

# Modelado BIM de túneles ferroviarios y de carreteras

## *BIM Modelling for road and railway Tunnels*

Oriol Vidal Oviedo<sup>a</sup>, Francisco Tabanera Asensio<sup>b</sup>, Javier Giménez Vila<sup>c</sup>.

<sup>a</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universitat Politècnica de Catalunya. Especialista de Cuentas Senior en Modelical.

<sup>b</sup> Arquitecto por la Universitat Politècnica de Catalunya. Máster en Diseño Avanzado y Arquitectura Digital por ELISAVA. Especialista BIM Senior en Modelical.

<sup>c</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universitat Politècnica de Valencia. Máster en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales por la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor asociado en la Escuela de Arquitectura y Diseño del Instituto de Empresa. Especialista BIM Senior en Modelical.

### RESUMEN

Hoy en día el modelado BIM es una realidad en el entorno de proyectos de obra lineal. Las distintas administraciones están actualmente adoptando esta metodología, que paulatinamente será de obligada aplicación. Actualmente, BIM ha sido ya exigido en proyectos de túneles, añadiendo un grado de complejidad a las tareas habituales.

En este documento se presentarán los retos actuales a los que se enfrenta el proyectista de estructuras para obtener un modelo BIM de túneles eficiente y con información consistente. Además, se expondrán las conclusiones obtenidas de la experiencia de los autores en distintos proyectos de obra lineal.

### ABSTRACT

Nowadays BIM modeling is a reality in the context of linear work projects. The different administrations are currently adopting this methodology, which will gradually be mandatory in Spain. BIM has already been demanded in tunnel projects, adding a degree of complexity to the usual modelling and documenting tasks.

This document will present the current challenges faced by the structural designer to obtain an efficient BIM model of tunnels and viaducts with consistent information. In addition, the conclusions obtained from the authors' experience in different projects will be presented.

**PALABRAS CLAVE:** BIM Obras lineales.

**KEYWORDS:** BIM infrastructures.

## 1. Contexto

En 2019, organismos como ADIF o AENA han adjudicado contratos de implantación de la metodología BIM en su ámbito de negocio. El importe de dichas implantaciones supera los 4 millones de euros.

Este hecho, por encima de la aplicación de normativas o fechas límite, marca el disparo de salida de la obligatoriedad de la adopción de la metodología BIM en el ámbito del diseño y cálculo estructural aplicado a la obra lineal.

Entidades como Metro de Valencia ya exponen requisitos BIM para contratos de ingeniería relativos a proyectos de nueva ejecución o conservación de infraestructuras.

Habitualmente esos requisitos son incorporados a proyectos de obra lineal, pero han sido adaptados de otras disciplinas.

Adicionalmente, estos requisitos incorporan la necesidad de perfiles BIM con unos grados de experiencia con los que las empresas del sector no disponen, requiriendo los servicios de consultorías BIM específicas o la incorporación directa de los mencionados perfiles.

Por lo anterior, el modelado BIM en obra civil es una realidad que debe ser afrontada en proyectos ya en curso.

En este contexto, los proyectos de estructuras de obras lineales no son una excepción.

Sin embargo, desde distintos agentes que intervienen en el proyecto de obra lineal se aduce que la metodología BIM, originada en el ámbito de la edificación, tiene una mala aplicación en el entorno de la obra lineal.

De una manera más precisa, casos de éxito en este tipo de proyectos indican que la realización de obra lineal con software BIM requiere de una estrategia específica para la realización del proyecto con éxito.

Ante lo cual, surge la siguiente pregunta:

¿Disponen las empresas de ingeniería españolas de los conocimientos BIM suficientes para liderar la estrategia en el proyecto de túneles bajo esta metodología?

Podría decirse que es la administración quien debe poseer esos conocimientos, puesto que es quien lidera la promoción de este tipo de proyectos.

A esta cuestión, conviene recordar al lector los párrafos superiores, en los que se expone que administraciones como ADIF están haciendo un esfuerzo importante (más de tres millones de euros en su caso) en la incorporación de la metodología BIM en su negocio.

Por lo tanto, una vez las administraciones están ya adquiriendo conocimiento, queda claro que las consultorías de ingeniería tienen la necesidad y la obligación de adquirir esos conocimientos estratégicos.

Podría pensarse asimismo que, dado que la metodología BIM tiene su origen en el ámbito de la edificación, no tiene sentido su aplicación en el ámbito de la obra civil. El lector está a pocos párrafos de comprobar que existe una normativa que recoge de manera explícita la aplicación de la metodología BIM a la obra civil.

Esos conocimientos estratégicos son los requeridos para la superación de los retos que

se presentan en la aplicación de la metodología BIM en proyectos de la obra lineal.

## 2. Retos de la obra lineal

Se presentan a continuación los distintos retos a los que deberá enfrentarse un ingeniero consultor para la realización de un proyecto de túneles bajo metodología BIM.

### 2.1 ¿Qué normativa rige la realización de un proyecto bajo metodología BIM?

La metodología BIM debe ser aplicada siguiendo lo estipulado en la norma ISO 19650, traspuesta en el ámbito español como la norma UNE-EN 19650 “Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling)[1].

Ya en el título puede observarse que es una norma dedicada tanto al ámbito de la edificación como al de la obra civil.

Por otro lado, esta normativa recoge los principios que deben guiar la realización de proyectos bajo metodología BIM, por lo que resulta fundamental su conocimiento por parte de los agentes implicados en la elaboración de un proyecto, y esto incluye al proyectista.

### 2.2 ¿Qué debe hacerse en el proyecto de una infraestructura bajo metodología BIM?

Si bien las administraciones e instituciones españolas están actualmente lanzando procesos de implantación BIM, todavía deberá enfrentarse el proyectista a procesos de licitación poco precisos en relación al BIM.

El alcance de un proyecto BIM queda definido, de mayor a menor importancia, por los siguientes factores:

- Objetivo BIM: ¿qué espera el promotor de la aplicación de la metodología BIM para este proyecto en concreto?
- Usos BIM: ¿Para qué va a emplear el promotor los modelos BIM?
- Contenido de los modelos: ¿Qué elementos deben tener los modelos?
- Grado de desarrollo de los modelos: ¿Cuánto detalle geométrico y qué información deben contener los elementos modelados?

En caso de que el promotor del encargo solicite la metodología BIM sin definir los puntos anteriores, le conviene al proyectista aclararlos antes de presentar una oferta.

Como ejemplo, dado el proyecto de un túnel pueden darse los siguientes casos al trabajar bajo metodología BIM:

- Existe un único modelo tridimensional del cual se derivan planos 2D que incluyen movimiento de tierras y estructura.
- Existen varios modelos tridimensionales en función de la disciplina. Cada modelo, elaborado con la herramienta de edición más adecuada, contiene los planos 2D correspondientes. Se accede al contenido global integrado mediante software de coordinación.
- Existen planos 2D a partir de los cuales se elabora un modelo 3D. En este modelo 3D se incorporan los planos 2D que han servido de base para su generación.

Las implicaciones en esfuerzo y tiempo para cada uno de los tres casos anteriores pueden ser dramáticas y llevar al proyecto al fracaso. De ahí la importancia de aclarar qué

debe hacerse antes de realizar una estimación económica de los costes o del precio de la realización de un proyecto BIM.

### ***2.3 ¿Cuánto me va a costar de más?***

Una vez resuelto el alcance de los trabajos y la estrategia de trabajo, puede aplicarse rendimientos a las métricas del proyecto para establecer qué carga de trabajo va a suponer el modelado BIM.

Dado que todavía no hay amplia experiencia en este punto, es recomendable para las ingenierías que se encargan de la preparación de proyectos la realización de una serie de proyectos piloto. Mediante estos proyectos piloto se podrá realizar una estimación de rendimientos al afrontar proyectos reales de características análogas.

Si bien las administraciones e instituciones españolas están actualmente lanzando procesos de implantación BIM, todavía deberá enfrentarse el proyectista a procesos de licitación poco precisos en relación al BIM.

Los factores particulares que mayor influencia tienen en la estimación o corrección de rendimientos son:

- La experiencia en el sector
- La experiencia con el cliente
- La experiencia en el entorno BIM

Por otro lado, y de manera independiente al modelado en sí, la gestión documental es un punto a tener en cuenta al estimar la dedicación necesaria en un proyecto particular.

Aprovechar correctamente las plataformas de coordinación y colaboración actuales, y establecer flujos de trabajo alineados con la metodología BIM pueden ayudar a acotar el coste de un proyecto.

Emplear sistemas no alineados con la metodología BIM encarecerá sin duda la redacción del proyecto.

Así pues, el coste de un proyecto se ve influenciado tanto por los rendimientos de modelado como por la elección de procesos de colaboración, coordinación y comunicación adecuados.

### ***2.4 ¿Cómo se pasa del software de trazado al software BIM?***

Es posible que el proyectista deba enfrentarse al modelado de estructuras típicas de obra lineal en el entorno de un software orientado al modelado de estructuras de edificación.

Habitualmente, en edificación se modela contra sistemas referenciales de rejillas y niveles. En el caso de la obra lineal, por el contrario, la referencia es un eje de replanteo y la ubicación en ese eje según el parámetro de punto kilométrico.

Trabajar en este entorno no es imposible, actualmente ha sido superado con éxito mediante el seguimiento de varias estrategias. En cualquier caso, debe recordarse que cualquier estrategia será válida en la medida en que genere una información consistente, reduzca la probabilidad de error y permita la aplicación de cambios de la manera más cómoda y ágil posible.

Sin centrarnos en ningún software concreto, el empleo de herramientas de programación previstas en los entornos de creación de modelos, así como los formatos de intercambio de información, permiten la consulta de información de trazado y terreno desde software puramente BIM a software dedicado al trazado de infraestructuras lineales.

Formatos de intercambio de información útiles en este ámbito son:

- Industrial Foundation Classes (IFC): Desarrollado por buildingSMART, es el formato abierto de intercambio de información entre las distintas plataformas BIM [2].
- LandXML [3] es un estándar abierto de datos utilizado por las plataformas de software de trazado.

Las herramientas de programación, tanto de código como de programación visual, permiten la lectura de los formatos anteriores y la colocación y edición de elementos BIM sobre los ejes de trazado y el terreno, desde plataformas BIM.

### ***2.5 ¿Cómo se vencen las limitaciones de extensión geográfica de los modelos BIM?***

Como se ha mencionado anteriormente, gran parte del software de edición BIM tiene su origen en el ámbito de la edificación. Este software ha sido elaborado teniendo en cuenta el contexto de los proyectos de edificación al definir, por ejemplo, el alcance geográfico de los proyectos.

Así, del mismo modo que en un entorno CAD podemos generar objetos en una extensión casi ilimitada, en algunos entornos de modelado BIM debemos ceñirnos a ámbitos de una veintena de kilómetros.

En ese caso, el proyectista se enfrenta al reto de modelar un proyecto de una escala de centenares de kilómetros con un software que le permite modelar elementos en un ámbito de 20 kilómetros.

Actualmente se trata de un reto superado, proyectos de longitud superior a las limitaciones de ámbito de edición se han modelado satisfactoriamente bajo la metodología BIM.

Esto se logra con una subdivisión adecuada de los modelos y el empleo de coordenadas compartidas para la correcta ubicación y orientación de cada modelo parte en el modelo global de coordinación, o modelo federado.

Del mismo modo hay que mencionar que las herramientas habituales de coordinación BIM no tienen esta limitación del ámbito. Así, los modelos locales generados por las herramientas de edición pueden quedar integrados y coordinados en las herramientas de coordinación.

### ***2.6 ¿Qué elementos hay que modelar en BIM?***

La metodología BIM no es coartada para no modelar cualquier elemento que interviene en un proyecto de obra lineal. Mediante los softwares habituales de edición BIM pueden crearse todos aquellos elementos que se representaban en planos elaborados con tecnología CAD.

Sin embargo, conviene recordar que la elección de qué elementos deben figurar en el modelo está supeditada a los usos que se le van a dar a este último. Es posible modelar elementos como:

- Dovelas de túnel y viaducto
- Elementos de cimentación
- Elementos de refuerzo de terreno, como inyecciones al terreno
- Cuñas y diafragmas
- Distintas capas de terreno
- Armadura activa

Y todo ello de manera automatizada, a partir de la definición del eje y un listado de elementos

según su p.k. y propiedades. Este listado puede estar en, por ejemplo, una hoja de cálculo.

## ***2.7 ¿Cómo se hace para satisfacer los objetivos del cliente manteniendo la eficiencia?***

Es posible que el promotor de un proyecto, por desconocimiento, carezca de criterios alineados con la consistencia de la información y la eficiencia de los procesos.

El problema es cuando el proveedor del servicio también carece de esos criterios. La proactividad por parte del proyectista pasa por un dominio de la materia tratada, y para ello debe estudiar la metodología BIM. El primer paso es comprender que la metodología BIM tiene una normativa propia (ISO 19650) encaminada precisamente al trabajo BIM eficiente.

A continuación se ilustrará lo anterior con tres ejemplos:

*La generación de modelos tridimensionales y su transmisión mediante, por ejemplo, memorias externas, no solo no es eficiente, sino que va en contra del protocolo BIM. En él se establece como obligación del cliente la entrega de la información mediante un Entorno Común de Datos (CDE por sus siglas en inglés). De este modo, un promotor que pretenda trabajar en BIM debe posibilitar una plataforma de intercambio de información.*

*La inclusión de planos extraídos en formato .dwg desde software de trazado en software de modelado BIM, no solo implica una mayor dedicación y posibilidad de error, si no que va en contra del principio de una única fuente de información consistente promovida por la metodología BIM.*

*El modelado de elementos como traviesas o clips de sujeción del carril a la traviesa no solo dificulta la creación o gestión de los modelos, si no que va en contra de los principios de eficiencia en la geometría modelada, ya que pueden incluirse como detalles 2D.*

En definitiva, decisiones que no aprovechen las herramientas actuales de colaboración, coordinación y comunicación BIM o promuevan procesos poco automatizables, no están alineadas con la metodología BIM.

## ***2.8 ¿Una vez modelado cómo documento?***

Como regla del número gordo, el proceso de documentación (generar los planos) toma la misma cantidad de tiempo que ha sido necesaria para generar el modelo tridimensional. Por ejemplo: Si es necesario el trabajo de un mes de una persona para elaborar el modelo tridimensional, será necesario el trabajo de otra persona durante un mes para elaborar los planos desde ese modelo tridimensional.

De lo anterior se deriva que, si se aplica automatización para modelar los elementos de un viaducto, solo se incide en la mitad del trabajo. Es preciso aplicar automatización también en la preparación de la documentación para reducir eficazmente los tiempos de producción de entregables.

La generación automática de vistas de sección a partir de los puntos quilométricos de inserción de objetos, la gestión automatizada de planos a partir de archivos maestro (que pueden ser hojas de cálculo) o el empleo de objetos 2D con el fin de documentación vinculados con objetos 3D son estrategias que permiten afrontar con eficiencia el proceso de documentación.

En cuanto a la obtención de presupuestos, hay que volver a pensar en qué herramientas de obtención de mediciones y presupuestos se usarán, y comprender que algunas de ellas pueden verse comprometidas por la magnitud de los proyectos a acometer. En esos casos, el empleo de herramientas de programación propias de cada software de

modelado BIM puede aportar robustez y eficiencia al proceso de obtención de mediciones.

### 3. Ejemplo de modelado de túnel

Se expone con el modelado de un túnel a partir de los datos de trazado y de la estructura, a modo de ejemplo.

Hoy en día existen distintas herramientas de software capaces de modelar túneles siguiendo la metodología BIM. A efectos meramente ilustrativos, y dado que hay que emplear alguna para mostrar el ejemplo, se usará a continuación Revit (software de edición BIM) y Dynamo (software de programación visual sobre Revit). Los autores consideran que no es el único software disponible para realizar este modelo, y es mostrado únicamente a modo de ejemplo.

En el caso mostrado se considera un túnel sobre una curva circular. Para casos en los que el túnel esté en otras alineaciones o inclinaciones, el usuario simplemente deberá programar las ecuaciones de trazado correspondientes.

#### 3.1 Datos de trazado

En primer lugar hay que obtener los datos de trazado del eje en el que se modelará el túnel. Para cada alineación del eje, hay que obtener:

- Pk, azimut e inclinación inicial de la alineación.
- Pk, azimut e inclinación inicial de la alineación.
- Radio de la curva, o bien Radio inicial de la clotoide
- Parámetro del acuerdo vertical

Estos datos se obtienen del software de trazado.

#### 3.2 Modelado del eje

La introducción de estos datos en Dynamo (herramienta de programación de Revit) puede hacerse con las siguientes opciones:

- Manual: La introducción es más sencilla, pero requiere ser actualizada manualmente si se cambian los parámetros de trazado (ver Figura 1).
- Automática: Se puede programar una lectura automática de los parámetros de trazado presentes en el archivo de salida del software de trazado, típicamente en formato LandXML. Esta opción es más compleja, pero permite una actualización automática del modelo frente a cambios de trazado.

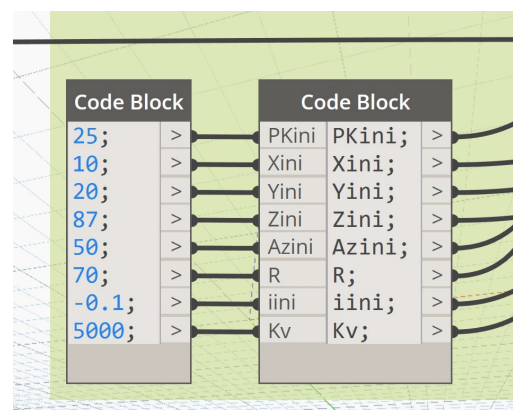


Figura 1. Ejemplo de introducción manual de datos de trazado para una alineación curva.

Las ecuaciones de trazado son programadas en Dynamo, a partir de las herramientas matemáticas habituales (Figura 2).

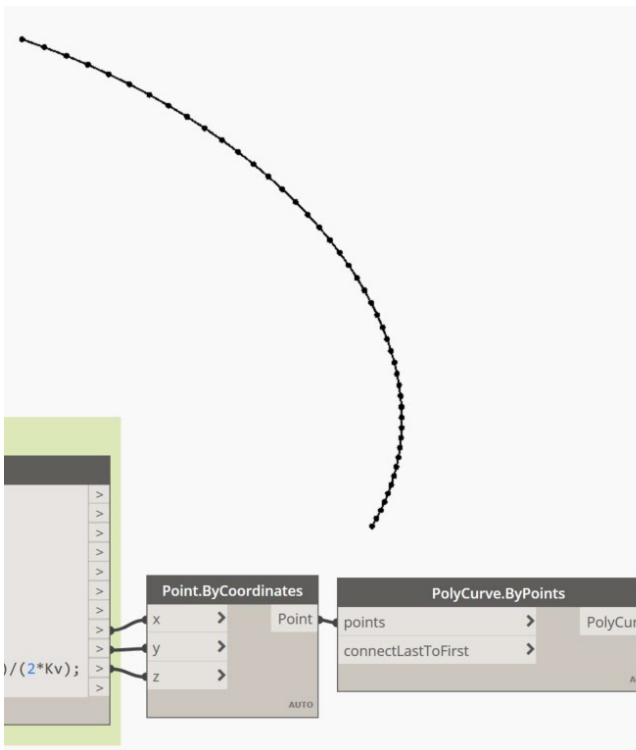
```

Code Block
pki Lon=(pki-pkini);
pkini alfaRad=(Lon/R);
R alfaSeg=180/(Math.PI)*alfaRad;
Azini M=2*(R*Math.Sin(alfaSeg/2));
Xini theta=Azini+alfaSeg/2;
Yini DeltaX=M*Math.Cos(theta);
Zini DeltaY=M*Math.Sin(theta);
iini Xpk=Xini+DeltaX;
Kv Ypk=Yini+DeltaY;
Zpk=Zini+iini*(pki-pkini)+(pki-pkini)*(pki-pkini)/(2*Kv);
Apk=Azini+alfaSeg;

```

**Figura 2. Ejemplo de programación de ecuaciones de trazado (alineación curva e inclinación) en Dynamo.**

Conectando las ecuaciones de trazado con el listado de PKs de replanteo de cada elemento del túnel, el eje de trazado queda restituido en Revit mediante Dynamo. El listado de Pks puede leerse de una hoja de cálculo mediante los comandos correspondientes de Dynamo (Figura 3).



### 3.3 Creación de elementos

Elementos como dovelas, anillos, emboquilles, elementos de inyección, bulones y cerchas de refuerzo pueden ser modelados fácilmente en

software BIM. No tienen ningún aspecto especial respecto cualquier otro tipo de objeto. Sin embargo, al plantear su creación, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Su punto de inserción en el modelo debe ser coherente con el punto de replanteo del eje modelado anteriormente
- Deben tener capacidad de girar en alzado, mediante un parámetro de inclinación
- Deben tener capacidad de girar en su eje longitudinal, simulando la posición de la dovela clave. Para ello se puede emplear un parámetro de posición de dovela clave o ángulo.

A continuación se muestra la edición de un anillo de túnel incluyendo su dovela clave (Figura 4) y la parametrización de dicha familia (Figura 5)



**Figura 4. Ejemplo de familia de anillo en Revit, con capacidad de girar en planta y alzado, y con capacidad de girar en su eje longitudinal.**



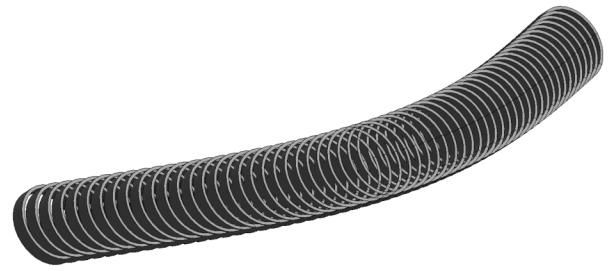
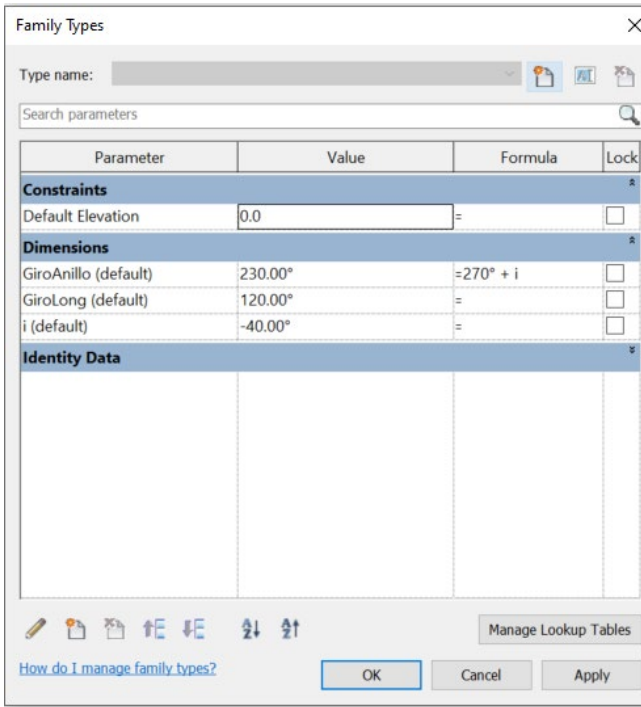


Figura 7. Dovelas colocadas en el modelo. Nótese que el azimut, inclinación y giro longitudinal de cada dovela todavía no presenta los valores correctos, en el próximo paso se alimentará a los parámetros del anillo

### 3.5 Modificación de parámetros

Figura 5. Parametrización de la familia de anillo. Puede comprobarse que se trata de una familia muy sencilla. Únicamente son necesarios 3 parámetros de giro, uno por cada eje.

### 3.4 Colocación de elementos

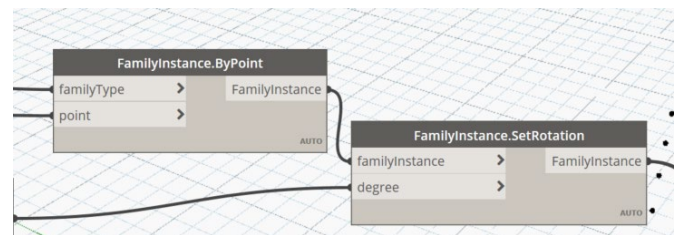


Figura 8. Comando empleado en Dynamo para fijar la rotación en planta, asignando el azimut del Pk correspondiente.

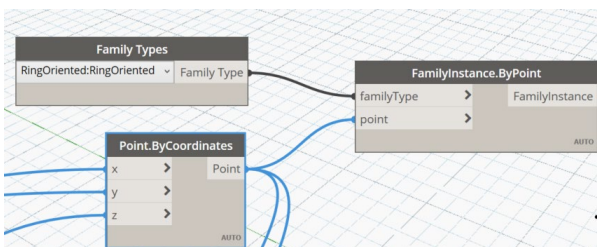


Figura 6. Colocación de dovelas en el modelo según los puntos de trazado evaluados anteriormente

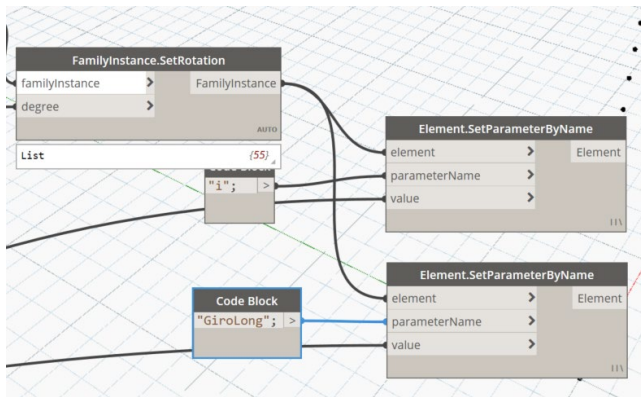


Figura 9. Comando empleado en Dynamo para fijar la inclinación y el giro longitudinal.

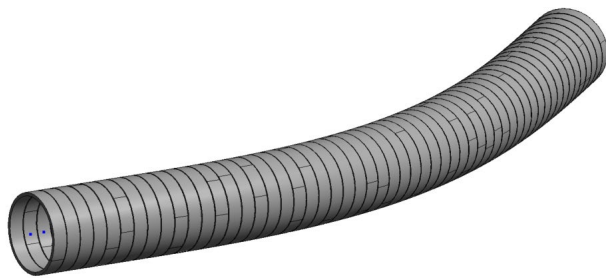


Figura 10. Geometría final del túnel, las dovelas han sido colocadas y orientadas mediante los parámetros de giro correspondientes.

Se ha presentado un caso sencillo para facilitar la explicación de la metodología. Sin embargo, este mismo proceso puede ser replicado para la colocación del resto de elementos del túnel.

## 4. Conclusiones

Ante los retos anteriores, se ha intervenido ya en casos reales con las siguientes acciones concretas:

- Crear una serie de programaciones en las herramientas de modelado BIM para

poder aprovechar la información de los archivos de trazado en un modelo tridimensional preciso de las estructuras propias de la obra lineal.

- Estandarizar las fuentes de información empleadas para alimentar los modelos BIM, por ejemplo, las hojas de cálculo empleadas por los equipos de análisis estructural.
- Generar una biblioteca de contenido tridimensional que sea auto-documentable, es decir, que contenga a su vez objetos 2D para la obtención y gestión eficiente de planos.
- Crear una serie de programaciones en las herramientas de modelado BIM para poder automatizar la creación de planos.
- Crear una serie de programaciones en las herramientas de modelado BIM para poder automatizar la extracción de mediciones.
- Empleo de herramientas colaborativas para la gestión de tareas, detección de interferencias, gestión de incidencias y gestión documental.
- Formación en el marco normativo y de gestión de la metodología BIM, y correcta especificación de las necesidades del cliente.
- Elaboración del marco de gestión BIM, fundamentado en el Plan de Ejecución BIM (BEP por sus siglas en inglés).
- Elaboración de proyectos piloto para estimación de rendimientos y métricas de trabajo.

## Referencias

- [1] UNE NormalizaciónEspañola, 2019. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0062137>
- [2] <https://www.buildingsmart.org/standards/bi-standards/industry-foundation-classes/>.
- [3] <http://www.landxml.org/>.