparezca en todos los contratos que se realicen, ya sea entre cliente y proyectista como todos los contratistas, proveedores y demás agentes que formen parte del proyecto para así poder asegurar que todos siguen los mismos estándares y maneras de trabajar. El protocolo solo afectara solo Cliente/proyectista, y los diferentes proveedores deberán tener entre ellos también su propio protocolo.

El protocolo contiene dos anexos que deben rellenarse para que quede claro que modelos se requieren en cada una de las fases del proyecto y también que nivel de información se requiere y que estándares se adoptan para verificarlo (El CIC tiene una plantilla de como redactar estos puntos hablados en este párrafo). Además, este protocolo da protección a los productores de la información a través de licencias específicas BIM.

Requisitos BIM del cliente o EIR (Employer Information Requirement): Es el documento por el cual el cliente establece la información que quiere que le entregue los equipos del proyecto y como quiere que se haga el modelo BIM para poder después hacer una correcta gestión de la infraestructura. Este documento por lo tanto formara parte de los requisitos propuestos por el cliente a ser satisfechos por los equipos del proyecto.

En el caso de España, será el “documento previo a la licitación -dirección facultativa y/o contratista- que contiene las normas y procesos a ser adoptados por el proveedor como parte

del proceso de entrega del proyecto.” (Esarte Esevenri, 2017) En el documento emitido por esBIM se le llama Requerimientos BIM, y una vez ha salido a licitación se convierte en cláusulas BIM.

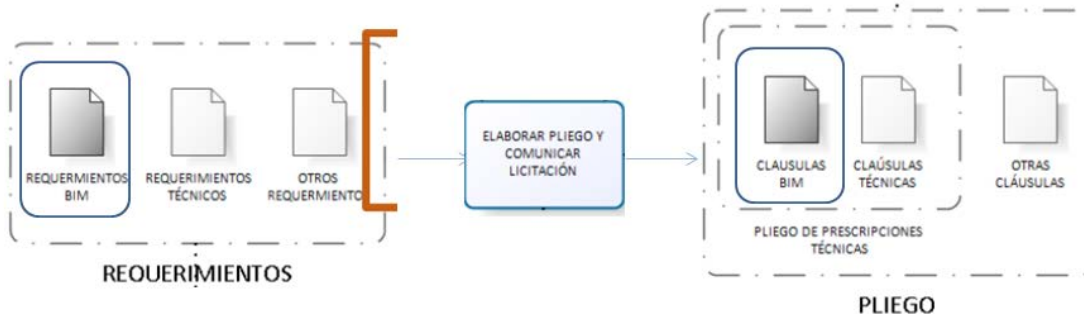


Ilustración 12. Esquema explicativo sobre el EIR en el ámbito español. Fuente: (Instituto Eduardo Torroja. 2017).

Los requerimientos BIM cubre las áreas llamadas: Requerimientos Técnicos, de gestión y comerciales. Dentro de estos requerimientos se encuentra redactada la siguiente información:

Gestión de la información: tendrá en cuenta los niveles de detalle y requisitos de presentación de la información en todas las fases del proyecto, Requisitos de formación, Planificación de trabajo, Coordinación y detección de choques, Proceso de coordinación, Listado de formatos de software, entre otros puntos.

Gestión Comercial: tendrá en cuenta cómo se va a intercambiar la información, los objetivos estratégicos del cliente, Una matriz de responsabilidad, cronograma de las normas y documentos de orientación utilizados para definir los procesos y protocolos BIM que se utilizarán en el proyecto y demás puntos.

En el documento Guía de licitaciones se propone que el EIR deberá reunir los Objetivos BIM, los Usos BIM y los Requisitos BIM. Los Objetivos BIM marcan los objetivos que se quieren llevar a cabo en el proyecto y responden a la pregunta ¿Para qué quiero usar BIM? Los Usos BIM están encapsulados dentro de los Objetivos BIM, ya que a partir de los objetivos que tenga para mi proyecto tendré unos Usos de BIM en función de las fases; con los Usos BIM se responde a la pregunta ¿Qué obtengo del empleo del BIM? Por último, los Requisitos BIM serán las cláusulas que se pidan en el pliego que den respuesta a mis Objetivos y Usos BIM.

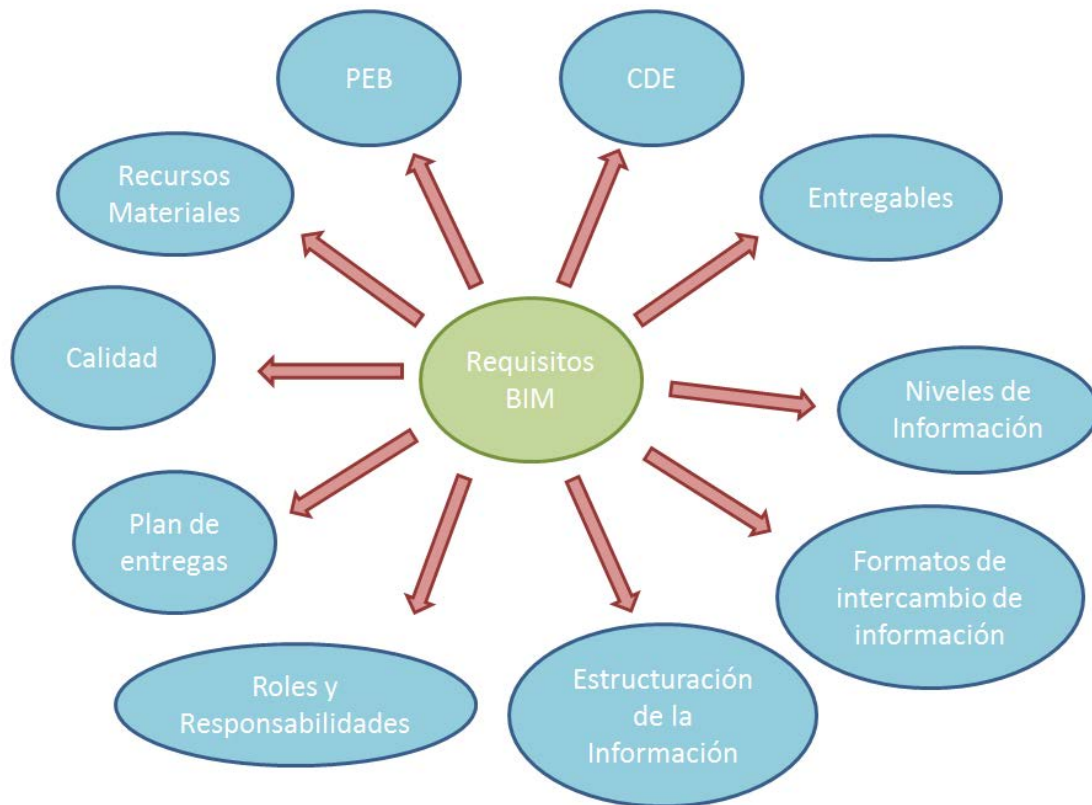


Ilustración 13. Esquema en el que se muestra la información que se pide a través de los requisitos BIM. En este texto se van a tratar el PEB, el CDE, los roles, los formatos de intercambio de información y los niveles de información. Fuente: (Guía para apoyo a la licitación., 2017).

Plan de ejecución BIM o BEP (BIM Execution Plan): “Documento elaborado por el equipo ejecutor de los trabajos que describe la metodología propuesta para dar respuesta con éxito a los requerimientos BIM (EIR) descritos en el Pliego. Por metodología entendemos al conjunto de: Procedimientos, Herramientas, Técnicas, Procesos, Formatos y Plantillas” (Instituto Eduardo Torroja, 2017) que ayudan a redactar el BEP.

Por lo tanto, el contenido de un BEP estará enteramente ligado al EIR en cuanto a que deberá describir como el equipo del proyecto hará frente a las demandas del Cliente o Promotor. Y también estarán los dos ligados al Protocolo BIM, ya que este último describe la manera de trabajar de forma genérica para esa rama de la construcción. Después cada proyecto tiene su propio libro de estilo que sigue ese protocolo.

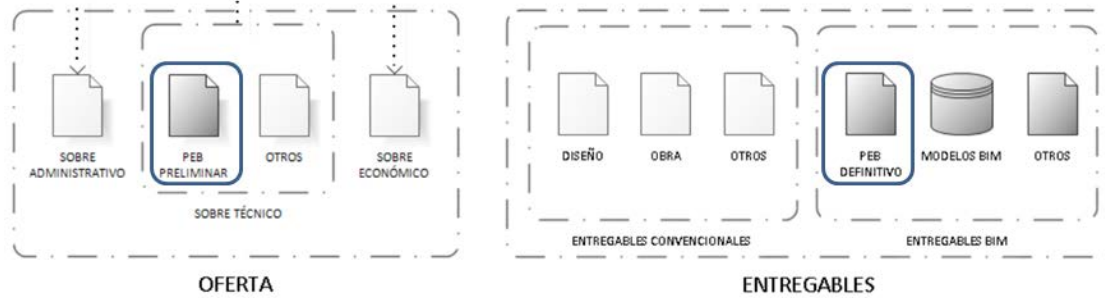


Ilustración 14. El PEB se entregará en la oferta, dando respuesta a los requerimientos del cliente/promotor. AL ser un documento vivo que puede cambiar a lo largo del curso del Proyecto se entregará el PEB definitivo, es decir, el que al final ha descrito como se ha llevado a cabo el proyecto BIM. Fuente: (Instituto Eduardo Torroja, 2017).

Un apartado muy importante dentro del proceso del proyecto BIM es como se va a intercambiar la información y como se va a compartir entre los distintos equipos de trabajo dentro de un proyecto durante todas las fases de un proyecto. Y se ve reflejada la importancia en cómo se trata de especificar en los documentos EIR y BEP. Esto nos lleva a hablar del Entorno de colaboración Común.

Pero antes de pasar a ese punto, merece la pena hablar un poco sobre cómo se estructura ese proceso del proyecto BIM en cuanto a los roles y equipos de trabajo que van a surgir nuevos a raíz de esta nueva metodología y de cómo se estructura en fases este proceso.

2.2.2.2. Roles y Etapas del proyecto BIM.

En cuanto a las Etapas del proyecto BIM, en el documento “Roles en procesos BIM” de esBIM se detalla la siguiente estructura:

- PRE-CONSTRUCCION
- CONSTRUCCION
- POST-CONSTRUCCION
- DE-CONSTRUCCION

Estas etapas son consecutivas en el tiempo, al terminar la etapa de pre-construcción empieza la siguiente etapa. Pero también pueden solaparse entre ellas, como dice por ejemplo Bilal Succar en su entrada de Blog “Efectos del BIM en las fases del ciclo de vida de un proyecto” donde hace referencia a que a mayor nivel de madurez hay en el proyecto, el solapamiento entre las distintas etapas es mayor a causa de la colaboración entre los distintos agentes del proyecto BIM.

Después se encuentran las fases dentro del ciclo de vida, las cuales tienen contexto desde el inicio del proyecto hasta la total desactivación de la infraestructura:

- Evaluación de la necesidades y objetivos –Viabilidad-
- Diseño conceptual
- Planificación del diseño
- Control del diseño
- Planificación de la construcción
- Control de la construcción
- Inspección final, entrega y recepción de la obra
- Vida Útil
 - o Garantía

- Vida útil
- Modernización y/o Cambio de Uso (Puede generar un nuevo Proyecto Edificatorio)
- Demolición. Recuperación y reciclado

Que están estrechamente relacionadas con las etapas del proyecto, ya que las 4 primeras fases podrían reunirse dentro de la primera etapa de pre-construcción, las 3 siguientes dentro de la construcción, la siguiente la post-construcción y la última la de-construcción.

DISEÑO	EJECUCIÓN	OPERACIÓN	DEMOLICIÓN
<ul style="list-style-type: none"> •VIABILIDAD •ANTEPROYECTO Planificación Estimación costes •DISEÑO Arquitectura Estructura MEP S/S Eficiencia energética 	<ul style="list-style-type: none"> •PROGRAMACIÓN •FABRICACIÓN •COMPRAS •PUESTA EN MARCHA •RECLAMACIONES •COMPROBACIÓN ALCANCE Eficiencia energética 	<ul style="list-style-type: none"> •OCUPACIÓN •MANTENIMIENTO •GESTIÓN deACTIVOS •REHABILITACIONES EN EL TIEMPO Actualizaciones 	<ul style="list-style-type: none"> •FIN DEL CICLO DE VIDA DEL EDIFICIO •RECUPERACIÓN •RECICLADO
PRE-CONSTRUCCIÓN	CONSTRUCCIÓN	POST-CONSTRUCCIÓN	DECONSTRUCCIÓN

Ilustración 15. Imagen que muestra la relación que existe entre las Etapas del proyecto BIM y las fases del ciclo de vida del proyecto BIM. Fuente (Choclán Gamez, 2017).

Respecto a los roles que intervienen en un proyecto BIM, se van a enumerar los equipos de trabajo propuestos por esBIM en su documento “Roles en procesos BIM” y luego se pondrán en relieve aquellos roles que sean de interés.

Los equipos que intervienen en un proyecto BIM son:

1. EQUIPO DEL PROMOTOR / CLIENTE (EP) – CLIENT TEAM (CT)
2. EQUIPO DE GESTIÓN DEL PROYECTO (EGP) – PROJECT MANAGEMENT TEAM (PMT)
3. EQUIPO DE DISEÑO DEL PROYECTO (EDP) – INTEGRATED DESIGN PROJECT TEAM (IDPT)
4. EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN (EC) – CONSTRUCTION TEAM (CT)
 - a. Equipo de Dirección de Construcción
 - b. Equipo de Producción
5. EQUIPO DE POST-CONSTRUCCIÓN:
 - a. EQUIPO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (EOM) – FACILITY MANAGEMENT TEAM (FMT)
6. EQUIPOS DE DE-CONSTRUCCIÓN:
 - a. EQUIPO DE DEMOLICIÓN (ED) – DEMOLITION TEAM (DM)
 - b. EQUIPO DE REUTILIZACIÓN – RE-USE TEAM
 - c. EQUIPO DE RECICLAJE – RECYCLE TEAM

Esta propuesta hecha por la comisión esBIM, concretamente por el subgrupo de trabajo de Roles que es a su vez del grupo de trabajo de Personas, trata de cubrir los equipos de trabajo que participaran a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida del proyecto BIM. Sera el cliente el encargado de poner en marcha el proyecto BIM y a partir de ese momento empezar a introducir los equipos que necesite para la realización del proyecto.



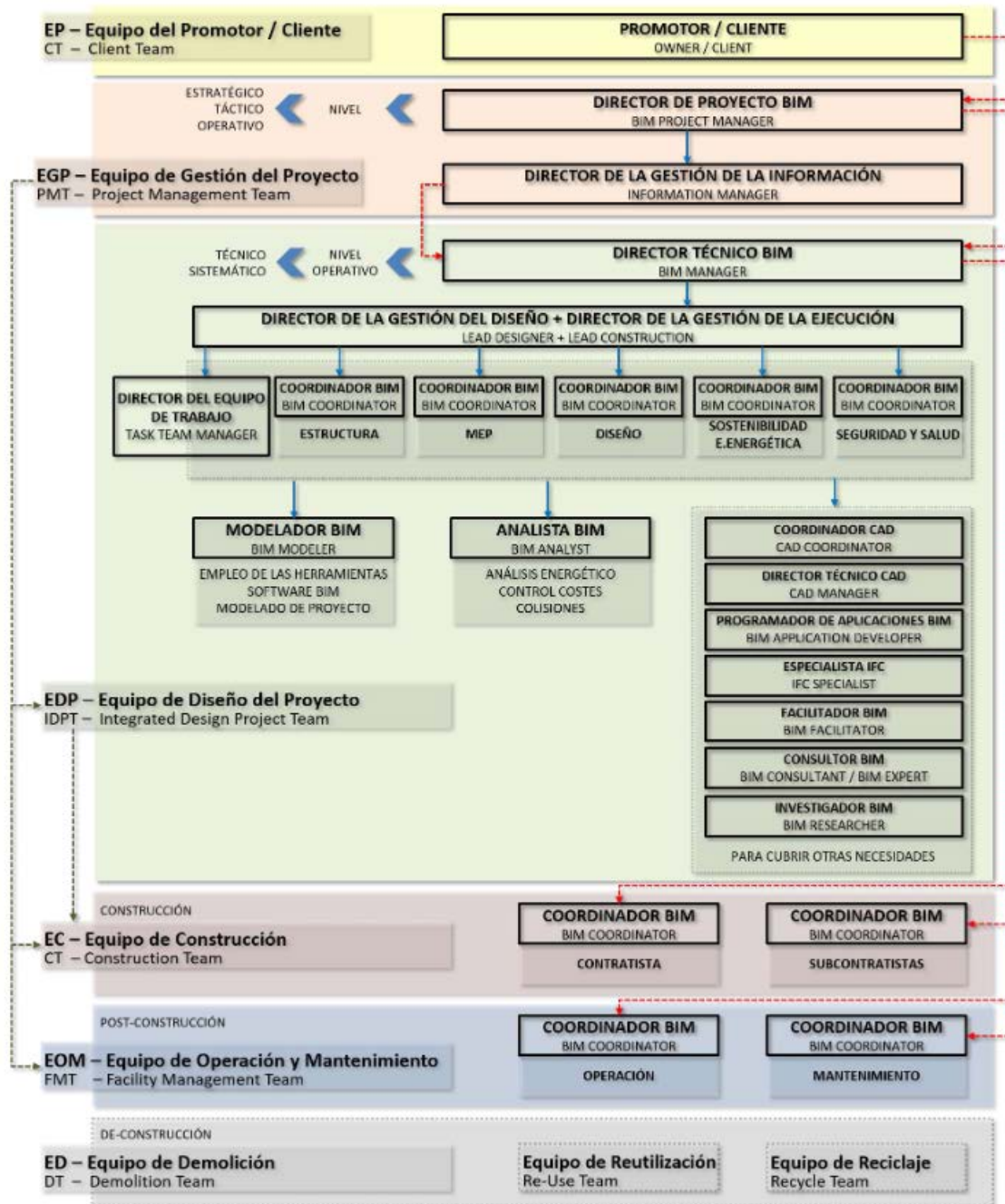
Una vez nombrados los equipos, se procede a nombrar solo a 3 roles los cuales se consideran de gran importancia en el buen desempeño del proyecto BIM:

- DIRECTOR DE PROYECTO BIM – BIM PROJECT MANAGER
- DIRECTOR DE LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN – INFORMATION MANAGER
- DIRECTOR TÉCNICO BIM – BIM MANAGER

El primero de todos será nombrado por el cliente y tendrá la responsabilidad de liderar el equipo del proyecto BIM, gestionar el proyecto BIM y cumplir con las expectativas (EIR) del cliente. Para ello, como función más importante (entre otras también importantes) será la de redactar el Protocolo BIM a partir del EIR que del cliente.

El segundo será el responsable de gestionar y controlar el flujo de información entre todos los equipos que forman parte del proyecto y a lo largo de todo el ciclo de vida. Es decir, será el responsable de diseñar, generar y mantener una red de compartición de datos la cual se llama CDE.

El tercero 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. Será además el encargado de Proponer y coordinar la definición, implantación y cumplimiento del BEP.



Autores: Felipe Choclán Gámez, Hugo Sánchez Vicente

Ilustración 16. Imagen que indica la jerarquía de los grupos de trabajo propuestos, así como los roles. Los roles descritos pertenecen a los más importantes dentro de la estructura. Fuente: (Choclán Gámez, Barco Moreno, 2017).

2.2.2.3. CDE (Common Data Environment) o Entorno de Colaboración Común.

Tal y como se ha hablado en el capítulo primero Definición de BIM, al describir la Metodología BIM se hablaba siempre de que toda la información y el trabajo que se realizaba se hacía dentro de un entorno de colaboración. Esta parte es muy importante tenerla clara y saber hasta qué punto abarca dentro de esta metodología.

Si se analiza cómo se ha trabajado hasta ahora en el AEC Industry, se sabe que el entorno de colaboración ya está formado gracias a herramientas y sistemas de comunicación que facilitan el progreso del proyecto, como por ejemplo un repositorio de archivos en la nube donde acceder a la información, sistemas de comunicación como el email o chats de móvil u ordenador que permite la comunicación entre los distintos agentes del proyecto. Pero existe un problema, y es que estas herramientas no están centralizadas, por lo que el riesgo de perder o alterar información, la duplicidad de versiones y la complicación de los flujos de trabajo es muy elevado. Pero con la llegada de BIM estas herramientas pueden integrarse cada vez más hasta llegar a ser una única plataforma.

Es justo en este punto donde entra en juego el CDE. En la traducción al castellano se obvia la palabra Dato para centrarse en lo importante, que es la colaboración. Este entorno se puede definir como:

“Un lugar virtual único, accesible y operable desde internet para la gestión del modelo BIM, la información que el BIM genera (gráfica y no gráfica), los procesos evolutivos del proyecto, los roles de los agentes que intervienen y sus comunicaciones, de una forma estructurada y direccional hacia la consecución de los objetivos del proyecto”. (QUE ES UN ENTORNO COMUN DE COLABORACION BIM, 2017)

Esta definición es la que el documento PAS 1192:2007 define como CDE, y en ella no se especifica ningún software específico o tipo de archivo necesario para poder realizar el intercambio de información entre los equipos de trabajo implicados en el proyecto. Lo único que da son directrices de cómo se debería llevar a cabo el intercambio de la información, el flujo de los datos.

Este entorno de colaboración debe encontrarse en el mismo centro de los diferentes equipos de trabajo del proyecto y durante todos los ciclos de vida del proyecto. De esta manera se consigue que todos intervengan para poder reducir costes y tiempo a lo largo de la vida del proyecto.

Una vez ya se han definido los equipos de trabajo, así como la manera en que se va a realizar el proyecto BIM (EIR, protocolo y BEP), es momento de empezar a trabajar dentro del entorno de colaboración entre los distintos grupos de trabajo.

El flujo de información comienza con los equipos de diseño de las diferentes disciplinas que participan en el proyecto, los cuales se encuentran en la fase de Work in Progress (WIK) o En Progreso. En este apartado se trabajan sobre borradores y versiones previas, las cuales aún no han sido verificadas sobre su contenido técnico y de información.

Ilustración 17. Work in progress del CDE Fuente: (BSI, 2013).





Ilustración 18. Zona de compartido de CDE. Fuente: (BSI, 2013).

Una vez se ha acabado de trabajar con esa información y ha sido aprobada por el encargado de esa disciplina entonces es movida a la zona de Compartido. En esta sección se guarda la información que ya ha sido aprobada y que sirve a otras disciplinas para poder hacer su trabajo. Una vez ha sido completada toda la información necesaria, entonces se pasa al cliente para que este verifique que los requisitos pedidos en su EIR han sido satisfechos y por lo tanto se puede

proseguir.

Confirmado que toda la información se cumple se envía a la zona de publicación donde toda la información es publica y coordinada. Es aquí, en este paso, donde la información puede dar problemas por colisión de objetos o también porque los equipos de suministros (los fabricantes) no acepten cierta información.

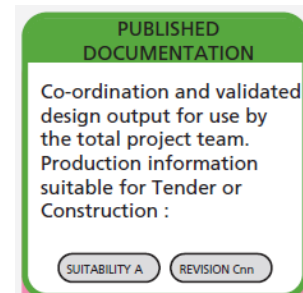


Ilustración 19. Documentación publicada en el CDE. Fuente: (BSI, 2013).

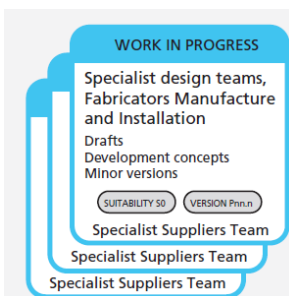


Ilustración 20. Work in progress de CDE (para los fabricantes) en el CDE. Fuente: (BSI, 2013).

En ese caso se realizaría otra vez el paso por el equipo de fabricación de la información no aprobada y se volvería a pasar a la zona compartida donde de nuevo sería revisada por el encargado del equipo de diseño atendiendo a que cumpla con lo que pidieron desde el área de publicados. En este paso se almacena información definitiva de una determinada fase del proyecto.

De esta manera, la información del proyecto irá compartiéndose y almacenándose dentro del entorno de colaboración. A toda esta información que se va generando a lo largo de las fases de diseño y construcción se le llama PMI (Proyecto Information Model) y a medida que ascendemos de fase esta información también aumenta en cantidad. Toda esta información (Documentación, datos no gráficos y el modelo) después de todas las fases y de haber sido compartida con el cliente para comprobar que todo es como debía ser (EIR y BEP) entonces es momento de dársela al cliente para que él pueda después realizar las labores de mantenimiento y operaciones sobre esa infraestructura.

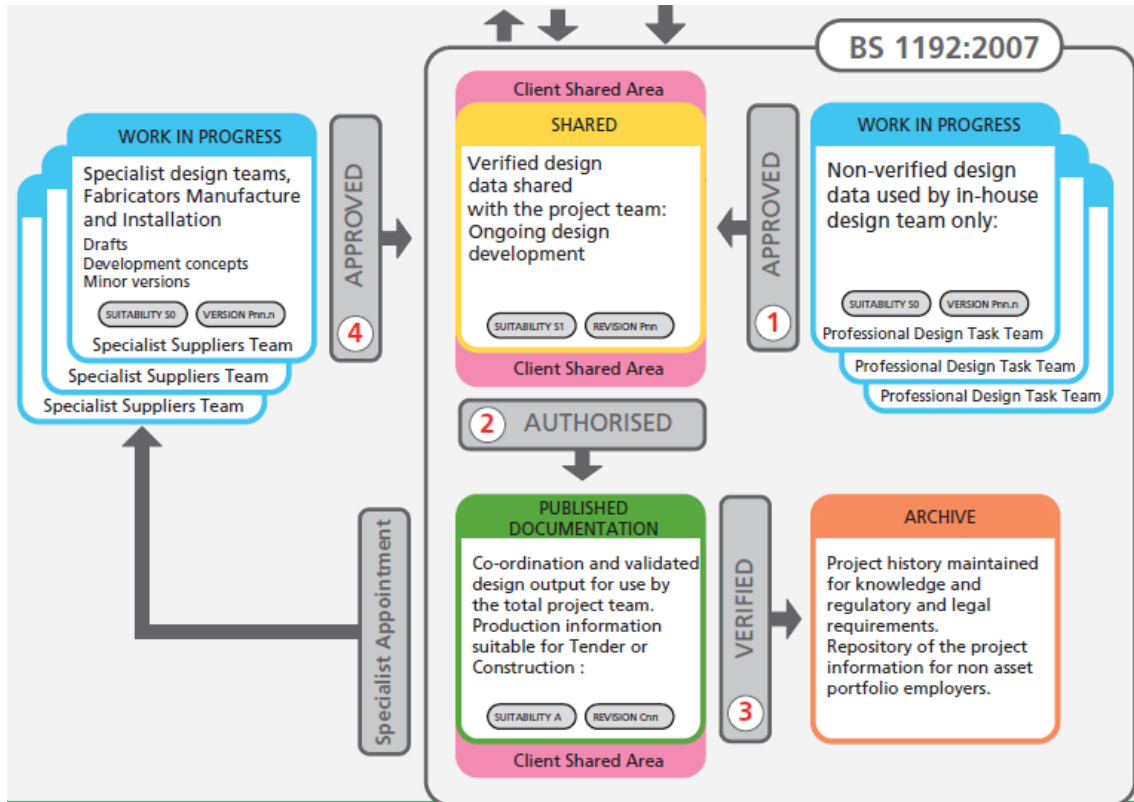


Ilustración 21. Esquema final de CDE aunando todos los pasos descritos anteriormente. Fuente: (BSI, 2013).

2.2.3. Marco Político.

Dentro del ámbito político se va a hablar desde el punto de vista de la legislación, centrado en Europa y España y en concreto a las leyes que impulsan el uso del BIM. Luego se hará una breve explicación de la organización que se encarga de la implantación del BIM en España y por último se nombrarán los principales cuerpos normativos que están dentro del mundo BIM y que están potenciándolo a través de Normas, estándares y especificaciones.

2.2.3.1. Marco Político: Legislación

A nivel Legislativo, en Europa, en el año 2014 se aprueba la Directiva 2014/24/UE sobre la contratación pública y que deroga la anterior Directiva 2004/18/CE. Esta no fue la única que salió, junto a ella también se aprobó la Directiva 2014/23/UE sobre la adjudicación de contratos de concesión y la Directiva 2014/25/UE sobre contratación por entidades que operan en los sectores del agua, la energía, los transportes y los servicios postales y por la que se deroga la Directiva 2004/17/CE, entre otras más. Todas estas directivas iban encaminadas a simplificar, modernizar y mejorar la eficiencia de las normas y los procedimientos contractuales en la Unión Europea.

Centrándose en la Directiva 2014/24/UE, en ella están redactadas ciertos artículos que ya hacen mención de la nueva manera en la que Europa quiere hacer las obras públicas. En el Capítulo II de Normas Generales, en el artículo 22 referente a las "Normas aplicables a las comunicaciones" apartado 4 se lee:

"Para contratos públicos de obra y concursos de proyectos, los Estados miembros podrán exigir el uso de herramientas electrónicas específicas, como herramientas de diseño electrónico de edificios o herramientas similares."

Dando a entender en la frase “herramientas de diseño electrónico de edificios” herramientas que se utilizan en la metodología BIM. Además, en el Capítulo III Desarrollo del procedimiento Sección 1 Preparación Artículo 42 “Especificaciones técnicas” hace también mención a que deberán utilizarse especificaciones técnicas (en el Anexo VII se definen en el apartado 1 y se define norma como aquellas especificaciones técnicas convertidas en normas por organismos de normalización) de manera que da a entender que durante todo el proceso será preciso la utilización de Especificaciones, Estándares y Normas para llevar a cabo todo el proceso de licitación, contratación y obra.

La legislación española mediante la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, transpone al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE. Esta Ley es aplicable desde el 9 de marzo de 2018.

Esta Ley recoge las nuevas formas de contratación del servicio público y como apunte importante, la Disposición decimoquinta “Normas relativas a los medios de comunicación utilizables en los procedimientos regulados en esta Ley.” hace mención del uso específico de BIM, ampliando así el escrito del apartado 4 del Artículo 22 de la directiva Europea y especificando la Metodología a utilizar.

“Para contratos públicos de obras, de concesión de obras, de servicios y concursos de proyectos, y en contratos mixtos que combinen elementos de los mismos, los órganos de contratación podrán exigir el uso de herramientas electrónicas específicas, tales como herramientas de modelado digital de la información de la construcción (BIM) o herramientas similares.”

En España el Ministerio de fomento se encargó de crear el grupo esBIM. EsBIM es un grupo abierto a todos los agentes implicados en la industria AECO (administraciones, ingenierías, constructoras, universidades, profesionales...) cuya misión principal es la implantación de BIM en España. Este grupo se encargará de la creación de estrategias para el soft Landing de la Metodología BIM en el ámbito Profesional y docente a un determinado nivel de madurez, para luego aumentarlo de forma paulatina. Se encargará también de establecer la hoja de ruta en la implantación de esta metodología en el mercado Español.

Para llevar a cabo este cometido, el grupo está dirigido por la Comisión BIM. Los grupos de trabajo serán los encargados de generar los documentos y planes que permita llevar al cabo los objetivos de la comisión; estarán divididos en subgrupos y estos coordinados a través de un Coordinador. Y entre medias el Comité Técnico se encargará de la comunicación entre los grupo de trabajo y la Comisión emitiendo informes de actividad y de organizar los grupos de trabajo y de garantizar la transversalidad entre ellos ya que sus tareas y cometidos de están muy interrelacionados entre sí.

Los grupo de trabajo son los siguientes:

- GT 1 Estrategia: Tiene por objetivos definir la hoja de ruta, establecer un Mandato BIM en España y fomentar la creación e innovación de nuevos modelos de negocio.
- GT 2 Personas: Tiene por objetivos la mejora en la formación y certificación de profesionales y estudiantes, fomento de la investigación BIM y la promoción y difusión BIM.
- GT 3 Procesos: Estandarizar el uso del BIM, actualizar la normativa para su uso y adecuar los pliegos de licitación para su empleo.
- GT 4 Tecnología: Garantizar la Interoperabilidad entre plataformas de software y Afianzar el uso de Open BIM.
- GT 5 Internacional: Conocer la experiencia internacional en estrategias de implantación. Alineamiento con las iniciativas europeas. Fomentar el liderazgo de España en el proceso en Hispanoamérica.

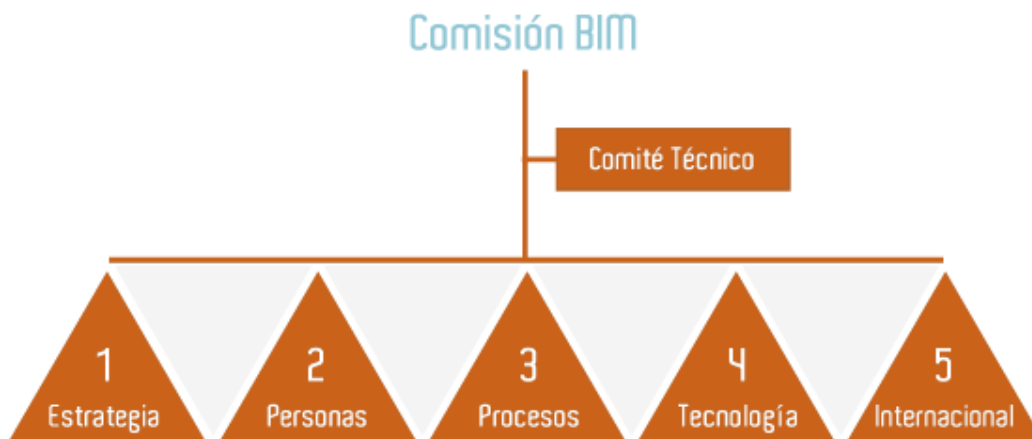


Ilustración 22. Estructura jerárquica de la Comisión BIM, el Comité Técnico y los Grupos de trabajo de esBIM. Fuente: ().

Como se puede observar, existe mucha similitud entre la estrategia de implantación que se está llevando en España con la creación de estos grupos de trabajo y la que se ha propuesto en el apartado de Metodología BIM, Niveles de Madurez BIM. Los grupos de trabajo son los Sets de competencias necesarios para poder aumentar las capacidades BIM de una organización, en este caso en España. Para ello se están elaborando Documentos desde esta comisión para poder impulsar la implantación dando herramientas en los sets de Tecnología, Procesos y Políticas. En el caso de esBIM la aplicación no parece literal y difiere un poco de la estructurada por Succar, Pero sus similitudes son muy grandes.

En cuanto a la Implantación del BIM y la hoja de ruta, esBIM propuso que sería de obligatoriedad el uso del BIM en obra pública de edificación para Diciembre de 2018 y para las obras de infraestructuras e ingeniería civil para Julio de 2019. De esta manera delimita ya el objetivo final, a la vez que genera más documentos de ayuda para la implantación en empresas y organismos públicos.



Ilustración 23. Hoja de ruta de esBIM para implantación BIM en España en licitaciones para edificación e infraestructuras. Fuente: (Comisión BIM. Intro, 2015).

2.2.3.2. Marco Político: Normativa

Para terminar con este capítulo se va a hacer una breve introducción a los organismos más importantes que hoy en día están participando activamente al desarrollo de nuevos estándares en el Mundo del BIM. Sobre los Organismos oficiales de Normalización tenemos ISO, CEN y AENOR. El primero es el Organismo Internacional de Normalización y esta activamente generando nuevas normas a través del Subcomité 13, del comité técnico 53 (ISO/TC 59/SC 13). El segundo es el Comité Europeo de Normalización y esta activamente generando normas que sean conformes a las Internacionales a través del Comité Técnico 442 (CEN/TC 442). Por último, AENOR es la Asociación Española de Normalización y Certificación, la cual participa activamente en los trabajos de estandarización BIM tanto a nivel internacional como Europeo, dentro de los Comités Técnicos que he nombrado antes, mediante el Subcomité Técnico 13 del Comité Técnico de Normalización 41 (AEN/CTN 41/SC 13).

El trabajo principal de la ISO/TC 59/SC 13 es el de crear normativa para BIM que permita el intercambio de información de todo tipo, a lo largo de toda la vida del proyecto, y entre todas las entidades que participan en el proceso. De esta manera, la ISO ha ido desarrollando diferentes documentos para poder lograr este objetivo. El estándar BIM más ampliamente reconocido para lograr este objetivo es el IFC (Insdutry Foundation Class), el cual fue adoptado como norma por el organismo ISO en la versión 4 que publico BuildingSmart.

El IFC sirve para recoger procesos, datos, términos, diccionarios y especificaciones para la coordinación de cambios. Es el estándar internacional para la compartición de datos BIM de forma abierta. Estos datos son guardados como un esquema de datos utilizando codificación XML o SPF. Estos datos codificados pueden representar todo el proyecto, un subconjunto de información del proyecto o cambios a datos del proyecto. La definición de IFC se puede encontrar en buildingSmart y también en la ISO 16739. Su especificaciones y esquema de datos (por ejemplo, para XML su XSD) se encuentran en buildingSmart.

Acompañando al IFC se encuentra también MVD (Model View Definition), desarrollado por buildingSmart y que aún no ha sido añadido como norma en la ISO, aunque pretende ser el próximo ISO 29481-3 "Building information modelling. Model View Definition". MVD trata de solucionar un problema que se encuentra dentro de un proyecto, y es el hecho de que cada agente que interviene tiene una necesidad distinta de datos, así como también que en cada fase del proyecto también es necesario otro tipo de información. MVD por lo tanto ofrece una manera de especificar el tipo de datos que es necesario a cada momento. Esto lo hace

empleando subconjuntos de parámetros del esquema IFC que satisfagan los requisitos de intercambio que se piden en el MVD. El MVD tiene la información codificada en formato XML.

De esta manera se tiene el contenedor de los datos (IFC) y la especificación que te dice que datos debes extraer para cada momento (MVD). Junto a ellos debe de estar también el IDM (Information Delivery Manual) el cual define los procesos de intercambio de la información BIM, que información debe entregarse en cada fase y de qué modo. EL IDM está definido en las parte uno y dos de la ISO 29481 "Building information modelling. Information delivery manual.". La parte 1 "Methodology and Format" fue desarrollada por buildingSmart para determinar y especificar procesos de transmisión de información a lo largo de la vida útil de una instalación. La metodología sirve para poder generar un documento sobre un nuevo o existente proceso que describa la información que se pasa entre los diferentes agentes. Después se pueden generar especificaciones sobre esa información a compartir (MVD) para implementarlo en el software, parte imprescindible para que el IDM sea operacional.

Es necesario además el uso de una terminología común para todos para que todos los agentes dentro del proyecto puedan entenderse. De esta manera nace el IFD (International Framework for Dictionaries), el cual se define desde la ISO 12006-3 "Building construction. Organization of information about construction works. Part 3: Framework for object-oriented information" como la taxonomía con la que definir conceptos mediante propiedades, permite agrupar propiedades y define las relaciones entre los objetos. En pocas palabras IFD crea un catálogo de objetos que se ponen en común con fabricantes de dichos objetos para que añadan características de sus productos. En buildingSmart se dispone de un diccionario de datos (bSDD) el cual contiene objetos y sus atributos en diferentes lenguas y en términos generales. Después se deben encargar los desarrolladores software de crear sobre esta librería objetos más específicos.

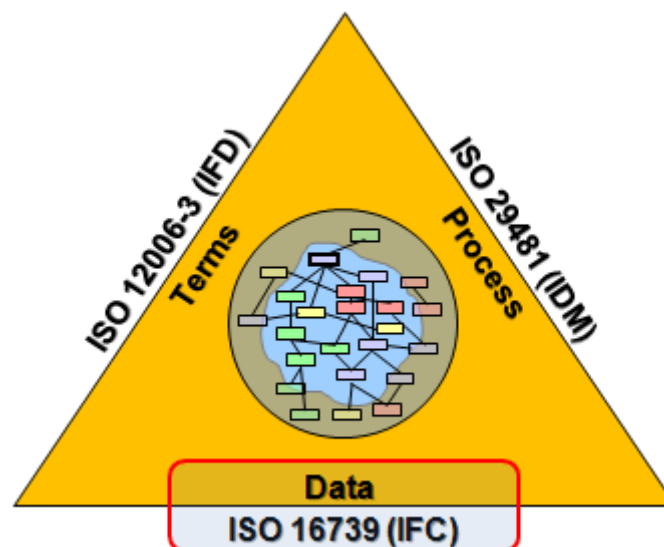


Ilustración 24. Relación entre IFC, IDM y IFD. Fuente: (buildingSmart, n.d.).

Actualmente ISO está trabajando juntamente con el comité técnico 211 (ISO/TC 211, Geographic information/Geomatics) a través del proyecto ISO/NP 19166, Geographic Information. BIM to GIS conceptual mapping (B2GM) junto con otros comités relacionados de forma transversal con BIM. Además, buildingSmart y OGC (Open Geospatial Consortium) se

han aliado para crear un nuevo estándar llamado InfraGML que servirá para la información geoespacial e infraestructuras.

En cuanto a la adopción de las ISO, actualmente CEN tiene asimiladas las normas ISO 16739, ISO 12006 e ISO 29481, que son IFC, IFD e IDM respectivamente.

Particularidades en interoperabilidad IFC para la Ingeniería Civil, Infraestructuras.

En este apartado se va a hablar sobre los estándares de comunicación que se han visto anteriormente, pero desde el punto de vista de la Ingeniería civil y sus obras, ya que el avance respecto al ámbito de la construcción no es el mismo.

Desde BuildingSmart están trabajando en el contenedor de datos IFC para introducirlo también al ámbito de las infraestructuras. Ahora mismo buildingSmart ya tiene IFC Alignment como estándar final para este sector, el cual permite pasar la información sobre la alineación de la obra lineal durante todas las fases del proyecto entre los diferentes agentes. En este estándar hubo una muy fuerte colaboración con el OGC LandInfra Group, el cual ayudo a la creación de modelos conceptuales y los casos de uso de este estándar. Junto a este estándar también están en proceso de desarrollo IFC Road e IFC Bridge, los cuales tendrán vinculado el estándar de alineación.

IfcAlignment	
GlobalId	11:11
OwnerHistory	10:11
Name	10:11
Description	10:11
HasAssignments	S10:??
Nests	S10:11
IsNestedBy	S10:??
HasContext	S10:11
IsDecomposedBy	S10:??
Decomposes	S10:11
HasAssociations	S10:??
ObjectType	10:11
IsDeclaredBy	S10:11
Declares	S10:??
IsTypedBy	S10:11
IsDefinedBy	S10:??
ObjectPlacement	10:11
Representation	10:11
ReferencedBy	S10:??
PredefinedType	10:11
Horizontal	10:11
Vertical	10:11
LinearRefMethod	10:11

Esquema de la clase IFC Alignment para infraestructuras. En él se detalla que elementos y atributos tendrá asociados. Los correspondientes al cuadrado verde son:

- GlobalId: Este id es un cadena de 22 caracteres codificada y comprimida. Este identificador identifica de forma única a los objetos IFC.
- OwnerHistory: Este elemento define la información del objeto referida al software que creo el objeto y su usuario, así como el último que modifiko dicho objeto.
- Name: Nombre que identifica al usuario.
- Description: Descripción que identifica al usuario.

Ilustración 25. Esquema de la clase IfcAlignment. Fuente: (buildingSmart, 2015).

El siguiente conjunto hace referencia a la posición de la alineación y a como se va a representar dicha alineación. El primero tiene el elemento IfcLocalPlacement, el cual define la posición relativa del Producto respecto a otro o la posición absoluta del producto mediante el contexto de representación geométrica del proyecto. El segundo define la representación de la alineación, tanto en 2D (la línea) mediante FootPrint Curve2D y también en 3D (la alineación) mediante Axis Curve3D. Las líneas 2D se dibujarán como horizontales o verticales. Se deberá comprobar que la obtención 3D a partir del cómputo horizontal-Vertical es correcta en caso de que llegue la información de FootPrint y Alignment.

Product Local Placement

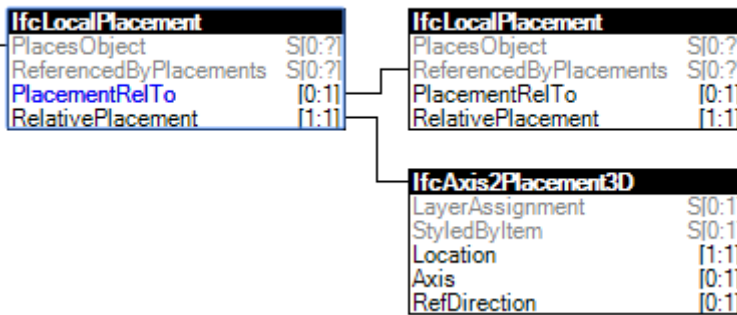
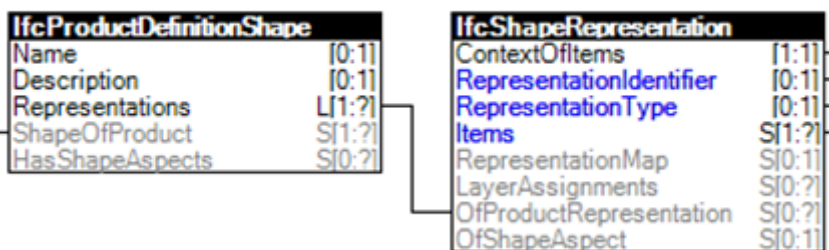


Ilustración 26. Esquema de IfcLocalPlacement con sus clases hijas. Fuente: (buildingSmart, 2015).

Axis 3D Geometry



FootPrint Curve2D Geometry

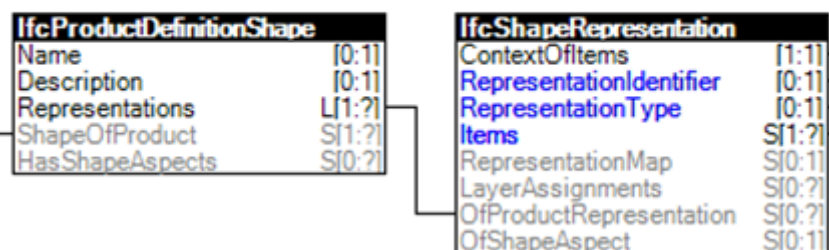


Ilustración 27. Esquema de los sistemas de representación para las alineaciones: Axis 3D y FootPrint 2D. Fuente: (buildingSmart, 2015).

Nota: Un producto puede ser un Elemento (Generalización de todos los componentes que hacen un producto de la industria AEC, por ejemplo: Muros, puertas, pilares.), un Elemento de posición (Este es el nuevo producto donde se encuentra alijado el de alineación; Sirve para posicionar y anotar elementos que son usados para posicionar otros elementos de forma relativa), o un elemento espacial (Es la generalización de todos los elementos espaciales que puedan ser usados para definir una estructura espacial o definir zonas espaciales.).

Por último, el recuadro azul son los atributos de la Alineación, los cuales son:

- PredefinedType: Puede tomar valores entre "Absolute", "userdefined", "notdefined".
- Horizontal: IfcAlignment2DHorizontal, está compuesto por segmentos que están definidos por geometría de curva: Arco circular (IfcCircularArcSegment2D), Clotoide (IfcClothoidalArcSegment2D) y Recta (IfcLineSegment2D).
- Vertical: IfcAlignment2DVertical, está compuesto también por segmentos que son: Acuerdo Vertical Circular (IfcAlignment2DVerSegCircularArc), Recta

(IfcAlignment2DVerSegLine) y Acuerdo Vertical parabólico (IfcAlignment2DVerSegParabolic).

- LinearRefMode: Es una descripción de cómo se están posición los elementos de una alineación. Por ejemplo, Puntos kilométricos.

En estos momentos ya se está trabajando para sacar adelante los modelos de datos para IFC Road y para IFC Bridge, los cuales sin duda revolucionaran el mundo de la construcción de las obras lineales.

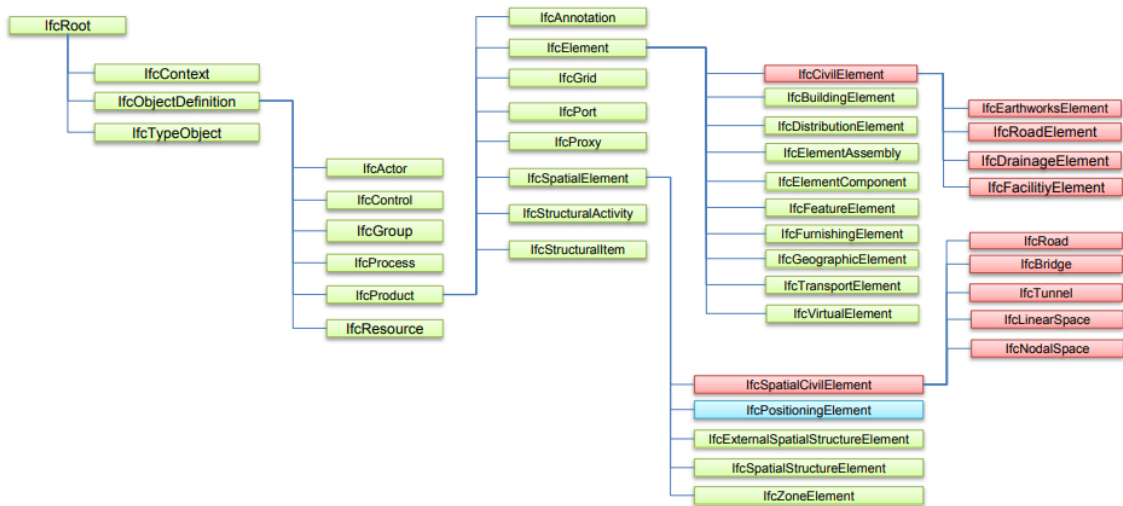


Ilustración 28. Imagen del posible esquema que tendrá IfcRoad y sus distintas clases. Fuente: (Chica Ramos et al., 2017).

OGC, Land And Infrastructure Domain Working Group (LandInfraDWG), ha desarrollado InfraGML. La idea surgió de la actualización del estándar ya utilizado en el ámbito de infraestructuras, LandXML, el cual tenía ciertos problemas a juicio del grupo LandInfra del OGC (entre ellos no cumplía con los estándares del OGC) y por lo tanto decidieron empezar de cero trabajando con un subconjunto de LandXML.

De esta manera, se tienen dos formatos de archivos para almacenar los datos de las obras de infraestructuras a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura. Es por eso que, durante el desarrollo de ambas, tanto buildingSmart como OGC han estado colaborando conjuntamente en ambos proyectos para poder definir cuándo se debe utilizar cada uno de estos formatos durante el ciclo de vida del proyecto.

2.3. Elementos y características de la Metodología BIM

En este subapartado se va a hablar sobre características que son importantes en la metodología BIM pero que no se ha querido incluir en los apartados anteriores para facilitar la lectura de los puntos y no hacer demasiado extensos los capítulos. Sin embargo, en todo momento se enlazarán estos elementos que se van a describir ahora con los ya comentados para no perder la perspectiva de conjunto.

2.3.1. Dimensiones del BIM

Las dimensiones BIM no deben confundirse por las capacidades ni la madurez BIM, no son niveles que se deban superar para poder alcanzar un mayor desarrollo en esta metodología. Pero sí que están relacionadas con el nivel de madurez, ya que a mayor nivel de madurez o mayor capacidad BIM es posible Aumentar el nivel de dimensiones con las que se pueden trabajar en el modelo.

Y esta es la siguiente parte, las dimensiones tienen que ver con el modelo y como se trabaja con él. En un principio el modelo es tridimensional el cual tiene información geométrica de la forma y tamaño del objeto. Una vez se ha llegado a un nivel de madurez suficiente que permite la colaboración entre los distintos grupos de trabajo y se ha establecido un entorno de colaboración, es posible poder añadirle más información a ese modelo. Por ejemplo, se le pueden añadir los tiempos de su construcción, de su mantenimiento, el coste de los materiales para su construcción, el coste de su transporte. Cuanta más información tenga el objeto mejor serán los análisis que se podrán hacer sobre el modelo.

2.3.1.1. Dimensión BIM 3D

El modelo 3D es la maqueta virtual que expresa de forma visual, además de otras maneras, los conceptos de diseño las 3 dimensiones espaciales básicas (alto, largo y ancho). Ha sido usada hasta ahora para la visualización del proyecto, detección de colisiones entre las diferentes partes, y paseos virtuales por la construcción. Y no solo eso, también ha permitido un aumento de la colaboración y una mejora en los procesos de diseño y construcción gracias a la posibilidad de controlar de forma visual la construcción durante esas fases.

Este modelo no solo cuenta con los atributos geométricos y visuales que se ha dicho antes, también tiene asociados características funcionales y físicas de cualquier material o producto real: peso, resistencia, fabricante, garantía, ... lo que abre un abanico enorme de posibilidades y supone una pieza clave en la industrialización de la construcción.

Pero la visualización que trajo la dimensión 3D BIM no fue suficiente para poder obtener una entrega de la obra rápida. Fueron apareciendo nuevas dimensiones debido a la necesidad de llegar al verdadero potencial que podía entregar BIM, realizando actividades como sostenibilidad, control sobre los activos, accesibilidad, control sobre la seguridad, ahorro energético, Se presentan en los siguientes puntos las dimensiones más aplicadas a día de hoy.



Ilustración 29. Imagen de "A1 Major Corridor" entre North East England y Yorkshir. Fuente: (Carillion, Morgan Sindall, AECOM and Grontmij, 2015).

2.3.1.2. Dimensión BIM 4D

La cuarta dimensión trae consigo uno de los factores más importantes en un proyecto de construcción: el tiempo. Gracias a la cuarta dimensión estamos añadiendo a nuestro modelo información de tiempo a nivel de programación de la obra, cuánto cuesta de construir, cuanto tardaría en estar operativo y otros aspectos dentro del proyecto BIM.

Tal y como se ha dicho antes, estas dimensiones son posibles gracias a que los equipos del proyecto están conectados al modelo de forma simultánea. De esta manera, si al modelo compartido se le añade también la información temporal, entonces los encargados de hacer la programación de eventos en la construcción son capaces de dar forma a propuestas en etapas de la construcción tempranas.



Ilustración 30. Ejemplo de un modelo 4D BIM. Fuente: (NIBT, n.d.)

2.3.1.3. Dimensión BIM 5D

Esta dimensión te permite saber cuál va a ser el presupuesto de un proyecto en cualquiera de sus etapas. De esta manera siempre tendremos a mano, asociado a los objetos del modelo BIM, su coste de compra e instalación, los costes una vez esté en marcha y los costes de su reemplazo o su mantenimiento.

Una de las ventajas de sacar el coste de la información del modelo es que los datos se pueden adquirir en cualquier momento a lo largo de un proyecto, y por lo tanto la información que alimenta los costes está siendo actualizada siempre. Esto ayuda a un mejor diseño del presupuesto y a que los encargados del coste del proyecto participen más activamente desde el inicio del proyecto.

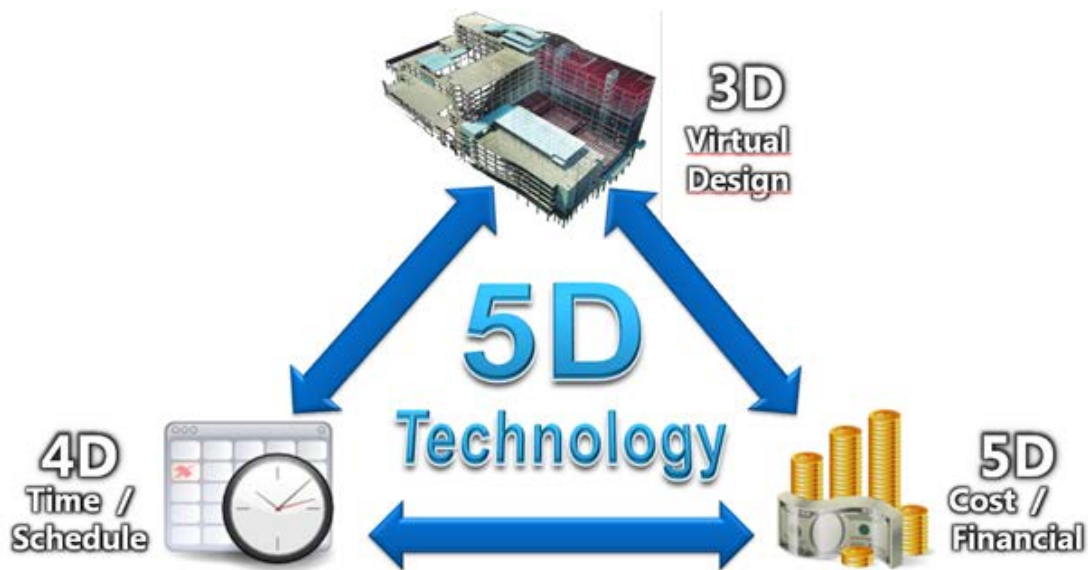


Ilustración 31. Fuente: (RIB U.S.COST, 2013).

En cuanto a las siguientes dimensiones, si bien es cierto que por la red discurren las dimensiones 6 y 7 (en algunos casos incluso la octava dimensión), según un estudio realizado por (referencia al documento de dimensiones BIM) el consenso sobre que significa esas dimensiones, la sexta y la séptima, no es muy elevada, habiendo discrepancias sobre lo que significan las dos.

En este estudio el acuerdo que hay sobre lo que significan las dimensiones cuarta y quinta es amplio, por lo que se ha decidido explicar cuáles son sus beneficios y que significan. En cuanto a las dimensiones sexta y séptima la discrepancia ocurre en que no saben ponerse de acuerdo entre si se refieren a Sostenibilidad, Seguridad o Gestión de las instalaciones. En un 86% de los encuestados dicen que el la dimensión 6D hace referencia a la Sostenibilidad y la dimensión 7D hace referencia a la gestión de las instalaciones en un 85% (los porcentajes hace referencia a la decisión de un elemento de definición sobre cuatro para una de las dimensiones).

Dado que no hay cierta conformidad respecto a estas dos dimensiones, se considera que no se van a explicar en este texto.

2.3.2. Nivel de detalle de los objetos BIM

El nivel de detalle o también llamado en inglés LOD (Level of Development) es un término definido en 2008 por el Instituto Americano de Arquitectura (AIA) el cual define una escala que informa como de detallado está un objeto BIM a nivel geométrico y de información. Tras esto, BIM Fórum (el portal de buildingSmart US) en el año 2011 empezó el desarrollo de las especificaciones de LOD definiendo los niveles a partir de las realizadas por la AIA pero a excepción de que no incluyó el último nivel especificado por la AIA (500) y que definió un LOD que estuviera entre el nivel 300 y el 400 que proporcionara un nivel de detalle suficiente para el control de coordinación entre varias disciplinas.

Las definiciones de los LOD realizada por BIM Fórum, y que son una interpretación de las dadas por la AIA son las siguientes:

LOD 100: Son representaciones no geométricas del objeto. Ejemplos serían información adjunta a un objeto B sobre el objeto A, símbolos que representen al objeto, pero no en forma, tamaño o localización exacta. La información que se extraiga de este tipo de objetos será información aproximada.

LOD 200: Objetos genéricos de emplazamiento. Pueden ser objetos con una forma que se asemeje ya a la definitiva o solo objetos que traten de reservar el lugar donde irá el objeto de mayor nivel de detalle. Al igual que el nivel 100 debe tomarse como información aproximada.

LOD 300: El objeto está definido por cantidad, tamaño, forma localización y orientación y se puede medir directamente sobre el sin tener en consideración anotaciones adjuntas al objeto. El objeto se encuentra colocado de forma precisa en el modelo.

LOD 350: Este nivel es un paso superior al nivel 300 ya que las partes necesarias para la coordinación entre los diferentes objetos del modelo han sido modeladas. Estas partes incluirán soportes y conexiones. El resto de las características son heredadas del nivel 300.

LOD 400: En este nivel el objeto está detallado de manera que puede ser construido a partir de los componentes que lo componen. El resto de las características las hereda de los niveles 350 y de 300.

Es importante saber los diferentes niveles de detalle que tendrán los objetos ya que en el EIR se especificarán que en el modelo entregado los objetos tengan cierto nivel de detalle para su posterior mantenimiento, por lo tanto, en el BEP se deberán especificar como se irán modelando los objetos en las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto. Es por eso que el LOD no se refiere a la totalidad del proyecto sino a como de detallados o definidos están los objetos del modelo.

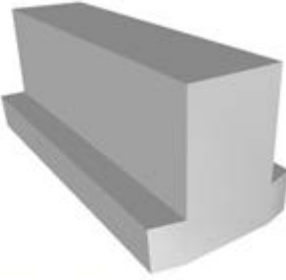
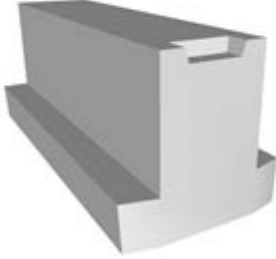
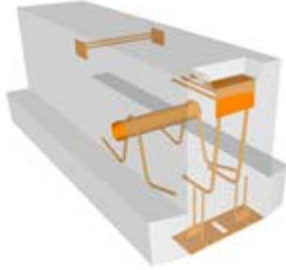

<p>200</p>	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> Type of structural concrete system Approximate geometry (e.g. depth) of structural elements 	 <p>15 B1010 10-LOD 200 Precast Structural Inverted T Beam (Concrete)</p>
<p>300</p>	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> Specific sizes and locations of main concrete structural members modeled per defined structural grid with correct orientation All sloping surfaces included in model element with exception of elements affected by manufacturer selection 	 <p>16 B1010 10-LOD 300 Precast Structural Inverted T Beam (Concrete)</p>
<p>350</p>	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reinforcing Post-tension profiles and strand locations Reinforcement called out, modeled if required by the BXP, typically only in congested areas Chamfer Pour joints and sequences to help identify reinforcing lap splice locations, scheduling, etc. Lifting devices Expansion Joints Embeds and anchor rods Post-tension profile and strands modeled if required by the BXP Penetrations for items such as MEP Any permanent forming or shoring components 	 <p>17 B1010 10-LOD 350 Precast Structural Inverted T Beam (Concrete)</p>
<p>400</p>	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> All reinforcement including post tension elements detailed and modeled Finishes 	 <p>18 B1010 10-LOD 400 Precast Structural Inverted T Beam (Concrete)</p>

Ilustración 32. Ejemplo de Niveles de detalle desde el nivel 200 hasta el 400 para una estructura de hormigón prefabricada en forma de T invertida. Fuente: (LEVEL OF DEVELOPMENT SPECIFICATION PART I, 2017).

3. Herramientas BIM.

Tal y como se comentaba en el apartado de Niveles de Madurez BIM, la metodología BIM y su implantación tiene como campos de los cuales se nutre la Política, los Procesos y la Tecnología. A lo largo de los primeros puntos hemos visto los Procesos y luego la política y que papel desempeñan dentro de esta metodología.

Ahora es momento de hablar sobre la Tecnología. Y por tecnología se referirá a las herramientas software que se usan para el modelado BIM, en concreto sobre las de diseño. Existen otras herramientas que ayudan en las diferentes fases del proyecto y también sobre procedimientos que están durante todo el proyecto (como por ejemplo el CDE, las cuales serían herramientas de colaboración), pero para no hacer muy extenso el texto y centrarse más en un apartado, se profundizará sobre en las herramientas de diseño.

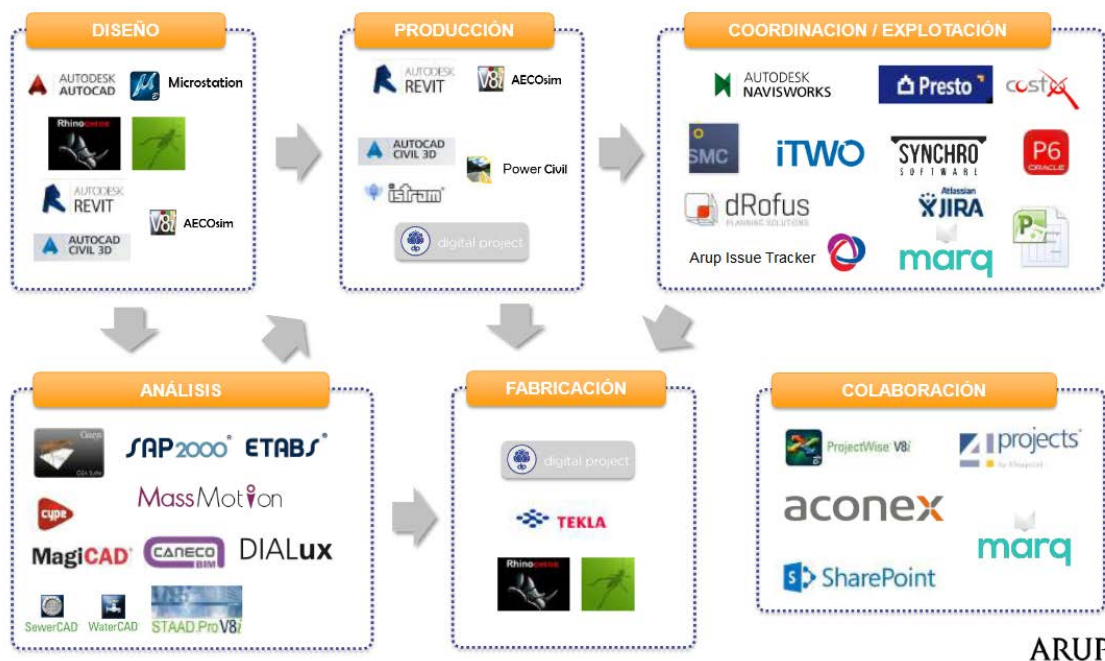


Ilustración 33. En esta imagen se muestran las herramientas más utilizadas según el objetivo que se tenga en el proyecto (Diseño, producción, coordinación, análisis, fabricación, colaboración). Fuente: (Gonzalez, 2016).

Y dentro de las herramientas de diseño, esta sección del documento se centrará en las que ofrecen soluciones para la Ingeniería civil, concretamente en las de obras lineales. Desarrolladores como Autodesk y Bentley han sacado al mercado herramientas que ayudan precisamente a esta parte de diseño. Los softwares en cuestión son Infracore y Openroads respectivamente.

“Estas plataformas están orientadas al campo de la pre-ingeniería y se focalizan en realizar una planificación previa del encaje y en el análisis del impacto de las infraestructuras sobre el terreno. Su utilidad se centra en proporcionar información para la toma de decisiones en las etapas tempranas de diseño.” (Jardí Margalef, 2016).

Es decir, que se va a poder trabajar con información cartográfica a la vez que se realiza el estudio de la obra lineal, permitiendo que su estudio sea más rápido y eficaz respecto a lo que

se hacía hasta ahora. Aunque el estudio no será de forma genérica y servirá como estudio preliminar a realizar el diseño correcto de la obra lineal, permitiendo realizar estimaciones importantes sobre el movimiento de tierras (dependiendo del MDE o de la nube de puntos) y como encajara en el territorio (gracias a que se pueden importar datos geográficos podemos saber ya de primera una estimación sobre posibles afecciones que pueda dar lugar la nueva construcción).

Una vez que ya se tiene definida la alternativa, es momento de pasar a su diseño constructivo. Para ello se utilizan diferentes herramientas: Por ejemplo, para la alineación en planta y perfil, así como sección tipo y el trazado de la obra lineal nos encontramos con AutoCAD Civil 3D, Clip (de Tools), OpenRoads (la versión de diseño), Mdt, Istram-Ispol, y muchas más.

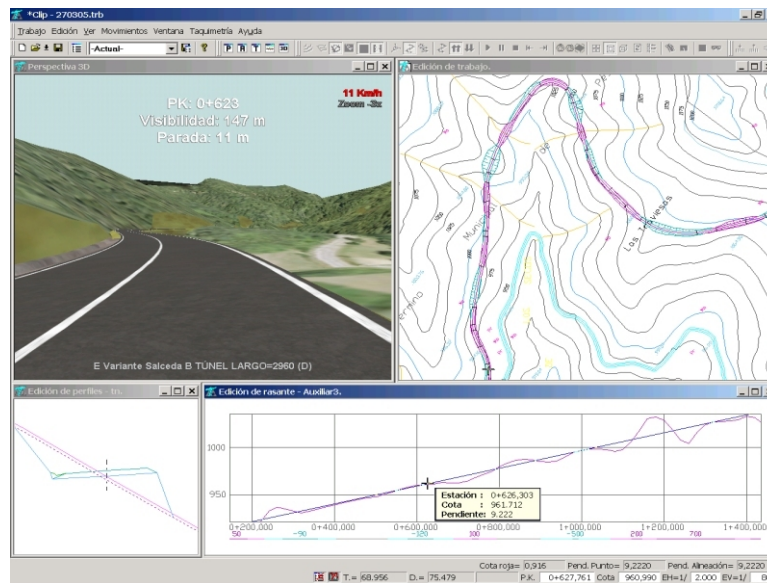


Ilustración 34. Imagen de una obra lineal en Clip. Fuente: (CooperativaCamino, n.d.)

Mediante Programas como Revit y AECOSim se pueden desarrollar los modelos de las estructuras que tendrán la obra lineal. Se pueden también aprovechar herramientas de dibujo paramétrico como son Dynamo, Flux IO, Rhino-Grasshoper, Tekla Structures, los cuales permiten realizar un modelado de estructuras más complejo.

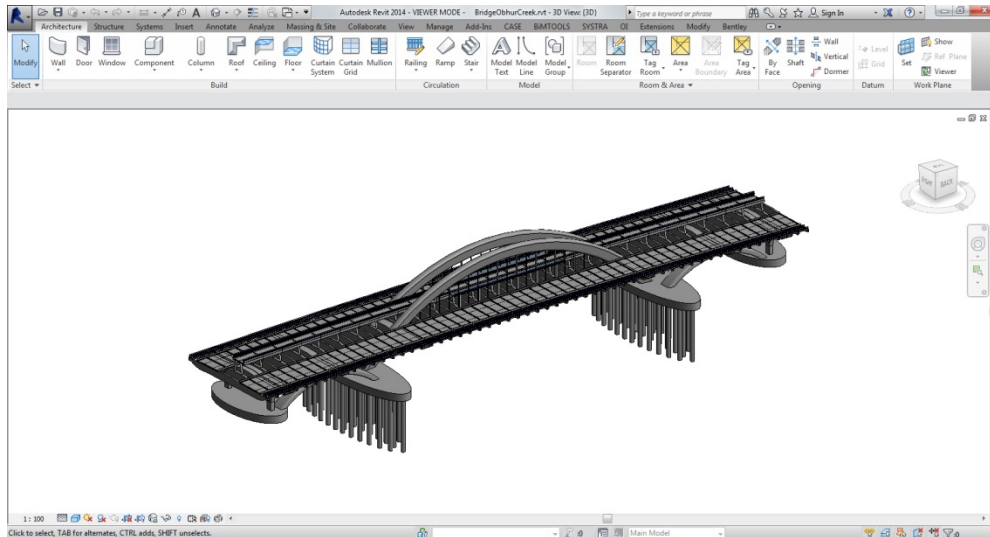


Ilustración 35. Imagen que muestra la modelización de un puente utilizando la herramienta Revit. Fuente: (BIM42, 2015).

Y además este modelo se puede también exportar a softwares específicos para el cálculo de estructuras como son SAP 2000, ROBOT, RM Bridge entre otros.

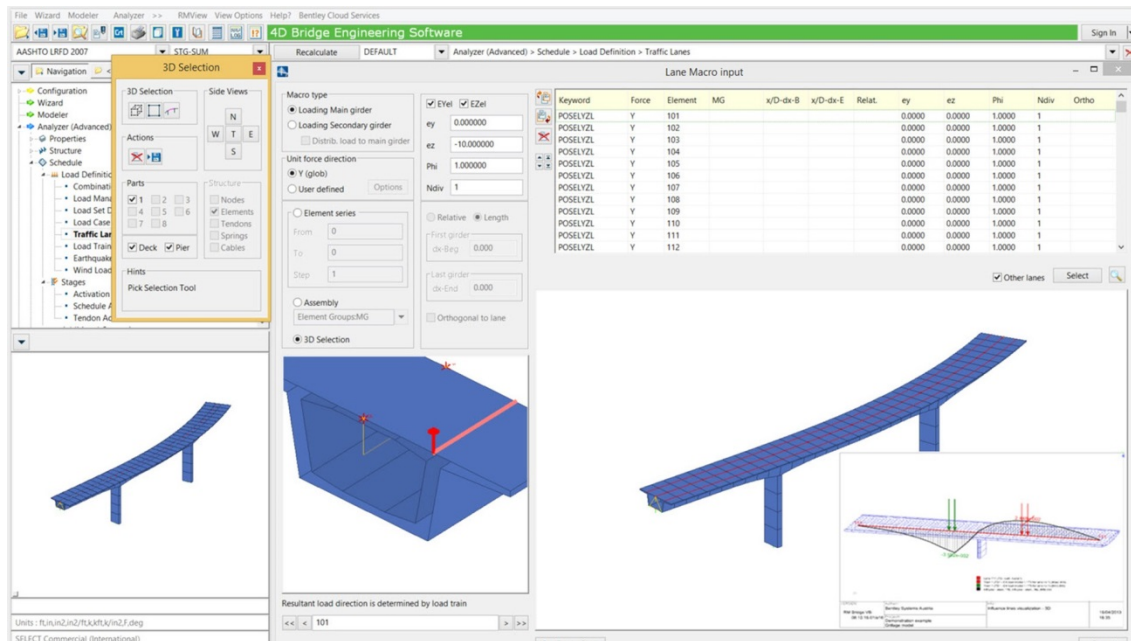


Ilustración 36. Imagen del análisis de la carga de un puente debido al tráfico. Fuente: (Bentley, 2017).

En cuanto a la red de drenaje, un factor muy importante dentro de la obra lineal para mantenerla y evitar que esta se dañe por lluvias y corrientes de agua. Desde los softwares de modelado de trazado se pueden realizar el modelado de la red de drenaje superficial longitudinal y transversal, y desde otros como HECRAS se pueden realizar modelización hidráulica para conectarlas al software de trazado donde se esté realizando el diseño del drenaje.

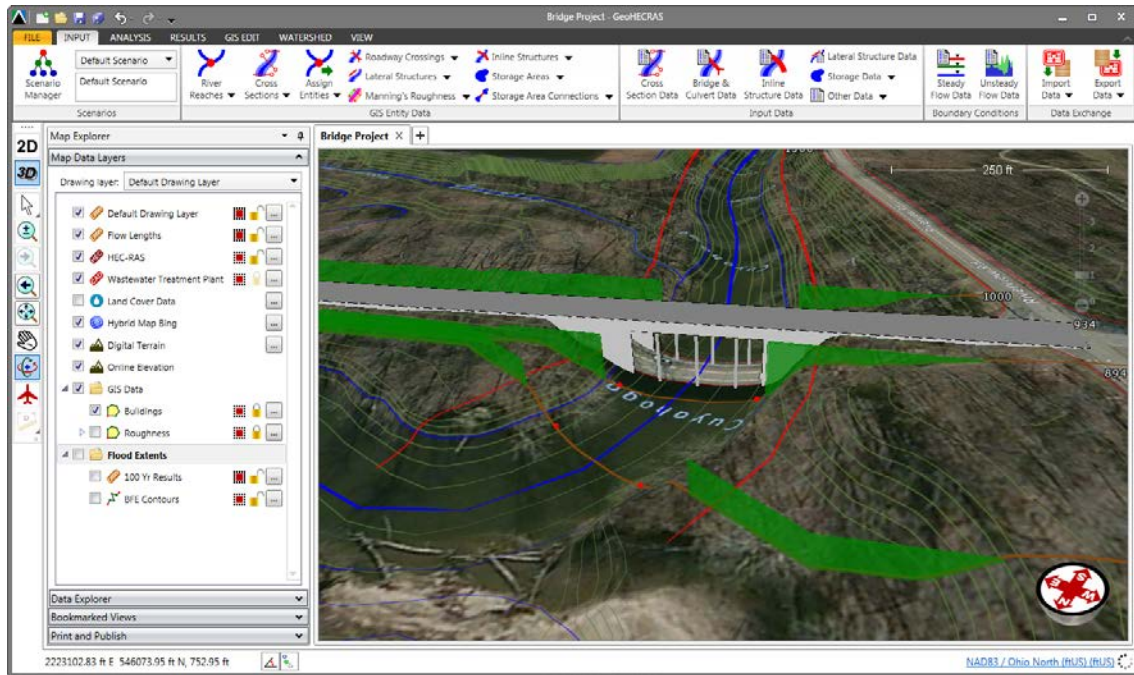


Ilustración 37. Ejemplo del diseño de una estructura teniendo en cuenta el análisis hidráulico del entorno mediante GeoHECRAS. Fuente: (CivilGeo, n.d.)

Todo este traspaso de información entre las diferentes herramientas es posible gracias a que todas ellas soportan el traspaso de archivos LandXML e IFC (introducido ya en el apartado 2.2.3.2 Maco Político: Normativa). El formato LandXML es hasta ahora el mejor en cuanto a la interoperabilidad, ya que la transmisión de datos es mucho más satisfactoria que IFC, el cual aún está un poco en una etapa temprana en las infraestructuras. Pero para el traspaso de información de estructuras IFC es el que se utiliza para la metodología BIM.

Dada la cantidad de herramientas que existen, se ha considerado oportuno centrarse en una de las que aúne todos los elementos importantes de diseño de una obra lineal. Es por eso que para estudiar la Metodología BIM en la Ingeniería Civil, concretamente en las obras líneas, se va a utilizar Autodesk Infracore para el desarrollo de Anteproyectos. Esta herramienta permite realizar un estudio previo del diseño de una carretera o una línea de ferrocarril de una forma rápida y potente, permitiendo obtener respuesta a un estudio de alternativas en tan solo unas horas. Por lo que se va a profundizar en este proyecto con ella.

3.1. Infracworks: Herramienta BIM para la Ingeniería Civil.

Como bien se ha dicho en el apartado anterior, el siguiente paso dentro de este trabajo será estudiar la Metodología BIM en las Obras líneas utilizando la herramienta Infracworks. Esta Herramienta está centrada en el apartado de diseño o estudio previo a la realización de un proyecto, o lo que es lo mismo, el Anteproyecto de una obra lineal. Es por eso por lo que su objetivo final es el de servir como una herramienta de análisis de diferentes alternativas, apoyándose en cartografía, datos geográficos y demás, que permiten desarrollar las alternativas en un entorno más realista.

Como se ha dicho, este software no está pensado para desarrollar todo el trazado y las estructuras, así como las obras de drenaje, a nivel de proyecto, aunque se acerca bastante a ese punto. Las obras lineales que se generan en este software se hacen sobre una cartografía que en principio no ha sido adquirida de forma intencionada para el proyecto (aunque sí que se podría), por lo que está atada a las imprecisiones que la cartografía tiene por su atributo temporal.

Además, no solo existe el problema de que la cartografía no está actualizada para el emplazamiento de la obra, también se debe pensar que los diseños de las carreteras, así como de las estructuras y del drenaje hechos por este programa no son detallados, es decir, no se genera los elementos a nivel de construcción ni de proyecto. Sí que se puede modelizar estos elementos hasta un nivel de preingeniería, generando una primera idea de lo que se quiere construir, pero luego estos objetos deberán pasarse a otros softwares que si permiten modelizar a nivel de proyecto o de ingeniería.

Un apartado muy interesante acerca de este software es que permite compartir el Modelo que se está trabajando en la nube. Este servidor remoto esta mantenido por Autodesk y permite que haya colaboración entre distintos equipos de trabajo del proyecto BIM. Gracias a esta nube se puede generar un grupo de trabajo con un administrador y otros 3 roles más (Publisher, Author y Reader). El rol de Publisher tendrá más privilegios que el rol de Author, y lo mismo pasa con el de Reader.

Infracworks también tiene una ventaja y es que, al estar dentro de la suit de Autodesk le permite tener una muy buena interoperabilidad con las herramientas que están dentro de esta suit, haciendo que el trabajo entre distintas disciplinas. Como es el trazado de la carretera a nivel de ingeniería mediante el programa Civil 3D o el diseño y análisis más específico de las estructuras que se vayan a construir (como son túneles y puentes) mediante la herramienta Revit. Pero gracias a que Infracworks puede exportar el modelo a formato de archivo LandXML e IFC se puede también trabajar el modelo bajo otros programas; Aunque para llegar al nivel de colaboración que tiene Autodesk entre sus softwares sería necesario construir un repositorio igual que permitiera poder actuar a todos a la vez.

Antes de pasar al desarrollo de anteproyectos utilizando esta herramienta, se van a plantear una serie de características importantes un poco más detalladas que las que se han expuesto aquí para saber de qué manera se va a trabajar y que se debe tener en cuenta para poder llevar a cabo el proyecto.

3.1.1. Características importantes de Infraworks.

3.1.1.1. Modelado.

Uno de los apartados más importantes del modelo generado en Infraworks es la cartografía. Nada más crees el modelo, ya sea el autogenerado por ellos (Model Builder) como el que te puedas generar tu por tu cuenta (New Model) va a necesitar una cartografía que de contexto espacial a ese modelo.

En el caso de Model Builder se conecta a OpenStreetMap (OSM) para rescatar del archivo XML (.osm) los datasets de Vías de comunicación (carreteras y ferrocarriles) así como el Dataset de Edificios y el de Hidrografía para poder añadirlos al modelo. También rescata las imágenes satélite desde el servidor Bing Maps de Microsoft las cuales proyecta sobre el Modelo de elevaciones. El MDE que carga en el modelo es el DEM USGS de 10 metros para la zona de EEUU, y luego si estas entre -60° y 60° de latitud te carga el MDE SRTMGL1 de 30 metros de resolución.

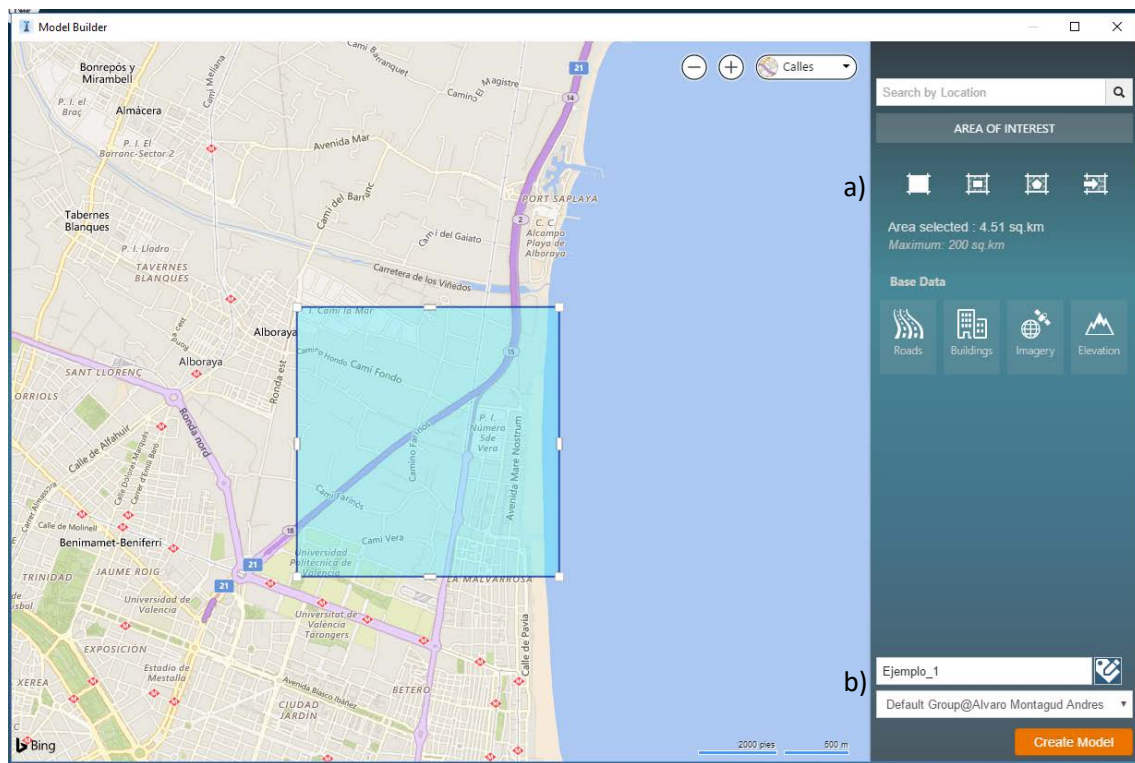


Ilustración 38. Imagen que muestra el entorno de usuario para crear un nuevo modelo. a) Como se puede observar, se puede seleccionar una área en concreto. b) Cuando lo creas en Model Builder debes guardar el proyecto en la nube de forma obligatoria. Fuente: (Infraworks, 2018).

Como se puede apreciar, el origen de los datos es obtenido de servidores muy globales, donde la temporalidad no es muy buena o la cantidad de datos es deficiente. Por ejemplo, el MDE de SRTMGL1 se obtuvo en el año 2000 por lo que no estará muy actualizado, y su resolución en horizontal es de 30 metros y en vertical de 10 metros (Cowan & Cooper, 2004). Otro ejemplo más es el de OpenStreetMap, donde los Datasets de cartografía son ampliados y actualizados por usuarios de forma voluntaria y que puede no estar del todo completa en la zona que vayas a trabajar. En el caso del Dataset de edificación no parece estar muy completo pues le faltan ciertos datos apreciables por comparación con las imágenes aéreas de BingMaps.

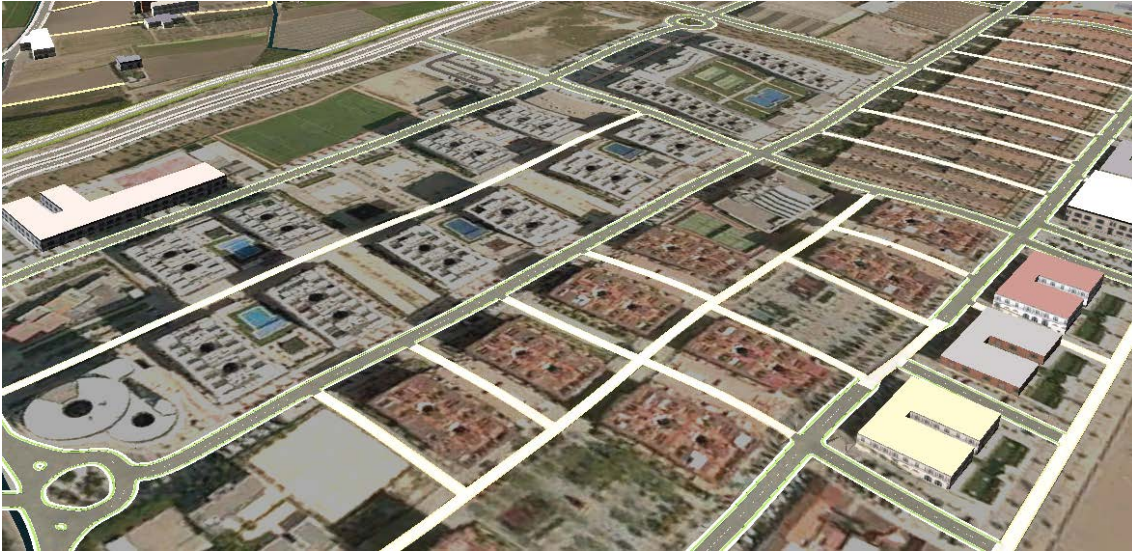


Ilustración 39. Imagen extraída de un Modelo ejemplo donde se puede ver que la completión en cuanto a datos cartográficos del dataset de edificaciones no es muy buena. Fuente: (Infraworks, 2018).



Ilustración 40. Imagen extraída del mismo Modelo ejemplo, donde se observa la generalidad del Modelo de elevaciones. Se nota que a la hora de obtener el MDE se ha tomado todo en su conjunto (Terreno y Superficie), dejándolo poco viable para zonas Urbanizadas o de cambios grandes de altitud, ya que la resolución suaviza dichos cambios. Fuente: (Infraworks, 2018).

Como se puede observar, se puede realizar un estudio de alternativa utilizando estos datos, pero hay que tener en cuenta que no estarán del todo completos y que el estudio será menor en calidad.

Es posible, sin embargo, generar un modelo de forma manual accediendo a New Model y por lo tanto utilizar datos cartográficos que si se sepa con certeza su procedencia y su calidad. En este caso el modelo se debe crear teniendo en cuenta una zona específica donde encajar el trabajo (una extensión que o bien se pone de forma manual o se adjunta un archivo georreferenciado que delimite la zona, como por ejemplo un shp, un ecw, un tif, un dem, etc.). Como pasos adicionales, aunque también necesarios, se puede modificar el sistema de coordenadas que utilizara el modelo (pudiéndose elegir un sistema de coordenadas para la visualización y otro sistema de coordenadas para los datos que se guarden en la base de

datos.) así como también se puede cambiar la normativa a la que estará atado el diseño de la carretera que se haga.

3.1.1.2. Normativa de Diseño

Respecto a la normativa sobre el diseño de carreteras, solo están disponibles dentro del programa las de AASHTO 2011 (en unidades métricas e imperiales) de origen estadounidense y DMRB (en unidades métricas) de origen británico. El que más se parece a nuestra normativa de diseño de carreteras es AASHTO, por lo que se realizarán los futuros desarrollos de alternativas siguiendo esta normativa.

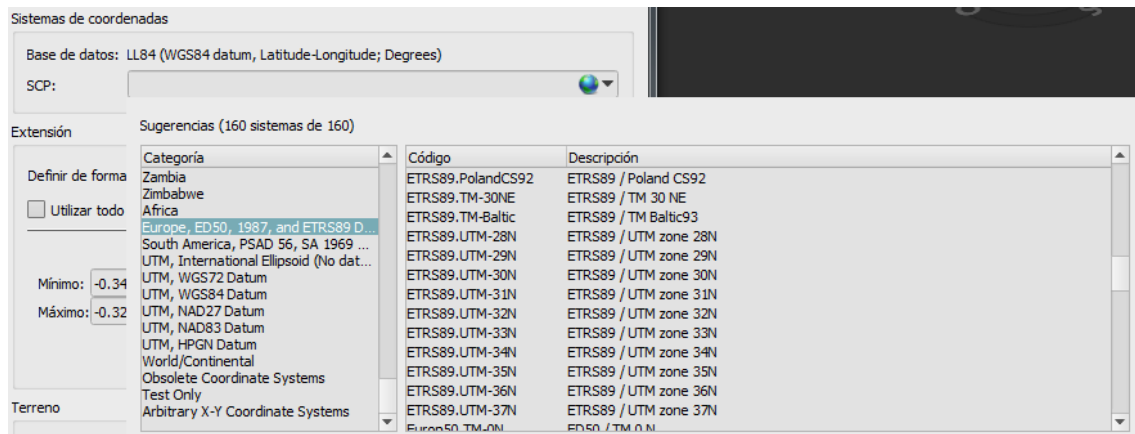


Ilustración 41. Imagen ejemplo de los sistemas de coordenadas y de referencia que soporta el programa InRoads. Fuente: (InRoads, 2018).

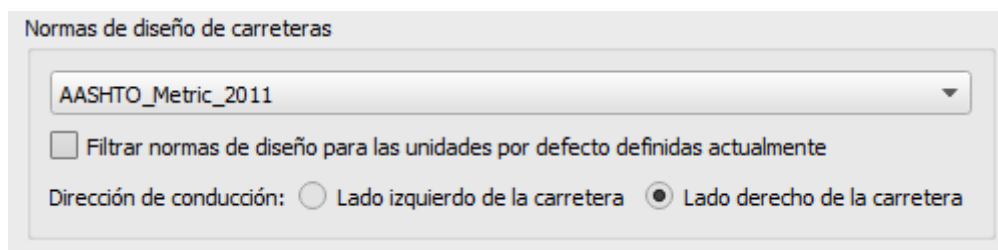


Ilustración 42. Imagen sobre el menú de selección de normas de diseño de carreteras a utilizar en el modelo. Además, se puede seleccionar el lado de dirección de conducción. Fuente: (InRoads, 2018).

3.1.1.3. Modelo de datos y estilos de visualización

Un aspecto no necesario, pero también importante es que se puede añadir nuevos esquemas de datos a los que ya tiene el programa, por lo que se pueden crear nuevas clases o subclases de datos con atributos heredados de clases del programa y con atributos nuevos. Estos atributos nuevos suelen venir de la cartografía que hemos importado al modelo para trabajar, de manera que tendremos una nueva clase de objeto en el modelo que soportará y tendrá los atributos con los que se quiere trabajar. Los esquemas se entregan al programa en formato schema.json, en el cual se estructura en:

- Clases: se indica el nombre de la clase, el de la clase de referencia y si tiene atributos. Los atributos pueden ser de tipo String, Integer, Boolean y Double.
- Visualización (Displays): Sirve para definir como se verá el nombre de la clase y atributos en la paleta de atributos. Se identifica la clase o atributo, como se quiera mostrar, la categoría a la que pertenecerá y la prioridad de posición (si estar más arriba o debajo de los otros atributos).

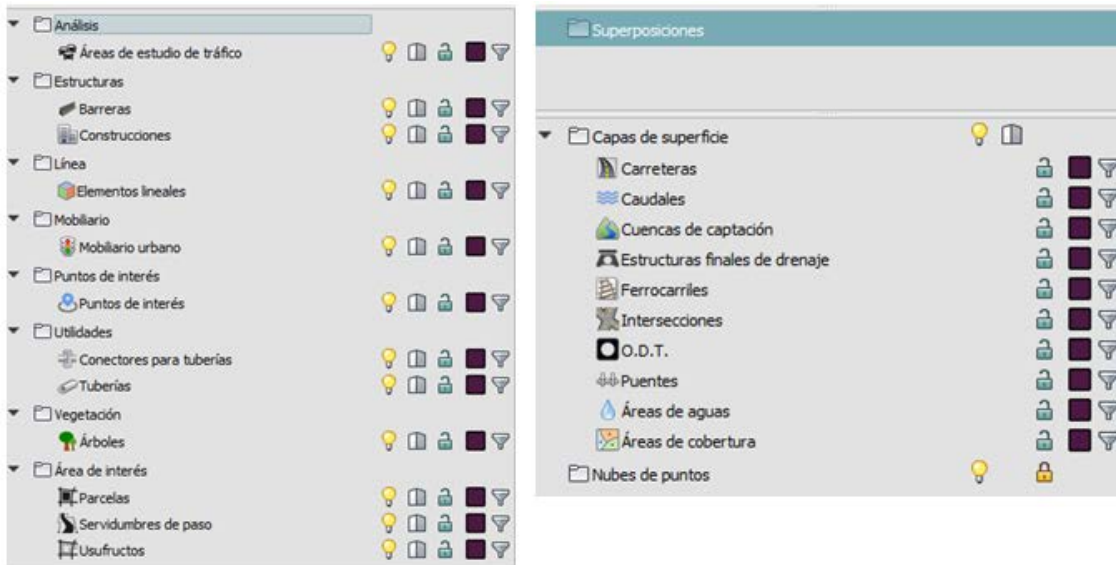


Ilustración 43. Imagen con las categorías o Clases que existen por defecto en el modelo de datos de un modelo en InfraWorks. A partir de ellas se pueden generar nuevas clases con nuevos atributos. Fuente: (InfraWorks, 2018)

```

{
  "Classes": [
    {
      "name": "CARRETERAS",
      "base": "ROADS",
      "Attributes": [
        {
          "name": "PAVIMENTO",
          "type": "String"
        },
        {
          "name": "PINTURA",
          "type": "String"
        }
      ]
    }
  ],
  "Display": {
    "en": [
      {
        "name": "CARRETERAS",
        "displayName": "Carretera",
        "category": "Surface Layers"
      },
      {
        "name": "PAVIMENTO",
        "displayName": "Pavimento",
        "category": "Carretera custom",
        "priority": "1"
      },
      {
        "name": "PINTURA",
        "displayName": "Pintura",
        "category": "Carretera custom",
        "priority": "2"
      }
    ]
  }
}

```

A modo de ejemplo, se va a añadir en un modelo de datos una clase que se llame Carretera. Esta nueva clase tendrá la misma función que la de Carreteras, pero con la salvedad de que para guardar dentro de su tabla los atributos de "Pavimento" y "Pintura", los dos de tipo String. El código empleado para conseguir esto es el que aparece en la imagen de la izquierda. Las clases base se deben de poner en inglés, al igual que el tipo de dato y la categoría de la clase si va estar dentro de una ya construida.

Una vez se han efectuado los cambios se pueden comprobar accediendo al explorador del modelo. Aparecen las dos clases, la base de Carreteras (la original y base) y la nueva clase Carretera; y si se accede a la tabla de atributos de la clase de Carretera se pueden ver los dos atributos Pavimento y Pintura que se han creado para dicha base.

Ilustración 44. Código empleado para el ejemplo. Fuente (Propia)

De esta manera se pueden crear clases dentro de los modelos que tengan atributos que los datos cartográficos de entrada tenían y con los cuales se querían trabajar en el modelo. Esto se puede hacer a la hora de crear el modelo o bien añadiendo el esquema en el directorio

C:\Users\almonan\Documents\Autodesk InfraWorks Models\Autodesk 360\ID del Modelo al que quiera añadirse el esquema\Nombre del modelo.files\unver

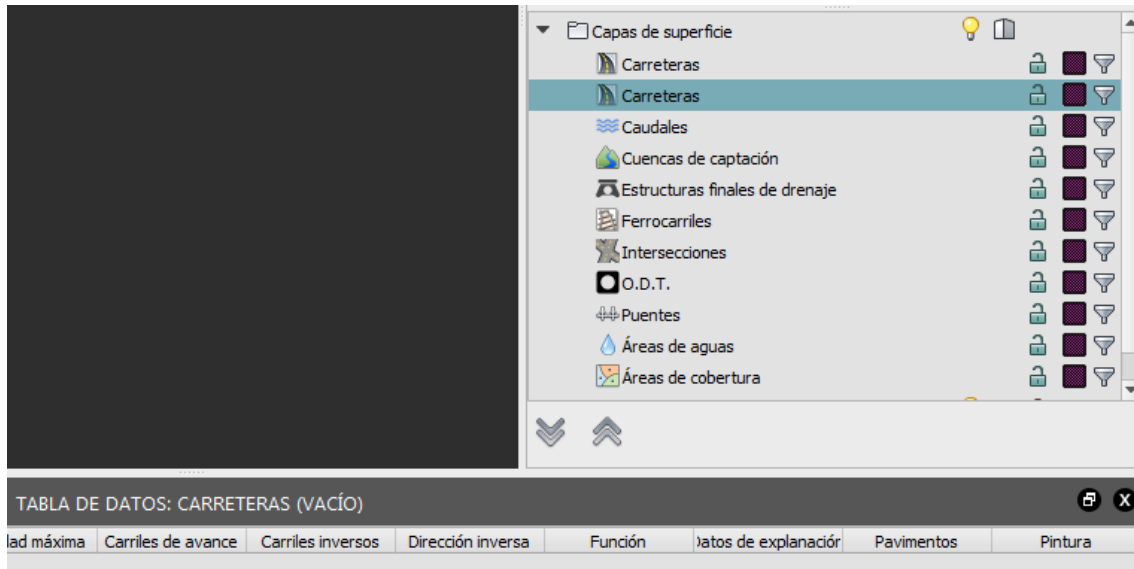


Ilustración 45. Imagen que ilustra el resultado del ejemplo. La clase Carreteras creada tiene los atributos nuevos Pavimentos y Pintura. Fuente: (Infraworks, 2018).

Hasta aquí terminaría la introducción a las características a tener en cuenta para crear el proyecto, aunque también se pueden utilizar durante él. Otra característica muy importante del modelo en InRoads, una vez se está trabajando ya sobre el modelo, es que se pueden generar estilos para representar los elementos cartográficos importados. Por ejemplo, una carretera importada desde una cartografía se le adjudica un tipo de estilo: 2 carriles, de doble sentido, con arcenes a los lados y farolas. Otro ejemplo sería la importación de elementos tipo edificios y que cuando se importen tengan un estilo determinado: La fachada X, con un tejado Y.



Ilustración 46. Imagen que ilustra la asignación de estilos a los elementos vectoriales. En este caso a este camino se le ha asignado de forma automática un estilo de carretera con acera y carril bici además de postes de hormigón para la seguridad de los peatones. Fuente: (Infraworks, 2018).

La asignación de estilos que hace InRoads es mediante las "Reglas de estilo". Cuando se crea el modelo mediante el asistente de Model Builder la asignación de estilos a los elementos que se importan es definida por el programa, por lo que puede ponerte un estilo que no es el que toque para el elemento que estas importando. Aun así, después de importar los datos también

se pueden modificar los estilos de regla utilizados, realizando un filtrado por tipo y aplicando un estilo. (Cuando se hagan las reglas de etilos, explicar aquí con algo más de detenimiento.)

En el caso de que se quiera importar los datos de forma manual sí que existe la opción de utilizar un campo de la tabla de atributos de ese elemento para poder aplicar reglas de estilo sobre él. De tal forma que, si tenemos una capa vectorial con redes de transporte y un atributo que diferencia para cada segmento el tipo de vía que es, se podría aplicar un estilo para su modelado.

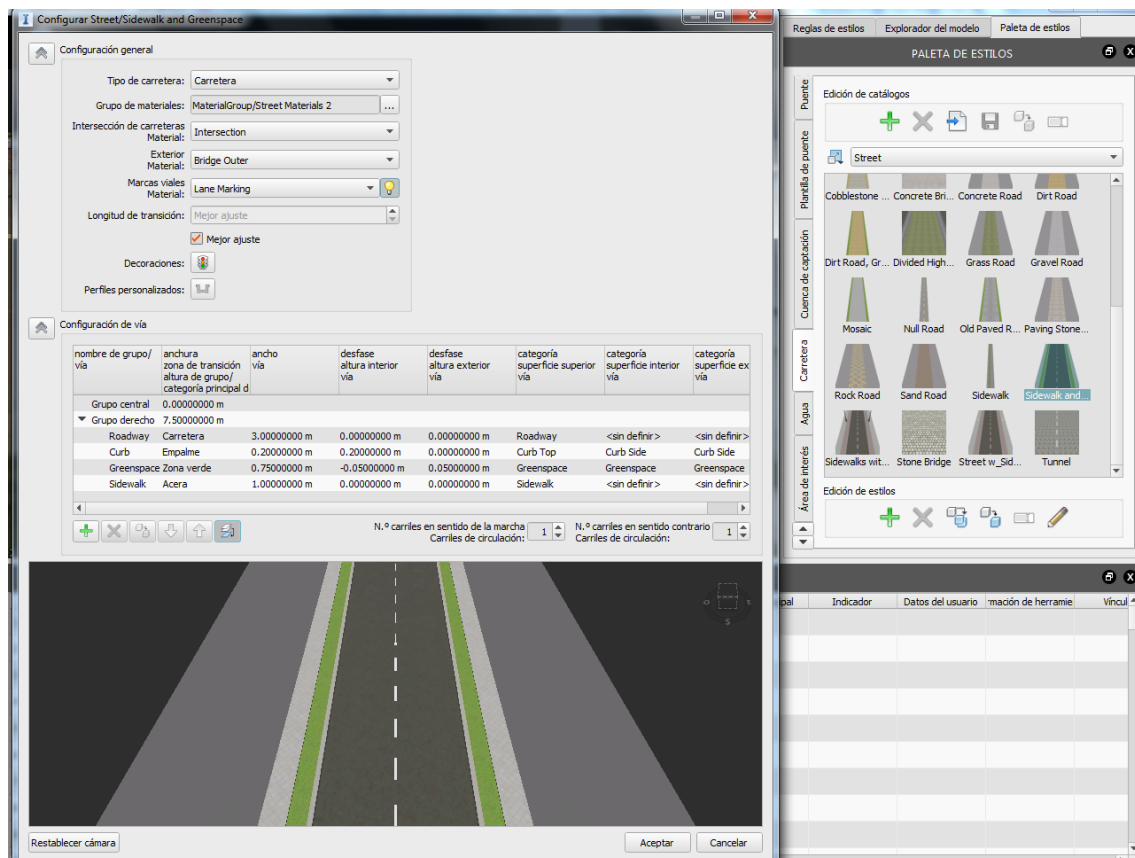


Ilustración 47. Imagen ejemplo de la paleta de estilos para carreteras con un ejemplo de carretera. La definición es bastante detallada de los elementos que tendrá dicha carretera. Fuente: (Infracworks, 2018).

Los estilos están en armonía con los niveles de detalle o LOD que en el capítulo anterior “Metodología BIM” se habló. Infracworks te permite definir el estilo de una carretera de manera de una manera muy detallada, definiendo anchos de carriles, arcenes, bermas, cunetas, etc. Pero no va más allá, no te permite definir las capas de la sección tipo de la carretera para que la apliques a los elementos que se importan.

No solo los estilos entran dentro del LOD sino también el emplazamiento de los elementos existentes y nuevos, así como también su diseño técnico/ingeniería. Desde el punto de vista del emplazamiento, a no ser que se trabaje con coordenadas directamente extraídas de un estudio previo topográfico de la zona nunca será un emplazamiento real, ya que la carretera no estará asentándose en el suelo de la realidad virtualizada. Desde el punto de vista del diseño técnico, Infracworks permite realizar la alineación del trazado en horizontal y vertical, pero, así como aplicar peraltes a lo largo del trazado y generar secciones tipo. Pero al no poder aplicar capas a las secciones tipo no se está desarrollando en su totalidad el diseño.

Todos estos factores confieren al modelo que se genere en Infracworks un LOD máximo de 200, ya que los objetos no están del todo detallados y su emplazamiento aun es del todo preciso (a no ser que se utilice cartografía de proyecto tomada adrede). De esta manera se confirma que Infracworks sirve como herramienta de diseño, y no de proyecto para la construcción de la infraestructura. Pero como se verá en los siguientes puntos, el programa dota de herramientas muy potentes para el diseño de carreteras y permite obtener muy buenos resultados en muy pocas horas.

3.1.1.4. Diseño geométrico

Para terminar con este punto de características importantes de Infracworks, se hablará sobre la diferenciación que hace el programa con las carreteras en función de si están en la etapa de boceto, de diseño o de componentes. En el orden que está escrito, el detalle de diseño de la carretera va en aumento.

Una carretera de boceto o planificación es el estado primigenio de la carretera, es el estado en el que Infracworks convierte los elementos vectoriales a objetos del modelo cuando los representa por primera vez, por lo que su detalle en carácter de diseño es bajo. Desde un primer momento puede incluirse atributos como su Función, la velocidad máxima, el número de carriles de avance e inversos. Estos atributos pueden ponerse de forma manual, aplicando filtros de selección o si están ya en los atributos de los datos importados importarlos a los del modelo.

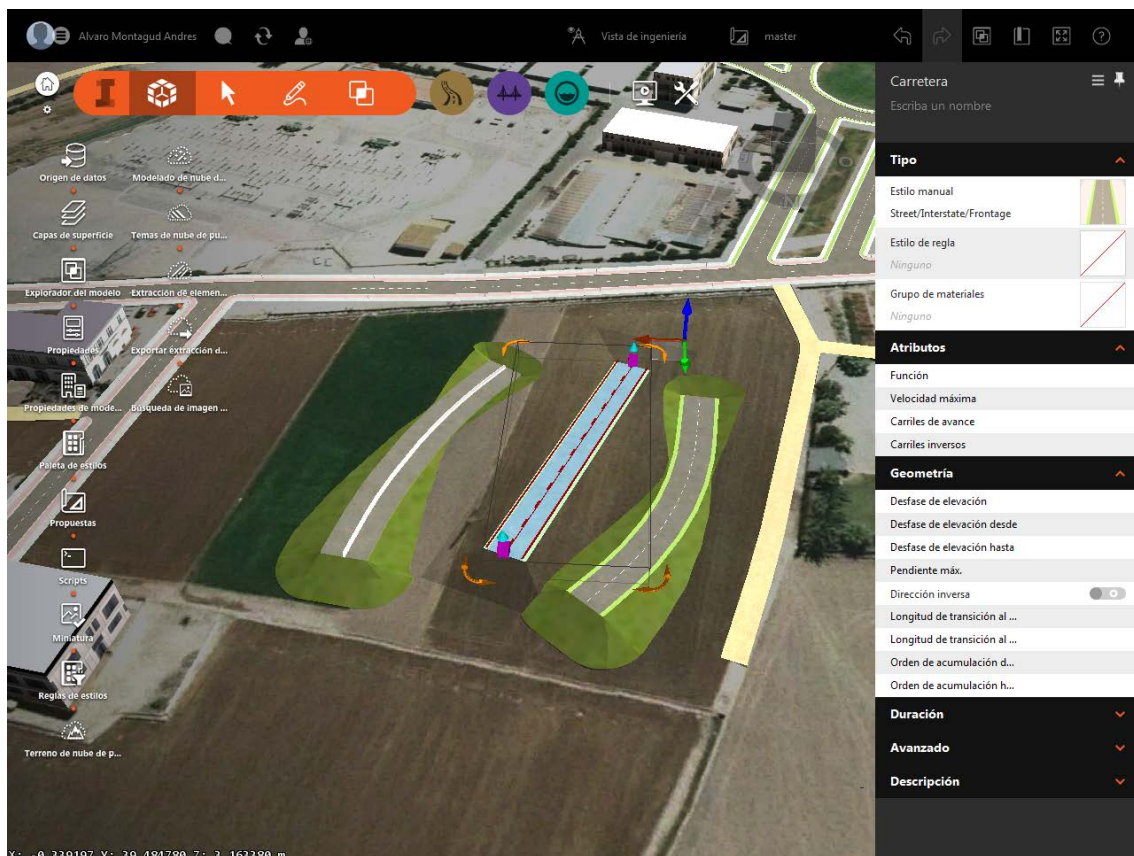


Ilustración 48. Imagen ejemplo de un elemento de carretera en u nivel boceto. Aparte de los atributos descritos también se pueden especificar otros atributos referentes a su geometría. Fuente: (Infracworks, 2018).

Un atributo interesante es el “Orden de acumulación” de inicio y fin de tramo. Este atributo guarda un valor numérico que indica el stack o jerarquía respecto a otros elementos de

carretera. Si el stack de un elemento es superior al del otro, entonces el elemento superior ira siempre por arriba del inferior. En caso de ser iguales y no superar una cierta altura se mantendrá una intersección y no generará un paso elevado o uno inferior.

El siguiente tipo de carretera es la de Diseño. En este estadio de carretera ya es posible modificar atributos de la misma referentes a su diseño: Su geometría en cuanto a la alineación horizontal y vertical del trazado, permitiendo definir radios de curvas horizontales y que se evalúen a través de la velocidad de proyecto especificada para el tramo (Atributos → Velocidad) y acuerdos verticales parametrizados por pk y altura del vértice del acuerdo y la longitud del acuerdo. Las curvas horizontales pueden ser modificadas para que se apliquen clotoides en la transición de peraltes y curvatura.

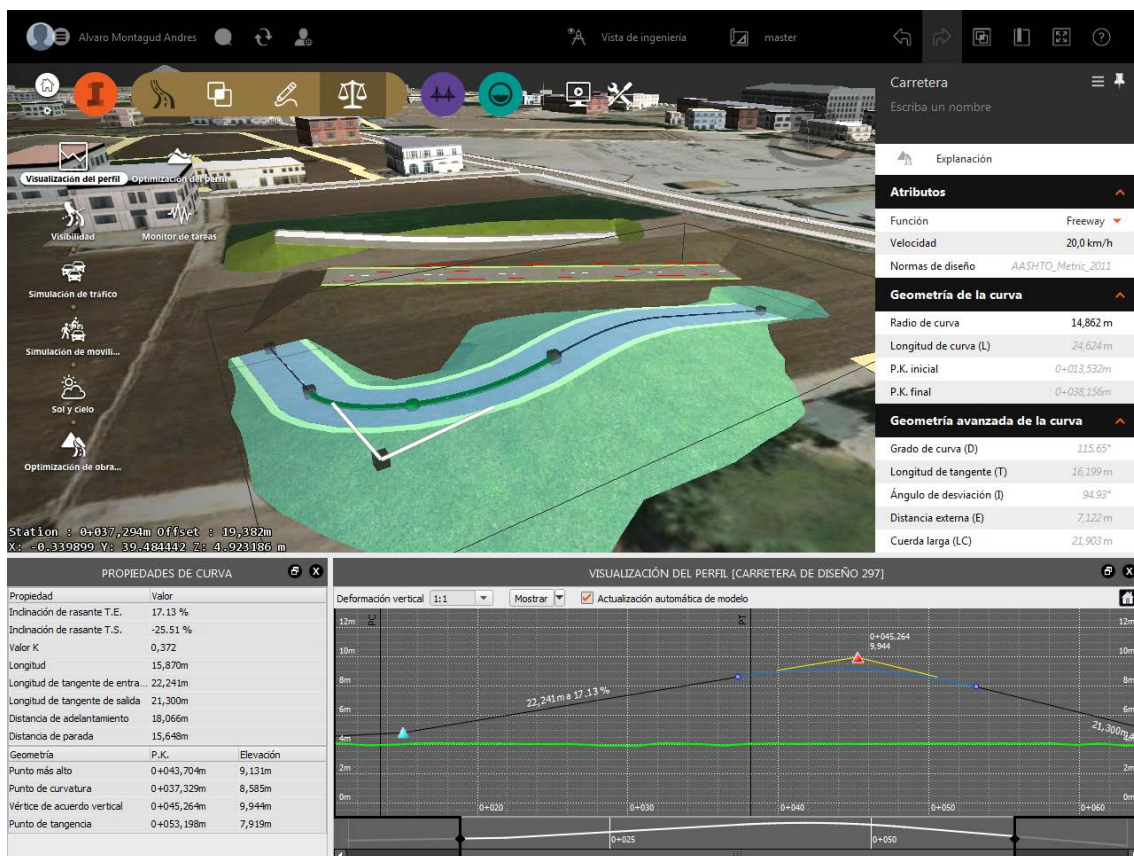


Ilustración 49. Imagen ejemplo para visualizar las propiedades geométricas de alineamiento vertical y horizontal de un trazado de carretera. En la parte central se ve el modelo con el tramo y sus puntos de trazado. A mano derecha se ven las características geométricas de la curva horizontal. En la parte inferior se encuentra el perfil longitudinal del trazado junto con las características geométricas del acuerdo vertical en el lado izquierdo. Fuente: (Infraworks, 2018).

Además de profundizar acerca de la geometría del trazado, también se pueden definir características como: Estilo de carretera, donde se define la función de la carretera (proporcionada por la normativa de diseño de carreteras asociada al modelo) y la velocidad de proyecto de tramo; Carriles de avance e inversos, donde se especifican el número de carriles para cada uno de los casos; Y por último la explanación (Talud y desmonte), donde se puede diseñar dejando fija la pendiente o la anchura de la explanación.

Para terminar, solo queda hablar sobre el último escalafón de etapas del diseño de una carretera, y ese es el de la carretera compuesta. En este tipo de carreteras se puede modificar y añadir elementos de la carretera de forma separada como son los carriles, las medianas, los

bordillos, las aceras, las cunetas y los “hombros” (buscar significado de shoulder). De esta manera se puede configurar los componentes principales que tendrá el trazado para que se adapte a las necesidades del proyecto.



Ilustración 50. Ejemplo de un componente de carretera. El carril derecho está seleccionado y pueden modificarse tanto el material del que está hecho, su anchura, su profundidad y la pendiente. Fuente: (Infraworks, 2018).

No es lo único nuevo que trae consigo la carretera de componentes, en esta etapa también se puede añadir peraltes a los trazados, estudiar las secciones transversales del trazado, permite modificar los taludes de forma separada, permite realizar transiciones entre carriles y trazados, permite la optimización del trazado en horizontal y vertical y también análisis de visual.

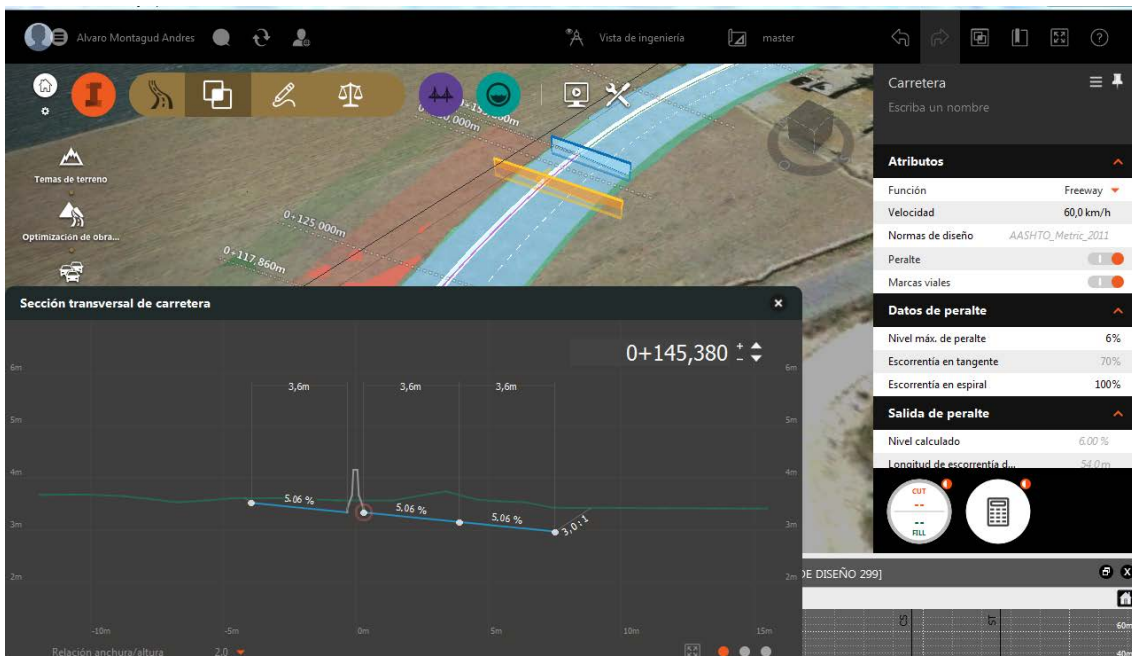


Ilustración 51. Imagen ejemplo de los peraltes aplicados a un trazado compuesto y vista de la sección transversal en la curva de transición. Fuente: (Infraworks, 2018).

Todas estas herramientas permiten realizar un diseño de la carretera muy detallado, las cuales se utilizarán a lo largo del punto siguiente para desarrollar las alternativas que se propondrán.

Existen otras herramientas relacionadas con el diseño de puentes las cuales se mostrarán en el punto siguiente mientras se desarrollan las alternativas.

3.1.2. Exportación del modelo.

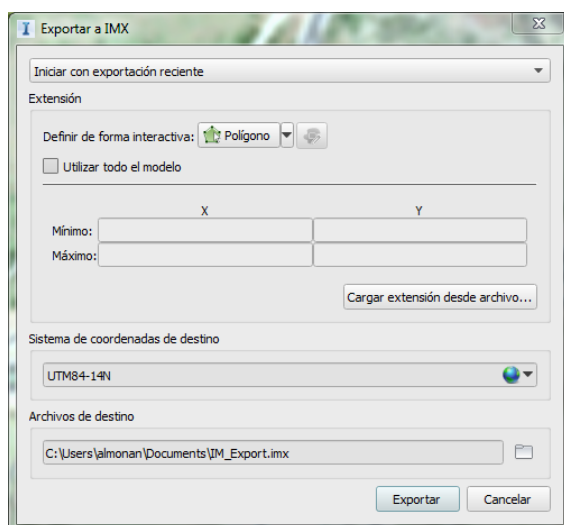
Una vez terminado con el modelo este puede ser exportado. Las exportaciones no son tan amplias como lo son las importaciones, en las cuales se pueden importar modelos 3D (.3DS, .DAE, .DXF, .FBX, .OBJ), CityGML (.CITYGML, .GML, .XML), IFC (versiones 2x, 2x3, 4), Raster(.ADF, .ASC, .BT, .DDF, .DEM, .DT0, .DT1, .DT2, .GRD, .HGT, .DOQ, .ECW, .IMG, .JP2, .JPG, .JPEG, .PNG, .SID, .TIF, .TIFF, .WMS, .XML, .VRT, .ZIP, .GZ), SHP, entre otros; e incluso puede hacer conexiones con bases de datos y bases de datos geográficas (Microsoft SQL Server, ESRI ArcSDE, SQLite, PostgreSQL) y también permite conectarse a servicios del OGC como son WFS y WMS para poder obtener información geográfica a través de una infraestructura espacial (Help.autodesk.com, 2018), el mismo programa guarda los modelos en una base de datos con SQLite. Esta última característica es incluso más atractiva teniendo en cuenta que puedes disponer de la información geográfica en la base de datos y realizar operaciones de análisis espacial sobre ella al a vez que la trabajas la parte de diseño desde Infracworks, aumentando su potencial.

Pero cuando se trata de exportar Infracworks se queda muy corto. Las únicas posibilidades de exportación que hay desde Infracworks son: IMX (Civil 3D), FBX (3ds Max, Navisworks), OBJ (Wavefront), DAE (Collada™). Las dos últimas permiten poder pasar los modelos 3D a otros softwares de visualización y modelización 3D. Sí que es verdad que desde los Softwares de Civil 3D o Navisworks es posible realizar la conversión del modelo en otro formato de archivos más interoperable como es IFC o LandXML, pero entonces necesitas de un programa externo que te permita poder exportar a esos tipos de archivos.

En este apartado se va a estudiar como pasar el modelo al software AutoCAD Civil 3D para posteriormente poder exportarlo a los formatos de archivo IFC o LandXML que podrán servir como plataforma de interoperabilidad entre otros softwares de Auditoria de trazado como se han visto en el punto de Herramientas BIM.

3.1.2.1. De Infracworks a AutoCAD Civil 3D.

Estos dos softwares al estar dentro de la misma suite de Autodesk pueden compartir información de una forma muy cómoda y sencilla.



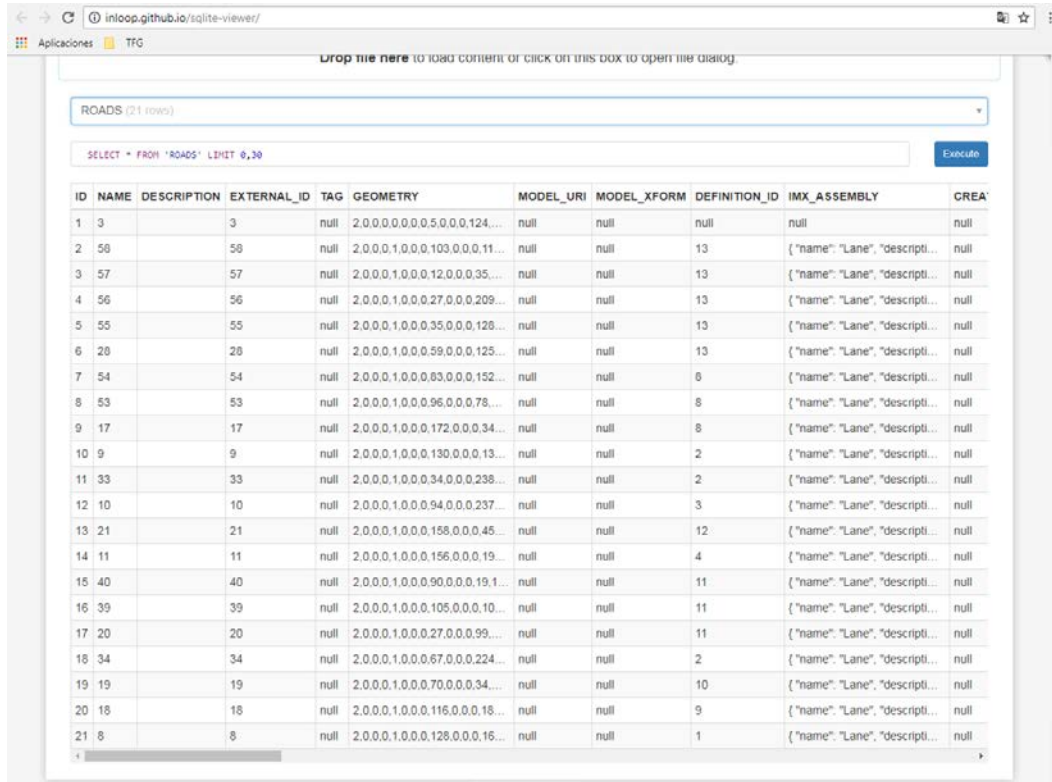
La primera forma de compartir el modelo entre ellos dos es realizando una exportación al formato de archivo IMX desde Infracworks y posteriormente abrir este archivo desde AutoCAD Civil 3D. Los únicos parámetros a definir son la extensión que del modelo que se va a importar (la cual puedes dibujar tu o especificar con coordenadas escritas manualmente y obtenidas a través de un archivo vectorial con la zona en cuestión) y el sistema de coordenadas en el cual quieres guardarlo.

Ilustración 52. Exportación a formato de archivo IMX desde Infracworks. Fuente: (Infracworks, 2018).

El formato IMX es el nombre que Autodesk le dio a la base de datos generada en el modelo de Infracworks (antes llamado Autodesk Infrastructure Modeler) de formato SQLite, que es como se ha comentado antes Infracworks guarda sus archivos. Por lo tanto, lo que se está haciendo es enviando la Base de datos con toda la información seleccionada del modelo generado en Infracworks a AutoCAD Civil 3D de forma que este pueda entenderla, es decir, modificada con los objetos que AutoCAD Civil 3D puede entender. Pasa lo mismo que con FBX, solo que en este caso se modifica la base de datos generada por Infracworks para poder abrirse en Navisworks, Revit y 3ds Max.

InfraWorks Model Object	becomes... Autodesk Civil 3D drawing object
Terrain	TIN surfaces
Planning Utilities	Pipe Networks (undefined)
Planning Roads	Alignments
Component Roads	Alignments, ground profiles
Intersections	Intersections with curb return alignments
Roundabouts	Roundabouts with alignments and ground profiles. See To bring InfraWorks roundabouts into Autodesk Civil 3D for more information.
Bridges	3D solids (individual bridge components are separate elements)
Drainage Networks	Pipe Networks (Drainage)
Coverage Areas	3D polylines
Water Areas	3D polylines

Ilustración 53. Comunicación entre Infracworks y AutoCAD Civil 3D. Cambio de tipo de objetos entre los dos Softwares. Fuente: (Help.autodesk.com, 2018).



ROADS (21 rows)

SELECT * FROM 'ROADS' LIMIT 0,30

ID	NAME	DESCRIPTION	EXTERNAL_ID	TAG	GEOMETRY	MODEL_URI	MODEL_XFORM	DEFINITION_ID	IMX_ASSEMBLY	CREA
1	3		3	null	2.0.0.0.0.0.0.5.0.0.0.124...	null	null	null	null	null
2	58		58	null	2.0.0.0.1.0.0.0.103.0.0.0.11...	null	null	13	{"name": "Lane", "descripti...	null
3	57		57	null	2.0.0.0.1.0.0.0.12.0.0.0.35...	null	null	13	{"name": "Lane", "descripti...	null
4	56		56	null	2.0.0.0.1.0.0.0.27.0.0.0.209...	null	null	13	{"name": "Lane", "descripti...	null
5	55		55	null	2.0.0.0.1.0.0.0.35.0.0.0.126...	null	null	13	{"name": "Lane", "descripti...	null
6	28		28	null	2.0.0.0.1.0.0.0.59.0.0.0.125...	null	null	13	{"name": "Lane", "descripti...	null
7	54		54	null	2.0.0.0.1.0.0.0.83.0.0.0.152...	null	null	8	{"name": "Lane", "descripti...	null
8	53		53	null	2.0.0.0.1.0.0.0.96.0.0.0.78...	null	null	8	{"name": "Lane", "descripti...	null
9	17		17	null	2.0.0.0.1.0.0.0.172.0.0.0.34...	null	null	8	{"name": "Lane", "descripti...	null
10	9		9	null	2.0.0.0.1.0.0.0.130.0.0.0.13...	null	null	2	{"name": "Lane", "descripti...	null
11	33		33	null	2.0.0.0.1.0.0.0.34.0.0.0.238...	null	null	2	{"name": "Lane", "descripti...	null
12	10		10	null	2.0.0.0.1.0.0.0.94.0.0.0.237...	null	null	3	{"name": "Lane", "descripti...	null
13	21		21	null	2.0.0.0.1.0.0.0.158.0.0.0.45...	null	null	12	{"name": "Lane", "descripti...	null
14	11		11	null	2.0.0.0.1.0.0.0.156.0.0.0.19...	null	null	4	{"name": "Lane", "descripti...	null
15	40		40	null	2.0.0.0.1.0.0.0.90.0.0.0.19.1...	null	null	11	{"name": "Lane", "descripti...	null
16	39		39	null	2.0.0.0.1.0.0.0.105.0.0.0.10...	null	null	11	{"name": "Lane", "descripti...	null
17	20		20	null	2.0.0.0.1.0.0.0.27.0.0.0.99...	null	null	11	{"name": "Lane", "descripti...	null
18	34		34	null	2.0.0.0.1.0.0.0.67.0.0.0.224...	null	null	2	{"name": "Lane", "descripti...	null
19	19		19	null	2.0.0.0.1.0.0.0.70.0.0.0.34...	null	null	10	{"name": "Lane", "descripti...	null
20	18		18	null	2.0.0.0.1.0.0.0.116.0.0.0.18...	null	null	9	{"name": "Lane", "descripti...	null
21	8		8	null	2.0.0.0.1.0.0.0.128.0.0.0.16...	null	null	1	{"name": "Lane", "descripti...	null

Ilustración 54. Apertura del archivo IMX generado por Infracworks desde la página inloop.github.io/sqlite-viewer/.
Fuente: (Novák, 2018)

Se va ahora a importar el archivo IMX creado por Infracworks desde AutoCAD Civil 3D. Para ello se abre la aplicación y se accede al menú de la barra superior que dice “Autodesk Infracworks”. Desde allí haciendo clic sobre “Importar IMX” se importa la base de datos que se ha exportado desde Infracworks.

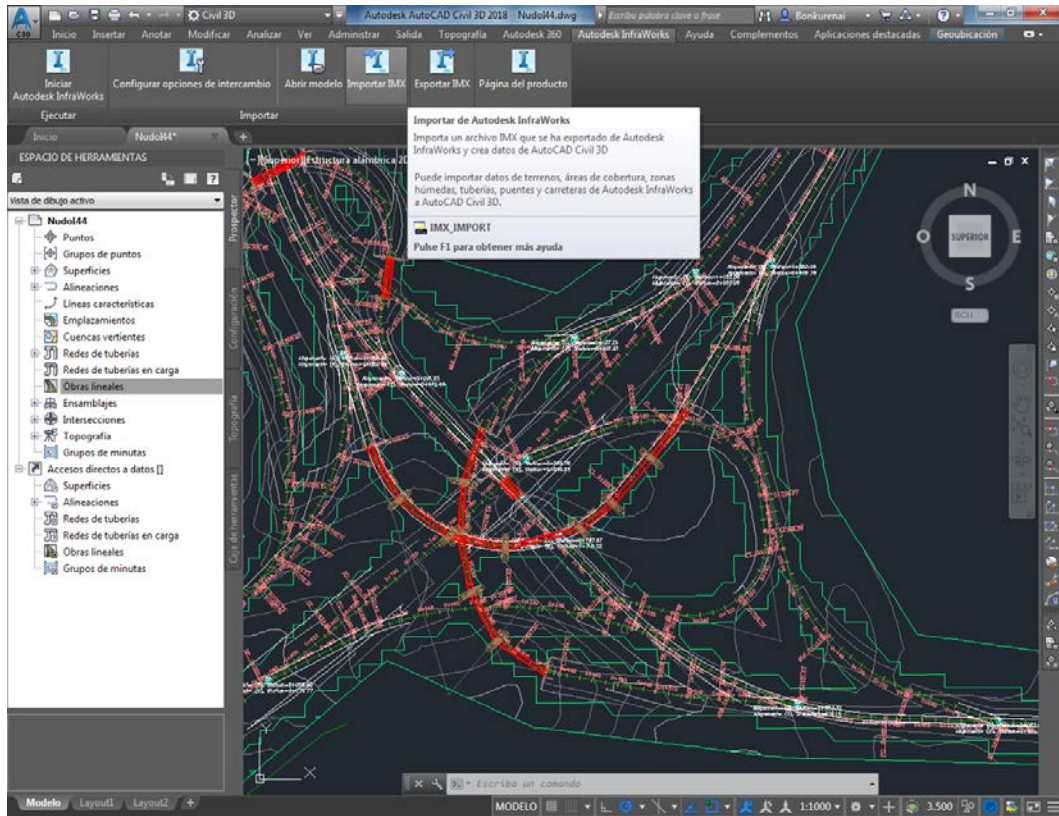


Ilustración 55. Modelo de Infracworks exportado a AutoCAD Civil 3D. Fuente: (AutoCAD Civil 3D, 2018).

También existe otra opción y es abrir el modelo directamente desde la base de datos SQLite que genera Infracworks sin necesidad de exportar el modelo a un fichero IMX. Al igual que en el IMX, por este método también se está haciendo una conversión de los objetos para que AutoCAD Civil 3D pueda entenderlos.

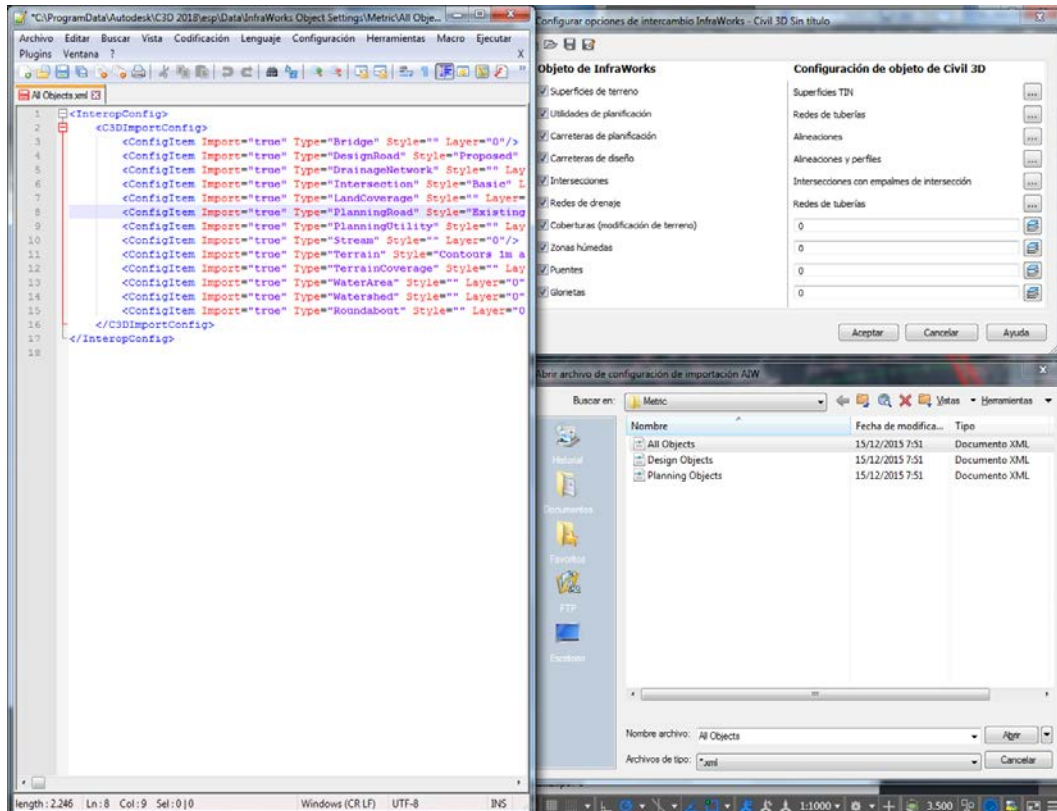


Ilustración 56. Se puede configurar que objetos de Infracworks se quieren exportar a AutoCAD Civil 3D. Esta configuración se guarda en archivos de datos XML para guardar la estructura de los datos y sus atributos. Fuente: (AutoCAD Civil 3D).

En cuanto se tiene el modelo en Civil 3D es posible trabajar con él para poder hacer de él un trazado de diseño a nivel de proyecto

Una vez trabajado el trazado del modelo es posible compartirlo otra vez con Infracworks para poder actualizar el modelo que se tenía como propuesto. Esto es realizable o bien exportando el trazado dibujado en AutoCAD Civil 3D a un archivo IMX para abrirlo después con Infracworks, o también importando al modelo de Infracworks el archivo DWG de AutoCAD Civil 3D y realizando una conexión directa con el dibujo la cual, si hay modificaciones, pueden visualizarse en Infracworks haciendo un reimportación del DWG desde las conexiones de datos de Infracworks.

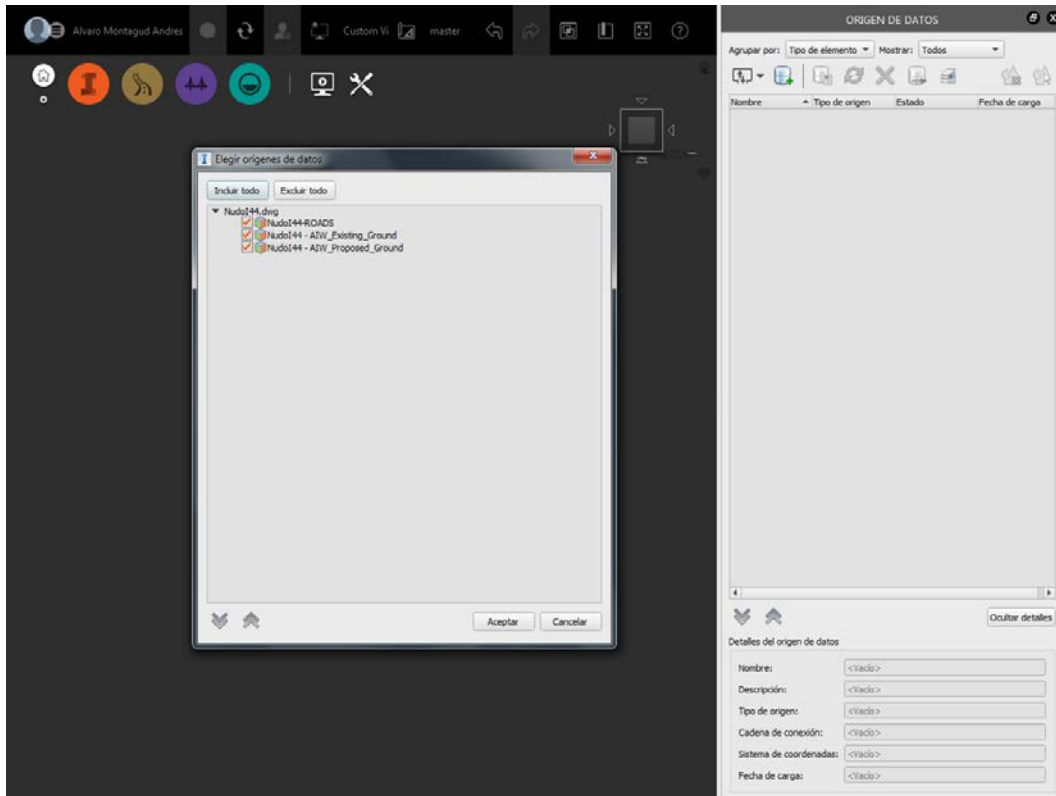


Ilustración 57. Importación de archivo DWG de AutoCAD Civil 3D a InRoads. Fuente: (InRoads, 2018).

La exportación con DWG tan solo transfiere los objetos de superficies TIN, alineaciones, las superficies de la carretera y la red de drenaje. Es necesario que cuando se pasan objetos de AutoCAD Civil 3D a InRoads este último tenga en su paleta de reglas de estilo unas que le permitan entender las clases de Civil 3D para dibujar correctamente las carreteras en función de las alineaciones. En cuanto a las obras civiles como son Túneles y puentes estos no se transfieren de AutoCAD Civil 3D a InRoads. Para modificar ese tipo de Obras se hace uso de Revit. Desde el Modelo de InRoads haciendo clic derecho sobre la Obra seleccionada esta puede enviarse a Revit para ser modificada.

En caso de que no se quiera trabajar con AutoCAD Civil 3D es posible exportar desde este programa el modelo a otro tipo de archivo más interoperable para trabajar con otros softwares. Estos formatos de archivo pueden ser LandXML (versión 1.2) o IFC (versión 4x1, la cual dispone de objeto de alineación).

Con LandXML se pueden exportar datos de la alineación de las obras lineales, así como el terreno, redes de drenaje, las Obras Lineales y grupos de puntos. Se pueden seleccionar alineaciones aisladas, o solo el terreno para exportarlo. La versión se puede elegir desde la parte inferior, aunque se deja por defecto la 1.2 ya que es la última.

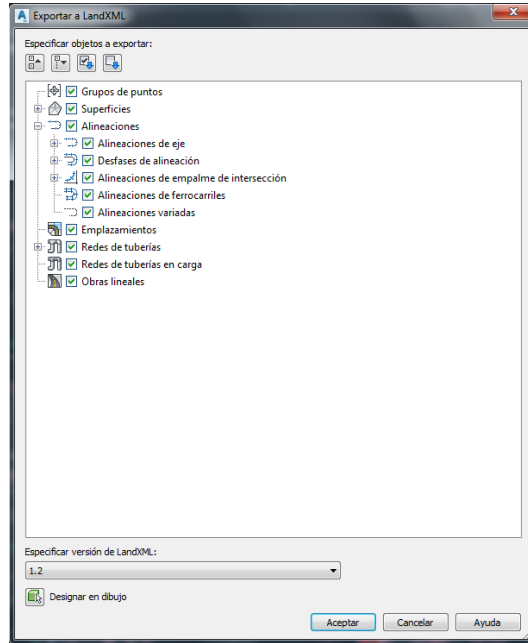


Ilustración 58. Objetos que pueden exportarse con el formato de archivo LandXML. Fuente: (AutoCAD Civil 3D, 2018).

Respecto a la exportación utilizando el formato IFC, se ha tratado de exportar en la versión 4x1 del formato para poder exportar las alineaciones del trazado, pero cuando se trataba de modificar la versión del formato desde el Civil 3D instalado tan solo permite exportar en la versión IFC 2x3, por lo que no se ha podido obtener el trazado con el formato IFC. Sin embargo, sí que es posible realizar esta exportación (a IFC 4x1) desde versiones más completas del software.

Para exportar desde este formato se debe especificar el número de proyecto y su nombre. Desde opciones se pueden rellenar los atributos del encabezado y seleccionar los objetos a exportar a este formato.

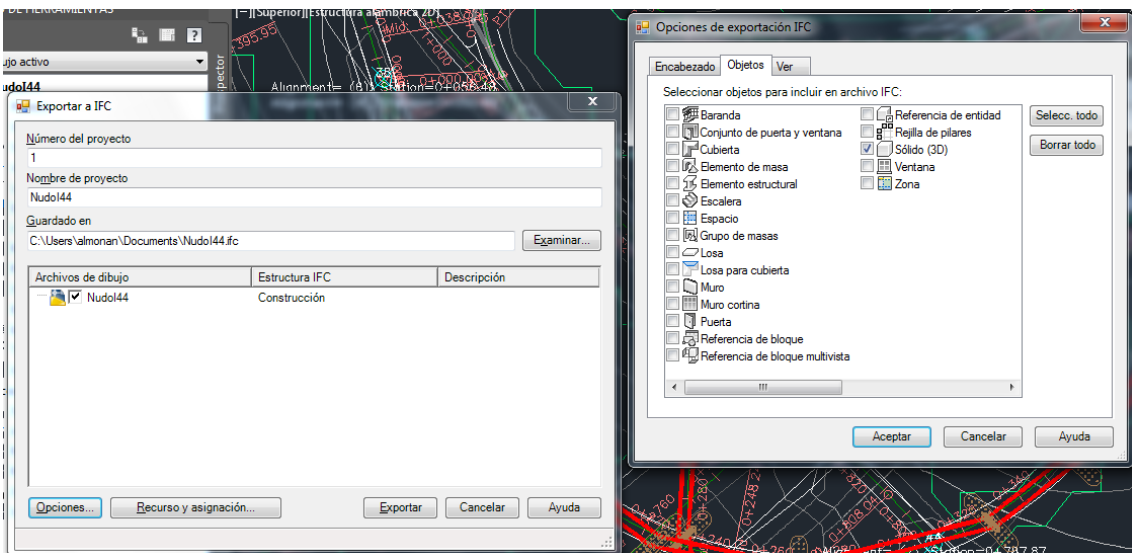


Ilustración 59. Menú de exportación de formato IFC en versión 2x3. No tiene en su esquema la definición de la clase IFCalignments. Fuente: (AutoCAD Civil 3D, 2018).

4. Desarrollo de anteproyectos de Diseño de Obras de carretera con Infracworks.

Antes de comenzar con los desarrollos de los Anteproyectos se van a delimitar aspectos necesarios en cuanto a lo visto en procesos de la Metodología BIM. Para los 3 Anteproyectos que se exponen el cliente en todo momento especifica en su EIR que quiere un modelo de LOD 200 que le sirva como diseño previo para su posterior uso en el desarrollo del proyecto. Por lo tanto, en la oferta licitada se habrá especificado todos estos requerimientos. Tan solo se especifica que será necesario un Modelador BIM y un Coordinador BIM (Conocedor del Diseño geométrico de Obras) para la realización del diseño. La herramienta que se especifica para la realización del proyecto es mediante Infracworks, donde se aprovechara su funcionalidad de la nube Autodesk 360 para utilizarla de CDE. La entrega del modelo se hará en formato IMX para su correcta visualización desde AutoCAD Civil 3D.

Es por lo tanto necesario que el licitante trate de dar solución a las necesidades del cliente. Como solo pide el modelo del diseño previo La utilización del software Infracworks será más que suficiente, ya que permite como ya se ha visto alcanzar un LOD 200. El hecho de que requiera de un Modelador BIM y no generara problemas o algún tipo de inconveniente, asignándose los dos Roles a un Ingeniero en Geomática y Topografía con conocimientos suficientes sobre los Anteproyectos a realizar.

Tabla 2. Datos acerca de los requerimientos BIM del Cliente y el resumen del PEB que se debería redactar para presentar en la licitación y al finalizar el proyecto. Fuente: (Propia).

PEB	El procedimiento a seguir durante el proyecto BIM será la descarga de la cartografía desde repositorios online. Después se modelarán las carreteras de interés mediante restitución sobre las imágenes de Ortofotos mediante el programa de Modelado Infracworks. Se utilizarán técnicas de modelado de los trazados propias de Diseño Geométrico de Obras.
LOD	Tendrán un nivel de 200 todos los objetos modelados.
ROLES	Sera necesario de un Modelador BIM y de un Coordinador BIM que conozca sobre el Diseño Geométrico de Obras.
CDE	Se utilizará Autodesk 360 para la compartición de los datos del proyecto, de esta manera Cliente y licitante podrán tener la misma información en todo momento.
PLAN DE ENTREGAS	Se requiere una única entrega al final de proyecto con el modelo final y las alternativas. La entrega será el modelo en formato IMX (para abrirlo en Civil 3D).
RECURSOS MATERIALES	Los únicos recursos materiales a utilizar serán el del programa Infracworks.

4.1. Primer anteproyecto: Diseño del enlace que conecte la autovía V-21 con la playa de la Patacona.

Ahora mismo para poder llegar a la playa de la Patacona desde la Autovía V-21 se consigue de las siguientes maneras:

- Desde la V - 21 sentido Valencia se debería bajar hasta la rotonda Torre Miramar y desde la rotonda o bien: tomar la salida de Cami de vera para poder llegar hasta el Carrer d'Agusti Alaman i Rodrig y conectar con el Carrer de L'Enginyer Fausto Elio que yendo dirección Norte acabas llegando a l'Avinguda de la Serra de Aitana que conecta con el pueblo. O bien Desde la Rotonda Torre Miramar tomar la salida a Avinguda del Tarongers y en la rotonda La Carrasca tomar la salida Carrer de L'Enginyer Fausto Elio, siguiendo a partir de ahí las mismas direcciones.
- Desde la V - 21 sentido Castellón/Barcelona no se tiene en cuenta ya que la distancia entre el inicio de la Autovía y el pueblo no es tan larga para que suponga una mejora respecto a las rutas que se han nombrado antes desde la Ronda Nord o desde Avinguda de Catalunya.

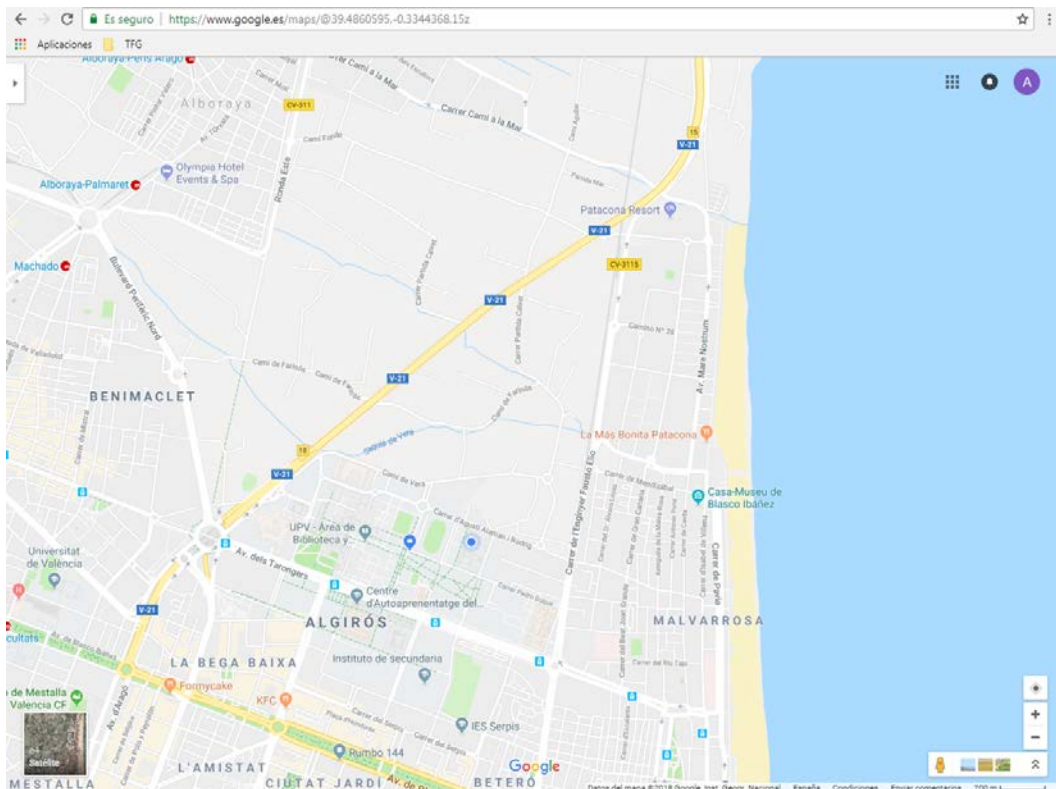


Ilustración 60. Imagen que muestra las calles y nombres dichos en las rutas anteriores. Fuente: (Google Maps, 2018).

Primero que todo es necesario saber que datos cartográficos se van a necesitar para poder desarrollar un buen diseño de este anteproyecto. Sera primordial tener los datos de las vías de comunicación del municipio de Alboraya, así como un modelo de elevaciones de la zona y la ortofoto que encuadre la zona de estudio. Para realizar los diseños se plantean dos alternativas de recolección de datos cartográficos:

- Utilizar la opción de Molder Builder y utilizar los datos cartográficos que este ofrece.
- Recolectar los datos cartográficos desde un repositorio (por ejemplo CNIG), realizar una depuración de ellos y pasarlos al modelo de Infracworks.

Se descarta la primera opción por varios motivos: No se controlan los datos y atributos que llegan desde las capas de OpenStreetMaps para las vías de comunicación, así como para la capa de edificios (la cual es deficiente) y no se puede obtener de primeras un buen modelo de datos que pasar al modelo de Infracworks. EL modelo de elevaciones que aporta el Model Builder es del año 2000 y con una resolución de 30 metros, el cual para la zona en que estamos no conviene. (Ilustraciones 38 y 39).

Pero, dado que estamos bajo una fase de diseño se mantendrán los datos de vías de comunicación y de las edificaciones, salvo por el modelo digital de elevaciones y la ortofoto PNOA. Dado que es solo un diseño no es necesario tratar en demasía la información puesto que después esta va a ser llevada a otro programa que solo se quedara con la información geométrica del trazado. Pero si es interesante poder disponer de un MDE más actualizado y de mayor resolución que se asemeje un poco más a la realidad de la zona en la que estamos; y de una ortofoto que permita visualizar mejor el entorno por el que nos movemos. (Posibilidad de añadir parcelas de cultivo para valorar las expropiaciones).

Para descargar estos datos se ha accedido al Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y se ha descargado el MDE en formato ers (el cual es leído sin ningún problema por Infracworks) y la ortofoto de la zona de Alboraya en formato ecw. Tras esto se han añadido a Infracworks como capas raster pero cada una en una clase distinta, PNOA como Imagen de suelo y el MDE como el MDE como Terreno. Cuando se van a cargar, antes de añadirse deben configurar ambas capas para introducir el sistema de coordenadas, así como que bandas se van a usar y para qué.

En el caso de PNOA se le tuvo que corregir el parámetro gamma para reducirle el brillo que tenía la imagen. Con un valor de 1,9 se ve mucho mejor.

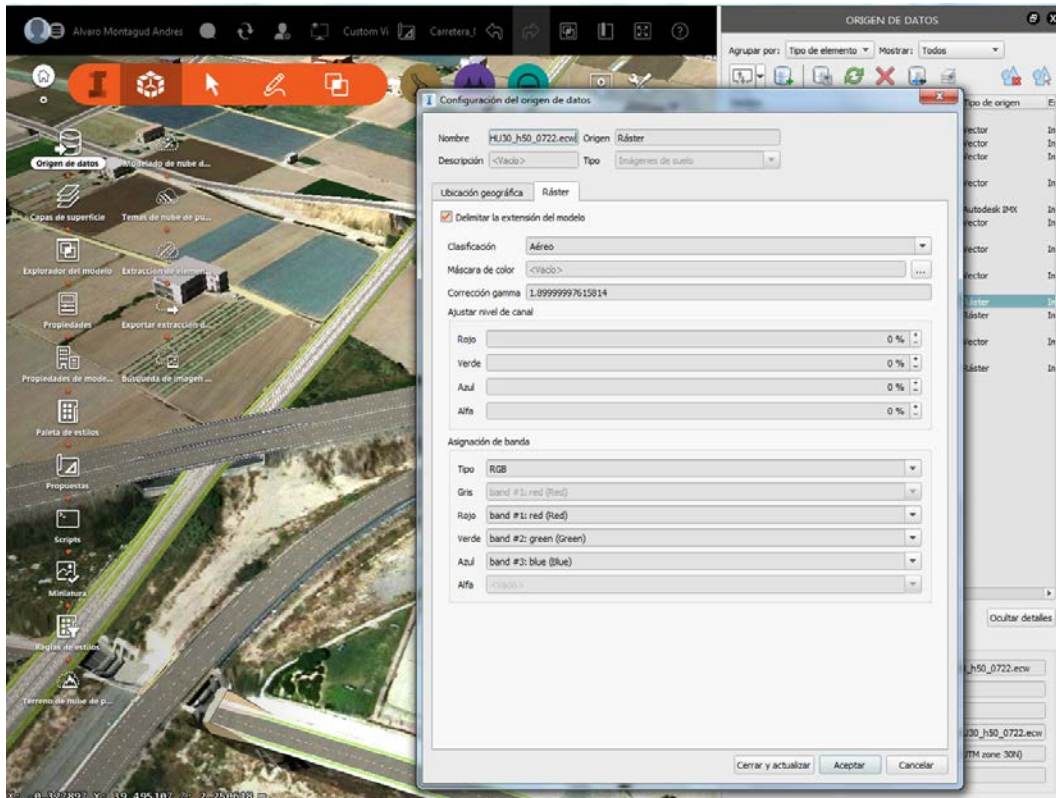


Ilustración 61. Imagen del menú de configuración de los raster. Se ve el valor introducido para el factor de brillo en la imagen (Gamma). Fuente: (Infraworks, 2018).

Las capas de MDE y de PNOA se cargaron en el modelo ya creado por Model Builder, tan solo fue necesario eliminar los repositorios de datos que había creado Infraworks. Tras su carga ya se puede empezar el diseño geométrico del nuevo nudo para la conexión de la V-21 sentido Valencia y La Patacona. Primero será necesario evaluar el mejor sitio para realizar dicho nudo.

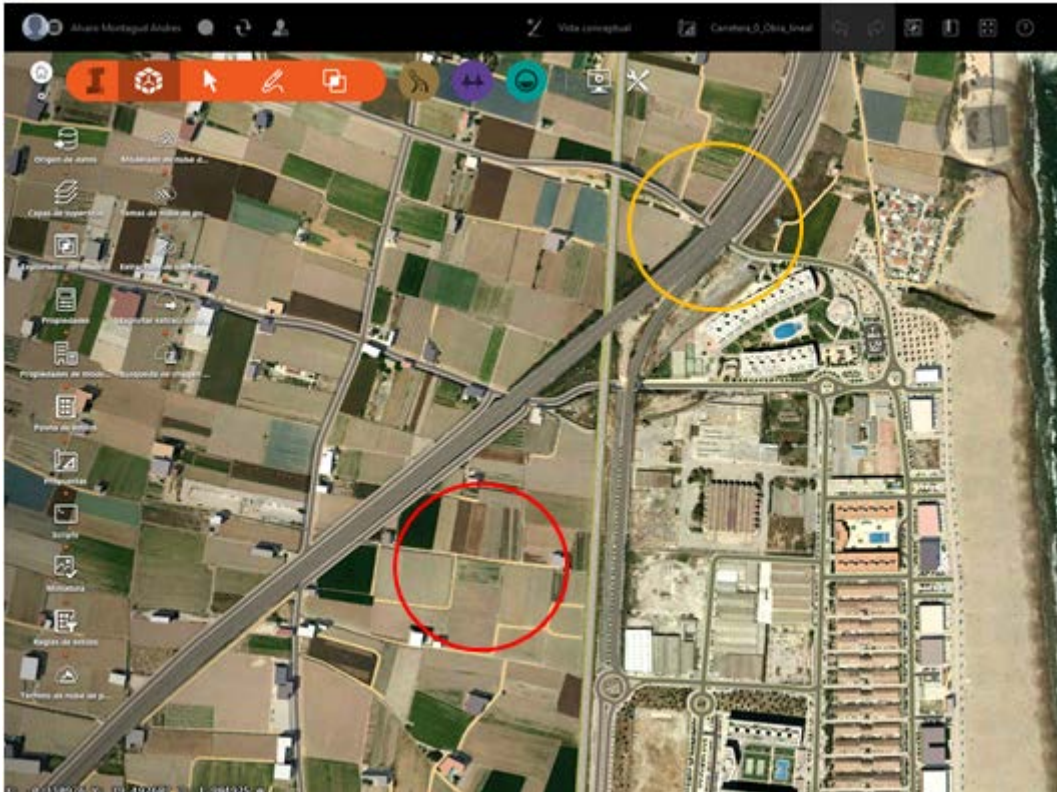


Ilustración 62. Imagen de la zona de actuación para la creación del nuevo nudo para llegar a La Patacoca. Fuente: (Infraworks, 2018).

Se barajan dos posibilidades. La primera es realizar el nudo en la parte inferior a la intersección de la V-21 con la vía de ferrocarril (la zona enmarcada por el círculo rojo). Esta solución permitiría mayor libertad de construcción ya que hay suficiente espacio hasta llegar a la rotonda que hay a la derecha del círculo. Pero existe un inconveniente y es salvar las vías del metro, lo cual podría complicar mucho más el diseño de la obra, por lo que se descarta.

La segunda solución es realizar el nudo en la zona enmarcada por el círculo naranja. Esta zona está lo suficientemente alejada de las vías como para poder realizar las obras necesarias para los giros del nudo. Dado que las obras se van a realizar en el lado contrario a donde está la zona residencial no se causarían molestias. Por lo tanto, se optará por esta solución.

Primero que todo se va a estudiar con un poco más de detenimiento la zona para evaluar las posibilidades de nudos que hay. Tal y como se ha comentado en párrafo anterior, la zona más viable sería la de la izquierda, alejada de la zona residencial, y tratando que las afecciones al entorno rural sean las mínimas posibles.

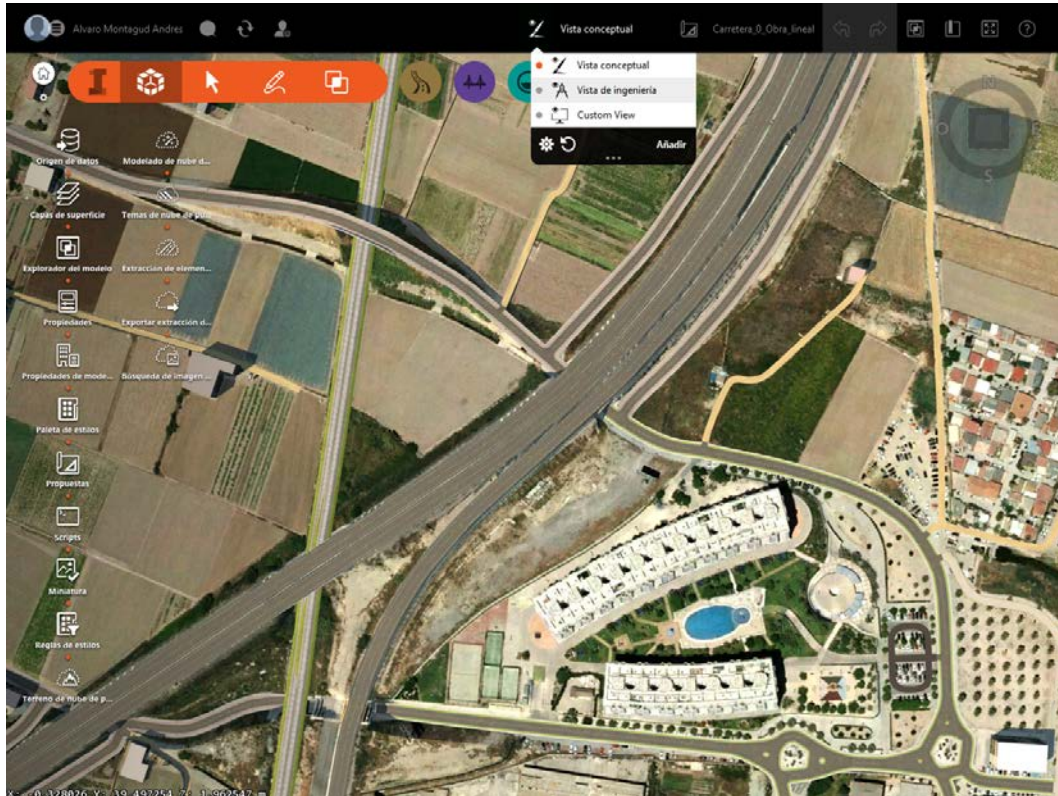


Ilustración 63. Imagen de la zona donde se van a estudiar las alternativas del nudo en la V-21. Fuente: (Infraworks, 2018).

A partir de aquí se plantean dos alternativas que pueden solucionar el problema. La primera alternativa consiste en el giro a izquierda de la V-21 a la Avenida Mare Nostrum realizando una intersección en forma de rotonda que conecte también a la Calle Camí a la Mar. De esta manera conseguiremos una primera conexión con La Patacona desde la zona del centro residencial y el Camping. Para evitar que se quede incomunicada después la Patacona con la V-21 con sentido Valencia se realiza un giro a izquierdas desde la Avenida Mare Nostrum aprovechando la rotonda ya generada. De esta manera tendríamos ya la primera alternativa.



Ilustración 64. Imagen que muestra las calles y avenidas que están junto a la autovía V-21. Fuente: (Google Maps, 2018).

Para generar esta primera alternativa (aunque este proceso también servirá para la siguiente) se van a modelizar las carreteras de V-21, Carrer Camí a la Mar y Avenida Mare Nostrum. Primero se busca información respecto a las características geométricas y de diseño que se puedan encontrar al respecto estas carreteras. En las capas de datos geográficos de la Base Topográfica Nacional se encontró información referente al tipo de carretera, al número de calzadas, al sentido de los carriles, al número de carriles y al firme de la carretera. Respecto a las características de diseño, como son la velocidad de proyecto, acuerdos verticales, curvas horizontales y clotoides y demás aspectos relacionados con el diseño de esas carreteras no se ha podido encontrar nada. Por lo tanto, se basará en la velocidad libre de las carreteras.

Tabla 3. Tabla de características geométricas de las carreteras V-41, C. Camí a la Mar y Av. Mare Nostrum. Fuente: (Centro de descargas del CNIG, 2018).

Nombre	Tipo	Calzadas	Sentido	Carriles	Firme	Vlc. Libre
V-21	Autovía	Desboblad.	Unico	2	Paviment	100 km/h
C. Camí a la Mar	3º Orden	Única	Doble	2	Paviment.	50 km/h
Av. Mare Nostrum	3º orden	Única	Doble	2	Paviment.	40 km/h

Como no se han encontrado datos sobre lo que miden los carriles, los arcenes las medianas y demás elementos de las carreteras, se tomaran las medidas dadas por la normativa en función de las características que se tienen a mano y de lo que se vea en la ortofoto.

Tabla 4. Tabla con los anchos de los carriles y arcenes, así como pendientes peraltes máximos y radio mínimo, de las carreteras V-21, C. Camí a la Mar y Av. Mare Nostrum. Fuente: (Ministerio de Fomento, 2016).

Nombre	Ancho carril	Ancho mediana	Ancho Arcén in.	Ancho Arcén ex.	Rampa/ Pendiente	Peralte max	Radio min
V-21	3,5 m	---	1,5 m	2,5 m	4% / 4%	8%	450
C. Camí a la Mar	3 m	---	---	1 m	7% / 7%	7%	85
Av. Mare Nostrum	3,5 m	---	---	---	7% / 7%	7%	50

Respecto al ancho de la mediana, la ortofoto indica que la mediana de la autovía está compuesta por barreras de hormigón (2 para ser exactos). Por lo que se tendrá en cuenta a la hora de realizar el objeto. La Avenida según muestra la ortofoto no tiene arcén y en su lugar tiene acera para peatones. Se le dará 1,5 metros de grosor. Los peraltes y las pendientes están de acuerdo con la normativa atendiendo a sus velocidades libres tomadas como las de proyecto.

Dado que no existe Normativa española sobre el diseño en el programa, las distancias para las transiciones de peralte y de bombeo se colocan de forma automática. Si que se pueden modificar por parte del usuario, pero al contrario que la norma española en Infraworks el desvanecimiento del bombeo se hace en la recta y el inicio de la curva de transición, no toda en la recta. Por lo tanto, este parámetro se dejará poner por el programa. Pasa lo mismo con el peralte máximo en función del radio que se esté utilizando, el programa sabe hasta que peralte debe llegar, pero después el calcula en base a la normativa que tiene (AASHTO) el peralte que debe aplicarse. En conclusión, esos factores no se pueden controlar.

Ahora solo queda modelar esas carreteras para empezar trabajar en la primera alternativa. Se modelará la V-21 atendiendo a los anchos de carril y arcén, el número de carriles, su velocidad y el peralte máximo. Después le seguirán la C Camí a la mar y Av. Mare Nostrum.



Ilustración 65. Imagen de los diseños de las carreteras. De izquierda a derecha: V-21, Av. MareNostrum y C. Camí a la Mar. A la derecha se puede ver la configuración para la V-21 como ejemplo (freeway, 100km/h, AASHTO). Fuente: (Infraworks, 2018).

Una vez modeladas se guardan en la biblioteca de carreteras compuestas para poder generarlas directamente con ese mismo estilo. Después de guardarlas se procede a su restitución sobre la ortofoto tratando de que la carretera siga la misma alineación que se ve en la imagen.

Para restituir las carreteras se eliminado los elementos que venían por la cartografía. Serían útiles si se fuera a ejecutar el diseño mediante carreteras de diseño (véase el segundo grupo de carreteras representables en el apartado Características de Infraworks), ya que se les puede añadir un tipo de estilo y a partir de las traídas por la cartografía se podría trabajar. Pero como se quiere también aplicar peraltes a las carreteras y realizar estudios de visibilidad posteriormente es mejor realizar desde u principio los diseños mediante una carretera Compuesta. Y dado que estamos a un nivel de diseño, después los nuevos elementos que se creen se podrán añadir la información existe real de las carreteras que participan en este diseño y no sobre elementos de una cartografía con información deficiente para el diseño.

Se han eliminado la V-21 hasta después del paso superior de las vías, la C. Camí a la Mar, Av. Mare Nostrum, la CV-3115 y parte de la zona urbana de la Patacona. Estas últimas (CV-3115 y zonas urbanas) se representarán como carreteras de componentes ya que es más fácil moldear las carreteras en este estadio.

Una vez eliminados los elementos se comienza a dibujar la V-21; Existe un problema al dibujarla y es que el elemento ferroviario tiene en los atributos de Orden de acumulación un valor asignado, que es mayor que el de la carretera dibujada (Cuando se crea una carretera, esta se dibuja sin Orden de acumulación asignado). Hay dos soluciones posibles, ir a la tabla de

carreteras, seleccionar la V-21 y asignarle un orden de acumulación superior que el que tenga el ferrocarril (Las carreteras de componentes ya no muestran en atributos rápidos los de Orden de acumulación) o eliminar el orden de acumulación que tiene el elemento de ferrocarril. Se opta por la segunda solución.



Ilustración 66. Solucionado el problema con el elemento de ferrocarril y el nuevo elemento de carretera para la V-21. Fuente: (Infraworks, 2018).

Se han aplicado los peraltes y las curvas de transición a la carretera V-21, quedándose el diseño con longitudes de transición de 74 metros y un radio de curva de 591,655 metros. En el programa se ha especificado que el peralte máximo es 8%, pero al entrar en conflicto por el calculado por AASHTO (6%) se queda con el 6% como valor a aplicar. Esto se ve en las secciones transversales del trazado donde en la curva aplica un peralte fijo del 6% exacto.

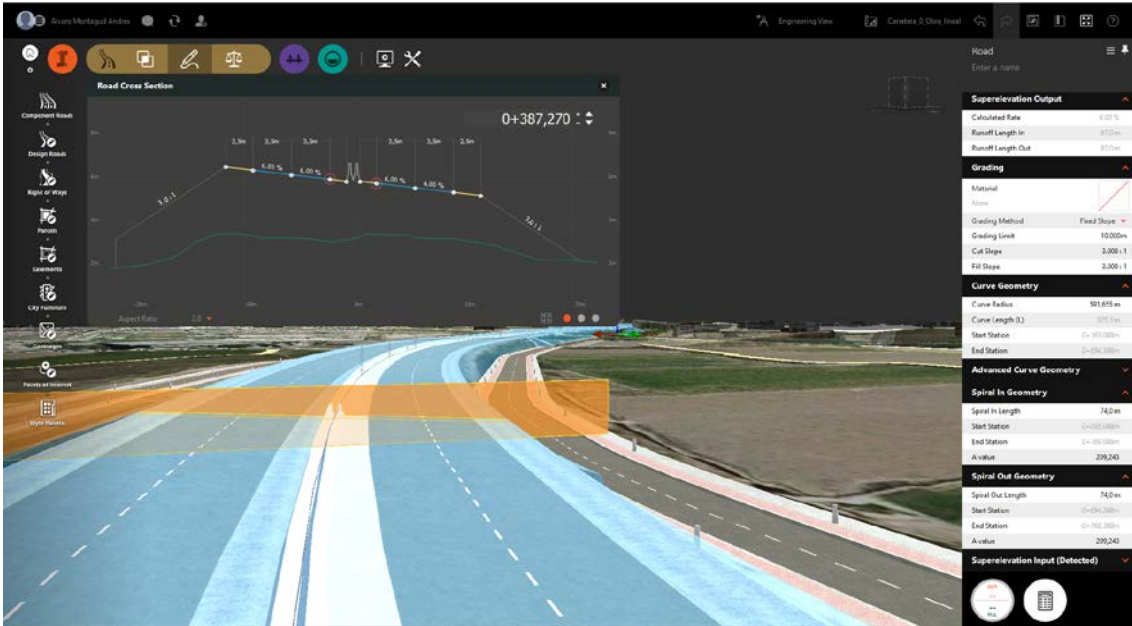


Ilustración 67. Imagen de la aplicación de peraltes sobre la V-21 generada con ejemplo de sección transversal en el pk 0+387,270. Fuente: (Infraworks, 2018).

Se pasa a diseñar la Calle Cami a la Mar. Para ello se siguen los mismos pasos que se han hecho para dibujar la V-21: Se selecciona la carretera compuesta a dibujar ya guardada en la biblioteca y se restituye sobre la ortofoto. Tras restituirse, se aplica una curva de radio 200 metros para seguir el trazado de la Ortofoto. Tras esto se aplican las curvas de transición, pero el parámetro de longitud no es el adecuado.



Ilustración 68. Imagen de las curvas de transición aplicadas por el programa, las cuales no son las adecuadas. Fuente: (Infraworks, 2018).

Según la Normativa 3.1-IC (Ministerio de Fomento, 2016) al tratarse de un trazado del grupo 3 con una velocidad de proyecto de 50 km/h la longitud mínima debería ser la de la limitación por transición de peralte, ya que es la más alta de entre las tres limitaciones (En la visual, al ser

el radio menor a 972 metros se toma la condición de que la flecha de la curva sea mayor o igual de 50 cm).

CONDICIONES ELECCIÓN PARÁMETRO CLOTOIDE. GRUPO 3.

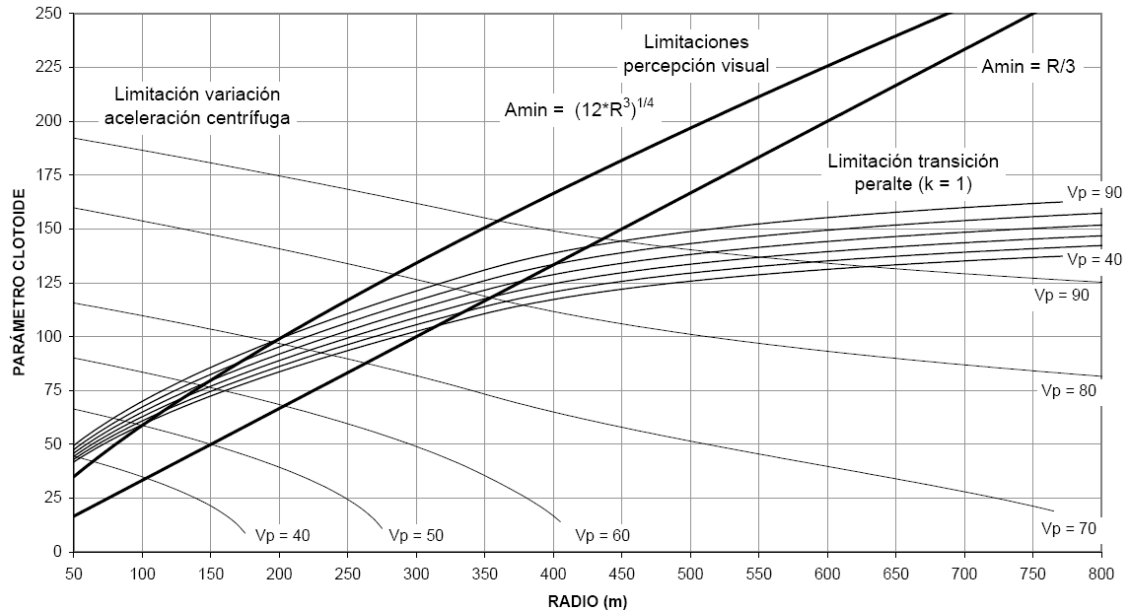


Ilustración 69. Gráfico de las longitudes de Clotoide a elegir en función de la Velocidad de proyecto. Fuente: (Ministerio de Fomento, 2016).

Dado que estamos ante un diseño de anteproyecto se tomará un valor aproximado del gráfico anterior. Con una velocidad de proyecto de 50km/h y teniendo en cuenta el radio de 200m de la curva, la limitación será de aproximadamente 80-85 para el parámetro de la clotoide (A), resultando en una longitud de 32-36,125 metros.

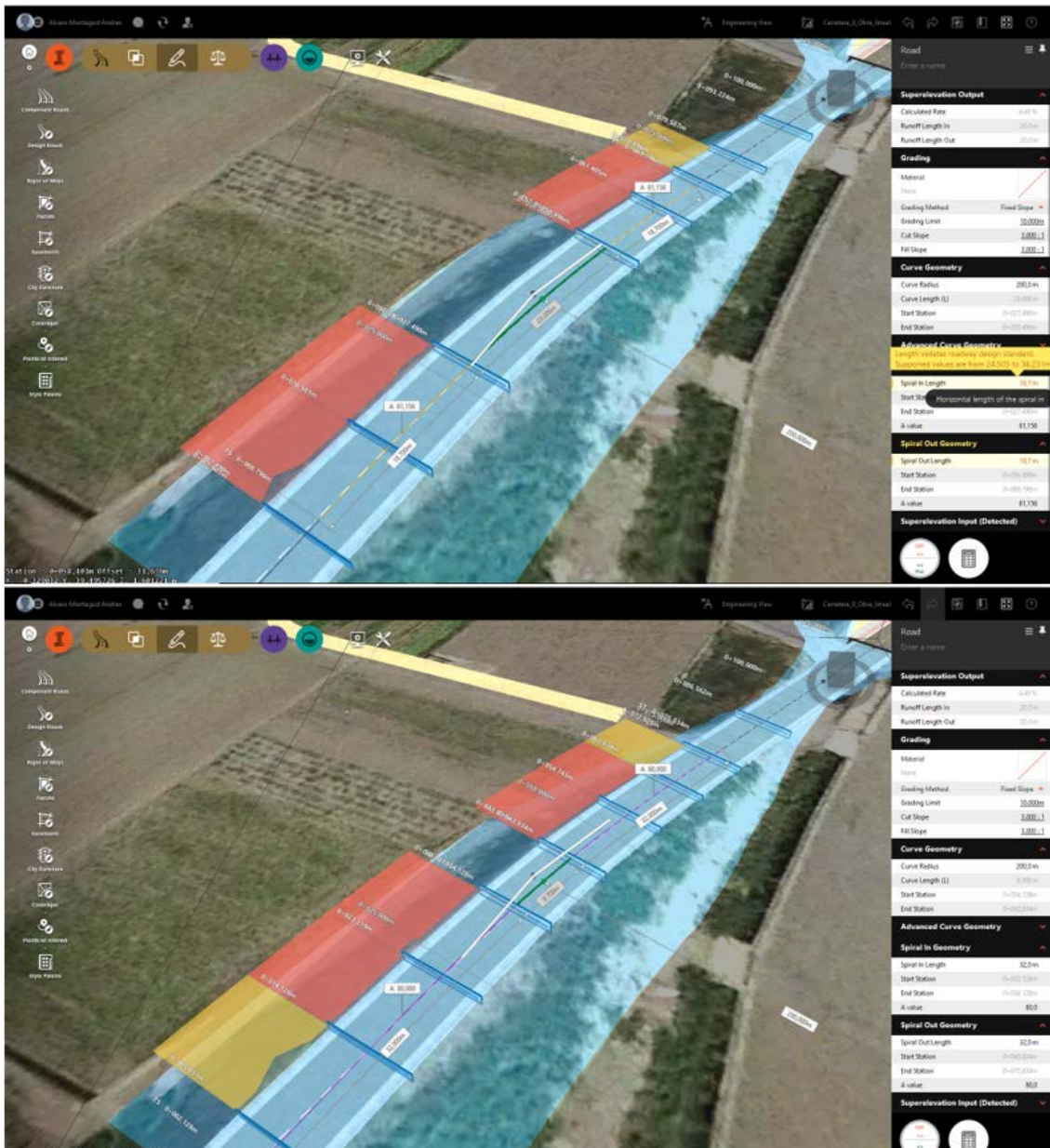


Ilustración 70. Solución al problema de la curva de transición en el tramo de la C. Camí a la Mar. Se han aplicado la longitud aproximada extraída. Fuente: (Infraworks, 2018).

Al igual que en la V-21, el propio programa aplica un peralte máximo en base a la normativa AASHTO. En este caso Se le aplica un peralte máximo de 4,4%.

Por último, se va a restituir la Av. Mare Nostrum. (Preguntar a Jesús acerca de las clotoides en las vías urbanas y su peralte de bombeo).

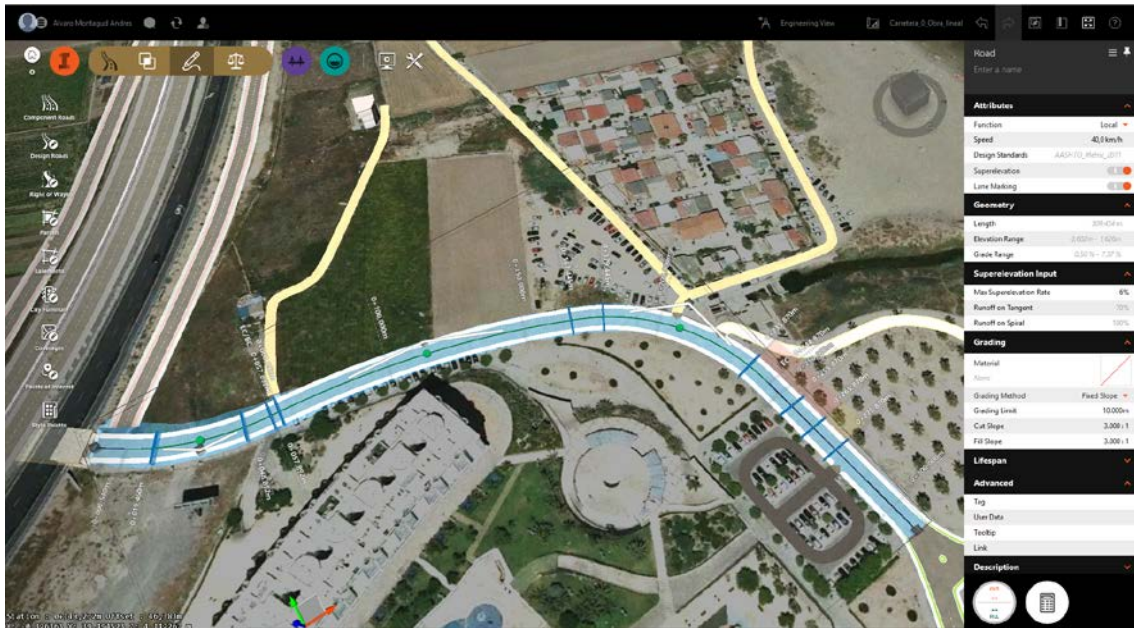


Ilustración 71. Resultado de la restitución de la Av. Mare Nostrum. Fuente: (Infraworks, 2018).

4.1.1. Alternativa de glorieta de Distribución

Se va a empezar a desarrollar la primera de las alternativas: Una rotonda a la izquierda de la V-21. Para ello se va a definir una rampa que sirva de salida y de entrada a la V-21. Esta rampa intersectará con el C. Camí a la Mar, lo cual servirá para construir una rotonda y esta lleve a la Av. Mare Nostrum que finalmente conectará con Patacona.

Primero se confecciona la rampa, la cual tendrá un ancho de carril de 4 metros y su pendiente no se debe ser mayor al 3% ya que se perderá la prioridad al llegar a la rotonda. (Ministerio de Fomento, 2016)

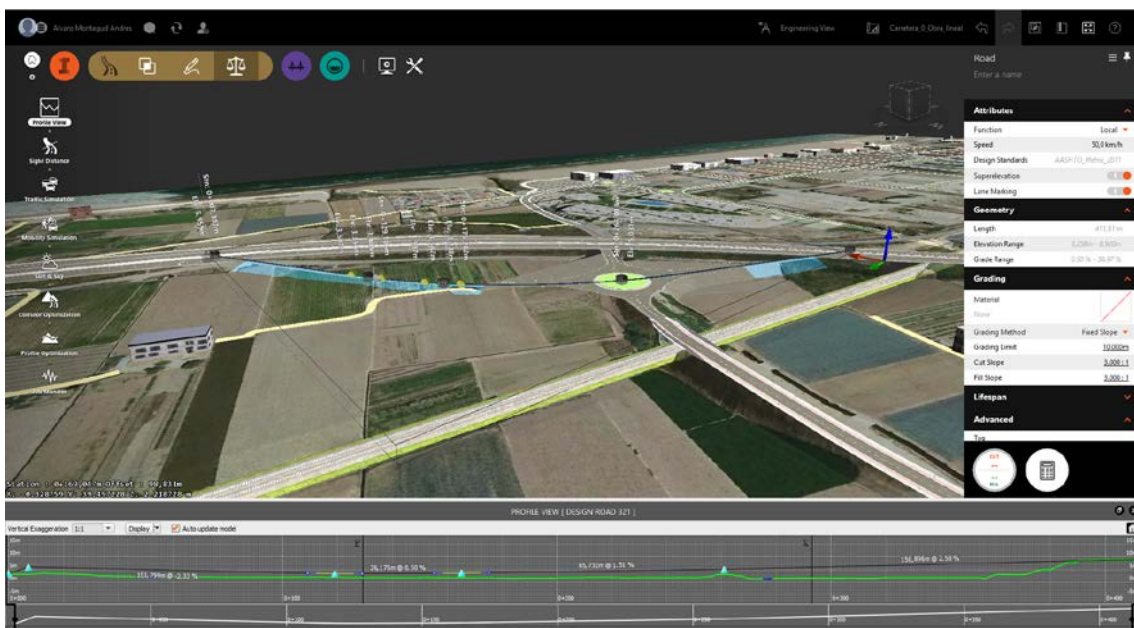


Ilustración 72. Perfil longitudinal de la rampa con las pendientes en cada tramo del trazado. La pendiente máxima en valor absoluto es de 2,33, menor al 3%. Fuente: (Infraworks, 2018).

En cuanto a los carriles adicionales de aceleración y deceleración las cuñas y longitudes de carriles serán: cuña de 125 metros para deceleración y aceleración; longitud del carril, al estar trabajando con pendientes entre -2% y 2% en la V-21, para el carril de deceleración y aceleración será de una longitud de 170 (Ministerio de Fomento, 2016).

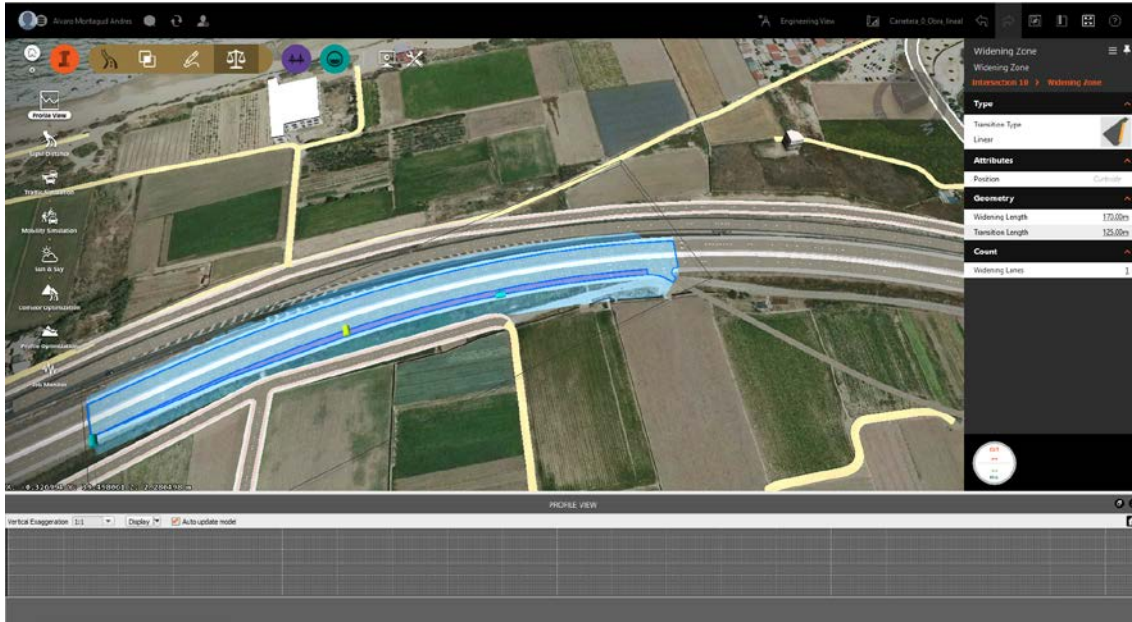


Ilustración 73. Imagen de cómo quedaría el carril de deceleración una vez aplicados los cambios de longitud en cuña y carril. Fuente: (Infraworks, 2018).

Una vez ya está bien definida la rampa y los carriles de aceleración y deceleración de la V-21 es momento de generar la intersección tipo glorieta. El cambio es sencillo, cuando dos trazados se cruzan entre sí InRoads los reconoce como una intersección y genera las posibles alternativas de giros. Si se selecciona esa intersección es posible convertirla en una de tipo glorieta. Esta transformación la realiza teniendo en cuenta la normativa de diseño de glorietas FHWA 2010 (.). Según nuestra normativa, el diámetro exterior de la calzada debe de ser de mínimo 55 metros y el ancho del gorjal de 5.5 metros (Ministerio de Fomento, 2016). Estos son los únicos parámetros que se pueden manipular desde InRoads, no se pueden aplicar peraltes a las calzadas o a los gorjales.



Ilustración 74. Localización de la glorieta para la conexión de la Patacona con la V-21. En la imagen se ven los parámetros hablados anteriormente. Fuente: (Infraworks, 2018).

4.1.2. Alternativa de giro a la Izquierda con Ramal Semidirecto

Ahora bien, también es posible realizar la conexión mediante un giro a izquierdas utilizando un ramal semidirecto que pase por encima de la V-21 mediante una obra de paso. Para este caso, se genera un carril de deceleración igual al anterior pero esta vez para la reducción de velocidad de 60 km/h (Ministerio de Fomento, 2016). Por lo tanto, se construye al igual que antes una rampa que lleve a la obra de paso que conectara con la Calle del Ingeniero Fausto Elío.

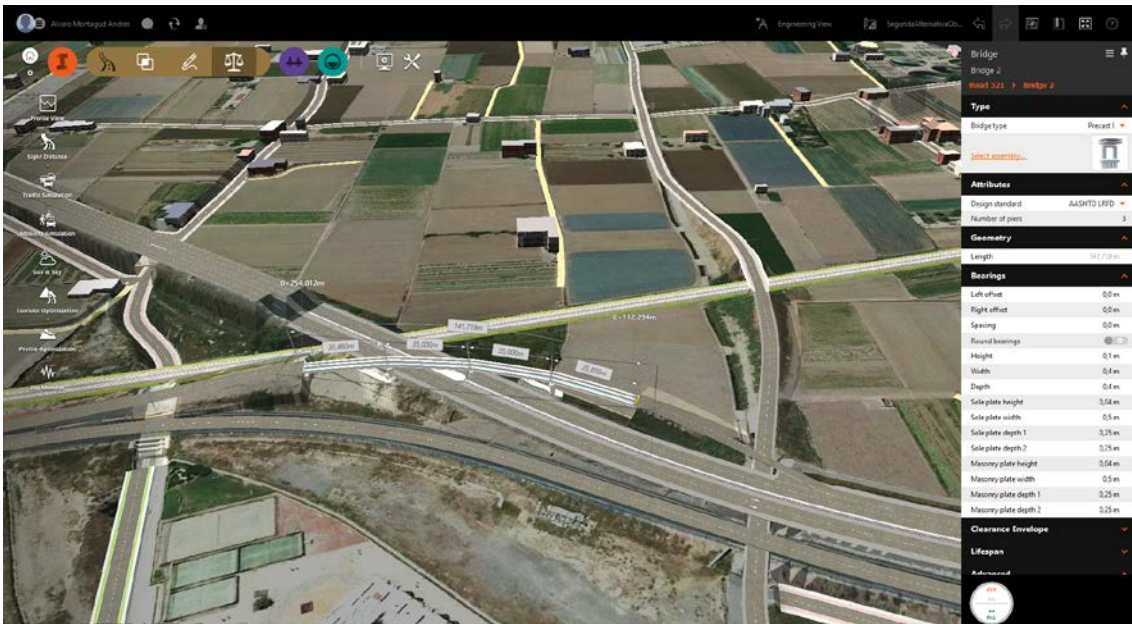


Ilustración 75. Obra de paso ya creada para el ramal semidirecto entre la v-21 y la Calle del Ingeniero Fausto Elío. Fuente: (Infraworks, 2018).

Esta alternativa sería provechosa ya que da acceso casi directo a la CV-3115 a través de la rotonda de la C. del Ingeniero Fausto Elío, además de dar conexión directa a la zona industrial

de la Patacona y las viviendas. En cuanto al diseño del puente, se ha utilizado un puente de hormigón con jácenas en I prefabricadas. También se decidió añadir un carril adicional en el puente para así dar mayor flujo de tráfico en caso de que haya gran demanda de entrada a la palaya de la Patacona.

4.1.3. Solución conjunta de las dos alternativas anteriores

Una tercera alternativa sería realizar la obra de paso para el acceso semidirecto a la CV-3115 la rotonda para poder acceder de forma semidirecta a la zona residencial. Esto se hace fácilmente añadiendo una rampa justo antes a la del ramal de la obra de paso y conectarla después de la obra de paso, generando la rotonda en la intersección con la C. Camí a la Mar.

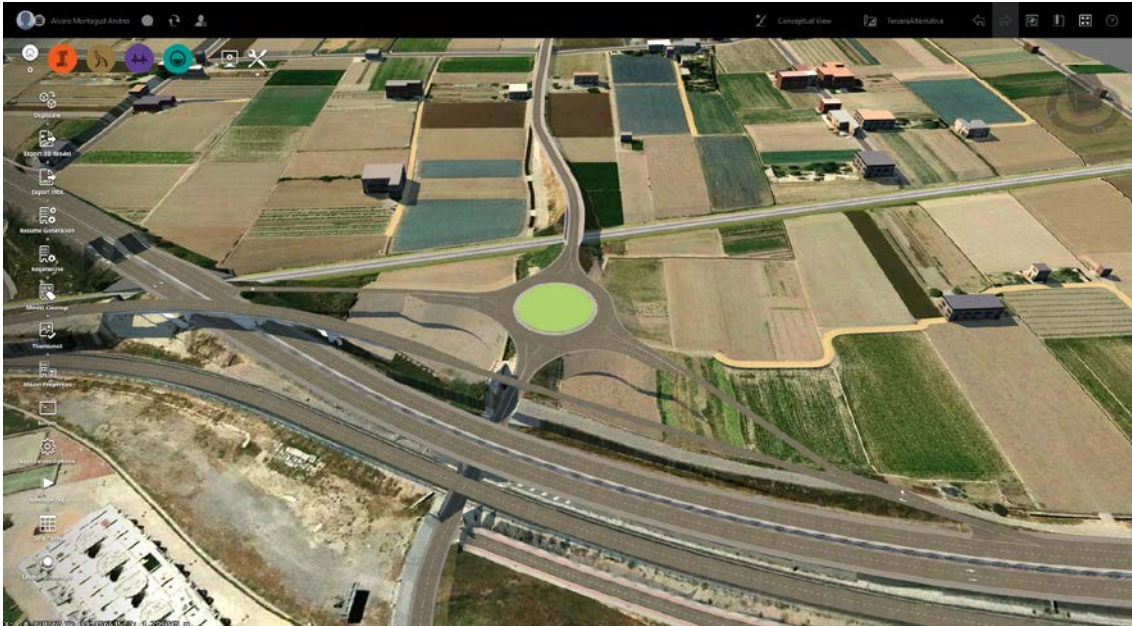


Ilustración 76. Resultado final de la combinación de ambas alternativas en una misma. Fuente: (Infraworks, 2018).

4.2. Segundo anteproyecto: Diseño de un nudo en el estado de Oklahoma, Nudo de OK-36, y US-277 (Highway I-44).

En el anteproyecto anterior se había desechado la idea de realizar el diseño del enlace con la totalidad de la cartografía extraída por Model Builder debido a que no era lo suficientemente fiel a la realidad del territorio, y por eso se optó por utilizar cartografía de las infraestructuras espaciales del mismo territorio.

El caso que se expone aquí está situado en Estados Unidos, concretamente en el estado de Oklahoma, al Noreste de Burkburnett (Texas), a unos dos kilómetros de distancia de la frontera entre los dos estados. Se escoge este lugar geográfico para comprobar lo potente que es esta herramienta para realizar estudios de diseño de carreteras en lugar remotos con cartografía extraída de forma rápida a partir de la que ofrece Infracore con Model Builder. Al finalizar se expondrá cartografía que podría haberse descargado y utilizado desde Infraestructuras de datos espaciales de Estados Unidos.

El caso que se ha elegido como ejemplo es este nudo que se ilustra en la imagen inferior. Como se puede observar, para la I-44, en sentido Noreste se construyó un giro a izquierda en el nudo mediante un Lazo y se aprovechó ese mismo lazo para realizar el giro a derecha utilizando una intersección. Para el sentido contrario, el giro a derechas se resuelve mediante una intersección, que sirve también para el giro a izquierda. En el caso de la OK-36, en sentido Sureste el giro a derecha es resuelto mediante una intersección y el giro a izquierda también se resuelve por el mismo método en el ramal directo de entrada al a I-44 sentido Noreste. Para el sentido contrario, viniendo de CO RD E200 y conectado con OK-36 el giro a derechas se resuelve mediante una intersección utilizando el Ramal directo de entrada a I-44 sentido Noreste y el giro a izquierda se resuelve con otra intersección que conecta con el Ramal directo a I-44 sentido Suroeste.

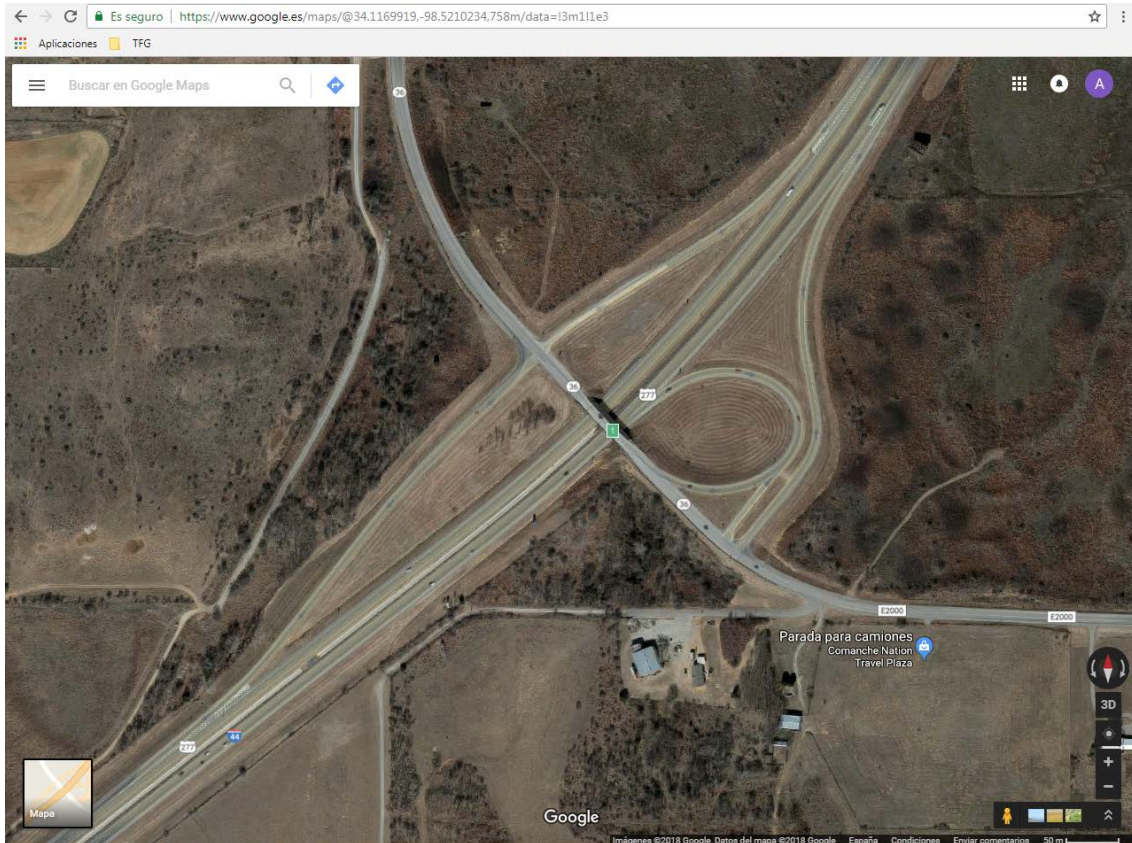


Ilustración 77. Imagen del nudo. La carretera que comienza en la esquina inferior izquierda se trata de la I-44, la que pasa por encima es la OK-36. Fuente: (Google Maps, 2018).

4.2.1. Estudio de tráfico del trazado original.

Como paso previo al estudio de diseño del nuevo nudo de la I-44 en Oklahoma mediante Infracore se va a realizar un estudio de tráfico utilizando la herramienta de análisis que trae en software. De esta manera se comprobará si el diseño original cumple con las expectativas de necesidad de tráfico, o si por el contrario debe modificarse y cambiarse por un trazado distinto. Es importante señalar que para poder realizar el estudio de tráfico es necesario que la carretera sea como mínimo de nivel diseño, siendo también compatible con el nivel de componentes, pero nunca se podrá realizar con el nivel de diseño (me estoy refiriendo al nivel de carretera). Otro punto a tener en cuenta es que el estudio de tráfico se realiza sobre intersecciones, por lo que debe haber intersecciones en la zona de estudio.

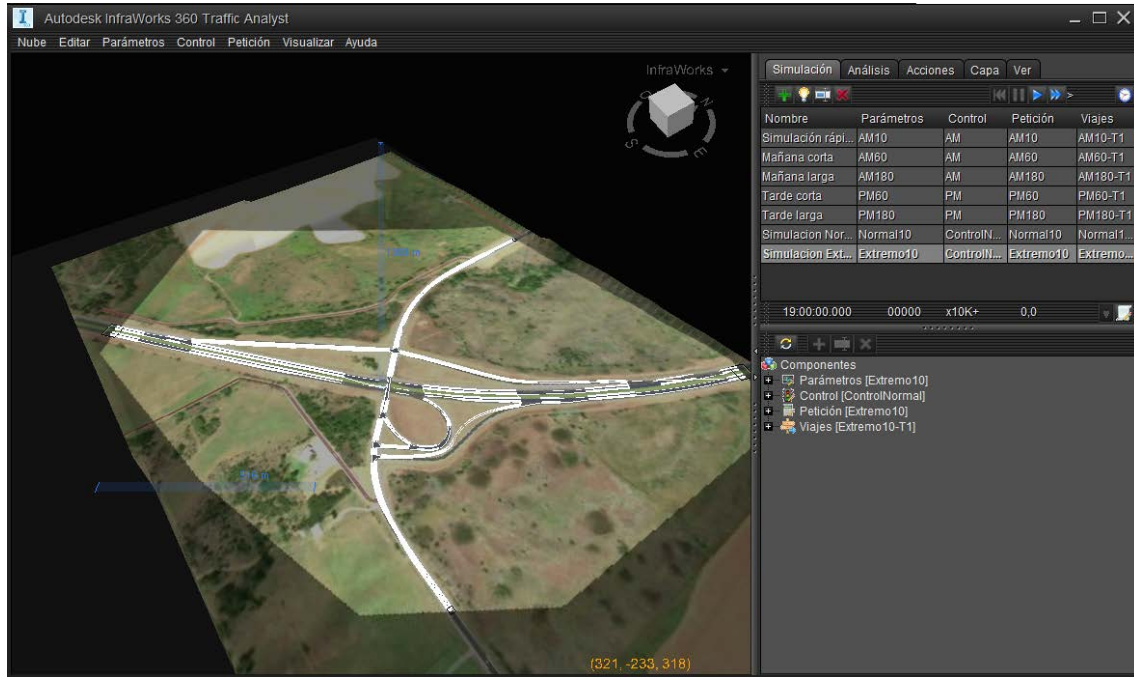


Ilustración 78. Panel de control de las simulaciones. Es necesario estar conectado a Autodesk 360 ya que esta operación se hace online. Fuente: (Infraworks, 2018).

Existen muchos parámetros que permiten realizar multitud de simulaciones en la zona que se quiera estudiar. Es posible establecer horas del día, así como los días/día de la semana que se quiere hacer la simulación, como también establecer comportamientos a las personas o coches que van a participar en la simulación. Es posible además establecer parámetros físicos a los vehículos como su peso o la dinámica de su conducción.

En este caso el estudio se va a centrar sobre el segundo Anteproyecto: Nudo en la I-44 de Oklahoma. El análisis consistirá en un estudio de estrés de tráfico, en el que al trazado original y al nuevo nudo se les aplicaran dos niveles de intensidad de tráfico: una situación Normal de tráfico y una situación extrema de saturación. Con esto se pretende comprobar que el trazado realizado para el nudo y los tipos de giros elegidos son los correctos para dar una buena respuesta a cada uno de los niveles expuestos.

Para el análisis del tráfico se van a trabajar con las simulaciones que ya están definidas por el programa, pero se les modificaran ciertos parámetros para poder acomodarlos al estudio que se quiere realizar. Toda simulación se compone de:

- “Parámetros”, colección de parámetros que determinan los periodos de tiempo de la simulación, los comportamientos de los vehículos, las restricciones sobre los vehículos y los propios vehículos.
- “Control”, colección de parámetros para definir las intersecciones, tiempos de espera, tipos de espera (Stop, ceda el paso...).
- “Petición”, Colección de parámetros y valores que definen el caudal de coches que hay en función del tiempo y de la zona de salida/entrada de vehículos.

Con estas tres colecciones de parámetros se generarán para cada modelo (original y propuesta) dos simulaciones que den respuesta a los niveles y que permitan discernir si la propuesta es válida y está fundamentada.

4.2.1.1. Parametrización de las simulaciones.

Simulación normal. Esta simulación estará comprendida en un horario de bajo tráfico, como puede ser entre las 11:00 AM y la 1:00 PM, donde el comportamiento de los conductores en su conducción es moderado por el bajo estrés. Con estas características se tienen ya definidos los atributos de “Parámetros” que se necesitan para el periodo de tiempo de la simulación y el comportamiento de conducción de los conductores.

Siguiendo con el mismo nivel de simulación, el número de vehículos que vendrán desde la I-44 y desde la OK-36 y la CO RD E2000 serán muy parecidos, habiendo más entradas desde las OK-36 y la CO RD E2000 a la I-44 que al revés para poder acceder a las ciudades. Con este se ha definido las “Peticiones” de la simulación, donde habrá que indicar el flujo de vehículos que salen y entran de cada zona.

Simulación Extrema. Esta simulación correspondería a un horario de alta intensidad de tráfico provocada por la salida de vehículos de las ciudades para poder llegar a los entornos rurales, por lo que sería una franja de 7:00 a 10:00 PM, y el comportamiento de los conductores es más errático por la acumulación de estrés durante el día.

Al contrario que en el caso anterior, el flujo de entrada de vehículos a las zonas de OK-36 y CO RD E2000 sería mucho mayor que el de entrada a las zonas de I-44, habiendo un mayor volumen de vehículos de salida de la I-44 hacia las dos carreteras anteriormente citadas.

Con estas características es momento de definir las dos simulaciones de tráfico en el programa. Primero que todo se definirá la zona a estudiar dentro de cada alternativa modelo. Acto seguido se abrirá el panel de análisis de tráfico que permitirá ajustar las simulaciones para adaptarlas a los estudios que se quieren realizar.

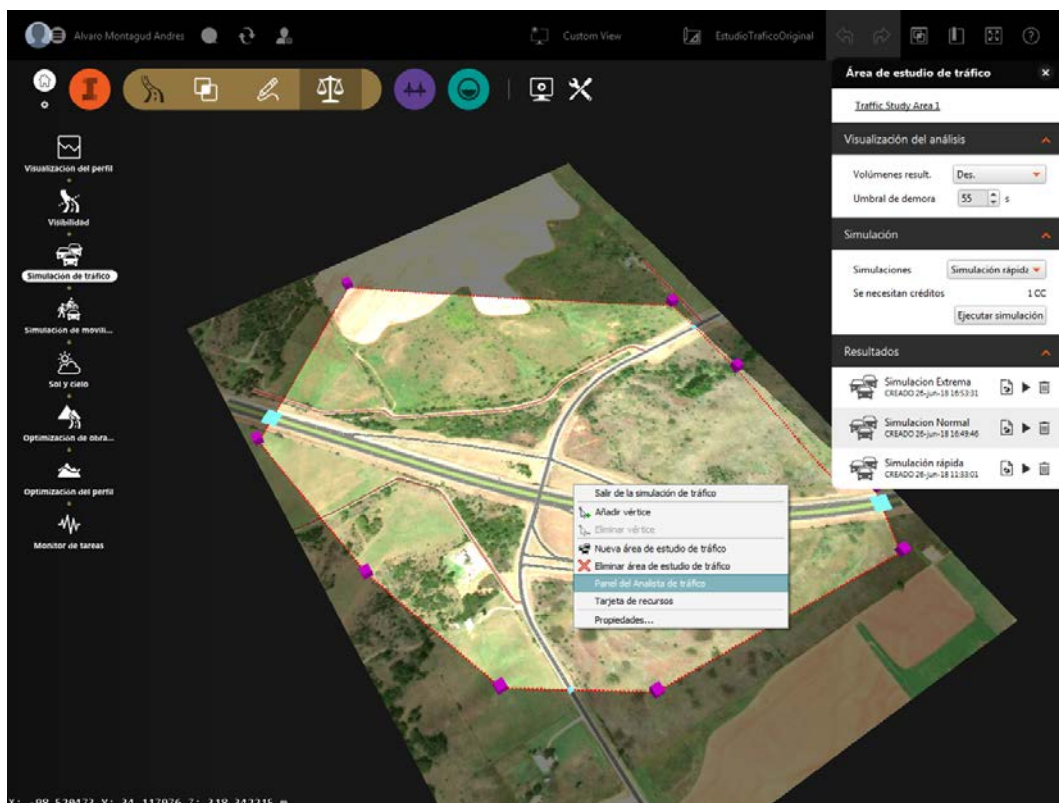


Ilustración 79. Imagen ejemplo de la zona de estudio y el menú de selección del Panel de Análisis de Tráfico. Fuente: (Infraworks, 2018).

Una vez abierto el panel ya se pueden ver las simulaciones disponibles que se pueden ejecutar sobre el modelo. Se van a crear dos nuevas simulaciones que se van a llamar: Simulación Normal y Simulación Extrema.

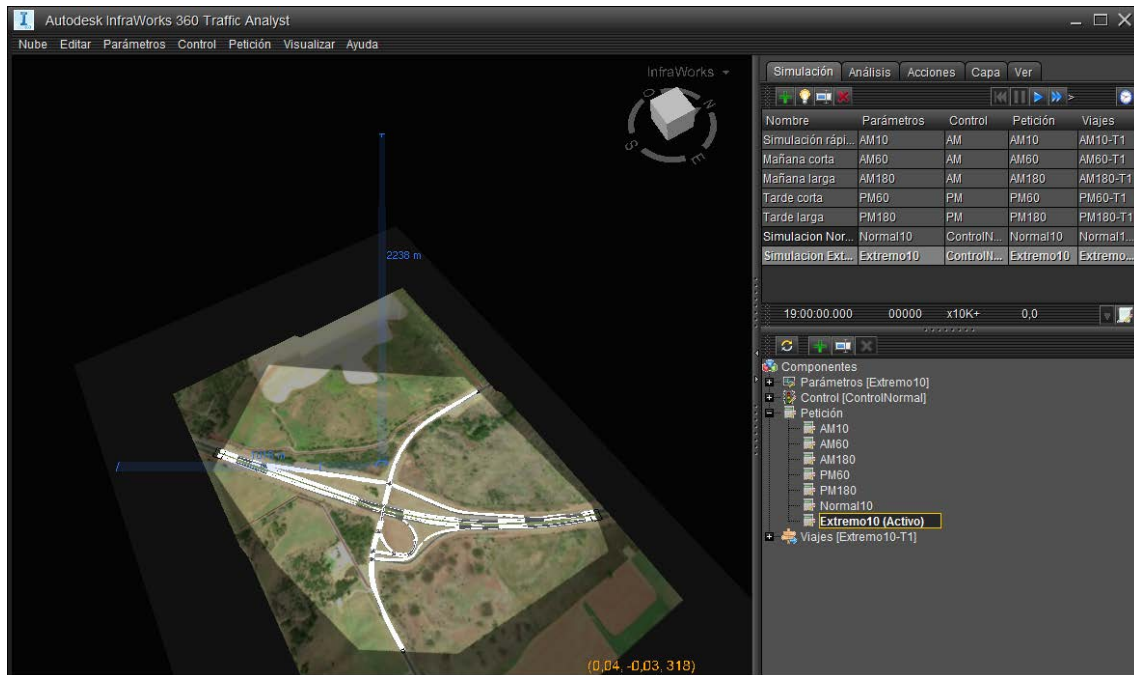


Ilustración 80. Creación de las dos simulaciones. Fuente: (Infraworks, 2018).

Ahora es momento de modificar los atributos de las colecciones de “Parámetros”, “Control” y “Petición”. Para hacer la explicación más amena se explicarán con ejemplos como se configura cada una de las colecciones para una de las simulaciones, teniendo que hacerse lo mismo para la otra.

Para la simulación normal se va a generar un nuevo perfil de “Parámetros” llamado Normal10 en el cual se modificará el periodo de simulación para que vaya desde las 11:00 hasta las 13:00, se modificara el comportamiento de la conducción añadiendo un nuevo comportamiento igual al estándar, pero con una variabilidad del 0,20 para hacerlo menos moderados.

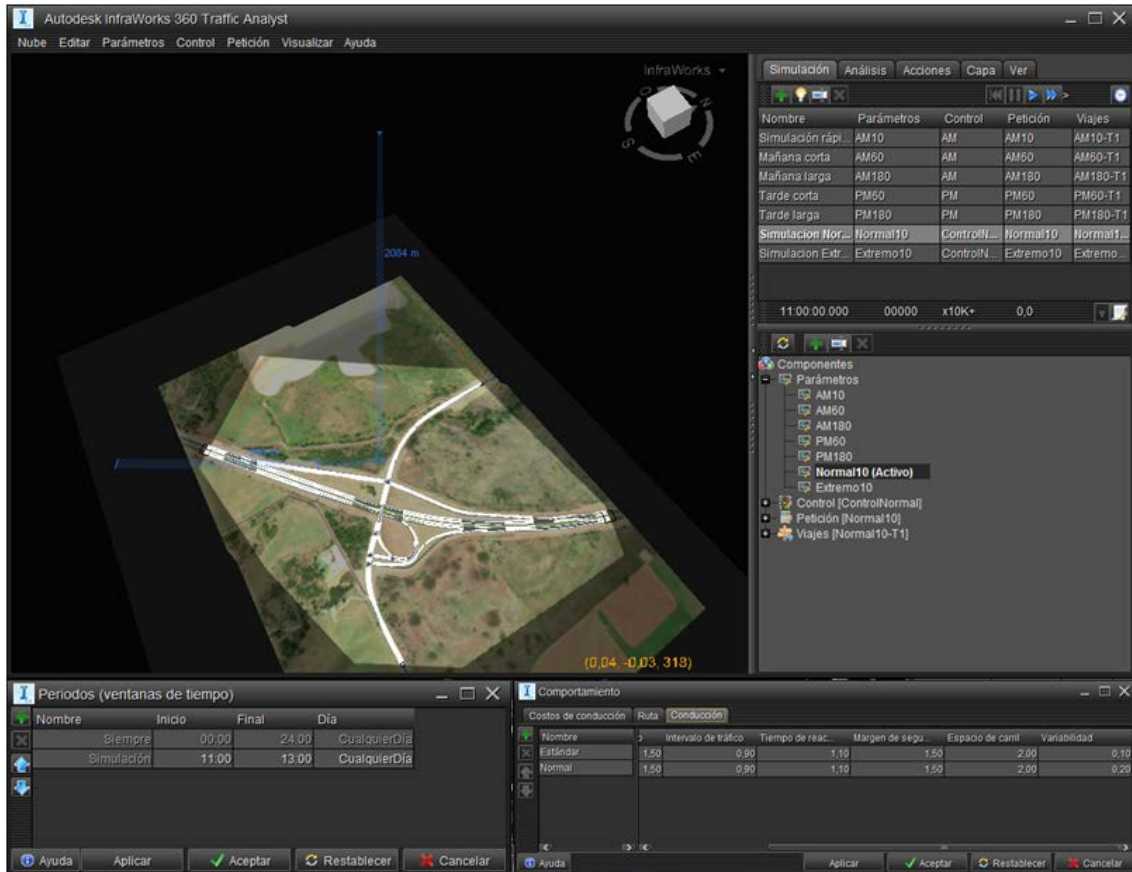


Ilustración 81. Características añadidas a la colección "Parámetros". Fuente: (Infraworks, 2018).

Después toca definir la colección de parámetros de "Control", el cual servirá para definir qué se debe hacer en cada intersección. Al igual que en el ejemplo anterior, se va a crear un nuevo perfil de control distinto de los que hay ya definidos al cual se le va a llamar ControlNormal. Este control nos servirá tanto para la simulación normal como la extrema, ya que no van a haber distinciones sobre lo que se debe hacer en una intersección en función de la hora.

En esta colección nos aparecerán todas las intersecciones presentes en el trazado, y se deberá seleccionar el tipo de señal que actúa sobre los giros: Libre circulación, ceda el paso, Stop, u obstruido. La opción de obstruido no se tendrá en cuenta, por lo que solo se harán Stops y ceda el paso. Para las incorporaciones a las carreteras se utilizarán ceda al paso y para las intersecciones (solo para el caso del estado original del trazado) se utilizarán Stops.

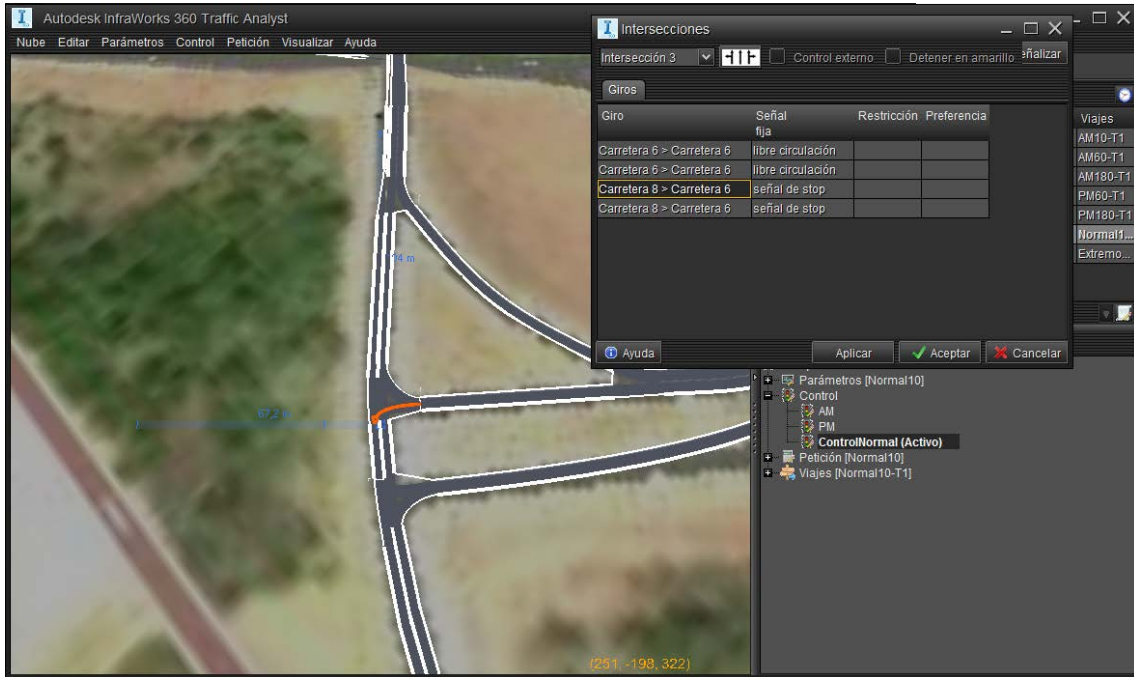


Ilustración 82. Ejemplo de las intersecciones y sus señales. Por ejemplo, el giro W12>Carretera 10 no necesita de ninguna regularización porque es solo una salida. Fuente: (Infraworks, 2018).

Ahora es momento de generar las peticiones que tendrá la simulación. Al igual que en las colecciones anteriores, se crea un nuevo perfil de petición al cual se llamará Normal10. Se va a modificar la matriz existente de peticiones directas entre las zonas para poder dar volúmenes totales de entrada y salida por cada una de ellas. Para ello se hace clic sobre una de las celdas para ver el vector de dirección del tráfico de que zona a que zona va y después se modifica el volumen de coches. Para la Simulación Normal se fijará un volumen total de vehículos de 621. Por último, a partir de la demanda realizada se genera un nuevo perfil de viajes.

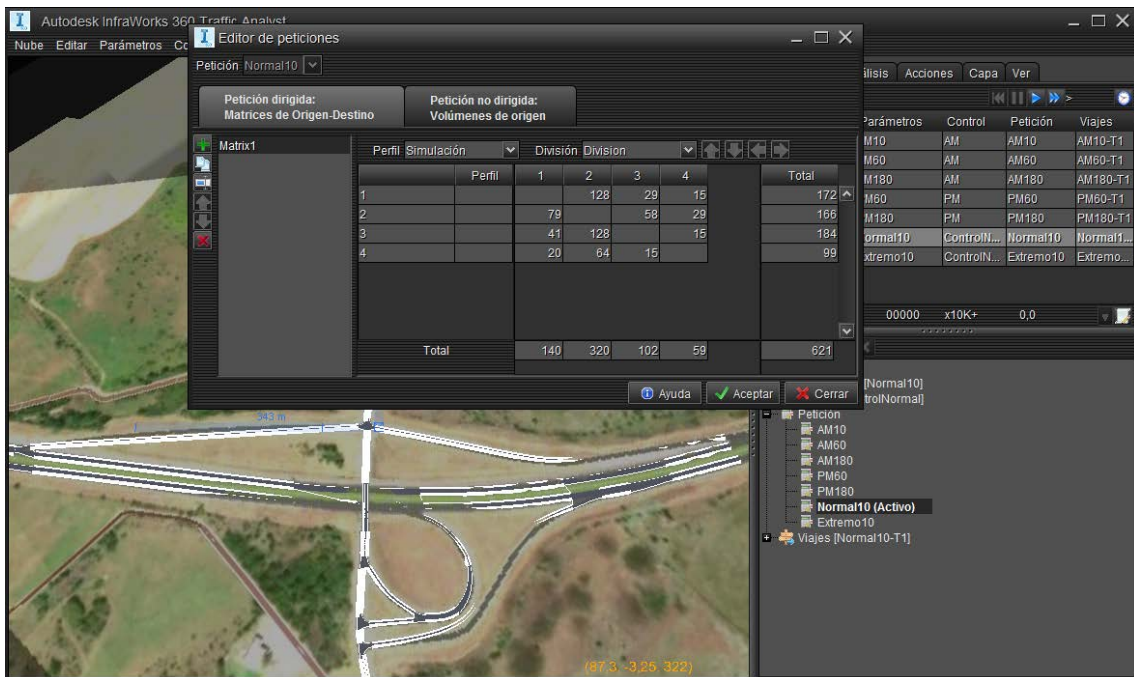


Ilustración 83. Imagen de cómo queda la matriz de tránsito de vehículos desde cada una de las zonas. Las filas y las columnas representan las zonas de entrada/salida. Fuente: (Infraworks, 2018).

Estos mismos pasos se van a seguir ahora para confeccionar la Simulación extrema. En esta simulación se colocará la hora de 19:00 a 22:00, con un parámetro de variabilidad en la conducción de 0,4 para denotar el estrés de los conductores. El volumen de tráfico será mayor, 1289 vehículos y los controles serán los mismos que para la anterior simulación.

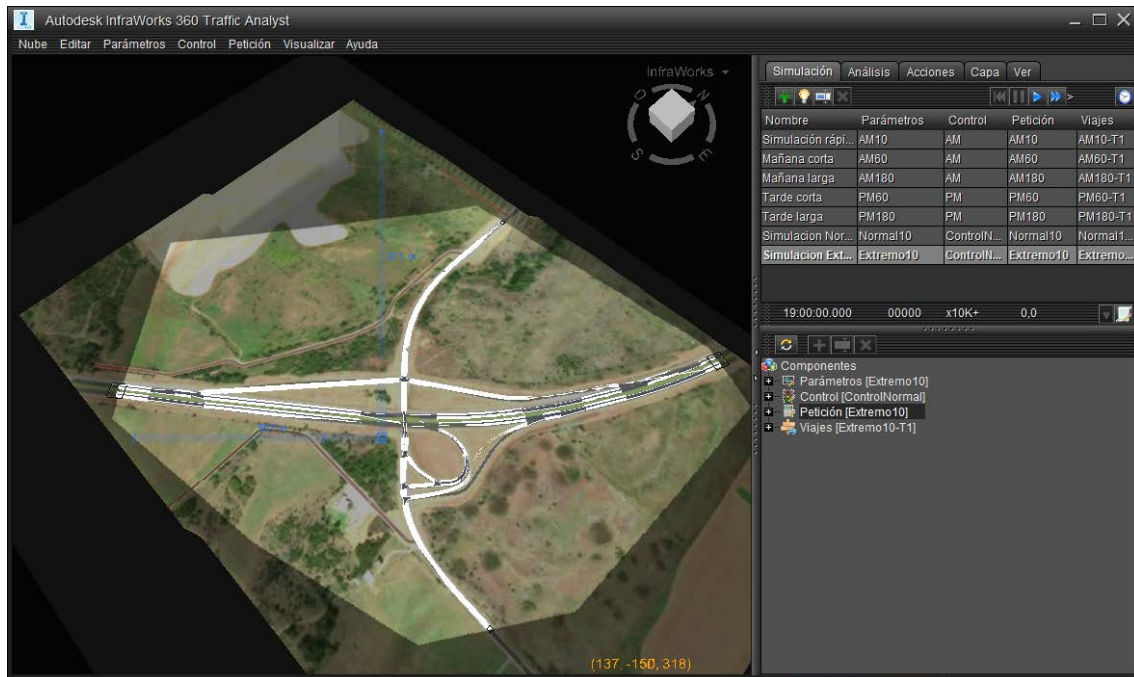


Ilustración 84. A mano derecha se ven los componentes seleccionado para la Simulación Extrema. Fuente: (Infraworks, 2018).

Estos pasos se repetirán para el modelo que se diseñe para el nudo. Tras configurar las simulaciones será el momento de realizar el análisis de tráfico.

4.2.1.2. Análisis de tráfico.

Ahora solo queda realizar el análisis de tráfico con las simulaciones creadas anteriormente. Para ello hay dos opciones con distintos niveles de análisis.

- El primero es desde el panel de Análisis de tráfico, que es el mismo desde el cual se crean las simulaciones. Una vez están creadas pueden ser analizadas para obtener información acerca de los Vehículos (los trayectos que han hecho y los estadísticos de tiempo, distancia, etc...), de las Intersecciones (para poder saber el nivel de servicio de una carretera, que van de la A a la F) y de las Carreteras (Para saber el número de vehículos que han pasado por ella, así como sus velocidades y flujos medios). Este será siempre un estudio previo, ya que solo ejecuta 30min de análisis.
- El segundo análisis es sobre el modelo, y la información es más visual. Te indica e los tramos entre intersecciones el nivel de espera que tendría un vehículo con la simulación que se está ejecutando mediante tiempo máximo de espera y la longitud de cola máxima de atasco en metros. También es posible después obtener informes en archivos CSV de los análisis realizados, con información relevante acerca de los trayectos de los vehículos con información como duración del trayecto, emisiones de CO2 y NOx, o el número de Stops realizados.

Para el análisis se van a tener en cuenta los niveles de servicio de las carreteras, prestando atención a aquellas que den por debajo de E. También se tendrán en cuenta los tiempos de

espera de cada tramo para poder obtener unas conclusiones. Y como añadido, se analizarán la cantidad de CO₂ y NO_x que se ha emitido en cada simulación.

Empezando por el diseño original, de la simulación normal se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 5. Tabla con los tramos conflictivos del nudo Original con simulación normal. Fuente: (Infraworks, 2018).

Nombre Infraworks	Identificación por tipología de carril	Nivel de servicio	Tiempo medio espera(seg)	Cola (m)
W1	Incorporación I-44 sentido sur (carril aceleración)	F	37	0
N6	OK-36 sentido Oeste antes Intersección	F	90	40,8
S6	OK-36 sentido Este antes Intersección	F	115	67,2
S13	Incorporación I-44 sentido sur (rampa)	E	37	0
S12	Salida I-44 sentido sur (rampa)	E	114	28,6

Tabla 6. Tabla con los tiempos medios de trayecto y unidades de CO₂ y NO_x del nudo original con simulación normal. Fuente: (Infraworks, 2018).

Tiempo medio trayecto	CO ₂	NO _x
0:02:17	170537,57	365,53

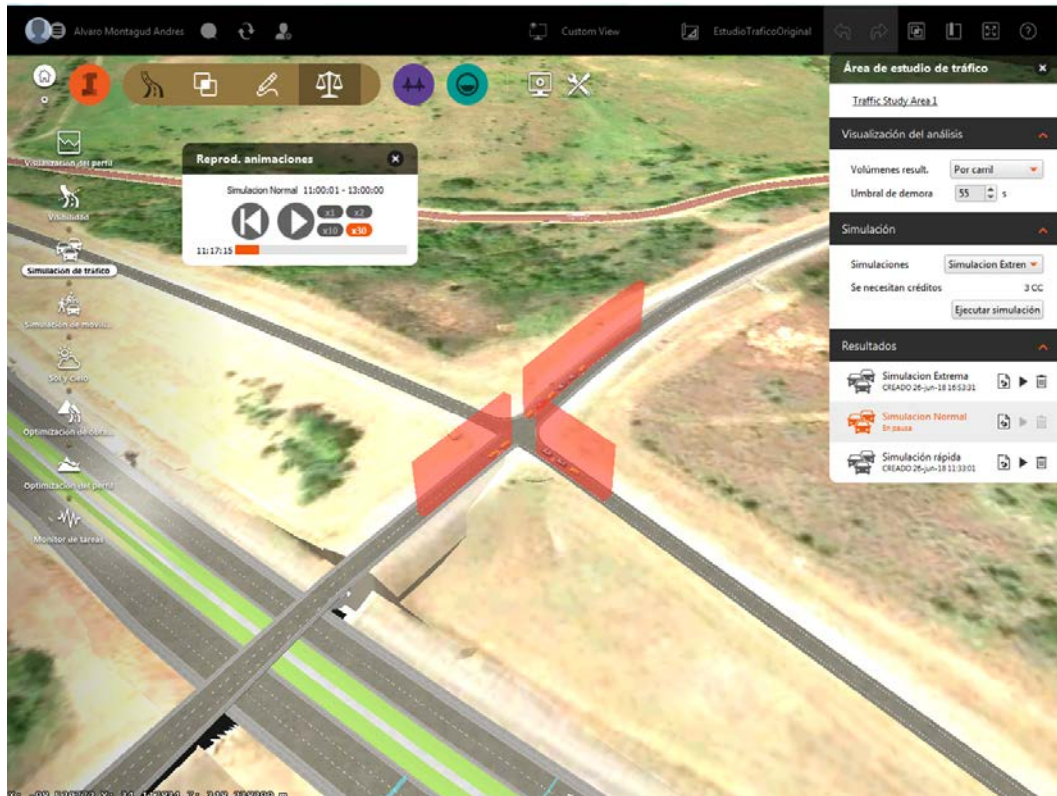


Ilustración 85. Imagen de la simulación normal del nudo original. Se pueden ver las barras rojas que representan una espera mayor a 55 segundos (umbral de demora) representada también por su altura y un largo de barra que indica visualmente la cola. Fuente: (Infraworks, 2018).

Como ya se había predicho, la intersección entre la OK-36 y las rampas de acceso y salida a la I-44 dirección sur está dando problemas de flujo de tráfico. Ahora se van a ver los resultados de la Simulación Extrema en el nudo Original:

Tabla 7. Tabla con los tramos conflictivos del nudo Original con simulación extrema. Fuente: (Infraworks, 2018).

Nombre Infraworks	Identificación por tipología de carril	Nivel de servicio	Tiempo medio espera(seg)	Cola (m)
W1	Incorporación I-44 sentido sur (carril aceleración)	F	38	0
S12	Salida I-44 sentido sur (rampa)	F	1104	523,5
S6	OK-36 sentido Este antes Intersección	F	116	284,7
S13	Incorporación I-44 sentido sur (rampa)	E	38	0
N6	OK-36 sentido Oeste antes Intersección	D	597	237,6

Tabla 8. Tabla con el tiempo medio de los trayectos y las unidades de CO₂ y NO_x del nudo original con simulación extrema. Fuente: (Infraworks, 2018).

Tiempo medio trayecto	CO ₂	NO _x
0:09:30	376938,412	389,005

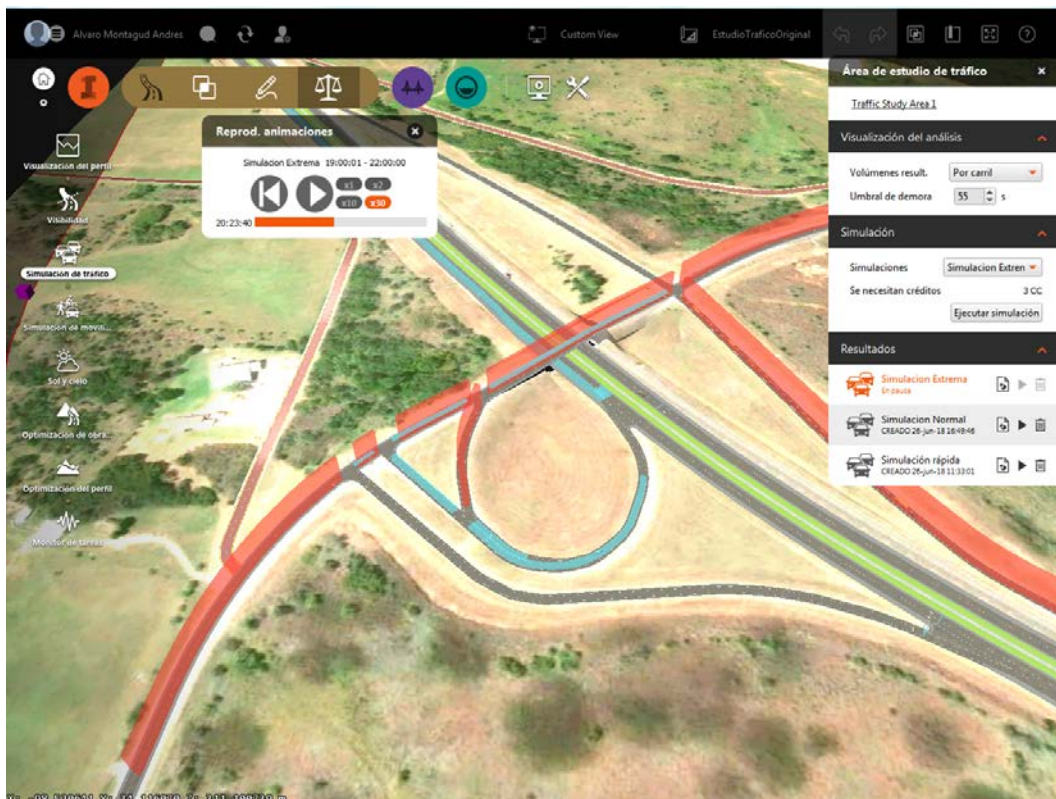


Ilustración 86. Imagen de la simulación extrema del nudo original. Como se puede observar, aumentar el flujo de coches es dañino para los niveles de servicio del trazado. Las colas para poder pasar la intersección llegan casi a ser kilométricas. Fuente: (Infraworks, 2018).

Si comparamos los tiempos medios de trayectos entre las dos simulaciones, aumentan en casi 7 min cada trayecto para poder llegar a de una carretera a la siguiente. Además, la cantidad de CO₂ y de NO_x aumentan considerablemente, 206400 y 24 unidades respectivamente. Puede que sea por el aumento de coches, pero según los análisis extraídos la cantidad de trayectos realizados en la segunda simulación ha sido mayor en solo 136 comparados con las cifras de 615 y 751. Teniendo en cuenta que en el primero se obtuvieron 170537 unidades de CO₂ respecto a las 206400 que hay de diferencia, se considera que los atascos están aumentando la emisión de CO₂.

4.2.2. Diseño del nudo

Se plantea el cambio de elementos que se están utilizando en este nudo para mejorar la comodidad y seguridad de la conducción. Las intersecciones por lo tanto se van a eliminar, tratando de realizar los giros a la derecha mediante Ramales directos y los giros a la izquierda se realizarán mediante lazos y ramales semidirectos. Estas decisiones están basadas en el estudio de tráfico realizado en el anterior punto. Dado que el propio programa trabaja

mediante la normativa AASHTO de Estados Unidos se asegura que el diseño geométrico del trazado del nuevo nudo estará acorde a las normativas de allí.

Se va a comenzar entonces con la creación del Modelo donde se efectuara el diseño del nuevo nudo. El proceso es el mismo que el anterior pero con la salvedad de que se van a mantener los datos cartográficos MDE y Ortofoto que se obtienen a través de Model Builder.

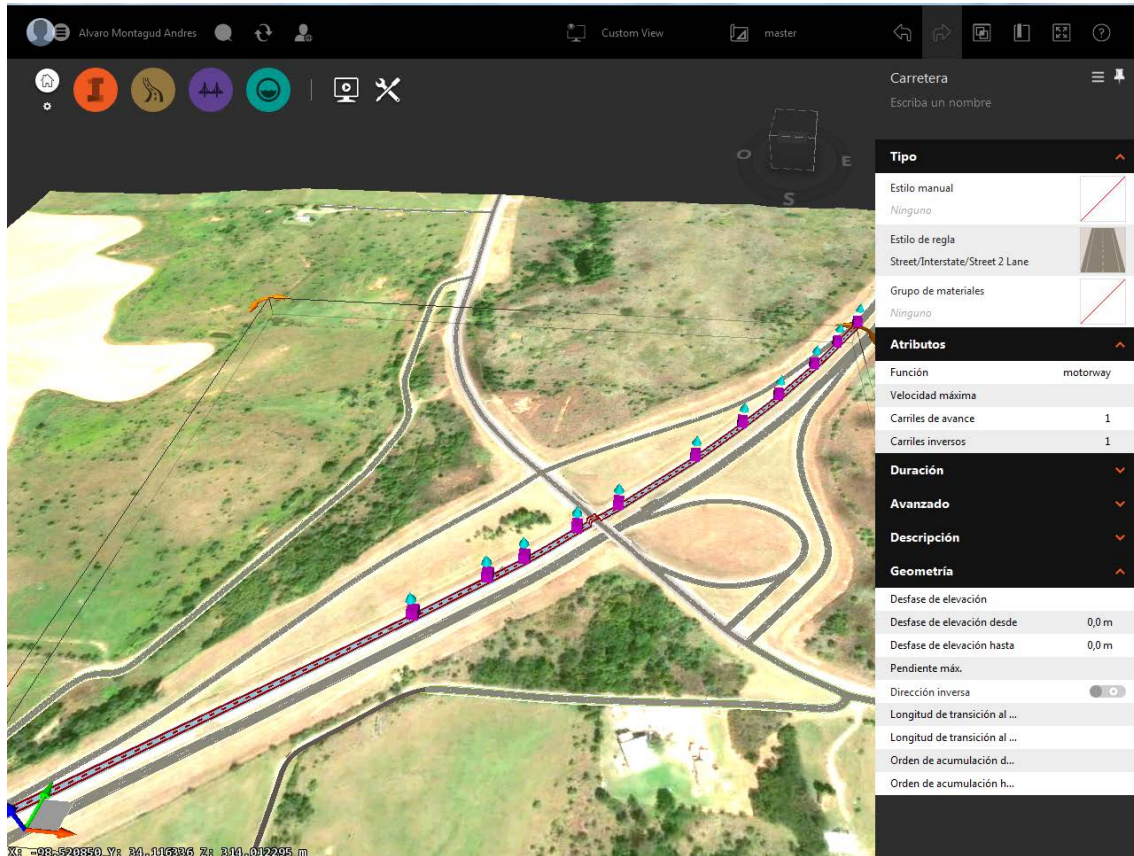


Ilustración 87. Imagen que muestra el modelo creado por Infracworks mediante Model Builder. La cantidad de atributos que se han pasado desde la cartografía a los elementos es bastante pobre. Además, la I-44 la han representado como dos carreteras separadas. Fuente: (Infracworks, 2018).

Lo primero que todo será cambiar los elementos generados para crear la I-44 así como la OK-36 y la CO RD E200 y confeccionar un elemento que sea acorde a la realidad. Para extraer información acerca de las dimensiones geométricas del trazado se ha accedido a la IDE del estado de Oklahoma (Oklahoma Geographic Information Council). Dentro del geoportal (<https://okmaps.org/OGI/search.aspx>) se ha accedido al repositorio de datos de transporte ODOT_Highways, el cual transmite información vectorial mediante el servicio WFS del OGC.

En este caso la I-44 en este tramo se compone de dos calzadas separadas por una mediana de 10 metros (34 pies), 2 carriles en cada calzada (la calzada derecha para avance y la izquierda para sentido contrario) con arcén interior de 1,2 metros (4 pies), arcén exterior de 3 metros de ancho (10 pies) y ancho de carriles de 3,65 metros (12 pies). La mediana está configurada por un bloque de hormigón de aproximadamente 2 metros de ancho (medido sobre imagen aérea de google maps). Se aprecia en la imagen que la mediana tiene forma de V pero no se sabe su pendiente.

Por otro lado, el tramo de la carretera OK-36 se compone de 1 calzada de 2 carriles con doble sentido de circulación. La anchura de los arcenes es de 2,4 metros (8 pies) y la de los carriles la misma que la de la I-44: 3,65 metros (12 pies).

En cuanto a la carretera CO RD E200 el tramo se compone de 1 calzada con 2 carriles con doble sentido de circulación. La anchura de los arcenes es de 1,5 metros (5 pies) y la anchura del carril es de 2,75 metros (9 pies).

En cuanto a las pendientes máximas y peraltes, el peralte se dejará en el 2% en las rectas (para highways es el aplicado por la norma y para los colectores, Collectors, si están bien pavimentados se puede utilizar ese peralte) y se ajustara el máximo a lo que indique la norma AASHTO para las curvas y las transiciones de peralte. La pendiente máxima para I-44 será del 3%, para la carretera OK-36 del 6% y para la carretera colector CO RD E2000 la pendiente máxima será del 7%.

En cuanto a velocidad de proyecto, no había información al respecto en los atributos de las capas de ODOT_Highways, Country Collector Roads o ODOT Roadways. Por lo tanto, se dejarán en un valor que se ajuste a las pendientes y peraltes que se han comentado antes: para I-44 la velocidad de proyecto será de 110 km/h, para la OK-36 será de 80 km/h, y para la CO RD E2000 será de 60 km/h.

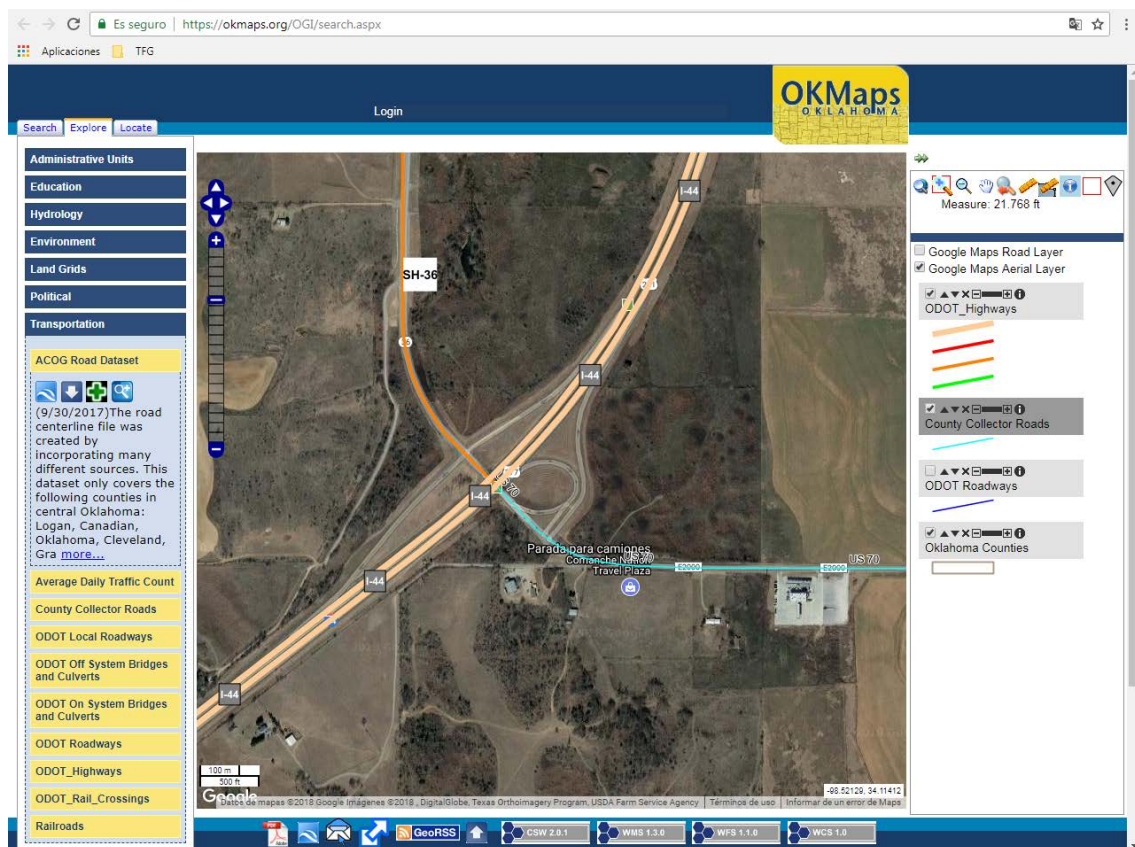


Ilustración 88. Imagen del Geoportal de Oklahoma GIC. Se ha cargado la capa ODOT_Highway con servicio WFS y se pueden visualizar los atributos para los tramos. Fuente: (okmaps, n.d.).

Con esta información ya se puede empezar a trabajar en el diseño del nuevo nudo para las carreteras I-44, OK-36 y CO RD E2000. Se empezará primero creando los estilos de carretera compuesta para las carreteras existentes.

Tabla 9. Tabla de las características de las carreteras a utilizar en este proyecto. Fuente: (AASHTO, 2001; okmaps, nd).

Carretera	Carril	Mediana	Arcén Int	Arcén Ext	Vel Proy	Pend mx	Peralte
I-44	3,65 m	10 m	1,2 m	3 m	110 km/h	3 %	2 %
OK-36	3,65 m	---	---	2,4 m	80 km/h	6 %	2 %
CO RD E2000	2,75 m	---	---	1,5 m	60 km/h	7 %	2 %

Para ello se selecciona directamente la creación de una carretera compuesta, de esta manera se podrán colocar los componentes que se colocarán en la carretera. Primero se generaron los carriles de cada una de las calzadas para luego proseguir y crear la mediana con el bloque de hormigón en el centro. Al bloque no se le dio forma de V porque no se consideró necesario al estar en una etapa de diseño. Los arcenes para que se pudieran distinguir de los carriles se les dio un tono más claro.



Ilustración 89. Imagen de las carreteras confeccionadas. De izquierda a derecha, la I-44, la OK-36 y la CO RD E2000. Fuente: (Infraworks, 2018).

Una vez creadas ya solo queda representarlas en la realidad. Se intentó pasar las carreteras existentes a estado de carretera de componente para aprovechar su trazado e implantar la nueva disposición directamente sobre ellos, pero al hacer la conversión los vértices utilizados para crear las carreteras de planificación se convertían en vértices de curvas en las carreteras de diseño y compuestas, generando mucho problemas de conexión entre las carreteras. Al final se decidió crearlas de forma manual, eligiendo donde se querían colocar los vértices de las curvas.

Para hacer este nudo de 4 tramos se va a utilizar una geometría de nudo de estrella compacta. De esta manera se podrá visualizar la potencia que tiene este programa para generar alternativas complejas. Primero se comenzará con los giros directos en cada uno de los tramos. Para ello se van a crear 4 rampas para los accesos directos a cada una de las vías. Pero existe un problema y es que Infraworks cuando genera la unión automática de la rampa con la carretera a la que va a asociarse crea en toda la zona de unión (el carril de aceleración o deceleración) una zona de intersección. Esto dificulta que se pueda hacer un carril de aceleración o deceleración en el otro sentido a la misma altura.

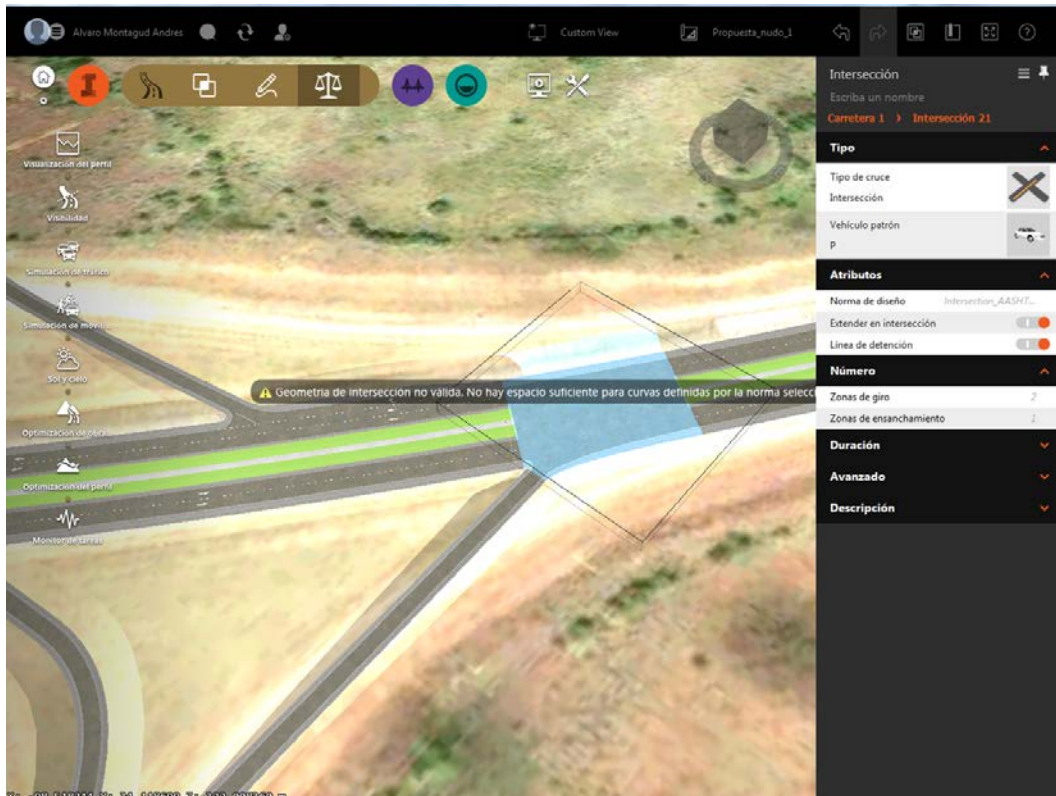


Ilustración 90. Imagen del problema que tiene Infraworks cuando se ponen dos rampas a la misma altura. Al detectar que hay 2 ejes conectándose en zonas cercanas del eje de la carretera principal genera de forma automática una intersección. Fuente: (Infraworks, 2018).

Para solucionar este problema se realizarán los giros desde una rampa ya existente o bien separando los carriles de deceleración/aceleración o bien reduciendo, sin quebrantar la norma, la distancia de los carriles de aceleración/deceleración. De esta manera se generarán todos los giros posibles dentro del trazado. Para los carriles de aceleración y deceleración, en la I-44 se ha dejado un largo de 80 metros para la transición de velocidad de forma provisional, a falta de retocar para que cumpla la normativa en la fase de proyecto; Para las carreteras OK-36 y la CO RD E2000 se ha dejado un largo de carril para las transiciones de velocidades de 60 metros, también a falta de retocar en la fase de proyecto.

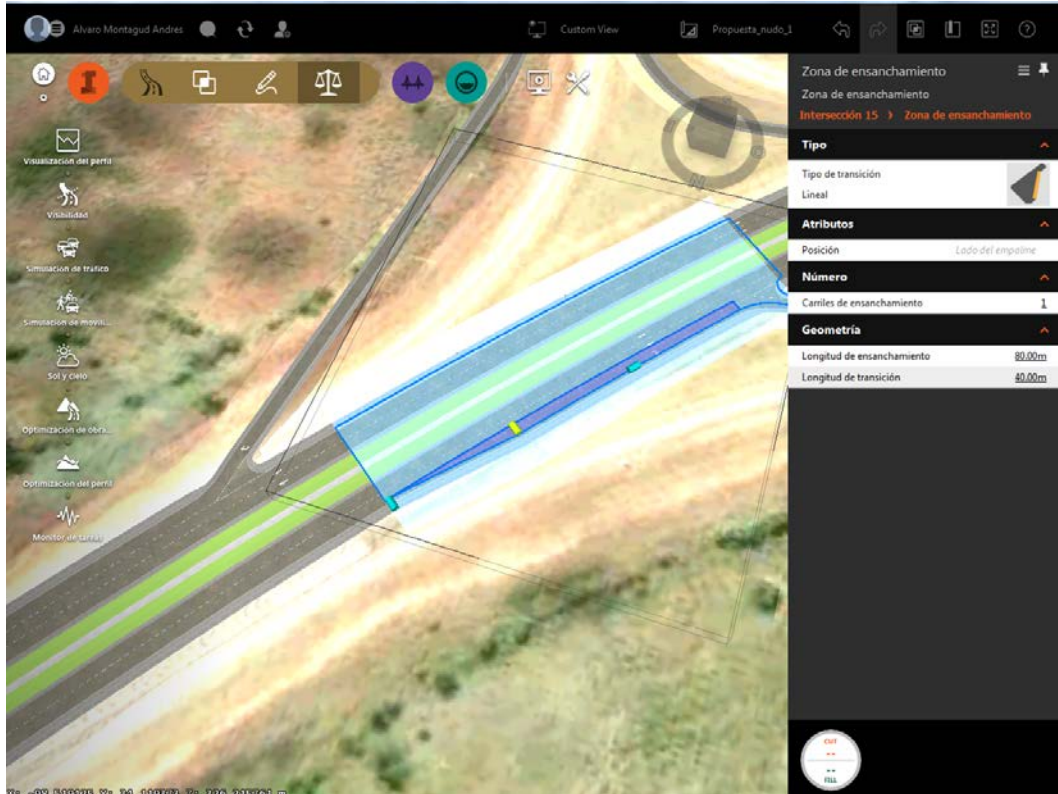


Ilustración 91. Imagen del resultado final tras modificar las distancias de transición de velocidades, además de adelantar un poco más la rampa para el giro a derechas de la CO RD E2000. Fuente: (Infraworks, 2018).



Ilustración 92. Imagen del resultado tras unificar los ramales para el giro a derechas y a izquierdas de la I-44 sentido Suroeste. Fuente: (Infraworks, 2018).

Para hacer el giro directo desde la I-44 sentido Noreste hasta la CO RD E2000 se pensó primero en realizar una incorporación en la rampa de giro semidirecto de la I-44 sentido Suroeste. Debido a los problemas que dio por no tener suficiente espacio para generar dicha incorporación al final se optó por realizar dos incorporaciones en la CO RD E2000 sentido Este.



Ilustración 93. Imagen del resultado del giro directo de la I-44 sentido Noreste. Se hace pasar por debajo del giro semidirecto entre la I-44 sentido Suroeste y la CO RD E2000 sentido Este. Fuente: (Infraworks, 2018).

Ahora desde la carretera OK-36 en sentido Este se deben hacer los giros a la izquierda y a la derecha para incorporarse a la I-44. Para esto se ha planteado realizar un giro a izquierda semidirecto utilizando una obra de paso por encima de la que ya se había planteado para el giro a izquierdas de la I-44 sentido Suroeste. Como el lazo que se había hecho para el giro a izquierdas desde la I-44 sentido Noreste era demasiado ancho se ha tenido que modificar su geometría para permitir la incorporación entre el ramal directo de la CO RD E2000 y la obra de paso nueva.



Ilustración 94. Imagen de cómo quedan los giros a izquierda y derecha del trazado de la carretera OK-36 sentido Este con la carretera I-44. Fuente: (Infraworks, 2018).

Para realizar una única incorporación a la I-44 sentido Noreste se han juntado el Ramal semidirecto de la OK-36 sentido este con el ramal directo de la CO RD E2000 sentido Oeste. Una vez se han terminado de realizar los trazado es momento de colocar las obras de paso, en este caso para los ramales semidirectos de la OK-36 y la I-44. En ambos casos se ha elegido para la estructura un puente de jácenas en forma de I prefabricadas. Se han tenido que modificar los pilares de orientación, cantidad y lugar para que no molestaran a la circulación.



Ilustración 95. Imagen de los puentes colocados en los ramales indirectos. Fuente: (Infraworks, 2018).

Para realizar el último giro, se ha optado por un ramal semidirecto que pase por encima mediante una obra de paso de las incorporaciones a la carretera OK-36. De esta manera no saturamos en exceso la I-44 de pilares y sobreelevaciones.

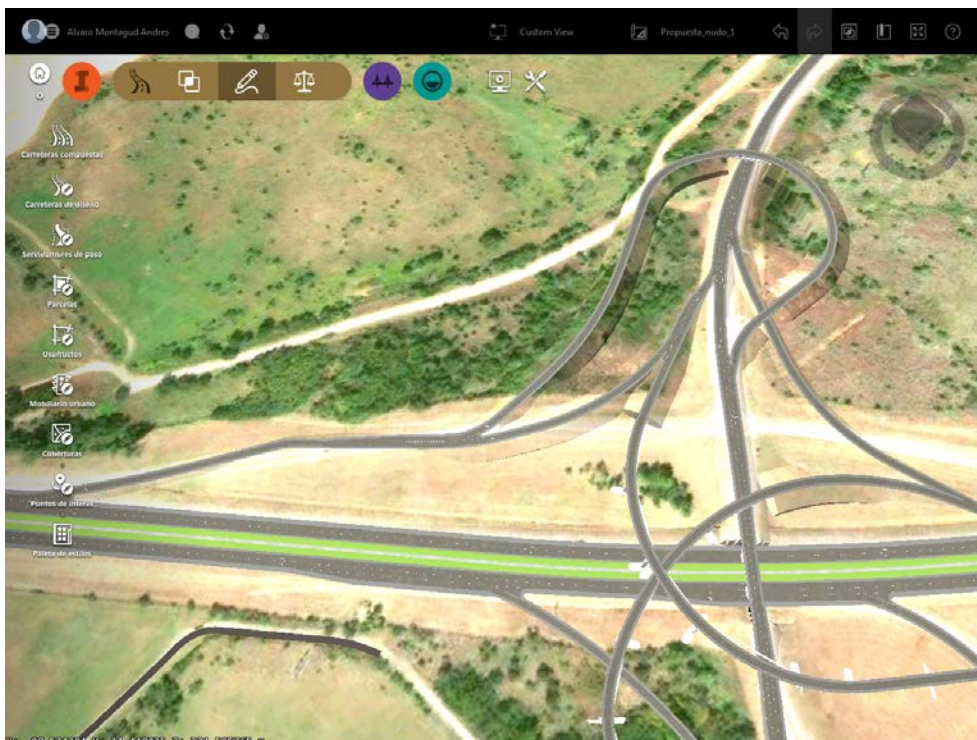


Ilustración 96. Imagen que muestra el último ramal para poder tener las 3 vías intercomunicadas. Fuente: (Infraworks, 2018).



Ilustración 97. Imagen resultado de la propuesta uno comparada con la situación inicial. Fuente: (Infraworks, 2018).

Como se ve en la imagen, se ha solucionado la intersección superior rodeada por el círculo utilizando los giros A (Ramal semidirecto desde final de CO RD E2000 a I-44), B (Ramal directo desde la I-44 a la OK-36), C (Ramal directo desde la OK-36 a la I-44) y la E (Ramal semidirecto desde la I-44 a la CO RD E2000).

En el caso de la intersección inferior, rodeada también por un círculo rojo, se ha tratado de solucionar esas intersecciones utilizando los giros H (se ha hecho de forma definitiva un ramal directo que va de la CO RD E2000 hasta la I-44 eliminando la intersección), F (Ramal semidirecto desde OK-36 que sustituye la intersección anterior y que lleva a I-44), G (Lazo para el giro a izquierdas de la I-44 en sentido Noreste, se ha eliminado la intersección y se ha dejado solo la incorporación), D (Ramal directo desde I-44 sentido Noreste hasta la CO RD E2000, que sustituye la intersección antes mencionada en el giro G).

4.2.3. Estudio de tráfico del nuevo trazado.

Se estudiará ahora la simulación de tráfico para el trazado nuevo para comprobar como mejora respecto al original. Los resultados de la simulación normal son:

Tabla 10. Tabla con los tramos conflictivos del nudo nuevo con simulación normal. Fuente: (Infraworks, 2018).

Nombre Infraworks	Identificación por tipología de carril	Nivel de servicio	Tiempo medio espera(seg)	Cola (m)
S13	Ramal Semidirecto I-44 a CO RD E2000	E	41	0
E12	Ramal Semidirecto OK-36 a I-44	E	41	0
S18	Ramal en asa OK-36 Oeste a I-44 Sur	E	48	0

Tabla 11. Tabla con el tiempo medio de los trayectos y las unidades de CO₂ y NO_x del nudo nuevo con simulación normal. Fuente: (Infraworks, 2018).

Tiempo medio trayecto	CO ₂	NO _x
0:01:16	156601,35	398,83

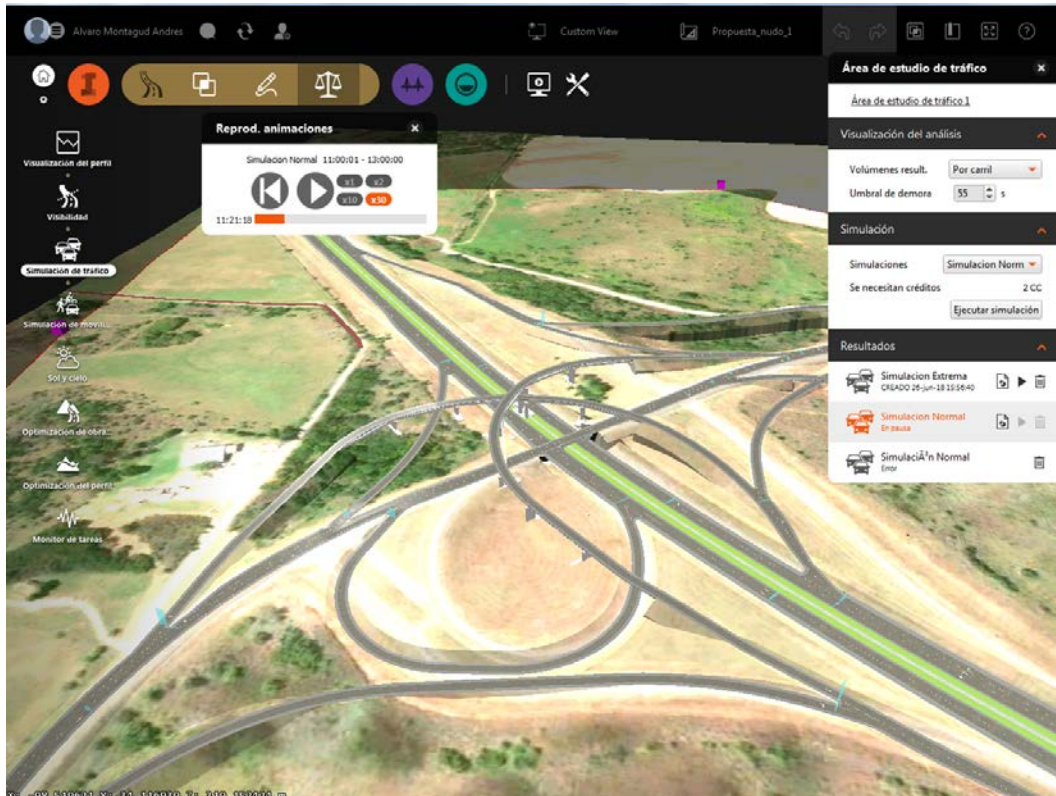


Ilustración 98. Imagen de la simulación normal en el nudo nuevo. SE puede observar que ningún ramal tiene grandes afecciones, como mucho tiempos de espera de menos de 1 minuto en los ramales de entrada y salida de la I-44. Fuente: (Infracworks, 2018).

Las primeras comparaciones ya pueden ser hechas sobre las simulaciones normales de cada nudo (Original y nuevo). De primeras, el tiempo medio para realizar los trayectos entre las carreteras se reduce en 1 minuto, dando acceso a estas mucho más rápido. Y esto se ve también en los tiempos medio de espera en los ramales y carriles de incorporación, los cuales no superan el minuto con 0 metros de cola respecto a los casi 2 minutos de espera por la intersección en el nudo original con casi 70 metros de cola. Además, las emisiones de CO2 se han reducido en 15000 unidades aproximadamente gracias a los tiempos cortos de trayectos.

A continuación, se muestran los resultados de la simulación extrema sobre el nudo nuevo:

Tabla 12. Tabla con los tramos conflictivos del nudo nuevo con simulación extrema. Fuente: (Infracworks, 2018).

Nombre Infracworks	Identificación por tipología de carril	Nivel de servicio	Tiempo medio espera(seg)	Cola (m)
E12	Ramal Semidirecto OK-36 a I-44	E	41	0
S18	Ramal en asa OK-36 Oeste a I-44 Sur	E	48	0
S13	Ramal Semidirecto I-44 a CO RD E2000	E	41	0

Tabla 13. Tabla con el tiempo medio de los trayectos y las unidades de CO2 y NOx del nudo nuevo con simulación extrema. Fuente: (Infraworks, 2018).

Tiempo medio trayecto	CO2	NOx
0:01:26	321283,24	772,71

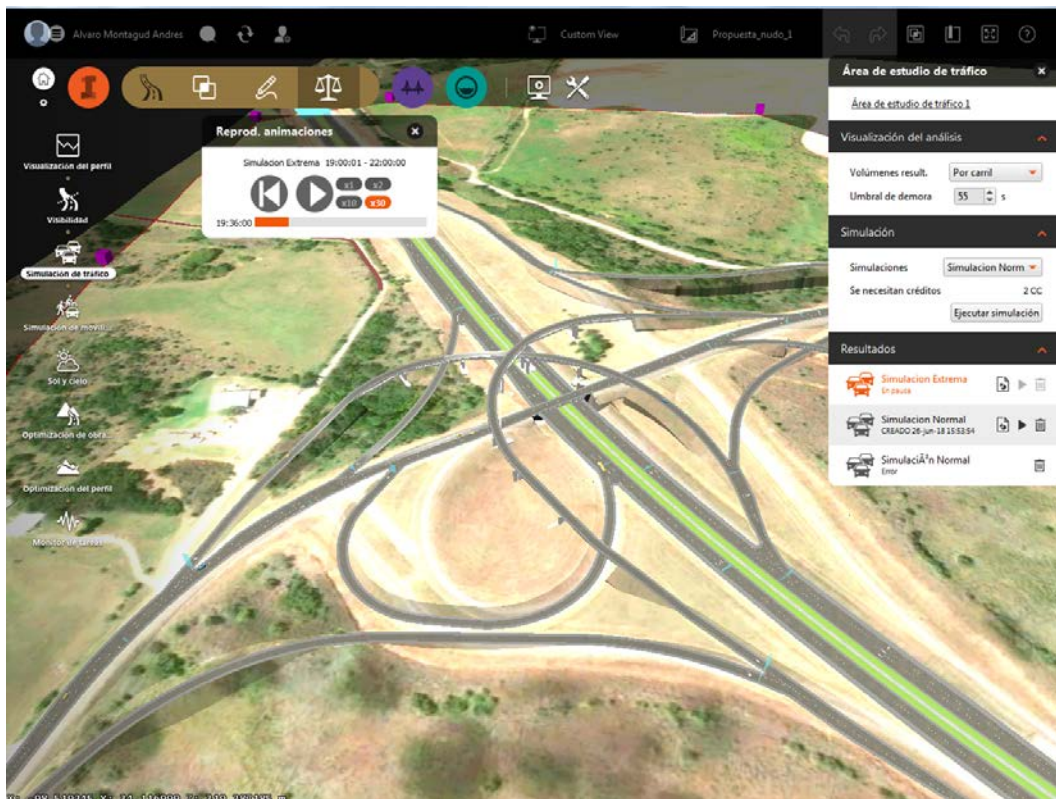


Ilustración 99. Imagen de la simulación extrema sobre el nudo nuevo. Es idéntica en barras de coste de tiempo y longitud a la de la simulación normal hecha anteriormente. Fuente: (Infraworks, 2018).

La comparativa de las dos simulaciones extremas muestra datos más aclaratorios que los anteriores. El tiempo medio de trayecto apenas se ve afectado por el incremento de flujo de vehículos entre las dos carreteras y es considerablemente menor que el del nudo original. Los tiempos de espera no varían respecto a la simulación normal y los niveles de CO2 son muy parecidos a los obtenidos en la simulación extrema del nudo original, aunque altos se debe solamente al gran aumento de trayectos. En la simulación extrema del original tan solo hubo 751 trayectos mientras que en la del nudo nuevo ha habido 1289 trayectos, el doble al de la simulación normal.

Con todo esto se puede afirmar que el diseño del nudo nuevo cumple con las expectativas de dar un buen nivel de servicio aun en un momento de alta intensidad de tráfico.

4.3. Tercer Anteproyecto: Diseño de un puente en la ciudad de Nueva York que eleve la Calle Este 48 (East 48th Street) para salvar la intersección con la primera avenida (1th Avenue).

Como tercer y último Anteproyecto se va a tratar el diseño de puentes en Infracworks. Hasta ahora se han utilizado para poder realizar los nudos en los Anteproyectos anteriores, dejando su diseño en un segundo plano (aunque sí que se han realizado ciertos ajustes para su emplazamiento, como por ejemplo mover los pilares o definir el número de jácenas).

En este anteproyecto se estudiará a fondo hasta donde se puede llegar en Infracworks para el diseño de un puente teniendo en cuenta todos los parámetros de los que se dispone para poder desarrollar al máximo su diseño. El lugar elegido será en la Ciudad de Nueva York, un entorno urbano caracterizado por sus altos edificios y su alta densidad de población. Además, también lo caracteriza el hecho de que este dispersa en distintas islas, por lo que la necesidad de puentes que permitan el paso de una isla a otra es real.

Por diversas causas, el gobierno de Nueva York pide que se salve mediante un puente la Primera avenida haciendo una obra de paso en la Calle Este 48, donde estas dos intersecan. Por ello se va a descargar la cartografía utilizando Model Builder de Infracworks, para así tener una idea del entorno en el que estará y si el diseño que se hará del puente afectará mucho o poco a los dos distritos. Tras descargar la cartografía se observan ciertos errores de modelado que ha habido debido a la gran cantidad de intersecciones que no son ejecutables por los modelos de diseño de carretera y además edificios mal geolocalizados, encontrándose por debajo del nivel del Modelo Digital de Elevaciones.

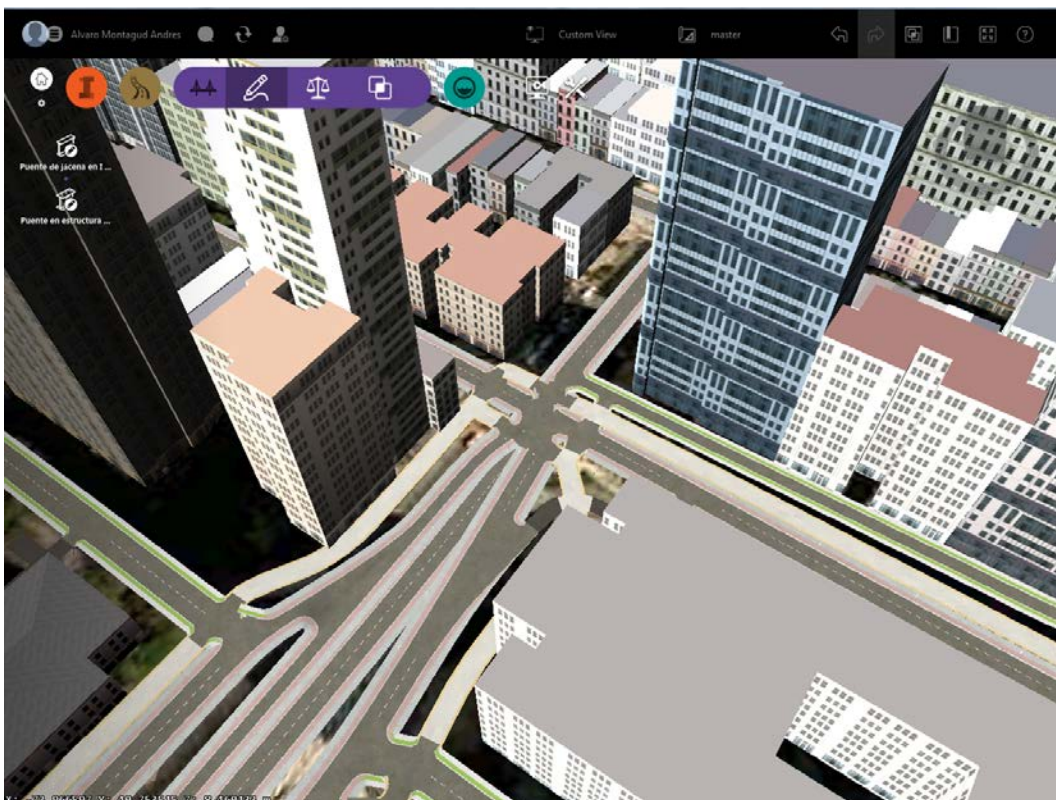


Ilustración 100. Imagen donde se aprecian las imperfecciones de las intersecciones. Fuente: (Infracworks, 2018).

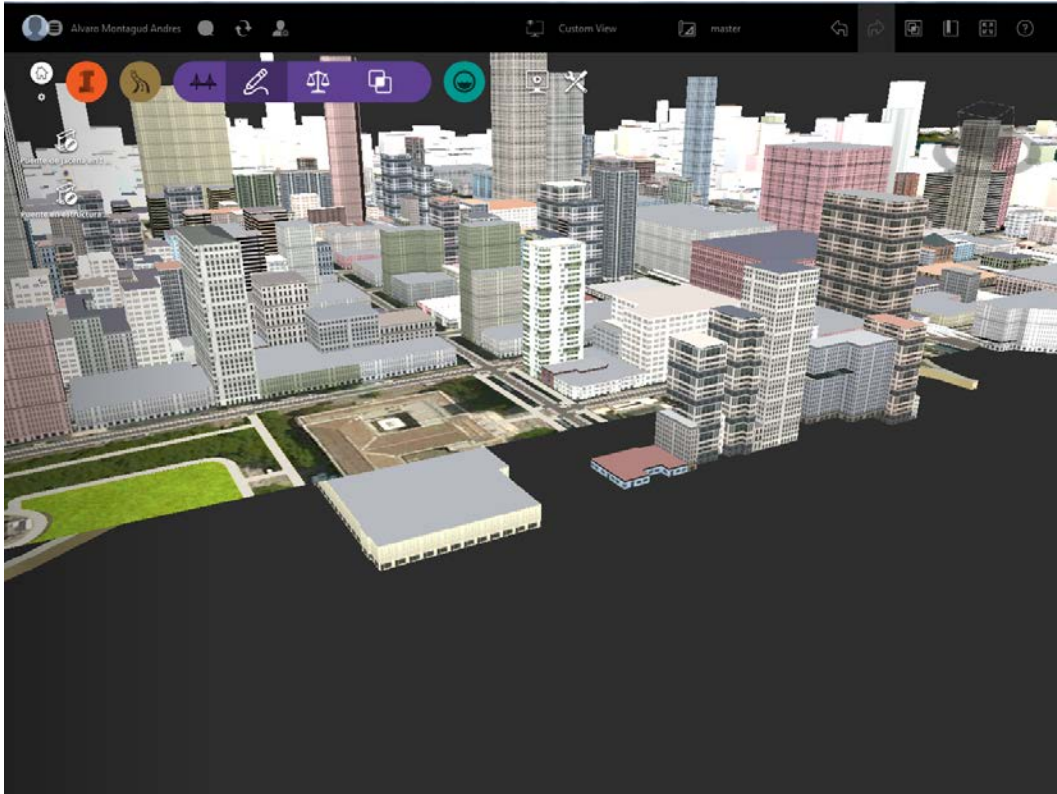


Ilustración 101. Imagen de los edificios mal geocalizados, seguramente por la zona de corte de extracción de la cartografía. Fuente: (Infraworks, 2018).

Lo primero será convertir la Calle Este 48 en carretera de diseño para poder construir el puente de diseño. Para hacer más rápido este paso se convertirán dicha carretera de forma automática, ya que la importancia de este anteproyecto es el diseño del puente. Posteriormente se aplicará una sobreelevación a esta para prepararlas para la altura que tendrá el puente.

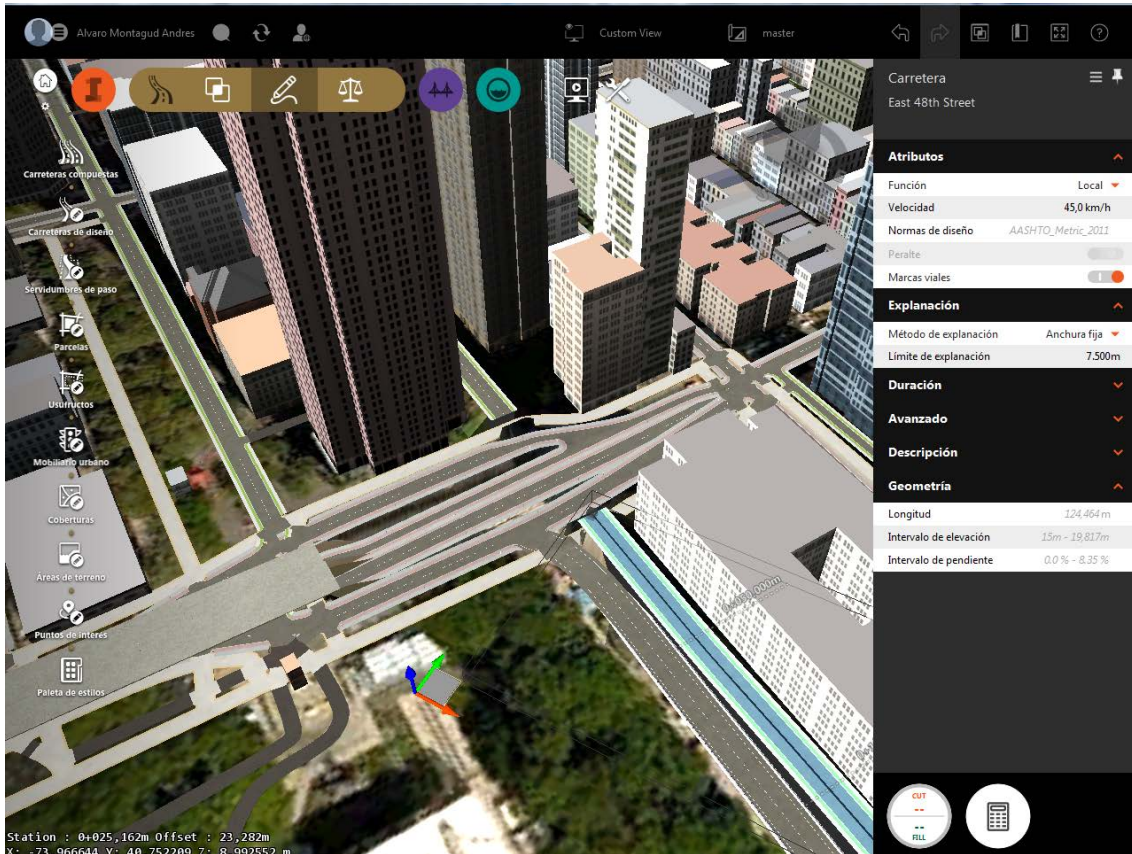


Ilustración 102. Calle Este 48 ya convertida a carretera de diseño y sobre elevada. Fuente: (Infraworks, 2018).

Después de convertir la Calle Este 48 en una carretera de diseño es momento de dibujar el trazado. Para ello se utilizará solo la Calle Este 48, la cual se alargará más allá de la intersección con la Primera avenida para poder realizar el trazado del puente.

Una vez dibujado el trazado por el que ira el puente es momento de dibujar el puente, con un estilo de puente de Hormigón prefabricado con jácenas en I. Infraworks también puede generar puentes de jácenas de acero, pero se considera de aspecto más natural utilizar hormigón.

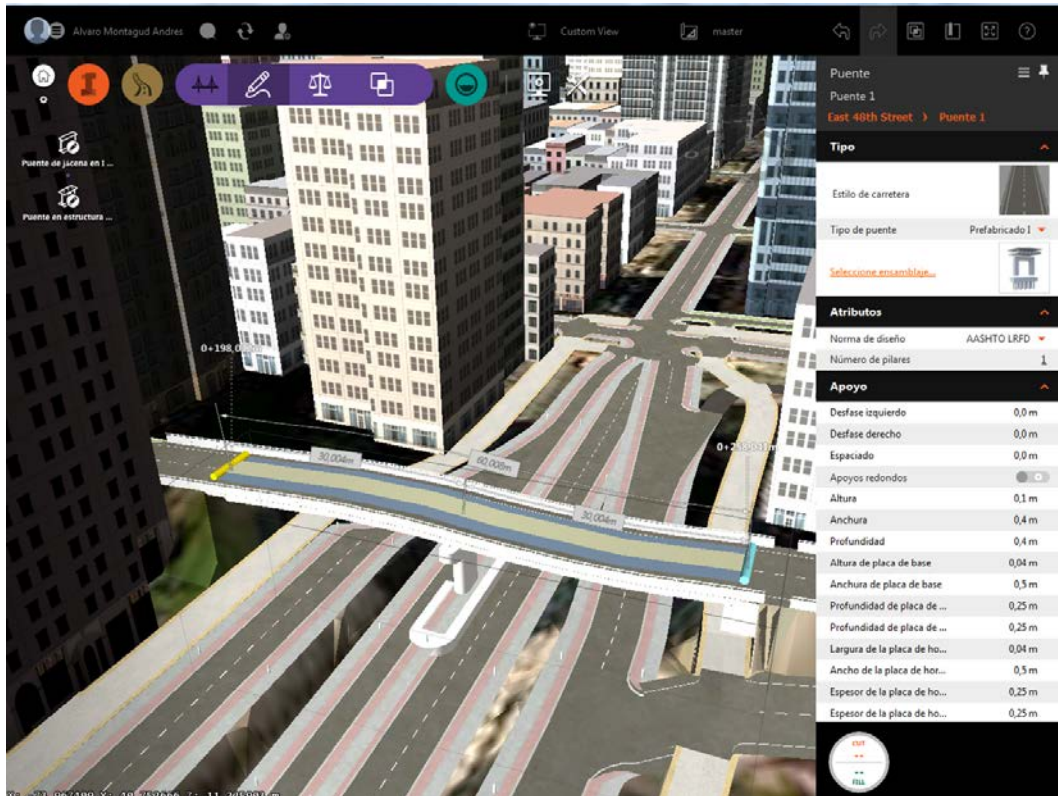
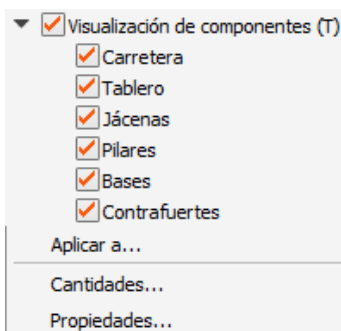


Ilustración 103. Puente utilizado para salvar la Primera avenida. A mano derecha se pueden ver todos los parámetros que pueden ser modificados para el puente. Fuente: (Infraworks, 2018).

De esta manera ya se tendría el puente generado y listo para su edición. Es hora pues de abarcar el diseño del puente que va a sobrevolar la primera avenida. Antes que nada, se nombraran las principales características de los modelos de puentes y sus componentes en Infraworks.



Los puentes en Infraworks están compuestos por 5 elementos: los apoyos, el tablero, las jácenas, las pilas, las zapatas y los contrafuertes/estribos. Para cada uno de estos elementos existe un listado de parámetros que pueden modificarse para poder cambiar el aspecto del puente.

Además, para cada puente puedes hacer un cálculo de las cantidades de material que se van a utilizar para su construcción.

Ilustración 104. Componentes de un puente en Infraworks. Fuente: (Infraworks, 2018).

También es importante tener en cuenta la normativa que se sigue para la construcción del puente. La normativa por defecto es AASHTO LRFD (Especificación para el diseño de puentes), normativa de Estados Unidos. Pero también están las Normativas europeas "Eurocode" respecto al diseño de puentes. Dado que el puente está en una zona Estadounidense se seguirá la normativa de la AASHTO LRFD.

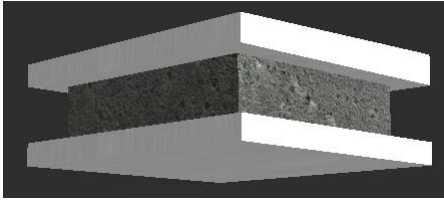


Ilustración 105. Apoyos de las jácenas en las pilas. Fuente: (Infraworks, 2018).

Lo primero que se va a modificar son los apoyos existentes en el puente. Para poder modificarlos se debe seleccionar el puente sin antes estar ya seleccionado. Desde el menú de atributos se pueden modificar la forma, tamaño, posición de los apoyos para que cumplan con las características que se quieran. En este caso no se van a modificar, ya que más adelante se van a modificar las vigas para que tengan una separación entre ellas y el programa detectara esta distancia generando un poyo para cada viga, y no un apoyo por cada dos vigas como hay ahora mismo.

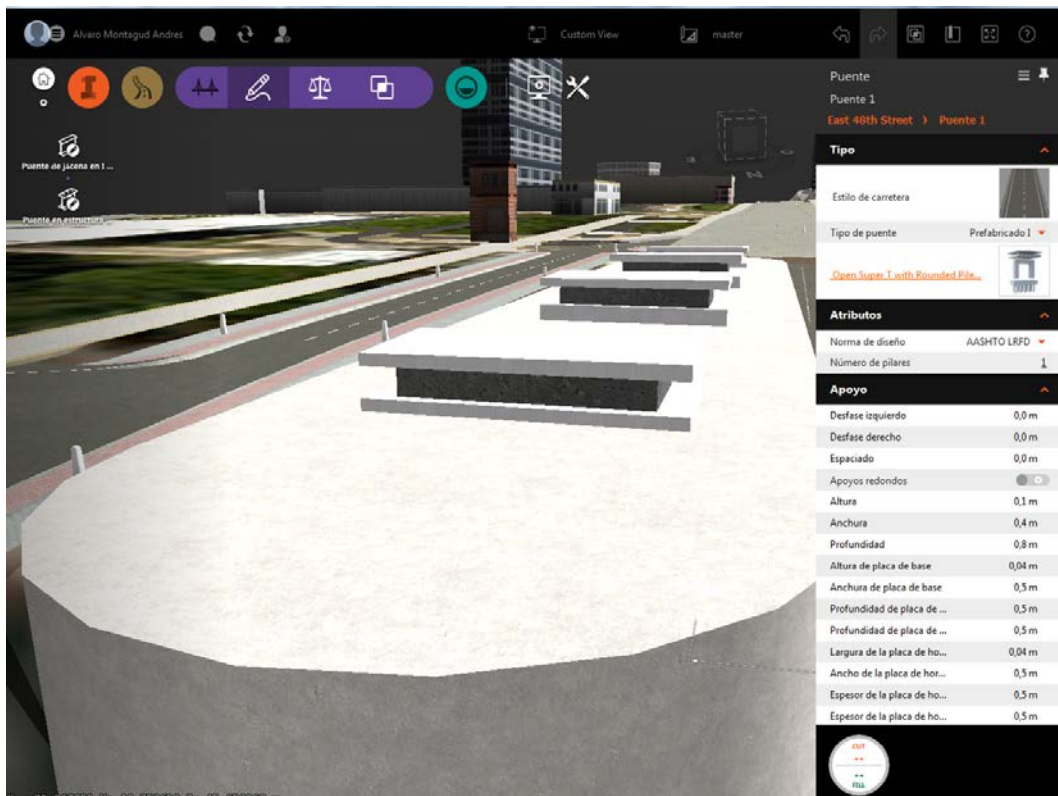


Ilustración 106. Ejemplo de modificación de apoyos. Se les ha aumentado la profundidad a los neoprenos y los cementos autonivelantes. Fuente: (Infraworks, 2018).

Referente a las vigas, tal y como se ha dicho antes se va a realizar una modificación para que haya una separación entre las vigas. La separación será de 2 centímetros en total entre vigas apoyadas en las pilas. La junta entre las vigas y los estribos se deja tal y como esta, de 10 centímetros. Además, se modifica el tipo de vigas a utilizar por unas vigas en I prefabricadas llamadas Bulb Tee M01, las cuales resultan más estéticas a la vista. Es posible modificar aspectos físicos de las vigas como su resistencia a la compresión tanto en transferencia como final (), la resistencia del cable de acero del armado de la viga, así como el pretensado inicial. Estas características ya pueden servir en una etapa temprana de diseño a los Ingenieros civiles que tiene que calcular la estructura, pudiendo modificar de forma general las características físicas de las vigas que van a emplearse en la construcción del puente.

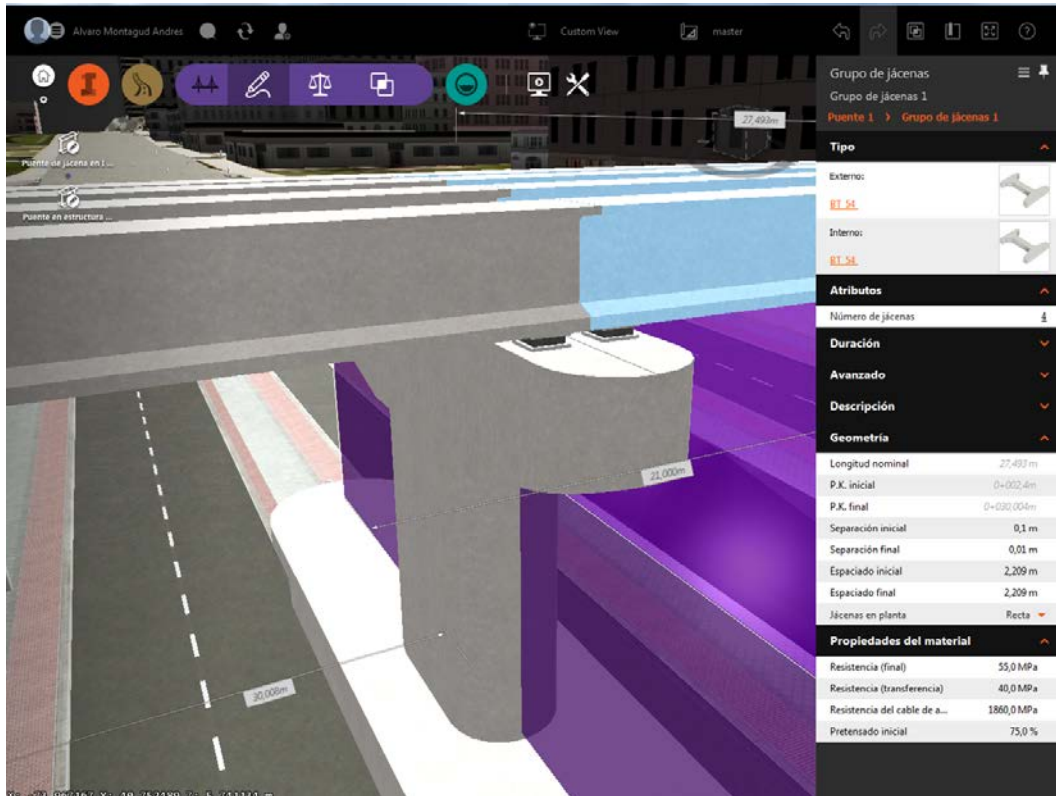


Ilustración 107. Como quedan las vigas posicionadas sobre los apoyos. Fuente: (Infraworks, 2018).

Una vez definidas las vigas y los apoyos se empiezan a modificar aquellos aspectos que se quieran cambiar de las pilas. Las características parametrizadas y que no se pueden modificar son el ancho del dintel (Infraworks lo define en función del eje del puente, a izquierda y a derecha) así como el alto de la fusta más el dintel. El resto de las características geométricas son modificables. Primero que todo se va a establecer que tanto el fuste como el pilar serán obras in situ de Hormigón armado (también sería posible prefabricados al igual que las vigas o de acero). Las modificaciones que se van a realizar en este puente son:

- Sobre la longitud del extremo inclinado del dintel (cuanto de largo es el borde de abajo del dintel) el cual se dejará con 1,5 metros de largo.
- Se van a eliminar los extremos redondeados para evitar la dificultad del encofrado del dintel.
- Se van a reducir el ancho de las columnas a 2,5 metros y aumentar el diámetro de estas a la misma cantidad que el ancho. La profundidad se mantiene igual para que las columnas no sobresalgan del ancho del dintel.

En cuanto al tipo de estructura Dintel-Fusta a utilizar, se va a mantener la misma que se tenía antes. Aunque es notorio remarcar que el programa dispone de 10 modelos más, sin tener en cuenta la cantidad que se podrían hacer si se modelan específicamente para esta obra en concreto.

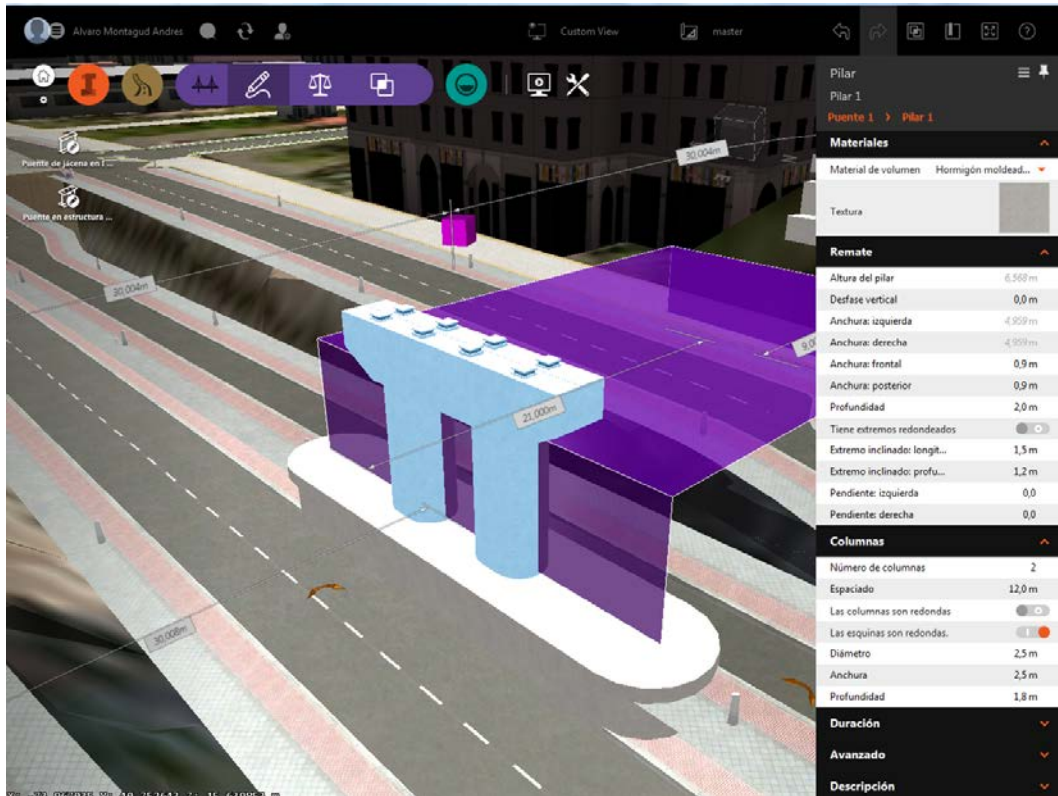


Ilustración 108. Resultado final del dintel + fuste del puente. Fuente: (Infraworks, 2018).

Ha llegado el momento de modelar los cimientos de las pilas. Infraworks tan solo trabaja con cimentación profunda mediante la utilización de pilotes. Dependiendo de la composición del terreno y de sus capacidades de soportar el peso de la obra de paso sería necesaria la creación de un modelo de cimentación no profunda, por ejemplo, de zapatas. Pero dado que estamos en Nueva York y en una zona cercana al agua se considera más que oportuna una cimentación profunda por pilotes.

La cimentación de Infraworks además se compone de 3 componentes: Las pilastras o pilotees, el eje del pilar y el remate. El remate es la parte entre medias del eje del pilar y de los pilotes. En este caso tan solo se va a modificar:

- La altura del eje del pilar pasa a ser de 2 metros.
- Se modifica el diámetro de los pilotes de 0,5 a 0,75 para tener mayor capacidad de soporte en la punta. Para que la distribución de los pilotes se mantenga centrada se pasa a una relación longitudinal de los pilotes de 2 (es el ratio por el que se multiplica el diámetro de los pilotes para obtener la distancia entre ellos).
- Se modifican la cantidad de pilotes transversales de 13 a 8.

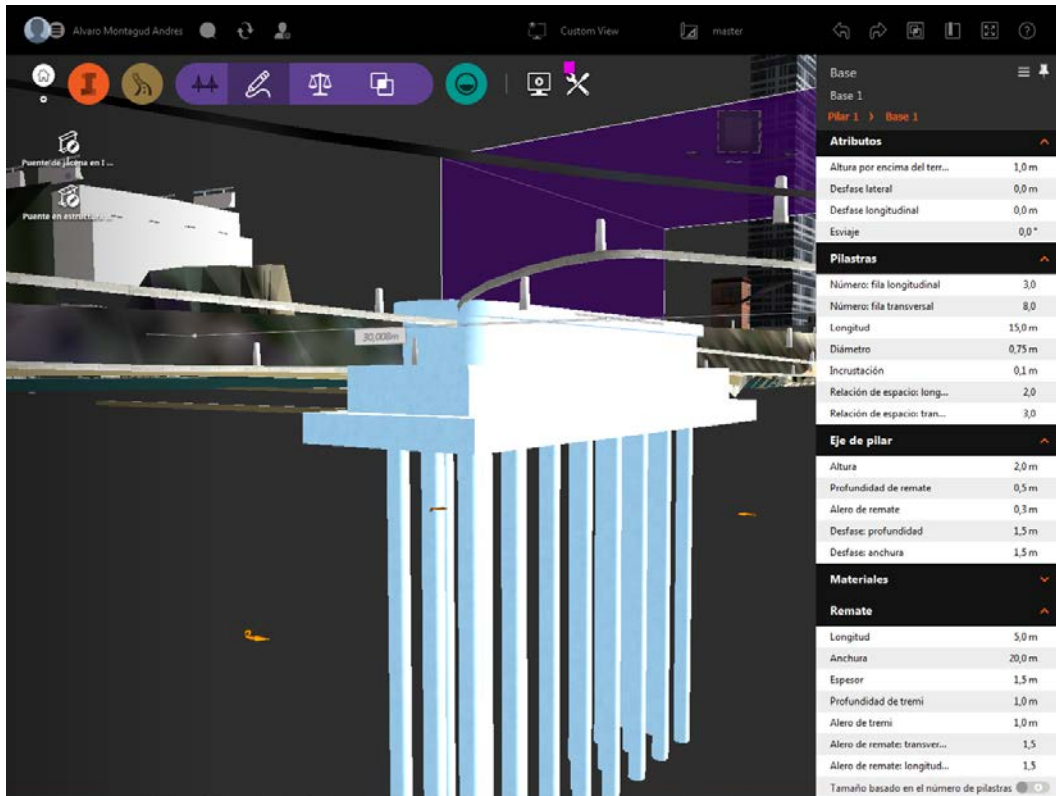


Ilustración 109. Aspecto final de la cimentación del puente. Fuente: (Infraworks, 2018).

Ya solo queda modificar los estribos y el tablero para haber acabado de diseñar el puente urbano. Respecto a los Estribos, el programa tiene predefinidos modelos de estribos con alas, con pilotes gruesos en la parte frontal del estribo y otro normal sin alas o pilotes. Como en los casos anteriores sería posible crear tus propios modelos de estribos para esta estructura mediante programas como Revit o cualquier otro que te permita modelar (los cuales se han comentado en el apartado de herramientas BIM para Ingeniería Civil).

Los estribos pueden ser modificados por:

- El espesor del muro frontal del estribo.
- El ancho del asiento donde apoyan las vigas y como de profundo descende.
- EL desfase respecto a los extremos del trazado del puente.

Después, si es con ala permite modificar los atributos geométricos del ala:

- Espesor del muro de ala.
- Longitud en la parte superior del muro del ala.
- Longitud en la parte inferior de corte del ala.
- Altura para indicar el inicio del corte del ala.

Si se escoge con pilotes, se podrán tener y modificar, además de los anteriores, los siguientes atributos:

- La ménsula para el apoyo de la losa de aproximación.
- La zapata donde apoya el estribo.
- Pilastras para el apoyo de la zapata.

- Mayor descripción del apoyo de las vigas, permitiendo definir también la pendiente longitudinal y definir si tiene muros laterales.

Dado el gran detalle que muestra la última en cuando a elementos posibles a definir, se va a escoger esta. En cuanto a modificaciones, se van a reducir a 3 el número de pilastras sin modificar su diámetro, pero si su desfase transversal para que queden centradas en la zapata. La zapata se deja tal cual esta con espesor de medio metro y una anchura de 4 metros. Se va a modificar el esviaje de las alas a 10°. La ménsula se modifica su espesor a 0,5 metros para que haya más superficie de apoyo para la losa.

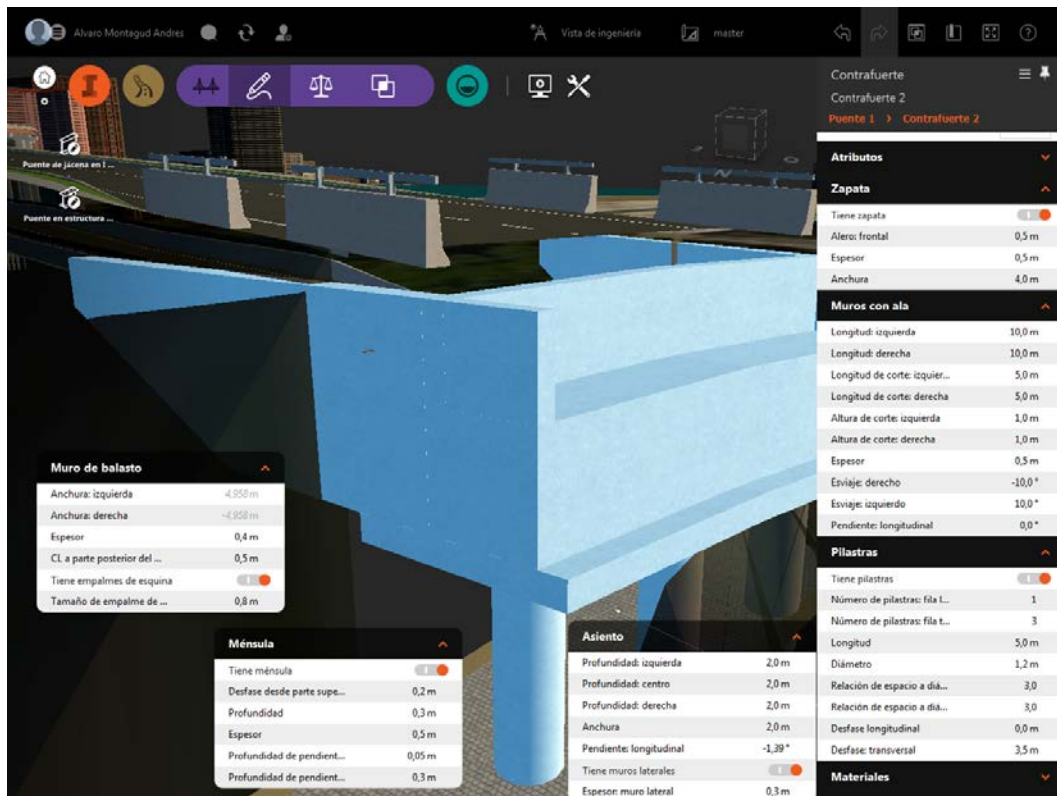


Ilustración 110. Resultado del estribo abierto con aletas a 10° y cimentación de zapata y pilotes. Fuente: (Infraworks, 2018).

Por último, el tablero del puente está caracterizado por atributos físicos propios como la resistencia del hormigón, las cargas muertas superpuestas (Parte de la carga muerta del puente), Superficie de desgaste (protección del tablero), así como también características geométricas como su espesor, la anchura y la pendiente de bombeo.

El tablero se va a dejar tal y como se especifica en el modelo, dejando para el trabajo de diseño estructural avanzado al Ingeniero Civil.

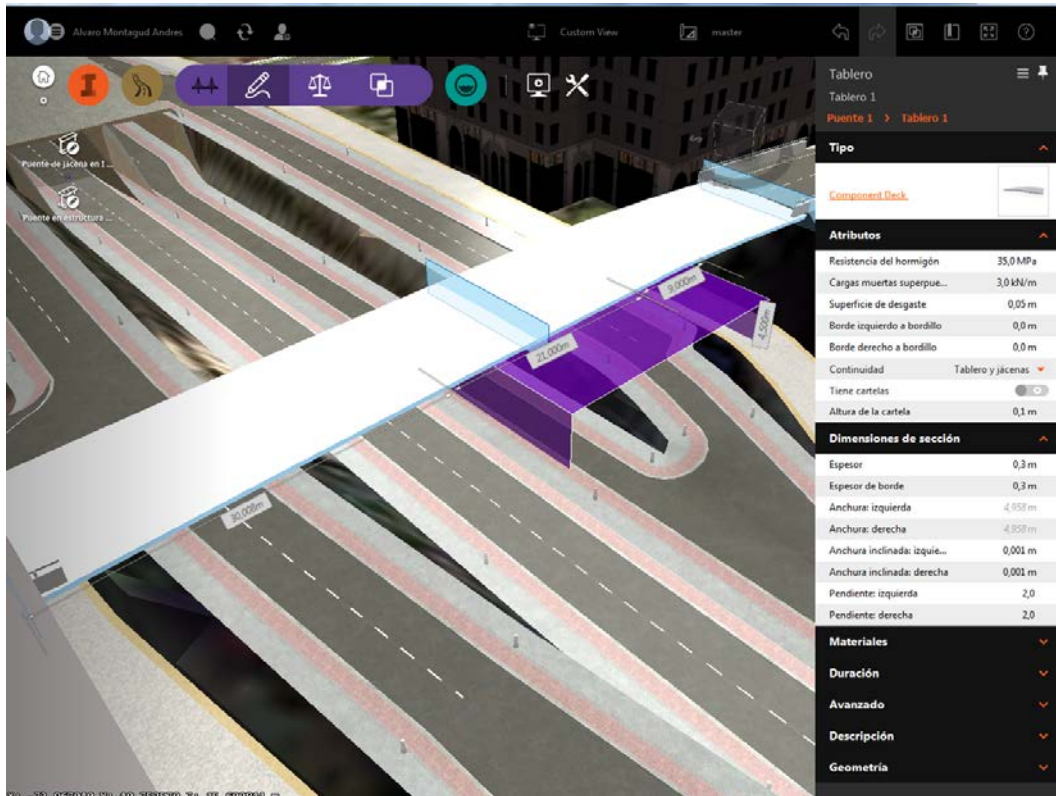


Ilustración 111. Resultado del tablero para le puente de la Calle Este 48. Fuente: (Infraworks, 2018).

Como resultado final, se tiene el siguiente puente integrado en la Ciudad de Nueva York.

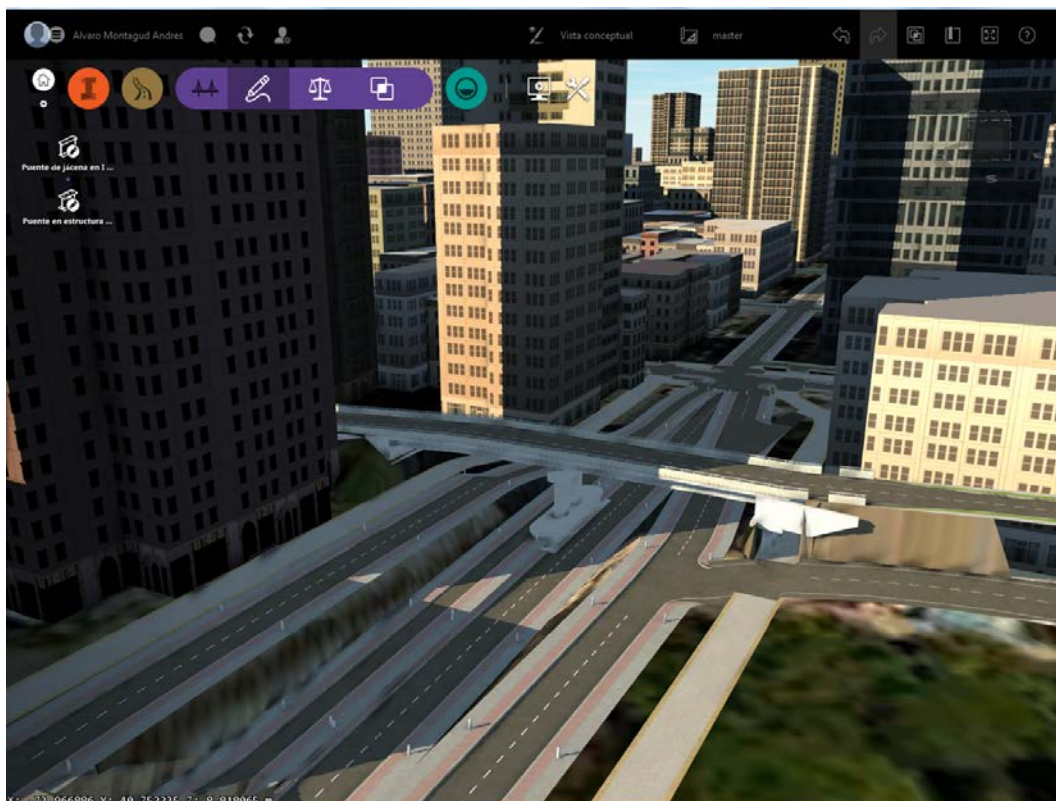


Ilustración 112. Imagen de alta definición con el puente modelado sobre la primera avenida de Nueva York entre sus edificios. Fuente: (Infraworks, 2018).

Esto mismo se podría haber aplicado también a la construcción de un puente que cruzase el East River para poder unir las ciudades de Nueva York y Long Island. Para poder lograrlo se puede aprovechar la elevación de la Calle Este 48 conseguida con el puente confeccionado anteriormente y extenderla hasta la Avenida 46 como posible unión entre las dos ciudades.

En este caso se va a hacer un puente de estructura metálica. Las características se pueden modificar tal y como se han modificado en los pasos anteriores.



Ilustración 113. Puente generado entre las ciudades de Nueva York y Long Island. De fondo se ven los edificios generados a partir de la información de OpenStreetMaps de la Ciudad de Nueva York. Fuente: (Infraworks, 2018).

5. Presupuesto.

Llegado a este punto es necesario realizar una valoración económica del coste que tendría realizar los anteproyectos propuestos.

Para poder valorarlo se va a calcular el coste directo de la ejecución de estos anteproyectos, es decir, la valoración del número de horas que se han aplicado para cada uno de los anteproyectos y el costo que tendrían los materiales que se van a utilizar para el desarrollo del anteproyecto. A este segundo apartado se merece hacer hincapié por varias razones: Al ser un estudio de Anteproyecto no es necesario utilizar cartografía propia, y por lo tanto deberían contabilizarse los costes de desplazamiento, alquiler de vuelos fotogramétricos y herramientas topográficas, señalizaciones, etc., en este proyecto no se ha necesitado realizar ningún coste directo, ya que la cartografía se ha descargado de forma gratuita desde internet.

Una vez establecido el lugar idóneo para la construcción de la obra lineal el costo directo también se ve reducido ya que los esfuerzos materiales van más enfocados a la zona en concreto y no en general una zona posible.

Por lo tanto, el coste directo de los anteproyectos se basará en las horas dedicadas para la preparación y finalización de estos. Cabe decir, que en estos presupuestos no se tendrá en cuenta el tiempo empleado para el aprendizaje del software utilizado, solo se contabilizará las horas empleadas al desarrollo del anteproyecto.

5.1. Presupuesto por contrata.

El presupuesto general por contrata será el utilizado para obtener el presupuesto de cada uno de los anteproyectos realizados. Este presupuesto se basa en la suma del PEM (Presupuesto Ejecución Material) o también llamado costes directos, los GG (Gastos Generales) o también llamado costes indirectos y por último el BI (Beneficio Industrial).

$$PGC = PEM + GG + BI + IVA (21\%)$$

Referente a los GG, según marca el BOE número 243, de 10 de octubre de 2013, el porcentaje a aplicar para la obtención de los GG es del 13% del PEM calculado. (Ministerio de Fomento, 2013)

Además, se tendrá en cuenta una Valoración añadida del BIM. En este apartado se tendrá en cuenta el valor añadido que supone la aplicación de metodología BIM dentro de los anteproyectos. Por ese motivo se tendrán en cuenta los siguientes ítems:

- Nivel de conocimiento de BIM y la herramienta Infraworks
- Inversión de la Implantación.
- Usos del BIM especificados por el cliente para cada anteproyecto.
- LOD de los anteproyectos.

En función del anteproyecto estaremos ante un Valor Añadido distinto, ya que dependerá de los factores nombrados arriba (sobre todo el de los Usos del BIM).

Para calcular el coste directo es necesario tener a mano el Convenio de Oficinas y Despachos actualizado a la última versión, en este caso es la del año 2016. Solo se tendrá en cuenta el sueldo bruto anual para la obtención del coste directo, ya que el sueldo neto es relativo a la situación individual del trabajador para la aplicación del IRPF.

Ahora dentro del convenio se deberá buscar el número de pagas extraordinarias que deben tenerse en cuenta para el cálculo del Sueldo en bruto. Según el Artículo 51-Pagas Extraordinarias el número de pagas serán 2. La tabla salarial por la cual se extraerá el sueldo base del trabajador es la del año 2018 (Federación de Servicios de CCOO, 2018).

En base a lo expuesto, el sueldo bruto para un recién Titulado en el Grado de Ingeniería Geomática y Topográfica (Considerado como un titulado medio en la Tabla salarial) sería el siguiente:

Tabla 14. Sueldo bruto de un año de trabajo. Fuente: (Blanch Puertes and Olivares Belinchon, 2017).

	Valor €	Num de pagas	Total €
Sueldo Base	1.408,82	14,00	19.723,48
Plus de convenio	66,73	14,00	934,22
Sueldo bruto anual			20.657,70
Seguridad Social ($\approx 40\%$)			8.263,08
Coste total			28.920,78

Como los Anteproyectos se han contabilizado por horas, es necesario obtener el coste total por unidad de hora. Suponiendo que el número de horas laborables a lo largo de un año son de 1800h, si se divide el coste total de sueldo bruto por el número de horas se obtiene un total de: 16,07 €/h.

Como se ha dicho antes, no se va a contabilizar el software utilizado porque su adquisición ha sido gratuita, al igual que la cartografía utilizada. Por lo tanto, el coste directo de cada uno de los anteproyectos resultaría en un total de:

Tabla 15. Tabla con el total del coste directo del presupuesto. Fuente: (Propia).

Anteproyecto	Tiempo (h)	RRHH	Precio unitario (€/h)	Total €
Diseño de nudo V-21	8	1	16,07	128,56
Diseño de nudo I-44	12	1	16,07	192,84
Diseño de Puente Nueva York	6	1	16,07	96,42
Total presupuesto coste directo				417,82

Tabla 16. Tabla con el total del presupuesto general por contrata de los tres Anteproyectos teniendo en cuenta el IVA en el total. Fuente: (Propia).

Anteproyecto	PEM	GG	BI (10%)	Total
Diseño de nudo V-21	128,56 €	16,71€	12,86 €	158,13 €
Diseño de nudo I-44	192,84 €	25,07€	19,28 €	237,19 €
Diseño de un puente en NY	96,42 €	12,53€	9,64 €	118,59 €
Total de los tres Anteproyectos				513,91 € + 107,92 € (IVA 21%)

5.1.1. Valor añadido BIM (VAB).

En este apartado se hará una valoración del coste que ha tenido cada anteproyecto en función de los atributos antes descritos en el BI. Se van a mostrar en forma de tablas la valoración para cada los Usos del BIM para cada uno de ellos:

Tabla 17. Tabla del coste de los Usos BIM para el primer anteproyecto. Fuente: (Propia).

Diseño del enlace que conecte la autovía V-21 con la playa de la Patacona		
Usos del BIM	Se requería el modelo del trazado del enlace.	150€

Tabla 18. Tabla del coste de los Usos BIM para el segundo anteproyecto. Fuente: (Propia).

Diseño de un nudo en el estado de Oklahoma, Nudo de OK-36, y US-277 (Highway I-44)		
Usos del BIM	Se requería el modelo del trazado y además el estudio de tráfico del nudo comparándolo con el original.	200€

Tabla 19. Tabla del coste de los Usos BIM para el tercer anteproyecto. Fuente: (Propia).

Diseño de un puente en la ciudad de Nueva York que eleve la Calle Este 48 (East 48 th Street) para salvar la intersección con la primera avenida (1 th Avenue)		
Usos del BIM	Se requería el modelo del puente con unas dimensiones y características geométricas específicas.	100€

Para su valoración se ha tenido en cuenta el tiempo dedicado a la finalización del proyecto, así como a las técnicas requeridas para dar respuesta a los usos de ese modelo.

En cuanto a los otros Ítems, se van a valorar el Nivel de conocimiento que se tiene sobre la Metodología BIM y lo capaces que se es de dar respuesta a los requerimientos del cliente, al nivel de Implantación que se tiene de la Metodología BIM dentro de los procesos, políticas y tecnología BIM y por último al LOD especificado para los proyectos. En la siguiente tabla se muestra la valoración monetaria:

Tabla 20. Tabla con la valoración económica de los ítems de Nivel de conocimiento, Inversión de implantación y LOD BIM. Fuente: (Propia).

Valoración monetaria para el resto de los ítems del Valor añadido BIM.		
Nivel de conocimiento.	Se considera que el nivel de conocimiento de la Metodología BIM es media, pudiéndose ampliar más.	250€
Inversión de la Implantación	A nivel de procesos y políticas no ha sido necesario invertir ya que la información se encuentra de forma	0€

	gratuita. Respecto a la tecnológica, Infracore se adquirió también de forma gratuita	
LOD	Al ser un LOD de 200 el nivel de detalle en el modelado no es muy alto por lo que no es necesaria una inversión de esfuerzo muy alto para lograrlo.	150€

Teniendo en cuenta esta valoración, se suma en la siguiente tabla estos precios sobre el coste directo de la realización de los Anteproyectos.

Tabla 21. Tabla de los precios totales de los Anteproyectos con el Valor BIM añadido. Fuente: (Propia).

Anteproyecto	PGC	Uso del BIM	Nivel de Conocimiento	Inversión de la Implantación	LOD	Total (PGC+VAB)
Diseño de nudo V-21	158,13 €	150€	250€	0€	150€	708,13 €
Diseño de nudo I-44	237,19 €	200€				837,19€
Diseño de un puente en NY	118,59 €	100€				618,59€
Total de los tres Anteproyectos						2163,91 € + 454,42 € (IVA 21%)

Como conclusión, se puede ver que el ahorro por los costes directos asociados al material y herramientas que se habrían utilizado en caso de coger la cartografía por nuestra cuenta (Levantamiento del terreno para el MDE, Vuelo con dron para las ortofotos, etc...) es realmente considerable, poniendo de manifiesto el gran ahorro de coste que implica la nueva Metodología BIM en los estudio de diseño de Anteproyecto.

6. Conclusiones.

A través de este Trabajo Final de Grado se han podido ver las principales características de la Metodología BIM. Más importante, se ha podido aclarar que BIM no es una herramienta, las herramientas son una parte importante e ineludible del Building Information Modeling, pero para nada es lo único que da significado a esta nueva forma de concebir esta Metodología.

En este texto se ha podido ver gracias a los textos de Bilal Succar y de otros autores de la red que BIM está compuesto por muchos agentes que participan entre ellos para conformar el marco de la Metodología. Las políticas y las normativas ayudan a estandarizar y regular tanto procesos dentro de la Metodología y como se debería trabajar, así como que la tecnología sea más abierta e interoperable entre los distintos agentes internos de esta. Se ha aprendido que este marco juega un papel importante en la organización para llevar a cabo su implantación, ya que si no se tiene en cuenta esta se verá retrasada mucho o se llevará a cabo mal.

Vista esta parte general de los actores que entran en juego dentro de la implantación se ha centrado los esfuerzos es tratar de desvelar como se está llevando a cabo aquí en España desde el punto de vista de los procesos. Desde la comisión esBIM como ya se ha visto se está tratando de dar respuesta a la implantación de la Metodología BIM en España, tratando de equiparar las industrias constructoras de la Edificación y la Ingeniería Civil para que ambas estén al mismo nivel, aunque se pone de manifiesto que la Ingeniería Civil está bastante por detrás de la Edificación.

Y esto no es por el proceso en sí, ya que como se ha visto las dos siguen los mismos procesos. Es por los estándares que participan dentro de estos procesos que la Ingeniería Civil va más atrasada que la Edificación. A diferencia de la primera, la segunda goza de un mayor recorrido en cuanto a estándares de intercambio para la transmisión de información durante las etapas de vida de un proyecto. Además, existe una gran variedad de software que ya trabaja bajo esta estandarización y que permite crear un entorno de datos común de forma más satisfactoria que desde la Ingeniería Civil.

Sin embargo, se están haciendo grandes esfuerzos para que las Obras civiles también gocen de estándares que permitan la interoperabilidad e intercambio de información durante todas las fases del proyecto. Desde BuildingSmart se creó un estándar de intercambio y modelo de datos que permitiera poder almacenar toda la información perteneciente a un proyecto para que esta pudiera ser distribuida por todos los agentes involucrados en la gestión de un proyecto. En la última versión se ha dado a conocer una nueva clase del IFC que permite almacenar la información referente al diseño en planta y vertical de una obra lineal, lo cual permitiría transmitir esta información a través del resto de agentes de una obra civil.

Y eso no es todo, también se está trabajando en otras dos clases que permitirán guardar información referente a las carreteras (todos los datos necesarios para poder llevar el proyecto en todas sus fases) así como de puentes. Esto supondrá un gran avance respecto a lo que se dice a interoperabilidad, ya que, aunque ya existe un estándar de intercambio para la obra civil que es LandXML, IFC se ha convertido en una norma ISO y por lo tanto es referente mundial.

El único problema que existe con este tipo de archivos de intercambio es que los softwares de diseño y modelización deben ser capaces de entenderlos y de escribir sobre ellos. Ahora mismo el IFC está bastante extendido y se utiliza en una gran parte de softwares, pero muchos siguen utilizando sus propios modelos de datos para el intercambio de información que hace complicado el uso de ciertas herramientas para la Metodología BIM.

En cuanto a Infracore como Herramienta BIM, es una muy potente. Te permite poder modelar las carreteras a tu antojo, eligiendo los componentes que están constituidas, así como de realizar complicados diseños en tan solo unas horas. Esto hace que el costo del diseño se reduzca de forma considerable y que el planteamiento de alternativas sea un trabajo llevadero. Y esto es gracias a la unión de la información cartográfica tridimensional con el diseño de las carreteras.

Es precisamente en este punto en el que me gustaría hacer hincapié. En el mundo de las obras civiles es extremadamente importante tener una buena cartografía digital y actualizada que permita el diseño sobre la realidad. Y no solo eso, aplicar un modelo de datos geográfico con las implicaciones de análisis espacial junto con la definición del diseño de una carretera permitiría un diseño muy potente, ya que se podría realizar todo desde un mismo software.

Para eso también es necesario que la red de carreteras sea digitalizada y así se puedan tener su información de diseño disponible para que los que vayan a realizar futuras obras tengan información de primera calidad acerca de la definición real de la carretera y no trabajar bajo aproximaciones de la cartografía topográfica del estado. Desde la Plataforma Tecnológica de la Carretera se está impulsando esa digitalización como uno de los pasos a dar importantes para la digitalización del sector y aproximarse cada vez más al mundo BIM.

Y esa digitalización y transformación también lo acompañaran otros agentes Tecnológicos como son la robotización y automatización de las tareas de la construcción. Ya se están empezando a desarrollar y a utilizar herramientas en la construcción que ayudan a la automatización y en definitiva a la Industrialización del sector de la construcción, como es la robotización de maquinaria mediante sensores que permitan desarrollar tareas como la de excavación, aplanamiento de las tierras, etc.

Como final de estas conclusiones, a nivel personal este Trabajo final de grado me ha ayudado a adentrarme en el mundo BIM como nunca lo habría hecho por mi cuenta. He podido comprender que significan esas letras hasta hace poco como una herramienta más pero que ahora comprendo que es un mundo entero de posibilidades del que en este texto tan solo se ha rascado la punta del iceberg. Me he emocionado con este trabajo y quiero que sea mi objetivo profesional de hoy en adelante.

Como futuro Ingeniero Geomático y Topógrafo, reconozco que el futuro se encuentra en la unión del mundo de la Información Cartográfica con la Construcción.

7. Bibliografía

Que es BIM

Definición de BIM

Gosalves López, J., Murad Mateu, M., Cerdán Castillo, A., Fuentes Giner, B., Hayas López, R., López García, J., & Zuñeda Ruiz, P. (2017). BIM en 8 puntos: Todo lo que necesitas conocer sobre BIM [Ebook] (1st ed., pp. 2-5). es.BIM. Retrieved from https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/01/Documento_difusion_BIM.pdf

Goubau, T. (2016). What is BIM? What are its Benefits to the Construction Industry? [Blog]. Retrieved from <https://www.aproplan.com/blog/quality-management-plan-construction/what-is-bim-what-are-its-benefits-to-the-construction-industry>

Green, E. (2016). BIM 101: What is Building Information Modeling? [Blog]. Retrieved from <https://www.engineering.com/BIM/ArticleID/11436/BIM-101-What-is-Building-Information-Modeling.aspx>

SteelTech Engineering, What is BIM. Retrieved from <http://www.steeltechengg.com/what-is-bim.html>

Metodología de BIM

AENOR. (2016). Estándares en apoyo del BIM Informes de Normalización [Ebook] (pp. 6-9). Retrieved from

<http://www.aenor.es/aenor/actualidad/actualidad/noticias.asp?campo=1&codigo=42364&tipon=#.Wx0Cy4r7RhG>

alignment overview — Welcome to buildingSMART-Tech.org. (2018). Retrieved from <http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure/projects/alignment>

BIM Maturity /// Easy as 1, 2, 3. (2015). [Blog]. Retrieved from <https://www.theb1m.com/video/bim-maturity-easy-as-1-2-3>

BIM Maturity Level by Bew-Richards @ 2008/2016. (2016). [Image]. Retrieved from <http://bim-level2.org/globalassets/pdfs/bim-maturity-model.pdf>

Bouzas Cavada, M. (2017). ¿Qué es un CDE? [Blog]. Retrieved from <https://www.buildingsmart.es/2017/04/01/qu%C3%A9-es-un-cde/>

BSI (2013). *Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling*. PAS 1192-2:2013. London: BSI.

buildingSmart (n.d.). Triangle_img1. [image] Available at: http://www.buildingsmart-tech.org/images/front/Triangle_img1.png.

Choclán Gamez, F. (2017). DEFINICIÓN DE ROLES EN PROCESOS BIM. [ebook] Madrid: esBIM, p.14. Available at: https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/07/esBIM_Roles_170118.pdf.

Choclán Gámez, F., & Barco Moreno, D. (2017). Roles en procesos BIM [Ebook] (1st ed., pp. 3-6). esBIM. Retrieved from https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/06/GT2_Personas-SG2_3_Roles-ilovepdf-compressed.pdf

- Comisión BIM. Intro. (2015). [ebook] Madrid: esBIM, p.47. Available at: http://gestorespublicos.org/media/transfer/doc/noticias/comision_bim_info.pdf.
- Data Dictionary (bSDD) - buildingSMART. Retrieved from <https://www.buildingsmart.org/standards/standards-tools-services/data-dictionary/>
- Esarte Esevenri, A. (2017). EIR O EMPLOYER'S INFORMATION REQUIREMENTS [Blog]. Retrieved from <https://www.espaciobim.com/eir-employers-information-requirements/>
- Esarte Esevenri, A. (2017). LIBRO DE ESTILO BIM – ESTÁNDARES DE LA ORGANIZACIÓN [Blog]. Retrieved from <https://www.espaciobim.com/libro-estilo-bim/>
- esBIM. (2015). GRUPOS DE TRABAJO Reunión de lanzamiento [Ebook] (pp. 13-27). Madrid. Retrieved from <https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2015/11/esBIM.Jornadas.pdf>
- España. Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014. [Internet]. Boletín Oficial del Estado, 9 de Noviembre de 2017, núm. 272. [consultado 20 de Mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2017-12902>
- Guía para apoyo a la licitación. (2017). [ebook] Madrid, pp.15-57. Available at: https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/12/171130_esBIM_5_Guia-Licitaciones.pdf.
- Home — Welcome to buildingSMART-Tech.org. Retrieved from <http://www.buildingsmart-tech.org/>
- Instituto Eduardo Torroja. (2017). GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE EJECUCIÓN BIM [Ebook] (1st ed.). Madrid. Retrieved from https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/07/esBIM_Guia-BEP.pdf
- La Directiva 2014/24/UE. (2018). Retrieved from <https://itec.es/servicios/bim/directiva-2014-24-ue/>
- Mills, F. (2015). What are Employer's Information Requirements? (EIRs) [Blog]. Retrieved from <https://www.theb1m.com/video/what-are-employers-information-requirements>
- Mills, F. (2015). What is a Common Data Environment [Blog]. Retrieved from <https://www.theb1m.com/video/what-is-a-common-data-environment>
- Moreno Molina, J. LAS NUEVAS DIRECTIVAS DE LA UNIÓN EUROPEA SOBRE CONTRATACIÓN PÚBLICA [Ebook] (pp. 2-3). Retrieved from http://www.unizar.es/gimenof/gimenof/INVESTIGACION_files/NUEVAS_DIRECTIVAS.pdf
- National BIM Standard. (2015). National BIM Standard - United States® Version 3 [Ebook] (pp. 6-8). Retrieved from https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_V3_5.2_Minimum_BIM.pdf
- QUE ES UN ENTORNO COMUN DE COLABORACION BIM. (2017). [Blog]. Retrieved from <http://bim6d.es/que-es-entorno-comun-colaboracion-bim/>
- Reuvers, M. (2014). InfraGML Linking pin between Geo and BIM [Ebook]. geo-bim.org. Retrieved from https://geo-bim.org/europe/2014/pdf/marcel_reuvers.pdf

- Sánchez Ortega, A. (2017). BIM: MADUREZ – LEVEL 0/1/2/3 BIM [Blog]. Retrieved from <https://www.espaciobim.com/madurez-bim-level-0-1-2-3/>
- Scarponcini, P. (2014). OGC and buildingSMART International developing InfraGML, a new standard for land and infrastructure information [Blog]. Retrieved from <http://www.opengeospatial.org/blog/2098>
- Sharif, T. (2014). Interoperability Standards [Blog]. Retrieved from <https://thebimhub.com/2014/09/06/interoperability-standards/#.WxzzYor7RhF>
- Succar, B. (2006). Episode 5: BIM Data Sharing Methodologies. Retrieved from http://www.bimthinkspace.com/2006/02/the_bim_episode.html
- Succar, B. (2008) Building Information Modelling Maturity Matrix. Handbook Of Research On Building Information Modeling And Construction Informatics, 65-103. doi: 10.4018/978-1-60566-928-1.ch004
- Succar, B. (2008). EPISODE 10: EFFECTS OF BIM ON PROJECT LIFECYCLE PHASES [Blog]. Retrieved from <http://www.bimthinkspace.com/2008/11/effects-of-bim-on-project-lifecycle-phases.html>
- Succar, B. (2008). Episode 7: Understanding BIM Nodes (BIM Fields). Retrieved from <http://www.bimthinkspace.com/2008/02/the-confusion-i.html>
- Succar, B. (2009). Episode 13: the BIM Maturity Index. Retrieved from <http://www.bimthinkspace.com/2009/12/episode-13-the-bim-maturity-index.html>
- Succar, B. (2010). The Five Components of BIM Performance Measurement, 4-12. doi: 10.13140/2.1.3357.1521
- Succar, B. (2012). [Image]. Retrieved from <http://www.bimframework.info/Full-size-images/BIM-Fields-v2.5.png>
- Unión Europea. Directiva (UE) 2014/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 26 de febrero de 2014 sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE. Diario Oficial de la Unión Europea L 94/107, 28 de Marzo de 2014, pp. 107.
- Elementos y características principales de la Metodología BIM
- BIMForum. (2017). LEVEL OF DEVELOPMENT SPECIFICATION GUIDE [Ebook] (pp. 8-10). Retrieved from <http://bimforum.org/lof/>
- Carillion, Morgan Sindall, AECOM and Grontmij (2015). A1-L2B-Federated-Model-Section-7-and-8-Scotch-Corner-Updates. [image] Available at: <http://suite-http://www.infrastructure-reimagined.com/wp-content/uploads/2015/12/A1-L2B-Federated-Model-Section-7-and-8-Scotch-Corner-Updates.jpg> http://www.house2_2.com/wp-content/uploads/2017/03/house2_2.gif
- Charef, R., Alaka, H., & Emmitt, S. (2018). Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. Journal Of Building Engineering, 19, 242-257. doi: 10.1016/j.job.2018.04.028
- LEVEL OF DEVELOPMENT SPECIFICATION PART I. (2017). [ebook] BIM Forum, pp.36-37. Available at: <http://bimforum.org/wp-content/uploads/2017/11/LOD-Spec-2017-Part-I-2017-11-07-1.pdf>.

McPartland, R. (2017). BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained. Retrieved from <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>

NIBT (n.d.). sub_techImage8. [image] Available at: https://nibt.education/techImages/sub_techImage8.jpg.

Ramos Rojas, JM. (2016). Obtención e implementación de datos 3D en un sistema de gestión BIM. <http://hdl.handle.net/10251/76150>.

RIB U.S.COST (2013). Key-Concepts-5D. [image] Available at: <http://www.uscost.com/wp-content/uploads/2013/08/Key-Concepts-5D.png>.

Sánchez Ortega, A. (2016). LOD ¿Nivel de desarrollo o nivel de detalle? | Espacio BIM. Retrieved from <https://www.espaciobim.com/que-es-el-lod-nivel-de-detalle/>

buildingSmart (2015). IFC4x1 Alignment Extension - 1.0.1 [Final Standard]. Retrieved from <http://www.buildingsmart-tech.org/mvd/IFC4x1/Alignment/1.0.1/html/>

Chica Ramos, M., Jardí Magalef, A., Álvaro Domínguez, J. and Navarrete Mandly, F. (2017). RoadBIM, BIM para proyectos de carreteras. [ebook] Madrid, p.16. Available at: https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/12/171130_esBIM_3_ROADBIM.pdf.

Herramientas BIM

Bentley (2017). Analice y evalúe la carga de tráfico. [image] Available at: https://prod-bentleycdn.azureedge.net/-/media/images/website-specific-graphics/gallery-assets/capabilities-images/analyze-and-rate-traffic-loading_rm_specific_2_edit.jpg?modified=20170710123239.

Bentley (2017). Analice y evalúe la carga de tráfico. [image] Available at: https://prod-bentleycdn.azureedge.net/-/media/images/website-specific-graphics/gallery-assets/capabilities-images/analyze-and-rate-traffic-loading_rm_specific_2_edit.jpg?modified=20170710123239.

BIM42 (2015). BridgeFinal. [image] Available at: <https://www.bim42.com/assets/2015/01/BrideFinal.jpg>.

CivilGeo (n.d.). More-Accurate-Models. [image] Available at: <https://www.civilgeo.com/wp-content/uploads/More-Accurate-Models.png>.

CooperativaCamino (n.d.). Imagen de una obra lineal diseñada en Clip. [image] Available at: <http://www.cooperativacamino.com/CLIP>.

Gonzalez, R. (2016). El reto de implementar BIM en proyectos de infraestructura. [ebook] Madrid: Colegio de Caminos, p.8. Available at: <https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2016/06/Ramon-Gonzalez-Arup-reto-implementar-BIM-en-infraestructura.pdf>.

Jardí Margalef, A. (2016). BIM OBRA CIVIL : POSIBILIDADES DE USO 2. [Blog] Apogea Virtual Building. Available at: <http://www.apogeavirtualbuilding.com/bim-obra-civil-posibilidades-de-uso-ii/>.

Jardí Margalef, A. (2016). BIM Obra Civil: posibilidades de uso parte 1. [Blog] Apogea Virtual Building. Available at: <http://www.apogeavirtualbuilding.com/bim-obra-civil-posibilidades-de-uso-i/>.

Infraworks: Herramienta BIM para la Ingeniería Civil.

AASHTO. (2001). A Policy on Geometric Design of Highway and Streets. Washington: AASHTO.

Centro de Descargas del CNIG. (2018). Centro de Descargas del CNIG (IGN). [online] Available at: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>.

Cowan, D., & Cooper, G. (2004). The Shuttle Radar Topography Mission? a new source of near-global digital elevation data. ASEG Extended Abstracts, 2004(1), 1. doi: 10.1071/aseg2004ab024

Google Maps (2018). Imagen de Street Maps de la zona a estudiar para nudo V-21.. [image] Available at: <https://www.google.es/maps/@39.4860595,-0.3344368,15z>.

Google Maps (2018). Imagen satélite del nudo I-44 y OK-36. [image] Available at: <https://www.google.es/maps/@34.1172454,-98.5209667,508m/data=!3m1!1e3>.

Google Maps (2018). Nombre de las calles y avenidas que están cruzando la V-21.. [image] Available at: <https://www.google.es/maps/@39.4952719,-0.3277828,17z>.

Help.autodesk.com. (2018). Help. [online] Available at: <http://help.autodesk.com/view/INFMDR/ENU/>.

Help.autodesk.com. (2018). Help. [online] Available at: <http://help.autodesk.com/view/CIV3D/2018/ENU/>

Infraworks. (2018). Autodesk.

AutoCAD Civil 3D. (2018). Autodesk.

Ministerio de Fomento (2016). Trazado Instrucción de Carreteras Norma 3.1-IC ORDEN FOM 273 2016. Madrid.

Novák, J. (2018). SQLite Viewer. [online] Inloop.github.io. Available at: <http://inloop.github.io/sqlite-viewer/>.

okmaps. (n.d.). OKMaps Oklahoma. [online] Available at: <https://okmaps.org/OGI/search.aspx>.

Wunch, M. (2016). Create Custom Properties in Infraworks 360 2017. [Blog] Autodesk Knowledge Network. Available at: <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/simplecontent/content/custom-properties-infraworks-360.html>.

Presupuesto

Blanch Puertes, L. and Olivares Belinchon, J. (2017). TEMA 2 Costes_Elaboración de Presupuestos. Valencia, pp.1-12.

Como ofertar con Metodologías BIM. (2017). [Blog] Especialista 3D. Available at: <https://especialista3d.com/como-ofertar-con-metodologias-bim/>.

Federación de Servicios de CCOO. (2018). Convenio de Oficinas y Despachos de la Provincia de Valencia. [online] Available at: <https://www.ccoo-servicios.es/convenios/conveniospaisvalenciano/html/41807.html>.



Ministerio de Fomento (2013). Orden FOM/1824/2013, de 30 de septiembre, por la que se fija el porcentaje a que se refiere el artículo 131 del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, aprobado por Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, a aplicar en el Ministerio de Fomento.. Madrid: BOE, p.1.