

---

# Aplicación de la Metodología CIM a una Infraestructura Viaria.

Caso de estudio: Ramal de acceso directo  
TF-24 a TF-5. Intervención proyectada

---

## Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción

Autores:

Estudiante	<b>Borja Padilla Marrero</b>
Tutor/a	<b>Norena N. Martín Dorta</b>
Co-tutor/a	<b>Paula González de Chaves Assef</b>

**Julio 2019**

C/ Padre Herrera s/n  
38207 La Laguna  
Santa Cruz de Tenerife. España

T: 900 43 25 26

[ull.es](http://ull.es)





Dña. Norena N. Martín Dorta con N.I.F. 78674114S, profesora del área de Expresión Gráfica en la Ingeniería del Departamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de La Laguna.

HACE CONSTAR

Que la presente memoria titulada:

“Aplicación de la Metodología CIM a una Infraestructura Viaria. Caso de estudio: Ramal de acceso directo TF-24 a TF-5. Estado Actual”

Ha sido realizada bajo su dirección por D. Borja Padilla Marrero con N.I.F. 51147093S.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en La Laguna a 2 de julio de 2019.



## Agradecimientos

*Quiero agradecer a las tutoras Norena Martín y Paula González de Chaves su ayuda durante el presente Trabajo Final de Máster, así como, a mi familia y amigos por su apoyo durante este trayecto.*



## Resumen

El presente estudio pretende elaborar un análisis en profundidad del Building Information Modeling (BIM) en el ámbito de la Ingeniería Civil. Para gran parte del sector de la construcción, la metodología BIM es aún un terreno inexplorado y bastante desconocido. Tras llevar a cabo la labor de investigación del estado de la técnica pertinente, se observa, además, que ésta se encuentra mucho más desarrollada en el sector de la edificación que en el de la ingeniería civil.

El objetivo principal de este trabajo es elaborar el modelo de información de una infraestructura viaria existente y de la obra proyectada. Por tanto, éste estará dividido en dos: situación actual e intervención en la zona de proyecto. La realización de ambos modelos permitirá disponer de una maqueta virtual y anticipar las posibles incidencias en fase de proyecto o de "pre-construcción".

Tanto del proceso de modelado como del de exportación de archivos se identifican, extraen y analizan los diferentes problemas encontrados. Se pretende trabajar con los formatos de intercambio (esencialmente IFC) para observar la interoperabilidad del modelo en diferentes visores BIM y comprobar si existe pérdida de la información transferida.

El caso de estudio se sitúa en la isla de Tenerife, concretamente en la demarcación de Padre Anchieta, localizada en el Término Municipal de San Cristóbal de La Laguna. Este modelado incluye, además de la glorieta Padre Anchieta, diferentes vías como la TF-24, la TF-263, la TF-5, la Calle Las Mejoranas y la Rambla Las Clavellinas.

**Palabras clave:** Building Information Modeling, BIM, Civil Information Modeling, CIM, Interoperabilidad, IFC, Open BIM, Civil.



## Abstract

This study aims to develop an in-depth analysis of the Building Information Modeling (BIM) in the field of Civil Engineering. For much of the construction sector, the BIM methodology is still uncharted and quite unknown. After carrying out the research work, it is found that it is much more developed in the building sector than in civil engineering.

The main target of this work is to develop the information model of an existing road infrastructure in which it is intended to carry out a modification of the layout. Therefore, it will be divided into two different models: current situation and intervention in the project area. The realization of both models will allow to have a virtual model and anticipate possible incidents in the project phase or "pre-construction". From the processes of modeling and exporting files, the different problems detected are identified, extracted and analyzed. It is intended to work with the exchange formats (essentially IFC) to observe the interoperability of the model in different BIM viewers and check for loss of the transferred information.

The case studied is located on the island of Tenerife, specifically in the demarcation of Padre Anchieta, located in the Municipal Term of San Cristóbal de La Laguna. This modeling includes, apart from the Padre Anchieta roundabout, different routes such as the TF-24, the TF-263, the TF-5, Calle Las Mejoranas and Rambla Las Clavellinas.

**Keywords:** Building Information Modeling, BIM, Civil Information Modeling, CIM, Interoperability, IFC, Open BIM, Civil.



# Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Antecedentes.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Metodología.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Modelos de Información en la Construcción - BIM.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Building Information Modeling.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Breve historia del BIM.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Potencial del BIM.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4. Concepto de Civil Information Modeling - CIM.....</b>	<b>9</b>
Diferencias entre BIM y CIM.....	9
<b>2.5. Herramientas BIM.....</b>	<b>10</b>
<b>2.6. Estándares BIM.....</b>	<b>12</b>
Versiones del formato IFC.....	13
<b>2.7. Niveles de detalle y madurez.....</b>	<b>14</b>
LOD como Nivel de Detalle.....	15
LOD como Nivel de Desarrollo.....	19
<b>3. Estado del arte.....</b>	<b>20</b>
<b>4. Caso de Estudio: Ramal de acceso directo TF-24 a TF-5.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Normativa de aplicación.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2. Descripción del tramo.....</b>	<b>26</b>
4.2.1. Estado actual.....	26
4.2.2. Intervención.....	30
<b>4.3. Modelado CIM del caso de estudio.....</b>	<b>30</b>
4.3.1. Superficies.....	32
4.3.1.1. CloudCompare.....	32
4.3.1.2. 3DReshaper.....	33
4.3.1.3. Autodesk ReCap Pro.....	33



4.3.1.4. Comparativa de las herramientas de procesamiento de nubes de puntos	34
4.3.2. Tratamiento de las nubes de puntos .....	35
4.3.3. Alineaciones.....	45
4.3.4. Perfiles .....	49
4.3.5. Ensamblajes.....	51
4.3.6. Obras lineales.....	58
4.3.7. Superficies de obras lineales.....	64
4.3.8. Incidencias en el desarrollo de los Modelos CIM.....	68
4.3.9. Cálculo de volúmenes.....	75
<b>4.4. Exportación del modelo a formato IFC.....</b>	<b>80</b>
<b>4.5. Visores BIM .....</b>	<b>83</b>
4.5.1. Naviswork Manage 2018.....	84
4.5.2. BIM Vision.....	86
4.5.3. Solibri Model Viewer .....	89
<b>4.6. Propuesta de sistema de clasificación BIM.....</b>	<b>91</b>
<b>5. Resultados .....</b>	<b>97</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>98</b>
<b>7. Líneas de trabajo futuro .....</b>	<b>100</b>
<b>8. Bibliografía .....</b>	<b>102</b>
<b>9. Anexos.....</b>	<b>107</b>



# 1. Introducción

## 1.1. Objetivos

El campo de la metodología BIM se encuentra aún en pleno desarrollo, es por ello que se hace necesario seguir explorando y desarrollando líneas de trabajo que permitan enriquecer y mejorar, por una parte, el complejo procedimiento de modelado, y por otra la interoperabilidad de los archivos generados, de manera que éstos puedan ser visualizados y utilizados por todos y cada uno de los agentes que participan en el proceso constructivo sin que haya pérdida de información.

Partiendo de las anteriores premisas, en el presente estudio se plantean tres objetivos fundamentales, que son:

- Desarrollar el modelo de información una infraestructura viaria existente y de la obra proyectada, con el objeto de poder comprobar la geometría de la obra y su encaje en la topografía del ámbito.
- Disponer de una maqueta virtual y anticiparnos a las posibles incidencias en fase de proyecto o de "pre-construcción".
- Por último, se pretende trabajar con los formatos de intercambio (esencialmente IFC), una vez realizado el paso anterior, para observar la interoperabilidad del modelo en diferentes visores BIM y comprobar si existe pérdida de la información transferida.

De este proceso se extraerán las dificultades encontradas, lo cual permitirá conocer con exactitud el nivel de maduración en el que se sitúa actualmente la metodología BIM en el sector de la Ingeniería Civil.

## 1.2. Antecedentes

El presente trabajo se ha desarrollado en la Sección de Carretera y Paisaje del Cabildo de Tenerife, y el resultado de la colaboración con Ana Pérez García, alumna



del Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción durante el curso 2018/2019.

La infraestructura viaria analizada es objeto del proyecto de ejecución denominado **“Ramal de Acceso directo de la TF-24 a la TF-5, T.M. de San Cristóbal de La Laguna”**, situado en la isla de Tenerife. En él se plantea la modificación geométrica del trazado actual con el fin de mejorar el movimiento o enlace entre dos de las vías, la comúnmente conocida como “Carretera de La Esperanza” y la “Autopista del Norte”, TF-24 y TF-5 respectivamente.



Figura 1. Portada del proyecto de ejecución. Fuente: Servicio de Carreteras del Cabildo Insular de Tenerife

### 1.3. Metodología

La metodología que se aplica en el presente Trabajo Fin de Máster y que se puede analizar en la Figura 2 es la siguiente:



- En primer lugar, se realiza una introducción a la metodología BIM, donde se describe el desarrollo de la misma a lo largo de la historia, diversos conceptos importantes dentro de esta metodología y su potencial entre otros.
- Posteriormente, se investiga acerca del estado del arte del BIM en el ámbito de la ingeniería civil. Para ello, se ha realizado un trabajo de recopilación y estudio de información procedente de diversas fuentes:
  - Publicaciones en revistas divulgativas.
  - Publicaciones de Trabajos de Fin de Grado (TFG) y Trabajos Fin de Máster (TFM).
  - Artículos publicados en revistas científicas.
  - Páginas webs.
- Antes de llevar a cabo el modelado, es necesario aplicar un tratamiento sobre la nube de puntos que aporta el Servicio de Carreteras del Cabildo Insular de Tenerife, con la finalidad de reducir el ruido de la misma. Con este tratamiento se conseguirá generar una cartografía a partir de la nube de puntos lo más fiable y real posible.
- Tras elaborar la cartografía, se procede al modelado del estado actual del tramo, así como, la intervención que se pretende realizar en el mismo. Para ello, se hará uso del programa Autodesk Civil 3D, software que ofrece las herramientas necesarias para la creación de infraestructuras viarias.
- Una vez realizados ambos modelos, se procede a la exportación de los mismos en formato de intercambio IFC (Industry Foundation Classes).
- Por último, se comprueba si el formato de intercambio IFC mantiene los datos del Civil 3D o existe cierta pérdida de información en el proceso. Para ello, se hará uso de tres visores: Naviswork Manage 2018, BIMVision y Solibri Model Viewer.



Figura 2. Esquema de la metodología del estudio. Fuente: Elaboración propia



## 2. Modelos de Información en la Construcción - BIM

### 2.1. Building Information Modeling

El término Building Information Modeling (en adelante, BIM) sigue siendo actualmente confuso, dado que es habitual asociarlo exclusivamente a un software o aplicación informática, o incluso, a una mera visualización tridimensional de una infraestructura. No obstante, este concepto abarca mucho más que eso.

Según la asociación *BuildingSMART Spanish Chapter*, BIM es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital de manera coordinada, coherente, computable y continua (Martínez Torres, 2015).

La metodología BIM permite la representación digital de una infraestructura mediante modelado basado en objetos, de tal manera que no solo cambia la forma en que ésta se diseña a partir de soluciones CAD tradicionales, sino que también altera los procesos de entrega clave involucrados en el desarrollo constructivo de la misma (Cheng, Lu, y Deng, 2016).

Por lo tanto, la metodología BIM supone también un cambio en los procesos. Desde su origen en la década de 1970, BIM ha transformado gradualmente la forma en que se trabaja en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (en adelante, AEC). Por ejemplo, BIM ha cambiado la forma tradicional de transmitir la intención del diseño añadiendo símbolos e interpretaciones humanas en los dibujos, a ser representado por objetos inteligentes que llevan información detallada que puede acelerar el diseño, la adquisición y el proceso de construcción. La implementación de BIM en el sector de la construcción permite obtener beneficios de un menor costo y una mayor productividad, precisión, comunicación y eficiencia (Cheng, Lu, y Deng, 2016).



## 2.2. Breve historia del BIM

Durante gran parte de la historia de la construcción, el diseño de los proyectos se realizaba con un simple lápiz y papel. Aun siendo un procedimiento exacto y fiable, representaba una gran cantidad de horas invertidas en el dibujo, añadiendo el inconveniente de que cualquier modificación a realizar en el mismo podía suponer el hecho de tener que repetir el diseño desde cero.

Según Montesano Pérez (2019), el primer sistema CAD surge en el año 1963. Se trataría del Software *"Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System"* y sería el primer programa que permitiría crear líneas en un ordenador. Éste podía generar dibujos bastante exactos, con innovaciones como estructuras de memoria para almacenar objetos.

En 1969, tras el desarrollo del primer plotter, las empresas del mundo aeroespacial y del automóvil comienzan a utilizar los sistemas CAD. Aunque su expansión en 2D no tuvo entrada en el mercado hasta que *Autodesk* consiguiera desarrollar un programa CAD para PC a un coste inferior de 1.000 dólares americanos (Brugaloras, Turmo, Antonio y Grado, 2016).

Por otro lado, los hermanos Bentley fundaron *Bentley Systems* en 1984. Un año más tarde trajeron al mercado una versión productiva de un software denominado *PseudoStation*, que permitía llevar a cabo proyectos mediante terminales de bajo coste. Una vez comprobado y demostrado que los ordenadores de la época cumplían con los requisitos necesarios para este tipo de tareas, en 1986, lanzaron la versión 1 del *MicroStation*, que permitía abrir, visualizar e imprimir archivos de proyectos en el PC.

Con los programas CAD, todos los planos se comenzaron a llevar a cabo haciendo uso de esta plataforma, ahorrando una gran cantidad de tiempo y mejorando en términos de eficacia y calidad de los sistemas de representación. A este avance se le unió la representación en 3D impulsada por los arquitectos y su afán de mejorar la calidad del detalle y de presentación, tan importante para atraer a los clientes.

El origen del BIM no tiene un punto de partida único, sino que resulta de la unión de varios caminos. Existen los que defienden que fue la empresa *Graphisoft* quien



desarrolló un programa en 1982 para el dibujo 2D y 3D. Por otro lado, *Autodesk* comenzó a utilizar el concepto BIM tras la compra en 2002 de la empresa *Revit Technology Corporation*. Mientras que otros defienden que el profesor Charles M. Eastman fue el primero en difundir este concepto.

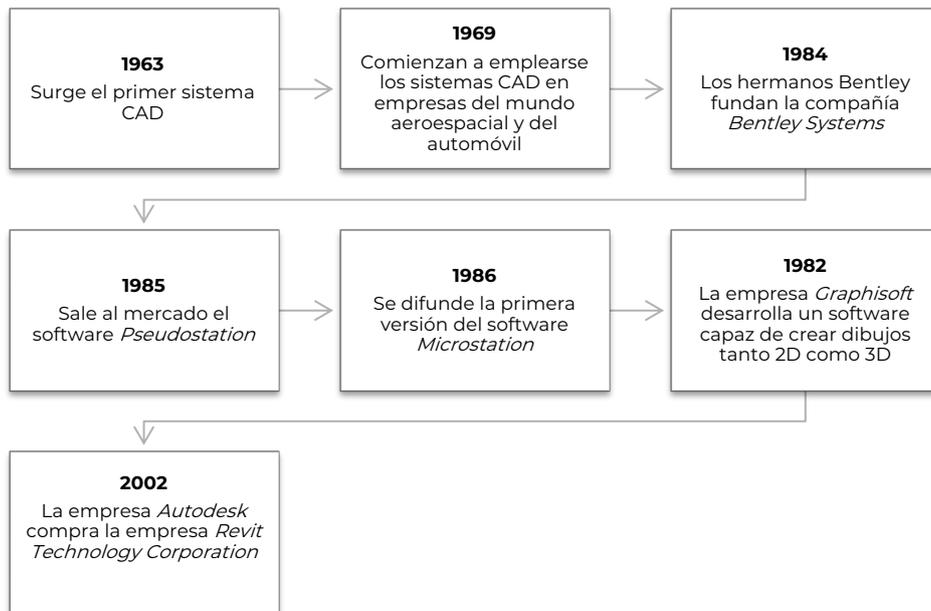


Figura 3. Ruta temporal de la historia del BIM. Fuente: Elaboración propia

Actualmente esta metodología es ofrecida por diferentes proveedores tecnológicos: *Nemetschek*, *Autodesk*, *Bentley Systems* y *Trimble*.

Durante la última década, la metodología BIM se ha implantado de forma progresiva en diferentes países, siendo para algunos de ellos objetivo prioritario de sus Administraciones Públicas (BuildingSMART Spanish Chapter, s.f.).

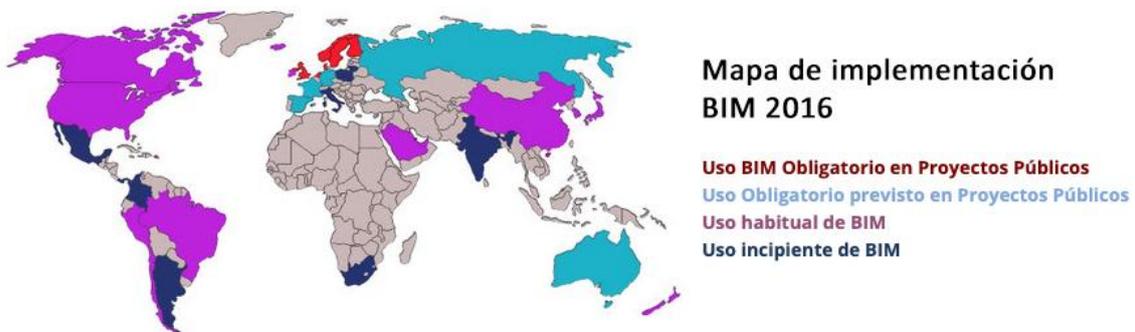


Figura 4. Mapa de implantación BIM en el año 2016. Fuente: BuildingSMART Spanish Chapter (s.f.)



## 2.3. Potencial del BIM

La migración desde el dibujo CAD tradicional hasta la metodología BIM requiere una transición fundamental en términos de personal y procesos, así como inversiones significativas en tecnología y formación (Qian, 2012). No obstante, la implantación de BIM como herramienta de transformación de la industria de la construcción propicia la colaboración, la coordinación y la comunicación entre todos los actores involucrados en el ciclo de vida de un proyecto (Martín Dorta, 2016).

Los beneficios más destacables logrados con la implementación de metodologías BIM se resumen, según Martín Dorta (2016), en:

- La mejora en el control y la colaboración en los proyectos entre las partes interesadas.
- La mejora de la productividad (menos modificaciones, conflictos y cambios).
- La mejora en la calidad y el rendimiento del proyecto.
- La reducción en los plazos de ejecución de los proyectos.
- La reducción de las bajas/mermas.
- La reducción de los costes de construcción.
- Los nuevos ingresos y oportunidades de negocio.

El *Center for Integrated Facility Engineering* de la Universidad de Stanford publicó un informe en el año 2007 sobre su trabajo con 32 proyectos de EE. UU, Europa y Asia. Este estudio demuestra que, cuando se usan metodologías BIM en un proyecto, se pueden eliminar hasta en un 40% los cambios no presupuestados, aumentar la precisión en la estimación de los costes en al menos un 3%, y reducir en un 80% el tiempo necesario para generar una estimación de los gastos (Martín Dorta, 2016).

Por otra parte, el Gobierno de Reino Unido ha publicado los datos de costes desde el año 2012 en relación con la consecución de su objetivo general de una reducción



sostenible de entre un 15% y un 20% en el coste de la construcción para el año 2016. Así, el informe de julio de 2014, *“UK Departmental Cost Benchmarks Cost Reduction Trajectories and Cost Reductions”*, demuestra una continua disminución de los costes (Martín Dorta, 2016).

Asimismo, el Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad de Colorado ha sido capaz de medir el éxito de la implementación de BIM comparando dos proyectos de similares características mediante procesos convencionales y metodologías BIM. El primer proyecto (de 216 millones de dólares) se completó con éxito, en tiempo y dentro del presupuesto con un enfoque tradicional de entrega. El segundo proyecto (de 201 millones de dólares) fue construido unos años más tarde mediante un proceso de diseño y construcción virtual integrada (VDC) y dio lugar a resultados “excepcionales” para el proyecto con la mejora de la productividad, el aumento de la prefabricación, menos trabajo, RFIs (requerimientos de información) y cambios reducidos, concluyendo dos meses antes de lo previsto y bajo presupuesto (Martín Dorta, 2016).

## **2.4. Concepto de Civil Information Modeling - CIM**

El término CIM (del inglés, Civil Information Modeling) se utiliza habitualmente en la industria de AEC para referirse a la aplicación de BIM en infraestructuras propias de la Ingeniería Civil, tales como puentes y túneles.

CIM es un término introducido recientemente por muchos investigadores y profesionales, por lo que las principales instituciones tienen diferentes definiciones de CIM, tales como “gestión integrada civil”, “modelado de información de construcción”, y “gestión de la información de construcción” (Cheng, Lu, y Deng, 2016).

### **Diferencias entre BIM y CIM**

Hay tres diferencias principales entre BIM y CIM que deben identificarse antes de aplicar estas metodologías a proyectos de ingeniería civil:

En primer lugar, la estructura y los componentes de los edificios son diferentes de los de las infraestructuras de ingeniería civil. Un ejemplo muy evidente de esto sería



el caso de las ventanas, que están presentes en un edificio, pero no en una carretera. Otro ejemplo sería el entorno geométrico circundante, que, si bien no tiene trascendencia más allá de la cimentación en lo que a un edificio respecta, en el caso de un proyecto de ingeniería civil, éste está sujeto a todos los matices del terreno. Por tanto, los proyectos de arquitectura también se denominan “proyectos verticales”, mientras que los proyectos de infraestructura civil se designan normalmente como “proyectos horizontales”.

En segundo lugar, la terminología para representar edificios e instalaciones de ingeniería civil es diferente, debido a las diferencias existentes en las estructuras y en sus componentes. Así, los esquemas de datos para edificios no se pueden utilizar directamente para infraestructuras de ingeniería civil.

Por último, BIM y CIM tienen diferentes metodologías de modelado. Para infraestructuras de la Ingeniería Civil como carreteras y puentes, todas las entidades específicas se colocan horizontalmente en relación con el eje o la línea de referencia, o bien se definen las secciones transversales y posteriormente se extienden horizontalmente a lo largo de las alineaciones designadas. Sin embargo, en el caso de un edificio, éste se crea verticalmente piso por piso.

Con independencia de las diferencias anteriormente reseñadas, la gestión de datos y el intercambio de BIM y CIM son similares (Cheng, Lu, y Deng, 2016).

## **2.5. Herramientas BIM**

Son muchas y variadas las aplicaciones computacionales (software) existentes en el mercado para su uso en la metodología BIM, clasificándose éstas en función del objetivo que se persiga en el proyecto a elaborar.

<b>Planificación</b>	· Autodesk InfraWorks, Bentley OpenRoads ConcepStation
<b>Diseño de trazado</b>	· Istram Ispol, Bentley OpenRail, Autodesk Autodesk Civil 3D, TcpMDT
<b>Autoría de estructuras e instalaciones</b>	· Nemetschek Allplan, Bentley AECOsim, Autodesk Revit, Tekla Structure
<b>Coordinación y gestión (4D)</b>	· Solibri, Tekla BIMsight, Navisworks, Synchro
<b>Presupuesto (5D)</b>	· Presto, CYPE, Vico, TCQ
<b>Mantenimiento</b>	· Terex, Ingrid, Giswater (gestión gráfica de archivos y mantenimiento), Swarco

Figura 5. Algunas de las principales Herramientas BIM en función del objetivo del proyecto. Fuente: Montesano Pérez (2019)

Desarrolladores como *Autodesk*, *Bentley* u otros han sacado al mercado herramientas que ofrecen soluciones para la Ingeniería Civil. Softwares como *Infraworks*, *Autodesk Civil 3D* y *Openroads*, están orientados al campo de la pre-ingeniería y se focalizan en realizar una planificación previa del encaje, así como 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; esto es, permiten 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 (Montagud Andrés, 2018).

Una vez definida la alternativa, es posible llevar a cabo su diseño constructivo mediante herramientas como *Autodesk Civil 3D*, *OpenRoads*, *Istram Ispol* o *CLIP*, que permiten generar la alineación en planta de la infraestructura viaria, su perfil, su sección tipo y el trazado de la obra lineal (Montagud Andrés, 2018).

Por otra parte, mediante programas como *Revit* y *AECOsim* es posible desarrollar los modelos de las estructuras que formarán parte de la obra lineal. Además, se pueden emplear herramientas de dibujo paramétrico como *Dynamo*, *Flux IO*,



*Rhino-Grasshoper o Tekla Structures*, que permiten realizar un modelado de estructuras más complejo (Montagud Andrés, 2018).

## 2.6. Estándares BIM

Los estándares BIM se pueden definir como el régimen establecido para el intercambio de datos entre los agentes de un proyecto BIM (Martínez Torres, 2015). El primer estándar creado dentro de esta tecnología fue el formato IFC (del inglés, Industry Foundation Classes).

Este estándar surgió a raíz de la alianza privada creada por *Autodesk*. En el año 1995, doce compañías se asociaron bajo el nombre de *International Alliance for Interoperability (IAI)*, con la finalidad de demostrar los beneficios de la interoperabilidad. Más tarde, en el año 2008, cambiaron su nombre por el de *BuildingSMART* con el fin de reflejar mejor la naturaleza y los objetivos de la organización (BuildingSMART International, s.f.).

*Building* se refiere a todo el entorno construido, mientras que la palabra *SMART* identifica la forma en que se pretende construir: con inteligencia, interoperabilidad y trabajo en equipo para diseñar, ejecutar y operar el entorno construido (BuildingSMART International, s.f.).

La organización *BuildingSMART* afirma que: *“Estamos creando un nuevo lenguaje digital para permitir el intercambio abierto y preciso de la información, para permitir la gestión del ciclo de vida eficiente y eficaz de nuestro entorno construido. Los beneficios sustanciales que trae consigo la interoperabilidad en materia BIM, solo están totalmente disponibles si las normas establecidas para este aspecto están abiertas e internacionalizadas. Estos beneficios van mucho más allá de la fase de diseño y construcción”*.

A raíz de ello surge el estándar ISO 16739:2013, el cual especifica un esquema de datos conceptuales y un formato de archivo de intercambio para crear datos de modelo de información (BIM). Dicho esquema se define en el lenguaje de especificación de datos EXPRESS; el formato de archivo de intercambio estándar utiliza la codificación de texto claro (texto sin cifrar) de la estructura de intercambio, si bien se pueden utilizar formatos de archivo de intercambio alternativos siempre



y cuando éstos se ajusten al esquema conceptual (International Organization for Standardization, s.f.). Se trata, por tanto, de un formato abierto, neutro, no controlado por los productores de software, nacido para facilitar la interoperabilidad entre varios operadores (BibLus, 2017).

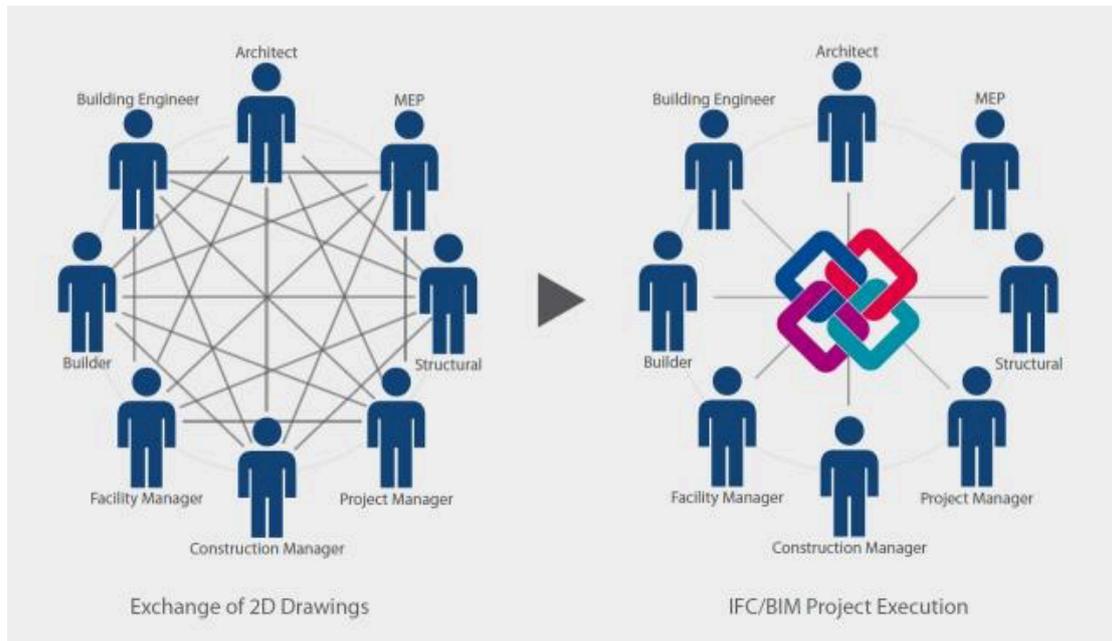


Figura 6. Comparativa entre intercambio de información 2D y proyectos BIM. Fuente: Baptista de Almeida (2015)

Tal y como se muestra en la anterior figura, en fase de proyecto y de ejecución, ya sea de un edificio o de una infraestructura propia de la Ingeniería Civil, participan varias figuras profesionales, cada una por su disciplina o área de interés. Por esta razón es de gran importancia que los agentes involucrados puedan intercambiar datos de forma segura, sin errores y/o pérdida de información, colaborando eficazmente a la realización del proyecto (BibLus, 2017).

## Versiones del formato IFC

La primera versión de Industry Foundation Classes fue en 1996, con el IFC 1.0, que llegó al mercado para traer un modelo neutral a la industria AEC. A lo largo de los años ha habido actualizaciones: IFC 1.5, IFC 1.5.1 e IFC 2.0.

En octubre del 2000, se publicó la versión más antigua aún en uso, IFC 2x, que se centraba en aumentar la estabilidad de la plataforma y la información. Poco



después, vino una versión que hizo posible las certificaciones IFC, y las siguientes fueron la expansión de las capacidades y compatibilidades de la extensión.

La versión más popular es la 2x3, de 2007, que tuvo varias mejoras en el rendimiento y la calidad, además de correcciones de errores de versiones anteriores.

La última versión fue de IFC 4.0 (inicialmente conocida como IFC 2x4), en 2013, y trajo nuevas formas de documentación, soporte para nuevas plataformas de construcción, estructuras y servicios. La versión más reciente de la IFC 4.0 es el Addendum 2, publicado en julio de 2016, que trajo mejoras y correcciones.

Para el futuro, el IFC 5.0 ya está en sus primeras etapas, lo que promete traer beneficios al personal de infraestructuras (empezando con alineaciones y luego pasando a carreteras, túneles, puentes y ferrocarriles) y más flexibilidad y capacidad con parametrizaciones de modelos de todas las disciplinas (Zigurat, 2019).

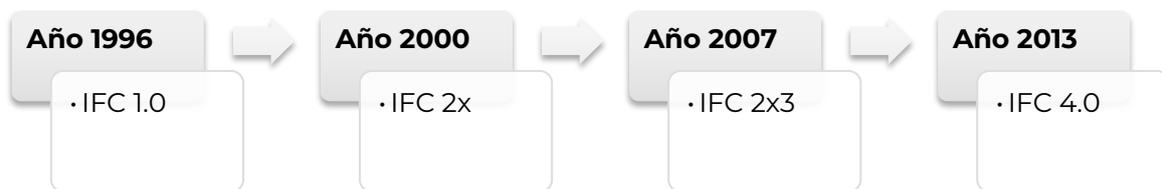


Figura 7. Resumen de versiones de IFC. Fuente: Elaboración propia

## 2.7. Niveles de detalle y madurez

La calidad de un modelo se determina mediante el LOD (Level of Development o Level of Detail). No obstante, existen dos definiciones distintas para este concepto, según Alonso Madrid (2012).

Éstos buscan beneficios y serán los que definan el nivel de desarrollo del modelo. Su función es planear de manera estratégica cuánto se modela de cada objeto en cada ciclo de vida del proyecto es muy importante en la planificación BIM. De este planeamiento, dependerán las horas de dedicación al modelo, la carga de trabajo, etc.

- LOD como Nivel de Detalle.



- LOD como Nivel de Desarrollo.

## LOD como Nivel de Detalle

Se corresponde con la evolución lineal de cantidad y riqueza de información de un proceso constructivo; siempre aumenta con el tiempo y se refiere al modelo de proyecto, los costes/presupuestos y la planificación temporal. Los grados de detalle vienen determinados por letras (A, B, C, ...) o letras y números (G0, G1, G2, ...) según el país de origen en la definición a tener en cuenta.

Los estándares más importantes y con mayor reconocimiento, según establece la página web de EADIC, son:

- Las normas y publicaciones inglesas PAS 1192 (*Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling*). Concretamente, la PAS 1192-2 define dos componentes en el LOD: Niveles de detalle del modelo (LOD) y Niveles de Información del modelo (LOI).
- El estándar G202-2013, publicado por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA), donde el LOD se denomina como "Level of Development".

### Estándar aplicado en Reino Unido

En Reino Unido, el estándar seguido para la definición de los niveles LOD es la PAS 1192-2. En dicha norma se definen dos componentes diferentes:

- Niveles de detalle del modelo (LOD): se relaciona con el contenido gráfico de los modelos BIM. Define cómo de detallada es la parte geométrica de los elementos BIM.
- Niveles de información del modelo (LOI): se refiere a los contenidos no gráficos de los modelos BIM. Define el desarrollo y la confiabilidad de la parte de datos estructurados de los elementos del modelo.

Estos dos conceptos están estrechamente ligados, ya que es necesario que el contenido gráfico y el contenido no gráfico estén al mismo nivel de definición.



Los principales niveles de los LOD en el PAS son:

- Resumen: si existe un modelo gráfico, es probable que se haya desarrollado a partir de un modelo de información no BIM.
- Concepto: el diseño gráfico puede mostrar diagramas de masas y símbolos 2D para representar elementos genéricos.
- Definición: los objetos se basan en representaciones genéricas, y las especificaciones y atributos permiten la selección de productos.
- Diseño: se tiene una representación en 3D con la especificación adjunta. El detalle geométrico debe ser la asignación mínima de espacio para el espacio operacional y de mantenimiento.
- Creación y puesta en marcha: los objetos genéricos se reemplazan por objetos del fabricante, y la información esencial se vuelve a vincular con los objetos de reemplazo y se agrega la información necesaria.
- Traspaso y cierre: el modelo representa el proyecto tal como está construido y toda la información necesaria se incluye en la documentación de entrega, incluida la documentación de mantenimiento y operación, los registros de puesta en marcha, los requisitos de seguridad y salud, etc.
- Operación y uso: el modelo se actualiza con la información de los elementos según los registros de mantenimiento, fechas de reemplazo, equipos de reemplazo, etc.

En la siguiente figura se muestra la matriz expuesta en la PAS 1192-2, donde se incluyen los diferentes niveles y sus características. Existen múltiples niveles, además de los que se muestran a continuación.



Stage number	1	2	3	4	5	6	7
Model name	Brief	Concept	Definition	Design	Build and commission	Handover and closeout	Operation
Systems to be covered	N/A	All	All	All	All	All	All
Graphical illustration (building project)							
Graphical illustration (infrastructure project)							
What the model can be relied upon for	Model information communicating the brief, performance requirements, performance benchmarks and site constraints	Models which communicate the initial response to the brief, aesthetic intent and outline performance requirements. The model can be used for early design development, analysis and co-ordination. Model content is not fixed and may be subject to further design development. The model can be used for co-ordination, sequencing and estimating purposes	A dimensionally correct and co-ordinated model which communicates the response to the brief, aesthetic intent and some performance information that can be used for analysis, design development and early contractor engagement. The model can be used for co-ordination, sequencing and estimating purposes including the agreement of a first stage target price	A dimensionally correct and co-ordinated model that can be used to verify compliance with regulatory requirements. The model can be used as the start point for the incorporation of specialist contractor design models and can include information that can be used for fabrication, co-ordination, sequencing and estimating purposes, including the agreement of a target price/ guaranteed maximum price	An accurate model of the asset before and during construction incorporating co-ordinated specialist sub-contract design models and associated model attributes. The model can be used for sequencing of installation and capture of as-installed information	An accurate record of the asset as a constructed at handover, including all information required for operation and maintenance	An updated record of the asset at a fixed point in time incorporating any major changes made since handover, including performance and condition data and all information required for operation and maintenance  The full content will be available in the yet to be published PAS 1192-3

Figura 8. Tabla de niveles LOD, según PAS 1192-2. Fuente: Mills (2015)

## Estándar aplicado en Estados Unidos

En Estados Unidos, el AIA (Instituto Americano de Arquitectos) desarrolló inicialmente, en el documento E-202 del año 2008, una clasificación de los LOD, definiendo estos como Nivel de Desarrollo lugar de Nivel de Detalle.

Posteriormente, se amplió en 2013 dicha definición en el documento G202, hasta que, por último, en el año 2014, se redactó en el BIMForum la última definición admitida.

En la figura que se adjunta a continuación se muestran los diferentes niveles LOD que aparecen en un modelo BIM, según los estándares establecidos por el AIA:

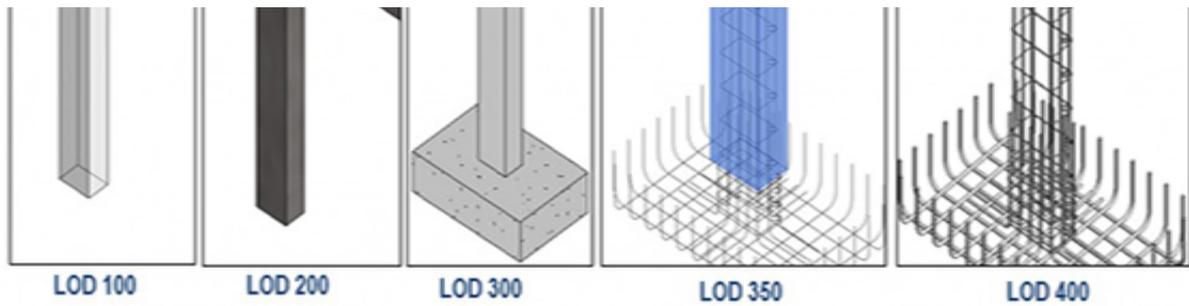


Figura 9. Niveles LOD. Fuente: EADIC (2015)

- **LOD 100.** El concepto es visual, teniendo aproximadamente el 20% de la información. El objeto modelizado representa su apariencia física, sin contener ninguna información adicional. No hay datos geométricos ni dimensiones.
- **LOD 200.** Diseño desarrollado o esquemático, teniendo el 40% de la información. El objeto posee una dimensión geométrica parametrizada determinada. El elemento de modelo se representa gráficamente en el modelo como un sistema genérico, objeto o ensamblaje con cantidades aproximadas, tamaño, forma, ubicación y orientación.
- **LOD 300.** Documentación para construcción, teniendo el 60% de la información. El objeto modelizado, además de sus dimensiones geométricas, posee una función determinada. El elemento de modelo se representa gráficamente como un sistema específico, objeto o ensamblaje en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. Se pueden tomar medidas y cantidades directamente del modelo.
- **LOD 350.** Coordinación y colisiones, teniendo el 70% de la información. El objeto modelizado, cumple lo anterior, pero, además, tiene modeladas todas las conexiones que le permiten interactuar con otros sistemas.
- **LOD 400.** Construcción, teniendo el 80% de la información. El elemento de modelo se representa gráficamente en el modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con detalle, fabricación, montaje y la información de la instalación.



- **LOD 500.** Elemento real, teniendo el 100% de la información. El objeto modelizado, además de lo anterior, se encuentra ya construido, se midió en campo y cualquier cambio respecto a lo indicado por el modelo fue subsanado. El elemento del modelo es una representación sobre el terreno verificado en términos de tamaño, forma, cantidad y la orientación.

Se puede decir que el LOD de un modelo BIM, según Reyes Rodríguez (2016), es el promedio de todos los LOD de los elementos BIM incluidos en el modelo y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$LOD_{modelo\ BIM} = \frac{\sum_n LOD_{elemento\ BIM}}{n}$$

## LOD como Nivel de Desarrollo

Define el nivel de desarrollo o madurez de información que posee un elemento del modelo, y éste es la parte de un componente, sistema constructivo o montaje del edificio. Hay que tener en cuenta que en ningún caso hace referencia a la totalidad del proyecto, y tampoco tiene vinculación con la fase de desarrollo o construcción. Comúnmente, el Nivel de Desarrollo es dividido en cuatro etapas distintas, siendo el modelo más utilizado en la industria el estudio *Bew & Richards BIM Maturity Model*, como se puede observar en la Figura 10:

- A) **Nivel 0.** Se trata de la definición del modo de trabajo al inicio de implementar la metodología BIM. Este primer nivel incluye el desarrollo de información CAD aislada por parte de cada una de las distintas disciplinas intervinientes en un modelo. Son usadas solo para la producción de dibujos, vehículo único de información entre los actores del proceso.
- B) **Nivel 1.** Realización de un modelo digital aislado (CAD 3D), sin intercambios de archivos. Cada disciplina desarrolla su modelo por separado sin realizar un modelo federado.
- C) **Nivel 2.** Se establece un trabajo colaborativo entre las distintas disciplinas, que desarrollan modelos individuales que unen para conformar un modelo



federado. Incluye un modelo gráfico en 3D, pero sin información acerca del mantenimiento, estructuración de datos, documentación o un IFC. El trabajo en este nivel está basado en la creación de modelos virtuales del edificio, capaces de transmitir informaciones, que acompañarán y progresivamente sustituirán de manera parcial, la documentación tradicional.

D) **Nivel 3.** El último nivel de BIM sería un modelo único compartido por todos los técnicos de las distintas disciplinas, permitiendo una intervención de todos ellos. Puede tomarse como la combinación del Nivel 2 trabajando en un entorno común de datos. Todas las informaciones podrán ser fácilmente consultadas por todos los protagonistas del proceso, por todos los agentes involucrados.

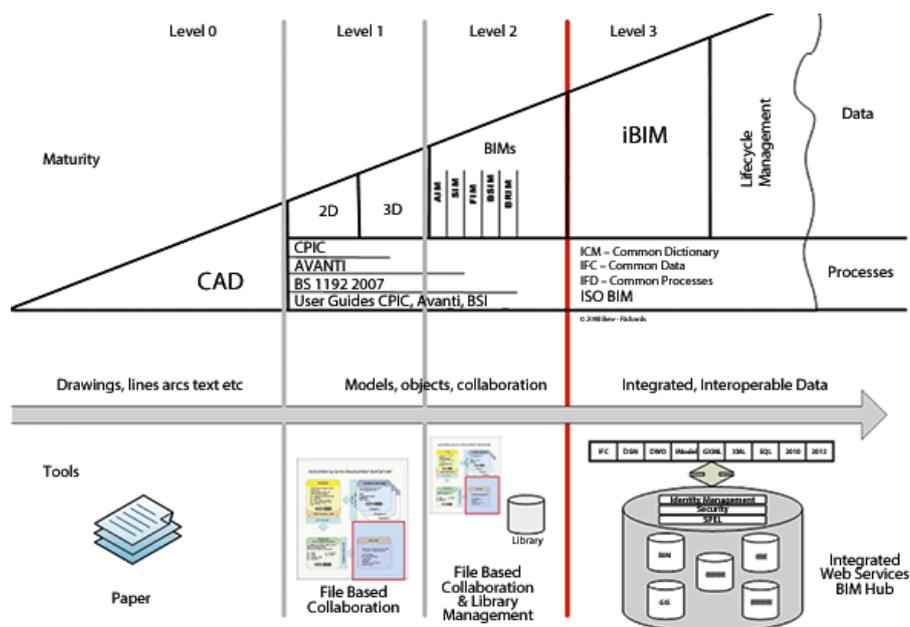


Figura 10. Niveles de madurez BIM. Fuente: Bew & Richards BIM Maturity Diagram (2008)

### 3. Estado del arte

Se trata del primer paso a la hora de abordar un proyecto de investigación y su posterior desarrollo. Para comenzar, se realizará una investigación documental y bibliográfica sobre la metodología BIM aplicada al campo de la Ingeniería Civil. Para conformar la base bibliográfica del presente estudio, se lleva a cabo la revisión de



la documentación existente, centrandó la búsqueda en las publicaciones más recientes. Las fuentes utilizadas para la obtención de los diferentes estudios son, entre otras:

- Publicaciones en revistas divulgativas.
- Publicaciones de Trabajos Fin de Grado (TFG) y Trabajos Fin de Máster (TFM) que abarcan el campo de estudio en cuestión.
- Publicaciones de artículos en revistas científicas.
- Páginas webs.

La información relativa al uso de la metodología BIM en la Ingeniería Civil es bastante escasa, ya que la mayoría de estudios hasta la fecha se centran en el uso de dicha metodología en el sector de la edificación. Aun así, son varios los artículos que se han encontrado y que se relacionan directamente con este estudio:

Krantz (2012), en su trabajo *“Building Information Modeling. In the production phase of civil works”*, explora las posibilidades de implantación de la metodología BIM en la fase de producción de las obras civiles, tal y como su título indica. Puesto que el uso de BIM en la fase de proyecto mejora la comunicación y la coordinación entre los diferentes agentes participantes, logrando así que el trabajo sea más efectivo, la autora de este trabajo parte de la base de que su empleo en la fase de producción logrará, por tanto, que ésta tenga una menor duración y un menor coste económico. Sin embargo, también plantea la dificultad de medir la rentabilidad del uso de la metodología BIM en esta fase, dado que, cuestiones tales como la actitud negativa del empleado contra el trabajo administrativo o la incertidumbre de quién posee la propiedad legal de los datos y, por tanto, la responsabilidad de su veracidad y exactitud, son factores que dificultan su implementación inicial. No obstante, su puesta en práctica facilitaría notablemente la verificación de la ejecución de las obras conforme al modelo, mejorando la comprensión del mismo por parte de los trabajadores.

El trabajo *“Proyecto de una pasarela metálica atirantada con una pila lateral de sección variable de hormigón”* (Cervantes Garrido, 2016), hace uso de la



metodología BIM para diseñar una pasarela atirantada sobre el río Segura. Dentro de este proyecto se trabaja con distintos programas, haciendo uso del más óptimo para cada apartado del proyecto. Para el modelado 3D se hace uso de “Revit”, mientras que los armados han sido diseñados con “Tekla”. Gracias a este trabajo se puede observar que es posible el uso de diferentes programas que hagan uso de la metodología BIM para un mismo proyecto.

En el artículo “Analytical review and evaluation of civil information modeling” (Cheng, Lu, y Deng, 2016), los autores hacen referencia al término Civil Information Modeling (CIM). Es bastante interesante, en este artículo, el análisis que se realiza de las diferentes herramientas que se pueden disponer para el diseño de diferentes proyectos dentro del ámbito de la Ingeniería Civil. Para ello, se divide la actividad de la ingeniería civil en cinco subcategorías: infraestructuras de transporte, infraestructuras de energía, infraestructuras de utilidad, infraestructuras de facilidad recreacional e infraestructuras relativas a la gestión del agua. En la Tabla 1, se muestran los diferentes programas existentes en el mercado y las necesidades que éstos cubren, además de si disponen de un Kit de Desarrollo del Software (SDK) e Interfaz de Aplicación del Programa (API).

Vendor	Software tool	Civil Infrastructure					Are API <sup>1</sup> or SDK <sup>2</sup> available
		Transportation infrastructure	Energy infrastructure	Utility infrastructure	Recreational Facility infrastructure	Water management infrastructure	
Autodesk	Revit	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AutoCAD	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AutoCAD Map 3D	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AutoCAD Civil 3D	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Autodesk InfraWorks (formerly Infrastructure Modeler)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Structural Bridge Design	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AutoCAD Utility Design	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Autodesk 3ds Max Design	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Navisworks	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Bentley	RM Bridge, LEAP Bridge, LARS Bridge	✓	✓	✓	✓	✓
	Power Rail Track, Power Rail Overhead Line, MXRAIL	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Power InRoads, Power GEOPAK, MXROAD, and PowerCivil	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	PlantWise, OpenPlant, AutoPLANT, and PlantSpace	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	HAMMER, WaterCAD, WaterGEMS, SewerCAD, SewerGEMS, CivilStorm, StormCAD	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MicroStation	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AECOSim Building Designer (Bentley Architecture, Structural Modeler)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Prosteel	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Bentley Substation	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Bentley Navigator	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ProjectWise	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AutoPIPE and STAAD.Pro	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CSI	SAP2000	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CSiBridge	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tekla	Tekla Structures	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Tekla Bimsight	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Graphisoft	ArchiCAD	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vico	Vico Office Suite	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FORUMS	UC-win/Road	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 1. Comparativa de productos CIM. Fuente: Cheng, Lu y Deng (2016)



El trabajo que presenta Vilaradaga Rodrigo (2017) en su Tesis Doctoral, denominada *“Integración de BIM en la formación del Grado en Ingeniería Civil”*, difiere significativamente de la temática o línea de investigación expuesta en este documento, puesto que su objetivo se centra esencialmente en el análisis de diferentes experiencias de aplicación BIM en el ámbito de la formación universitaria en Ingeniería Civil para poder diseñar e implementar un programa piloto en dicha titulación. No obstante, es posible extraer de este estudio nociones e ideas acerca de la metodología BIM en sumo grado relevantes para el desarrollo del presente trabajo académico. Uno de los planteamientos más reseñables de esta tesis es la necesidad de crear un esquema claro y reglado en la formación de BIM en el ámbito de la Ingeniería Civil (CIM), para lograr una implementación generalizada y necesaria de dicha metodología en el sector, pues solo así se logrará la detección temprana de problemas y, por ende, se reducirán los sobrecostos que éstos producen en la fase de construcción y explotación.

En el Trabajo Fin de Máster *“Aplicación de la metodología BIM a un proyecto de construcción de un corredor de transporte para un complejo industrial. Modelo BIM 5D costes”* (Vera Galindo, 2018), se lleva a cabo una investigación de la aplicación de la metodología BIM a infraestructuras lineales. Para ello, se efectúa el modelado de un corredor de transporte que da acceso a una zona industrial, que permita llevar a cabo la valoración de la construcción de una obra lineal y su seguimiento de obra. A este modelado se le añade el desarrollo de un presupuesto, que vinculado al modelo 3D, permite obtener el nivel BIM 5D de costes. Las conclusiones que se obtienen de este trabajo es que la metodología BIM no está aún consolidada para la ejecución de obras civiles, especialmente si se trata de infraestructuras lineales. Las herramientas que esta metodología ofrece son muy potentes, permitiendo la detección de conflictos y su resolución. Sin embargo, a nivel de interoperabilidad entre estos softwares no existen demasiadas referencias a nivel documental, lo que demuestra el nivel de desarrollo.

El estudio llevado a cabo por Santana Hernández (2018), denominado *“Modelado y Análisis de interoperabilidad en un entorno BIM para Ingeniería Civil. Caso de estudio: TF-293 con Calle Punta de Anaga”*, tiene un desarrollo similar al llevado a cabo en el presente trabajo. El autor pretende ofrecer una visión de



interoperabilidad entre programas de desarrollo de obras de Ingeniería Civil. Para ello, se lleva a cabo el modelado de una obra lineal con el software *"Istram Ispol"*, y posteriormente éste es exportado a un formato de intercambio IFC. Este es el más destacado dentro del Open BIM, permitiendo a los usuarios analizar los tipos de elementos y sus relaciones. Según el autor, el formato de intercambio IFC no es aún recomendable para su uso diario debido a las grandes pérdidas de información que se producen al exportar el archivo. A pesar de esta problemática, actualmente los progresos que se producen en este campo son significativos, avanzando hacia formatos de intercambio como el IFC4 y en un futuro el IFC5, para incrementar las ventajas del uso del BIM en la Ingeniería Civil.

Por su parte, Montagud Andrés (2018), en su proyecto *"Metodología BIM para Proyectos de Ingeniería Civil"*, obtiene una conclusión similar a la de los trabajos ya analizados, y es que esta metodología está mucho más desarrollada en el ámbito de la edificación. En este caso particular, se hace uso del software *"Infraworks"*. La ventaja de este programa es su compatibilidad con *"Autodesk Civil 3D"*, ya que ambos pertenecen a la compañía *Autodesk*. Además, permite contextualizar de una forma bastante interesante el proyecto que se lleva a cabo. La principal desventaja del mismo, es el resultado de la propia obra lineal, debido a la cartografía poco exacta, entre otros casos.

Tras el correspondiente análisis de los principales argumentos e ideas expuestos por los estudios anteriormente mencionados, se deduce lo siguiente:

1. La metodología BIM es una herramienta clave en la industria AEC para detectar errores en las fases tempranas del diseño de un proyecto, lo cual permite disminuir los costes de subsanación de la infraestructura que se pretende ejecutar.
2. El empleo de la metodología BIM facilita enormemente la cooperación entre los diferentes agentes intervinientes en el proceso constructivo, desde la fase de proyecto hasta la fase de mantenimiento, lo cual supone una menor inversión, no solo económica, sino también a nivel de tiempo y gestión.



3. La aplicación de la metodología BIM en el ámbito de la Ingeniería Civil se encuentra aún poco desarrollada, por lo que se hace necesario seguir investigando en este campo, especialmente en lo que a formatos de intercambio respecta, con el fin de garantizar la menor pérdida posible de información del modelo.

## 4. Caso de Estudio: Ramal de acceso directo TF-24 a TF-5

### 4.1. Normativa de aplicación

La legislación y normativa aplicable al diseño y construcción de carreteras es la que se muestra a continuación:

- Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras, publicada en el B.O.E. de 30 de septiembre de 2015.
- Norma 6.1-IC “Secciones de firme”, aprobada por la Orden FOM/3460/2003, de 28 de noviembre, publicada en el B.O.E. de 12 de diciembre de 2003.
- Norma 3.1-IC “Trazado”, aprobada por la Orden FOM/273/2016, de 19 de febrero, publicada en el B.O.E. de 4 de marzo de 2016.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).
- Plan General de Ordenación (PGO) de la zona de actuación.

El software utilizado para la generación de los modelos ofrece la posibilidad de establecer unos criterios de diseño que cumplan con las normativas expuestas con anterioridad. No obstante, al tratarse de un proyecto ya elaborado, estas normas no serán de aplicación, ya que para el caso de estudio lo necesario es el modelado y no el cumplimiento de la normativa.

## 4.2. Descripción del tramo

### 4.2.1. Estado actual

La zona que se modela en este proyecto es la que se muestra en la Figura 11. Ésta abarca varios tramos de diferentes vías. A grandes rasgos, se trata de la demarcación de Padre Anchieta, compuesta por las carreteras TF-24, TF-263 y TF-5. Para llevar a cabo una descripción más detallada, se dividirá la misma en diferentes zonas.



Figura 11. Zona a modelar con Autodesk Civil 3D. Fuente: Visor IDECanarias

La zona 1 comprende la carretera TF-24. Esta carretera está formada por una calzada con un carril por sentido de circulación de 3,50 m de ancho, con arcén de 1,50 m y cuneta de 1 m a ambos lados. Una vez que se accede a las cercanías de la glorieta Padre Anchieta, la cuneta y el arcén son sustituidos por una acera de 2,50 m de ancho.



Figura 12. Zona 1 del modelado del estado actual. Fuente: Visor IDECanarias

La zona 2 corresponde a la carretera TF-263. Al igual que la anterior, ésta acaba en la glorieta Padre Anchieta. Se trata de una carretera formada por una calzada de tres carriles, una en sentido hacia la glorieta Padre Anchieta y dos en sentido contrario, teniendo los tres una anchura de 3,50 m cada uno, además de poseer acera a ambos lados de 2,50 m de ancho. Esta carretera, a su vez, tiene un desvío para acceder directamente a la TF-5 sin tener que entrar a la glorieta.



Figura 13. Zona 2 del modelado del estado actual. Fuente: Visor IDECanarias



Figura 14. Detalle del desvío existente. Fuente: Visor IDECanarias

La Calle las Mejoranas constituye la zona 3. Es una calle de dos carriles con aparcamiento a ambos lados y acera. En cuanto a la calzada, tiene un ancho total de 10 metros y las aceras son asimétricas: por un lado, existe una de 3 m (la más cercana al colegio Santa Rosa de Lima - Dominicas), mientras que la acera contraria es de 2 m.



Figura 15. Zona 3 del modelado del estado actual. Fuente: Visor IDECanarias

La zona 4 corresponde a la Rambla las Clavellinas. En esta rambla existe una calzada de carril único con 5 m de ancho. Además, se ha representado el aparcamiento en



la zona superior, así como el bordillo de la avenida y la acera izquierda, que tiene un ancho de 2 m.



Figura 16. Zona 4 del modelado del estado actual. Fuente: Visor IDECanarias

Por último, la zona 5 hace referencia al acceso a la TF-5. En cuanto a su tramo más cercano a la glorieta, se trata de una calzada con un único carril de ancho variable. Esta sección cambia unos metros después, al unirse el desvío de la TF-263 y la TF-5, formando una calzada de dos carriles con un ancho por carril de 3,50 m.



Figura 17. Zona 5 del modelado del estado actual. Fuente: Visor IDECanarias



## 4.2.2. Intervención

Las actuaciones principales que contempla el proyecto son:

- Planteamiento de una salida directa a distinto nivel desde la TF-24 (sentido San Cristóbal de La Laguna) hacia la TF-5 (sentido Santa Cruz de Tenerife) evitando el paso del tráfico por la glorieta Padre Anchieta, a través de un falso túnel que parte desde la TF-24, pasando por debajo de la TF-263.
- Supresión del carril directo desde la TF-263 (sentido San Cristóbal de La Laguna) hacia la TF-5 sentido Santa Cruz de Tenerife).
- Acondicionamiento de los márgenes derecho e izquierdo de la TF-24.
- Adaptación de la vía trenzado con el sentido Santa Cruz de la TF-5.
- Remodelación de los espacios públicos (aparcamiento) próximos a la Urbanización de Las Dominicas.

## 4.3. Modelado CIM del caso de estudio

Tanto el estado actual como la intervención en el ámbito de estudio se han modelado con Autodesk Civil 3D, un software de diseño y documentación de infraestructuras civiles desarrollado por la compañía Autodesk, en su versión de estudiantes 2019.

La principal ventaja de este programa es que es capaz de generar con gran detalle y de una manera relativamente sencilla, un modelo de la infraestructura lineal que se pretende proyectar, al que denomina "obra lineal". Dicho modelo puede contener tanto datos geométricos de la vía, como de elevaciones de la rasante. Asimismo, también permite, en función del nivel de detalle con el que se pretenda modelar, incluir información acerca de los distintos materiales componentes de la infraestructura.



Los elementos básicos de los que hace uso para definir la obra lineal en cuestión son: superficies, alineaciones, perfiles y ensamblajes.

Para el modelado tanto del estado actual como de la intervención, las fases de trabajo a seguir han sido las siguientes:

- Realización de la superficie topográfica del estado actual a partir de una nube de puntos.
- Creación de las distintas alineaciones que constituyen los ejes de las carreteras objeto de estudio.
- Elaboración de los ensamblajes.
- Verificación de los perfiles de las alineaciones.
- Cálculo de los volúmenes generados.
- Análisis del modelo obtenido.

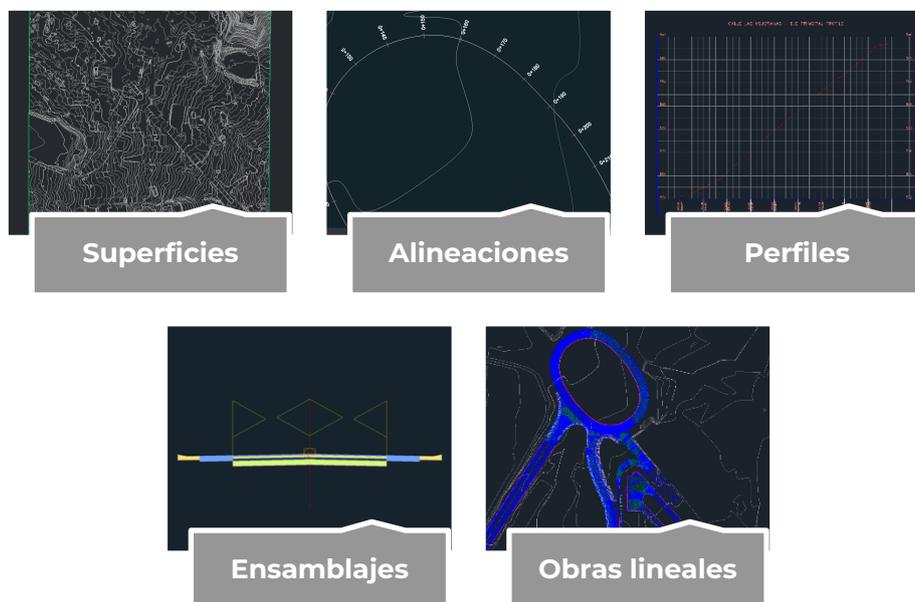


Figura 18. Elementos básicos de Autodesk Civil 3D. Fuente: Elaboración propia



### 4.3.1. Superficies

Antes de llevar a cabo el modelado del estado actual y de la intervención en las vías TF-24, TF-263, TF-5 y la glorieta Padre Anchieta, es necesaria la creación de una cartografía que permita desarrollar el modelo sobre una superficie lo más realista y fiable posible. Para ello, se dispone de una nube de puntos de la zona de actuación, proporcionada por el Servicio de Carreteras del Cabildo Insular de Tenerife.

La nube de puntos final está conformada por una serie de archivos en formato LAS (.las). Éstos han sido generados mediante un escáner láser desarrollado por la empresa *Leica Geosystems*; la particularidad que presenta este aparato es que, teóricamente, es capaz de eliminar el ruido (vehículos, peatones, etc.) existente en la zona escaneada, si bien dicho sistema no es del todo exacto, por lo que ha sido necesario realizar un procesamiento posterior de los archivos, completando la limpieza de las diferentes nubes de puntos de forma manual.

Ante la necesidad de trabajar sobre las nubes de puntos, se estudia y valora la utilización de diferentes programas informáticos, con el fin de seleccionar el adecuado según las necesidades a desarrollar, entre los que se encuentran:

- CloudCompare.
- Autodesk Recap Pro.
- 3DReshaper.

#### 4.3.1.1. CloudCompare

Este es un software abierto o gratuito que permite procesar nubes de puntos en 3D. También puede soportar mallas triangulares y calibración de imágenes. La creación de este programa comienza en el año 2003 (CloudCompare project, s.f.).

CloudCompare ofrece una serie de herramientas básicas para editar manualmente y renderizar nubes de puntos en 3D y mallas triangulares. Además, ofrece algunos procesos avanzados de algoritmos que permiten realizar:



- Proyecciones.
- Registros.
- Cálculos de distancias.
- Cálculos estadísticos.
- Estimación de geometrías.

#### **4.3.1.2. 3DReshaper**

Programa desarrollado por la compañía *Hexagon*. Este es un software muy versátil, dedicado a procesar cualquier tipo de nube de puntos en un campo bastante amplio de aplicaciones, como pueden ser: rehabilitación de edificios, arquitectura, geología, minería, modelado digital del terreno y la ingeniería civil (3DReshaper, 2015).

Aparte de la elaboración de modelos digitales evolutivos del terreno procedentes de mediciones sucesivas, también puede aplicarse para la monitorización e inspección de elementos estructurales (presas, muros de contención, etc.). Además, posee poderosas herramientas para el control dimensional en la construcción de obras subterráneas (Arroyo, 2018).

#### **4.3.1.3. Autodesk ReCap Pro**

Esta es una aplicación inteligente para crear modelos 3D desde información ya sea escaneada o capturada desde fotos. Gracias a este tipo de programas, no es necesario comenzar el modelado desde cero: esta información se puede aprovechar para hacer trazos preliminares en el modelo.

Autodesk ReCap Pro permite limpiar, organizar y visualizar los sets de datos masivos de la nube de puntos. También existe un módulo adicional llamado



Autodesk ReCap Photo, que permite crear modelos 3D de alta resolución desde fotografías usando el poder de cómputo de la nube (3D CAD Portal, 2013).

#### 4.3.1.4. Comparativa de las herramientas de procesamiento de nubes de puntos

Se procede a realizar una tabla comparativa con las principales características de los mismos, la cual se muestra a continuación:

	VENTAJAS	DESVENTAJAS	PRECIO
<b>CloudCompare</b>	Software Gratuito	Herramientas demasiado básicas para nubes de puntos de gran densidad	Software gratuito
<b>3DReshaper</b>	Buenas herramientas para trabajar sobre nube de puntos densas	-	Software de pago
<b>Autodesk ReCap Pro</b>	Software libre para estudiantes	-	Software de pago, con licencia de estudiantes
	Buenas herramientas para trabajar sobre nube de puntos densas		
	Interfaz sencilla		

Tabla 2. Comparativa entre software para manipulación de nube de puntos

Conocidas las principales características de los softwares que se estudian, se puede observar de forma clara que **Autodesk ReCap Pro** es el óptimo para el desarrollo de las actividades relativas a la manipulación de las nubes de puntos. Se trata de un software que dispone de licencia gratuita para estudiantes, con una interfaz sencilla y fácilmente entendible para los usuarios, y dispone de las herramientas necesarias para hacer una limpieza correcta de los archivos.



## 4.3.2. Tratamiento de las nubes de puntos

El tratamiento de las nubes de puntos se desarrolla en las siguientes fases:



Figura 19. Flujo de trabajo del tratamiento de las nubes de puntos. Fuente: Elaboración propia

### FASE 1: Limpieza manual con Autodesk ReCap Pro

Una de las características principales de este programa, el cual se ha utilizado en su versión 2019, es su sencilla utilización para la limpieza y manipulación de nubes de puntos. En primer lugar, es necesario crear un nuevo proyecto, para así, mediante la herramienta “importar”, visualizar la nube en el programa.

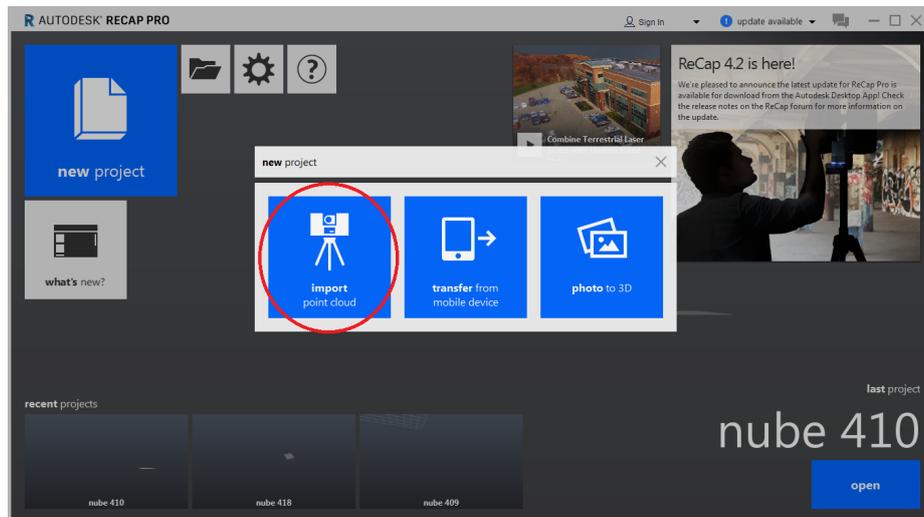


Figura 20. Importar nube de puntos desde Autodesk ReCap Pro. Fuente: Elaboración propia

Una vez importada la nube de puntos en el software, este permite visualizarla y moverse por la nube de una manera bastante simple. A pesar de que el escáner láser posee un algoritmo por el cual es capaz de eliminar los vehículos y las personas de la nube de puntos, tras importar la misma y visualizarla, se observa que estos no han sido borrados en su totalidad y, por tanto, es necesaria su eliminación de forma manual.



De manera rápida se puede limpiar la nube seleccionando los puntos que se deseen eliminar y pulsando la tecla “suprimir”. Sin embargo, si se desea excluir ciertos puntos de la nube de una manera más efectiva y profunda, no se puede emplear este sistema, dado que requeriría un gran consumo de tiempo.

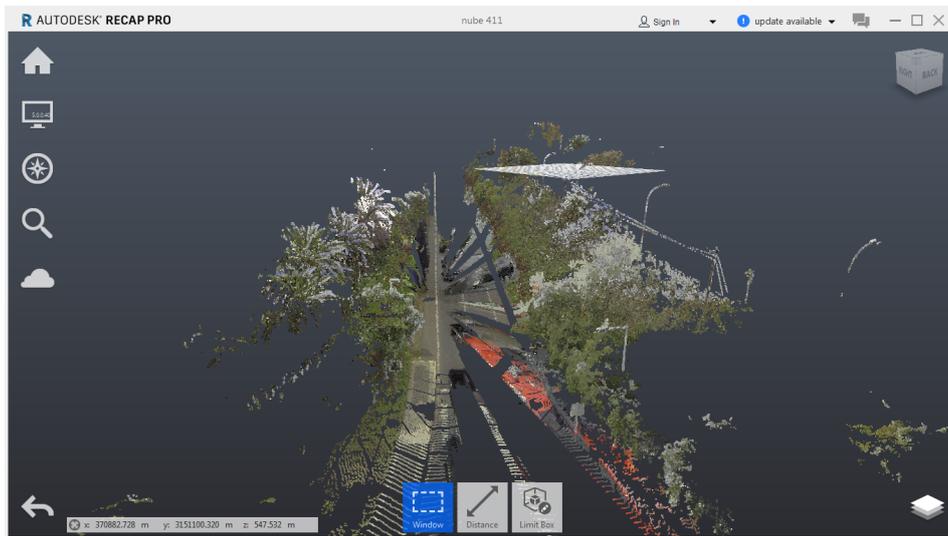


Figura 21. Visualización de la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia

Usando de apoyo la herramienta “window”, se selecciona la región de la nube de puntos sobre la que se desea trabajar. Habiendo seleccionado la región en cuestión, ésta puede ser aislada de la totalidad de la nube mediante la acción “clip outside”. Así, se consigue eliminar únicamente los puntos deseados.

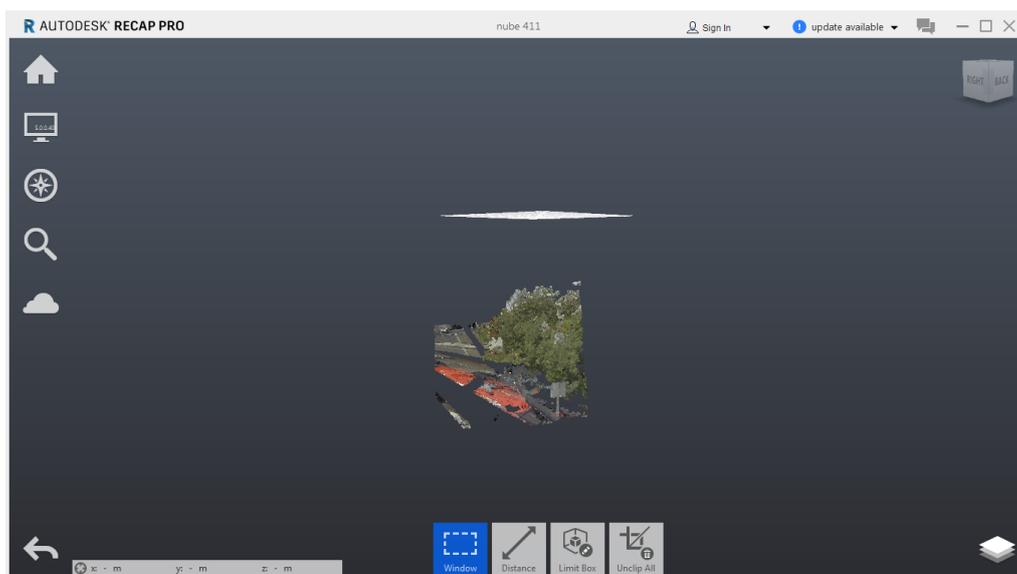


Figura 22. Herramienta “clip outside”. Fuente: Elaboración propia



La herramienta “clip outside” será usada tantas veces como sea necesario para eliminar por completo el ruido de las distintas nubes de puntos que aporta el Servicio de Carreteras del Cabildo Insular de Tenerife, con el fin de obtener una cartografía lo más realista posible.

Tras haber eliminado vehículos y transeúntes de las nubes de puntos, se procede a importar todas las nubes en un mismo archivo, para posteriormente exportarlo a Autodesk Civil 3D y usarlo para crear la cartografía. El resultado, una vez que se importan las diferentes nubes de puntos, es el que se muestra a continuación:

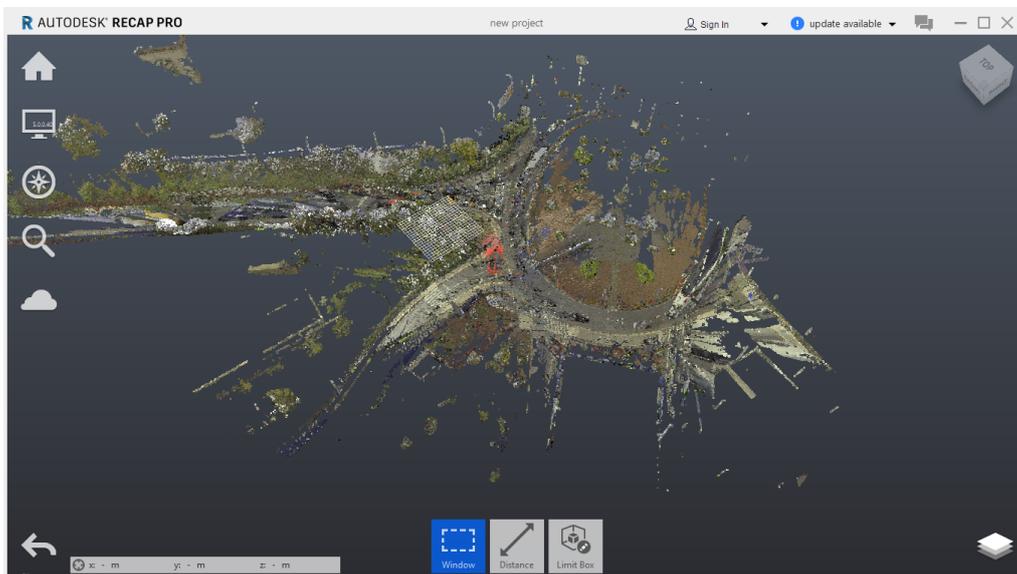


Figura 23. Nube de puntos final. Fuente: Elaboración propia

## FASE 2: Limpieza automática con Autodesk Civil 3D

Una vez efectuado el proceso anteriormente descrito, se ha procedido a la apertura del fichero generado en Autodesk Civil 3D con el fin de producir la cartografía necesaria para comenzar el modelado. No obstante, ha sido imposible obtener la superficie de trabajo; el procedimiento se llevó a cabo en diversos ordenadores, considerando que tal vez el gran tamaño del archivo era lo que dificultaba que el programa crease la superficie en cuestión. Finalmente, y tras muchos intentos y comprobaciones, se desestimó su uso, considerando que las nubes aportadas se habían malogrado en la fase de limpieza manual.



### **FASE 3: Descarga de nube de puntos LiDAR**

Dada, por tanto, la imposibilidad de emplear las nubes de puntos anteriormente tratadas de forma manual mediante el software Autodesk ReCap Pro, y siguiendo en la línea de emplear material educativo y/o de libre uso para el desarrollo del presente trabajo –debido a su carácter académico–, se ha descargado el archivo de nube de puntos LiDAR correspondiente al entorno de la glorieta Padre Anchieta desde la página web del Instituto Geográfico Nacional (IGN), en formato LAZ (.laz); la libre descarga de este fichero está enmarcada dentro del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) que promulga dicha organización, cuyo objetivo es el de *“obtener ortofotografías aéreas digitales con resolución de 25 ó 50 cm y modelos digitales de elevaciones (MDE) de alta precisión de todo el territorio español, con un período de actualización de 2 ó 3 años”*.

Las especificaciones técnicas de estas nubes, de acuerdo a la descripción recogida en el sitio web del IGN, son las siguientes:

- Sistema Geodésico de Referencia ETRS89 (Península, Illes Balears, Ceuta y Melilla), y REGCAN95 (Canarias).
- Vuelo fotogramétrico equivalente a una escala de vuelo 1:15.000 (PNOA25) y 1:30.000 (PNOA50), con una cámara digital de alta resolución, equipada con sensor pancromático y 4 sensores multiespectrales.
- Toma de datos GPS y sistema inercial IMU/INS en vuelo, para el procesado de la trayectoria del avión.
- Aerotriangulación digital por métodos automáticos.
- Modelo Digital de Elevaciones (MDE) calculado por correlación automática, o a partir de datos obtenidos con el sensor LiDAR.
- Ortoproyección a partir del Modelo Digital de Elevaciones depurado y editado.
- Generación de metadatos cumpliendo con la norma internacional ISO 19115:2003, con lo que se asegura la interoperabilidad de los datos generados.

- Densidad de puntos es de 0,5 puntos/m<sup>2</sup> en la primera cobertura y de 1 punto/m<sup>2</sup> en la segunda cobertura.

El siguiente paso lógico a efectuar, una vez obtenido el archivo de la nube de puntos, sería su traslado a Autodesk Civil 3D para la producción de la cartografía. No obstante, para ello es imprescindible realizar primero un pequeño tratamiento del mismo, puesto que este software no admite ni formatos LAZ (.laz), ni su versión descomprimida, LAS (.las). El proceso llevado a cabo, por tanto, ha sido el especificado a continuación:

1. Descompresión del fichero inicial mediante el software LASzip, un producto de código abierto desarrollado por *rapidlasso GmbH* que convierte archivos LAZ en LAS y viceversa sin pérdida de información. Su utilización es bastante sencilla e intuitiva; se trata de un fichero ejecutable .exe en el que simplemente se selecciona el elemento a descomprimir y se indican los parámetros de salida.

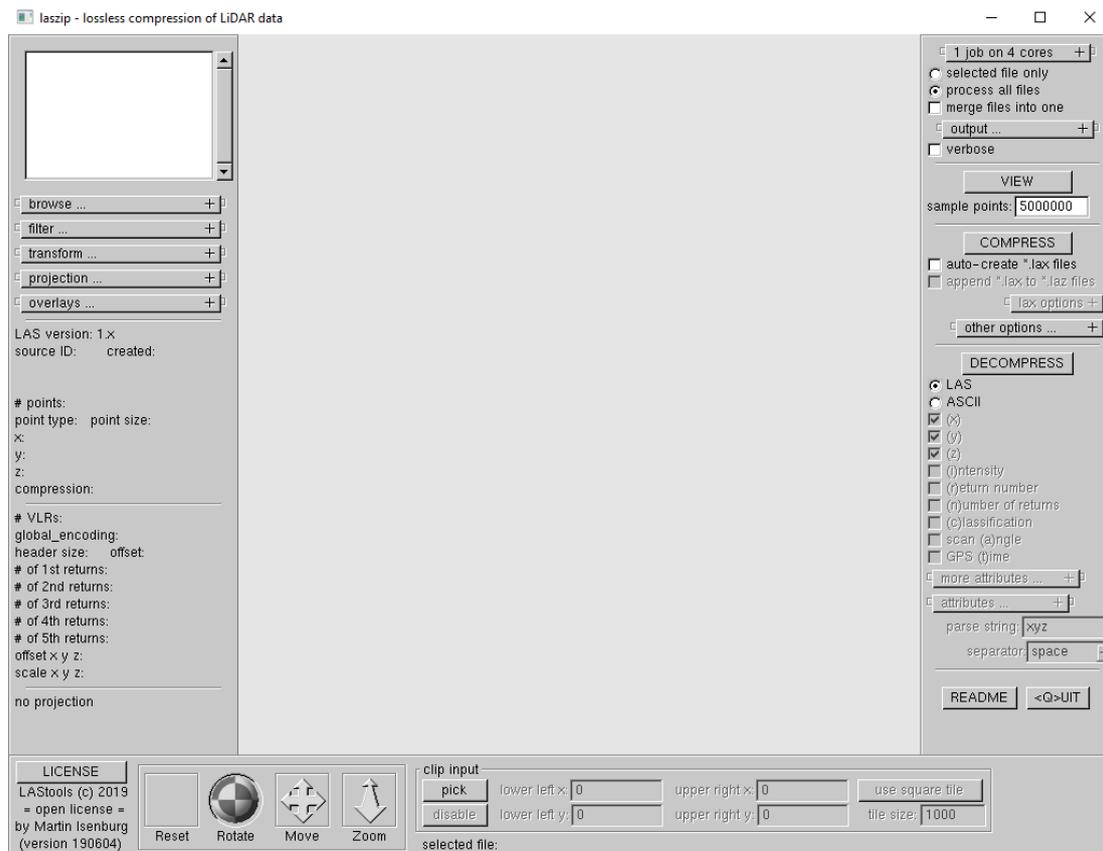


Figura 24. Interfaz del software LASzip. Fuente: Elaboración propia



2. Importación del fichero LAS a Autodesk ReCap para su transformación en un archivo .rcp compatible con Civil 3D.

#### FASE 4: Generación de Superficie con Autodesk Civil 3D

1. En primer lugar se inserta el fichero .rcp en Civil 3D mediante la herramienta “Enlazar” disponible en el grupo “Nube de puntos” de la ficha “Insertar” constituyente de la cinta de opciones del programa.

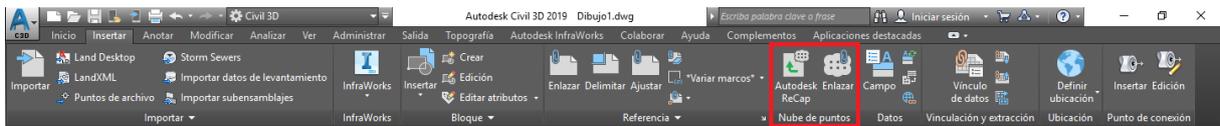


Figura 25. Cinta de opciones de Autodesk Civil 3D, grupo “Nube de puntos”. Fuente: Elaboración propia

Para generar una superficie a partir de la nube de puntos enlazada al dibujo, es preciso acudir al desplegable “Superficies” del grupo “Crear datos de terreno”, el cual forma parte de la ficha “Inicio” de la cinta de opciones anteriormente referida.



Figura 26. Cinta de opciones de Autodesk Civil 3D, herramienta “Superficies”. Fuente: Elaboración propia

Una vez abierto el desplegable, se selecciona la opción “Crear superficie a partir de nube de puntos”. A continuación, se abrirá un navegador que permitirá escoger los parámetros necesarios para la definición de la nueva superficie.

La primera pantalla de este navegador permite determinar el nombre de la superficie, la capa en la que debe alojarse y el estilo de la misma, tal y como se ilustra en la siguiente imagen:

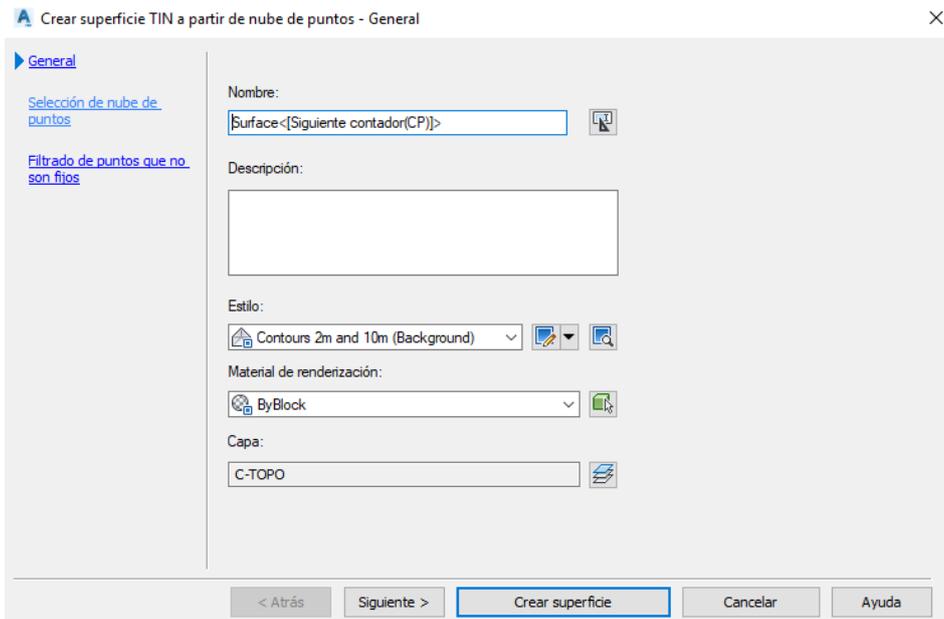


Figura 27. Navegador de creación de superficies, parte 1. Fuente: Elaboración propia

La segunda pantalla posibilita escoger la nube de puntos completa o únicamente un área seleccionada de la misma. Asimismo, muestra el número total de puntos que componen la misma y la distancia entre ellos:

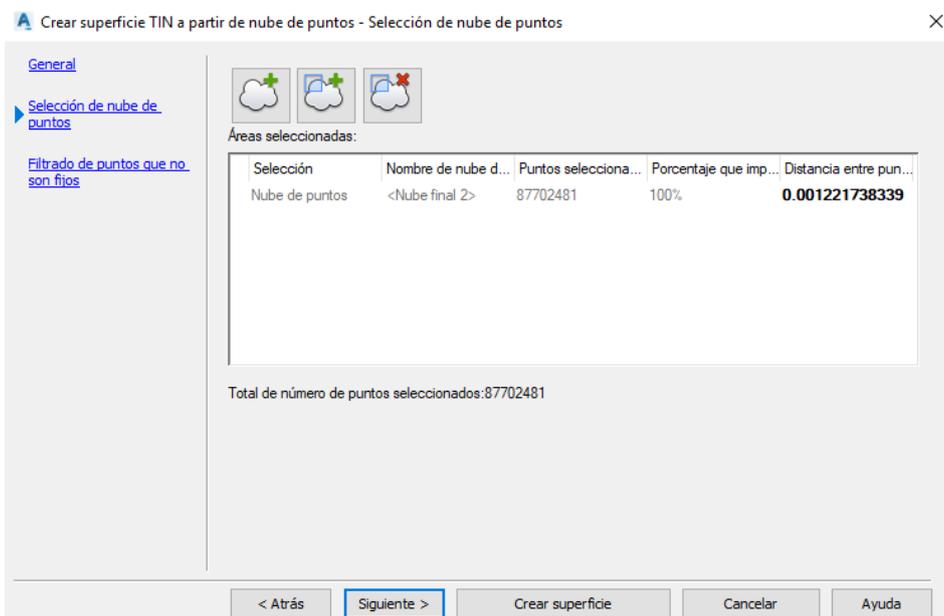


Figura 28. Navegador de creación de superficies, parte 2. Fuente: Elaboración propia

En la tercera pantalla ha de indicarse la opción para filtrar los puntos que no son fijos, esto es, aquellos que no están a nivel de suelo. A priori, se distinguen dos métodos de filtrado o interpolación, siendo éstos los siguientes:



- **Planar Average:** de acuerdo a lo descrito en el sitio web de Autodesk, esta opción calcula el promedio de elevación de los puntos y, a continuación, excluye los puntos que se encuentran por encima de ese promedio. Esta opción es más rápida que el método Kriging Interpolation, pero excluye menos puntos que no están a nivel del suelo.
- **Kriging Interpolation:** esta opción interpola nuevos puntos de datos para generar curvas y, a continuación, excluye los puntos con una elevación superior a la de las curvas. Esta opción mejora el filtrado de resultados, pero tarda más tiempo que el método Planar Average (Autodesk Knowledge Network, s.f.).

Para el caso concreto de este trabajo, se ha optado por emplear el método Kriging Interpolation, garantizando así mayor precisión de la cartografía base para el modelado.

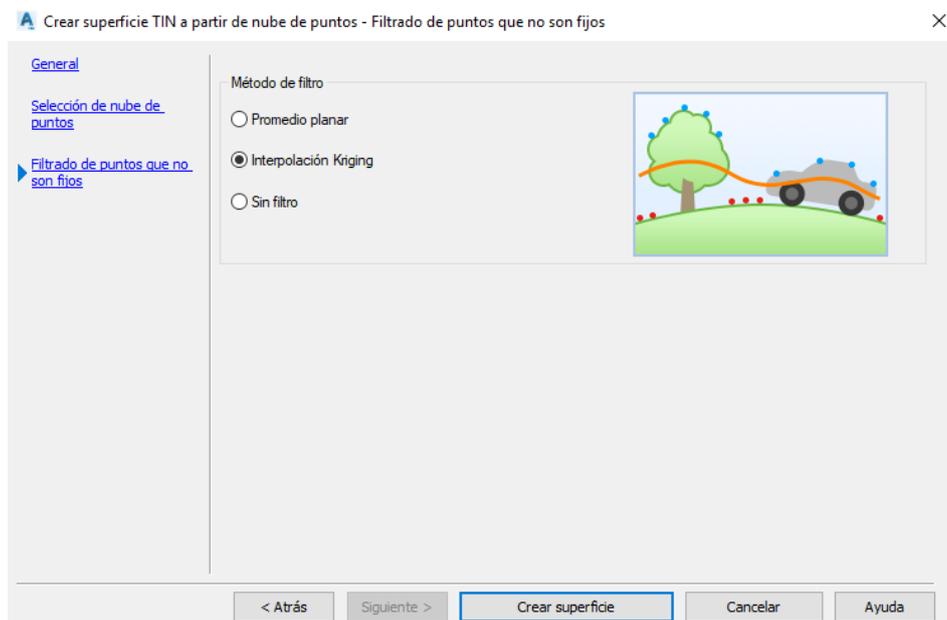


Figura 29. Navegador de creación de superficies, parte 3. Fuente: Elaboración propia

2. El siguiente paso sería la limpieza y simplificación de la superficie cartográfica obtenida para su mayor manejabilidad: la superficie generada posee tal cantidad de información, que automáticamente el programa genera un archivo auxiliar con extensión .mms, lo cual implica el consumo de una gran cantidad de recursos del ordenador durante el manejo de la misma. Por tanto, la limpieza



de dicha superficie constituye un paso fundamental en el modelado a desarrollar. Este proceso se efectúa a través del propio Civil 3D, haciendo uso del “Asistente Simplificar superficie”, alojado en desplegable “Editar superficie” del grupo “Modificar”, el cual forma parte de la ficha que se genera en la cinta de opciones al seleccionar la superficie que se pretende editar.



Figura 30. Cinta de opciones de Autodesk Civil 3D, herramienta “Editar superficie”. Fuente: Elaboración propia

Tras escoger la herramienta correspondiente, se abrirá un navegador que permitirá escoger los parámetros necesarios para la simplificación de la superficie existente.

La primera pantalla de este navegador permite determinar el método de simplificación que se desea emplear, tal y como se muestra en la siguiente figura:

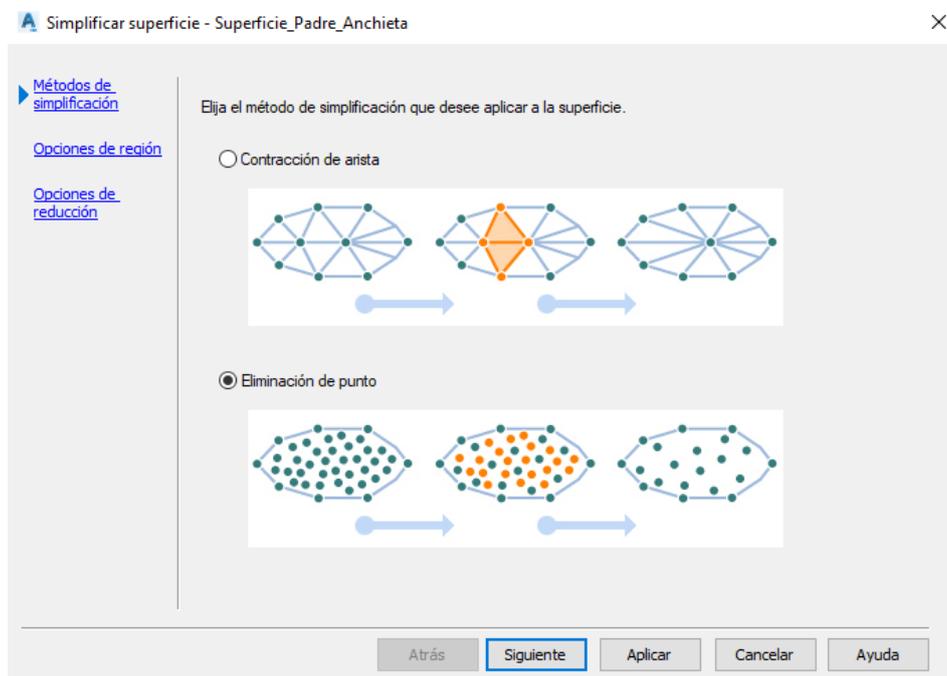


Figura 31. Asistente Simplificar superficie, parte 1. Fuente: Elaboración propia

La segunda pantalla posibilita escoger las regiones de la superficie a las que se debe aplicar la simplificación. Asimismo, muestra el número total de puntos seleccionados.

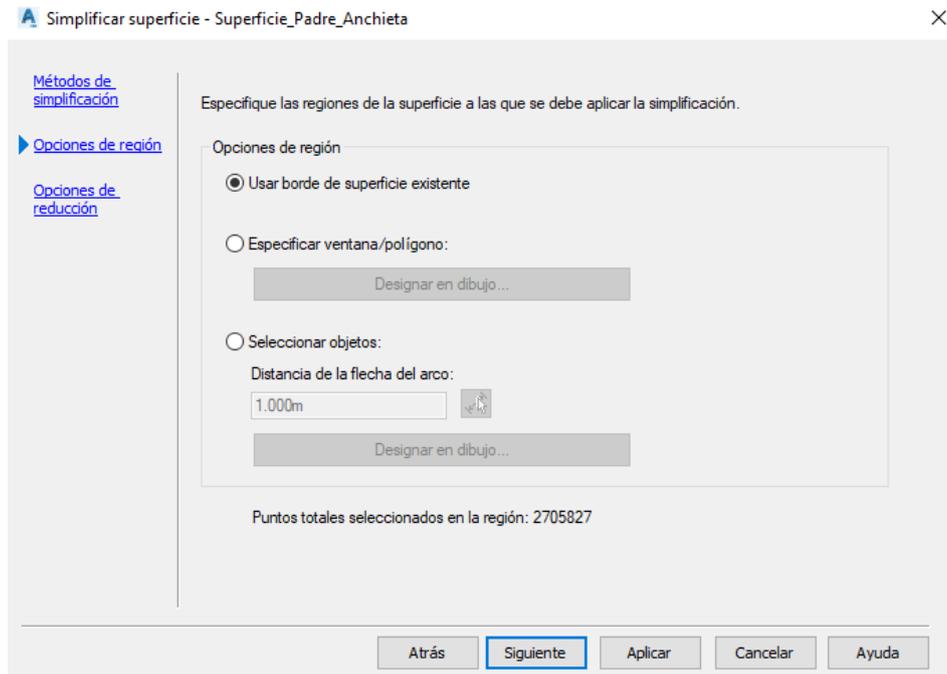


Figura 32. Asistente Simplificar superficie, parte 2. Fuente: Elaboración propia

En la tercera pantalla ha de indicarse el porcentaje de puntos a reducir de la región seleccionada. Además, para el caso concreto del método de simplificación por eliminación de punto, el software permite fijar el cambio máximo que puede producirse en la elevación del terreno.

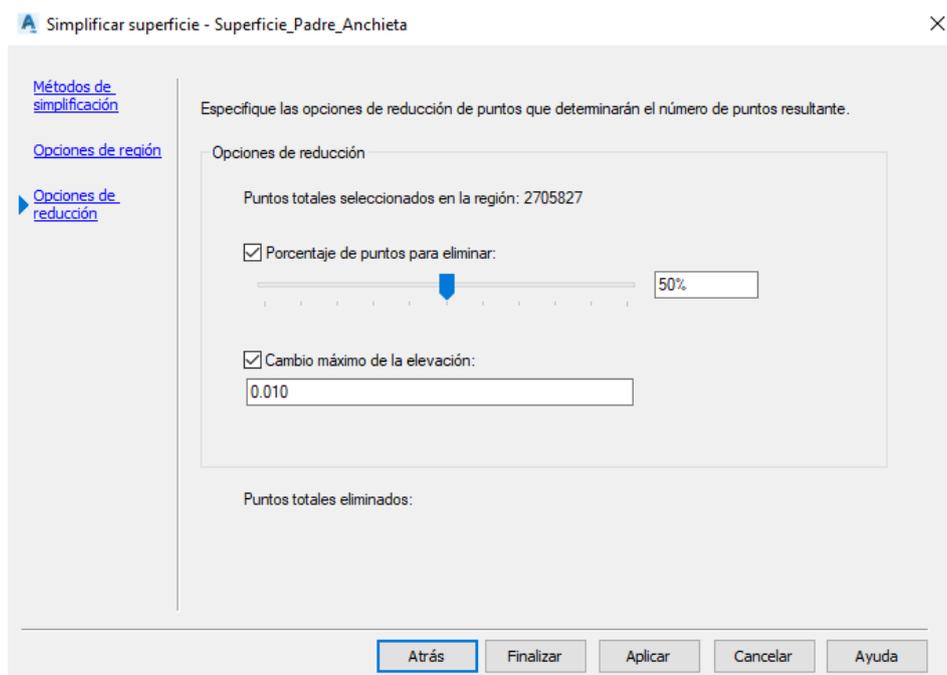


Figura 33. Asistente Simplificar superficie, parte 3. Fuente: Elaboración propia



El proceso de simplificación se ha aplicado varias veces con el fin de lograr reducir el tamaño del archivo hasta el punto en que desaparezca el fichero auxiliar con extensión .mms. Con todo ello, la superficie resultante es la mostrada a continuación:

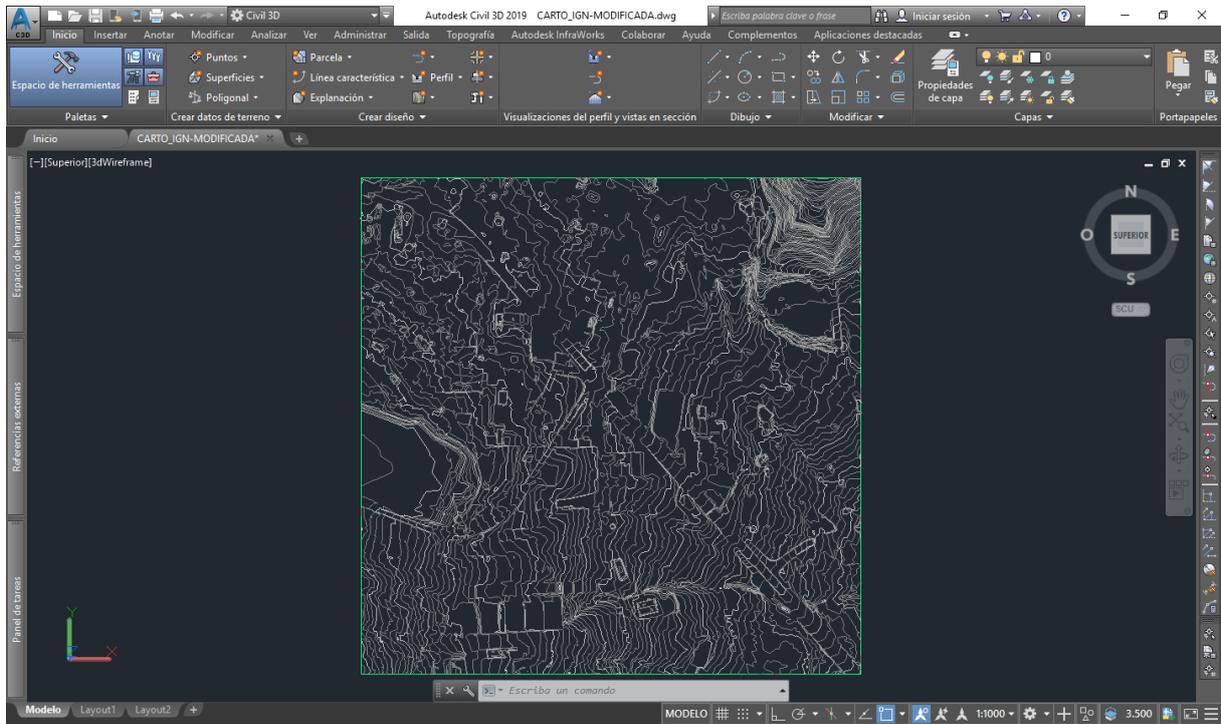


Figura 34. Superficie creada. Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3. Alineaciones

A continuación, se crean las alineaciones que forman parte del ámbito de actuación. Las alineaciones se pueden crear como una combinación de líneas, curvas y espirales que se visualizan como un objeto.

Los objetos de alineación pueden representar ejes de la carretera (como ocurre en este caso), redes de tuberías y otras líneas bases de la construcción. La creación y definición de una alineación horizontal es uno de los primeros pasos del diseño de carreteras, ferrocarriles o emplazamientos. También se pueden realizar ediciones en las mismas, utilizando pinzamientos o los comandos de la barra de herramientas de composición de alineación.



Las alineaciones pueden ser objetos autónomos o el objeto de nivel superior de perfiles, secciones y obras lineales. Si se edita una alineación, los cambios se reflejan automáticamente en todos los objetos relacionados.

Los desfases de alineación y las alineaciones de empalme de intersección también pueden ser independientes, aunque a menudo están vinculados dinámicamente con otras alineaciones. Tanto los desfases de alineación como los empalmes de intersección pueden crearse automáticamente como componentes de una intersección. Los desfases también pueden utilizarse en los ensanchamientos (Autodesk Knowledge Network, 2019).

Una vez que se define el trazado de la obra lineal mediante cualquier tipo de línea, y tras convertir ésta en polilínea, se puede llevar a cabo la creación de una alineación. Para ello, se debe acceder al desplegable del que dispone Autodesk Civil 3D denominado “alineación”. Dentro de éste existen diferentes opciones relativas a la creación de una alineación, aunque para este caso se selecciona “crear alineación a partir de objetos”.

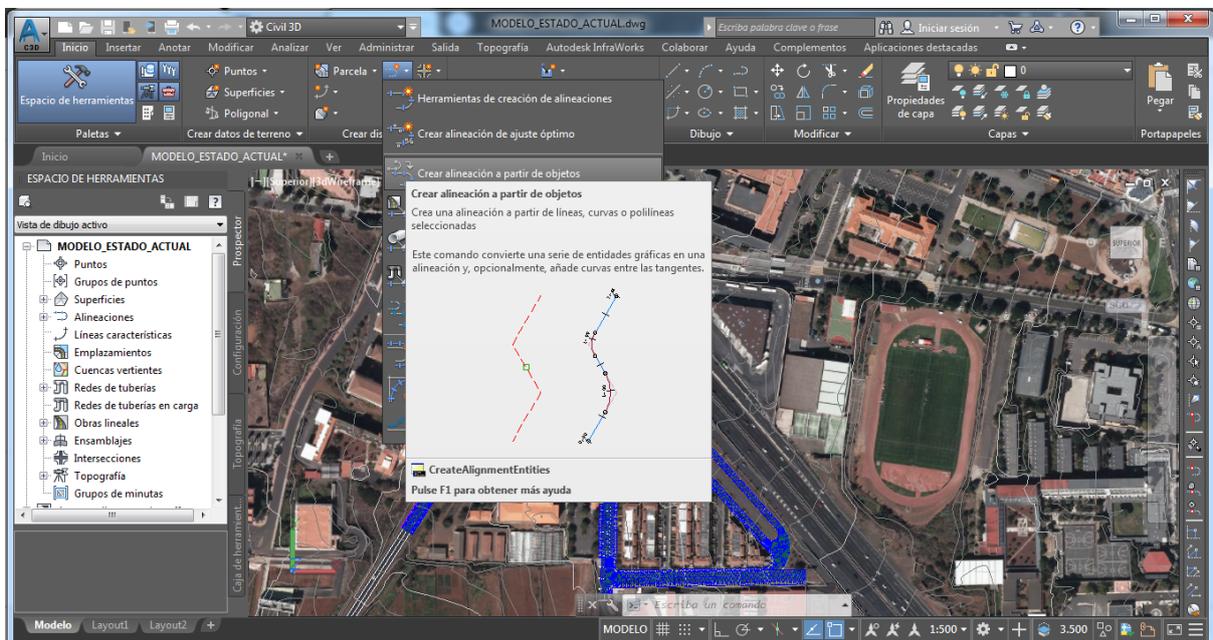


Figura 35. Herramienta “Creación de alineación a partir de objetos”. Fuente: Elaboración propia

Tras elegir la polilínea sobre la cual se creará la alineación, se abre una ventana emergente con diferentes campos que rellenar.

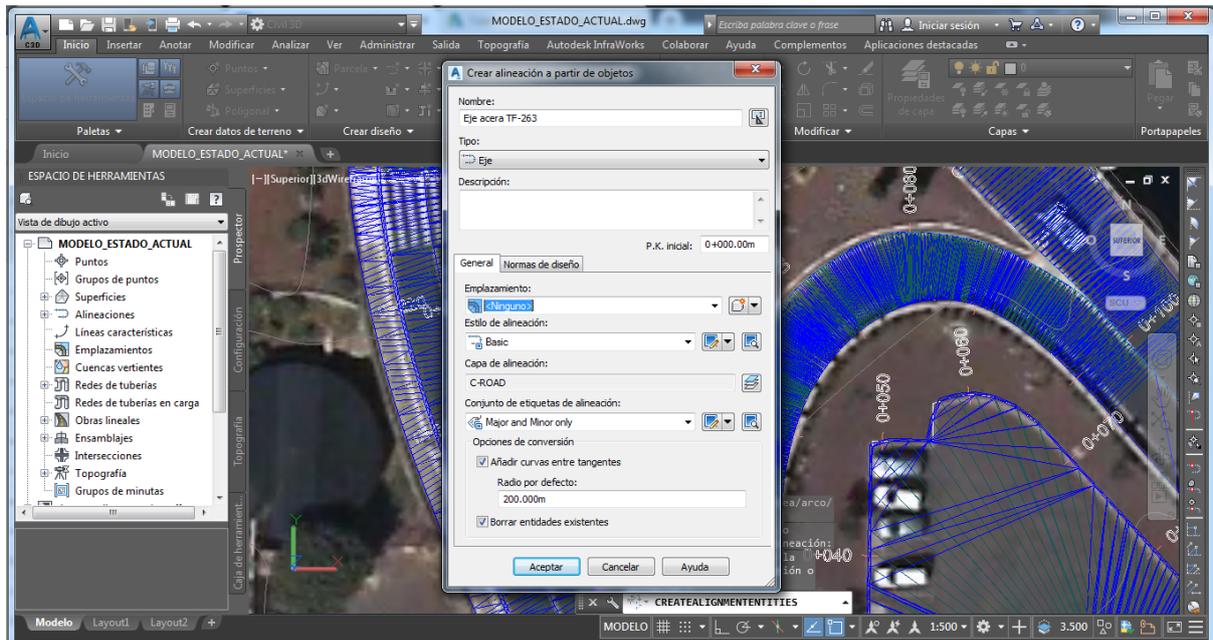


Figura 36. Ventana emergente para creación de alineaciones a partir de objetos. Fuente: Elaboración propia

Los campos de los que se compone esta ventana son los siguientes:

- **Nombre:** especifica el nombre de la alineación. Cada alineación debe tener un nombre único.
- **Tipo:** especifica el tipo de alineación como pueden ser: eje, empalme de intersección o varios.
- **Descripción:** Especifica una descripción opcional de la alineación.
- **P.K. inicial:** especifica el valor de P.K. que está asignado al principio de la primera entidad de alineación.
- **Emplazamiento:** especifica un emplazamiento para la alineación.
- **Estilo de alineación:** permite seleccionar entre diferentes estilos predefinidos de "Civil 3D" o los creados por el usuario.
- **Añadir curvas entre tangentes:** especifica si se desea añadir automáticamente curvas entre cada tangente.



- **Activada:** las curvas se colocan en cada intersección de tangente-tangente. El radio de la curva se calcula como porcentaje de la longitud de la tangente y el ángulo de desviación.
- **Desactivada:** las curvas no se añaden automáticamente durante la creación.
- **Borrar entidades existentes:** especifica si las entidades que se han seleccionado al crear la alineación se han borrado. Si se activa la casilla de verificación se borran las entidades.

Una vez rellenados los campos de la ventana emergente mencionada con anterioridad y, conociendo las utilidades de cada una de las opciones, al pulsar el botón “Aceptar” se llevará a cabo la creación de la alineación en el proyecto.

Las alineaciones han sido denominadas tal y como se muestra en la Figura 37, con la finalidad de evitar confusiones y permitir que cualquier usuario que abra el modelo entienda las mismas de forma rápida y sencilla. Para ello, cada una de las alineaciones recibe el nombre de la calle, vía o zona de la que forma parte.

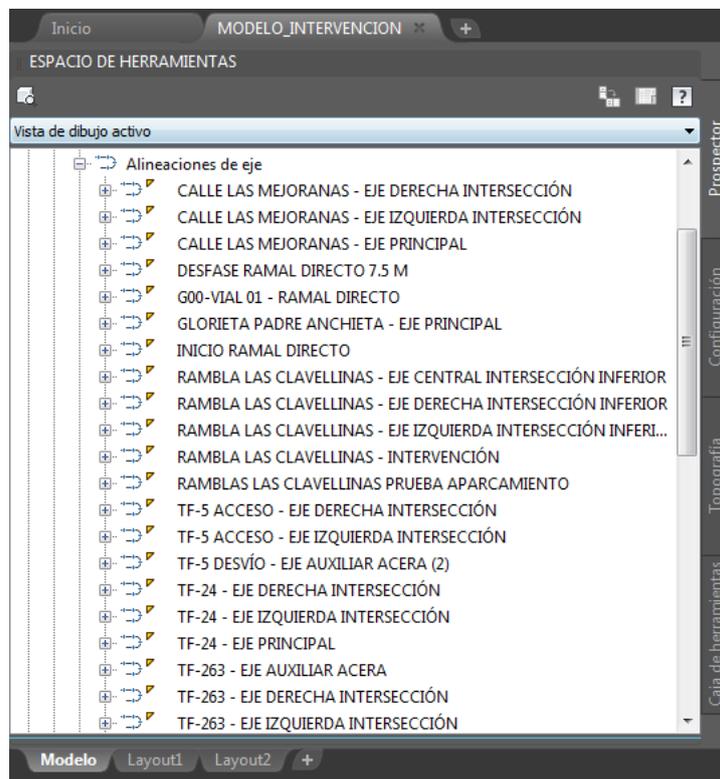


Figura 37. Alineaciones de eje. Fuente: Elaboración propia



#### 4.3.4. Perfiles

Mediante el uso de perfiles se pueden ver los cambios de elevación a lo largo de una alineación horizontal. Ello permite detectar cualquier error existente en la rasante del terreno o de la vía a modelar previo a la ejecución de la obra lineal.

Además del perfil de eje, se pueden crear perfiles de desfase para elementos como bordes o cunetas de carretera.

Para ver uno o varios de los perfiles asociados con una alineación horizontal, se puede crear una visualización del perfil. La visualización del perfil de una superficie se utiliza como guía para crear el perfil compuesto de una superficie diseñada, por ejemplo, una carretera. Además, en una visualización del perfil se puede superponer el perfil de otra alineación horizontal que esté en la misma área (Autodesk Knowledge Network, 2019).

Los perfiles de superficie se han creado para analizar la elevación de la TF-5, así como para poder introducir en el programa la rasante de la vía que constituye el falso túnel proyectado en la intervención.

Para la creación de un perfil de superficie, se accede a la ficha "Inicio", donde se elegirá la opción "crear perfil de superficie". Una vez dentro de esta ventana, se selecciona la alineación horizontal que se va a utilizar para el perfil. Es importante asegurarse de que la superficie que se desea utilizar se encuentra en la lista de superficies. También puede ser seleccionados los puntos kilométricos de inicio y final del perfil dentro de la alineación.

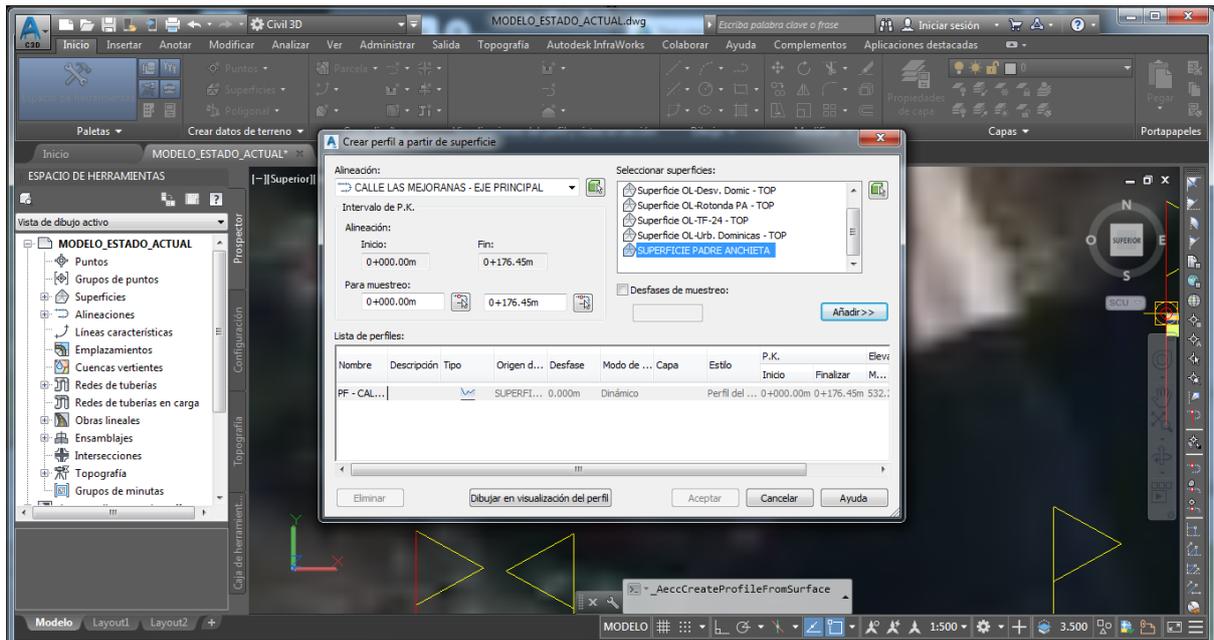


Figura 38. Herramienta "Creación de perfil a partir de superficie". Fuente: Elaboración propia

Cuando el perfil ya ha sido creado, se puede crear una visualización del mismo mediante la herramienta "Crear visualización de perfil". Así se puede observar de manera rápida y sencilla si la superficie sobre la que estamos trabajando es la correcta.

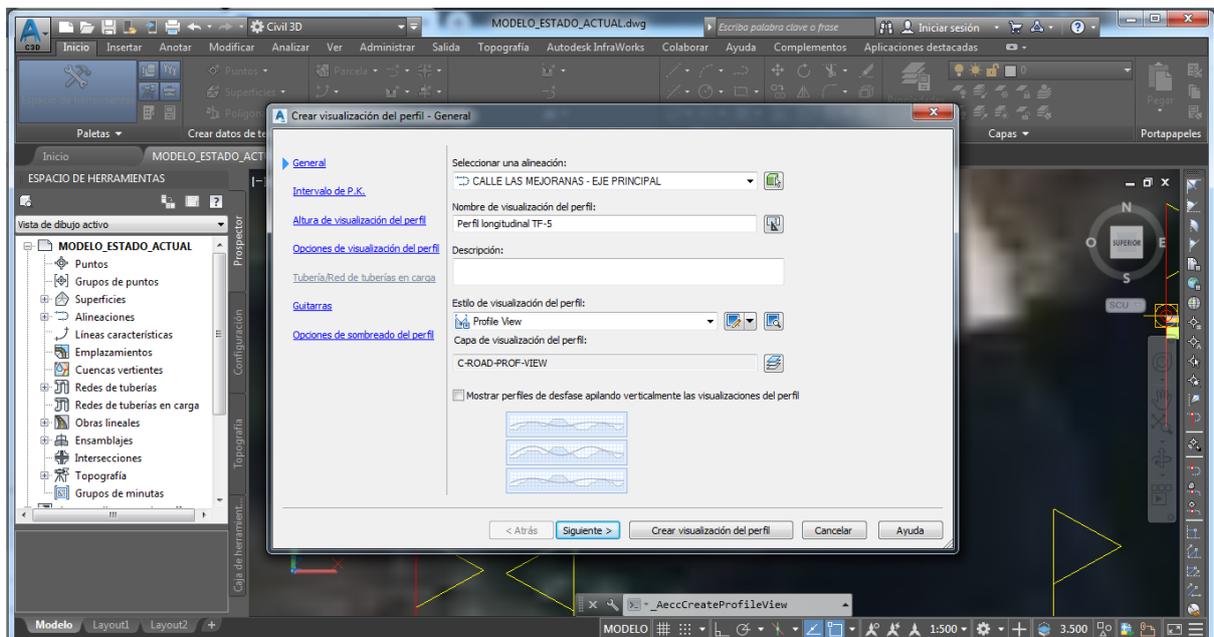


Figura 39. Herramienta "Crear visualización del perfil". Fuente: Elaboración propia



El método utilizado para el nombramiento de los perfiles es idéntico al de las alineaciones. En la búsqueda de la mayor sencillez de lectura para cualquier usuario que pretenda visualizar el modelo, los perfiles tienen exactamente el mismo nombre que las alineaciones; simplemente se les añade un prefijo “PF” para detectar que se trata de un perfil.

En la Figura 40 se muestra un ejemplo de esta designación utilizada. Para este caso, Autodesk Civil 3D no dispone de una tabla que agrupe todos los perfiles y por eso únicamente se muestra uno a modo de ejemplo.

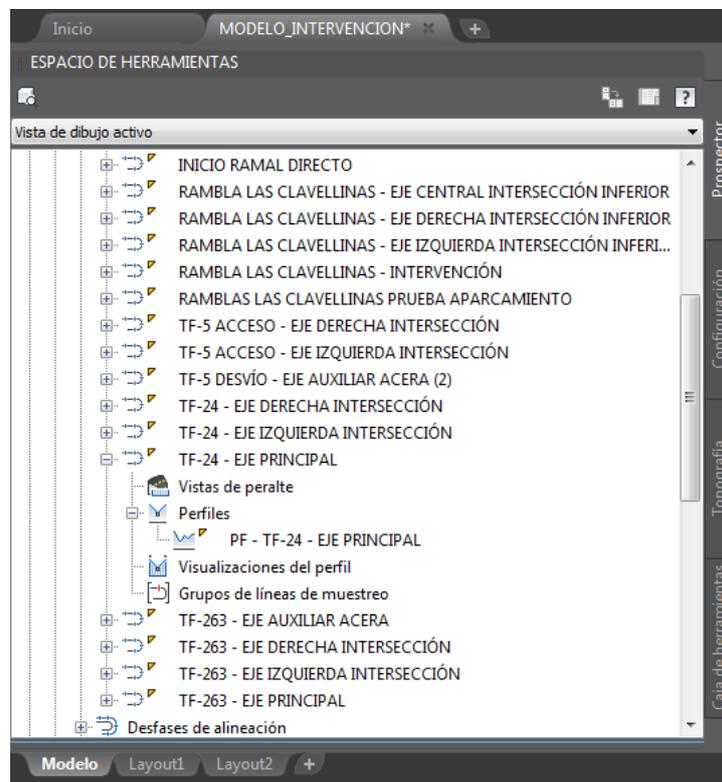


Figura 40. Ejemplo de designación de perfil. Fuente: Elaboración propia

### 4.3.5. Ensamblajes

Los objetos de ensamblaje contienen y administran una colección de subensamblajes que se utiliza para formar la estructura básica de un modelo de obra lineal 3D.

Un ensamblaje es un objeto de dibujo (AECCAssembly) de Autodesk Civil 3D que administra una colección de objetos de subensamblaje. Los ensamblajes



corresponden a las secciones tipo de una carretera y los subensamblajes a los distintos elementos que componen la sección. Éstos funcionan conjuntamente, como los bloques básicos de construcción de una carretera u otros diseños basados en la alineación. Para formar una obra lineal se debe aplicar un objeto de ensamblaje a lo largo de una alineación y éste puede hacer referencia a un desfase o más.

Al añadir un objeto de subensamblaje o más, como son carriles de circulación, bordillos y pendientes de talud, a una línea base del ensamblaje, se crea un objeto de ensamblaje. Así se forma el diseño de una sección de obra lineal (Autodesk Knowledge Network, 2018).

Los componentes siguientes constituyen un objeto de ensamblaje:

- **Punto de inserción:** punto inicial del dibujo que se selecciona para crear el objeto de ensamblaje. Equivale al eje del objeto de obra lineal final.
- **Línea base:** la línea base de un ensamblaje normalmente aparece como una ayuda visual que representa un eje vertical en el punto de ensamblaje de la línea base.
- **Punto de línea base:** punto del ensamblaje que representa normalmente el punto inicial del primer subensamblaje asociado al ensamblaje que se encuentra cerca de la alineación de control.
- **Línea de desfase:** suele ser una línea vertical que representa de forma visual, un eje vertical en el punto de desfase.
- **Punto de desfase:** punto del ensamblaje que representa el punto de referencia fijo a lo largo de un desfase de alineación del objeto final de obra lineal. Los subensamblajes asociados a este punto siguen un desfase de alineación y el perfil diseñado correspondiente.

Para llevar a cabo la creación de un ensamblaje, en primer lugar, se debe acceder a la ventana habilitada para ello en el programa y seleccionar la opción “Crear ensamblaje”, tal y como se muestra en la siguiente figura:

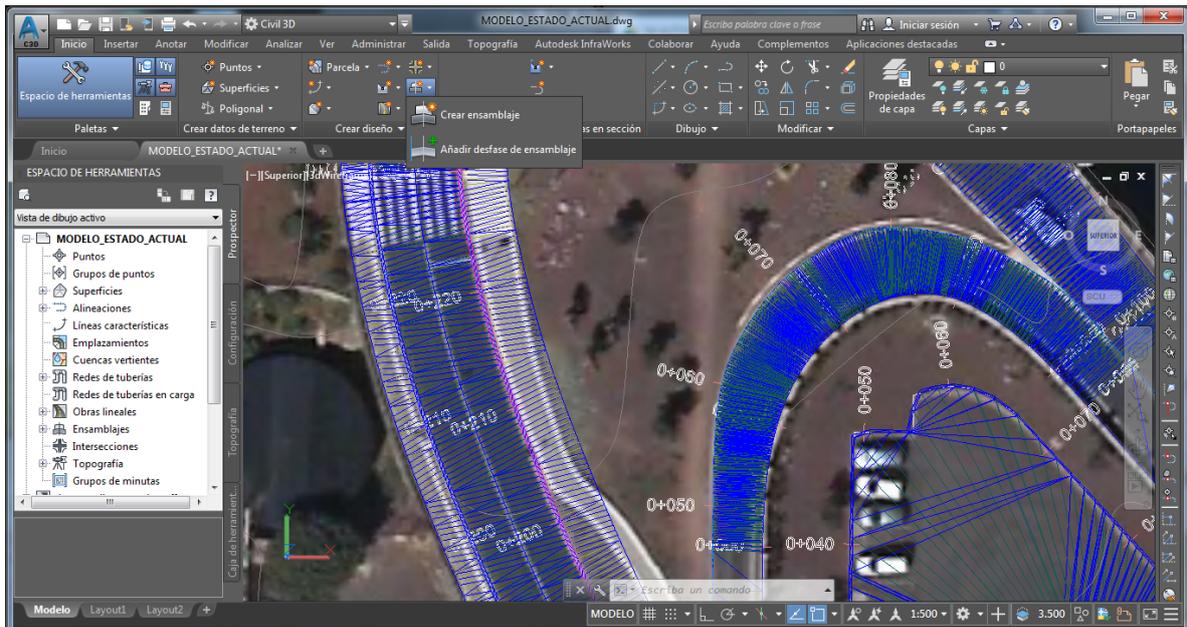


Figura 41. Creación de ensamblaje. Fuente: Elaboración propia

Tras elegir esta opción, surge una ventana emergente. En ésta se introduce el nombre identificativo del ensamblaje y, en el caso de que fuera necesario, una descripción con información adicional del ensamblaje.

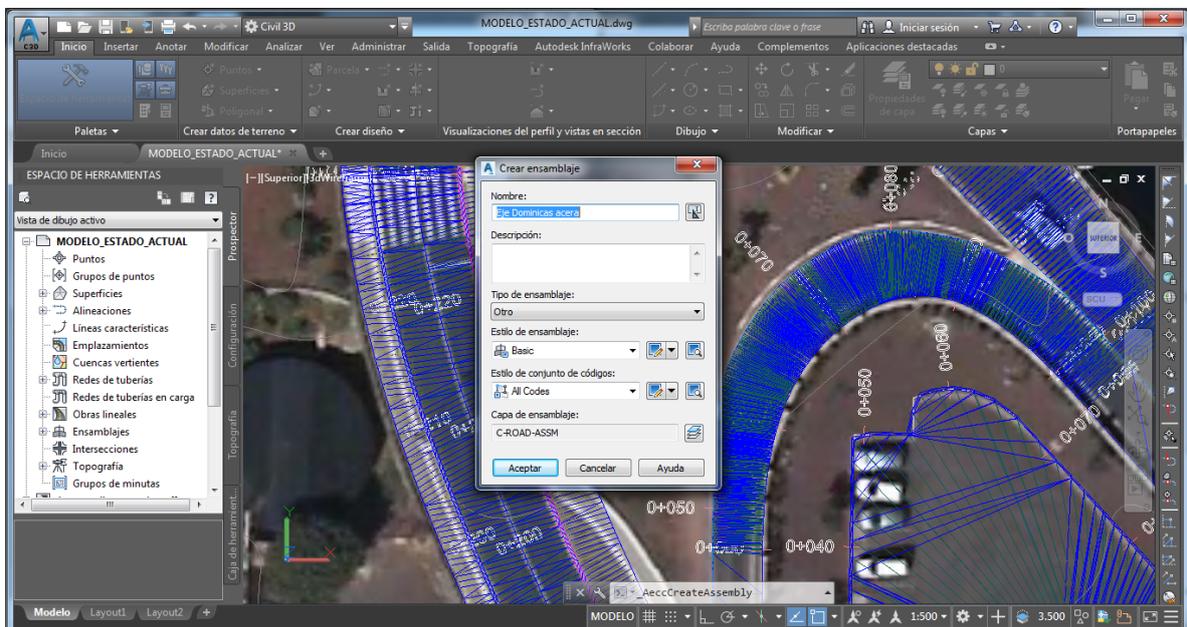


Figura 42. Herramienta “Crear ensamblaje”. Fuente: Elaboración propia

Una vez establecidos el nombre del ensamblaje, y opcionalmente rellenada la descripción del mismo, se procede a seleccionar el punto donde se insertará el ensamblaje.

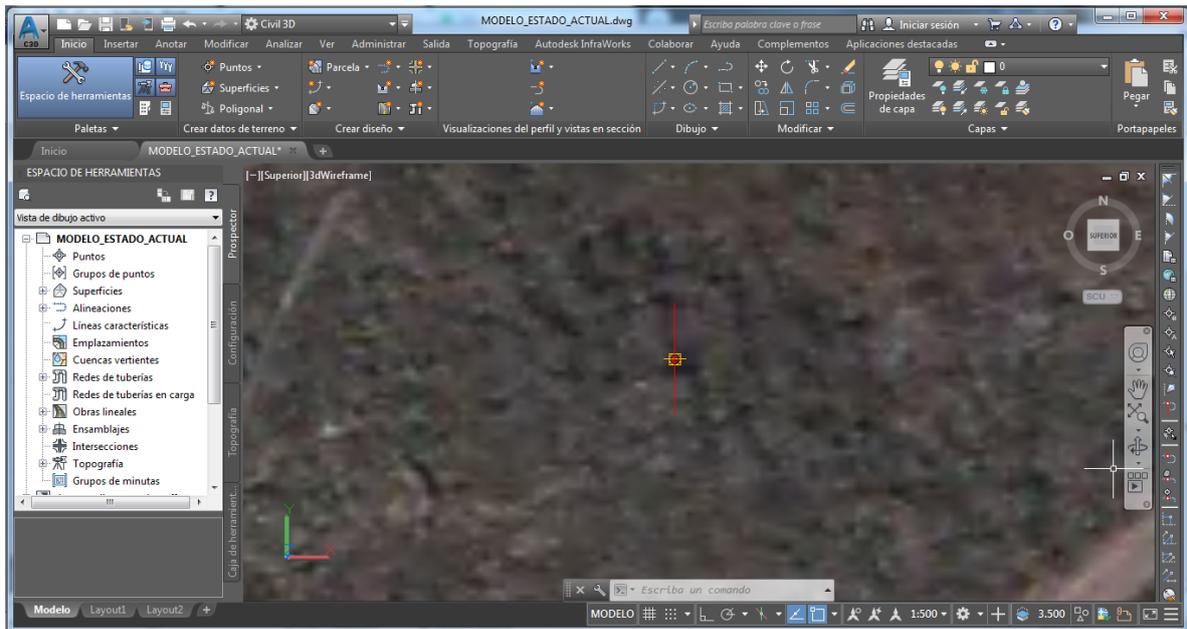


Figura 43. Inserción de ensamblaje en el proyecto. Fuente: Elaboración propia

En este punto, se encuentra todo preparado para la adición de los subensamblajes que darán forma a la obra lineal que se desee realizar. Para ello, se accede a la paleta de herramientas, dentro de la cual se pueden seleccionar distintos tipos de subensamblajes divididos en: ensamblajes-métrico, básicos, carriles, arcnos, medianas y bordillos.

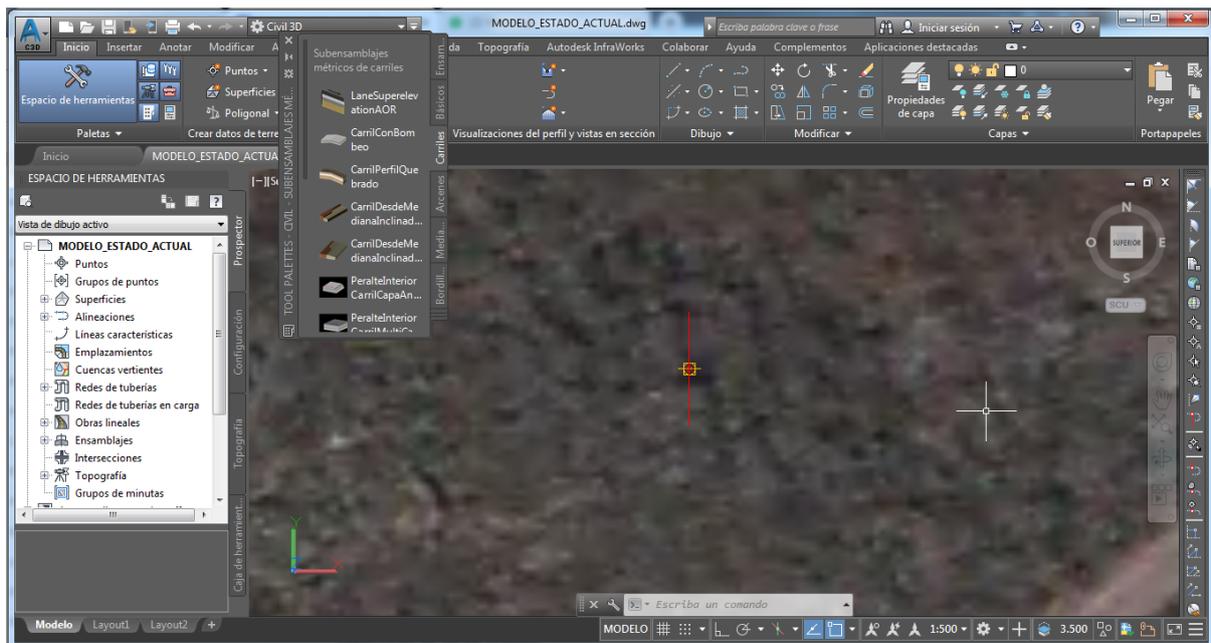


Figura 44. Paleta de herramientas para subensamblaje. Fuente: Elaboración propia



Para el presente proyecto, se escogen 5 tipos de subensamblajes: LaneSuperelevationAOR, bordillo básico, acera básica, arcén básico y cuneta. Éstos son los más representativos de las distintas secciones tipo que componen las obras lineales del caso de estudio.

Tras seleccionar el subensamblaje deseado, las propiedades del mismo podrán ser cambiadas desde la opción “propiedades de subensamblaje”. Para el caso de la calzada, por ejemplo, las propiedades que se modifican para este proyecto son:

- Anchura.
- Talud por defecto.
- Profundidad de pavimento 1: equivalente a la capa de rodadura del paquete de firme.
- Profundidad de pavimento 2: equivalente a la capa intermedia del paquete de firme.
- Profundidad de base: equivalente a la capa de base del paquete de firme.
- Profundidad de sub-base: equivalente a la capa de sub-base del paquete de firme.

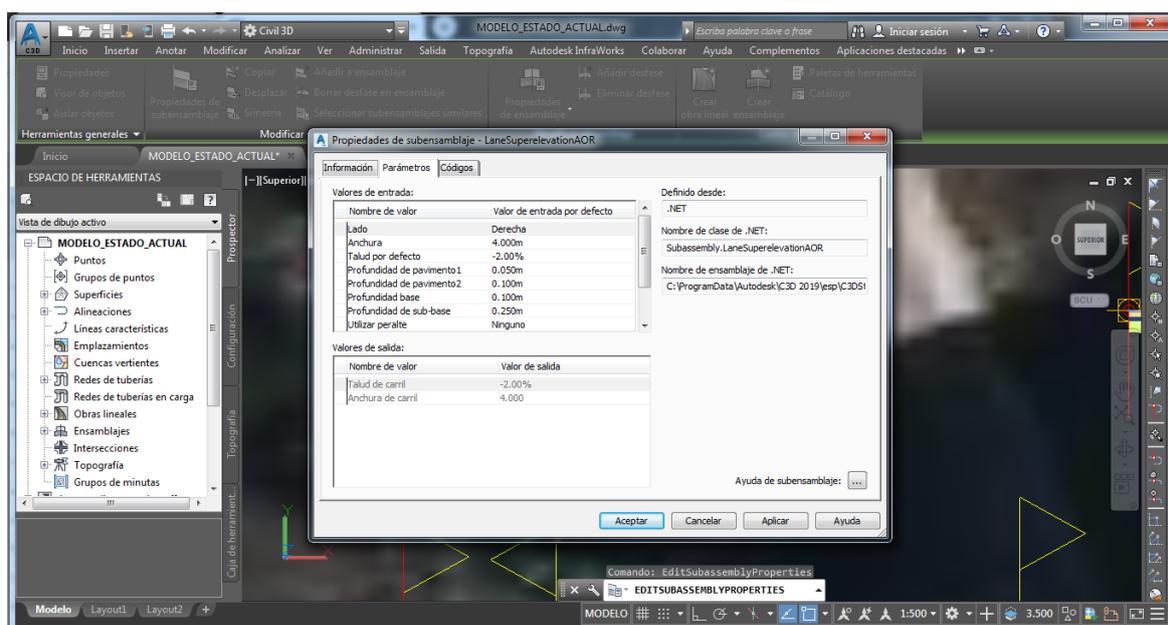


Figura 45. Propiedades del subensamblaje que corresponde a la calzada. Fuente: Elaboración propia



Dado que existe más de una sección tipo por alineación, se elabora una cantidad considerable de ensamblajes. Por tanto, es extremadamente importante para la fiabilidad del modelo y para el propio trabajo sobre el mismo que estén correctamente ordenados y nombrados. Es por ello que, en primer lugar, han sido agrupados en el dibujo en función de la obra lineal a la que pertenecen, para posteriormente ser nombrados de forma similar a las alineaciones; añadiendo una pequeña descripción al final con el fin de poder distinguir ensamblajes parecidos.

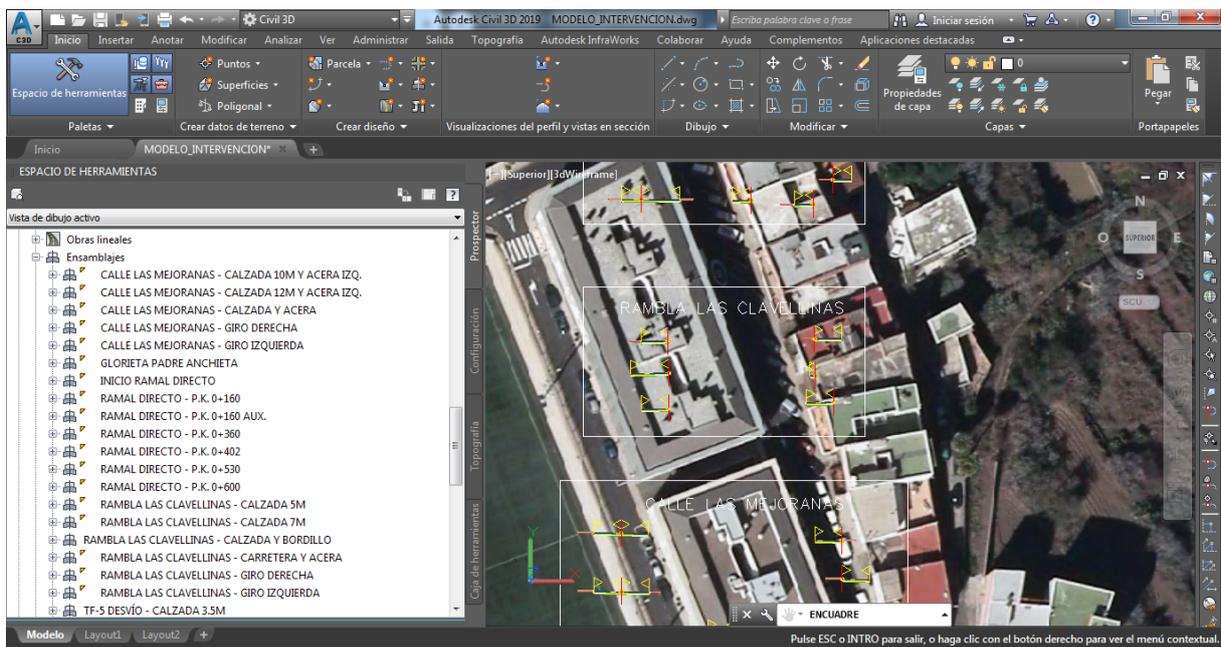


Figura 46. Ejemplo de designación de ensamblajes. Fuente: Elaboración propia

### Subensamblajes a partir de polilíneas

Existen casos en los cuales los subensamblajes que aporta por defecto el programa Civil 3D no se adaptan a las necesidades del modelado. Por ello, es necesario crear subensamblajes a partir de una polilínea.

Para crear un subensamblaje desde un objeto de polilínea, primero se debe crear el objeto de polilínea en el dibujo con la forma deseada. A continuación, se convierte la polilínea en un subensamblaje mediante el comando “Crear subensamblaje a partir de polilínea”.

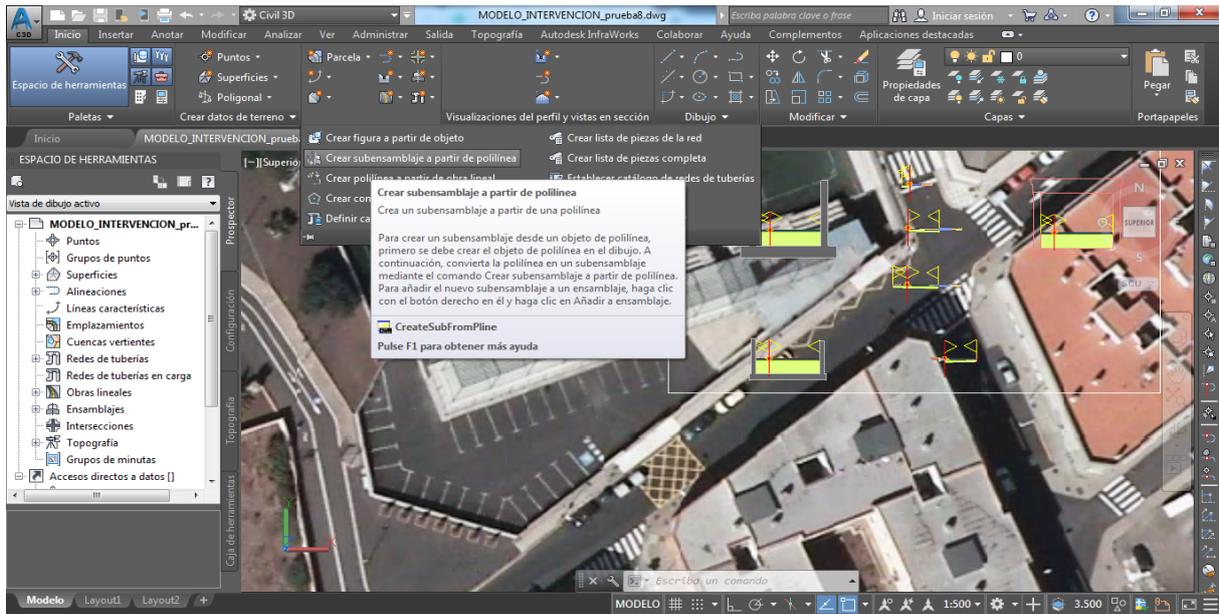


Figura 47. Crear subensamblaje a partir de polilínea. Fuente: Elaboración propia

Tras haber seleccionado la polilínea que se desea convertir, se abre un cuadro de diálogo denominado “Crear ensamblaje”. Las opciones que existen dentro del mismo son diversas:

- Nombre.
- Descripción.
- Estilo de conjunto de códigos: permite controlar la apariencia visual de un conjunto de códigos (de vínculo, punto y forma).
- Creación de vínculos:
- Múltiple: permite crear un vínculo nuevo para cada segmento generado a partir del objeto seleccionado.
- Único: se crea un vínculo de todos los segmentos que se han creado a partir del objeto seleccionado. Esta opción facilita la creación de formas.
- Ninguno: no se crean vínculos; únicamente se crearán puntos en los vértices.



Una vez haya sido creado el subensamblaje a partir de una polilínea, se deben añadir los códigos de punto, vínculo y forma deseados, ya que, si estos no son añadidos el subensamblaje no se mostrará al crear la obra lineal.

También es necesario conocer y colocar de forma correcta el punto de origen del subensamblaje. Este es el punto donde el subensamblaje se enlaza a una línea base de ensamblaje o a otro subensamblaje.

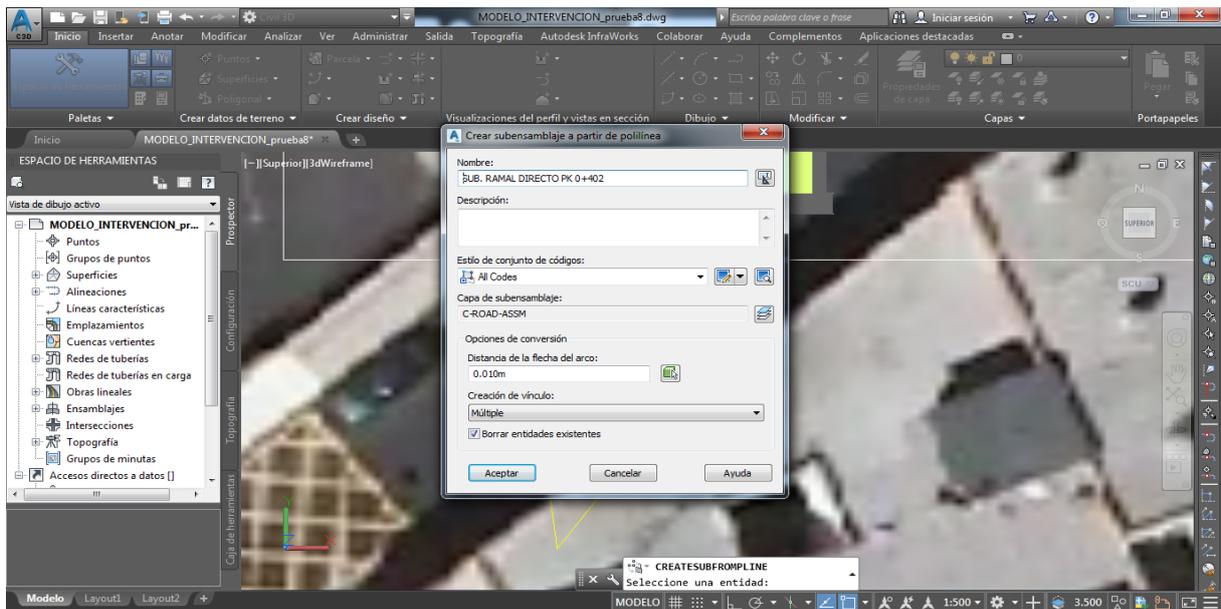


Figura 48. Cuadro de diálogo para la creación de subensamblajes. Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.6. Obras lineales

Las obras lineales son modelos tridimensionales configurables y flexibles de una infraestructura lineal, tales como carreteras, autovías y ferrocarriles.

Un modelo de obra lineal se define mediante diversos datos y objetos, tales como subensamblajes, ensamblajes, alineaciones, superficies y perfiles. La obra lineal gestiona los datos, uniendo diversos ensamblajes (aplicados a intervalos de P.K. diferentes) a las líneas base (alineaciones) y a sus correspondientes perfiles longitudinales de rasante.



Las obras lineales son objetos de dibujo (AECCorridor) de Autodesk Civil 3D. Los objetos de obras lineales incluyen geometría de cuerpo de la obra lineal, líneas características longitudinales y superficies incrustadas, y admiten la renderización y el sombreado de taludes.

Una obra lineal puede definir y mostrar componentes, tales como:

- Líneas características que conectan puntos a lo largo de los códigos de punto, los cuales están definidos en los subensamblajes (utilizados para crear los ensamblajes).
- Superficies, mediante códigos de vínculo y líneas características.

Un objeto de obra lineal se crea a partir de una línea base (alineación), colocando secciones 2D (ensamblajes) en ubicaciones incrementales y creando taludes coincidentes que alcanzan un modelo de superficie en cada ubicación incremental. Las obras lineales se basan y se crean a partir de objetos existentes de Autodesk Civil 3D, incluidos:

- **Alineaciones:** son elementos horizontales utilizados como eje por una obra lineal.
- **Perfiles:** constituyen alineaciones verticales que se emplean para definir elevaciones de superficie a lo largo de una alineación horizontal.
- **Superficies:** se utilizan para derivar alineaciones y perfiles, así como para la explanación de obra lineal.
- **Subensamblajes:** son un componente fundamental de un modelo de obra lineal. Los subensamblajes definen la geometría de una sección de obra lineal (ensamblaje). Por ejemplo, una carretera tipo cuenta con carriles pavimentados (a ambos lados del eje), un arcén, un caz y bordillo, y una explanación de carretera. Estas partes se definen independientemente como subensamblajes. Es posible apilar cualquier subensamblaje para crear un ensamblaje tipo y aplicar el mismo ensamblaje para un intervalo de P.K. a lo largo de una alineación.



- **Ensamblajes:** representan una sección tipo de una obra lineal. Los ensamblajes comprenden uno o más subensamblajes conectados entre sí.

Después de crear una obra lineal, se puede extraer información de ella, como los datos de superficies, líneas características (polilíneas, alineaciones, perfiles y líneas características de explanación) y volumen (cubicación) (Autodesk Knowledge Network, 2018).

Para generar una obra lineal en el dibujo existente, es preciso acudir al desplegable “Obra lineal” del grupo “Crear diseño”, el cual forma parte de la ficha “Inicio” de la cinta de opciones del programa.

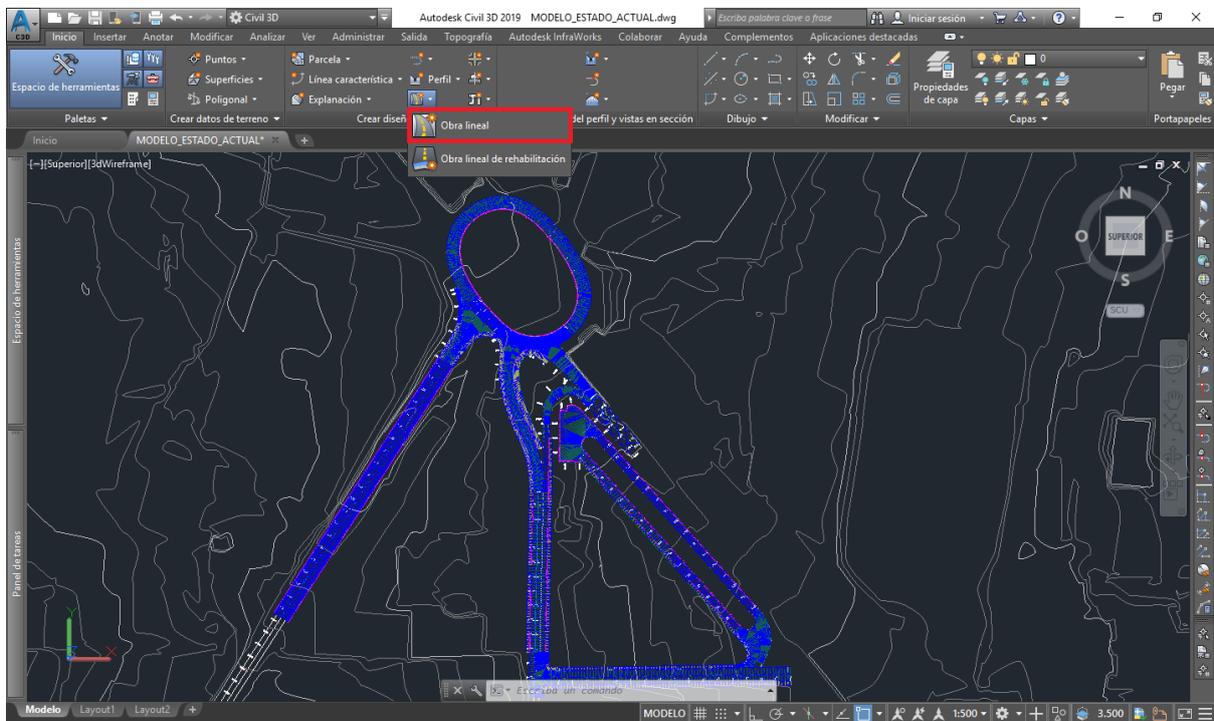


Figura 49. Creación de obra lineal. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se abrirá un navegador que permitirá escoger los parámetros necesarios para la definición de la nueva obra lineal.

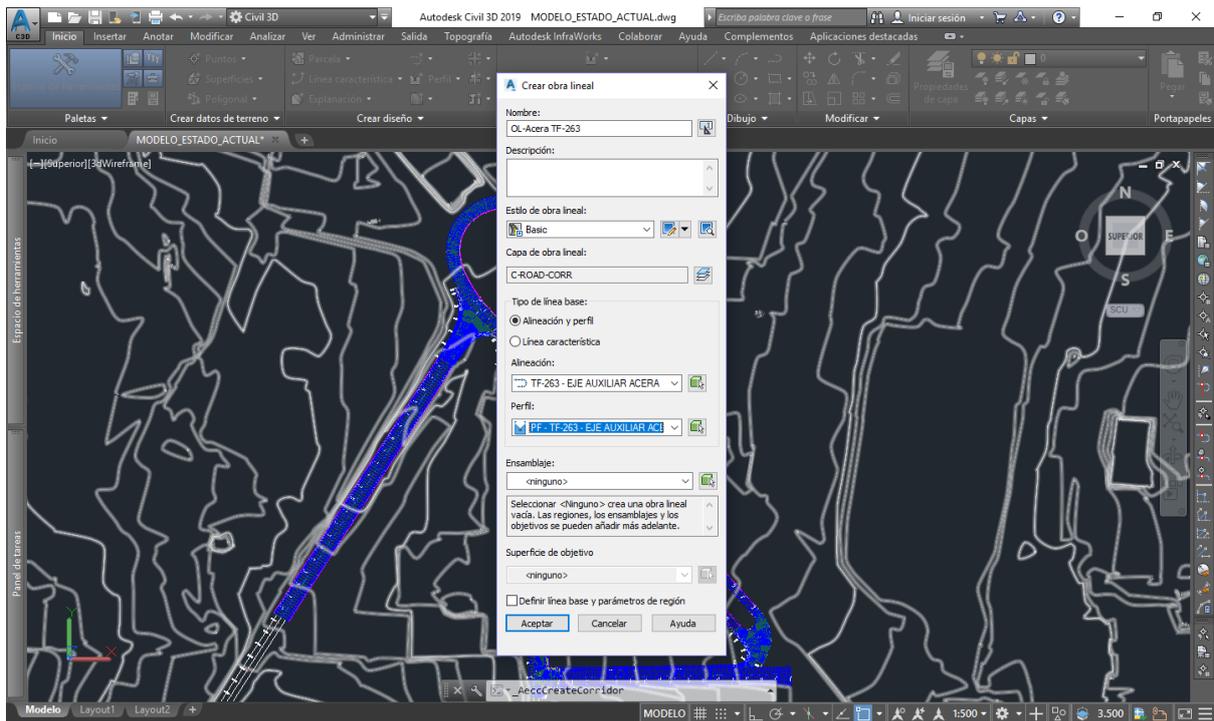


Figura 50. Herramienta “Crear obra lineal”. Fuente: Elaboración propia

Inicialmente, es posible definir la obra lineal sin necesidad de determinar un ensamblaje o una superficie objetivo, ya que son elementos que se pueden escoger a posteriori desde la ficha Prospector del programa (situada generalmente en el margen izquierdo de la pantalla). Los datos que de manera imprescindible hay que indicar para poder generar la obra lineal son: la alineación (eje de la obra) y su perfil, o la línea característica.

En caso de que haya que realizar alguna modificación de la obra creada, se acude, a la ficha Prospector del Espacio de herramientas, citada anteriormente.

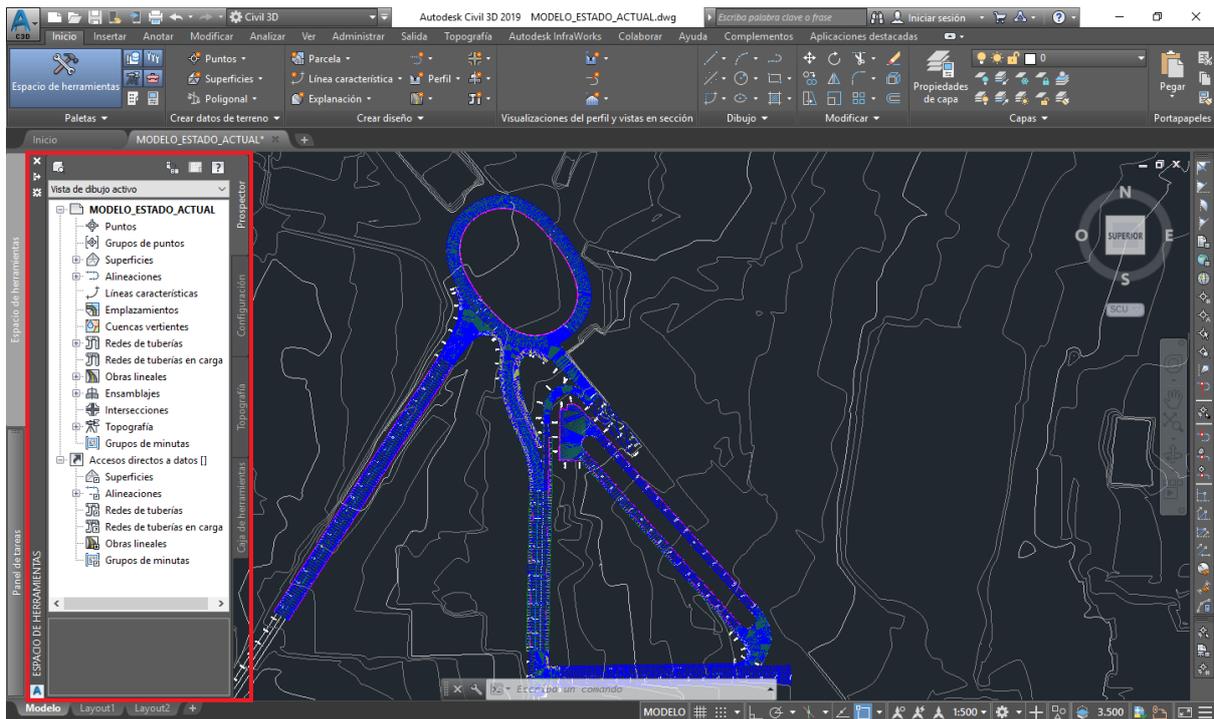


Figura 51. Ficha Prospector. Fuente: Elaboración propia

Abriendo el desplegable “Obras lineales” que aquí se muestra, es posible acceder a la obra en cuestión para efectuar las modificaciones pertinentes.

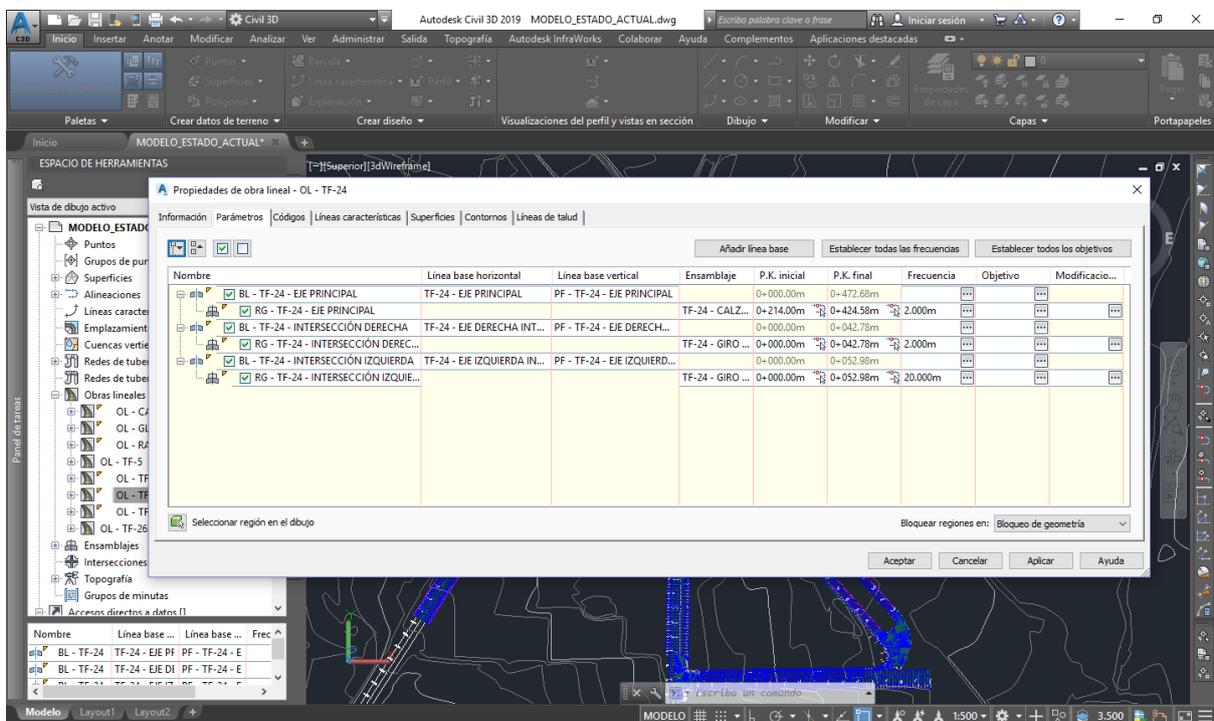


Figura 52. Menú “Propiedades de obra lineal”. Fuente: Elaboración propia



Como se puede observar en la Figura 52, una obra lineal puede estar compuesta, a su vez, por un conjunto de diversas “líneas base” y “regiones”, elementos que permiten la disposición de diferentes ensamblajes o secciones a lo largo de la obra, ajustándose así a la realidad de la infraestructura en cuestión. En este apartado se puede ajustar también la frecuencia, esto es, la distancia a la que se repite el ensamblaje a lo largo de una línea base de la obra lineal.

En dicho menú es posible establecer y editar también el objetivo de los ensamblajes; los objetivos son necesarios cuando la geometría de uno o varios subensamblajes de un ensamblaje requieren objetivos de superficie, desfase o elevación correspondientes para definir esa geometría (Autodesk Knowledge Network, 2019).

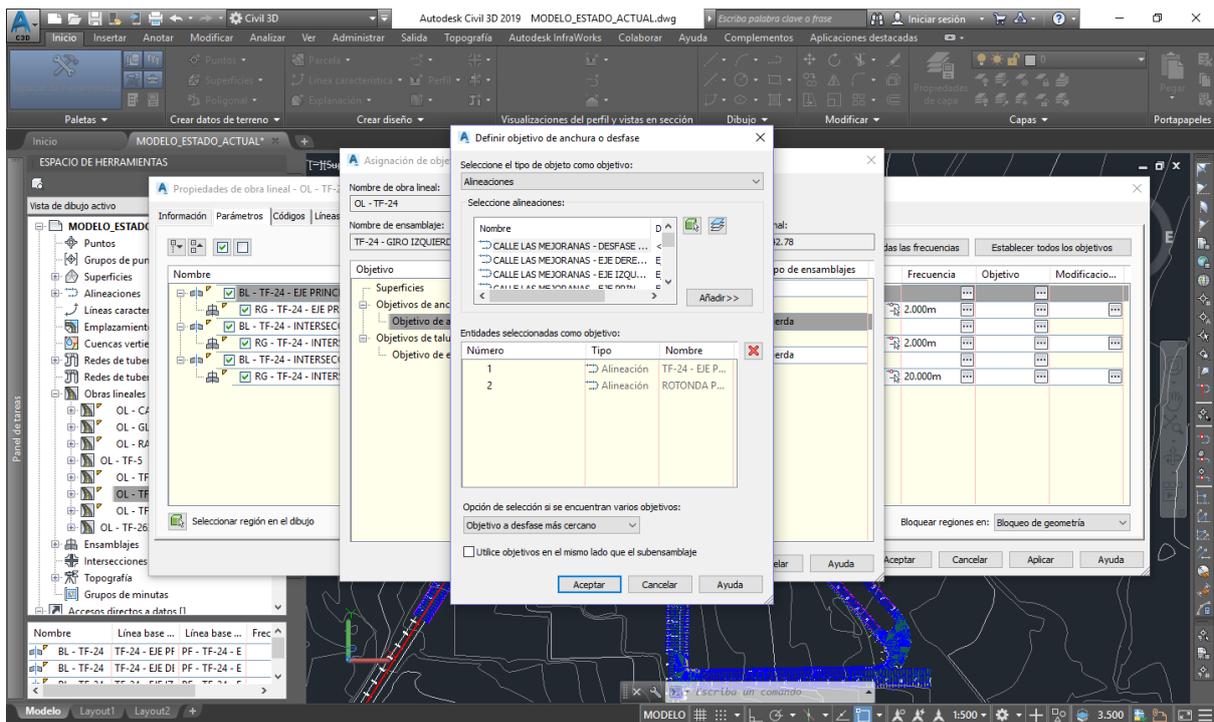


Figura 53. Definición de objetivo de anchura o desfase. Fuente: Elaboración propia

En este proyecto se ha hecho uso de los objetivos, esencialmente, para la ejecución de las intersecciones de las distintas obras lineales; si bien es cierto que Autodesk Civil 3D posee una herramienta específica para la creación de intersecciones, no ha sido posible su empleo en este caso dada la peculiar naturaleza de los encuentros entre las vías en estudio (inexistencia de perpendicularidad, ángulos de entrada excesivamente abruptos, entre otros).



Con todo ello, se completaría el modelado de las obras lineales.

Tal y como viene siendo habitual en este tipo de elementos, éstos han sido nombrados de la misma forma que los ya explicados con anterioridad. Las obras lineales son denominadas según la calle, vía o zona de la que forman parte, añadiéndoles un prefijo “OL” para saber en todo momento del tipo de elemento que se trata.

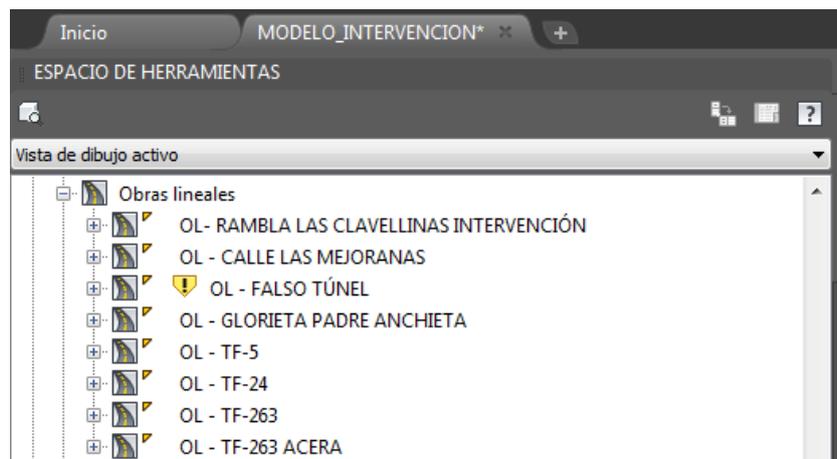


Figura 54. Obras lineales creadas. Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.7. Superficies de obras lineales

Es posible crear una superficie a partir de una obra lineal, a partir de la cual se puede obtener el volumen (cubicación) de tierras que es necesario realizar en el proceso de ejecución de la infraestructura (Autodesk Knowledge Network, 2018). La cubicación se detalla en apartados posteriores del presente documento.

En el caso del modelo del estado actual del ámbito en estudio, generar las superficies de las distintas obras lineales trazadas no es un paso que aporte información relevante al conjunto, ya que éstas se han representado sobre una cartografía actualizada que incluye, teóricamente, las elevaciones correctas de las rasantes de las diferentes vías. No obstante, sí resulta interesante añadir estas superficies en el dibujo de cara al modelado posterior de la intervención.



Es relevante el hecho de que, debido a que las superficies de obra lineal son resultado de un modelo de obra lineal, éstas permanecen vinculadas dinámicamente a la obra lineal, de modo que todos los cambios en la definición de obra lineal se reflejan en las definiciones de superficie.

Las siguientes funciones y comportamientos son únicos de las superficies de obra lineal (Autodesk Knowledge Network, 2018):

- Al seleccionar una superficie de obra lineal, sólo se selecciona la superficie. La obra lineal en la que se basa no se selecciona.
- Al modificar el estilo de una superficie de obra lineal mediante sus propiedades de superficie, se modifica también el estilo en la ficha Superficies de propiedades de obra lineal.
- Al regenerar una obra lineal, se actualizan las superficies de obra lineal para reflejar cualquier modificación en ésta y, a continuación, se aplican todas las ediciones al modelo de obra lineal.
- La obra lineal de la que se tomó la superficie se muestra en la definición de propiedades de superficie.

Para crear la superficie de una obra lineal existente, hay que acudir a la ficha Prospector del Espacio de herramientas y seleccionar las propiedades de la obra en cuestión. Una vez abierta la ventana emergente de las propiedades, se selecciona la pestaña “Superficies” y se pulsa sobre el botón “Crear una superficie de obra lineal”. A la superficie creada hay que añadirle un código de los que aparecen en el desplegable situado a la derecha de la ventana; en este caso se ha escogido el código “Top”, puesto que la superficie que se quiere obtener es la superior (rasante de la obra lineal), y éste se agrega, a su vez, como línea de rotura, con el fin de obtener una mejor triangulación de la superficie.

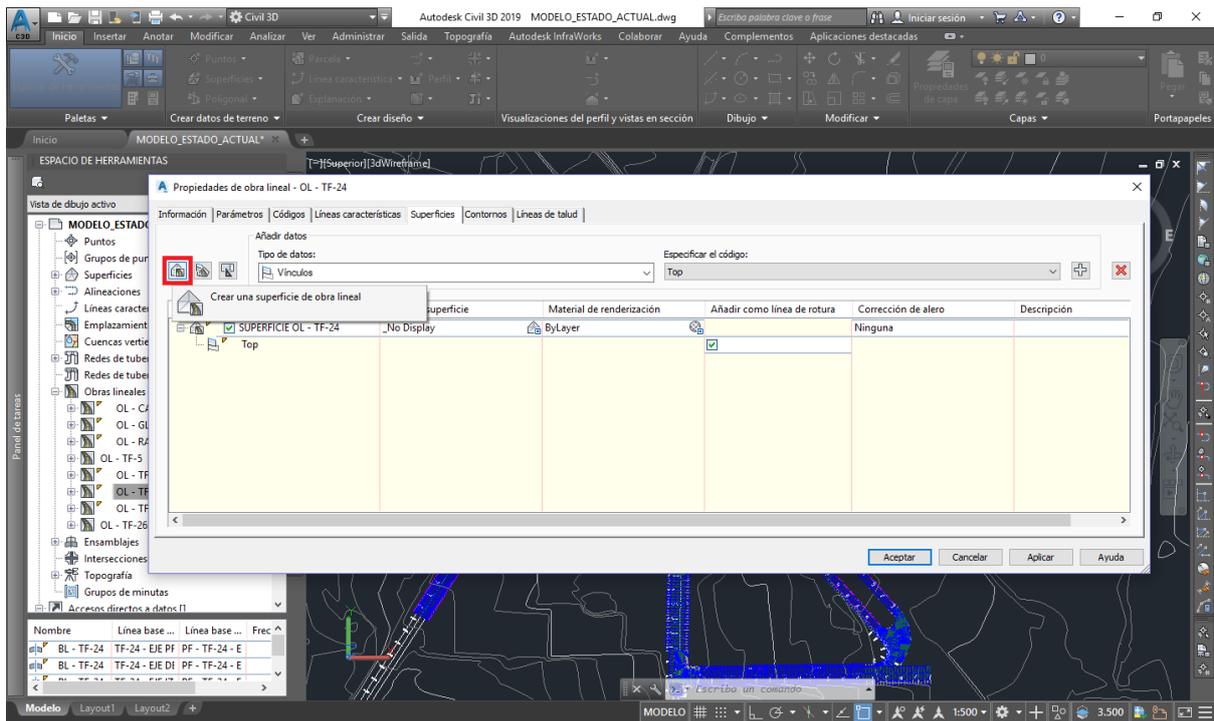


Figura 55. Propiedades de obra lineal, generación de superficies. Fuente: Elaboración propia

Con el fin de minimizar triangulaciones erróneas en la formación de la superficie de la obra lineal, es necesario añadir un contorno delimitador desde la pestaña “Contornos” de la ventana emergente de las propiedades de la obra. Aparecen aquí tres opciones:

1. Que el contorno exterior de la superficie sea la extensión de la propia obra lineal.
2. Añadir el contorno exterior de la superficie de forma interactiva.
3. Añadir el contorno exterior de la superficie desde un polígono creado con anterioridad.

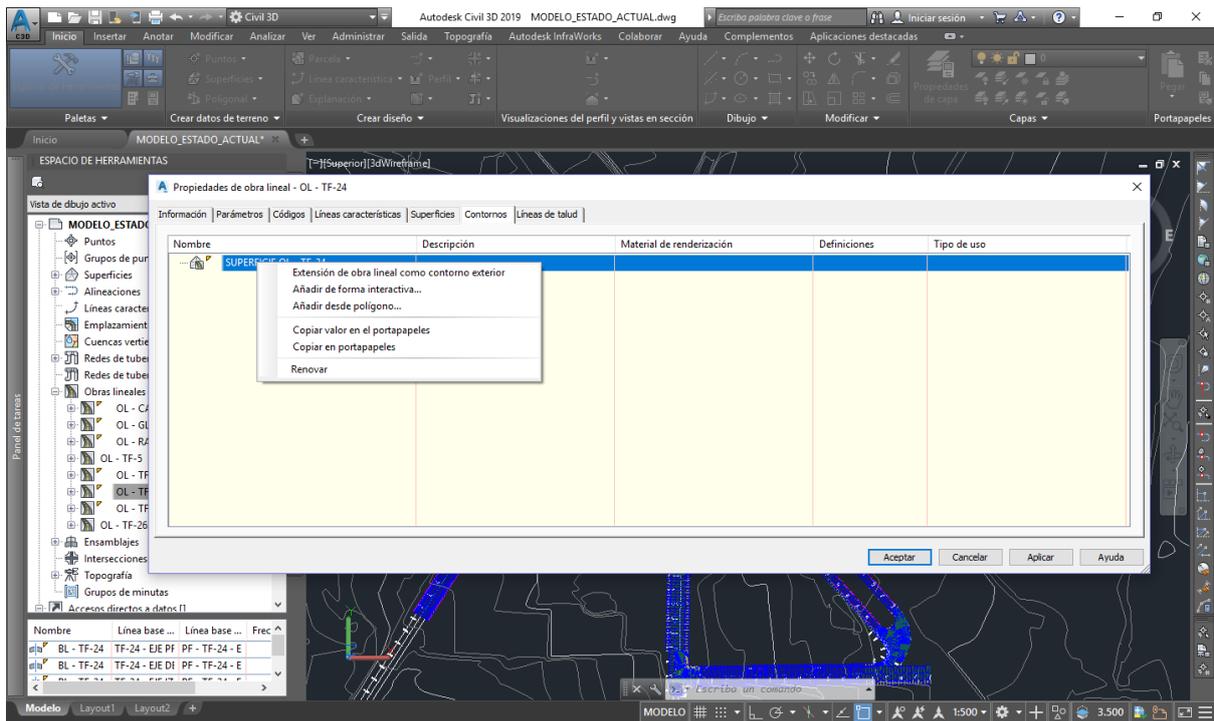


Figura 56. Propiedades de obra lineal, contornos de superficies. Fuente: Elaboración propia

De forma general, para el modelo en estudio se ha escogido la primera opción (extensión de la obra lineal como contorno exterior de la superficie), dada la sencillez de su aplicación. No obstante, existen casos particulares, los cuales se detallan más adelante, en los que ha sido necesario añadir el contorno desde un polígono.

En cuanto a la denominación de las superficies, nada cambia respecto al resto de elementos que se han nombrado hasta el momento. En este caso, al nombre de la obra lineal se le añade el prefijo “Superficie”, distinguiéndose de esta forma de las propias obras lineales.

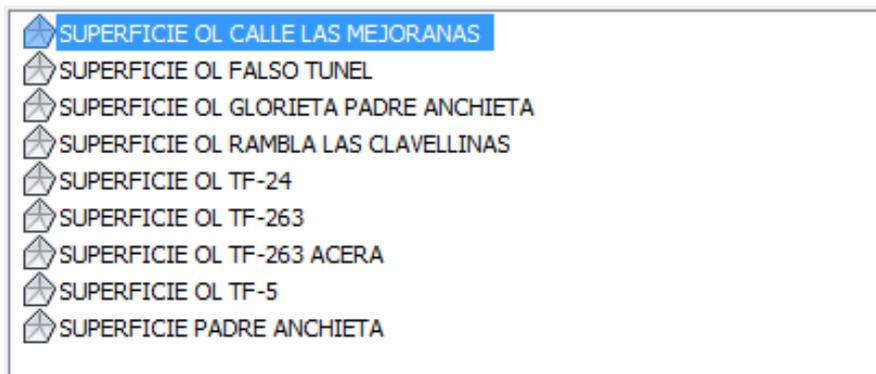


Figura 57. Listado de superficies del proyecto. Fuente: Elaboración propia



### 4.3.8. Incidencias en el desarrollo de los Modelos CIM

Durante el desarrollo de los modelos del estado actual y de la intervención proyectada se han producido una serie de incidencias. Éstas se han clasificado en dos grandes grupos:

- Incidencias de la herramienta de software (Autodesk Civil 3D).
- Incidencias en la cartografía del IGN.

Estos problemas se han resuelto mediante la aplicación de medidas puntuales, las cuales se describen a continuación.

#### **Incidencias en el modelado del estado actual**

##### **1. Triangulación en la Rambla Las Clavellinas**

En el modelado del estado actual se produce un error de triangulación en la Rambla Las Clavellinas tras llevar a cabo la creación de la correspondiente obra lineal, siguiendo el mismo procedimiento que para el resto de obras y que se ha descrito con anterioridad. Este error provoca que desde el P.K. 0+000 m hasta el P.K. 0+002.73 m, no aparezca la obra en su alineación correspondiente.

El mensaje que muestra el programa, mediante una ventana emergente, es el que se muestra a continuación:

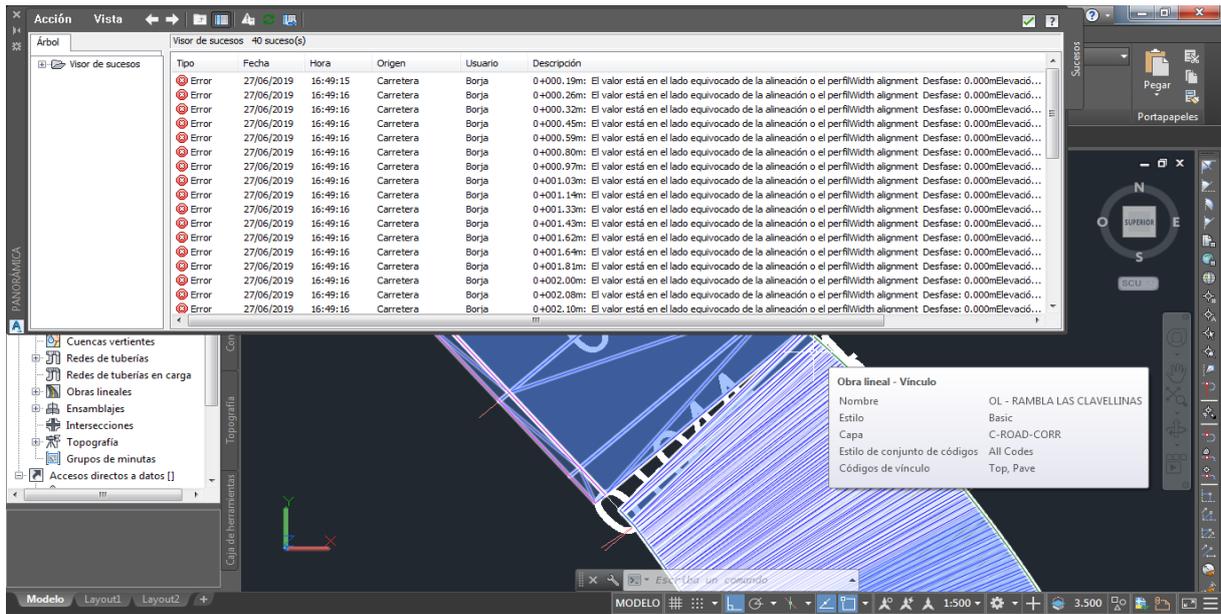


Figura 58. Ventana emergente de la particularidad en el modelo del estado actual. Fuente: Elaboración propia

Este error se ve traducido en el modelo de la siguiente forma:

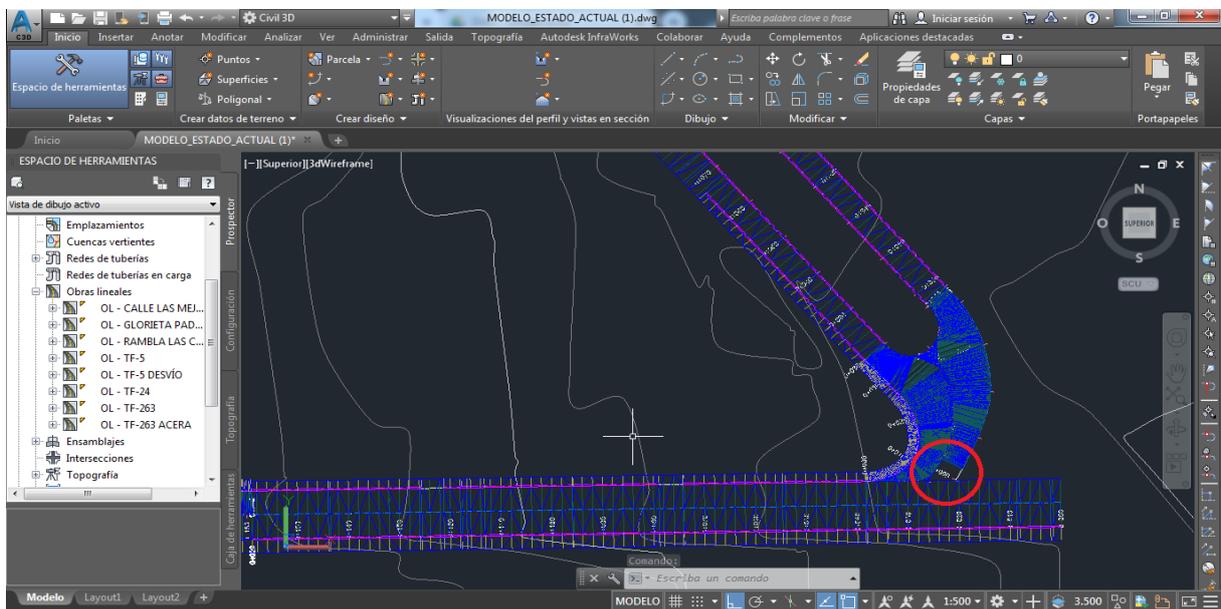


Figura 59. Visualización del error de triangulación en el modelo del estado actual. Fuente: Elaboración propia

El fallo que se muestra en la Figura 59 se ha intentado resolver de dos maneras diferentes, pero con ambas se ha obtenido el mismo resultado que en la figura anterior:



1. En primer lugar, se estudia la posibilidad de invertir el sentido de la alineación que contiene la obra lineal. El resultado es similar, aunque el área sin triangular es mayor a la que se muestra en la figura.
2. Por otro lado, se ha probado a dividir la zona conflictiva en dos áreas diferenciadas. Para este caso, se mejora la triangulación en la zona conflictiva de la Figura 59, pero aún resolviendo esta zona, se producía un error importante en la zona central.

Ante la imposibilidad de resolver de forma satisfactoria este error, se decide optar por la solución que reduce en mayor medida la zona que no se triangula en el modelo.

## 2. Superficie de la Obra Lineal de la Glorieta Padre Anchieta

Otro error observado ha sido el de la superficie de la obra lineal de la glorieta Padre Anchieta; aquí, el contorno de la misma ha tenido que añadirse desde un polígono y no desde el contorno de la propia obra, puesto que, de otra manera, se generaba un error de triangulaciones en su encuentro con la superficie de la obra lineal de la carretera TF-24.

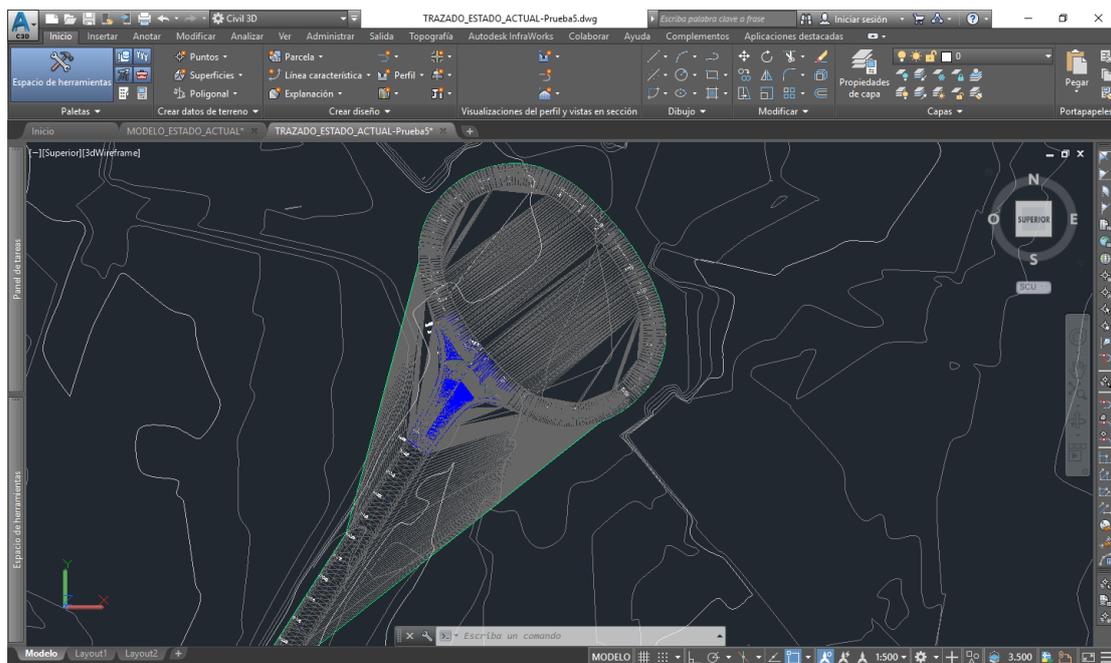


Figura 60. Error de triangulación en superficie de obra lineal. Fuente: Elaboración propia



Asimismo, al crear superficies de obra lineal, a veces es necesario corregir las triangulaciones sobresalientes. Esto sucede, por ejemplo, con la superficie de la obra lineal de la glorieta Padre Anchieta, que pese a definirse su contorno exterior mediante un polígono, seguía generando triangulaciones en el interior de la elipse. También es el caso de la superficie de la obra lineal de la Rambla Las Clavellinas.

Para solventar este problema, se ha acudido al apartado “Superficies” de la ficha Prospector del Espacio de herramientas. Una vez en ella, se ha seleccionado la superficie a editar y se ha abierto el desplegable de la misma hasta encontrar la sección “Definición”, desde la que se pueden añadir y suprimir tanto líneas como puntos integrantes de la superficie.

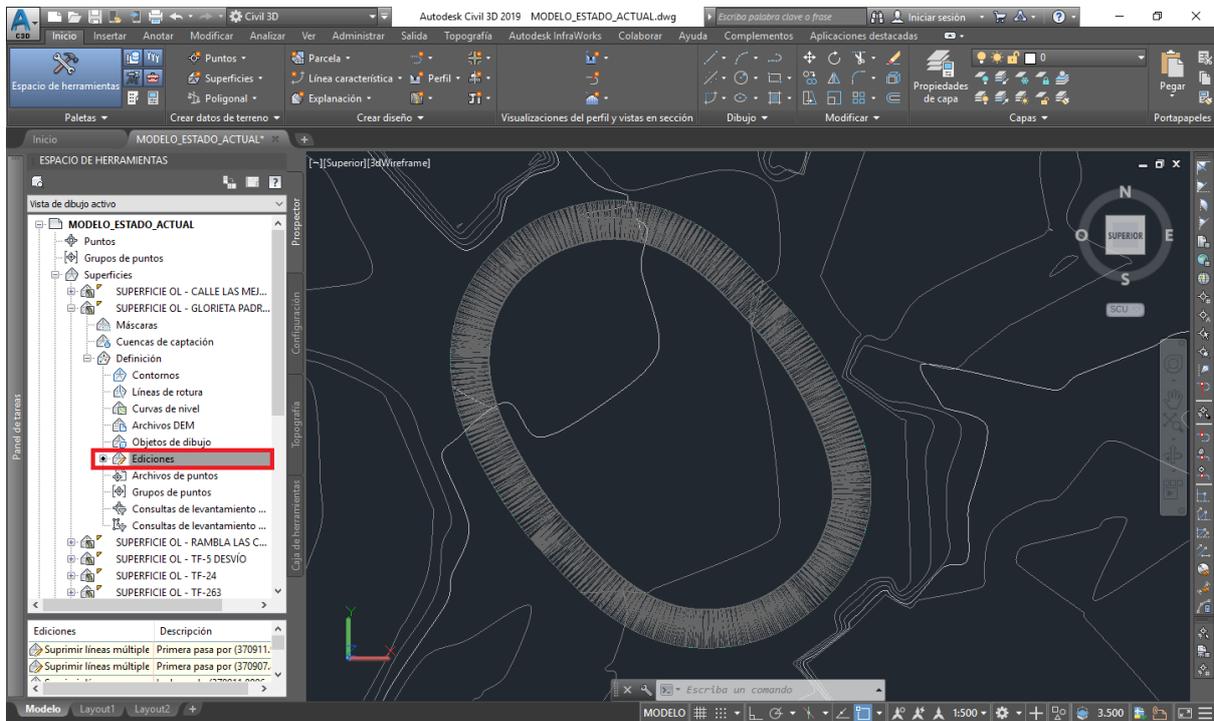


Figura 61. Edición de superficie de obra lineal. Fuente: Elaboración propia

## Incidencias en el modelado de la intervención

### 1. Triangulación en la Rambla Las Clavellinas

En cuanto a la intervención, se ha podido observar que se reproduce, en diferentes puntos del modelo, el mismo error de triangulación que sucede en el estado actual. Al igual que en el caso anterior, estos se han intentado subsanar, cambiando el sentido de las alineaciones o creando otras nuevas.



El mensaje que muestra el programa Autodesk Civil 3D es similar al de la Figura 59, indicando en cada caso los puntos kilométricos donde se identifica el fallo de triangulación.

A continuación, se muestran los errores de triangulación que se pueden observar en el modelo de la intervención.

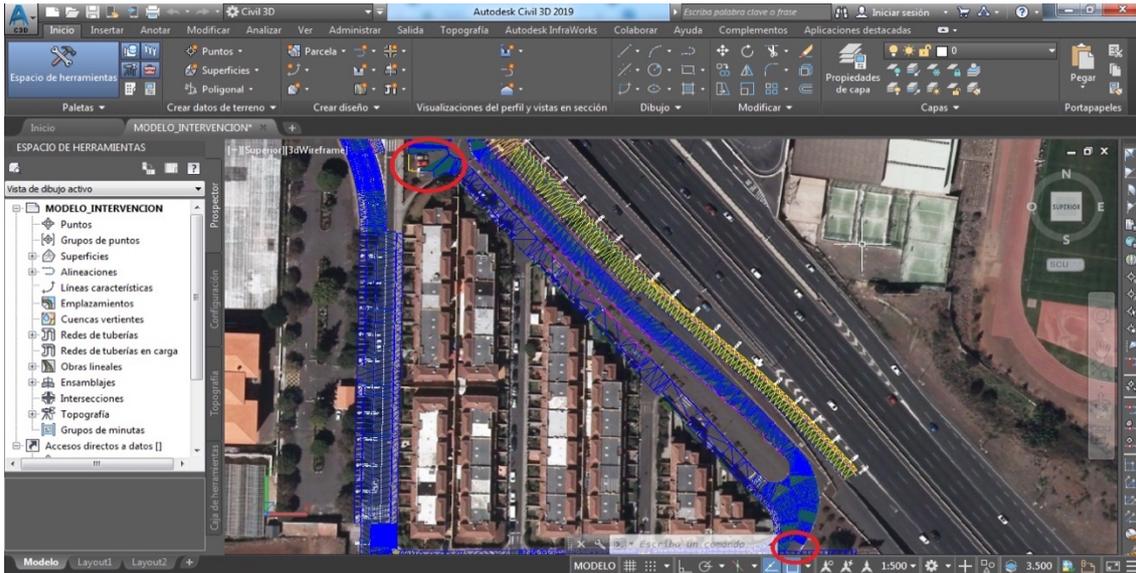


Figura 62. Visualización de los errores de triangulación en el modelo de la intervención. Fuente:

Elaboración propia

## 2. Rasante del carril de desvío de la TF-24

Existe otro problema en cuanto a la realización de las obras lineales en el comienzo de la TF-24, y es que, se detecta un error de la cartografía obtenida del IGN.

Una vez creada la rasante de la TF-24, cuyo final en el modelo es la glorieta Padre Anchieta, se pretende crear el carril de desvío para el acceso al ramal que une de manera directa la TF-24 con la TF-5. Para ello, se comprueba la elevación de este punto en el perfil longitudinal, siendo el mismo de 567,094 m.

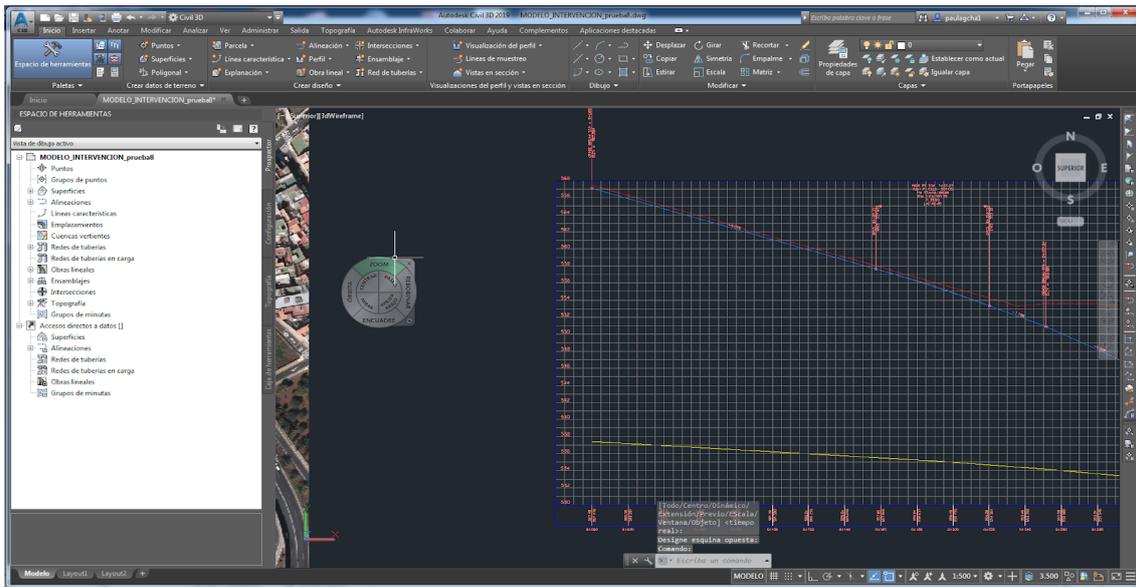


Figura 63. Perfil longitudinal de la TF-24. Fuente: Elaboración propia

Para que la unión entre el carril de desvío y la carretera existente sea la correcta en términos de cota, se visualiza el perfil de este carril de aceleración y se dibuja la rasante, cuyo punto final estará a la misma cota a la que empieza la TF-24.

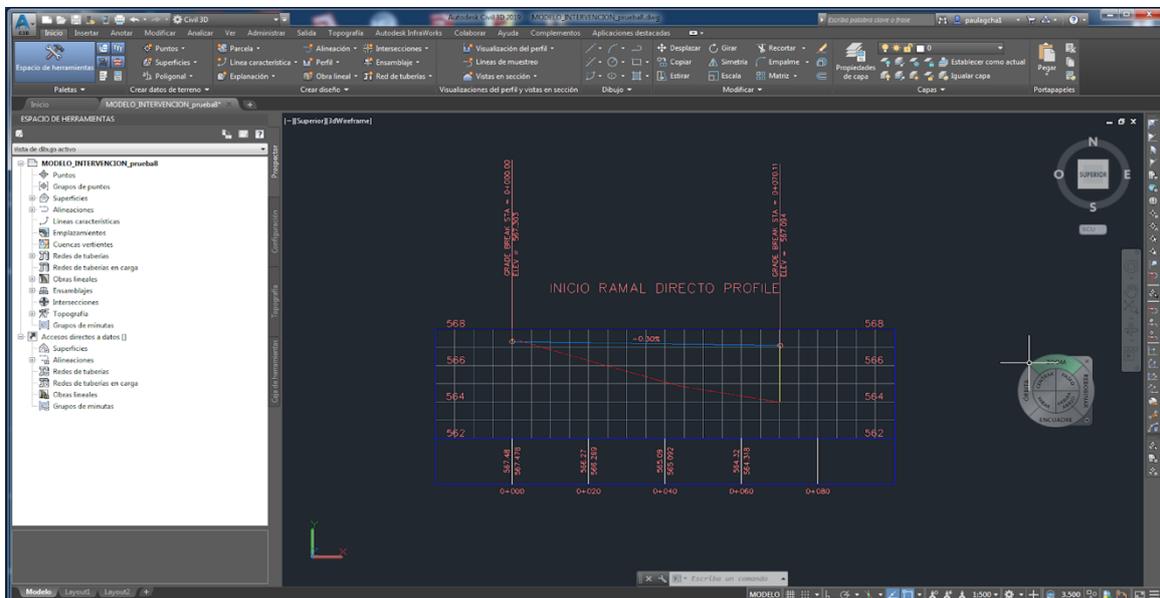


Figura 64. Perfil longitudinal del desvío hacia el ramal directo. Fuente: Elaboración propia

Tras llevar a cabo las ediciones de las rasantes, el resultado que ofrece Autodesk Civil 3D es completamente erróneo, tal y como se muestra en la siguiente figura, en la que se observa una diferencia de cota entre los dos tramos.

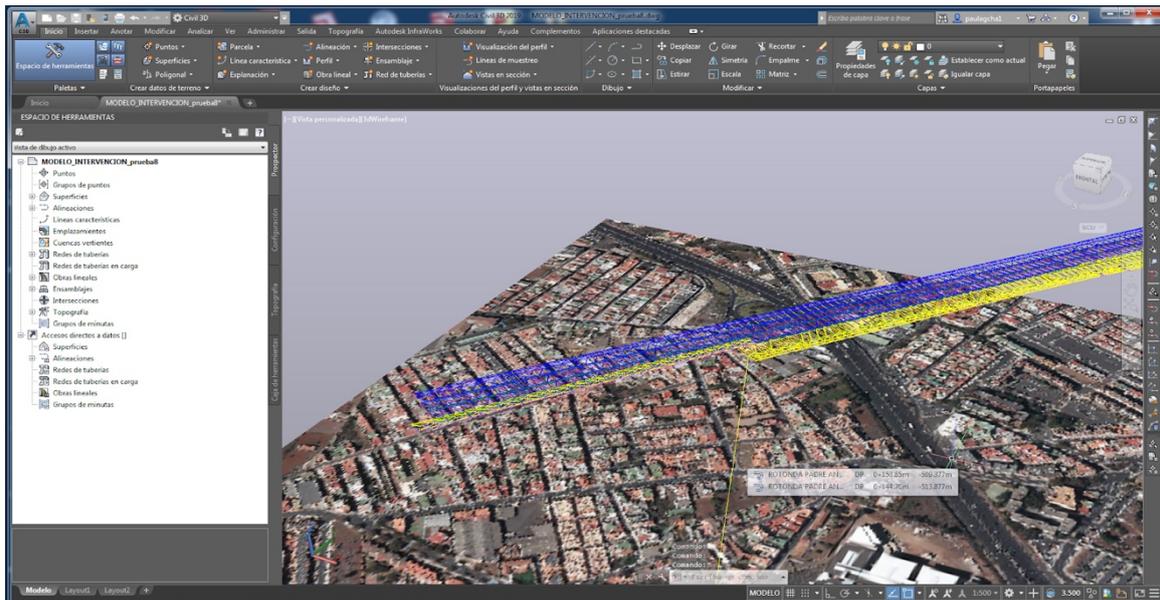


Figura 65. Visualización 3D del error entre el carril de desvío y la TF-24. Fuente: Elaboración propia

Debido a lo anterior, se opta por modelar de forma visual la rasante del desvío, con el fin de que la unión entre ambas calzadas sea lo más real y correcta posible. La nueva rasante se muestra a continuación:

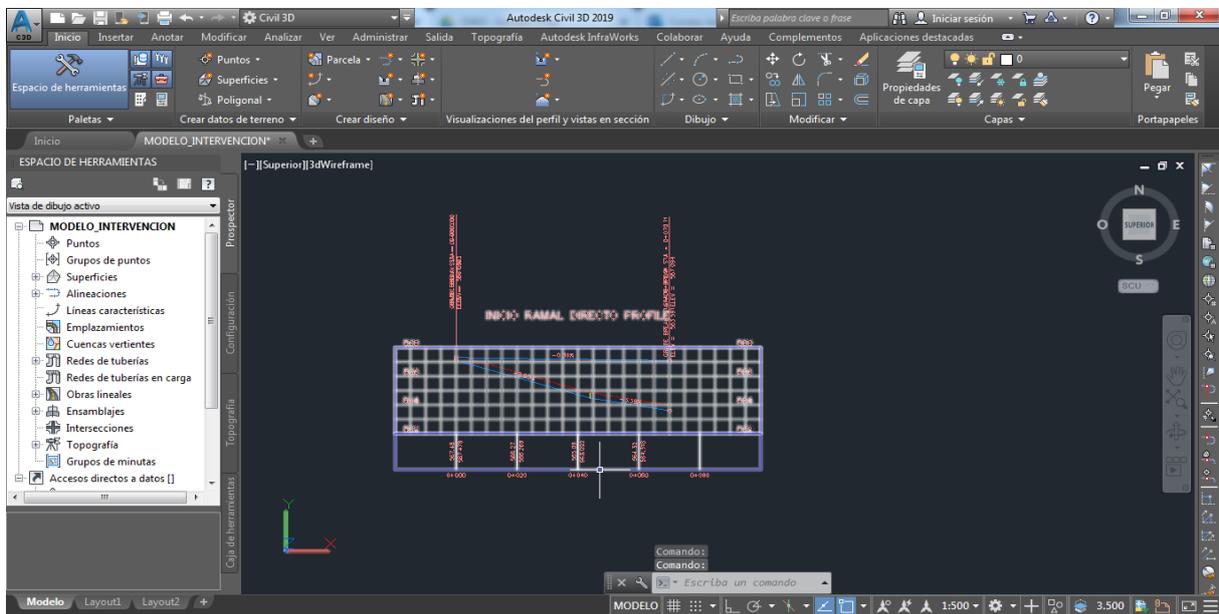


Figura 66. Rasante correcta del carril de desvío. Fuente: Elaboración propia

A pesar de que, tras la corrección anterior, la cota del carril de desvío es inferior al de la TF-24, con este cambio de la rasante se soluciona el problema ya comentado.

## Creación de subensamblajes para el modelado de la intervención



En último lugar, para la intervención del proyecto, es necesario llevar a cabo el modelado de un falso túnel en el ramal directo que enlaza la carretera TF-24 con la TF-5. El software Autodesk Civil 3D no dispone de subensamblajes para llevar a cabo este tipo de obras lineales. Por lo tanto, se decide hacer uso de la herramienta “crear subensamblaje a partir de polilínea”; a través de ella se consigue generar un ensamblaje diseñado por el usuario, que en este caso es similar al que se encuentra en el proyecto. A continuación, se visualizan los diferentes subensamblajes realizados mediante polilíneas que corresponden a: entrada del falso túnel, el falso túnel y la salida del mismo.

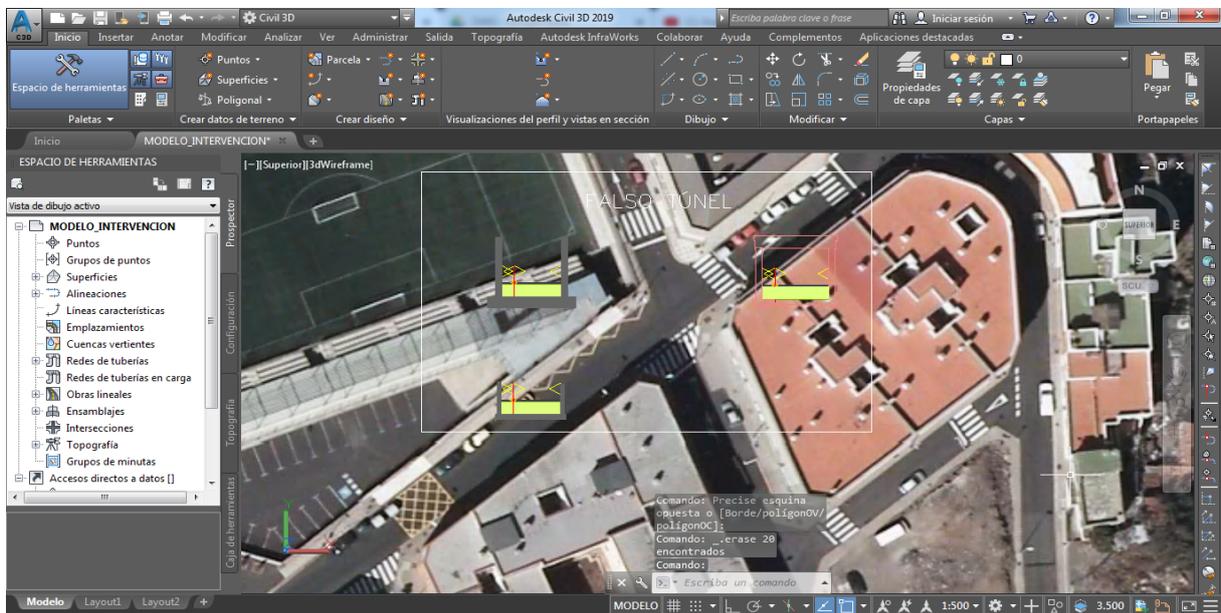


Figura 67. Creación de subensamblajes mediante polilíneas. Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.9. Cálculo de volúmenes

Se ha estimado oportuno, para el desarrollo del presente trabajo, efectuar el cálculo de los volúmenes de desmonte y terraplén que previsiblemente se generarán en el proceso de intervención previsto en el ámbito en estudio, con el fin de llevar a cabo la verificación posterior de los mismos con los obtenidos por el método de cálculo tradicional.



Para ello, una vez finalizado el modelo, se hace uso de una práctica herramienta que posee el programa empleado, Autodesk Civil 3D. La herramienta en cuestión, denominada “centro de controles de volúmenes”, consiste en un cuadro de diálogo que permite analizar superficies de volumen y las áreas delimitadas de estas superficies (Autodesk Knowledge Network, 2018).

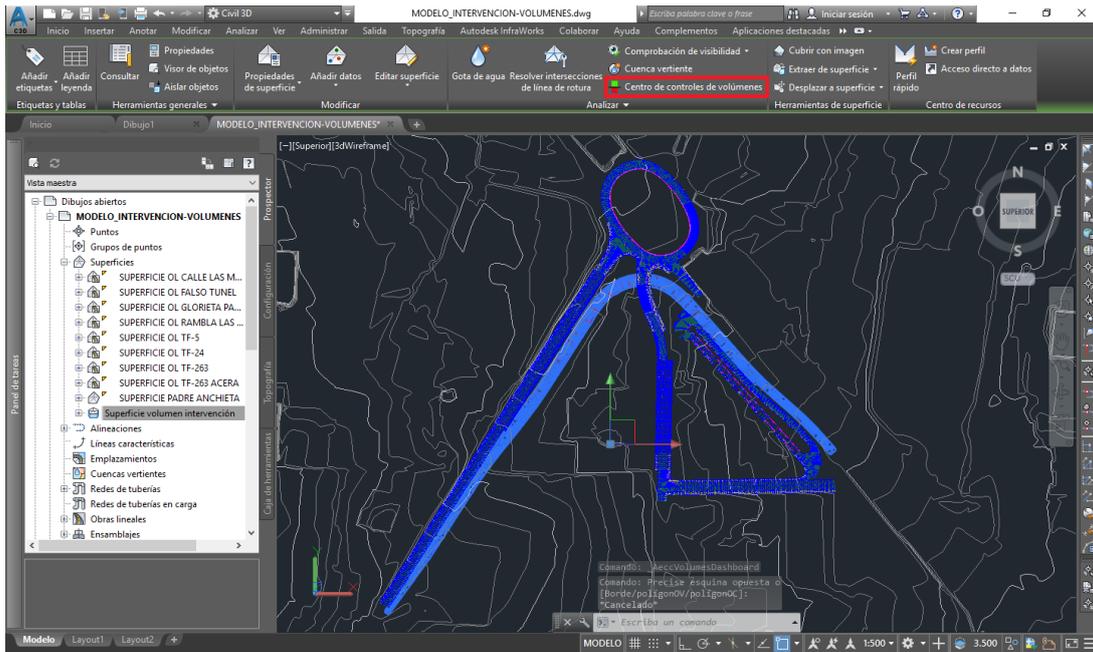


Figura 68. Herramienta “Centro de controles de volúmenes”. Fuente: Elaboración propia

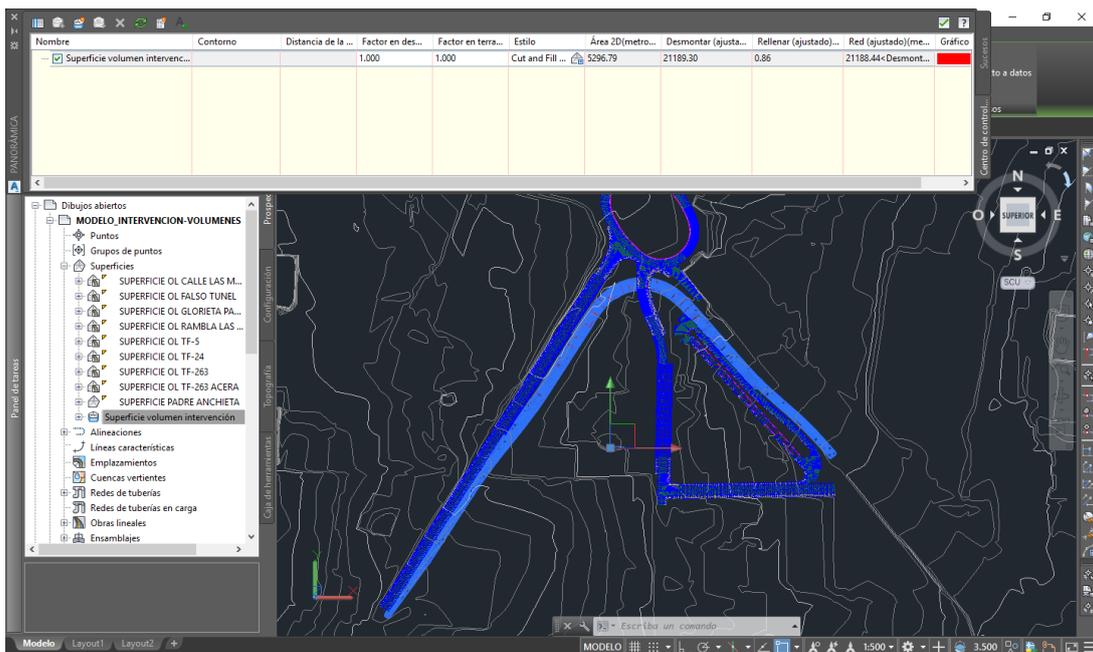


Figura 69. Cuadro de diálogo de la herramienta “Centro de controles de volúmenes”. Fuente: Elaboración propia



Una vez que se abre el cuadro de diálogo, hay que crear una nueva superficie de volúmenes, pulsando sobre el icono que se muestra en la siguiente imagen:

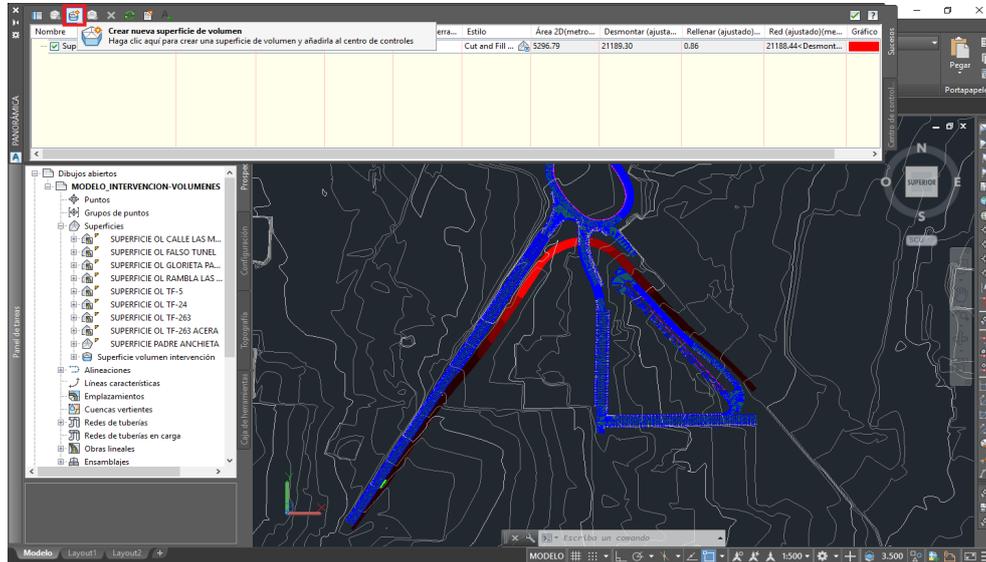


Figura 70. Creación de nueva superficie de volumen. Fuente: Elaboración propia

Aparece entonces en la pantalla una ventana emergente en la que habrá que especificar el tipo de superficie de la que se trata (de volumen de rejilla o de volumen TIN), el nombre, una descripción (opcional), el estilo de visualización y, lo más fundamental, la superficie de base (que correspondería al terreno natural, aquí denominado "Superficie Padre Anchieta") y la superficie de comparación, esto es, la superficie asociada a la obra lineal de la intervención.

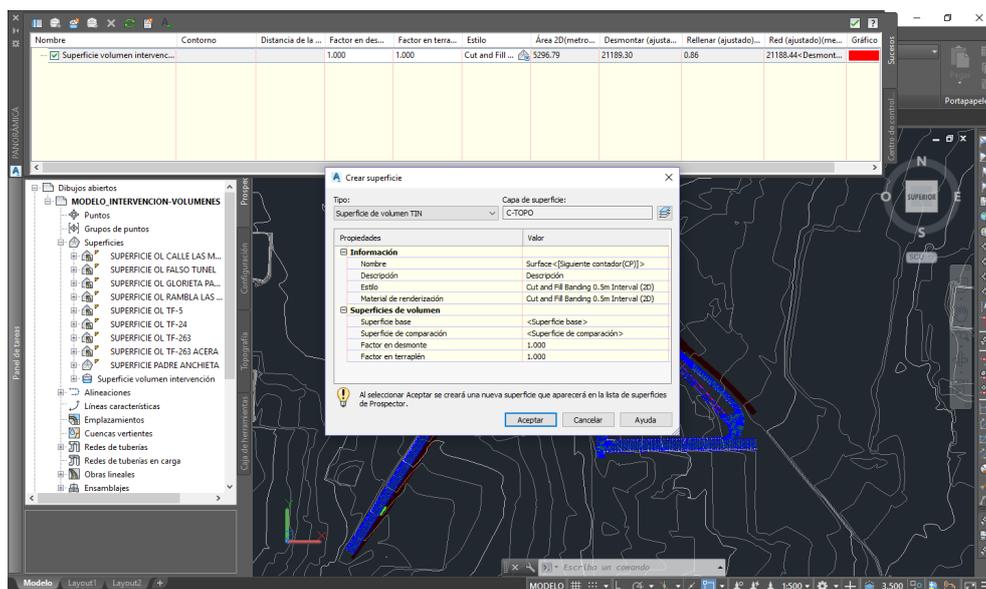


Figura 71. Especificación de los datos de la nueva superficie de volumen. Fuente: Elaboración propia



Una vez creada la superficie en cuestión, se realiza un análisis de la misma accediendo al cuadro de diálogo de propiedades. En este caso, se ha elaborado un análisis de las elevaciones con un rango de intervalo con datum. Al ejecutar el análisis, el programa representa de forma visual el desmonte en tonos rojos y el terraplén en tonos verdes, de tal manera que, cuanto más claro sea el matiz, mayor movimiento de tierras se producirá:

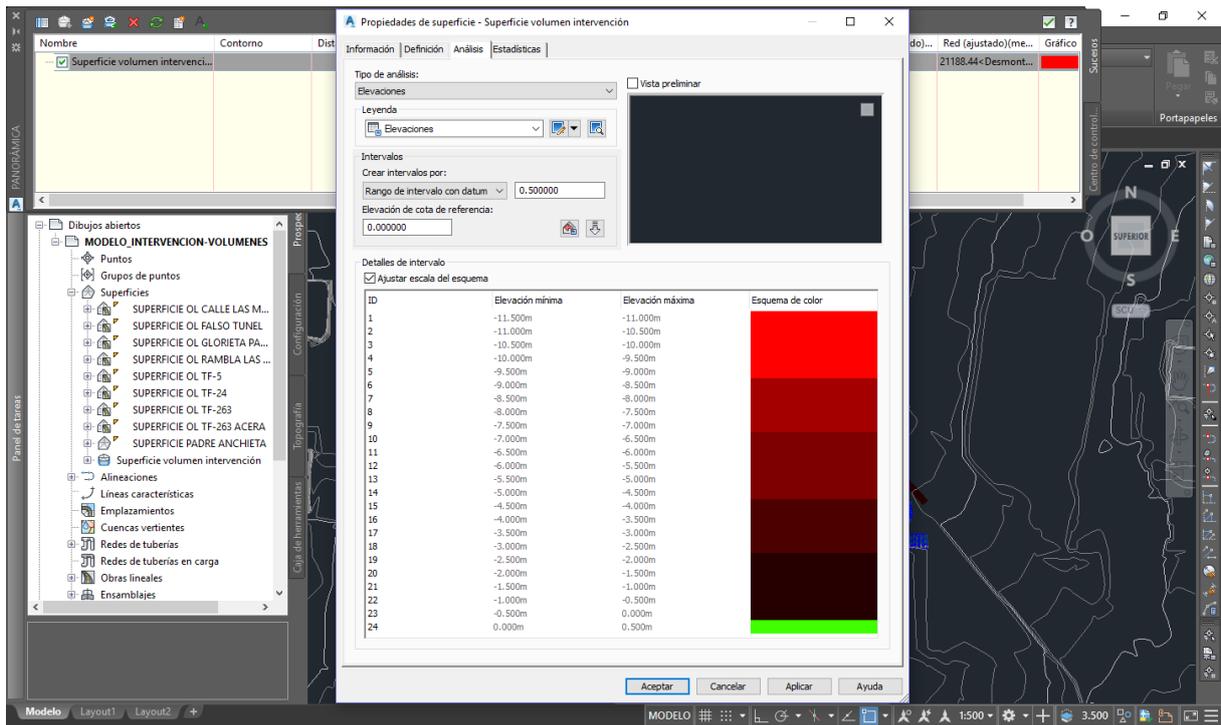


Figura 72. Análisis de la superficie de volumen. Fuente: Elaboración propia

Esta escala de colores también se representa sobre la propia obra lineal, lo cual permite conocer, de manera bastante intuitiva, cuáles serán los tramos más afectados de la obra:

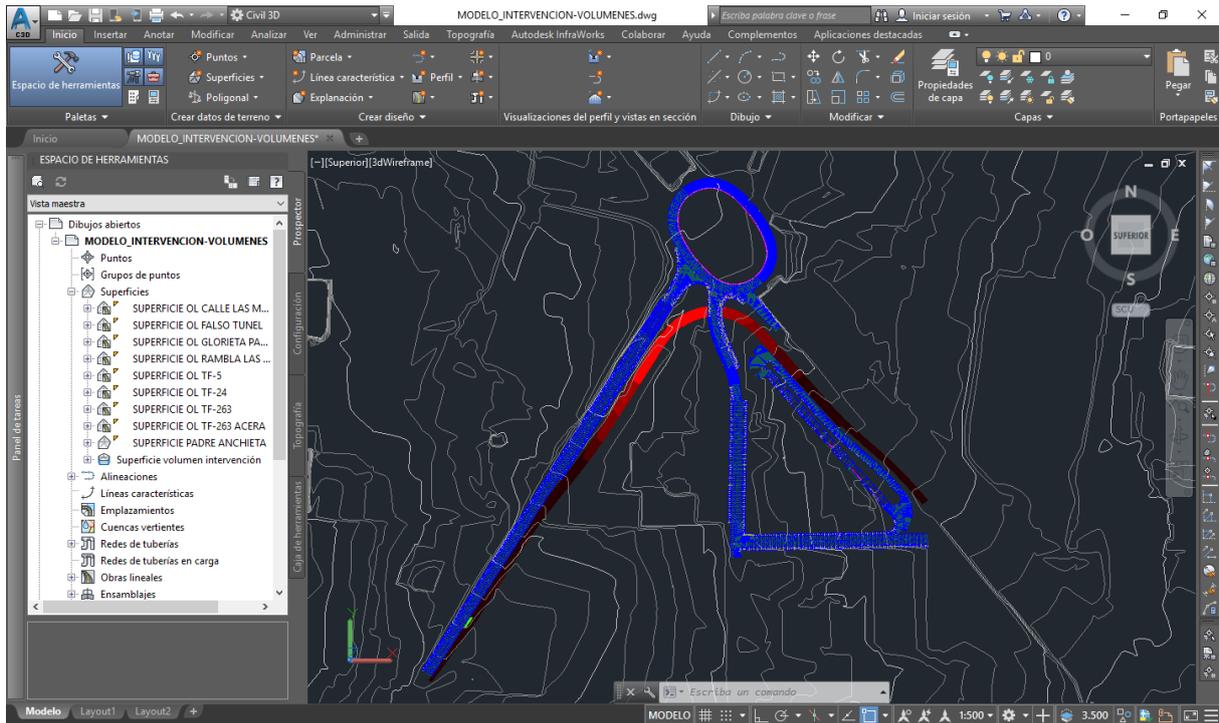


Figura 73. Representación de los volúmenes de desmonte y terraplén sobre la propia obra lineal.

Fuente: Elaboración propia

Tal y como se puede observar en la anterior figura, para la ejecución de la infraestructura en cuestión, dado que se trata de un paso inferior, los volúmenes de desmonte superan con creces los de terraplén. El mayor desmonte se produce del P.K. 0+330 m al P.K. 0+450 m, tramo que coincide claramente con el recorrido del falso túnel.

La superficie analizada consta de 5.296,79 m<sup>2</sup>. Los volúmenes de movimiento de tierras previstos por el programa para la superficie en cuestión son los recogidos en la siguiente tabla:

<b>Desmonte</b>	21.189,30 m <sup>3</sup>
<b>Terraplén</b>	0,86 m <sup>3</sup>

Tabla 3. Volúmenes de desmonte y terraplén de la intervención. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo recogido en el Documento N°4: Presupuesto, del proyecto “Ramal de Acceso directo de la TF-24 a la TF-5, T.M. de San Cristóbal de La Laguna”, el volumen total de excavación en desmonte para la ejecución de la nueva vía es de



37.743,00 m<sup>3</sup>. Se trata de una cifra bastante dispar en comparación con la obtenida por medio del programa. Las causas de ello pueden ser varias: posibles fallos en la cartografía empleada en el proceso de modelado; un escaso nivel de detalle en el modelo ejecutado; o un sobredimensionamiento de los volúmenes en el proyecto de ejecución, dado que el método tradicional de cálculo de volúmenes se basa, en muchos casos, en la aproximación, mientras que Autodesk Civil 3D realiza la medición exacta del volumen correspondiente a la superficie de comparación escogida.

#### **4.4. Exportación del modelo a formato IFC**

Una vez completados ambos modelos, se lleva a cabo su exportación en formato IFC con el fin de que éstos puedan ser visualizados en diferentes visores BIM sin necesidad de utilizar el software empleado para su ejecución. El proceso a seguir, en el caso de Autodesk Civil 3D, no es tan directo como podría ocurrir con otros programas que también hacen uso de la metodología BIM, puesto que requiere de llevar a cabo una operación previa para que la exportación se efectúe con éxito.

Para que el fichero IFC se visualice correctamente en cualquier visor, en primer lugar, hay que extraer los sólidos de las distintas obras lineales que se pretenden exportar. Cuando se crean sólidos en Autodesk Civil 3D, el programa crea también formas y vínculos que coinciden con la forma de construcción de la obra lineal. Estos sólidos pueden usarse para representar gráficamente la masa de una forma de subensamblaje y para extraer propiedades físicas, por ejemplo, volumen (Ayuda de Autodesk Civil 3D 2018, 2018).

El proceso de extracción de sólidos es relativamente sencillo; se selecciona la obra lineal en cuestión, y en la ficha contextual de ésta aparece una herramienta llamada “Extraer sólidos de obra lineal”.

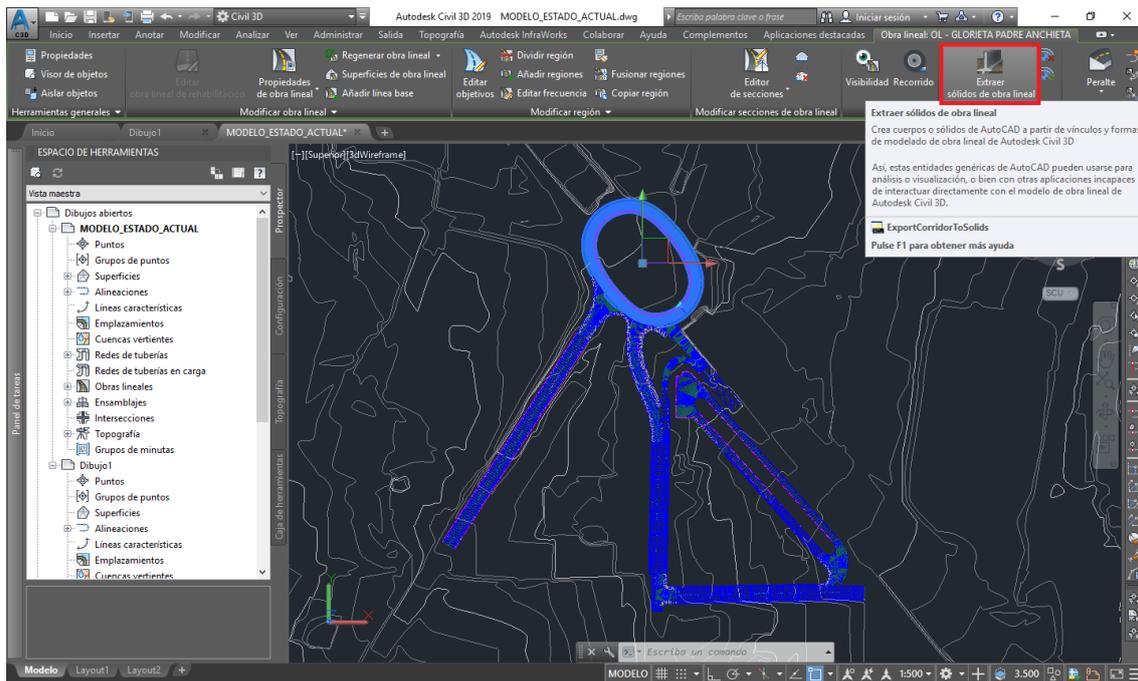


Figura 74. Herramienta “Extraer sólidos de obra lineal”. Fuente: Elaboración propia

Tras pulsar dicho icono, únicamente hay que escoger las regiones de la obra lineal que se pretenden exportar como sólidos, en este caso se han elegido todas las regiones componentes de la misma, y seguir los pasos indicados en la ventana emergente.

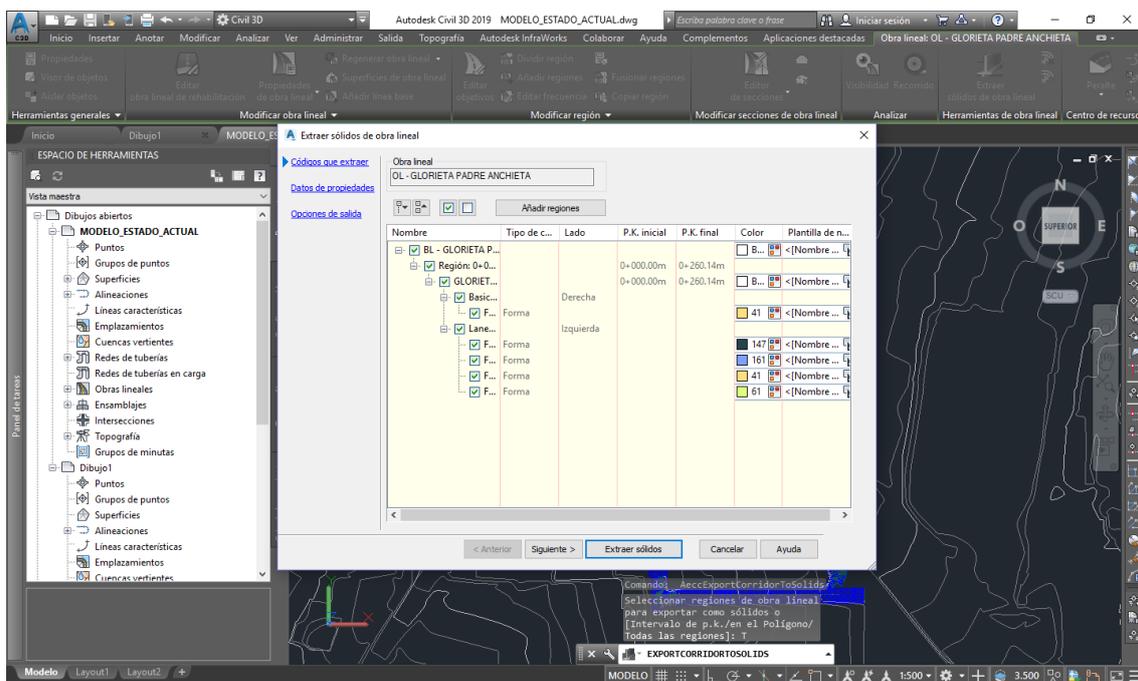


Figura 75. Ventana emergente de la herramienta “Extraer sólidos de obra lineal”. Fuente: Elaboración propia



Una vez extraídos los sólidos de todas las obras lineales del modelo, se procede a exportar el mismo a IFC. Para ello, se accede al menú de aplicación del programa y se selecciona “Exportar a IFC”.

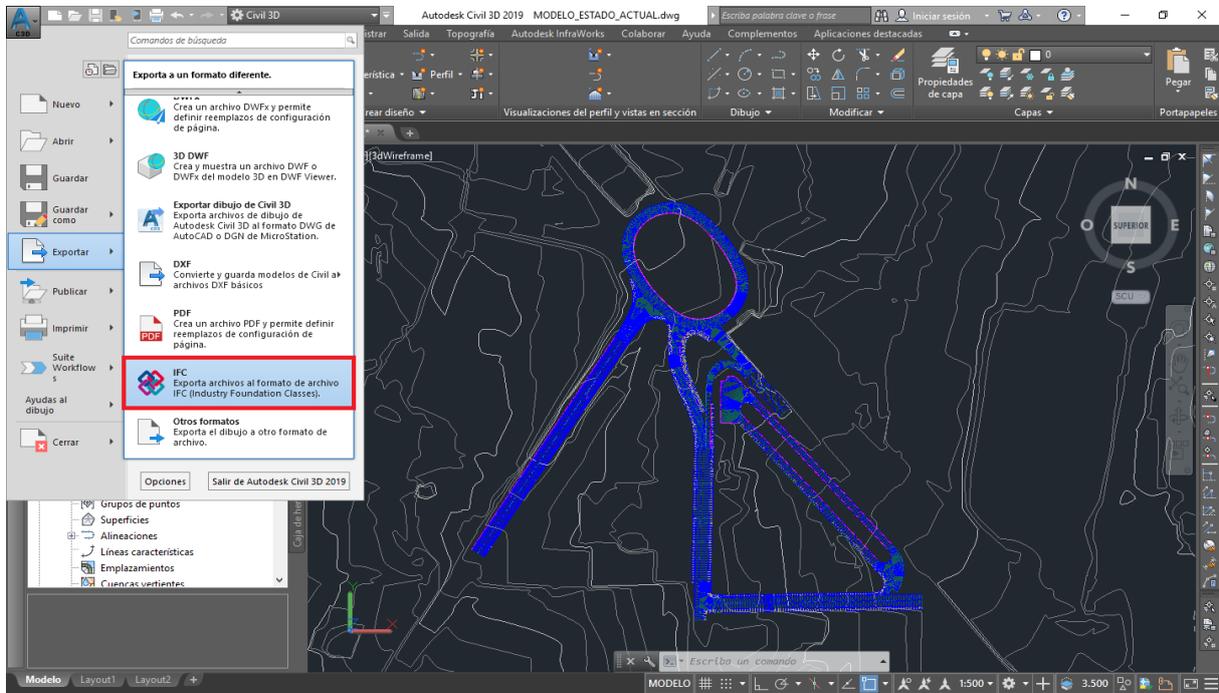


Figura 76. Exportación a IFC del modelo. Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que, si bien se ha probado a realizar la exportación en las tres versiones de IFC que ofrece Autodesk Civil 3D (IFC 2x3, IFC 4 e IFC 4x1), la única que ha permitido la visualización posterior del modelo en los visores utilizados ha sido la versión IFC 2x3, debido a que las otras dos no se encuentran totalmente desarrolladas para los proyectos del ámbito de la Ingeniería Civil, por lo que la compatibilidad que ofrecen, en estos casos, es bastante reducida.

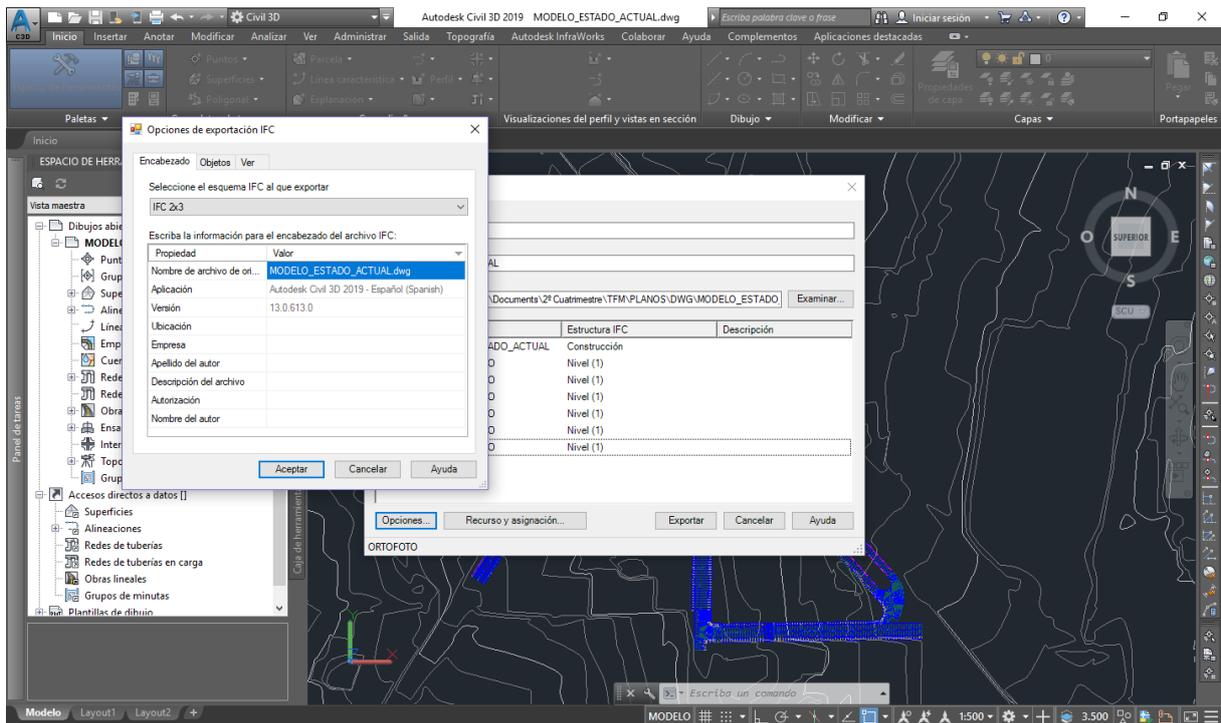


Figura 77. Selección de la versión de IFC para la exportación. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen los resultados obtenidos tras la apertura de los modelos exportados en los correspondientes visores escogidos.

## 4.5. Visores BIM

Los visores BIM son programas informáticos que permiten, tal y como su nombre indica, la visualización de modelos BIM en formato IFC. En función del visor utilizado, este formato puede ser IFC 2x3, IFC 2x4 o IFC 4.

La importancia de estos visores radica en que, al usar el formato de intercambio IFC, cualquier usuario puede visualizar el modelo sin necesidad de disponer del programa raíz con el que éste se haya llevado a cabo.

Hoy en día son muchos los visores existentes, aunque para este proyecto los softwares de estudio han sido: Solibri Model Viewer, Naviswork Manage y BIMVision.



### 4.5.1. Naviswork Manage 2018

El software Naviswork Manage pertenece a la familia de programas de entorno BIM del desarrollador de programas Autodesk. Se trata de un programa que permite gestionar diversos modelos al mismo tiempo, dando la posibilidad a los agentes intervinientes en el proceso de construcción de identificar, revisar y corregir todos los problemas que el modelo BIM de construcción pueda tener anteriormente a su construcción. Esto conlleva un considerable ahorro de costes y evita retrasos en la fase de obra.

Además, permite que archivos modelados en distintas plataformas se combinen en un solo archivo, para su coordinación y revisión.

También ofrece la posibilidad de obtención de mediciones del modelo o modelos importados, así como, la organización temporal de la construcción del proyecto y generación de simulaciones de construcción (EADIC, 2019).

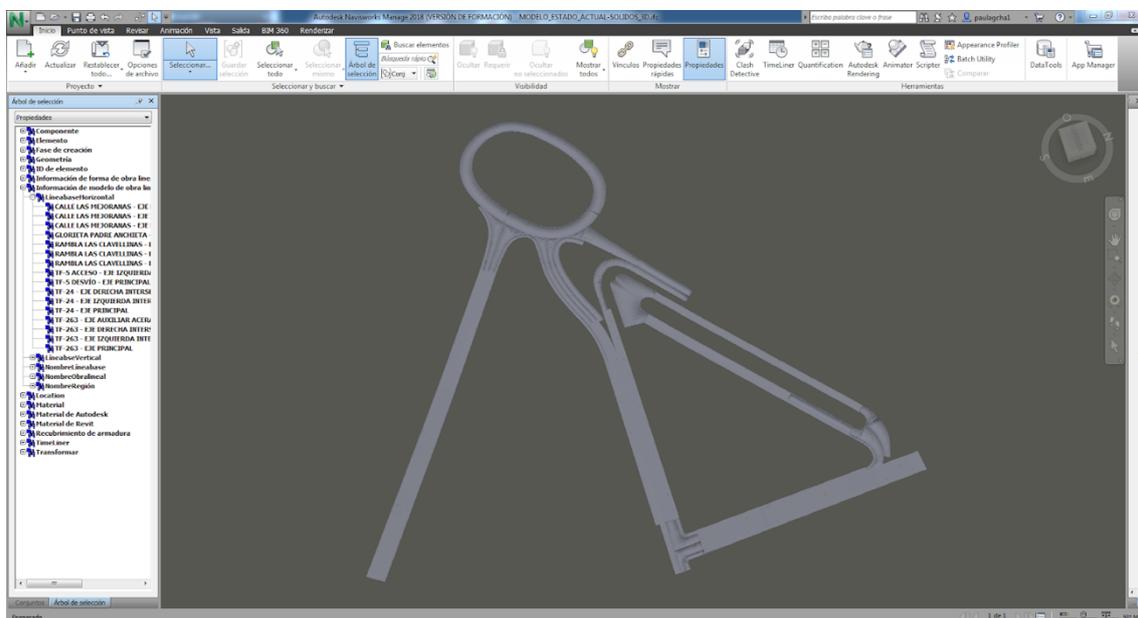


Figura 78. Modelo del estado actual visualizado en Naviswork Manage 2018. Fuente: Elaboración propia

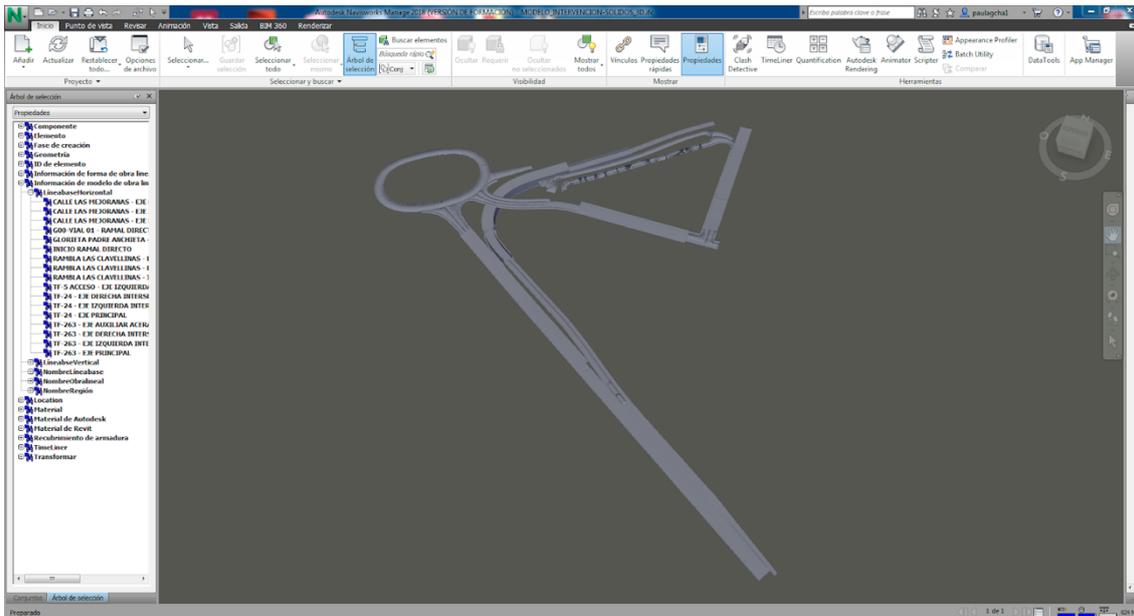


Figura 79. Modelo de la intervención visualizado en Naviswork Manage 2018. Fuente: Elaboración propia

La importación del archivo IFC, en su versión 2x3, se ha producido de forma correcta, tal y como se adelantaba anteriormente, aunque en ambos casos éstos se han cargado sin texturas y sin triangulación alguna de las superficies.

En la pestaña “propiedades” del árbol de selección del programa, situado en la franja izquierda de la pantalla, se pueden observar todos los componentes del modelo (en el caso de las anteriores figuras, los elementos que se muestran en el cuadro de diálogo son las diferentes alineaciones creadas), lo cual permite concluir que no se ha producido pérdida alguna de información.



Figura 80. Cuadro de diálogo de Naviswork Manage 2018 (detalle). Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.2. BIM Vision

BIM Vision es un visor de modelos IFC freeware, esto es, sin coste por licencia. Permite visualizar modelos virtuales procedentes de sistemas de CAD como Revit, Archicad, Advance, DDS-CAD, Tekla, Nemetschek VectorWorks, Bentley, Allplan y otros, sin necesidad de una licencia comercial de estos sistemas.

BIM Vision visualiza los modelos BIM creados a partir del formato IFC 2x3 y 2x4. Además, ofrece la posibilidad de añadir plugins a su interfaz. Los principales beneficios que aporta este software son:



- Optimización del tiempo y el esfuerzo.
- Mitigación del riesgo.
- Mejora de la calidad.
- Comunicación mejorada entre los participantes del proyecto.

Actualmente se encuentra en fase de desarrollo la posibilidad de trabajar con este software con ficheros en formato IFC4 (BIM Vision, s.f.).

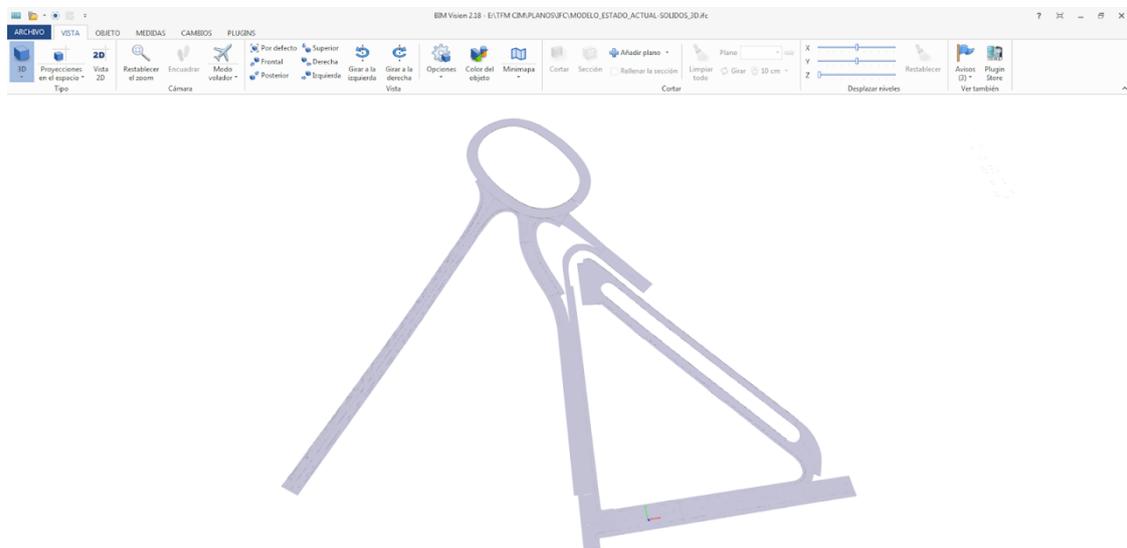


Figura 81. Modelo del estado actual visualizado en BIM Vision. Fuente: Elaboración propia

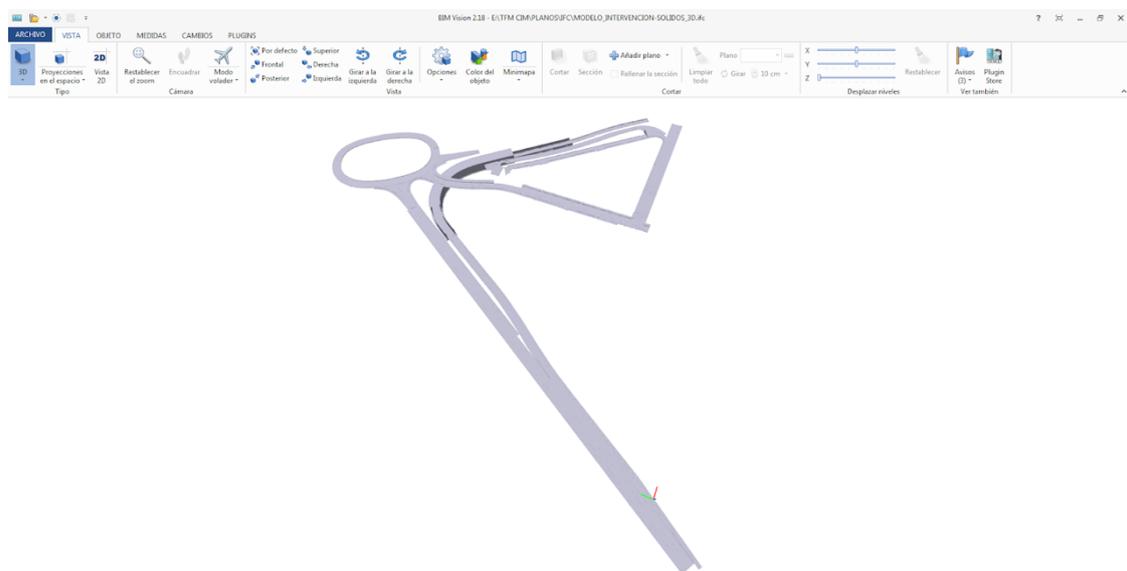


Figura 82. Modelo de la intervención visualizado en BIM Vision. Fuente: Elaboración propia



Tal y como ocurre con la importación a Naviswork, los modelos en formato IFC 2x3 se cargan sin texturas, si bien, en este caso, la superficie de las diferentes obras lineales se encuentra triangulada.

Si se abre el desplegable de la estructura del archivo IFC, se puede observar que el software detecta el conjunto del modelo como un único edificio conformado por diferentes elementos constructivos indeterminados que son las obras lineales.

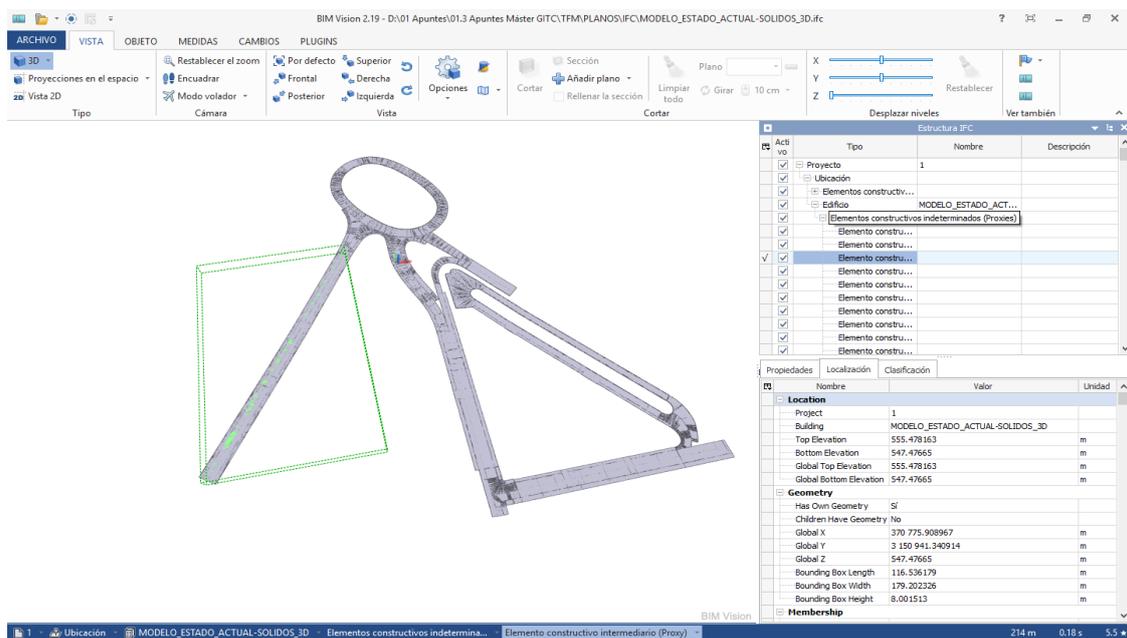


Figura 83. Propiedades del modelo visualizado en BIM Vision. Fuente: Elaboración propia

Se concluye, por tanto, que, aunque la importación es bastante precisa a nivel visual, existe pérdida de información, dado que el programa es incapaz de reconocer correctamente los diferentes elementos que componen el conjunto del modelo, tal y como se observa en la Figura 83.



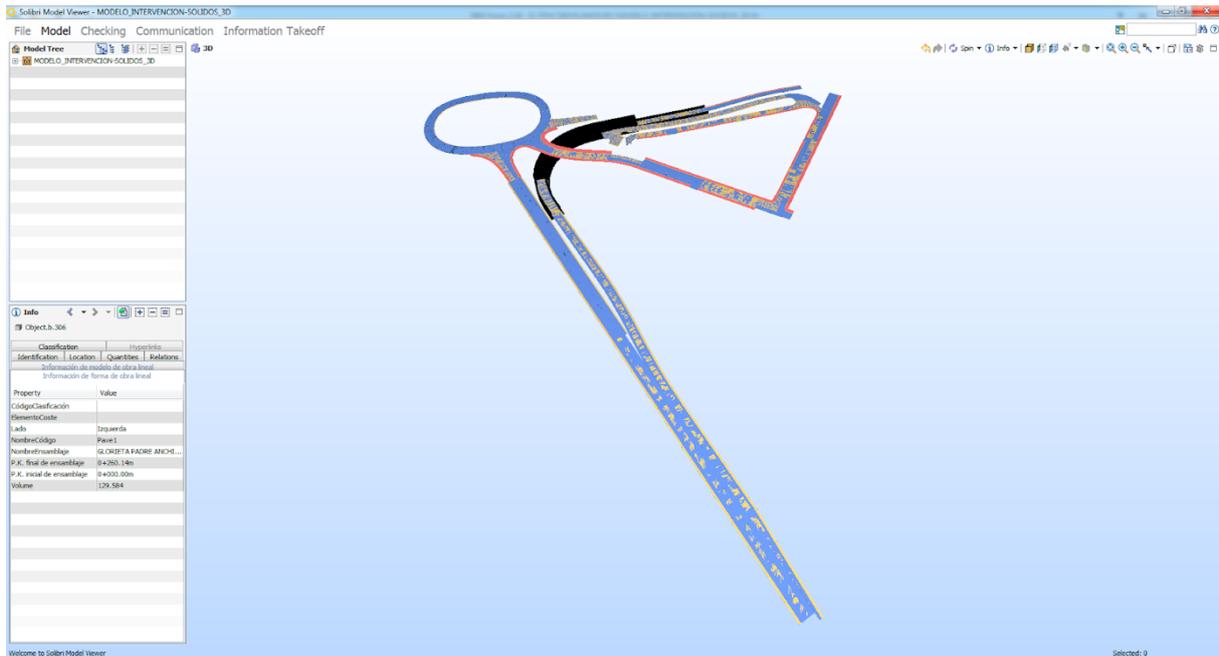


Figura 86. Modelo de la intervención visualizado en Solibri. Fuente: Elaboración propia

Este visor presenta una estructura similar al BIM Vision, con una interfaz sencilla e intuitiva en la que las alineaciones se asimilan a edificios y las superficies de las distintas obras lineales aparecen sin texturas y sin triangular.

Una de las mayores ventajas que posee este software es la facilidad con la que permite analizar la información del modelo. Seleccionando cualquiera de las entidades del mismo, el programa muestra, en el lateral izquierdo de la pantalla un cuadro de diálogo con los datos más relevantes de la obra lineal: el nombre de los ensamblajes utilizados y su código, el lado de colocación de los mismos con respecto a la alineación o eje, los P.K. de inicio y final de cada uno de los tramos de ensamblaje empleados, y el volumen total de dicho tramo. No obstante, y en contraposición, cabe destacar que no es capaz de detectar el código del ensamblaje correctamente, ya que, en el ejemplo que se muestra en la Figura 87, ha detectado únicamente el código de la primera capa de uno de los subensamblajes utilizados "Pave 1", cuando lo óptimo habría sido que detectase el código del ensamblaje completo o, en su defecto, del subensamblaje del que forma parte la capa en cuestión.



Classification		Hyperlinks	
Identification	Location	Quantities	Relations
Información de modelo de obra lineal			
Información de forma de obra lineal			
Property	Value		
CódigoClasificación			
ElementoCoste			
Lado	Izquierda		
NombreCódigo	Pave1		
NombreEnsamblaje	GLORIETA PADRE ANCHI...		
P.K. final de ensamblaje	0+260.14m		
P.K. inicial de ensamblaje	0+000.00m		
Volume	129.584		

Figura 87. Propiedades de la obra lineal de la glorieta Padre Anchieta en Solibri. Fuente: Elaboración propia

## 4.6. Propuesta de sistema de clasificación BIM

Se propone, en el presente estudio, la realización de una estructuración de la información contenida en los diferentes modelos elaborados en base al estándar de la GuBIMclass v.1.2. Éste es un sistema de clasificación de elementos de construcción de acuerdo a su función principal dentro de un entorno BIM.

Su objetivo es el de crear un sistema de clasificación que cumpla principalmente con las necesidades de la construcción en España, si bien esto no significa que el sistema no pueda ser utilizado en otros países en los que su empleo se considere conveniente (GuBIMclass, s.f.).

Un sistema de clasificación es una forma de ordenar que se aplica para categorizar conceptos (cosas). Es un procedimiento que facilita la agrupación de objetos buscando atributos o propiedades comunes entre ellos. Los sistemas de clasificación en entornos BIM sirven para organizar el contenido de los modelos en base a un criterio que facilite la ordenación, identificación y localización de los

objetos que componen dichos modelos (GuBIMCat, 2012). En la Figura 88 se muestran ejemplos de sistemas de clasificación en entornos BIM desarrollados en diferentes países:



Figura 88. Sistemas de clasificación en entornos BIM. Fuente: Elaboración propia

La clasificación de elementos GuBIMclass es fruto del trabajo colaborativo realizado por los miembros del Grupo de Usuarios BIM de Cataluña (GuBIMCat), después de haber estudiado los diferentes sistemas de clasificación internacionales (GuBIMCat, 2012).

GuBIMclass permite estructurar el modelo con una base conocida y compartida por todos los agentes intervinientes, lo que facilita los siguientes aspectos:

- Fijar requerimientos sobre cada elemento de los modelos.
- Controlar y conocer el contenido de los modelos.
- Facilitar las revisiones y el seguimiento de los modelos en base a una estructura conocida.
- Planificar y facilitar pautas para la coordinación y análisis de colisiones del modelo.



- Facilitar las gestiones y especificaciones de los objetos del modelo desde un enfoque amplio hasta uno más detallado.
- Facilitar la interoperabilidad semántica, es decir, que todo el mundo nombre las cosas de la misma forma.
- Garantizar la transferencia de información a fases posteriores con un marco claro y bien estructurado que facilite el mapeado con otros sistemas de clasificación.

Este sistema de clasificación se encuentra dividido en nueve grandes grupos, y cada uno de ellos posee, a su vez, cuatro niveles. Estos grupos son:

1. Trabajos previos y replanteo general (Código 00).
2. Adecuación del terreno y sustentación del edificio (Código 10).
3. Sistema estructural (Código 20).
4. Sistema de envolvente y de acabados exteriores (Código 30).
5. Sistemas de compartimentación y de acabados interiores (Código 40).
6. Sistemas de acondicionamiento, instalaciones y servicios (Código 50).
7. Equipamientos y mobiliario (Código 60).
8. Urbanización de los espacios exteriores (Código 70).
9. Construcciones e instalaciones temporales (Código 80).

Si bien el grupo “Urbanización de los espacios exteriores” engloba algunos de los componentes propios del ámbito de la Ingeniería Civil, tras un breve análisis del sistema de clasificación, se puede deducir que éste se encuentra enfocado al sector de la edificación. Por tanto, para su aplicación al presente estudio, es necesario efectuar una adaptación del mismo, creando un conjunto de grupos que recojan los elementos más característicos de una infraestructura viaria junto con su código.



<b>70</b>	<b>Urbanización de los espacios exteriores</b>
<b>70.10</b>	<b>Elementos de cimentación, contención de tierras y elementos estructurales</b>
70.10.10	Cimientos para elementos de urbanización
70.10.10.10	Zapatas para elementos de urbanización
70.10.10.20	Cimentación especial para elementos de urbanización
<b>70.10.20</b>	<b>Muros de urbanización</b>
70.10.20.10	Muros in-situ de urbanización
70.10.20.20	Muros prefabricados de urbanización
70.10.20.30	Muros de gravedad
70.10.20.40	Muro tierra armada
70.10.20.50	Muro de gaviones
70.10.30	Otros elementos estructurales de urbanización
<b>70.20</b>	<b>Elementos de cierres y protección de urbanización</b>
70.20.10	Cierres de parcela
70.20.20	Barreras móviles
70.20.30	Pilonas
<b>70.30</b>	<b>Firmes y pavimentos</b>
70.30.10	Bases y subbases
70.30.20	Pavimentos peatonales
70.30.30	Pavimentos para tráfico rodado
70.30.40	Escalonamientos de urbanización
70.30.50	Rampas de urbanización
<b>70.40</b>	<b>Instalaciones y servicios</b>
<b>70.40.10</b>	<b>Alumbrado</b>
70.40.10.10	Luminarias y báculos
70.40.10.20	Elementos de balizamiento
70.40.10.30	Elementos de la red y control
<b>70.40.20</b>	<b>Riego y abastecimiento de fuente</b>
70.40.20.10	Canalizaciones de riego
70.40.20.20	Accesorios de riego
70.40.20.30	Arquetas de riego
<b>70.40.30</b>	<b>Drenaje</b>
70.40.30.10	Canalizaciones de drenaje
70.40.30.20	Rejas y buneras
70.40.30.30	Arquetas y pozos de drenaje
<b>70.50</b>	<b>Jardinería</b>
<b>70.50.10</b>	<b>Plantaciones</b>
70.50.10.10	Arbolados
70.50.10.20	Césped
70.50.10.30	Arbustivas
<b>70.50.20</b>	<b>Parterres</b>
70.50.20.10	Parterres fijos
70.50.20.20	Parterres móviles
<b>70.60</b>	<b>Mobiliario urbano y elementos de señalización</b>
70.60.10	Mobiliario exterior
70.60.20	Juegos infantiles
70.60.30	Mobiliario exterior especial
70.60.40	Señalización horizontal
70.60.50	Señalización vertical

Figura 89. Grupo “Urbanización de los espacios exteriores” de la GuBIMclass. Fuente: GuBIMCat, (2012)

Para elaborar este esquema, se escogen como referencia los capítulos y partidas presupuestarias más relevantes del proyecto **“Ramal de Acceso directo de la TF-24 a la TF-5, T.M. de San Cristóbal de La Laguna”**.



Código	Capítulo del presupuesto
1	Demoliciones
2	Explanaciones
3	Drenaje
4	Firmes y pavimentos
5	Estructuras y muros
6	Señalización, balizamiento y defensas

Tabla 4. Capítulos del presupuesto del proyecto de ejecución (extracto). Fuente: Proyecto de “Ramal de Acceso directo de la TF-24 a la TF-5, T.M. de San Cristóbal de La Laguna”

Código	Nombre
90	Adecuación del terreno
100	Red de evacuación de aguas pluviales
110	Sistema estructural
120	Firmes y pavimentos
130	Señalización, balizamiento y defensas

Tabla 5. Primer nivel de la clasificación propuesta. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la estructura del sistema propuesto difiere ligeramente de la del presupuesto del proyecto empleado como base en este estudio. Ello se hace con el fin de adecuar dicha estructura a la del sistema de clasificación de la GuBIMclass.

La clasificación planteada tendrá, igualmente cuatro niveles, aunque habrá grupos que, por su grado de detalle, solo abarcarán tres de ellos. La siguiente tabla recoge la clasificación prevista en base al presupuesto del proyecto de ejecución empleado como base para el desarrollo de este estudio:



SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS					
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Código Completo	Descripción
<b>90</b>				<b>90</b>	<b>Adecuación del terreno</b>
90	10			90.10	Demoliciones
90	10	10		90.10.10	Demoliciones con medios mecánicos
90	10	10	10	90.10.10.10	Demolición de elementos de cualquier tipo
90	10	10	20	90.10.10.20	Demolición de edificaciones en volumen aparente
90	20			90.20	Explanaciones
90	20	10		90.20.10	Desbroce y limpieza superficial en cualquier tipo de terreno, por medios mecánicos
90	20	20		90.20.20	Excavación en desmonte en todo tipo de terreno, por medios mecánicos
90	20	30		90.20.30	Hormigón en masa de limpieza y nivelación
90	20	40		90.20.40	Terraplén con materiales procedentes de la excavación o préstamos, por medios mecánicos
<b>100</b>				<b>100</b>	<b>Red de evacuación de aguas pluviales</b>
100	10			100.10	Canales de hormigón
100	10	10		100.10.10	Cuneta de sección triangular, de 1,25 m de ancho y 0,25 m de profundidad
<b>110</b>				<b>110</b>	<b>Sistema estructural</b>
110	10			110.10	Pantallas
110	10	10		110.10.10	Micropilotes
110	10	10	10	110.10.10.10	Viga de atado para cortina de micropilotes
110	10	10	20	110.10.10.20	Micropilote autoportante para sostenimiento de talud
110	10	20		110.10.20	Anclajes
110	10	20	10	110.10.20.10	Anclaje tipo 8A (25 mm de diámetro)
110	10	20	20	110.10.20.20	Parte fija del anclaje tipo 8A
110	10	20	30	110.10.20.30	Viga de atado para cortina de anclajes
110	20			110.20	Cajón
110	20	10		110.20.10	Hormigón en masa en solera
110	20	20		110.20.20	Malla electrosoldada de acero B 500 T
110	20	30		110.20.30	Hormigón para armar en estructuras HA-30/B/20/IIIa
110	20	40		110.20.40	Encofrado plano oculto de madera en cimientos
110	20	50		110.20.50	Acero en barras corrugadas B 500 S
110	20	60		110.20.60	Suministro y colocación de piezas prefabricadas de HA-40/AC/12/IIIa en formación de hastiales
110	20	70		110.20.70	Suministro y colocación de vigas prefabricadas de HA-30/B/20/IIIa en formación de dintel
110	20	80		110.20.80	Prelosa para encofrado perdido en tablero de vigas
110	20	90		110.20.90	Viga de HA-30/B/25/IIa para refuerzo de contacto dintel-hastial
110	30			110.30	Muros de hormigón armado
110	30	10		110.30.10	Hormigón para armar en estructuras HA-30/B/20/IIIa
110	30	20		110.30.20	Encofrado plano oculto de madera en cimientos
110	30	30		110.30.30	Encofrado plano visto de madera en alzados
110	30	40		110.30.40	Acero en barras corrugadas B 500 S
110	30	50		110.30.50	Placa de anclaje para apoyo de vigas antideslumbramiento en salida de falso túnel
110	40			110.40	Losas de transición
110	40	10		110.40.10	Hormigón en masa de limpieza y nivelación
110	40	20		110.40.20	Hormigón para armar en estructuras HA-30/B/20/IIIa
110	40	30		110.40.30	Encofrado plano oculto de madera en cimientos
110	40	40		110.40.40	Acero en barras corrugadas B 500 S
<b>120</b>				<b>120</b>	<b>Firmes y pavimentos</b>
120	10			120.10	Firmes
120	10	10		120.10.10	Zahorra artificial en formación de bases
120	10	20		120.10.20	Solera de hormigón armada con malla electrosoldada de 5 mm de diámetro
120	10	30		120.10.30	Emulsión bituminosa tipo C50BF5 IMP, empleada en riego de imprimación
120	10	40		120.10.40	Árido de cobertura para riegos bituminosos
120	10	50		120.10.50	Emulsión bituminosa tipo C60B4 TER, empleada en riego de adherencia y curado
120	10	60		120.10.60	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC 16 surf 50/70 D, en capa de rodadura
120	10	70		120.10.70	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC 22 base 50/70, en capa base
120	20			120.20	Pavimentos
120	20	10		120.20.10	Hormigón en masa en formación de solera
120	20	20		120.20.20	Pavimento de loseta de hormigón visto, tratamiento anticapa, achafianado
120	20	30		120.20.30	Solado de baldosa hidráulica táctil de tacos/botones, especial vados peatonales
120	20	40		120.20.40	Bordillo recto o curvo de hormigón monocapa de sección normalizada C-2
120	20	50		120.20.50	Bordillo recto o curvo de hormigón monocapa de sección normalizada A-1
<b>130</b>				<b>130</b>	<b>Señalización, balizamiento y defensas</b>
130	10			130.10	Señalización horizontal
130	10	10		130.10.10	Marcas viales
130	10	10	10	130.10.10.10	Marca vial reflectante formada por línea blanca de 0,10 m de ancho
130	10	10	20	130.10.10.20	Marca vial reflectante formada por línea blanca de 0,30 m de ancho
130	10	10	30	130.10.10.30	Marca vial reflectante formada por línea blanca de 0,50 m de ancho
130	10	10	40	130.10.10.40	Marca vial reflectante para signos
130	20			130.20	Señalización vertical
130	20	10		130.20.10	Señal vertical triangular de chapa de acero de 1,8 mm de espesor
130	20	20		130.20.20	Señal vertical circular de chapa de acero de 1,8 mm de espesor
130	20	30		130.20.30	Señal vertical cuadrada de chapa de acero de 1,8 mm de espesor
130	10			130.10	Balizamiento y defensas
130	30	10		130.30.10	Banda sonora en línea blanca de 0,10 m de ancho
130	30	20		130.30.20	Hito de vertice, indicación de divergencia, de 120 cm de ancho
130	30	30		130.30.30	Baliza cilíndrica de 750 mm de altura
130	30	40		130.30.40	Captafaro retroreflector de utilización permanente
130	30	50		130.30.50	Barrera de seguridad de hormigón armado, tipo NJ-160
130	30	60		130.30.60	Barrera móvil tipo New Jersey
130	30	70		130.30.70	Pretil de hormigón tipo PXPJ6/12-14C

Figura 90. Sistema de clasificación propuesto. Fuente: Elaboración propia



A continuación, se procede a organizar de forma simplificada los elementos de los modelos generados en base al sistema de clasificación propuesto:

Elemento		Código	Descripción
Acera		120.20.20	Pavimento de loseta de hormigón visto, tratamiento anticapa, achaflanado
Bordillo		120.20.40	Bordillo recto o curvo de hormigón monocapa de sección normalizada C-2
Cuneta		100.10.10	Cuneta de sección triangular, de 1,25 m de ancho y 0,25 m de profundidad
Firme	Rodadura	120.10.60	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC 16 surf 50/70 D, en capa de rodadura
	Base	120.10.70	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC 22 base 50/70, en capa base
	Subbase	120.10.10	Zahorra artificial en formación de bases

Tabla 6. Clasificación de los componentes de los modelos realizados según propuesta. Fuente:  
Elaboración propia

## 5. Resultados

Del proceso de ejecución y análisis de los modelos del estado actual y la intervención en el ámbito en estudio se desprende lo siguiente:

En cuanto a las nubes de puntos, es posible obtener a partir de ellas una cartografía lo suficientemente fiable para ser utilizada como base del modelo a efectuar. Además, los softwares de uso libre ofrecen unas prestaciones y un rendimiento suficientemente adecuados para su correcta manipulación. La ventaja de hacer uso de las nubes de puntos como herramienta de la metodología BIM radica, además,



en la posibilidad de realizar las mediciones necesarias para llevar a cabo el modelo en cualquier lugar sin necesidad de acudir a la zona de actuación.

En lo que al modelado se refiere, se ha observado que Autodesk Civil 3D es un software que funciona apropiadamente para la creación de modelos de elementos propios del ámbito de la Ingeniería Civil. No obstante, faltan en su interfaz herramientas que permitan desarrollar adecuadamente infraestructuras lineales de tipología distinta a la de una carretera, como pueden ser los túneles. Además, se trata de un programa que consume una elevada cantidad de recursos informáticos, por lo que su uso no es adecuado en equipos con escasas prestaciones.

Respecto a la exportación de los modelos al formato de archivos IFC, cabe destacar que no se trata de un proceso directo cuando se trabaja con Autodesk Civil 3D, puesto que, para poder visualizarlos posteriormente de forma correcta, es necesario extraer primero los sólidos de las distintas obras lineales. Además de lo anterior, debe escogerse adecuadamente la versión de IFC a la que pretenden exportarse los archivos, puesto que no todas las versiones existentes están optimizadas para modelos de infraestructuras lineales, ni son aptas para ser visualizadas en cualquier software. Esto último es fundamental, ya que se ha observado, inclusive, una considerable pérdida de información del modelo al tratar de abrirlo con otros programas bajo formato IFC, como por ejemplo BIM Vision, que no reconoce correctamente los componentes de las distintas obras lineales, o Solibri, que asigna de manera errónea los códigos de los subensamblajes. En contraposición a los anteriores visores mencionados se encuentra Naviswork, que, si bien interpreta de forma adecuada la información contenida en los modelos, no visualiza correctamente los mismos, de tal manera que algunas de las obras se muestran deformadas.

## 6. Conclusiones

Tras el período de recopilación de información relativa al empleo de las herramientas de la metodología BIM en el ámbito de la Ingeniería Civil, se observa una clara falta de la misma; casi toda la información recopilada en catálogos como



PuntoQ (Universidad de La Laguna), Recolecta (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, Red de Bibliotecas Universitarias) y servidores varios para visualizar trabajos, artículos, tesis, etc., enfoca la metodología BIM al sector de la edificación.

Por otra parte, del proceso de modelado en Autodesk Civil 3D se deduce que, hoy por hoy, este software es válido para el correcto desarrollo de infraestructuras viarias, pero no permite establecer una codificación que mantenga un formato común con la metodología CIM. En este aspecto, es necesario establecer un sistema de clasificación de elementos BIM para el sector de la Ingeniería Civil, puesto que, en la actualidad, los sistemas existentes se enfocan plenamente en la edificación.

Por otra parte, el formato abierto de intercambio IFC aún debe madurar para lograr la preservación de toda la información del modelo al trasladar éste a otro programa. Asimismo, la fiabilidad de la visualización de los modelos en distintos visores BIM depende, en gran medida, de la versión de IFC escogida en el proceso de exportación.

En definitiva, dado que BIM y CIM tienen diferentes dinámicas de modelado, se hace necesario seguir trabajando e investigando acerca de la metodología CIM, con el fin último de crear un conocimiento útil y adecuado que permita desarrollar ésta con total plenitud; no debe tratarse de una mera adaptación de las herramientas manejadas para el modelado de una edificación, puesto que las infraestructuras de una y otra tienen formas de crecimiento distintas (en el primer caso, vertical, y en el segundo, horizontal). Ésta es la clave para poder extraer su potencial y obtener los beneficios que su uso reporta al sector AEC.

Tras llevar a cabo la intervención proyectada, se extrae la conclusión de que, si bien Autodesk Civil 3D es un software que ofrece buenas y diversas herramientas de cara a la creación de obras lineales referidas a infraestructuras viales; a la hora de realizar cualquier otro tipo de infraestructura (túneles, puentes, ...). se encuentran diversas dificultades:

- No existen subensamblajes predestinados para ningún otro tipo de estructura.



- El uso de subensamblajes a partir de polilínea limita la información de la obra lineal.

## 7. Líneas de trabajo futuro

El estudio realizado y expuesto en el presente documento es, únicamente, una breve síntesis o esbozo del conjunto de paradigmas que engloban a la metodología BIM en el ámbito de la Ingeniería Civil. Se trata, por tanto, de un proyecto ampliable que podría llegar a adquirir una gran complejidad, dado que las posibilidades de desarrollo son muy diversas, pudiendo escoger una nueva línea de trabajo o profundizar en la opción seleccionada en este caso.

Se exponen, a continuación, algunas de las líneas de investigación más relevantes que podrían llevarse a cabo, partiendo de este estudio como base.

En primer lugar, sería bastante notable el desarrollo de algún sistema que permitiese el trabajo simultáneo y/o cooperativo entre varios usuarios al hacer uso del software Autodesk Civil 3D –tal y como sucede con otros programas enfocados a la edificación–, puesto que uno de los grandes inconvenientes observados durante el desarrollo de este estudio ha sido la imposibilidad de trabajar a la vez en el mismo modelo desde diferentes equipos, lo cual ha provocado un considerable consumo de tiempo, generando un fuerte impacto en los rendimientos y ritmos de trabajo.

Otra de las opciones de cara a futuros análisis podría ser la mejora y profundización de los modelos elaborados. Teniendo en cuenta que han sido realizados con el objeto de llevar a cabo unas comprobaciones de forma global y a grandes rasgos, su nivel de detalle es bastante reducido, lo que implica que existe margen para su ampliación.

Para finalizar, otra línea de avance discurriría en torno a la codificación o sistema de clasificación de los distintos elementos componentes de los modelos CIM. Una forma conveniente de integrar la normalización y de favorecer el trabajo colaborativo –uno de los fines últimos de esta metodología– sería desarrollar un



procedimiento de categorización específico para el modelado de infraestructuras del ámbito de la Ingeniería Civil, tal y como se aborda brevemente en este estudio.



## 8. Bibliografía

- [1] 3D CAD Portal. (2013). *¿Qué es Autodesk ReCap?* Recuperado de:  
<http://www.3dcadportal.com/que-es-autodesk-recap.html>
- [2] 3DReshaper. (2015). *3DReshaper*. Recuperado de:  
<https://www.3dreshaper.com/en/>
- [3] Alonso Madrid, J. (2012). *Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España*.
- [4] Arroyo, R. (2018). *3DReshaper. El software de scanner 3D*. Recuperado de:  
<http://autodidactaengeomatica.blogspot.com/2018/11/3dreshaper-el-software-de-scanner-3d.html>
- [5] Autodesk Knowledge Network. (2018). *Acerca de las superficies de obra lineal*. Recuperado de:  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-E6E60500-197F-41C3-B131-79C80E74D30E-hm.html>
- [6] Autodesk Knowledge Network. (2018). *Acerca de los ensamblajes*. Recuperado de:  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad-civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-B01563A3-A7FB-441D-987A-2A2801EEC321-hm.html>
- [7] Autodesk Knowledge Network. (2018). *Acerca del modelado de obra lineal*. Recuperado de:  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-F2246A0B-809E-4801-97A5-EFACFA05EE46-hm.html>



- [8] Autodesk Knowledge Network. (2018). Centro de controles de volúmenes. Recuperado de:  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-7246FF86-2C5F-4B5A-991D-5571DAAC0CDF-htm.html>
- [9] Autodesk Knowledge Network. (2019). *Acerca de la creación de perfiles*. Recuperado de:  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad-civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-C1D8F673-EB6D-4F5A-B928-AD6C610D3C82-htm.html>
- [10] Autodesk Knowledge Network. (2019). *Acerca de las alineaciones*. Recuperado de:  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad-civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-6C5C6DC0-3C2D-4825-8BA8-4FA58941F560-htm.html>
- [11] Autodesk Knowledge Network. (2019). *Acerca de los objetivos de obra lineal*. Recuperado de:  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-AD5B70C3-3F7C-4B53-8F5D-E565001EF173-htm.html>
- [12] Autodesk Knowledge Network. (s.f.). *Autodesk Civil 3D: Página Non-Ground Point Filtering (asistente Create TIN Surface from Point Cloud)*. Recuperado de:  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-FBA7DB53-C315-4560-9A79-28D407D40A1A-htm.html>
- [13] Ayuda de Autodesk Civil 3D 2018. (2018). *Acerca de los sólidos de obra lineal*. Recuperado de:  
<http://help.autodesk.com/view/CIV3D/2018/ESP/?guid=GUID-E27B6A11-FC16-42F6-A44D-F82FCE72A58B>



- [14] Baptista de Almeida, M. R. (2015). *Análise da interoperabilidade aplicada ao projeto BIM de Estruturas Metálicas. Tecnologia BIM aplicada ao Projeto de Estruturas Metálicas.*
- [15] BibLus. (2017). *IFC ¿Qué es, a qué sirve y cuál es su relación con el BIM?* Recuperado de:  
<http://biblus.accasoftware.com/es/ifc-que-es-y-relacion-con-el-bim/>
- [16] BIM Vision. (s.f.). Acerca de BIM Vision. Recuperado de:  
<https://bimvision.eu/es/acerca-de/>
- [17] Brugarolas, S. A., Turmo, J., Antonio, J., y Grado, L. (2016). *Implementación de Metodología BIM en el Project Management.* Recuperado de:  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/103199/TFGMemoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [18] BuildingSMART International. (s.f.). *History.* Recuperado de:  
<https://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history/>
- [19] BuildingSMART Spanish Chapter. (s.f.). *¿Qué es BIM?* Recuperado de:  
<https://www.buildingsmart.es/bim/>
- [20] Cervantes Garrido, J. (2016). *Proyecto de una pasarela metálica atirantada con una pila lateral de sección variable de hormigón.* E.T.S de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas, Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España.
- [21] Cheng, J. C. P., Lu, Q., y Deng, Y. (2016). Analytical review and evaluation of civil information modeling. *Automation in Construction*, 67, 31–47.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.006>
- [22] CloudCompare Project. (s.f.). *Presentation.* Recuperado de:  
<http://www.cloudcompare.org>
- [23] EADIC. (2015). *LOD. Level of Development: Nivel de Desarrollo.* Recuperado de:  
<https://www.eadic.com/lod-level-development-nivel-de-desarrollo/>



- [24] EADIC. (2019). Autodesk Navisworks Manage: Coordinación y Gestión BIM. Recuperado de:  
<https://www.eadic.com/cursos/arquitectura-edificacion-urbanismo/autodesk-navisworks-manage-coordinacion-y-gestion-bim/>
- [25] GuBIMCat. (2012). GuBIMclass. Recuperado de:  
<http://gubimcat.blogspot.com/p/sistemas-de-classificacio.html#castellano>
- [26] GuBIMclass. (s.f.). Antecedentes y creación. Recuperado de:  
<https://gubimclass.org/es/>
- [27] Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Presentación y objetivos*. Recuperado de:  
<https://pnoa.ign.es/presentacion>
- [28] International Organization for Standardization. (s.f.). *ISO 16739:2013. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries*. Recuperado de:  
<https://www.iso.org/standard/51622.html>
- [29] Martín Dorta, N. (2016). Building Information Modeling: Barreras y Oportunidades para mejorar la Eficiencia de la Industria de la Construcción. *DYNA*, 91(5). 478-481. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7828>
- [30] Martínez Torres, A.M. (2015). *BIM y las repercusiones en la calidad de los procesos constructivos*. Escola Técnica Superior d'Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.
- [31] Mills, F. (2015). *Levels of Definition Explained*. Recuperado de:  
<https://www.thebim.com/video/levels-of-definition-explained>
- [32] Montagud Andrés, A. (2018). *Metodología BIM para Proyectos de Ingeniería Civil*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica Cartográfica y Topográfica, Universitat Politècnica de València. Valencia, España.



- [33] Montesano Pérez, A. (2019). Introducción a la Metodología BIM. *Organización y Digitalización de la Información relativa a Trabajos de Edificación e Ingeniería Civil*.
- [34] Qian, A. Y. (2012). Benefits and ROI of BIM for Multi-Disciplinary Project Management. Recuperado de:  
<http://goo.gl/WgU0wc>
- [35] Santana Hernández, A. J. (2018). *Modelado y Análisis de interoperabilidad en un entorno BIM para Ingeniería Civil. Caso de estudio: TF-293 con Calle Punta de Anaga*. Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado, Universidad de La Laguna. Santa Cruz de Tenerife, España.
- [36] Vera Galindo, C. (2018). *Aplicación de la metodología BIM a un proyecto de construcción de un corredor de transporte para un complejo industrial. Modelo BIM 5D costes*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- [37] Vilardaga Rodrigo, I. (2017). *Integración de BIM en la formación del Grado en Ingeniería Civil. Escuela de Doctorado e Investigación*. Universidad Europea. Madrid, España.
- [38] Zigurat. (2019). *IFC e interoperabilidad en BIM*. Recuperado de:  
<https://www.e-zigurat.com/blog/es/ifc-e-interoperabilidad-en-bim/#>



## 9. Anexos

### Anexo 1: Modelo CIM de la Intervención



Figura 91. Modelo de la intervención a través del visor Autodesk Viewer. Fuente: Elaboración propia



## Anexo 2: Planos

Plano N°1: Situación y emplazamiento

Plano N°2: Modelo Estado Actual

Plano N°3: Modelo Intervención