



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio de viabilidad de puente en el p.k. 1+060 de la
carretera Località Prato Ronchi en Spigno Monferrato,
Piemonte (Italia)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Soler Bejarano, Francisco

Tutor/a: Cuadrado Tarodo, Álvaro

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

MEMORIA

Autor: Francisco Soler Bejarano

Tutor: Álvaro Cuadrado Tarodo

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Fecha: 2023-2024

ÍNDICE:

1. OBJETO DEL DOCUMENTO:	1	6.2 Cálculo de cargas:.....	8
2. OBJETO DEL ESTUDIO:.....	1	6.3 Combinación de acciones:	8
3. SITUACIÓN:.....	1	6.4 Resultados:.....	9
3.1 Localización:.....	1	6.5 Comprobaciones:.....	9
3.2 Emplazamiento:.....	1	6.5.1 Comprobaciones para ELS: flecha máxima	9
3.3 Antecedentes:.....	2	6.5.2 Comprobaciones para ELU:	9
4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO:	2	6.6 Conclusiones:	9
4.1 Climatología:	2	7. PROGRAMA DE TRABAJOS:	10
4.1.1 Cuenca hidrográfica:.....	2	8. PRESUPUESTO:	10
4.1.2 Datos pluviométricos:	2	9. MODELADO BIM:	10
4.2 Estadística:	3	9.1 Flujo de trabajo:.....	10
4.2.1 Parámetros de las distribuciones:.....	3	9.2 Programas:.....	11
4.2.2 Pruebas de bondad de ajuste:	3	9.2.1 AutoCad:	11
4.2.3 Precipitación de diseño:.....	3	9.2.2 Tekla:	11
4.3 Hidrología:	3	9.2.3 Advance Steel:	11
4.3.1 Coeficiente de escorrentía:	3	9.2.4 Civil3D:.....	11
4.3.2 Tiempo de concentración:.....	4	9.2.5 Revit:	12
4.3.3 Hidrograma unitario:	4	9.2.6 Dynamo:.....	12
4.3.4 Caudal de diseño:.....	4	9.2.7 Navisworks:	12
5. ANÁLISIS HIDRAULICO:	5	9.3 Problemas de interoperabilidad:	12
5.1 Geometría de la estructura:	5	9.3.1 Advance Steel-Revit:	12
5.2 Condiciones iniciales:	5	9.3.2 Tekla-Revit:	13
5.3 Resultados:.....	5	9.3.3 Civil3D-Revit:	13
5.3.1 Terreno natura para T=100 años:	5	9.3.4 Revit/Civil3D-Navisworks:	13
5.3.2 Terreno con puente para T=100 años:.....	5	9.3.5 Civil3D-HEC RAS:.....	14
5.3.3 Terreno con puente para T=500 años:.....	6	10. CONCLUSIÓN:.....	14
5.4 Comprobaciones:	6		
5.4.1 Sobreelevación del nivel de la corriente:	6		
5.4.2 Resguardo de tablero:	7		
5.5 Conclusiones:.....	7		
6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL:.....	7		
6.1 Modelo estructural:	8		

1. OBJETO DEL DOCUMENTO:

El presente documento tiene como finalidad la elaboración de un Trabajo Final de Grado, el cual se enmarca en el programa académico del Grado en Ingeniería Civil. Este trabajo representa una oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, abarcando diversas áreas fundamentales de la ingeniería civil.

En particular, se busca poner en práctica las competencias relacionadas con el diseño y planificación de infraestructuras, así como la realización de análisis en distintos ámbitos. En este sentido, se llevarán a cabo un análisis hidrológico para evaluar el comportamiento de los recursos hídricos en el entorno del proyecto, así como un estudio hidráulico que permitirán comprender la dinámica de los fluidos y su interacción con la estructura propuesta. Adicionalmente, se desarrollarán un análisis estructural que garantizarán la solidez y estabilidad de la obra propuesta.

Además, el trabajo incluirá la elaboración de mediciones que permitan cuantificar los recursos necesarios, junto con la estimación precisa del coste económico y del tiempo de ejecución mediante metodología BIM, todo ello fundamentado en los principios y metodologías aprendidos durante la formación académica.

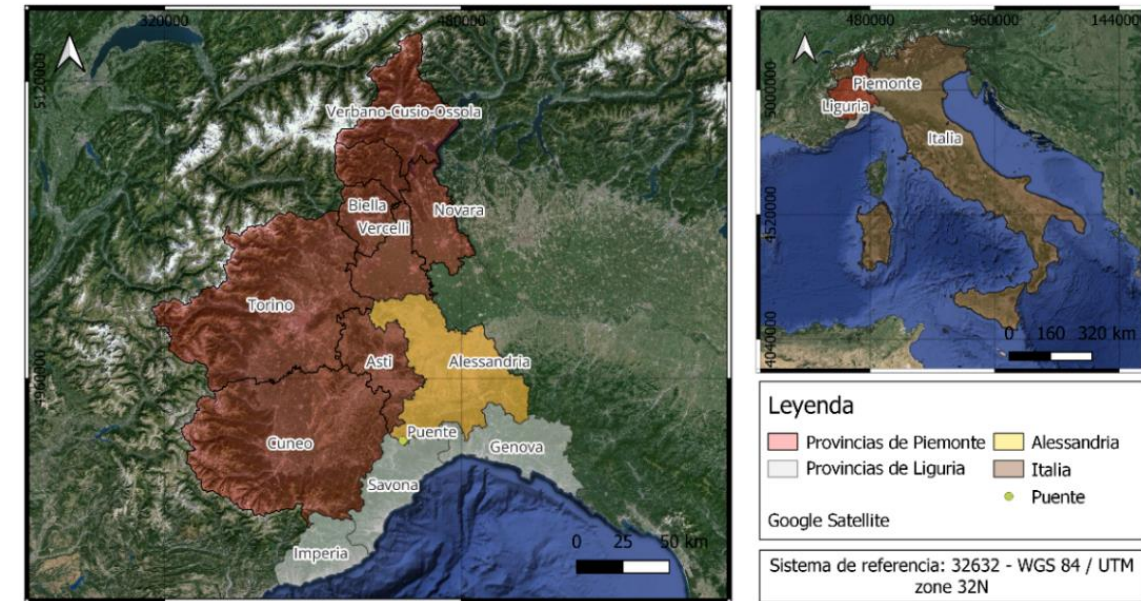


Figura 1. Localización del puente a nivel regional. Elaboración propia con QGIS.

2. OBJETO DEL ESTUDIO:

El presente trabajo de fin de grado tiene como objetivo principal la elaboración de una propuesta para la reconstrucción del puente ubicado en la carretera "Località Prato Ronchi", situada en el municipio de Spigno Monferrato, en la región de Piemonte, Italia. Este proyecto abordará una serie de estudios y análisis necesarios para garantizar la viabilidad y sostenibilidad de la nueva estructura.

En primer lugar, se llevará a cabo un análisis hidrológico que permita comprender las características del régimen de agua en la zona, evaluando posibles riesgos asociados a inundaciones o crecidas. A continuación, se realizará un análisis hidráulico, cuyo propósito es determinar cómo interactuarán las corrientes de agua con el nuevo puente, asegurando su estabilidad y funcionalidad a largo plazo. En paralelo, se desarrollará un análisis estructural, que considerará tanto las cargas permanentes como las variables.

Además de estos análisis, se procederá a la estimación de tiempos y costes mediante el uso de técnicas de modelado en entorno BIM (Building Information Modeling), lo que permitirá una planificación del proyecto. Esta metodología BIM facilitará también la visualización del proyecto en sus diferentes fases, proporcionando una herramienta clave para la gestión del proceso constructivo.

3. SITUACIÓN:

3.1 Localización:

La reconstrucción del puente se encuentra ubicado en términos generales al sur de la provincia de Alessandria, perteneciente a la región de Piemonte, Italia.

3.2 Emplazamiento:

Más concretamente, el puente se ubica en la comunidad de Spigno Monferrato, en la carretera "Località Prato Ronchi", al suroeste de la provincia de Alessandria y siendo colindante con los municipios de Merana y Pareto.

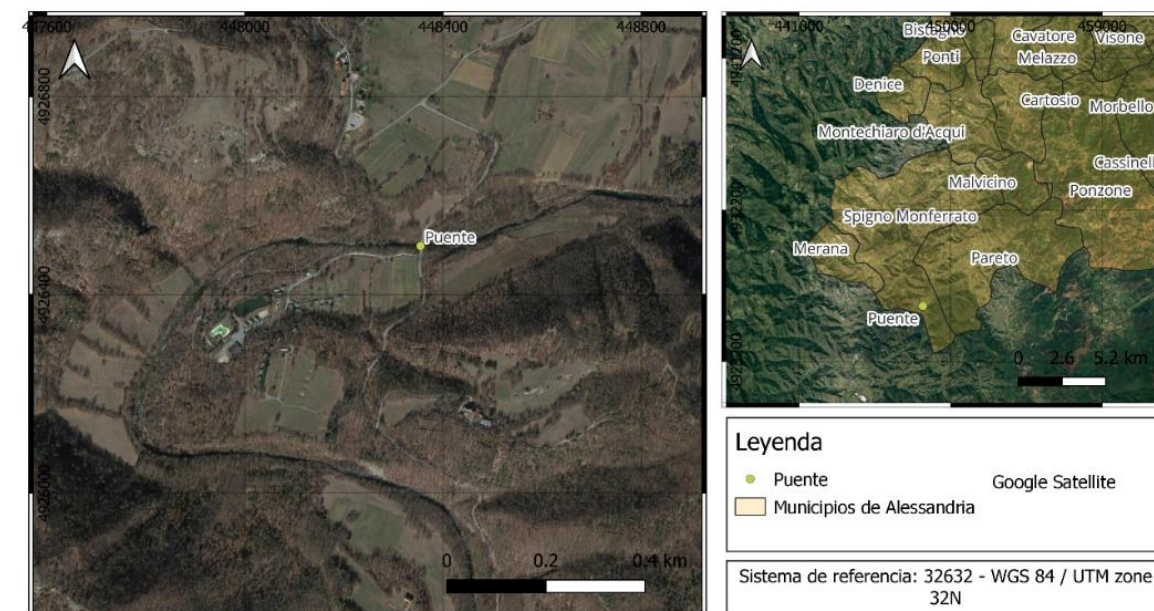


Figura 2. Ubicación del puente a nivel local. Elaboración propia con QGIS.

3.3 Antecedentes:

Las continuas condiciones climatológicas adversas como riadas e inundaciones en la zona, así como las propias características de la estructura, han supuesto el no cumplimiento con las exigencias propias de ella, siendo por ello propuesto la reconstrucción de este.



Figura 3. Vista del vado existente desde aguas arriba hacia aguas abajo. Fuente: Politecnico di Torino.

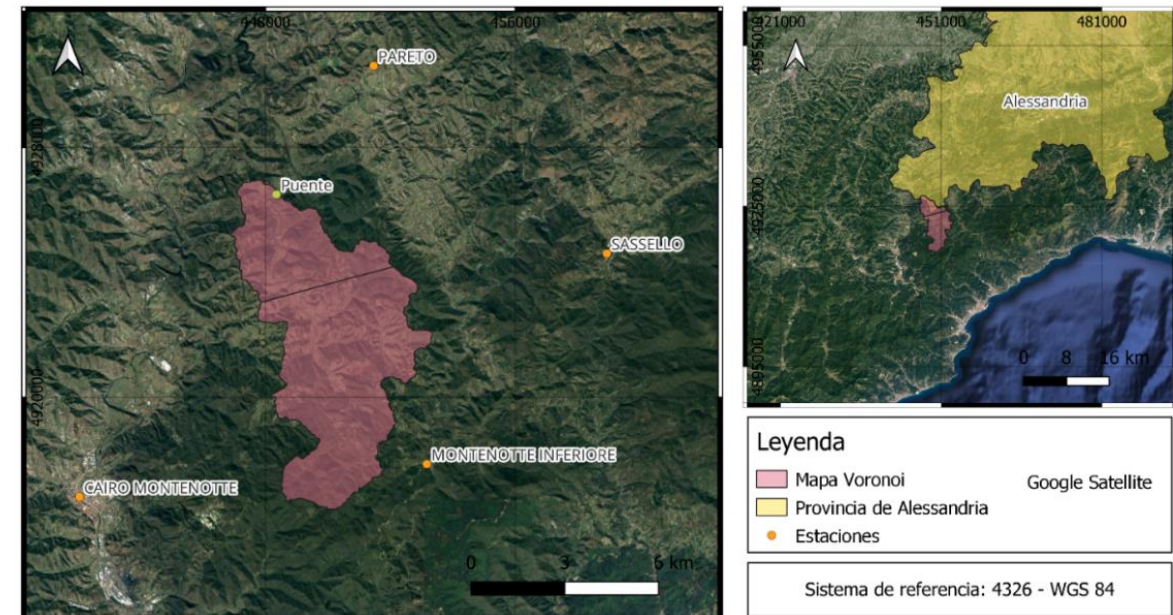


Figura 4. Mapa de Voronoi y pluviómetros adyacentes. Elaboración propia con QGIS.

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO:

El análisis hidrológico aborda la descripción de los trabajos en el ámbito de la climatología, estadística e hidrología para evaluar la influencia de posibles inundaciones en la zona de la reconstrucción del puente ubicado en el ramal principal de la Valla Torrent para un período de retorno dado.

Para la realización de este apartado se recurrirá a las siguientes normativas:

- Norma 5.2-IC de la Instrucción de Carreteras. Drenaje superficial.

4.1 Climatología:

En este apartado se pretende recabar información a través de datos meteorológicos para la estimación de precipitaciones máximas diarias, base para un posterior cálculo de los caudales de diseño en la cuenca hidrográfica.

4.1.1 Cuenca hidrográfica:

Para la obtención de datos pluviométricos, es necesario determinar la cuenca hidrográfica mediante un archivo DEM perteneciente a la organización EARTHDATA del puente, así como la determinación de las estaciones pluviométricas adyacentes y su influencia en la cuenca hidrográfica.

4.1.2 Datos pluviométricos:

Con las estaciones pluviométricas, es obtenido los valores de precipitación máxima anual como combinación de las diferentes estaciones pluviométricas que presentan influencia en la cuenca.

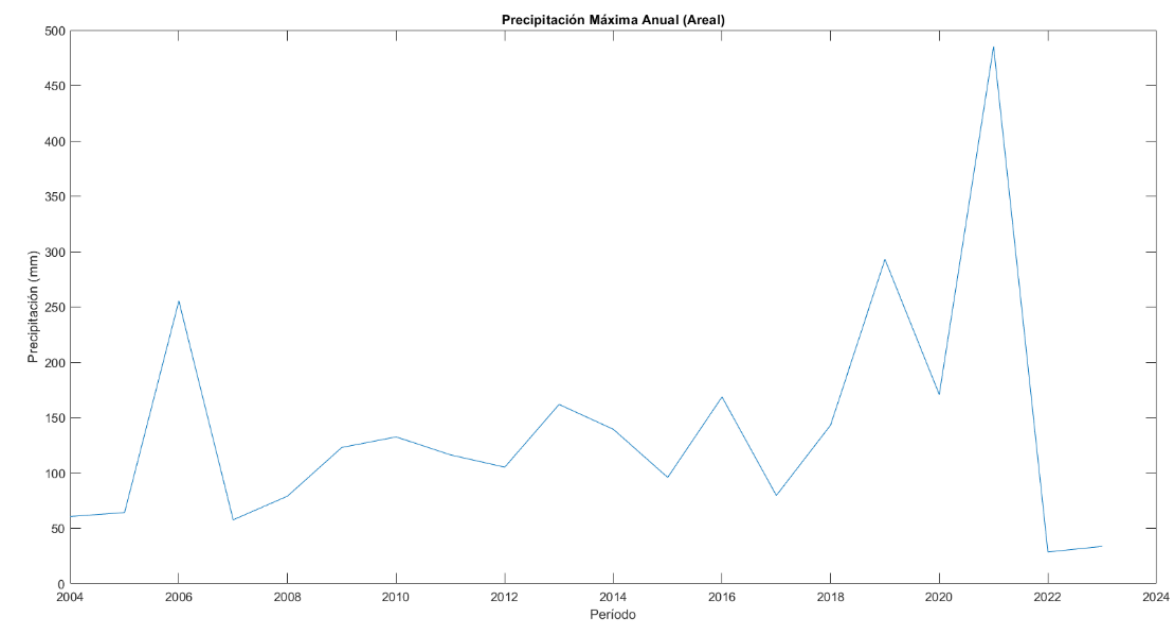


Figura 5. Precipitación máxima anual combinada (Areal). Elaboración propia con Matlab.

4.2 Estadística:

En este apartado se pretenderá hacer un análisis estadístico a partir de los datos de precipitación máxima anual obtenido en apartado anteriores, para la estimación de una precipitación de diseño para un período de retorno dado.

Para la obtención de caudales de diseño, es necesario obtener precipitaciones de diseño, por ello, serán empleadas las distribuciones de probabilidad Exponencial, Normal, Log Normal, Gumbel y GEV.

4.2.1 Parámetros de las distribuciones:

Para la obtención de los parámetros de las distribuciones, serán utilizados el Métodos de momentos y el Método de L-Momentos. Con ello, son obtenidos dos conjuntos de parámetros para cada distribución de probabilidad.

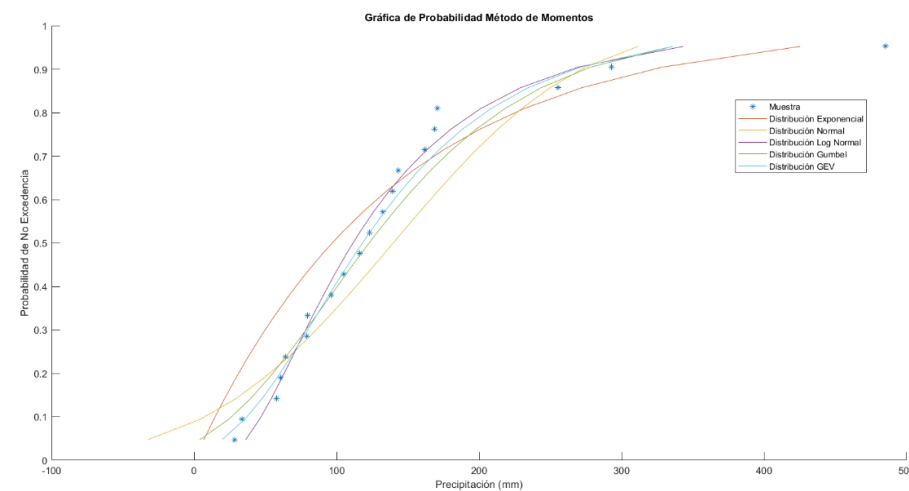


Figura 6. Distribuciones de probabilidad con Método de Momentos. Elaboración propia con Matlab.

4.2.2 Pruebas de bondad de ajuste:

Con los parámetros de las diferentes distribuciones, han sido empleado diferentes pruebas de bondad de ajuste para determinar si una muestra aleatoria se ajusta con algún nivel de significancia a determinada distribución de probabilidad.

En este caso, han sido utilizadas la prueba de Pearson y la prueba de Anderson-Darling con un nivel de significancia del 5%. Aquellas distribuciones que no pasen ambas pruebas serán consideradas como no válidas (rojo) mientras aquellas que si pasen ambas serán consideradas como válidas (verdes).

Tabla 1. Resultados de las pruebas de Pearson y Anderson-Darling. Elaboración propia.

	Exponencial	Normal (M)	Normal (L-M)	LogNormal (M)	LogNormal (L-M)	Gumbel (M)	Gumbel (L-M)	GEV (M)	GEV (L-M)
Pearson Test	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Anderson Darling Test	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

4.2.3 Precipitación de diseño:

Mediante las pruebas de bondad de ajuste, han sido seleccionadas aquellas distribuciones consideradas como válidas, siendo mediante ellas calculadas las precipitaciones de diseño mediante la media de ellas para un período de retorno dado.

Con ello, es obtenido una precipitación de diseño para un período de retorno de 100 años de 516.55 mm y 738.76 mm para un período de retorno de 500 años.

4.3 Hidrología:

Este apartado tiene como finalidad la caracterización y obtención de las diferentes parámetros y propiedades del suelo que engloba la cuenca hidrográfica del puente, necesarios para un posterior cálculo de los caudales de diseño.

4.3.1 Coeficiente de escorrentía:

Para la obtención de los caudales de diseño, es necesario el cálculo del coeficiente de escorrentía, siendo la proporción de precipitación que se convierte en escorrentía superficial en lugar de infiltrarse en el suelo.

Para ello, ha sido requerido los mapas raster "CORINE Land Cover 2018" suministrado provisto por la organización "Copernicus Land Monitoring Service" para la determinación del uso del suelo, así como del mapa raster "Maps of indicators of soil hydraulic properties for Europe" suministrado por la Comisión Europea, que representa los diferentes grados de infiltración en el suelo.

Mediante la unión de los dos mapas raster previamente mencionados y con la determinación de los grupos de suelo (Soil Group (SG)), es obtenido un coeficiente de escorrentía de 74.92.

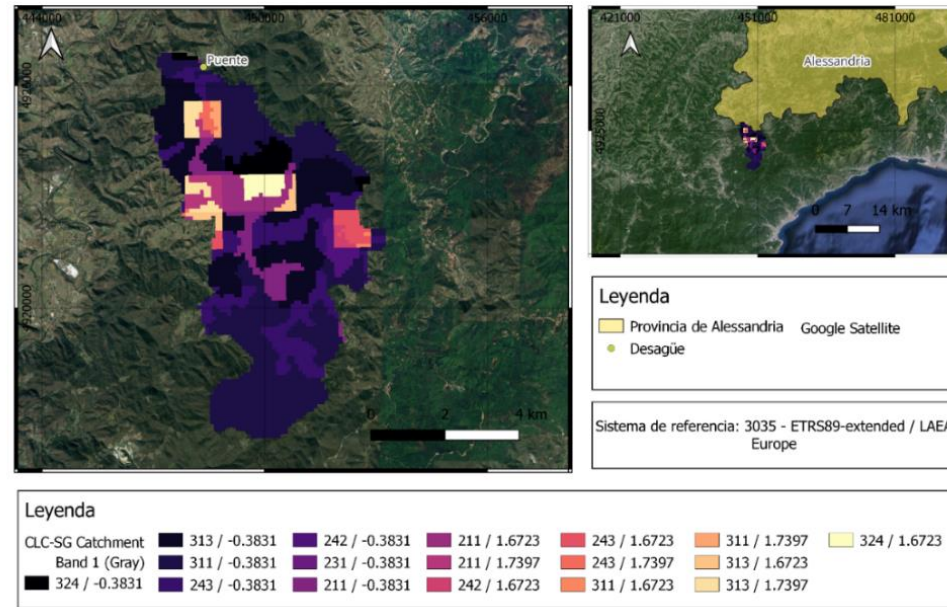


Figura 7. Combinación de la cobertura del suelo con los grados de infiltración del suelo de la cuenca. Elaboración propia con QGIS.

4.3.2 Tiempo de concentración:

Para la determinación del tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica, siendo el tiempo de viaje de una gota de lluvia que cae en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca y escurre superficialmente hasta su salida, ha sido obtenido mediante el apartado 2.2.2.5 de la normativa "NORMA 5.2-IC de la Instrucción de carreteras Drenaje superficial".

Mediante la figura mostrada a continuación, es posible obtener una longitud del cauce principal de la cuenca de 13.9 km y una pendiente media del 2.8%, obteniendo un tiempo de concentración de 4.37 horas, siendo redondeado a 4 horas por motivos prácticos.

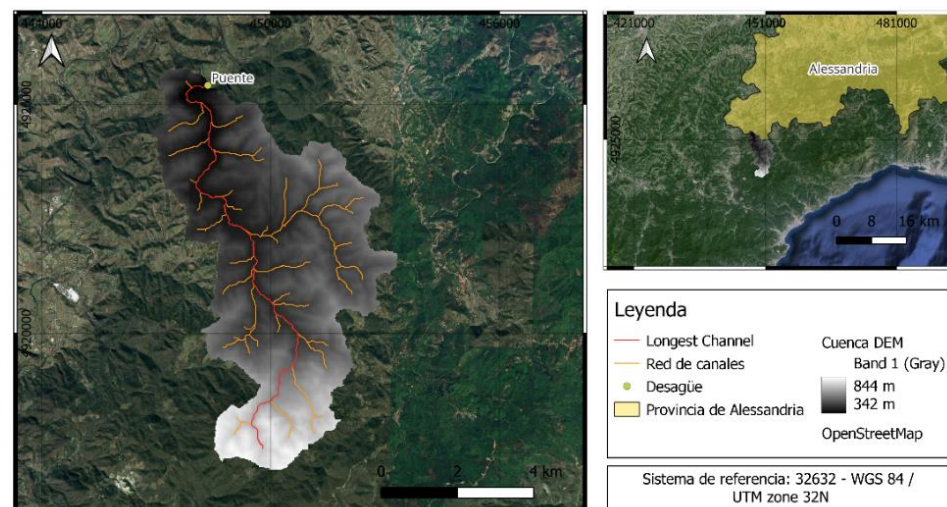


Figura 8. Canales principales de la cuenca hidrográfica. Elaboración propia con QGIS.

4.3.3 Hidrograma unitario:

Mediante la obtención de las curvas hipsométricas de la cuenca mediante el archivo DEM y el tiempo de escorrentía, es posible obtener el hidrograma unitario de la cuenca, siendo el resultado de una precipitación neta de 10 mm de profundidad durante un tiempo $\Delta t=1h$ distribuido uniformemente sobre la cuenca.

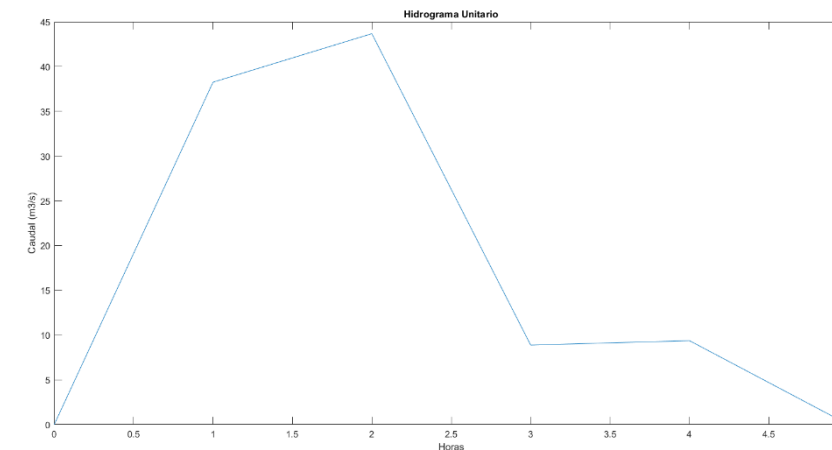


Figura 9. Hidrograma unitario de la cuenca hidrográfica. Elaboración propia con QGIS.

4.3.4 Caudal de diseño:

Para la obtención de los caudales de diseño, es obtenido una intensidad media mediante el apartado 2.2.2.2 de la normativa "NORMA 5.2-IC de la Instrucción de carreteras Drenaje superficial". Con ello, es obtenido una intensidad media para un período de retorno de 100 años de 19.29 mm/h y 27.59 mm/h para un período de retorno de 500 años.

Posteriormente, mediante el método de convolución, es calculado mediante un aguacero de 24 horas de duración con una distribución de intensidad rectangular, con las intensidades mencionadas previamente y ambos períodos de retorno.

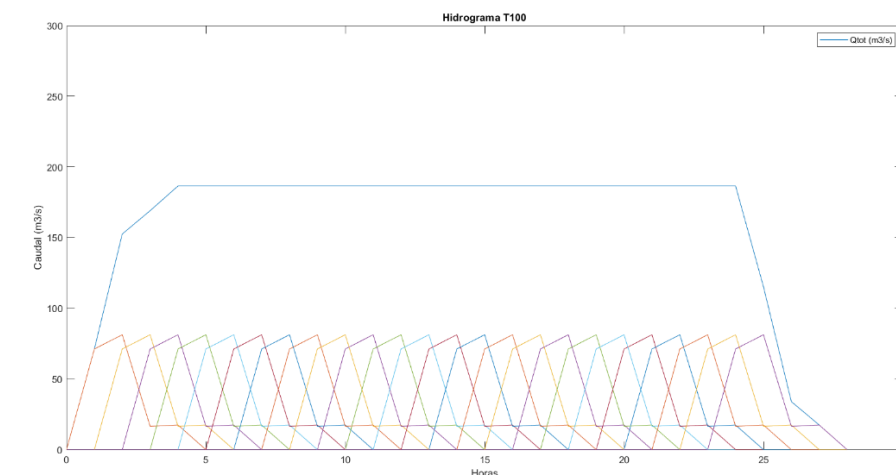


Figura 10. Hidrograma de la cuenca hidrográfica para un periodo de 100 años. Elaboración propia con Matlab.

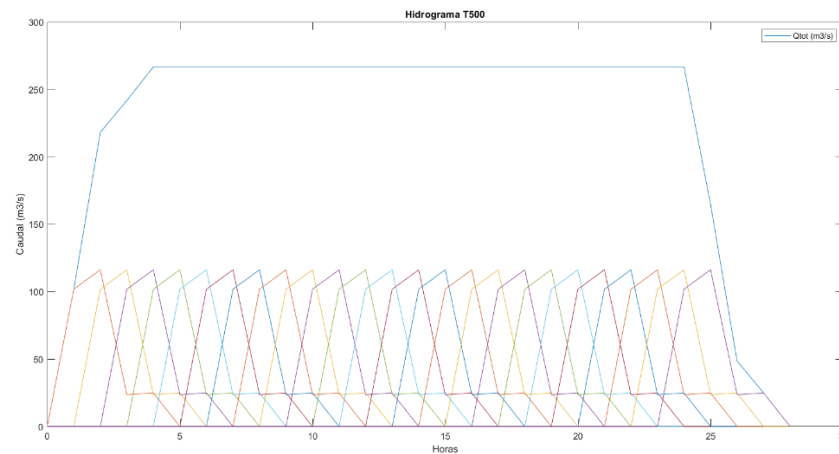


Figura 11. Hidrograma de la cuenca hidrográfica para un periodo de 500 años. Elaboración propia con Matlab.

5. ANÁLISIS HIDRAULICO:

El análisis hidráulico tiene como objetivo evaluar la interacción entre el flujo de agua y la estructura del puente, así como la determinación de las características del flujo, como la profundidad y velocidad del agua para posteriormente realizar las comprobaciones convenientes.

Para la realización de este apartado se recurrirá a las siguientes normativas:

- Norma 5.2-IC de la Instrucción de Carreteras. Drenaje superficial.

Para el desarrollo, será realizado mediante la herramienta informática HEC-RAS (Versión 6.5), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos para gestionar los ríos, puentes y otras obras públicas bajo su jurisdicción.

5.1 Geometría de la estructura:

Se define la estructura con una luz de 20.6 metros entre estribos, con una longitud total del tablero de 22 metros y una anchura de 5.5 metros. La parte superior del tablero cuenta con una cota de 341.17 m.s.n.m. mientras que la parte inferior cuenta con una cota de 339.75 m.s.n.m.

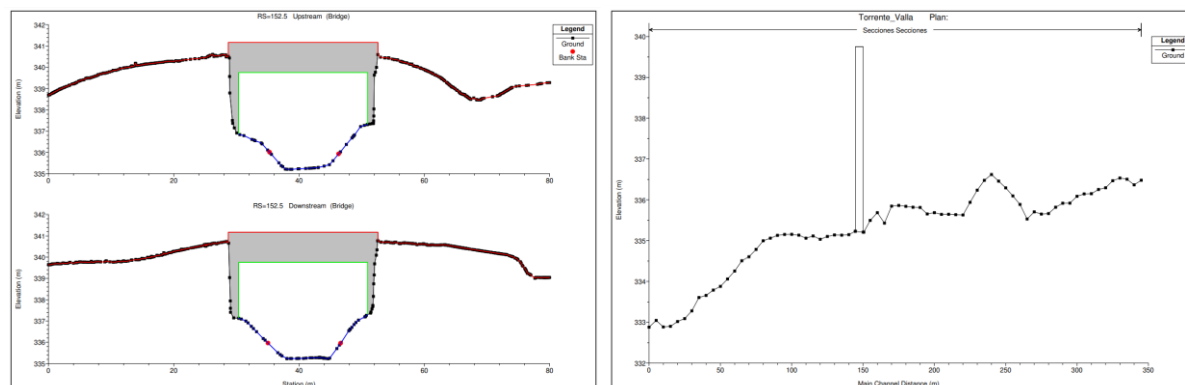


Figura 12. Geometría de la estructura. Elaboración propia con HEC RAS.

5.2 Condiciones iniciales:

Para realizar las verificaciones especificadas en la norma, se harán las simulaciones pertinentes a los periodos de retorno de 100 y 500 años. Para ello, se requerirán de los caudales de diseño calculados en el análisis hidrológico resultando en caudales pico de 186.5 m³/s para un período de retorno de 100 años y 266.72 para un período de 500 años.

5.3 Resultados:

A continuación, es mostrado los resultados pertenecientes a un período de 100 años para el terreno natural (sin la presente de la estructura preexistente) y para el terreno con la propuesta de reconstrucción del puente, siendo mostrado además los resultados para un período de retorno de 500 años con la propuesta de reconstrucción del puente.

5.3.1 Terreno natura para T=100 años:

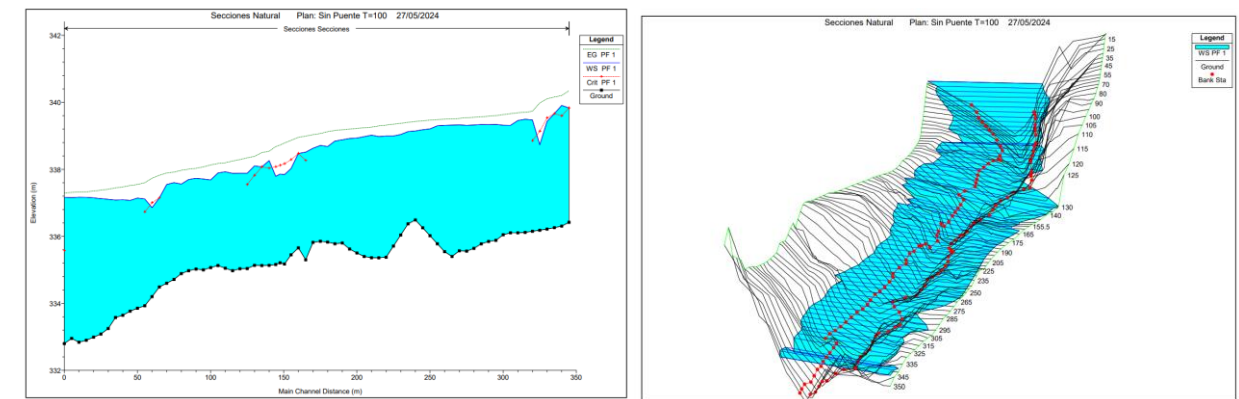


Figura 13. Resultados con terreno natural para T=100 años. Elaboración propia con HEC RAS.

Se observa que la corriente es predominantemente tipo lento, habiendo además algunas zonas de régimen crítico o supercrítico a lo largo del perfil en las secciones 0+60, 0+150.5 y 0+325.

5.3.2 Terreno con puente para T=100 años:

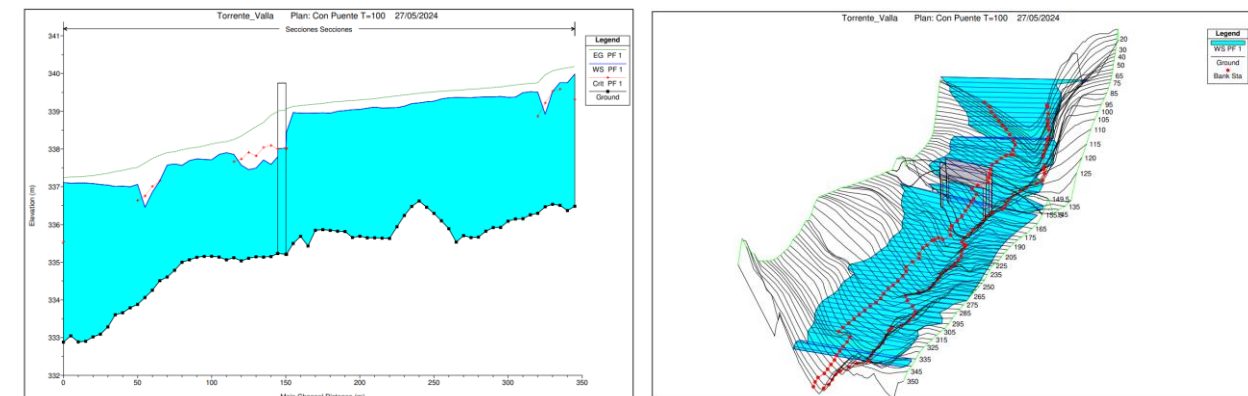


Figura 14. Resultados con terreno con puente para T=100 años. Elaboración propia con HEC RAS.

Con la implementación del puente, la corriente sigue siendo predominantemente tipo lento hasta la sección 0+155 y luego tiende hacia perfiles rápidos tanto en las secciones adyacentes aguas abajo del puente (secciones 0+149.5 a 0+130) como en las secciones 0+60 y 0+325.

5.3.3 Terreno con puente para T=500 años:

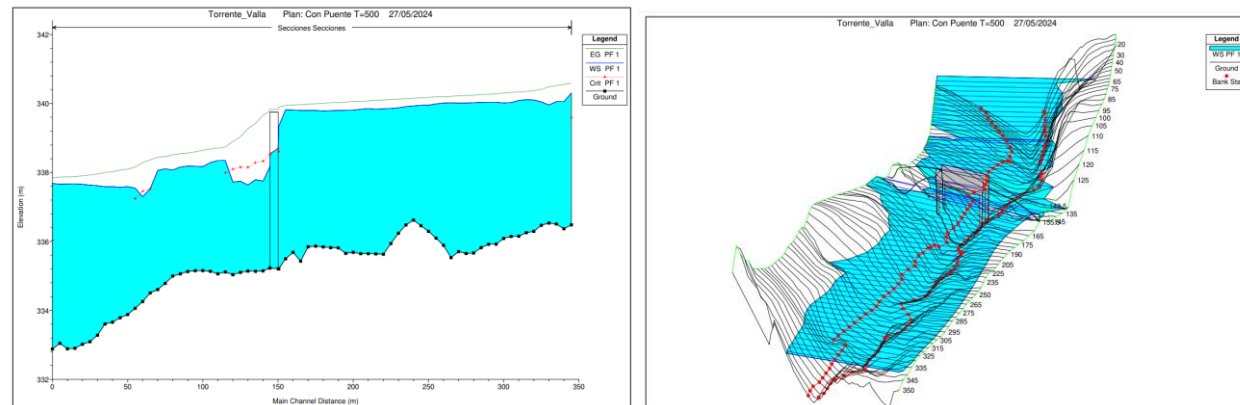


Figura 15. Resultados con terreno con puente para T=500 años. Elaboración propia con HEC RAS.

La corriente sigue siendo predominantemente tipo lento hasta la sección 0+155 y luego tiende hacia perfiles rápidos tanto en las secciones adyacentes aguas abajo del puente (secciones 0+149.5 a 0+130), en este caso es apreciable que no presenta ninguna sección con flujo supercrítico aguas arriba.

5.4 Comprobaciones:

5.4.1 Sobreelevación del nivel de la corriente:

Para la comprobación de la sobreelevación del puente, se comprobará que para el caudal de proyecto Q_p , siendo aquel perteneciente a un período de retorno de 100 años como se estipula en el artículo 1.3.2 de la normativa “Norma 5.2-IC de la Instrucción de Carreteras. Drenaje superficial”, la sobreelevación producida por la obra inmediatamente aguas arriba de ella no será superior a 50 cm acorde al artículo 4.3.1.

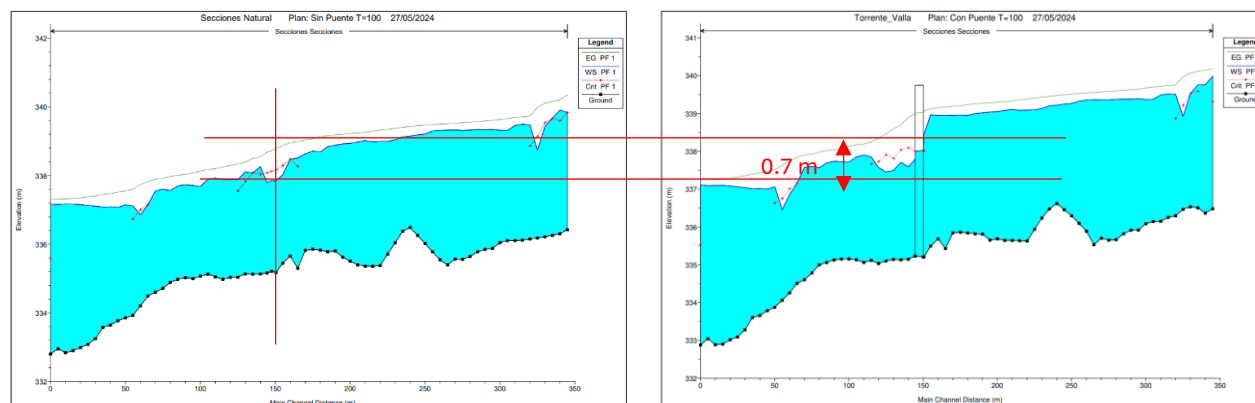


Figura 16. Comprobación de la sobreelevación del nivel de la corriente. Elaboración propia con HEC RAS.

Como es posible observar, se presenta una sobreelevación de 70 cm superior al límite de 50 cm. Ante el no cumplimiento de la normativa, se procederá a realizar un análisis con un flujo no estable acorde al aguacero de diseño estableciendo en documentos anteriores y evaluar sus posibles consecuencias.

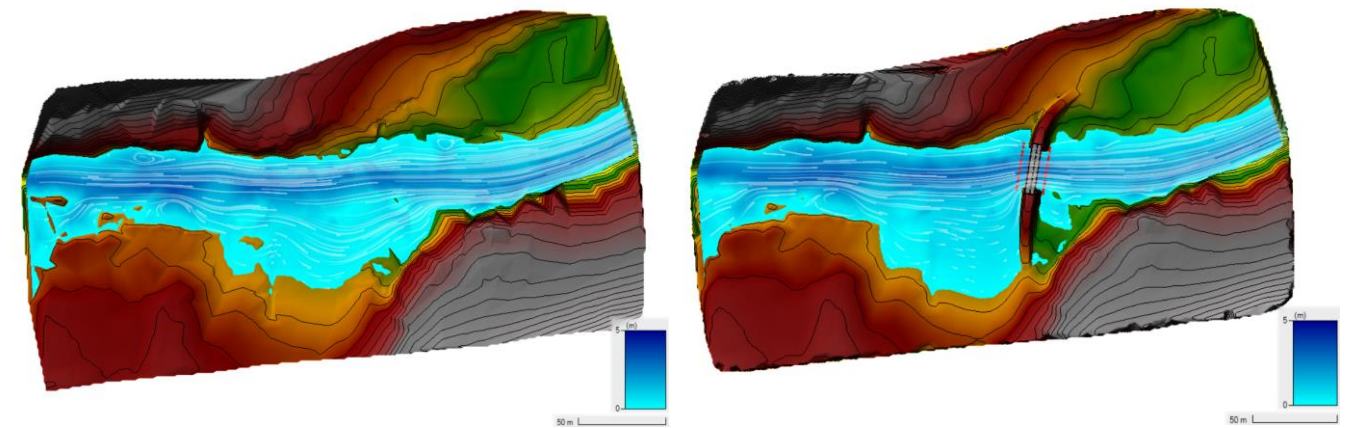


Figura 17. Simulación de inundación con flujo no estable con caudal con T=100. Elaboración propia con HEC RAS.

Adicionalmente, ha sido creado una representación gráfica con el cual visualizar en mayor detalle la comparación entre ambos casos a través del siguiente enlace o código QR:



https://youtu.be/ZAcSStNT_e4

Para realizar la evaluación, es mostrado la comparación entre ambos casos, siendo representados en verde el perteneciente al terreno natural y el azul el perteneciente al terreno con el puente, además de una vista satélite el terreno.



Figura 18. Comparación de inundación con T=100 y T=500. Elaboración propia con HEC RAS.

Aunque como se ha comentado anteriormente, no cumple la normativa acorde al artículo 4.3.1 de la normativa “Norma 5.2-IC de la Instrucción de Carreteras. Drenaje superficial”, es posible observar que la variación de la altura de la lámina de agua entre los dos casos no provoca grandes diferencias en el terreno. Además, debido a que la mayoría de la extensión pertenece a terreno agrícola sin proyecciones de construcción urbanista en la zona ni inmediaciones, resultaría suficiente para la justificación para la proyección establecida para la reconstrucción del puente.

5.4.2 Resguardo de tablero:

Para las verificaciones del resguardo del tablero del puente se recurrirá del artículo 4.3.2 de la normativa “Norma 5.2-IC de la Instrucción de Carreteras. Drenaje superficial”, siendo considerado como la mínima diferencia de cotas entre el intradós del tablero del puente y la lámina de agua bajo él, correspondiente a un período de retorno

Este resguardo se debe mantener en una anchura mayor o igual que doce metros medida en dirección perpendicular a la corriente desde los estribos.

Por ello, los puentes se deben proyectar manteniendo los resguardos mínimos que se indican:

- $r_t(T=100 \text{ años}) = 1.5\text{m}$
- $r_t(T=500 \text{ años}) = 1 \text{ m}$

Resguardo de tablero con T=100 años:

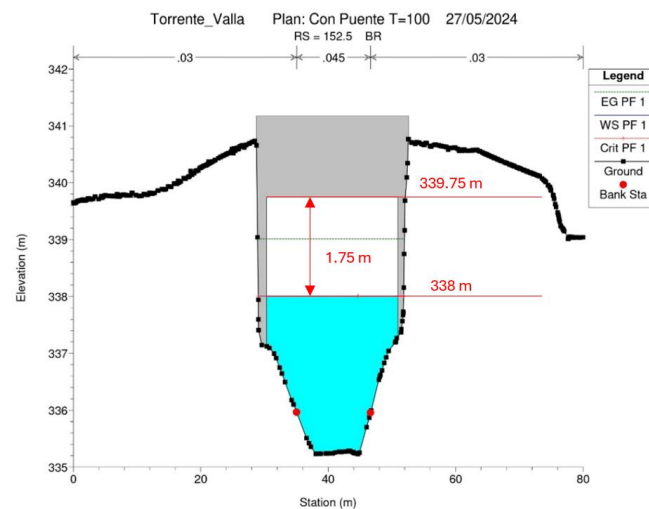


Figura 19. Resultado de nivel de la lámina de agua para T=100 años. Elaboración propia con HEC RAS.

La parte inferior del tablero cuenta con una altura de 339.75 m.s.n.m., siendo la altura de la cota de lámina de agua en el intradós del puente de 338 de metros. Por ello, el resguardo para un período de 100 años es de 1.75 metros, siendo mayor de 1.5 metros y por ende cumpliendo la normativa vigente.

Resguardo de tablero con T=500 años:

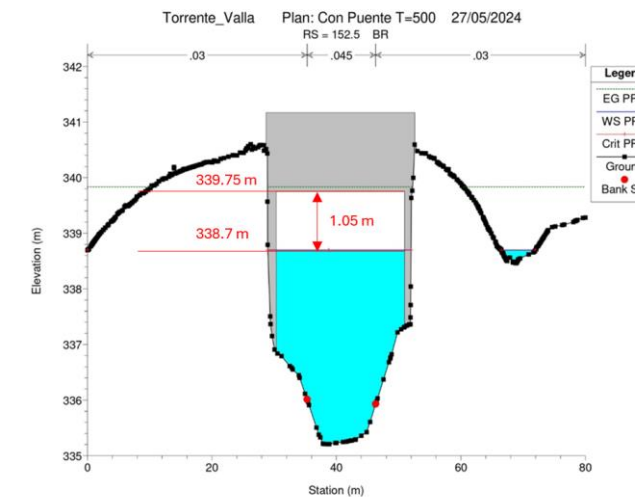


Figura 20. Resultado de nivel de la lámina de agua para T=500 años. Elaboración propia con HEC RAS.

La parte inferior del tablero cuenta con una altura de 339.75 m.s.n.m., siendo la altura de la cota de lámina de agua en el intradós en su punto más alto de 338.7 metros. Por ello, el resguardo para un período de 500 años es de 1.05 metros siendo mayor de 1 metros y por ende cumpliendo la normativa vigente.

5.5 Conclusiones:

El análisis hidráulico ha dado como resultado una respuesta en general satisfactoria ante las situaciones potenciales contempladas en la normativa “NORMA 5.2-IC de la Instrucción de carreteras Drenaje superficial”.

Se ha comprobado que, aunque no se cumple la sobreelevación del nivel de la corriente para un período de 100 años, resulta suficiente la propuesta adoptada debido a que no se prevé proyecciones de construcción urbanista en la zona ni inmediaciones debido a ser zona agrícola.

Se ha comprobado que, el resguardo del tablero es suficiente para un periodo de retorno de 100 años y un periodo de retorno de 500 años, cumpliendo en ambos casos la normativa.

6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL:

El análisis estructural es realizado con el fin de definir y comprobar por cálculo el tablero metálico del puente para la reconstrucción del puente ubicado en la provincia de Spigno Monferrato, en la región de Piemonte, Italia. Se verificará su viabilidad, así como su comportamiento estructural antes las cargas definidas por la especificaciones e indicaciones de la normativa vigente.

El modelo ha sido creado en SAP2000 para analizar y determinar las fuerzas y tensiones a las que se someterá el puente durante toda su vida útil. Para este análisis, se han considerado diferentes combinaciones de cargas eligiendo los escenarios más desfavorables para asegurar la seguridad.

6.1 Modelo estructural:

El tablero está constituido por una estructura mixta compuesta de 4 vigas principales biapoyadas con apoyos articulados de 0.9 metros de altura y 22 metros de longitud acompañadas de 27 vigas secundarias de 0.4 metros de altura y 1.08 metros de longitud. Además, se contará con vigas de arriostramiento a lo largo de todo el tablero del puente y losas de hormigón de 0.2 y 0.5 metros de espesor.

Para los elementos estructurales del puente, se han empleado diferentes tipos de perfiles. Para las vigas principales y secundarias se ha recurrido a perfiles IPE, siendo para las vigas principales 900*350 y para las vigas secundarias que descansan en las principales 400*300. Además, para las vigas de arriostramiento se han empleado dobles perfiles angulares de lados iguales 80*80*8*10 que descansan igualmente en las vigas principales y que han sido unidas a ellas a través de links fijando las direcciones de translación en las tres direcciones (U1, U2, U3) no permitiendo ningún movimiento en estas direcciones.

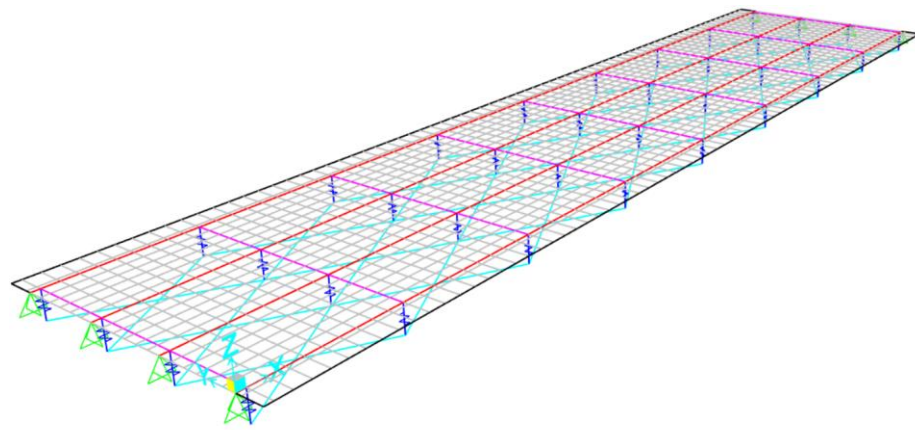


Figura 21. Vista 3D tipo standard del modelo. Elaboración propia con SAP2000.

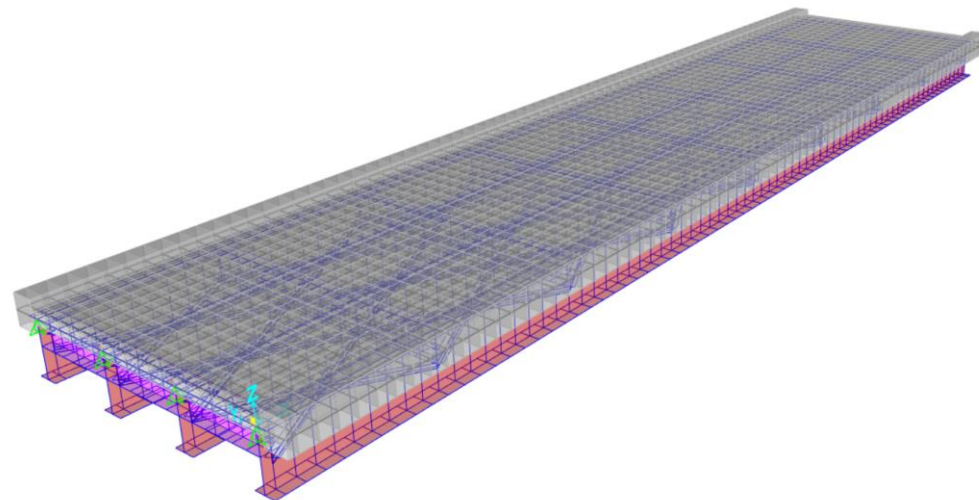


Figura 22. Vista 3D tipo extruido del modelo. Elaboración con SAP2000.

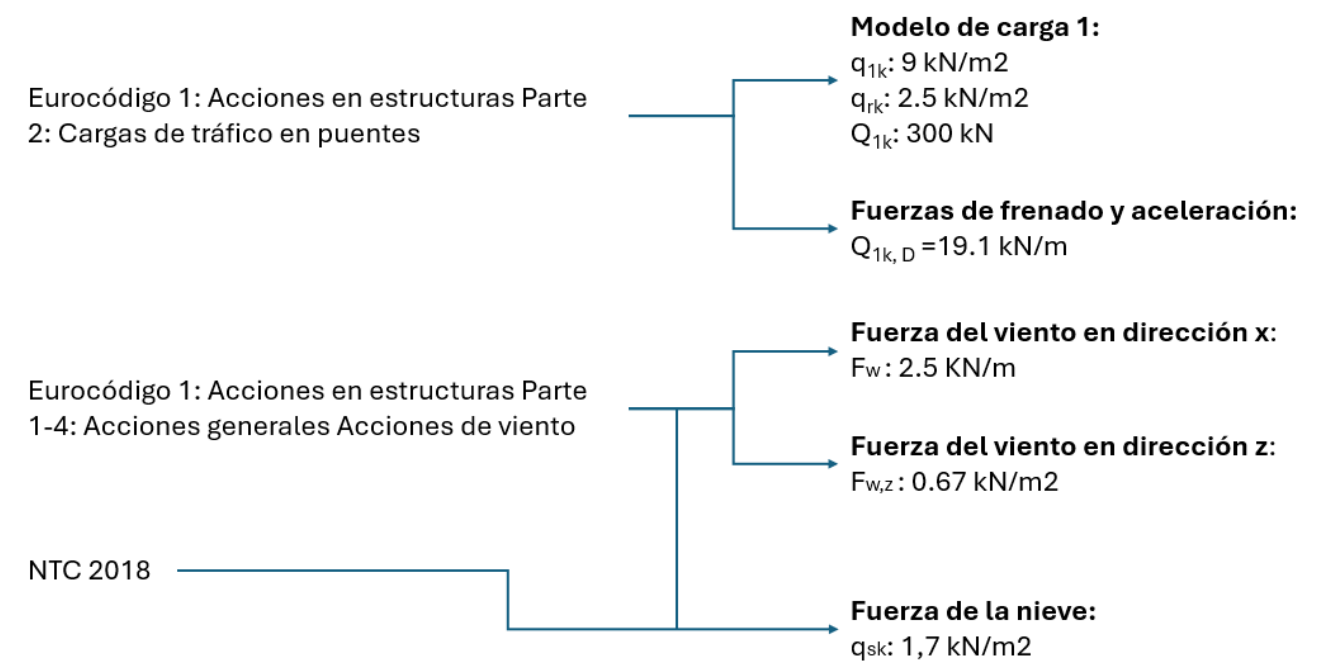
6.2 Cálculo de cargas:

Con el fin de realizar la estimación de las cargas, se ha recurrido a las siguientes normativas:

- NTC 2018
- Eurocódigo 1: Acciones en estructuras Parte 2: Cargas de tráfico en puentes
- Eurocódigo 1: Acciones en estructuras Parte 1-4: Acciones generales Acciones de viento

A partir de ellas, han sido calculadas las cargas variables relativas a la sobrecarga de uso, viento y nieve aplicadas posteriormente en el modelo.

CÁLCULO DE CARGAS:



6.3 Combinación de acciones:

Para la realización de las combinaciones de cargas, ha sido necesario recurrir a las siguientes normativas vigentes:

- Eurocódigos Bases de cálculo de estructuras

Con ello, se define las combinaciones de acciones para la combinación ELU.

Tabla 2. Combinaciones de acciones para ELU.

Combinación ELU	Acciones				
	Peso propio	Cargas Muertas	Sobrecarga de uso	Viento	Nieve
ELU 1 (gr1a-TS1)	Si	Si	Dominante	Concomitante	No
ELU 2 (gr1a-TS2)	Si	Si	Dominante	Concomitante	No
ELU 3 (gr2-TS1)	Si	Si	Dominante	No	No
ELU 4 (gr2-TS2)	Si	Si	Dominante	No	No
ELU 5	Si	Si	No	Dominante	Concomitante

Adicionalmente, se definen las combinaciones de acciones para la combinación ELS.

Tabla 3. Combinación de acciones para ELS.

Combinación ELS	Acciones				
	Peso propio	Cargas Muertas	Sobrecarga de uso	Viento	Nieve
ELS 1 (gr1a-TS1)	Si	Si	Dominante	Concomitante	No
ELS 2 (gr1a-TS2)	Si	Si	Dominante	Concomitante	No
ELS 3	Si	Si	No	Dominante	Concomitante
ELS ELD	No	No	Dominante	No	No

6.4 Resultados:

Los resultados muestran, que la estructura trabaja principalmente a flexión, siendo su máximo en el centro del vano. Secundariamente, la estructura trabaja a cortante principalmente en los extremos del tablero. Todo ello acorde a una estructura biapoyada con apoyos articulados.

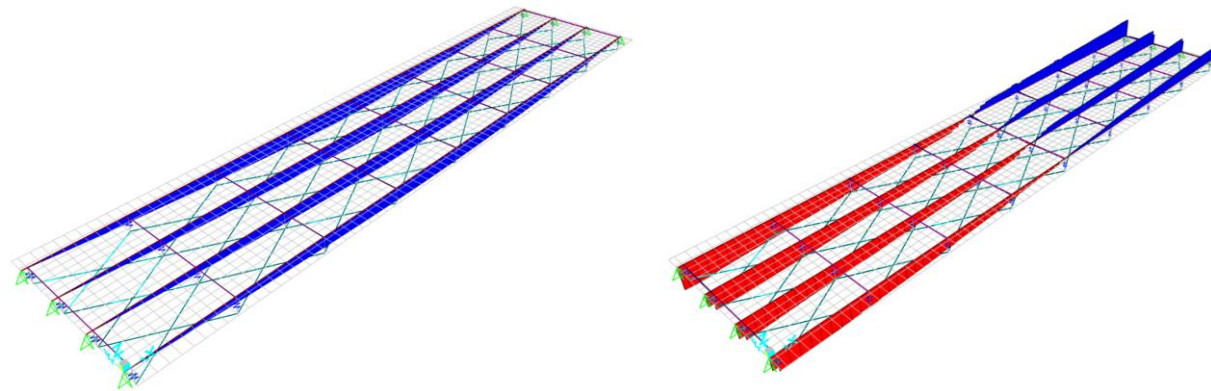


Figura 23. Resultados del análisis estructural. Elaboración propia con SAP2000.

6.5 Comprobaciones:

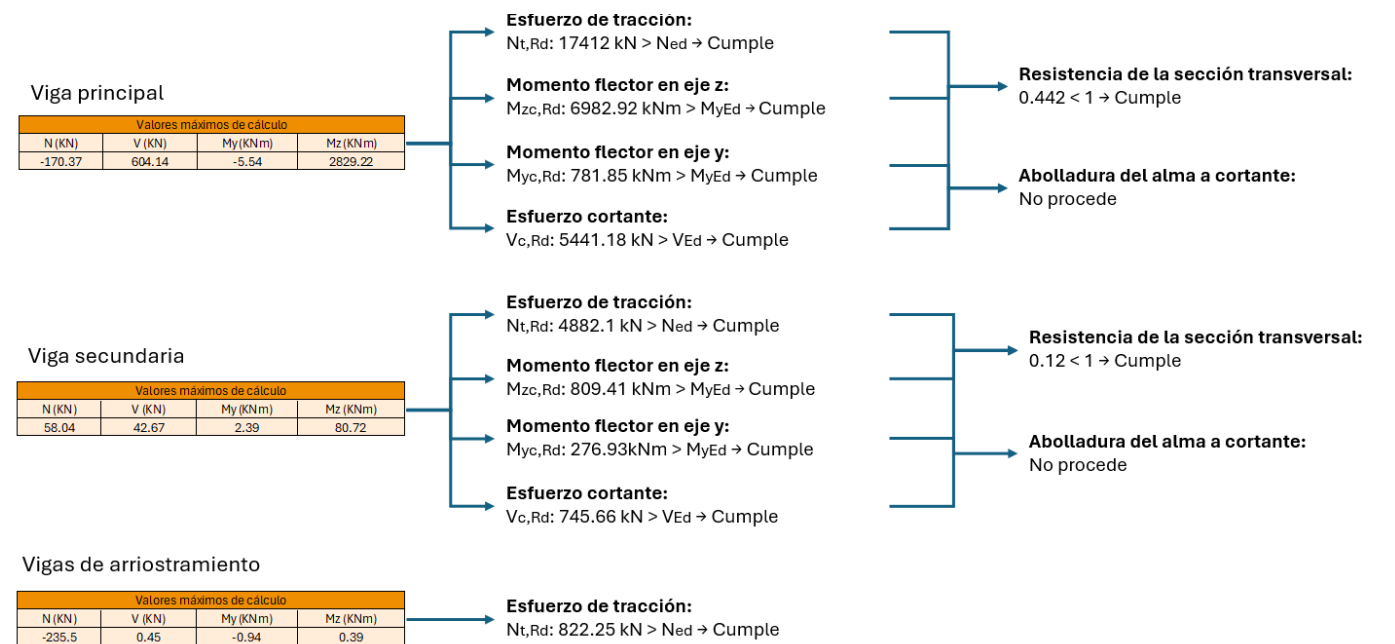
6.5.1 Comprobaciones para ELS: flecha máxima

Para la comprobación de la flecha, se ha recurrido al apartado AN.4.2.1 para verificar que la flecha máxima no supere un valor límite. Por ello, se ha de verificar que la flecha máxima no supere $L/1000$, siendo como flecha máxima 22 mm.

En cuanto a la flecha obtenida para el valor frecuente de la sobrecarga de uso (ELS ELD), se ha obtenido una flecha de 38.142 mm siendo mayor a la flecha máxima estipulada y por ello se incumple con lo establecido en la norma. Por ello, se ha redimensionado las vigas principales a 1150*350. Con ello es obtenido una flecha máxima de 21.58 mm cumpliendo con lo establecido en la normativa.

6.5.2 Comprobaciones para ELU:

En este apartado, se procederán a hacer la comprobación de los elementos principales de la estructura de acero relativos al tablero del puente. Para ello, se recurrirá a la combinación ELU2 debido al ser el caso más desfavorable mediante la normativa "EAE Instrucción de Acero Estructural".



6.6 Conclusiones:

En este análisis, se ha diseñado y analizado un tablero mixto compuesto por acero y hormigón utilizando el software SAP 2000. La estructura del tablero se ha sometido a un conjunto de cargas estipuladas por los Eurocódigos, las cuales incluyen tanto las cargas permanentes como las cargas variables, garantizando que el modelo computacional refleje con precisión las condiciones a las que estará expuesto el puente durante su vida útil.

Posteriormente, se han realizado las comprobaciones de la parte de acero del tablero conforme a la normativa "Eurocódigos Bases de cálculo de estructuras" y a la normativa EAE (Instrucción de Acero Estructural), asegurando que la estructura y las secciones de acero cumplan con los requisitos que impone la normativa.

7. PROGRAMA DE TRABAJOS:

El programa de trabajo tiene como finalidad la representación de los trabajos a realizar para la propuesta de ejecución de la reconstrucción del puente, así como una representación gráfica del proceso constructivo de este.

Para la obtención de la duración total del proyecto, se ha supuesto una jornada de trabajo tal que las semanas presentarán 5 días laborales (lunes a viernes) suponiendo una jornada laboral de 8 horas cada uno.

En total, teniendo en cuenta la duración de las tareas y supuestos iniciales que se comentarán más adelante, la duración total de la obra es de 199 días laborales. En cuanto a la iniciación de las obras, se ha supuesto un comienzo de las obras el día 21 de junio de 2024 con finalización de las obras el 26 de marzo de 2025, siendo la duración de la obra de un total de 278 días naturales.

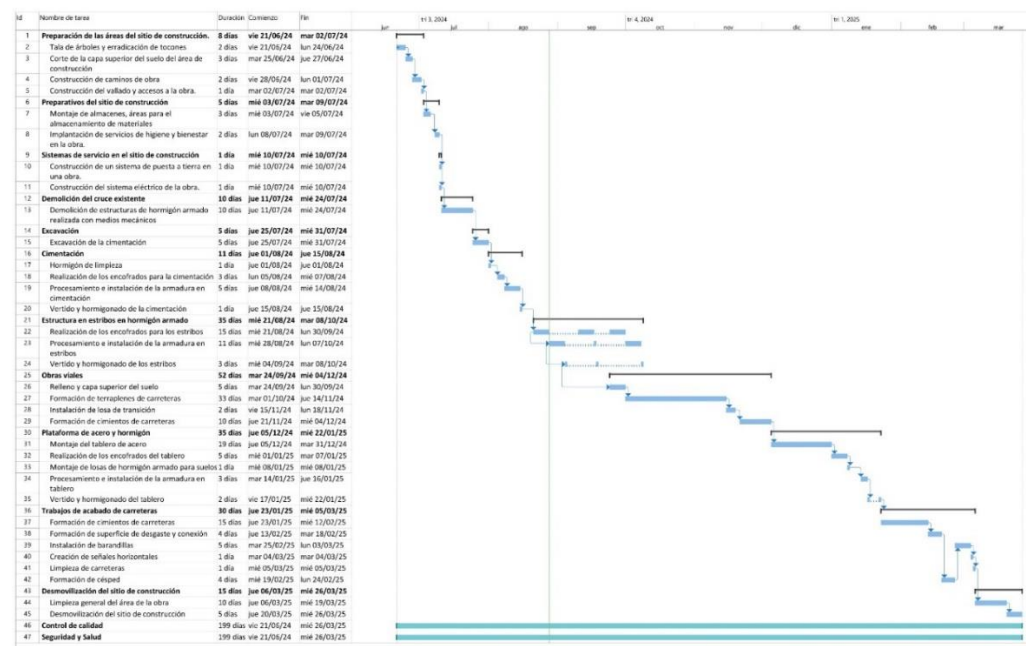


Figura 24. Diagrama de Gantt del programa de trabajos. Elaboración propia con Microsoft Project.

Adicionalmente, es mostrado el proceso constructivo mediante una representación gráfica descrito con anterioridad a través del siguiente enlace o código QR:

<https://youtu.be/KFhR5qo5dqo>



8. PRESUPUESTO:

El presupuesto de la obra tiene como finalidad definir una valoración económica para los trabajos relativos a la propuesta de reconstrucción del puente. Para la estimación de este, se tendrán en consideración las partidas más importantes de la obra. En ellas se definirán y estimarán las mediciones, para posteriormente multiplicarlas por su precio unitario. Con la suma de todos ellos, se llevará a cabo el presupuesto de ejecución material (PEM) que junto con impuestos y porcentajes se estimará el presupuesto total de la obra (PBL).

Con ello, el presupuesto de ejecución material (PEM) asciende a la cantidad de 478320,85 euros. Finalmente, añadiendo las cantidades correspondientes a gastos generales, beneficio industrial e impuestos (IVA) se obtiene el presupuesto base de licitación (PBL) que asciende a la cantidad de 711884,91 euros.

9. MODELADO BIM:

Dicho apartado tiene como finalidad la definición de los programas utilizados para la elaboración del modelaje del puente dentro del entorno BIM. Además, se llevará a cabo la justificación del uso de los diferentes programas, así como la interoperabilidad que existe entre ellos y los diferentes problemas e inconvenientes resultante de la interacción que existe entre ellos y como solventarlos, resultante de la propia experiencia adquirida durante el modelaje.

9.1 Flujo de trabajo:

Se definen los programas utilizados dentro del entorno BIM, así como los métodos o archivos para el intercambio de información entre programas. Adicionalmente, se incluyen programas que no forman parte del entorno BIM, pero han requerido el intercambio de información con ellos.

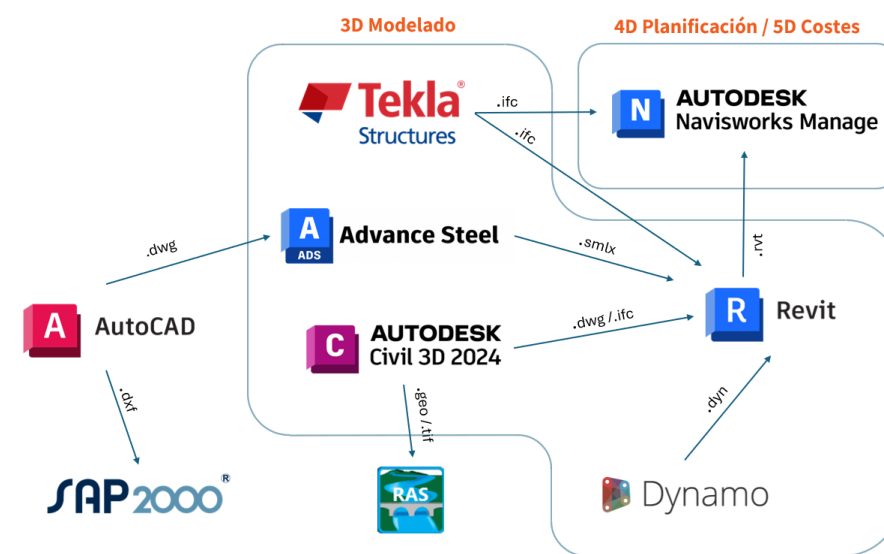


Figura 25. Flujo de trabajo. Elaboración propia.

9.2 Programas:

9.2.1 AutoCad:

La principal razón para el uso del programa es la familiaridad con el programa, siendo uno de los programas líderes en el mercado. Se ha requerido la utilización del programa para la creación de planos simples que, partir de ellos, han sido transferidos para su uso en otros programas, como puede ser el caso para Advance Steel o cómo se puede observar a continuación para SAP2000.

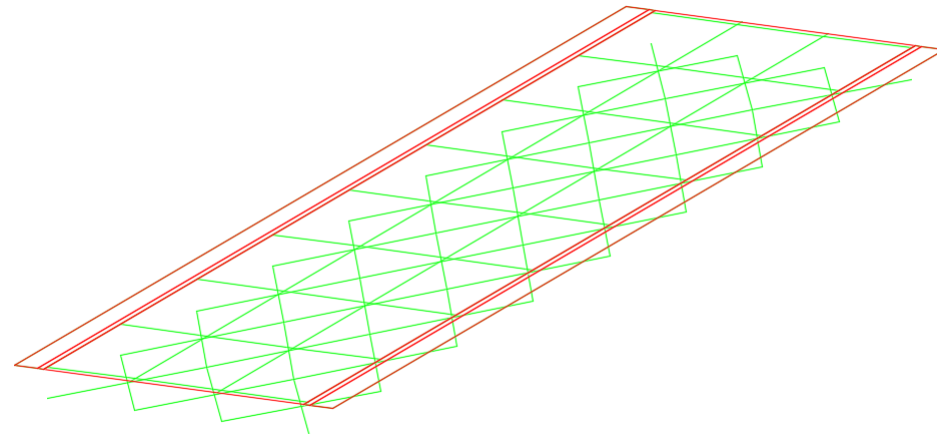


Figura 26. Vista 3D de plano para SAP2000. Elaboración propia con AutoCad.

9.2.2 Tekla:

La principal razón para el uso de Tekla es su versatilidad para el modelaje de las estructuras de hormigón armado. Por ello, ha sido usado principalmente para el modelaje de las estructuras de hormigón y el armado de ellas mediante la herramienta "Bar group" para la determinación del recubrimiento, longitud, diámetro y los ganchos de cada.

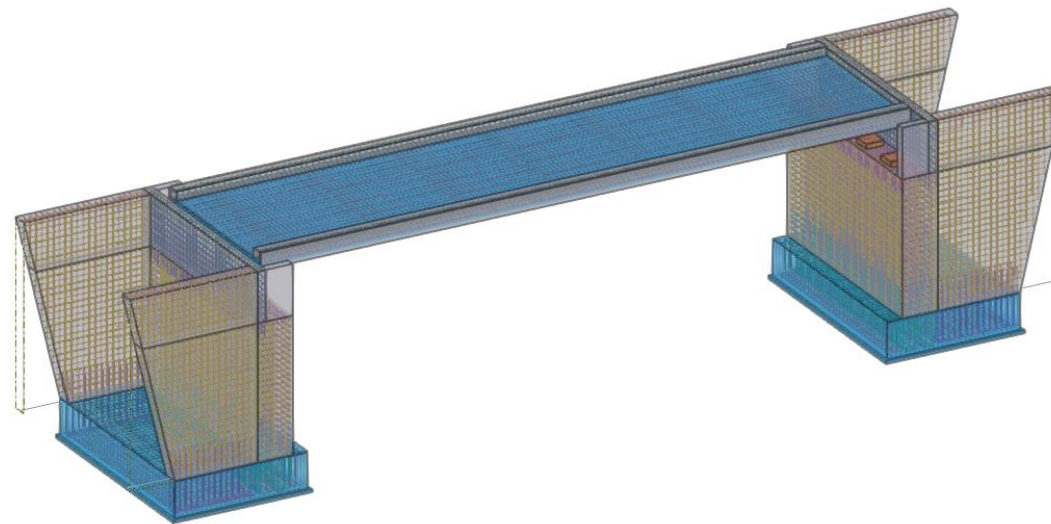


Figura 27. Vista 3D del modelo de las estructuras de hormigón. Elaboración propia con Tekla.

9.2.3 Advance Steel:

Los dos principales motivos para su elección es la capacidad de crear fácilmente conexiones mediante la herramienta "Connection vault" así como su alta compatibilidad e interoperabilidad con otros programas de la familia Autodesk como Revit. Consecuentemente, su uso ha sido destinado a la creación de toda la estructura de acero.

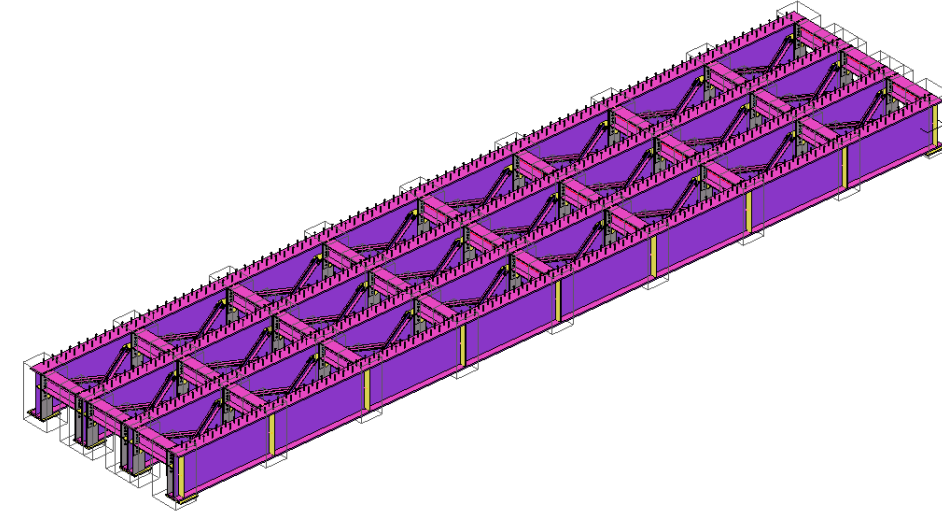


Figura 28. Vista 3D del modelo de la estructura de acero. Elaboración propia con Advance Steel.

9.2.4 Civil3D:

La principal razón para su elección es su integración completa con otros productos de Autodesk, ofreciendo además potentes herramientas de modelado en 3D y análisis de superficies, esenciales para el diseño preciso de infraestructuras como carreteras. Con él, se ha sido realizado la creación de los terraplenes, la creación de la capa de rodadura y otros elementos de la carretera como las losas de transición y la cimentación.

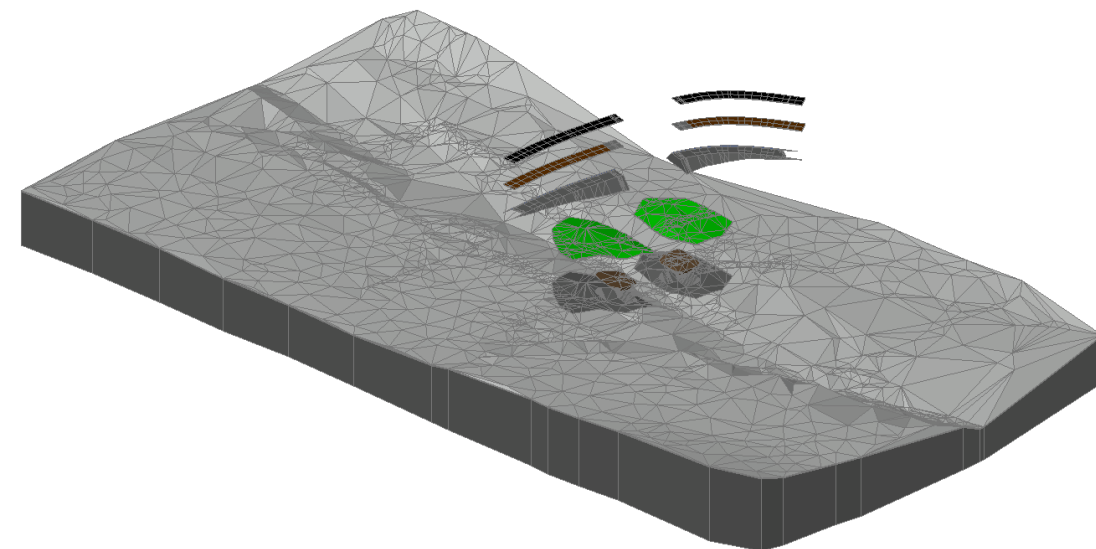


Figura 29. Creación de los elementos del terreno. Elaboración propia con Civil 3D.

9.2.5 Revit:

El programa ha sido usado para la integración de las diferentes disciplinas en un mismo modelo, además, se han incluido otros elementos al modelo mediante las familias pertenecientes por defecto a los archivos Revit como pueden ser los árboles, así como otras familias externas al programa que pueden ser introducidas como puede ser el caso de vallado, vehículos, almacenes...

Adicionalmente, ha sido el programa escogido para la realización de los planos.

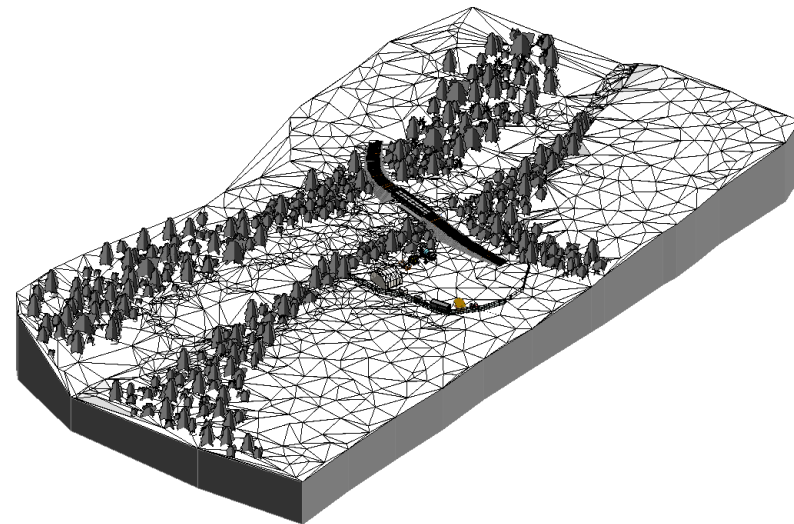


Figura 30. Modelo completo con familias. Elaboración propia con Revit.

9.2.6 Dynamo:

La razón principal para la elección de dicho programa es su gran capacidad para la creación de elementos repetitivos gracias a la creación de algoritmos y nodos. Se ha requerido únicamente para la creación de los pretilos del puente al ser elementos repetitivos. Para la creación de los diferentes elementos de los pretilos, se han requerido de los algoritmos y nodos que dicho programa posee.

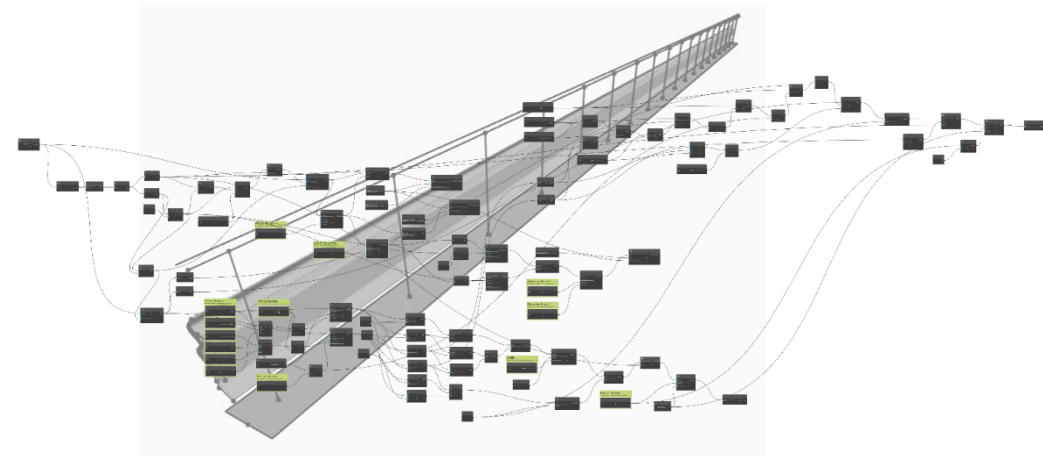


Figura 31. Workspace y background 3D preview de los pretilos. Elaboración propia con Dynamo.

9.2.7 Navisworks:

Las principales razones para el uso de dicho programa es su alta interoperabilidad con otros programas, permitiendo una gran variedad de formatos y archivos. Los dos principales usos llevados a cabo han sido la simulación del programa de trabajo, así como la realización de algunas de las mediciones del puente para la estimación del coste.

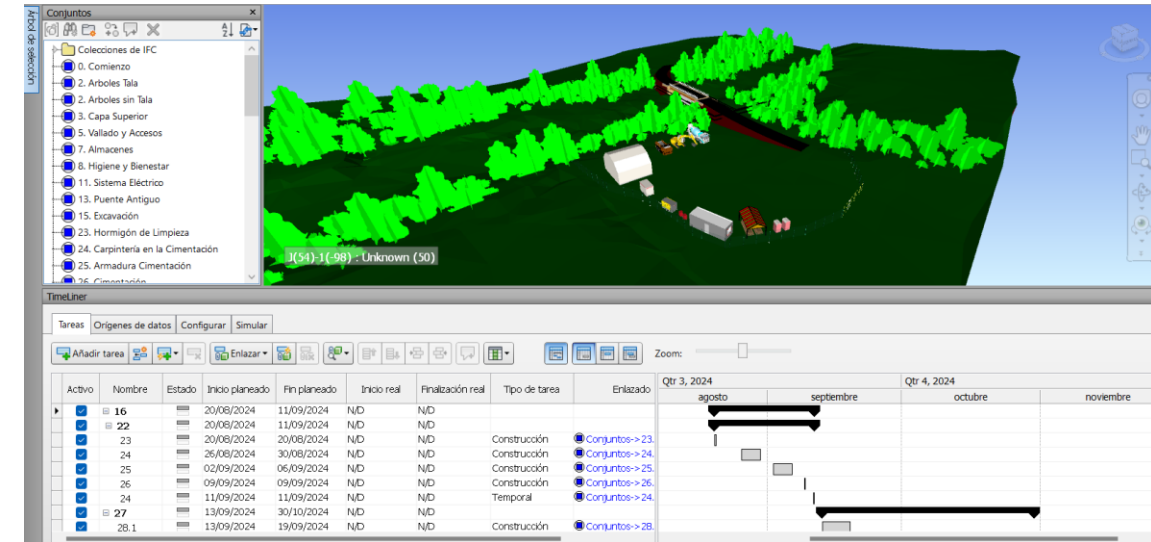


Figura 32. Interfaz del "TimeLiner". Elaboración propia con Navisworks.

9.3 Problemas de interoperabilidad:

En este apartado se abordará la descripción de los problemas resultantes del intercambio de archivos entre los diferentes programas BIM, así como se ha procedido para solucionarlos.

Cabe destacar, que los métodos empleados, así como las descripciones aquí descritas son acordes a la propia experiencia adquirida por el estudiante, siendo por ello susceptible de errores y maneras más eficientes o maneras de evitar los errores que van a ser descritos.

9.3.1 Advance Steel-Revit:

El principal problema de interoperabilidad entre dichos programas es debido a que ambos programas funcionan con una base de datos, esto conlleva a que un elemento que se desea transferir de un programa a otro tiene que estar presente en la base de datos de ambos programas. Además, se puede observar que la transferencia desde Advance Steel a Revit en ciertos casos no conserva la posición original en la que fueron establecidas

Con ello, es requerido la creación, o en este caso la modificación de un perfil existente, en Revit de los perfiles definidos en Advance Steel. Además, para corregir el posicionamiento de los perfiles ha sido corregir manualmente la posición y rotación.

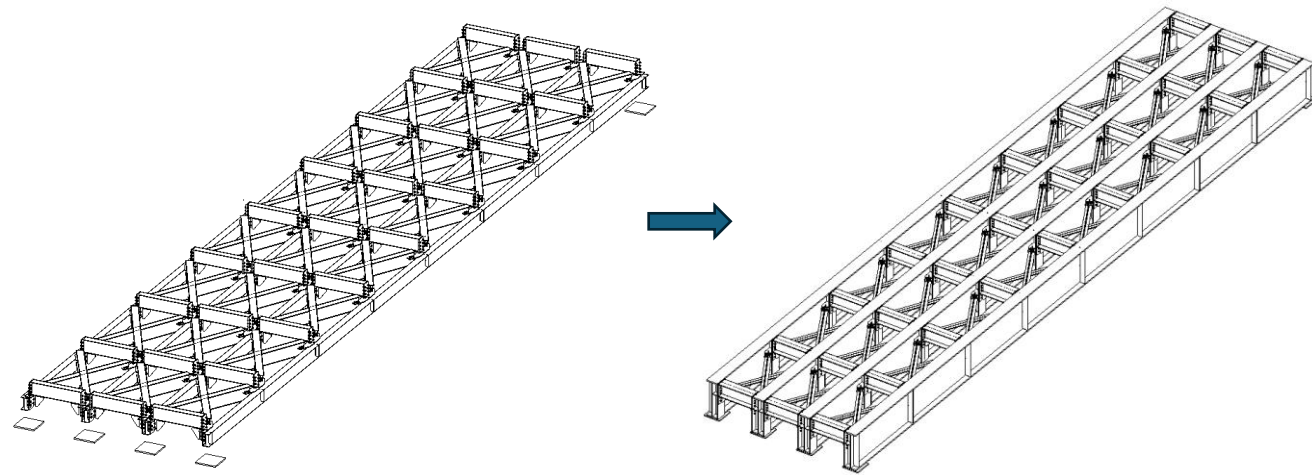


Figura 33. Corrección de errores en Revit. Elaboración propia con Revit.

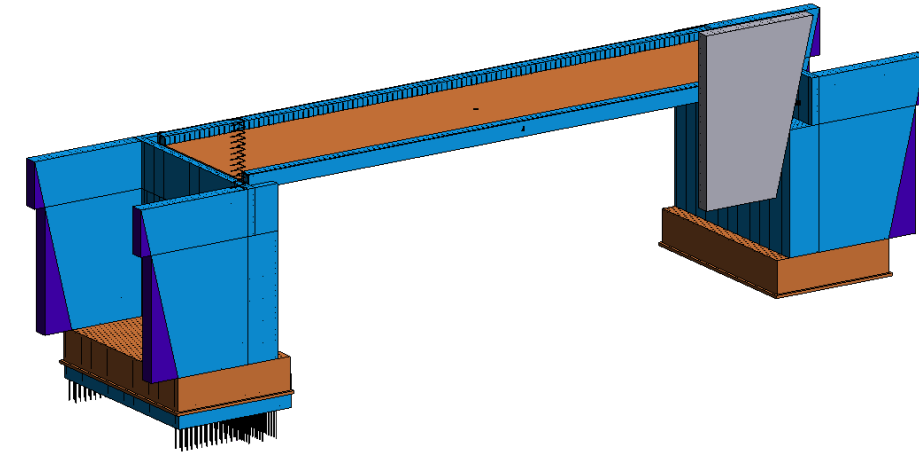


Figura 35. Segunda implementación del archivo Tekla. Elaboración propia en Revit.

9.3.2 Tekla-Revit:

El principal problema a la hora de transferir un archivo de Tekla a un archivo Revit radica en cómo ha sido modelado la estructura de hormigón en Tekla, dejando el remanente a la hora de crear los paneles inclinados con el comando "Chamfer Edge".

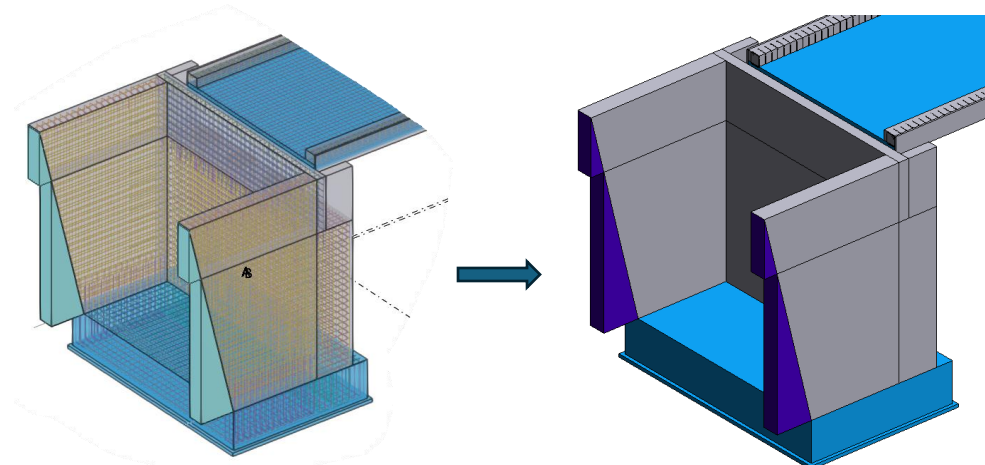


Figura 34. Exportación de Tekla a Revit. Elaboración propia con Tekla y Revit.

Para solucionar dicho problema, es necesario seleccionar el modelo en Revit y utilizar el comando "Bind Link". Una vez usado aparecerá una ventana en la cual tendremos que seleccionar "Remove Link". Finalmente será necesario usar la opción "Ungroup" para obtener todas las partes del modelo separadas y poder eliminar las partes indeseadas del modelo.

Dicha solución puede acarrear problemas en el caso en que el modelo sea introducido varias veces en Revit, siendo deformado el modelo original y con la única solución vista de crear un nuevo archivo Revit e introducir todo el modelo en dicho archivo nuevo.

9.3.3 Civil3D-Revit:

El principal problema radica en el modo en que es transferido el modelo de Civil 3D a Revit. En el caso de que sea transferido mediante un archivo .dwg, no será posible realizar secciones del terreno, debido a que, si se realizan, no se observa el corte.

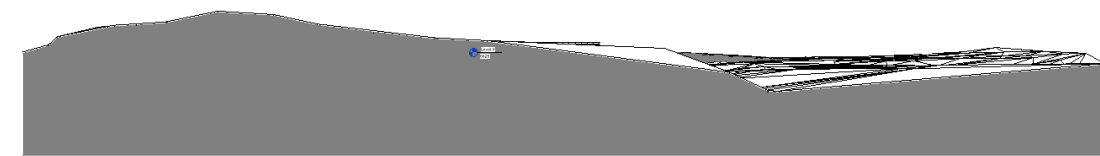


Figura 36. Sección resultante con archivo .dwg. Elaboración propia con Revit.

Para solucionar dicho problema ha sido necesario transferir el modelo mediante un archivo IFC, con el cual sí que es posible realizar las secciones satisfactoriamente.

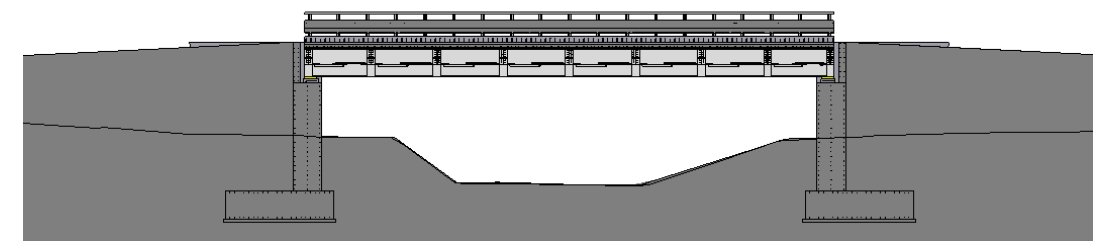


Figura 37. Sección resultante con archivo .ifc. Elaboración propia con Revit.

9.3.4 Revit/Civil3D-Navisworks:

Como se ha visto anteriormente, se ha requerido transferir diferentes formatos de archivo dentro de Revit, que posteriormente serían introducidos en Navisworks.

Sin embargo, con un archivo IFC no es posible transferir todo el modelo de Revit a Navisworks debido a que en Navisworks es producido un error interno.

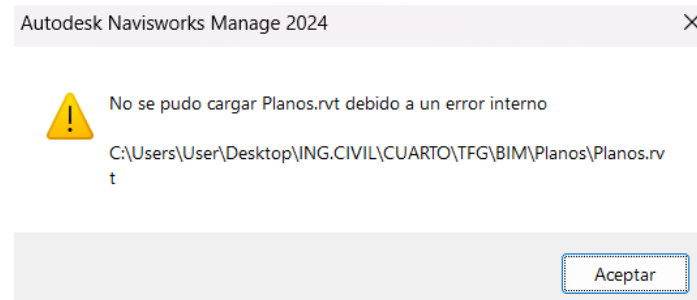


Figura 38. Error de importación de Revit a Navisworks. Elaboración propia con Navisworks.

Por ello, se han realizado dos modelos paralelos, el primero de ellos con el terreno mediante un archivo .dwg para su transferencia a Navisworks y un segundo de ellos con el terreno en formato IFC para la creación de planos.

9.3.5 Civil3D-HEC RAS:

Una vez realizado todos los elementos pertenecientes a Civil3D, es necesario crear una superficie para ser exportado como un archivo DEM en formato .tif. Por ello, es posible observar que dichos elementos constituyen elementos individuales que no forman un elemento en conjunto, por ello no resulta viable la creación de una superficie para ser posteriormente exportada a HEC RAS.

Para solucionar el problema, ha sido necesario recurrir a conjunto de pasos. Primeramente, ha sido necesario la unión de todos los elementos ("3D Solids") con el comando "Merge".

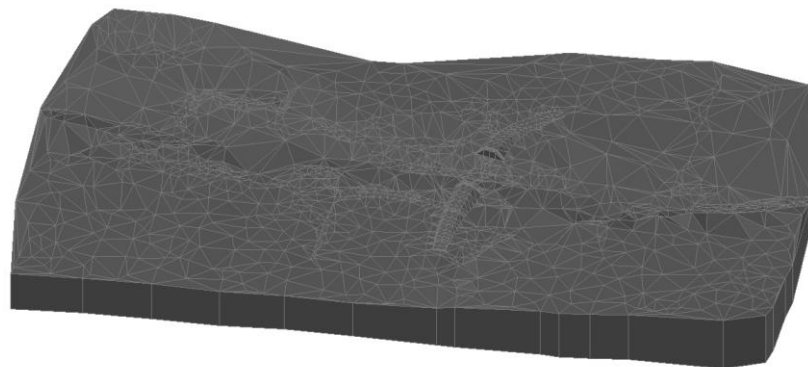


Figura 39. Vista 3D del terreo constituido como "3D Solids". Elaboración propia con Civil 3D.

Para la transformación del sólido de "3D Solid" a "3D Faces", es necesario aplicar el comando "MESHSMOOTH" al sólido, con ello es creado un nuevo elemento denominado "Mesh". Posteriormente, es aplicado el comando "EXPLODE", el cual convierte el elemento en "3D Faces". Finalmente, con la superficie creada es introducido los "3D Faces" mediante la herramienta "Drawing Objects" en el aparato de "Definition" de la superficie creada a través del apartado "Tool Space", creando una "Tin Surface".

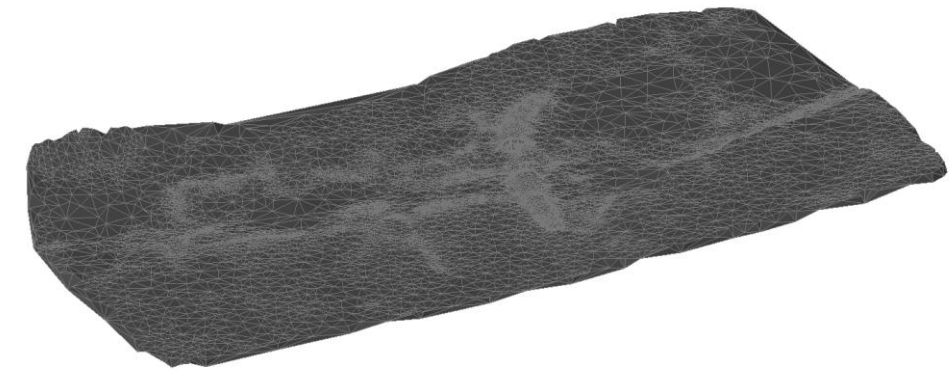


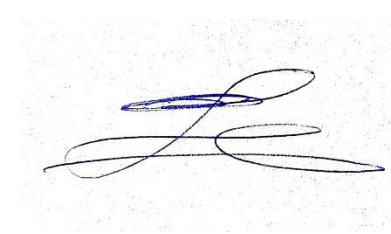
Figura 40. Vista 3D de la superficie constituida como "Tin Surface". Elaboración propia con Civil 3D.

10. CONCLUSIÓN:

En conclusión, el desarrollo de este Trabajo Final de Grado ha permitido la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos a lo largo del Grado en Ingeniería Civil. A través de la realización de este proyecto, se han abordado las competencias en el diseño, planificación y análisis de infraestructuras. El análisis hidrológico e hidráulico llevados a cabo han proporcionado la comprensión del comportamiento de los recursos hídricos y de la dinámica de los fluidos en el entorno del proyecto, aspectos fundamentales para garantizar la viabilidad de la estructura propuesta según la normativa vigente. Asimismo, el análisis estructural realizado ha asegurado que la obra cumpla con los estándares requeridos según las normas vigentes.

Además, el diseño y modelaje a través de estimaciones mediante herramientas BIM, ha permitido la elaboración de mediciones y la estimación de los costes económicos y tiempos de ejecución, esenciales para garantizar una planificación del proyecto. Este TFG ha sido una oportunidad valiosa para consolidar las habilidades y conocimientos adquiridos durante la formación académica, demostrando la capacidad del estudiante para abordar proyectos de ingeniería civil con un enfoque técnico riguroso y un compromiso con la calidad y la eficiencia. En definitiva, este trabajo ha servido no solo para integrar conocimientos teóricos y prácticos, sino también para preparar al estudiante para los retos profesionales que enfrentará en su futura carrera como ingeniero civil.

Valencia, septiembre de 2024



Fdo.: Soler Bejarano, Francisco