

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS**

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN E INGNIERÍA DE FABRICACIÓN
ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
ESTUDIO TÉCNICO**

**ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO
PARA PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL
RÍO CAUDAL**

**AUTOR: ALBA LÓPEZ BRAÑA
TUTOR: CARLOS LÓPEZ-COLINA PÉREZ
COTUTOR: MARTA GARCÍA DIÉGUEZ**

JUNIO DE 2022



RESUMEN

Las vibraciones excesivas en puentes y pasarelas suponen uno de los problemas más complejos de abordar a la hora de proyectar este tipo estructuras por diversos motivos. En primer lugar, son resultado de acciones dinámicas, como el viento o el paso de vehículos o peatones, cuya variabilidad y magnitud resultan difíciles de cuantificar y modelizar en los programas de cálculo de estructuras y, en segundo lugar, sus efectos producen una incomodidad subjetiva, que varía de unos usuarios a otros. Esto, añadido a una creciente tendencia a construir estructuras civiles cada vez más ligeras y esbeltas, ha provocado que este tipo de fenómenos sean cada vez más frecuentes y, en consecuencia, seas necesarios más estudios al respecto.

En este estudio, se analizan las vibraciones reales que sufre una pasarela peatonal ya construida. Posteriormente, se modeliza la estructura mediante el software ANSYS y se valida el modelo comparando sus frecuencias naturales con las obtenidas en las mediciones en campo. Una vez validado el modelo, se estudian diferentes alternativas de refuerzo estructural que contribuirían a mitigar los efectos indeseables de las vibraciones, atendiendo no solamente a su contribución en el comportamiento de la estructura, sino también a otros factores como su viabilidad constructiva y económica o su impacto visual. Finalmente, se desarrolla la propuesta elegida, verificando de esta forma que es una opción viable desde un punto de vista técnico y económico.



ABSTRACT

Excessive vibrations on bridges and pedestrian bridges are one of the most complex issues to consider when designing these structures for several reasons. First, vibrations arise as a result of dynamic actions, such as wind or the passage of vehicles or pedestrians, whose variability and magnitude are difficult to estimate and model in the engineering Software. Second, the effects caused by vibrations produce a subjective discomfort depending on the user. Moreover, a growing trend to build lighter and more slender structures, in which excessive vibrations become more frequent, makes research on this subject increasingly required.

In this study, the analysis of real vibrations in an already built pedestrian bridge are presented. The bridge structure was modelled using ANSYS software and validated by comparing the calculated natural frequencies with the real ones measured on site. Once the model was validated, different alternatives of structural reinforcement were studied, considering not only the structural behaviour, but also other factors such as constructive and economic feasibility. Finally, the chosen alternative was further developed, verifying its feasibility from a technical an economic point of view.



CONTENIDO

1. Introducción	8
1.1. Descripción de la estructura	8
1.2. Origen y usos: del Camino de Santiago al paseo fluvial.....	9
1.3. Problemática detectada	12
2. Estado del arte.....	13
2.1. El problema dinámico	13
2.2. Vibración libre, frecuencias naturales y modos de vibración	14
2.3. Vibración forzada armónica	15
2.4. Vibración de la estructura y confort del usuario. Normativa aplicable.....	15
3. Objetivos generales y específicos.....	17
4. Materiales y métodos.....	18
4.1. Medida de las vibraciones de la estructura	18
4.1.1. Instrumentación	18
4.1.2. Metodología.....	19
4.1.3. Resultados obtenidos	21
4.2. Modelización de la estructura	21
4.2.1. Método de elementos finitos (MEF)	21
4.2.3. Ajuste y validación del modelo.....	30
5. Discusión	32
5.1. Razonamiento	32
5.2. Propuestas de soluciones.....	32



5.2.1. Alternativa 1: Puntales diagonales en los apoyos	34
5.2.2. Alternativa 2: Vigas longitudinales	37
5.2.3. Cubierta.....	40
5.3. Comparación de alternativas y justificación de la solución adoptada	45
6. Estimación económica	48
7. Conclusiones	49
8. Normativa aplicable y referencias bibliográficas.....	50
7.1. Normativa aplicable	50
7.2. Referencias bibliográficas.....	50

ANEXOS

ANEXO I: REPORTAJE FOTOGRÁFICO

ANEXO II: DIFERENCIAS ENTRE PLANOS Y ESTRUCTURA CONSTRUIDA

ANEXO III: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

ANEXO IV: ESTIMACIÓN ECONÓMICA

PLANOS

PLANO Nº1: UBICACIÓN DE LA PASARELA

PLANO Nº2: ESTRUCTURA ORIGINAL

PLANO Nº3: DETALLE DE LA PROPUESTA DE REFUERZO



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Antigua pasarela colgante. Al fondo, la pasarela actual. Fuente: Ayuntamiento de Mieres (https://www.mieres.es)	10
Ilustración 2. Camino de Santiago francés a su paso por Mieres. Fuente: Ayuntamiento de Mieres (https://www.mieres.es)	11
Ilustración 3. Tipos de Cargas impulsivas. Fuente: AISC Steel Design Guide 11.....	13
Ilustración 4. Toma de medidas en el plano horizontal. El acelerómetro se sitúa en las alas.....	19
Ilustración 5. Representación gráfica de las frecuencias medidas.....	20
Ilustración 6. Toma de medidas en el plano vertical. A la izquierda, acelerómetro situado en el centro del tablero. A la derecha, en el ala.	20
Ilustración 7. Método de elementos finitos. Fuente: Apuntes de la asignatura "Análisis Dinámico de Estructuras" del Máster de ICCP de la Universidad de Oviedo.	22
Ilustración 8. Elemento lineal beam188 de ANSYS. Fuente: Manual de ANSYS.	24
Ilustración 9. Elemento lineal shell181 de ANSYS. Fuente: Manual de ANSYS.....	24
Ilustración 10. Modelo de cálculo de la pasarela. Software: ANSYS	25
Ilustración 11. Detalle del mallado de la pasarela	26
Ilustración 12. Deformada de la pasarela original. Análisis estático.	28
Ilustración 13. Deformada del primer modo de vibración. Análisis modal.....	28
Ilustración 14. Deformada del segundo modo de vibración. Análisis modal.	29
Ilustración 15. Deformada del tercer modo de vibración. Análisis modal.....	29
Ilustración 16. Deformada del sexto modo de vibración. Análisis modal.	30
Ilustración 17. Alternativa 1. Puntales diagonales en los apoyos.	34
Ilustración 18. Deformada de la alternativa 1. Análisis estático.	34
Ilustración 19. Deformada del primer modo de vibración. Alternativa 1.	35
Ilustración 20. Deformada del segundo modo de vibración. Alternativa 1.	35
Ilustración 21. Deformada del tercer modo de vibración. Alternativa 1.....	36
Ilustración 22. Deformada del noveno modo de vibración. Alternativa 1.	36
Ilustración 23. Alternativa 2: vigas longitudinales uniendo los marcos IPE300.....	37
Ilustración 24. Deformada de la alternativa 2. Análisis estático.	38
Ilustración 25. Deformada del primer modo de vibración. Alternativa 2.	38
Ilustración 26. Deformada del segundo modo de vibración. Alternativa 2.	39
Ilustración 27. Deformada del tercer modo de vibración. Alternativa 2.....	39
Ilustración 28. Deformada del séptimo modo de vibración. Alternativa 2.....	40
Ilustración 29. Alternativa 3: cubierta	41
Ilustración 30. Pasarela cubierta en autovía A-8, P.K. 256+00.....	41
Ilustración 31. Carga lineal equivalente al peso de la chapa sobre la cubierta.	42
Ilustración 32. Deformada de la alternativa 3. Análisis estático.	42
Ilustración 33. Deformada del primer modo de vibración. Alternativa 3.	43
Ilustración 34. Deformada del segundo modo de vibración. Alternativa 3.	43
Ilustración 35. Deformada del tercer modo de vibración. Alternativa 3.....	44
Ilustración 36. Deformada del sexto modo de vibración. Alternativa 3.....	44
Ilustración 37. Comparación de frecuencias de la alternativa 3.	45



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de la pasarela.	9
Tabla 2. Frecuencias obtenidas en la toma de medidas in situ.	21
Tabla 3. Comparativa frecuencias medidas in situ y obtenidas con el software ANSYS	30
Tabla 4. Comparación de frecuencias de la alternativa 1.	37
Tabla 5. Comparación de frecuencias de la alternativa 2.	40
Tabla 6. Comparación cuantitativa de las 3 alternativas.	45
Tabla 7. Comparación cualitativa de las 3 alternativas.	46



1. Introducción

1.1. Descripción de la estructura

La pasarela objeto de este estudio se ubica en el entorno urbano de la localidad de Mieres (Asturias) y forma parte de la red de puentes y pasarelas de la A-66, más conocida como Autovía de la Plata. Concretamente, se encuentra en el en km 48,750 y conecta de un lado, el Polígono Industrial Gonzalín y del otro, la Calle río Caudal a su altura por el Polideportivo Municipal Mieres Sur. En el Plano N°1 se muestra la ubicación de la pasarela.

Se trata de una pasarela construida con acero en su totalidad, a excepción de las cimentaciones de los apoyos extremos y del único apoyo intermedio del que dispone. En efecto, la estructura consta de dos vanos: el más próximo a la localidad de Mieres, de 48,50 metros de longitud e inclinación nula y otro de 55,05 metros, con una pendiente del 10%.

El primero de los vanos descritos salva la barrera de dos infraestructuras: por una parte, la autovía A-66, que en este punto kilométrico cuenta con dos carriles y dos direcciones separadas por una mediana de 4,00 metros de ancho, alcanzándose un gálibo de 5,60 m y, por otra parte, la red ferroviaria de vía estrecha (FEVE).

El segundo vano, de mayor luz, salva el cauce del río Caudal, de 20,6 km de longitud y uno de los más caudalosos del Principado; en su nacimiento cuenta con 250 m de ancho (confluencia de los ríos Lena y Aller), y una cuenca de 654,407 km² [1]. A su paso por la localidad de Mieres el río se encuentra encauzado mediante muros de hormigón, limitando su ancho a aproximadamente 50 m.

En cuanto a los apoyos extremos, en el lado del polígono Gonzalín el tablero de la pasarela apoya sobre un marco metálico soldado a unas placas metálicas embebidas en la cimentación, de forma que el tablero queda prácticamente a la altura del suelo. En el lado de Mieres, el tablero queda apoyado mediante dos soportes en forma de cruz, de los que parte una rampa con un descanso intermedio que lo conecta con el suelo. El apoyo intermedio lo forma un soporte en forma de cruz, similar al de los extremos.

El tablero está constituido por una sección cajón conformada con perfiles IPE300 espaciados 3 metros y unidos entre sí mediante chapa soldada de espesor variable entre 20 y 40 mm.



En el Anexo I se incluye un reportaje fotográfico de la pasarela y el Plano N°2 corresponde con la colección de planos de la pasarela original. Cabe destacar que la pasarela realmente construida difiere ligeramente de lo mostrado en planos; se pueden apreciar perfiles, espesores o disposiciones distintos a los proyectados. En el Anexo II se detallan estas diferencias encontradas.

En la tabla inferior se resumen las características de mayor relevancia:

Entorno	Urbano	
Años en servicio	≈ 25	
Material	Acero	
N.º de vanos	2	
Luz (m)	48,50	55,05
Pendiente (%)	0	10
Altura máx. (m)	5,60	
Ancho tablero (m)	2,50	

Tabla 1. Características generales de la pasarela.

1.2. Origen y usos: del Camino de Santiago al paseo fluvial

La pasarela tal y como se la conoce hoy en día fue construida a finales del s. XX, (entre 1997 y 1999), como parte de las obras de paso de la A-66. Sin embargo, el lugar donde se ubica coincide con el antiguo puente colgante sobre el río Caudal. [2]



Ilustración 1. Antigua pasarela colgante. Al fondo, la pasarela actual. Fuente: Ayuntamiento de Mieres (<https://www.mieres.es>)

Este paso conectaba los barrios de La Fonda (lado del Polígono Industrial) y el barrio de Santa Marina, en Mieres, y fue el primitivo puente de paso del Caudal, que desapareció por una riada a finales de la edad media. Fue sustituido por uno de madera que volvió a llevarse otra de las frecuentes avenidas del Caudal a finales del siglo XVII. Se volvió a levantar por tercera y última vez en 1960. Con una luz de 230 metros, suponía para los trabajadores que tenían que desplazarse hasta el Pozo Barredo desde Paxío, Requexau o La Fonda, un ahorro de tres horas diarias entre la ida y la vuelta. [3]

Además, tanto el antiguo puente como la actual pasarela sirven de cruce del Río Caudal en el Camino de Santiago francés, que a su paso por León ofrece la alternativa de continuar ruta hacia Oviedo antes de proseguir hacia Santiago.



Ilustración 2. Camino de Santiago francés a su paso por Mieres. Fuente: Ayuntamiento de Mieres (<https://www.mieres.es>)

De esta forma, Mieres se convierte en un importante punto de parada del recorrido, donde se pueden encontrar numerosos lugares de interés cultural, así como hospedajes, hospitales y restaurantes.

Por otra parte, durante los años 90, a la par que se construyen en la comarca algunas de las actuaciones más relevantes de la década, como el encauzamiento del Río o la construcción de la A-66, se inaugura el Paseo fluvial del Río Caudal, que se ha ido ampliando progresivamente hasta alcanzar una longitud total de 8 km, que van desde Ujo hasta Ablaña, pasando por La Fonda, el Réquexau y el Polígono de Gonzalín a su paso por Mieres.

Este paseo, dotado de amplias zonas verdes y de fácil recorrido tanto a pie como en bici, se ha convertido en uno de los más transitados de la comarca, siendo habitual que desde la Villa se acceda a él a través de la pasarela objeto de este estudio.

Por último, más allá del ocio, esta pasarela contribuye a la mejora de la accesibilidad y la permeabilidad en los trayectos a pie entre el casco urbano y los barrios



de la otra margen del río, como son Gonzalín, la Costoña, la Escaldá, Siana, Ribono, el Norte, etc. donde, además, se encuentra la estación de cercanías. En el Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) de Mieres, se recoge la necesidad de mejorar el acceso a esta infraestructura para potenciar y favorecer su uso. [4]

1.3. Problemática detectada

La pasarela experimenta oscilaciones importantes con el paso de los peatones, especialmente, en el tramo inclinado (el de mayor luz), donde el paso de dos peatones es suficiente para que se aprecie cierta sensación de incomodidad. Esta situación se ve acusada a medida que se incrementa la carga dinámica, bien al aumentar el número de transeúntes en la pasarela, bien cuando la velocidad del viento es notoria, llegando a producir sensación de inseguridad durante su uso.

Cabe mencionar que las vibraciones no van acompañadas por ruidos, lo que reduce la sensación de peligro del viandante y que los movimientos desaparecen a los pocos segundos de cesar la carga.

Estas oscilaciones también se pueden sentir en el tramo de menor luz, si bien con una intensidad mucho menor.



2. Estado del arte

2.1. El problema dinámico

Cuando sobre una estructura aplicamos las cargas de manera lenta y gradual, éstas se asemejan a cargas estáticas y la estructura se comportan como un sólido deformable.

Sin embargo, si las cargas no se aplican de manera lenta y gradual las estructuras se comportan de forma dinámica, cuyo análisis resulta mucho más complejo y costoso. [5]

Las cargas dinámicas se pueden clasificar en: armónicas (o sinusoidales), periódicas, transitorias o impulsivas. Las cargas armónicas suelen asociarse a maquinaria rotativa. Las cargas periódicas suelen ser causadas por actividades rítmicas como bailar o por maquinaria que genera impactos repetitivos. Las cargas transitorias surgen del movimiento de las personas, como caminar o correr. Los saltos aislados o impactos de caída son ejemplos de cargas impulsivas. [6]

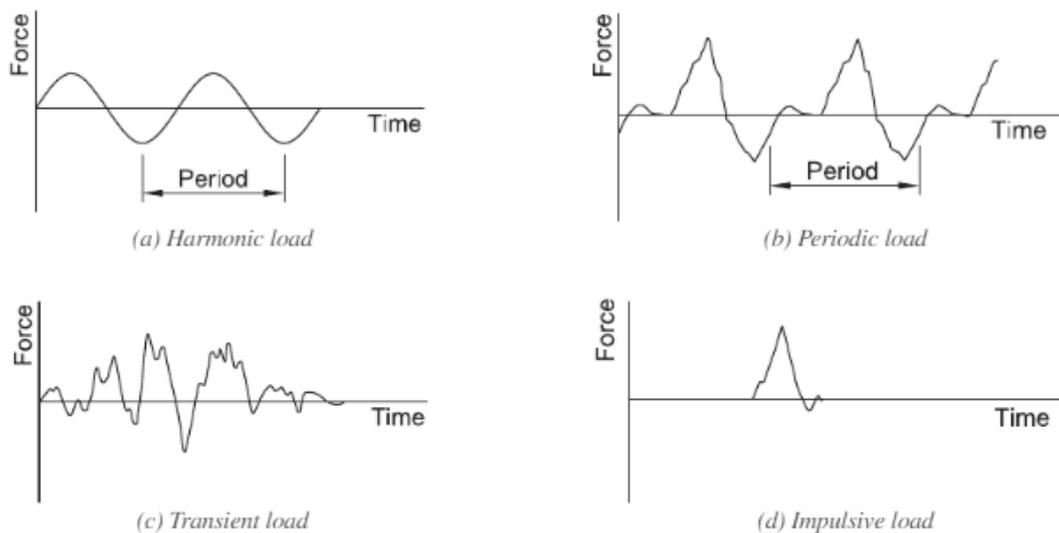


Ilustración 3. Tipos de Cargas impulsivas. Fuente: AISC Steel Design Guide 11

La ecuación de movimiento del problema dinámico viene determinada por el principio D'Alambert:

$$p(t) - f_s - f_d - f_I = 0 \quad (1)$$



2.3. Vibración forzada armónica

Se produce cuando excitamos el sistema con una acción temporal de tipo armónico (función sinusoidal).

Cualquier acción temporal se puede descomponer en la suma de acciones armónicas puras, mediante el desarrollo en series de Fourier, incluso aquellas de carácter transitorio, como caminar o correr. Cada una de estas frecuencias armónicas puras se corresponde con un múltiplo entero de la frecuencia que surge con el paso humano. Por ejemplo, las frecuencias armónicas de un paso de 2 Hz de frecuencia son 2 Hz, 4 Hz, 6 Hz, etc. Una frecuencia subarmónica es un divisor entero de la frecuencia. Por ejemplo, el cuarto subarmónico de una frecuencia de 8 Hz es 2 Hz.

Las formas de la onda de fuerza y los espectros indican contribuciones significativas en la frecuencia de paso y sus primeros armónicos. Las magnitudes de la fuerza decrecen a medida que aumenta el número de armónicos siendo insignificantes más allá del tercer o cuarto armónico. [6]

Si la frecuencia armónica de la acción temporal es similar a la frecuencia natural, la respuesta dinámica se hace infinita, incrementando en forma progresiva la amplitud del movimiento con cada una de las actuaciones sucesivas de la fuerza. Este fenómeno se conoce como resonancia y puede llegar a causar daños importantes en la estructura e incluso su colapso.

2.4. Vibración de la estructura y confort del usuario. Normativa aplicable.

Las vibraciones pueden afectar a la funcionalidad o durabilidad de las estructuras bajo las condiciones de servicio, por ello, en la normativa española quedan recogidas como uno de los estados límite de servicio.

El Código Estructural de 2021 [a], en su *Anejo 29: Proyecto de Estructuras de Acero. Puentes de Acero*, establece que se deben limitar las frecuencias naturales, con el fin de:

- evitar las vibraciones, debidas al tráfico o al viento, que se inaceptables para los peatones o los pasajeros de vehículos que utilicen el puente;
- limitar los daños de fatiga causados por la resonancia;
- limitar la excesiva emisión de ruido.



Y añade que, en el caso de pasarelas de tráfico peatonal y ciclista con vibraciones excesivas que puedan causar molestias a los usuarios, se deben adoptar medidas para minimizar dichas vibraciones mediante el proyecto del puente con la frecuencia natural adecuada o colocando dispositivos de amortiguamiento adecuados.

Por otra parte, la IAP-11 [b], establecen unos rangos críticos de frecuencias naturales para los cuales los fenómenos vibratorios pueden afectar al confort de los peatones en pasarelas:

- Para oscilaciones en el plano vertical: entre 1,25 y 4,60 Hz.
- Para oscilaciones en el plano horizontal o de torsión: entre 0,50 y 1,20 Hz.

El rango inferior, entre 1,25 y 2,4 Hz, corresponde a acciones dinámicas debidas a la excitación de peatones andando o corriendo suavemente sobre la plataforma.

El rango superior, entre 2,5 y 4,6 Hz, corresponde a la influencia del segundo armónico de la excitación generada por la acción de peatones, que puede afectar a pasarelas de acero con bajo amortiguamiento. Las fuerzas dinámicas ejercidas en este segundo rango son, en cualquier caso, inferiores a las del rango anterior citado y, por tanto, el riesgo de excitación no tolerable será menor.

La acción debida a peatones corriendo a cierta velocidad corresponde, aproximadamente, a una excitación de frecuencia entre 2,0 y 3,5 Hz, aunque resulta poco susceptible de sincronizarse para grupos de peatones corriendo.

Aunque en menor grado, la existencia de frecuencias propias para los modos de vibración superiores al fundamental de la pasarela, con valores situados en los rangos desaconsejables antes citados, podrían producir fenómenos vibratorios perceptibles que, en ciertos casos, resulta aconsejable comprobar. [7]



3. Objetivos generales y específicos

Este estudio tiene como objetivo general razonar y analizar el problema de vibraciones que se presenta en la pasarela peatonal aquí descrita, a través del entendimiento de las acciones dinámicas y sus efectos sobre las estructuras, y aplicando lo dispuesto al respecto en la normativa vigente.

Dentro de los objetivos específicos, se incluyen:

- la creación de un modelo de cálculo representativo de la pasarela real, que se comporte de forma semejante y sea, por tanto, un modelo válido sobre el que trabajar en una solución;
- proponer una solución a través del refuerzo adecuado de la estructura, que además de eliminar las vibraciones indeseadas sea óptima desde un punto de vista constructivo y económico.



4. Materiales y métodos

4.1. Medida de las vibraciones de la estructura

4.1.1. Instrumentación

En primer lugar, se tomaron medidas de las vibraciones de la pasarela real mediante el uso de un acelerómetro piezoeléctrico uniaxial de 100 mV/g conectado a un analizador portátil 2120.

Un acelerómetro es un instrumento que mide aceleración o vibraciones. En el caso de los acelerómetros piezoeléctricos, funciona como un transductor en el que, una vez puesto en contacto sobre el elemento a medir y cuando éste comienza a vibrar, hace que la masa alojada en su interior comprima un retículo cristalino piezoeléctrico, generando una carga eléctrica proporcional a la fuerza ejercida sobre él. El hecho de que la carga sea proporcional a la fuerza y que la masa sea constante hace que la carga también sea proporcional a la aceleración. El acelerómetro dispone de un imán en uno de los extremos que permite que éste quede adherido a la superficie de medida. [8]

Al tratarse de un acelerómetro uniaxial, las mediciones se realizan únicamente en la dirección longitudinal del instrumento, por lo que es necesario cambiar su orientación según se deseen obtener los movimientos verticales u horizontales de la estructura.

La sensibilidad de un acelerómetro es la relación del voltaje de salida a una vibración de entrada dada, en este caso, 100 mV/g. Cuanto mayor es el voltaje de salida, mayor será la sensibilidad del sensor.

La señal eléctrica producida en el acelerómetro se convierte en señal analógica en el analizador portátil, que muestra en pantalla la siguiente información:

- Aceleración en mm/s.
- Frecuencia en Hz.

El dispositivo permite seleccionar la forma en que se muestre la correlación de ambas variables: mediante tabla o gráfica.



El rango de frecuencia del acelerómetro deberá ajustarse al rango de frecuencia esperado. Por ello, y al disponer de unas mediciones previas, se excitó la pasarela fijando la frecuencia de los pulsos con la ayuda de un metrónomo.

4.1.2. Metodología

La toma de medidas se llevó a cabo siguiendo la metodología que se detalla a continuación:

- Para las mediciones en el plano horizontal:
 1. Se coloca el acelerómetro aproximadamente en el centro de cada uno de los dos vanos, concretamente en el ala de la sección, de forma que la dirección longitudinal del mismo quede en horizontal.



Ilustración 4. Toma de medidas en el plano horizontal. El acelerómetro se sitúa en las alas.

2. Con ayuda del metrónomo, se induce el movimiento en la pasarela a través de pulsos de frecuencia similar a la de la frecuencia natural esperada. Para ello, dos personas se sitúan en el tablero y, mediante pequeños botes al ritmo fijado por el metrónomo, inducen la vibración de la pasarela.
3. Las frecuencias se muestran en la pantalla del analizador y se toma nota de los resultados.

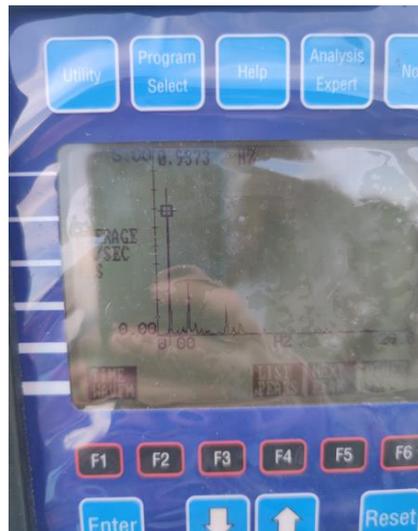


Ilustración 5. Representación gráfica de las frecuencias medidas.

- Para las mediciones en el plano vertical:
 1. De nuevo en el centro de cada uno de los vanos, se coloca el acelerómetro en el ala, esta vez en dirección vertical. Se realiza una segunda medición colocándolo en el centro del tablero, obteniéndose valores muy similares, que diferían a partir del tercer decimal.



Ilustración 6. Toma de medidas en el plano vertical. A la izquierda, acelerómetro situado en el centro del tablero. A la derecha, en el ala.

2. Con ayuda del metrónomo, se induce el movimiento en la pasarela a través de pulsos de frecuencia similar a la de la frecuencia natural esperada. En este caso, el movimiento se induce colocándose los peatones en el centro de la sección, para evitar que se produzca torsión sobre la estructura y sólo se encuentre sometida a flexión, y de nuevo botan al ritmo fijado por el metrónomo.



3. Las frecuencias se muestran en la pantalla del analizador y se toma nota de los resultados.

4.1.3. Resultados obtenidos

En la tabla inferior se resumen los valores obtenidos:

	Frecuencia (Hz)	
	Torsión	Flexión
Vano inclinado sobre río Caudal	0,937	2,043
Vano sobre A-66	1,477	3,653

Tabla 2. Frecuencias obtenidas en la toma de medidas in situ.

Se asume que las medidas en el plano horizontal se corresponden con las oscilaciones por torsión y las producidas en el plano vertical con las debidas a la flexión, sin embargo, en la realidad no es posible producir únicamente flexión pura en la estructura, por lo que en el plano vertical se estarían produciendo tanto movimientos por flexión como por torsión, y ambos quedan recogidos en las mediciones que toma el acelerómetro.

4.2. Modelización de la estructura

4.2.1. Método de elementos finitos (MEF)

Obtener la solución exacta del comportamiento de la gran mayoría de las estructuras que nos rodean resulta tremendamente complejo y costoso. La modelización consiste en la creación de un modelo simplificado y equivalente al real.

Pero incluso cuando el problema se ha simplificado mediante la modelización de la estructura de estudio, resolver las ecuaciones de equilibrio conjuntamente junto con las condiciones de contorno en el modelo continuo (es decir, con infinitos grados de libertad) sigue siendo complejo y supone un alto coste computacional.

Por ello, se recurre a la discretización del modelo, que consiste en dividir la estructura en partes más sencillas donde abordar la solución de las ecuaciones diferenciales. Estas divisiones de la geometría continua se conocen como “elementos”, y en cada uno de ellos se plantearán las ecuaciones de equilibrio con sus correspondientes condiciones de contorno.



Sin embargo, estos elementos, aunque más sencillos, siguen siendo continuos en su geometría, por lo que siguen teniendo infinitos grados de libertad y, por consiguiente, su resolución sigue siendo complicada. Surge, de este modo, lo que se conoce como método de elementos finitos (MEF, o FEM en inglés), en el que se resolverá en cada elemento solamente un número finito de grados de libertad con lo que se reemplaza la ecuación diferencial de equilibrio por un sistema algebraico de ecuaciones.

En cada elemento, se resuelve únicamente un número finitos de puntos: los nodos. El valor de los desplazamientos en el resto puntos del elemento se determina mediante la interpolación de los valores de estos en los nodos. Se renuncia así a encontrar una solución exacta en aras de una solución aproximada de suficiente precisión, más sencilla y de menor coste computacional. [9]

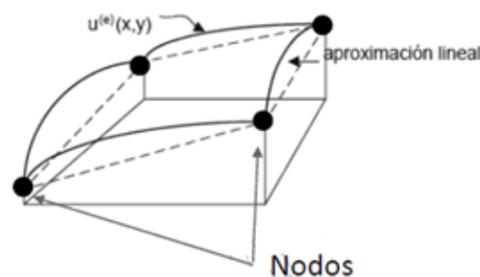


Ilustración 7. Método de elementos finitos. Fuente: Apuntes de la asignatura "Análisis Dinámico de Estructuras" del Máster de ICCP de la Universidad de Oviedo.

De lo anterior se deduce que la exactitud del método depende de diversos factores, tales como el tamaño de los elementos finitos (mallado de la estructura) y del tipo de funciones de interpolación empleadas.

El MEF se ha convertido en uno de los métodos más usados en ingeniería para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales, existiendo actualmente un gran número de softwares que se basan en este método para abordar no sólo problemas estructurales, sino también de transferencia del calor, sistemas mecánicos o de fluidos, entre otros.

4.2.2. Software empleado y proceso de cálculo

El software elegido para la modelización de la pasarela es la versión académica del ANSYS, en concreto la 2021 R2. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elementos finitos para estructuras y volúmenes finitos para fluidos. [10]



El proceso de cálculo se divide en 3 etapas: preproceso, proceso y postproceso.

➤ **PREPROCESO**: engloba todos los pasos necesarios antes de ejecutar el cálculo, como son:

1. Elección de unidades y materiales

Se seleccionan unidades del Sistema Internacional (S.I.), introduciendo los datos de distancias en metros (excepto en la creación de la geometría, donde el programa permite ajustar las unidades a milímetros), pesos en kilogramos, tensiones en Pascales y cargas en Newtons.

En cuanto al material, se definen las siguientes propiedades:

- Densidad: 7.850 kg/m^3
- Límite elástico (f_y): $2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$
- Resistencia a la tracción (f_u): $4,6 \cdot 10^8 \text{ Pa}$
- Módulo de Young o de elasticidad longitudinal (E): $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
- Módulo de elasticidad transversal (G): $7,69 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$
- Coeficiente de Poisson (μ): 0,3

2. Creación de la geometría

ANSYS dispone de dos módulos distintos para la creación de la geometría: *SpaceClaim* y *DesignModeler*, ambos con funciones e interfaces similares, si bien es más intuitiva, aunque más reciente y, por lo tanto, aun en desarrollo. En este caso se ha elegido *DesignModeler* para la modelización de la pasarela.

La geometría se genera a partir de elementos lineales (*beam*) y elementos membrana (*shell*). Más específicamente, el programa asigna los siguientes tipos:

- *Beam188*: adecuado para analizar elementos esbeltos o vigas moderadamente anchas. Tiene 6 o 7 grados de libertad en cada nodo: translaciones en las direcciones x, y, z y rotaciones en los ejes x, y, z. El séptimo grado de libertad (magnitud de deformación) es opcional.

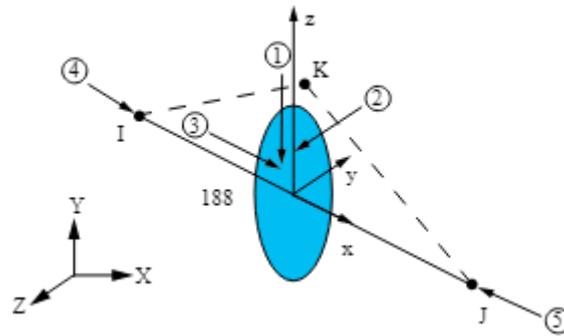


Ilustración 8. Elemento lineal beam188 de ANSYS. Fuente: Manual de ANSYS.

▪ **Shell181:** adecuado para analizar elementos delgados o moderadamente delgados. Se trata de un elemento de 4 nodos con 6 grados de libertad en cada nodo: translaciones en las direcciones x, y, z, y rotaciones en los ejes x, y, z.

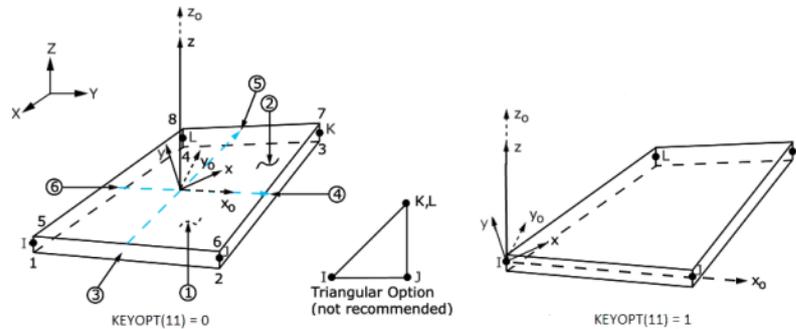


Ilustración 9. Elemento lineal shell181 de ANSYS. Fuente: Manual de ANSYS.

Los primeros se utilizan para definir aquellos elementos en los que la tensión en la dirección a lo largo de uno de los ejes, generalmente de mayor longitud, es significativa. Concretando en este modelo, se usa para los marcos cajón de IPE300 cada 3 m, las viguillas longitudinales IPE100 que unen los marcos, el apoyo intermedio formado por 3 IPE300 reforzados con platabanda y el apoyo del lado Mieres, incluyendo la celosía de 2L80x80x8 que forma la barandilla de la rampa.

Los segundos, se usan aquellos elementos en los que el espesor es significativamente menor que las otras dimensiones, y las tensiones en la dirección de espesor son insignificantes. En concreto, en este modelo se usan para las chapas de espesores 20 y 40 mm, que unen los marcos IPE300 cada 3 m, y la chapa de 10 mm que se coloca sobre los IPE100 y sirve de suelo del tablero.



Cabe aclarar que la pasarela modelizada concuerda con la estructura realmente ejecutada, la cual difiere ligeramente de los planos originales (ver Plano N°2). En el Anexo II se detallan estas diferencias.

Una vez generados todos los elementos, mediante la herramienta “*From New Part*” se agrupan en una única parte consistente en múltiples cuerpos que comparten topología. Esta topología compartida (*shared topology*) permite generar un mallado continuo en las zonas comunes de los distintos cuerpos en contacto. [10]

A diferencia de otros softwares de uso comercial, ANSYS requiere generar uniones (*joints*) entre dos elementos superficie, o entre un elemento superficie y otro tipo barra, para que ambos elementos se entiendan unidos durante la fase de proceso, incluso si estos elementos se encuentran en contacto y compartiendo topología.

Estas uniones se crean en todo el modelo, excepto en aquellos puntos donde se una un elemento barra perpendicularmente a un elemento superficie, en cuyo caso recurriremos a la herramienta *Pinch* del módulo *Mechanical* del programa.

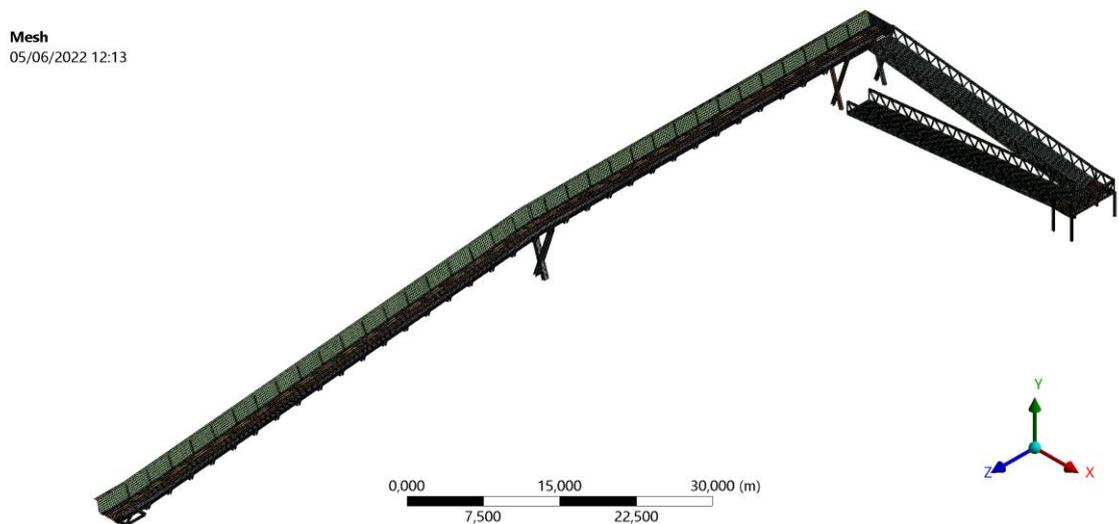


Ilustración 10. Modelo de cálculo de la pasarela. Software: ANSYS

3. Mallado (mesh) de la geometría

Una vez generada la geometría, se procede a mallarla, es decir, a subdividirlo en elementos finitos, en este caso mediante el módulo *Mechanical* de ANSYS.

En general, cuanto menor sea el tamaño de la cuadrícula del mallado, mayor número de elementos en el modelo y, en consecuencia, más preciso será el resultado,



pero también, mayor tiempo se requerirá para el cálculo. Por ello, la clave para generar un mallado efectivo es encontrar el balance entre tamaño y precisión del cálculo.

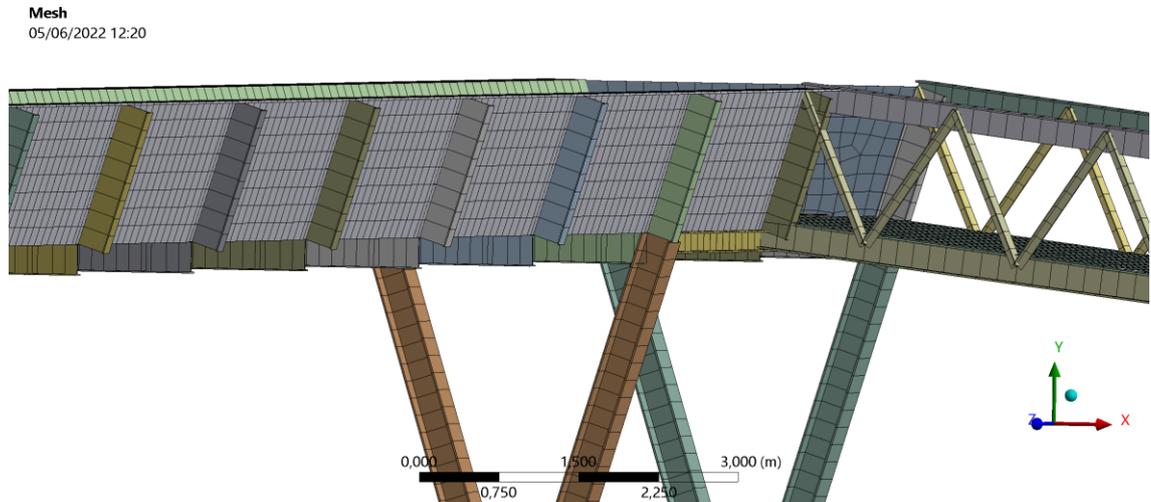


Ilustración 11. Detalle del mallado de la pasarela.

En el caso de esta pasarela, considerando que se trata de una geometría relativamente simétrica y sencilla, se opta por el mallado global a base de elementos hexaédricos que proporciona el programa por defecto, con un tamaño de cuadrícula, 170,67 mm, resultando un total de 49.997 nodos y 45.255 elementos.

Cabe mencionar que la versión estudiante de ANSYS de 2021 amplía la limitación del número de nodos de 32.000 a 125.000.

4. Definición de las condiciones de contorno

Se introducen restricciones de movimiento en aquellos nodos cuya posición coincide con la de las distintas placas base de cada uno de los apoyos:

- **Apoyo Gonzalín:** la bancada de IPE240 y HEB240 se encuentra soldada a unos insertos embebidos en el estribo de hormigón. Tal y como se indica en el Anexo II, existen discrepancias entre el número de insertos definidos en los planos originales y lo realmente ejecutado, existiendo al menos 2 insertos más de los proyectados. Por consiguiente, se supone que la bancada está empotrada.

- **Apoyo intermedio:** ambos extremos van provistos de una placa base, que a su vez va soldada en todo el perímetro a sendos insertos embebidos en la



cimentación. Aunque por su ubicación no es posible verificarlo, se supone que se encuentra ejecutado de esta forma y, por ello, se supone empotrado.

- **Apoyo Mieres:** aquí se ubican, por una parte, los apoyos extremos de la pasarela, que como se ha comentado anteriormente consiste en dos perfiles HEB300 cruzados y, por otra parte, los pilares HEB200 que soportan el descanso de la pasarela.

En el primer caso, al igual que sucede con el apoyo intermedio, los perfiles van soldados a una placa base y ésta, a su vez, va soldada a un inserto del hormigón, por lo que, se supone de igual forma empotrados en su base.

En el segundo caso, se han soldado los perfiles directamente al inserto, por lo que se supone también como un empotramiento.

En resumen, todos los apoyos se han considerado empotrados, esto es, se restringe tanto el desplazamiento como el giro en las 3 direcciones X, Y, Z.

5. Aplicación de cargas

Puesto que el objetivo es obtener las frecuencias naturales de la estructura, las cuales son independientes de las sobrecargas de uso como puede ser el paso de los peatones, sólo se considera el peso propio (*standard Earth gravity*) de la estructura.

➤ **PROCESO:** consiste en el cálculo y resolución de los sistemas de ecuaciones. En este caso se llevan a cabo dos análisis; un análisis estático, en el que se evalúa la deformada como primera comprobación, y un análisis modal, en el que evaluaremos los 10 primeros modos de vibración de la estructura.

➤ **POSTPROCESO:** una vez finalizado el proceso de cálculo, los resultados se muestran de forma gráfica y numérica sobre el modelo. ANSYS también ofrece la posibilidad de exportar los datos en forma de tabla y como hoja de trabajo (*worksheet*).



Análisis estático: Deformaciones

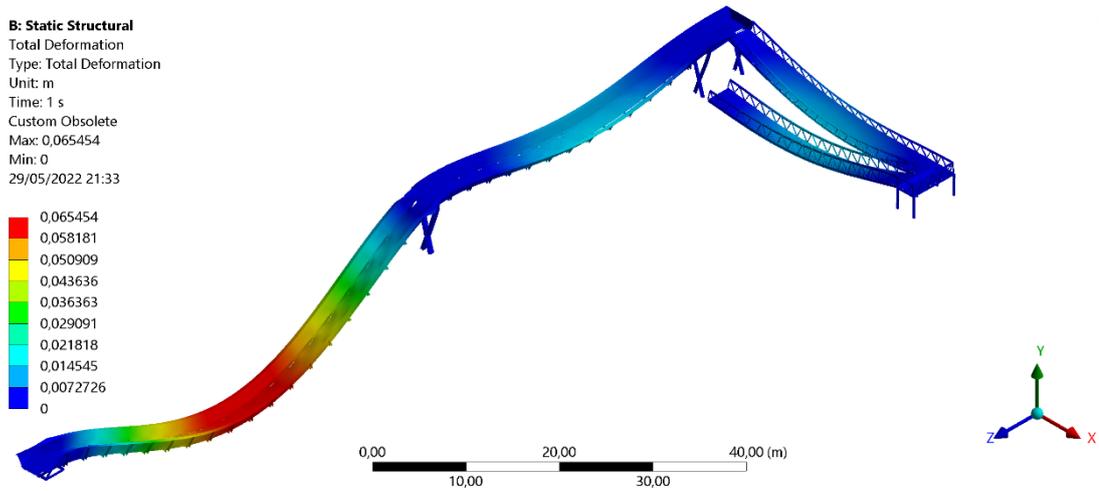


Ilustración 12. Deformada de la pasarela original. Análisis estático.

Se observa que, como es lógico, la deformación máxima aparece en el vano de mayor longitud, alcanzando el valor máximo de 0,065 m en el centro. En el otro vano, la flecha no supera los 0,016 m.

Análisis dinámico: modos de vibración

Modo 1: Frecuencia: 0,905 Hz (torsión vano río Caudal)

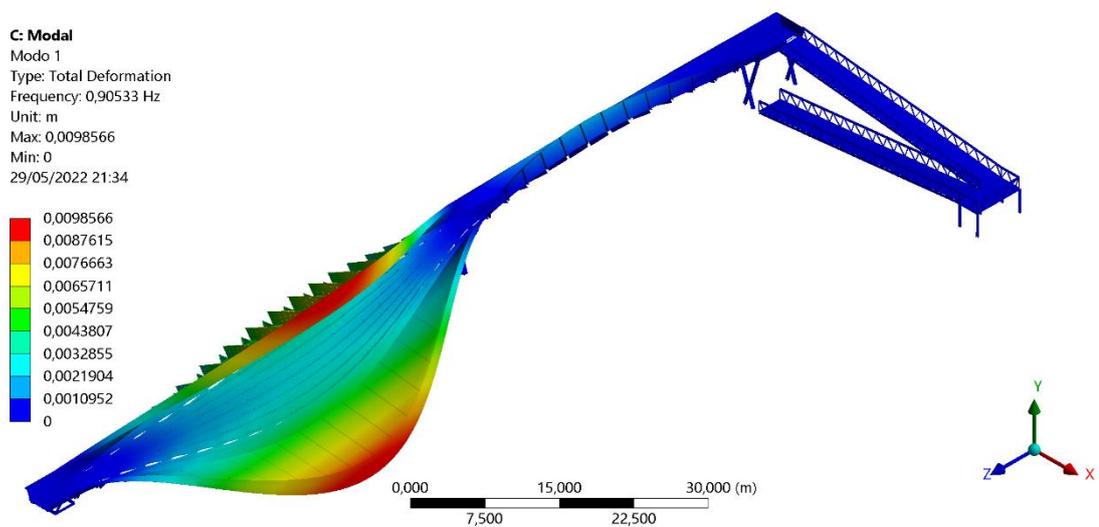


Ilustración 13. Deformada del primer modo de vibración. Análisis modal.



Modo 2: Frecuencia: 1,399 Hz (torsión vano A-66)

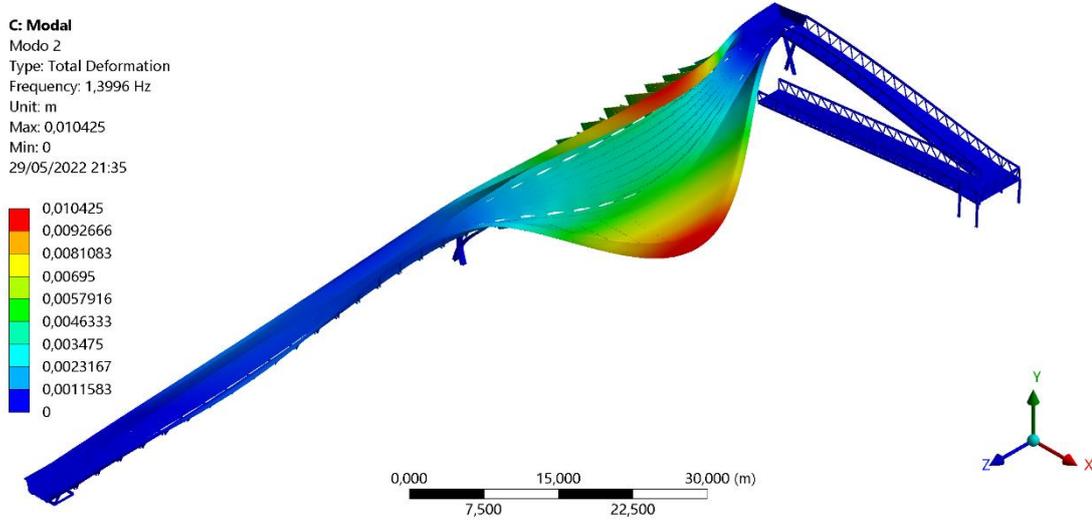


Ilustración 14. Deformada del segundo modo de vibración. Análisis modal.

Modo 3: Frecuencia: 2,011 Hz (flexión vano río Caudal)

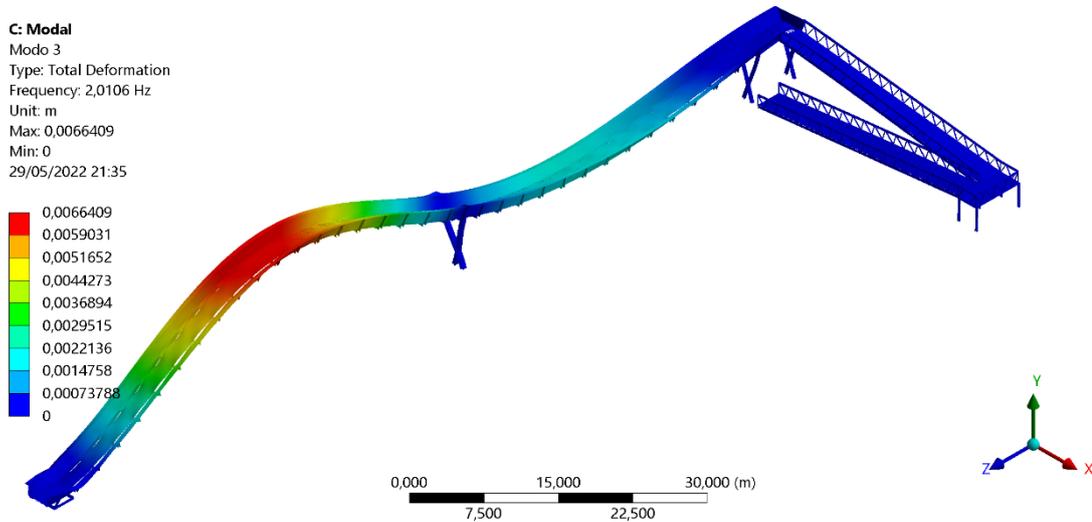


Ilustración 15. Deformada del tercer modo de vibración. Análisis modal.



Modo 6: Frecuencia: 3,356 Hz (flexión vano A-66)

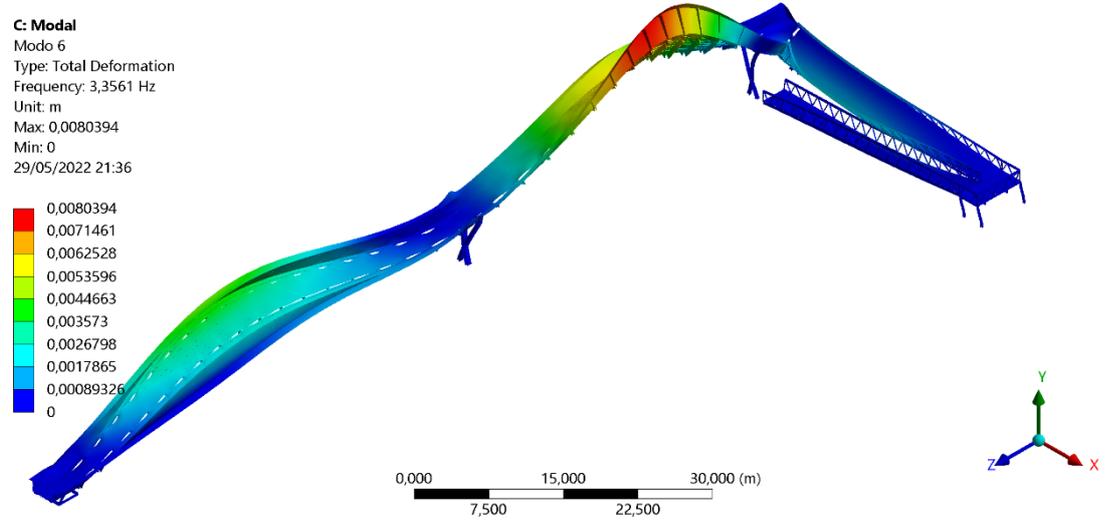


Ilustración 16. Deformada del sexto modo de vibración. Análisis modal.

4.2.3. Ajuste y validación del modelo

En la siguiente tabla se comparan los valores medidos en la estructura real con los valores obtenidos del modelo de cálculo:

	Frecuencias (Hz)					
	Torsión			Flexión		
	Medidas	Calculadas	Error	Medidas	Calculadas	Error
Vano inclinado sobre río Caudal	0,937	0,905	3%	2,043	2,010	2%
Vano sobre A-66	1,477	1,399	5%	3,653	3,356	8%

Tabla 3. Comparativa frecuencias medidas in situ y obtenidas con el software ANSYS

A la vista de los resultados obtenidos podemos concluir que el comportamiento de la estructura modelizada es similar al de la estructura real, correspondiéndose el primer modo de vibración con la torsión del vano sobre el río Caudal con una frecuencia fundamental cercana a la unidad. Esto coincide con lo observado sobre la propia estructura, donde es en este vano donde, con la menor cantidad de energía d activación, comienzan a notarse los movimientos de balanceo del vano. El segundo modo se corresponde con el movimiento por torsión del vano sobre la A-66, tal y como se aprecia al cruzar la pasarela.



Se analizan los 6 primeros modos, obteniéndose errores no superiores al 8%. Teniendo en cuenta que existen, además, errores en la propia toma de mediciones in situ, parece razonable deducir que la modelización de la pasarela es representativa de la estructura real.



5. Discusión

5.1. Razonamiento

Como se ha comentado anteriormente, el rango de frecuencias que se asocian a una persona caminando se encuentra entre 1,6 y 2,2 Hz, con un rango medio de entre 1,9-2,0 Hz, aproximadamente. [11]

En el caso de esta pasarela, la frecuencia fundamental, próxima a la unidad, coincide con el primer subarmónico de esta frecuencia media de paso, y, por eso, se activa fácilmente con el caminar de los peatones.

Siguiendo el mismo razonamiento, se percibe, en menor medida, el segundo modo de vibración, correspondiente a una frecuencia de en torno a 2 Hz, también en el mismo vano.

Y, por último, si el tráfico de peatones aumenta, es posible detectar vibraciones en el vano de pendiente nula, por encontrarse el sexto modo de vibración dentro del rango del segundo armónico (entre 3,2 y 4,6 Hz).

Por otro lado, se observa que la flecha máxima del vano de mayor longitud (0,065 m) supera, únicamente sometida a su propio peso, el valor máximo establecido en la IAP-11 [b], que en el caso de pasarelas corresponde a $L/1200$ para el valor frecuente de la sobrecarga de uso, siendo L la longitud del vano. Esto se traduce en una flecha vertical máxima de 0,046 m en el caso de un vano de 55 m, como es este caso.

De acuerdo con lo aquí expuesto, se confirma que es el vano inclinado el que mayor problema presenta y sobre el que más necesario es intervenir. Y, de entre todas las alternativas posibles, serán preferibles aquellas que consigan dotar de mayor rigidez del vano, de forma que se consiga aumentar tanto las frecuencias naturales como reducir la flecha vertical.

5.2. Propuestas de soluciones

Una vez analizado el problema, se procede a estudiar posibles soluciones que, además de satisfacer los requisitos técnicos establecidos en la normativa, se ajusten al contexto de la pasarela y optimicen, además, los costes y tiempos requeridos durante su implementación.



En primer lugar, cabe recordar que se trata de una pasarela que lleva 25 años en servicio. De acuerdo con la IAP-11 [b], la vida útil de este tipo de estructuras es de 100 años, por lo que, con el mantenimiento adecuado, podría extender su uso hasta 75 años más, o lo que es lo mismo, tres cuartas partes de su vida útil, lo cual justifica una intervención sobre la misma.

Por otra parte, es cierto que durante todos los años que lleva en servicio, la intensidad de tráfico de peatones siempre ha sido elevada, tal y como se ha visto en los primeros apartados del documento, sin que haya constancia de quejas formales al respecto, de lo que se extrae que la sensación de incomodidad o inseguridad es poco perceptible y no impide su uso normal. No obstante, aunque hasta el momento el problema de las vibraciones no haya afectado a la funcionalidad de la pasarela, también se debe tener en cuenta que estas vibraciones indeseadas pueden acabar produciendo daños por fatiga de los materiales, lo que se traduciría en una percepción de las vibraciones cada vez más acusada, y, finalmente, podría suponer consecuencias tan graves como el agotamiento o colapso de la estructura.

Asimismo, esta pasarela salva las distancias, por un lado, de una de las autovías con mayor IMD (Intensidad Media Diaria) del Principado de Asturias y la principal vía de conexión con Castilla y León y, por otro lado, del río Caudal, de gran relevancia en la hidrografía de la provincia. Por ello, la solución adoptada debe impactar mínimamente sobre el medio natural, así como sobre las infraestructuras que cruza, reduciendo al mínimo la afección tanto para los usuarios de la autovía y del tren, como para los propios peatones que circulan por la pasarela.

Por último, como cualquier obra de construcción, debe perseguirse aquella solución que resulte económicamente viable, optimizando materiales, mano de obra y maquinaria.

De acuerdo con lo aquí expuesto, se plantean 3 alternativas:

1. Reforzar los apoyos, mediante la colocación de puntales diagonales.
2. Rigidizar el tablero, disponiendo perfiles longitudinales que unan los marcos cajón IPE300, tanto inferiormente como superiormente.
3. Aumentar el momento de inercia del tablero, cerrando la pasarela con una cubierta ligera de chapa soportada por una cercha.



5.2.1. Alternativa 1: Puntales diagonales en los apoyos

Se colocan perfiles diagonales en ambos estribos y en el apoyo intermedio con el objetivo de rigidizar los apoyos y reducir la luz de ambos vanos:

Mesh
30/05/2022 8:35

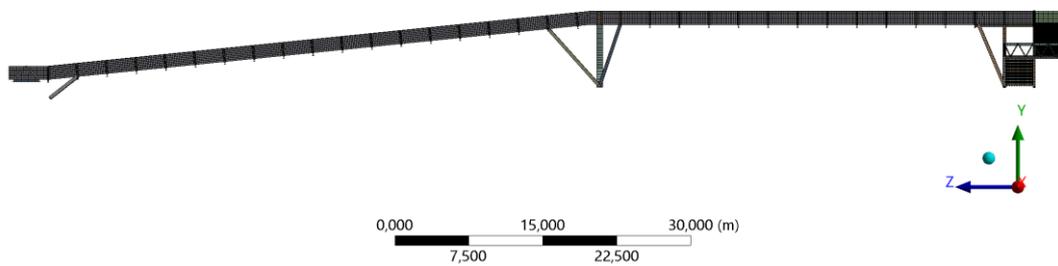


Ilustración 17. Alternativa 1. Puntales diagonales en los apoyos.

Estas diagonales están formadas por perfiles HEB300 arriostrados mediante una cruz de San Andrés de perfiles HEB200.

Análisis estático: Deformaciones

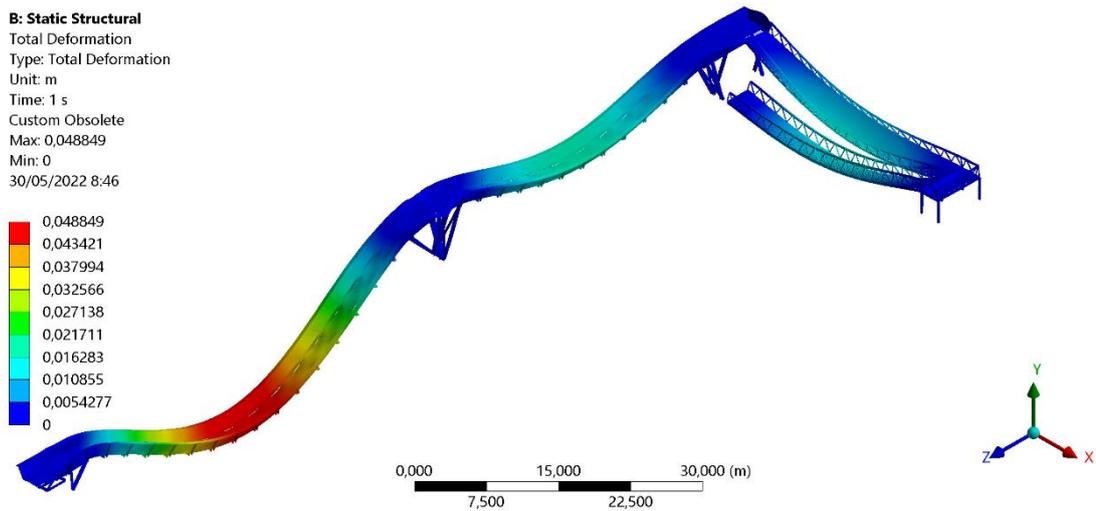


Ilustración 18. Deformada de la alternativa 1. Análisis estático.



Análisis dinámico: modos de vibración

Modo 1: Frecuencia: 1,301 Hz (torsión vano río Caudal)

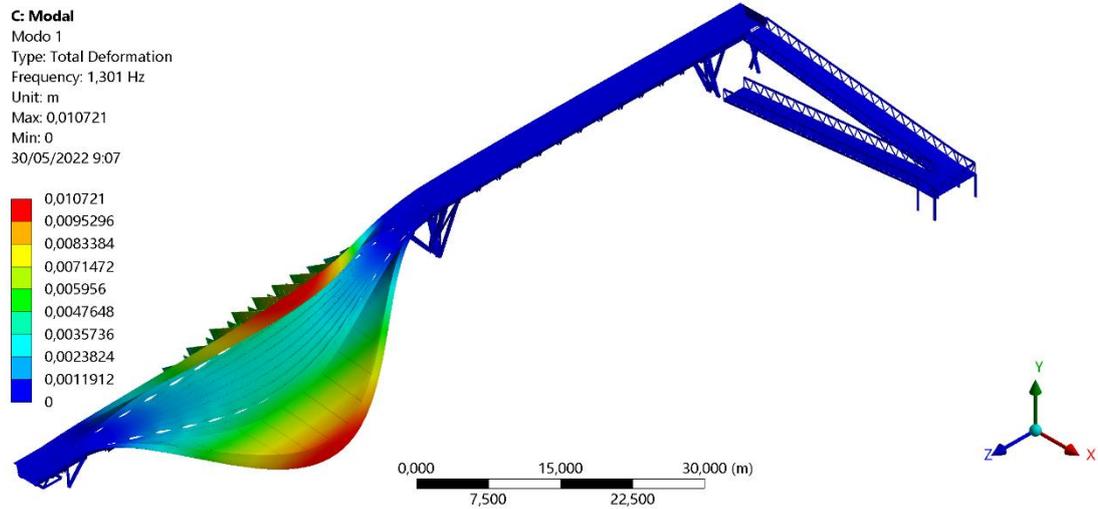


Ilustración 19. Deformada del primer modo de vibración. Alternativa 1.

Modo 2: Frecuencia 2,032 Hz (torsión vano A-66)

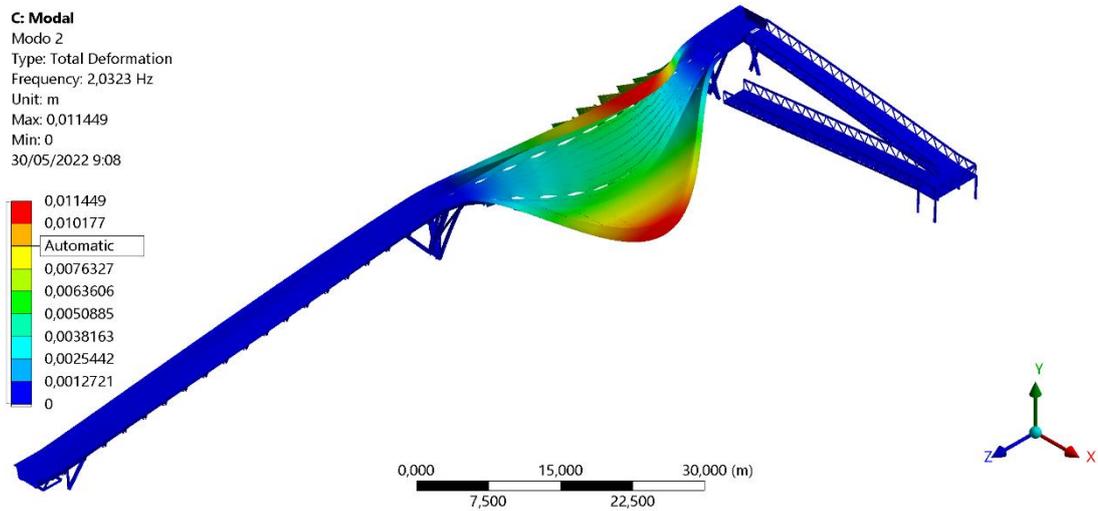


Ilustración 20. Deformada del segundo modo de vibración. Alternativa 1.



Modo 3: Frecuencia 2,977 Hz (flexión vano río Caudal)

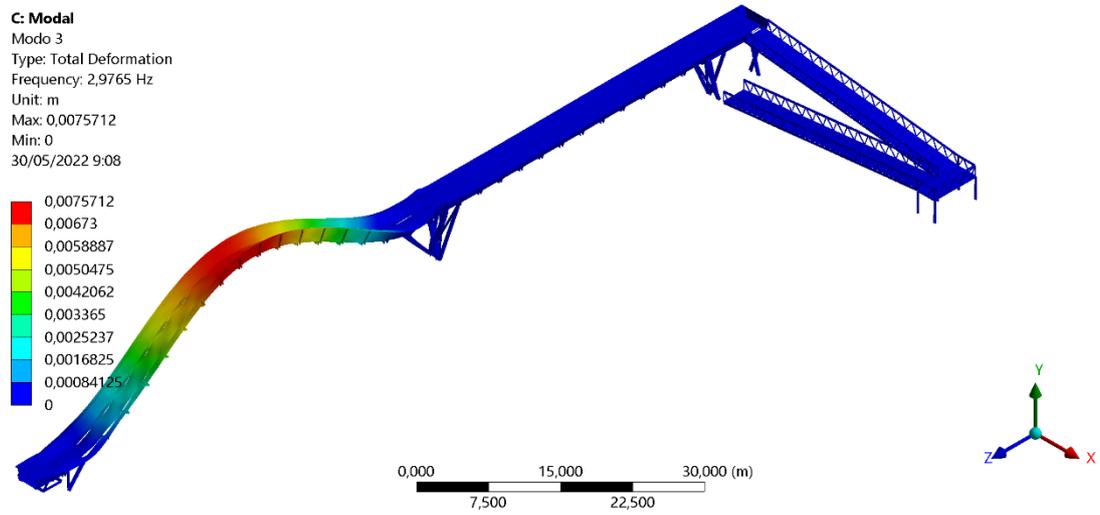


Ilustración 21. Deformada del tercer modo de vibración. Alternativa 1.

Modo 9: Frecuencia 4,876 Hz (flexión en el vano A-66)

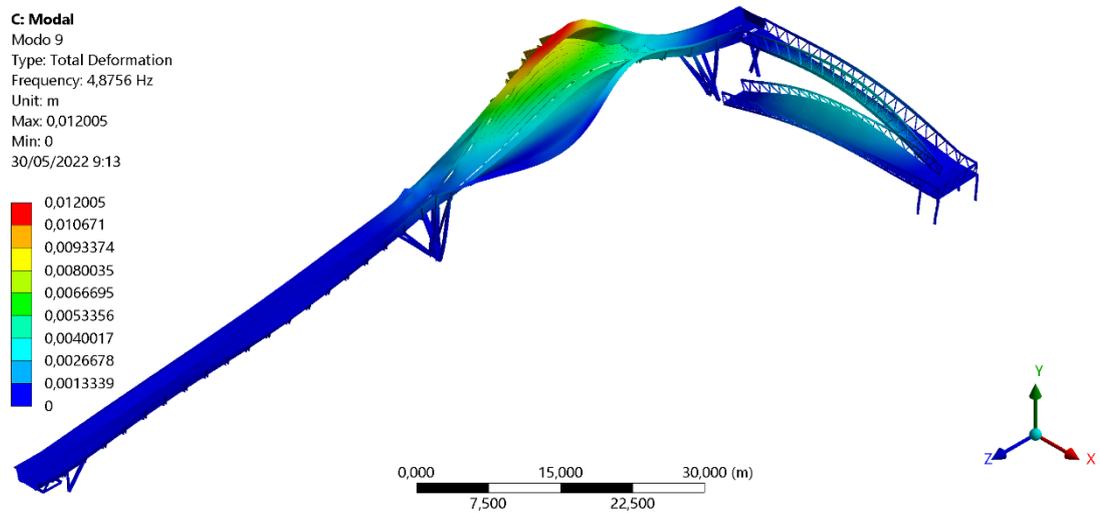


Ilustración 22. Deformada del noveno modo de vibración. Alternativa 1.



En la siguiente tabla se resumen los resultados numéricos:

	Frecuencias (Hz)			
	Torsión		Flexión	
	0,50 - 1,20		1,25-4,60	
	Inicial	Reforzada	Inicial	Reforzada
Vano inclinado sobre río Caudal	0,905	1,301	2,010	2,977
Vano sobre A-66	1,400	2,032	3,356	4,876

Tabla 4. Comparación de frecuencias de la alternativa 1.

5.2.2. Alternativa 2: Vigas longitudinales

La segunda propuesta consiste en reforzar la unión entre marcos en U formados por perfiles IPE300, con el fin de rigidizar el tablero y mejorar, principalmente su comportamiento a torsión. Para ello, se disponen longitudinalmente sendos perfiles HEB300 en el extremo superior e inferior de las alas de la sección en U, tal y como se muestra en la figura inferior:

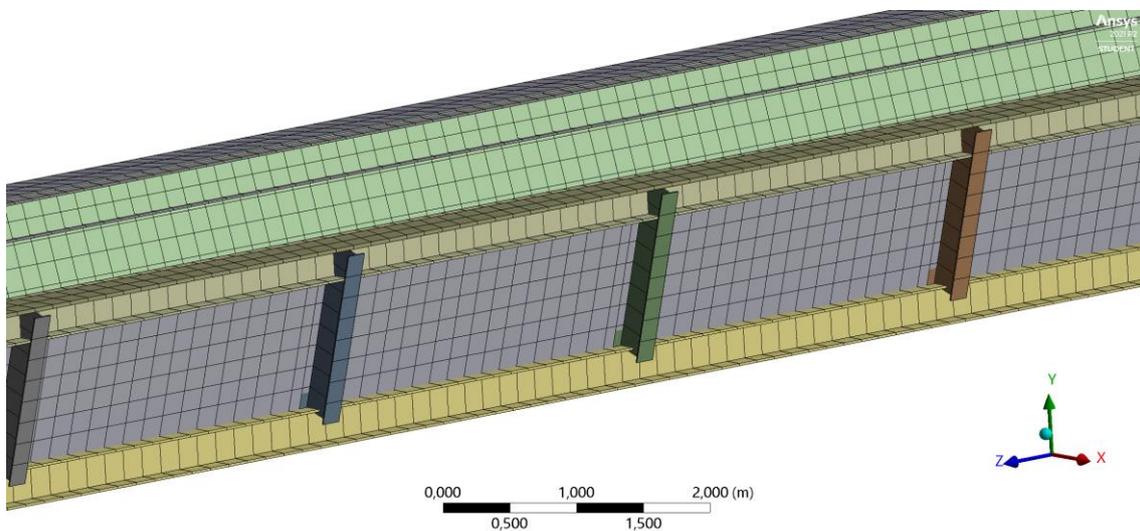


Ilustración 23. Alternativa 2: vigas longitudinales uniendo los marcos IPE300.



Análisis estático: Deformaciones

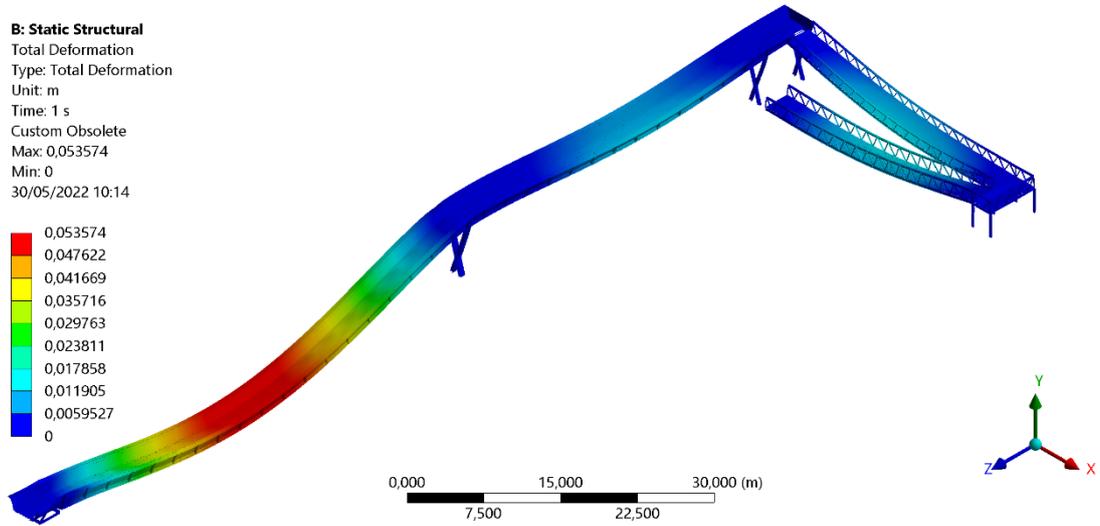


Ilustración 24. Deformada de la alternativa 2. Análisis estático.

Análisis dinámico: modos de vibración

Modo 1: Frecuencia 1,017 Hz (torsión en el vano río Caudal)

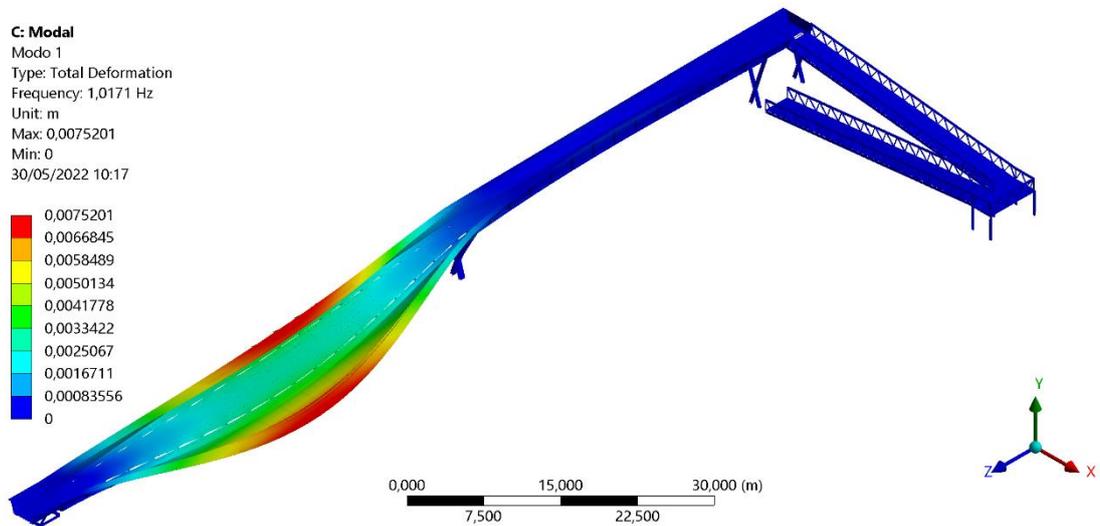


Ilustración 25. Deformada del primer modo de vibración. Alternativa 2.



Modo 2: Frecuencia 1,396 Hz (torsión vano A-66)

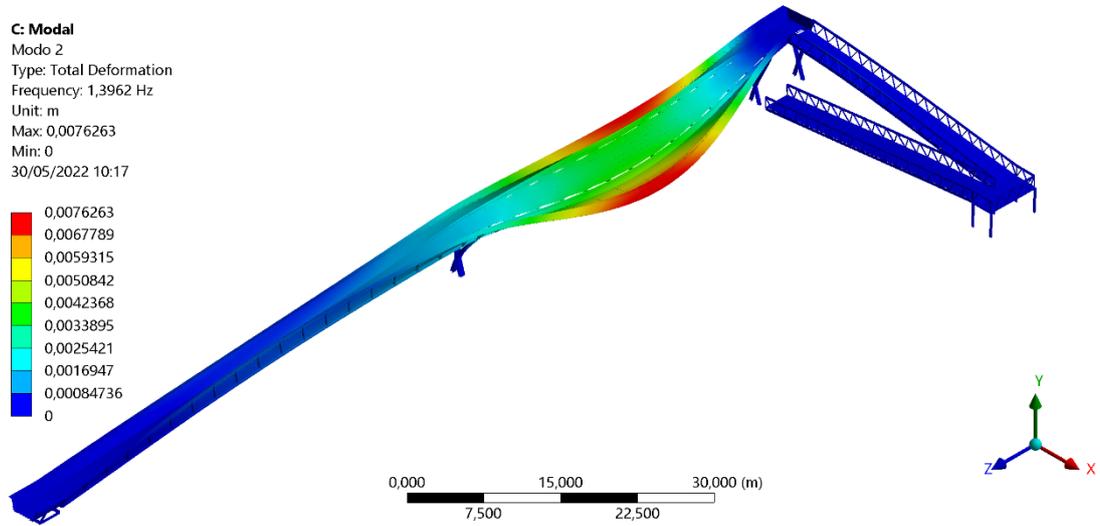


Ilustración 26. Deformada del segundo modo de vibración. Alternativa 2.

Modo 3: Frecuencia 2,188 Hz (flexión sobre el vano río Caudal)

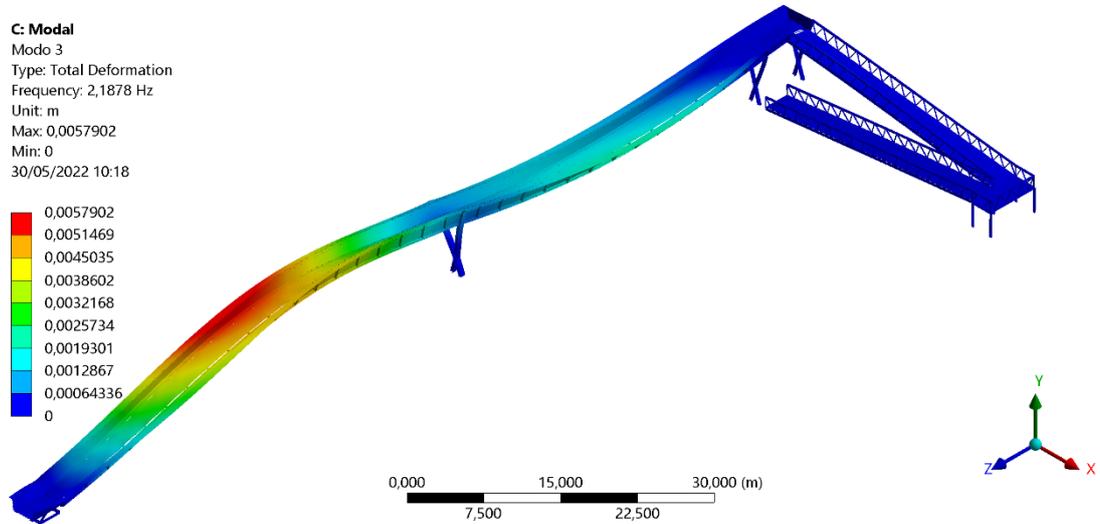


Ilustración 27. Deformada del tercer modo de vibración. Alternativa 2.



Modo 7: Frecuencia 3,822 Hz (flexión sobre el vano A-66)

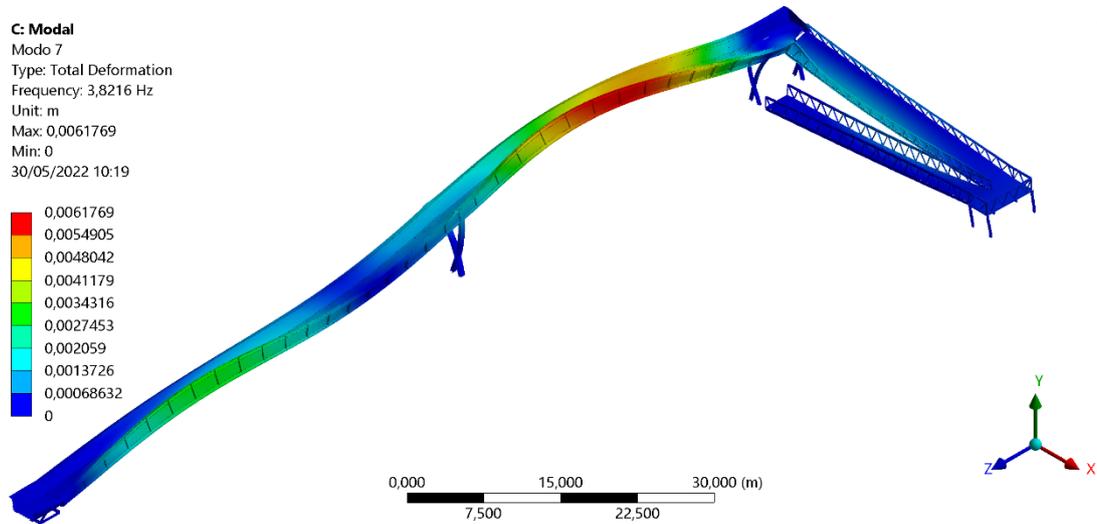


Ilustración 28. Deformada del séptimo modo de vibración. Alternativa 2.

En la siguiente tabla se resumen los resultados numéricos:

	Frecuencias (Hz)			
	Torsión		Flexión	
	0,50 - 1,20		1,25-4,60	
	Inicial	Reforzada	Inicial	Reforzada
Vano inclinado sobre Río Caudal	0,905	1,017	2,010	2,188
Vano sobre A-66	1,400	1,396	3,356	3,822

Tabla 5. Comparación de frecuencias de la alternativa 2.

5.2.3. Cubierta

La tercera alternativa consiste en cubrir la pasarela, mediante una cubierta ligera de chapa de 0,5 mm de espesor, soportada por una cercha de perfiles cuadrados de 100x100x20 mm.



Mesh
30/05/2022 10:29

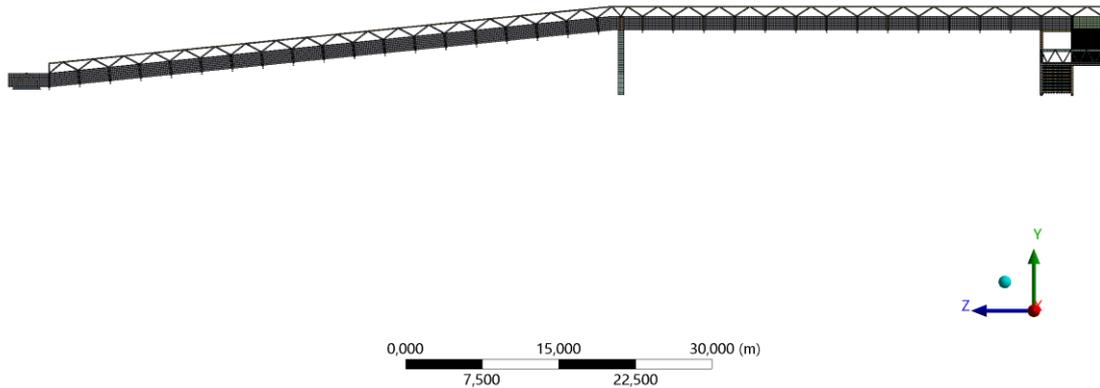


Ilustración 29. Alternativa 3: cubierta

De las 3 alternativas propuestas, esta es la única que, además de mejorar su comportamiento estructural, supone una ventaja para los usuarios, al servir la cubierta como refugio ante lluvias y sol.

Para aligerar el modelo de cálculo todo lo posible y evitar introducir modos de vibración propios de la chapa, de la cubierta se ha modelizado como una carga lineal soportada por los perfiles longitudinales, entendiéndose que se trata de una chapa cóncava similar a la que se muestra en las siguientes fotografías:



Ilustración 30. Pasarela cubierta en autovía A-8, P.K. 256+00

Lo que se traduce en una carga lineal de 6,58 kg/m en el perfil longitudinal.

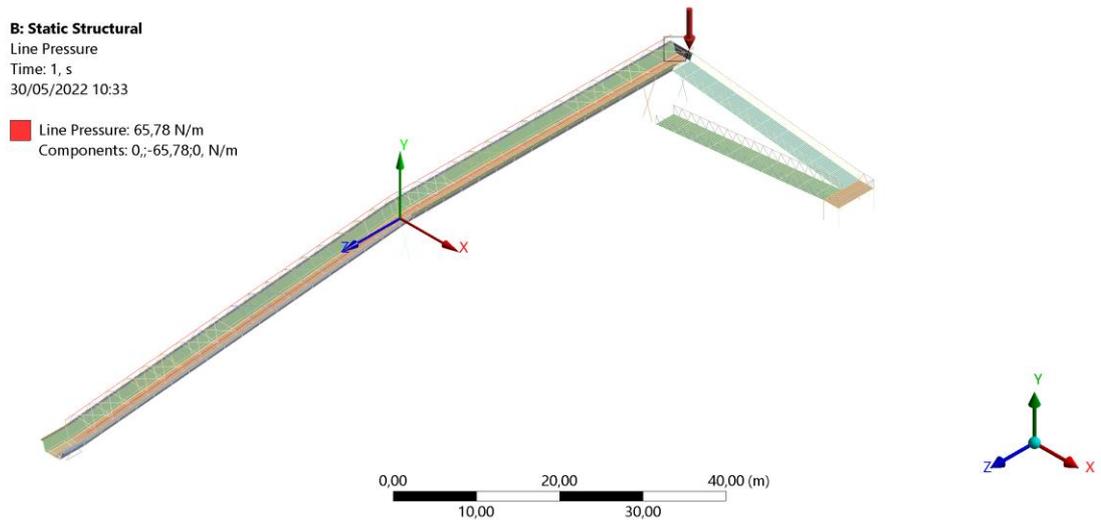


Ilustración 31. Carga lineal equivalente al peso de la chapa sobre la cubierta.

Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

Análisis estático: Deformaciones

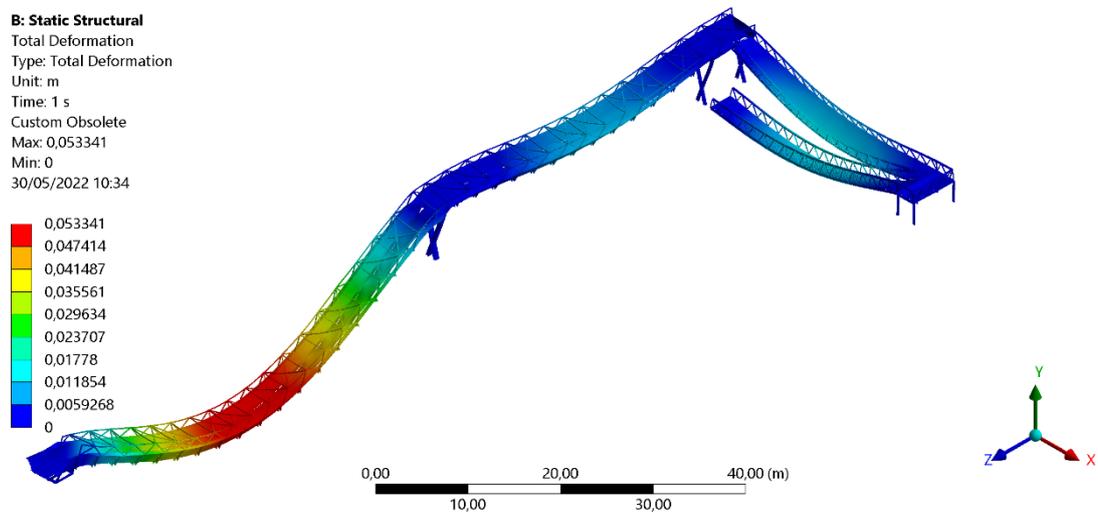


Ilustración 32. Deformada de la alternativa 3. Análisis estático.



Análisis dinámico: modos de vibración

Modo 1: Frecuencia 1,333 Hz (torsión vano río Caudal)

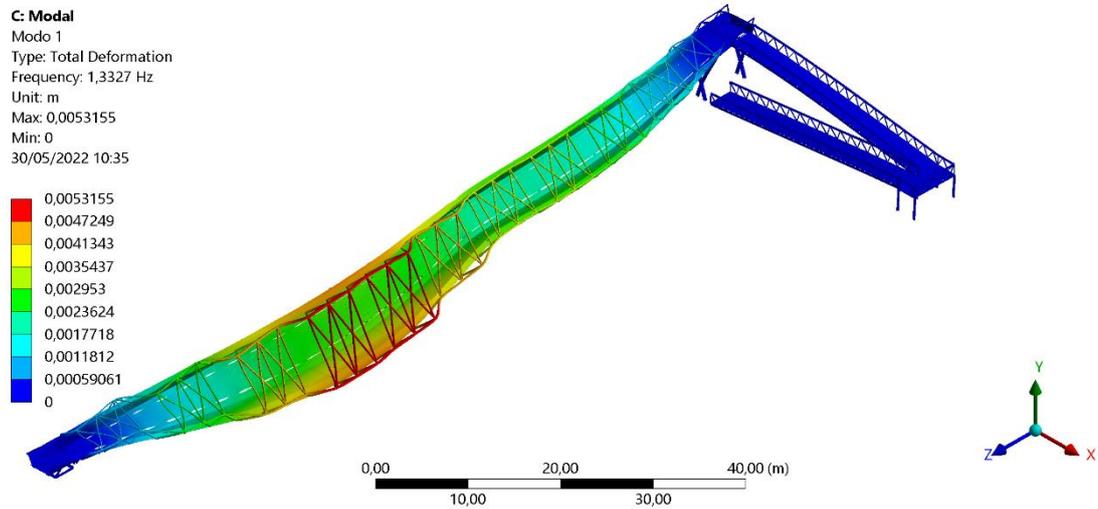


Ilustración 33. Deformada del primer modo de vibración. Alternativa 3.

Modo 2: Frecuencia 1,861 Hz (torsión sobre el vano A-66)

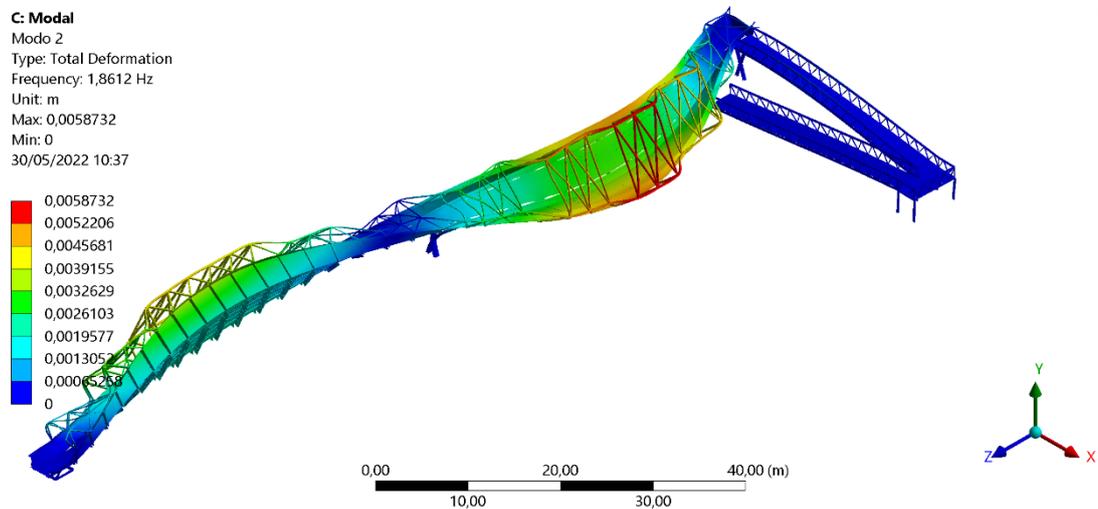


Ilustración 34. Deformada del segundo modo de vibración. Alternativa 3.

Se observa que las deformadas de cada modo varían de una alternativa a otra, siendo complejo en ocasiones comparar valores de frecuencias por ser distinto el patrón obtenido.



Modo 3: Frecuencia 2,227 Hz (flexión sobre el vano río Caudal)

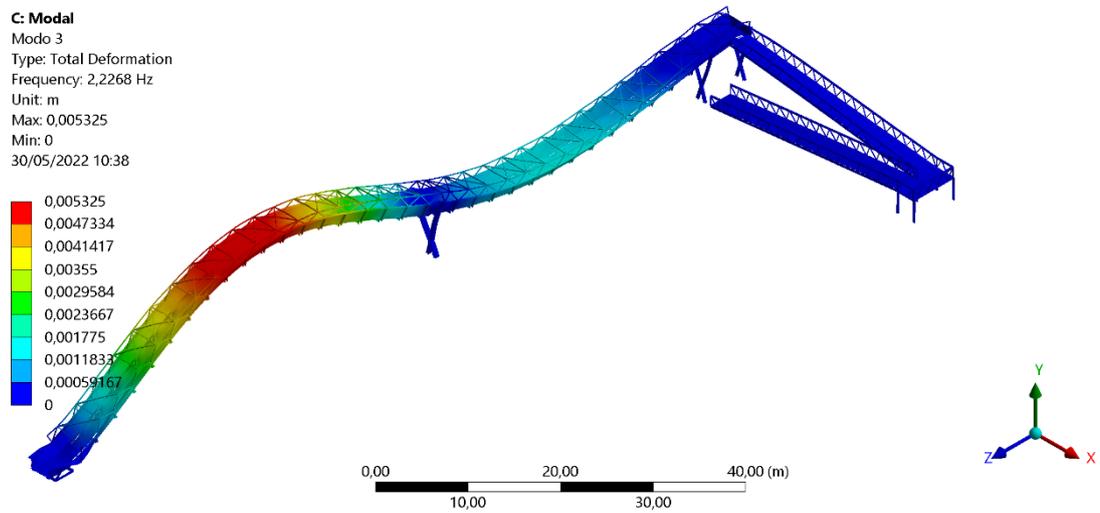


Ilustración 35. Deformada del tercer modo de vibración. Alternativa 3.

Modo 6: Frecuencia 3,929 Hz (flexión vano A-66)

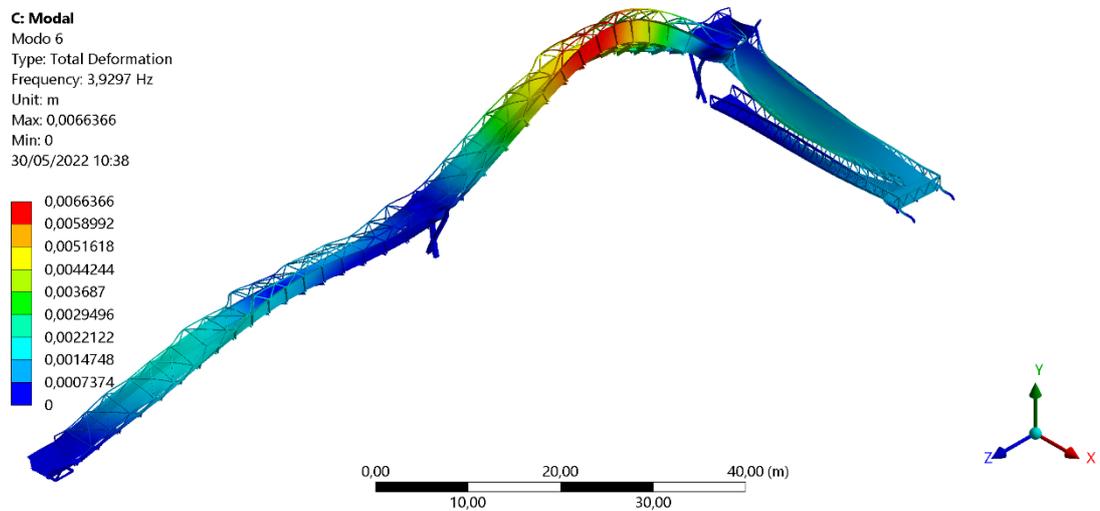


Ilustración 36. Deformada del sexto modo de vibración. Alternativa 3.



En la siguiente tabla se resumen los resultados numéricos:

	Frecuencias (Hz)			
	Torsión		Flexión	
	0,50 - 1,20		1,25-4,60	
	Inicial	Reforzada	Inicial	Reforzada
Vano inclinado sobre río Caudal	0,905	1,333	2,010	2,227
Vano sobre A-66	1,400	1,861	3,356	3,929

Ilustración 37. Comparación de frecuencias de la alternativa 3.

5.3. Comparación de alternativas y justificación de la solución adoptada

En la siguiente tabla se resumen los resultados expuestos en los apartados anteriores:

			Inicial	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Frecuencias (Hz)	Torsión (0,5-1,2 Hz)	Vano inclinado	0,905	1,301	1,017	1,333
		Vano horizontal	1,400	2,032	1,396	1,861
	Flexión (1,25-4,60 Hz)	Vano inclinado	2,010	2,977	2,188	2,227
		Vano A-66	3,356	4,876	3,822	3,929
Peso inicial (t)			144,6	153,0	187,5	184,9
Peso añadido (%)			0	6%	30%	28%
Flecha máx. (mm) < 0,046			0,065	0,037	0,054	0,053

Tabla 6. Comparación cuantitativa de las 3 alternativas.

Se observa que es la alternativa 1, consistente en reforzar los apoyos mediante puntales diagonales, la que arroja los mejores resultados, tanto en frecuencias como en flechas, y además es la que mayo ahorra de material supone.

Además, el impacto que esta opción produce sobre el resto de la estructura se limita al peso adicional sobre las cimentaciones, lo que supone una ventaja sobre el resto de las alternativas, especialmente en el caso de la cubierta, en el que, además del



peso, habría que analizar cómo afectan los efectos dinámicos del viento ante esta nueva configuración.

En cuanto a su implantación, la mayor parte de los trabajos de instalación, soldadura o atornillado pueden llevarse a cabo bien desde la autovía (interrumpiendo el tráfico temporalmente en uno de los carriles), bien desde la zona de aproximación a los apoyos. En el Anexo III se profundiza en las fases de implantación y sus implicaciones.

Como desventaja para tener en cuenta, los puntales en los apoyos no sólo no suponen una ventaja para los usuarios como sucede en el caso de la cubierta, sino que además debe analizarse su impacto sobre los usuarios de la autovía y el ferrocarril, en concreto, el gálibo. En el Anexo III se comprueban las posibles interferencias.

Por último, atendiendo a criterios estéticos, la alternativa que modifica en menor medida la apariencia de la pasarela es la 2, de vigas longitudinales, siendo la de la cubierta la que mayor impacto visual proporciona.

La comparación entre los criterios cualitativos aquí expuestos entre las 3 alternativas propuestas se resume a continuación:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Dificultad de implantación	Baja	Alta	Media
Beneficio para los usuarios	Bajo	Medio	Alto
Impacto sobre el resto de la estructura	Bajo	Medio	Alto
Impacto visual	Medio	Bajo	Alto

Tabla 7. Comparación cualitativa de las 3 alternativas.

Por otra parte, aunque mejoran notablemente, las frecuencias naturales obtenidas para la flexión en el vano inclinado sobre el río Caudal (2,98 Hz) siguen sin encontrarse dentro del rango establecido en la norma (1,25 - 4,60 Hz). Según lo expuesto en el apartado 2.4., se encontraría dentro del rango superior (2,50 – 4,60 Hz), correspondiente al según armónico de excitación, cuyo riesgo de excitación no tolerable es menor. En concreto, se encontraría dentro del rango debido a la acción de peatones corriendo (2,00 – 3,50 Hz), que resulta poco susceptible de sincronizarse para grupos de peatones corriendo.



Si se revisan otras guías de diseño internacionales sobre la materia, es posible confirmar que las frecuencias obtenidas no suponen un problema para los usuarios. En concreto, en la LRFD Bridge Design Specifications de AASHTO, se establece que las vibraciones de la estructura no deben causar incomodidad o preocupación a los usuarios de la pasarela [...] la frecuencia fundamental en el modo vertical sin considerar la sobrecarga debe ser mayor de 3 Hz para evitar el primer armónico. En la dirección lateral, la frecuencia natural debe ser mayor de 1,3 Hz [12]. Los valores obtenidos se encuentran, por tanto, en línea con los aquí propuestos.

Cabe recordar, además, que se trata del tercer modo de vibración de la pasarela, para el que se necesita una mayor cantidad de energía para activarlo y que, además resulta menos susceptible de entrar en fenómenos de resonancia. [6]

Por todo lo anterior, se elige la alternativa 1 como la solución óptima al problema planteado.



6. Estimación económica

En el Anexo IV se incluye la estimación económica que supondría haber llevado a cabo este estudio si hubiese sido contratado profesionalmente.

Del mismo modo, se ha estimado el coste de llevar la propuesta elegida en estudio a la realidad, desde la elaboración del Proyecto Constructivo, a la fabricación y puesta en obra del refuerzo planteado.



7. Conclusiones

Tal y como se explica al principio del documento, la estimación de las cargas dinámicas resulta compleja y debe asumirse siempre cierto margen de error, bien debido a errores inherentes a la toma de mediciones en campo, bien debidas a indefiniciones o elementos difíciles de simular con los programas de cálculo convencionales.

En este caso, el análisis de las vibraciones llevado a cabo permite acotar y entender mejor el problema que detectan los usuarios, lo que a su vez se traduce en el planteamiento de soluciones más efectivas de entre todas las alternativas posibles. La elección de la alternativa idónea debe, como es lógico, contribuir a mitigar las vibraciones indeseadas, sin dejar de ser viable y ajustada a la pasarela estudiada. Por otra parte, el hecho de que la pasarela ya se encuentre construida y en funcionamiento, proporciona una gran cantidad de información sobre su uso (número y frecuencia de usuarios) así como su comportamiento, lo que facilita en gran medida la toma de decisiones sobre la propuesta de refuerzo.



8. Normativa aplicable y referencias bibliográficas

7.1. Normativa aplicable

[a] Código Estructural aprobado por el Real Decreto 470/2021, que regula las estructuras de hormigón, de acero y mixtas de hormigón-acero, tanto de edificación como de obra civil. Ministerio de Transportes, movilidad y agenda urbana.

[b] Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11), aprobada por la Orden FOM/2842/2011. Ministerio de Fomento.

7.2. Referencias bibliográficas

[1] Página web de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico: <https://www.chcantabrico.es>

[2] Página web del Ayuntamiento de Mieres: <https://www.mieres.es>

[3] El blog de “Acebedo”. Entrada: El corrupto y tramposo Martín Guterriz: <https://elblogdeacebedo.blogspot.com>

[4] Artículo “El caso del chantre corrupto” publicado en el periódico La Nueva España el 24 de mayo de 2016 por el historiador Ernesto Burgos Fernández.

[5] Apuntes de la asignatura “Análisis Dinámico de Estructuras” del Máster de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Oviedo. Tema 1 Introducción, Tema 2 Vibración Libre 1GDL, Tema 3 Vibración forzada armónica 1GDL Tema 9 Análisis Modal MGL

[6] AISC Steel Design Guide 11: Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due to Human Activity. Segunda Edición. 2016. American Institute of Steel Construction.

[7] Instrucción de Acero Estructural (EAE), aprobada por Real Decreto 751/2011. Ministerio de Fomento. Derogada por [a].

[8] Página web de Omega instrumentación: <https://es.omega.com/prodinfo/acelerometro>

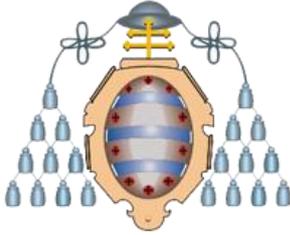
[9] Apuntes de la asignatura “Cálculo Avanzado de Estructuras” del Máster de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Oviedo. Tema 1 Nociones básicas en el MEF.



[10] Página web de ANSYS: <https://www.ansys.com>

[11] DesignModeler User Guide de ANSYS

[12] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications guide. Novena Edición. 2020.
American Association of State Highway and Transportation.



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN E INGNIERÍA DE FABRICACIÓN

**ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
ESTUDIO TÉCNICO**

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO PARA PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL RÍO CAUDAL

ANEXO I: REPORTAJE FOTOGRÁFICO

AUTOR: ALBA LÓPEZ BRAÑA

TUTOR: CARLOS LÓPEZ-COLINA PÉREZ

COTUTOR: MARTA GARCÍA DIÉGUEZ

JUNIO DE 2022

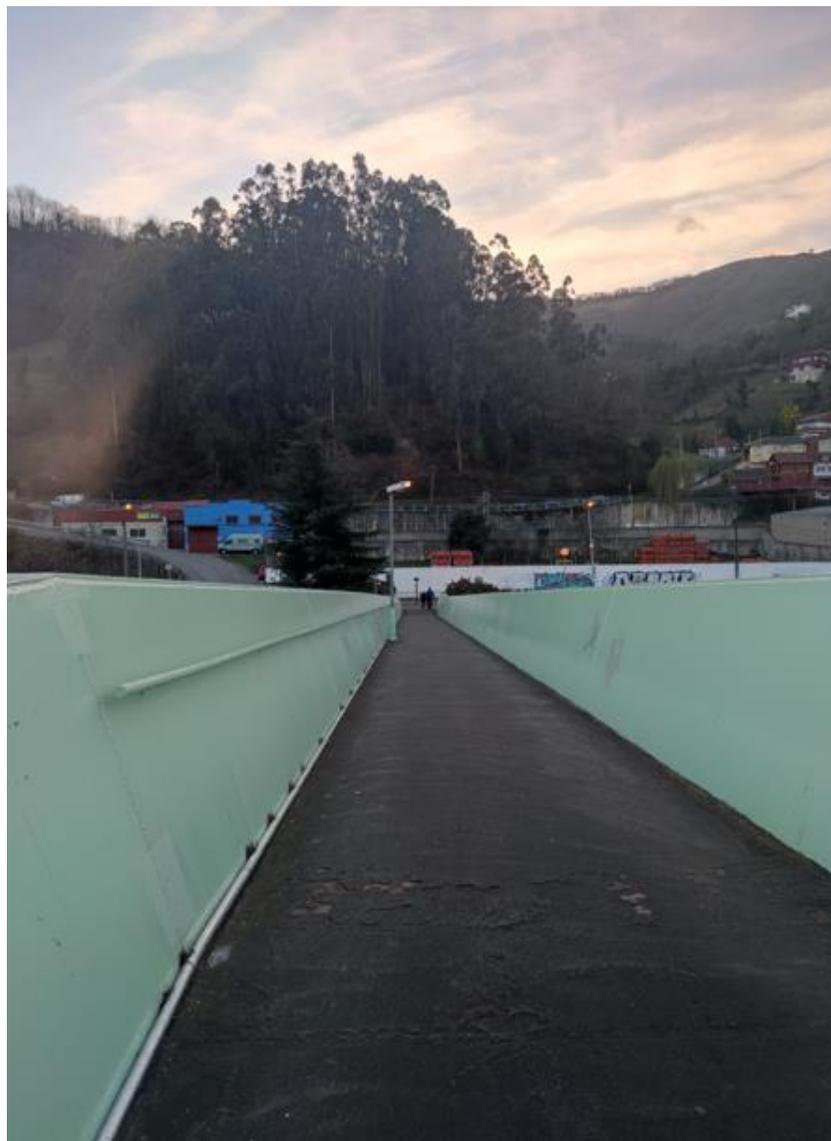


Vista general desde el polígono Gonzalín



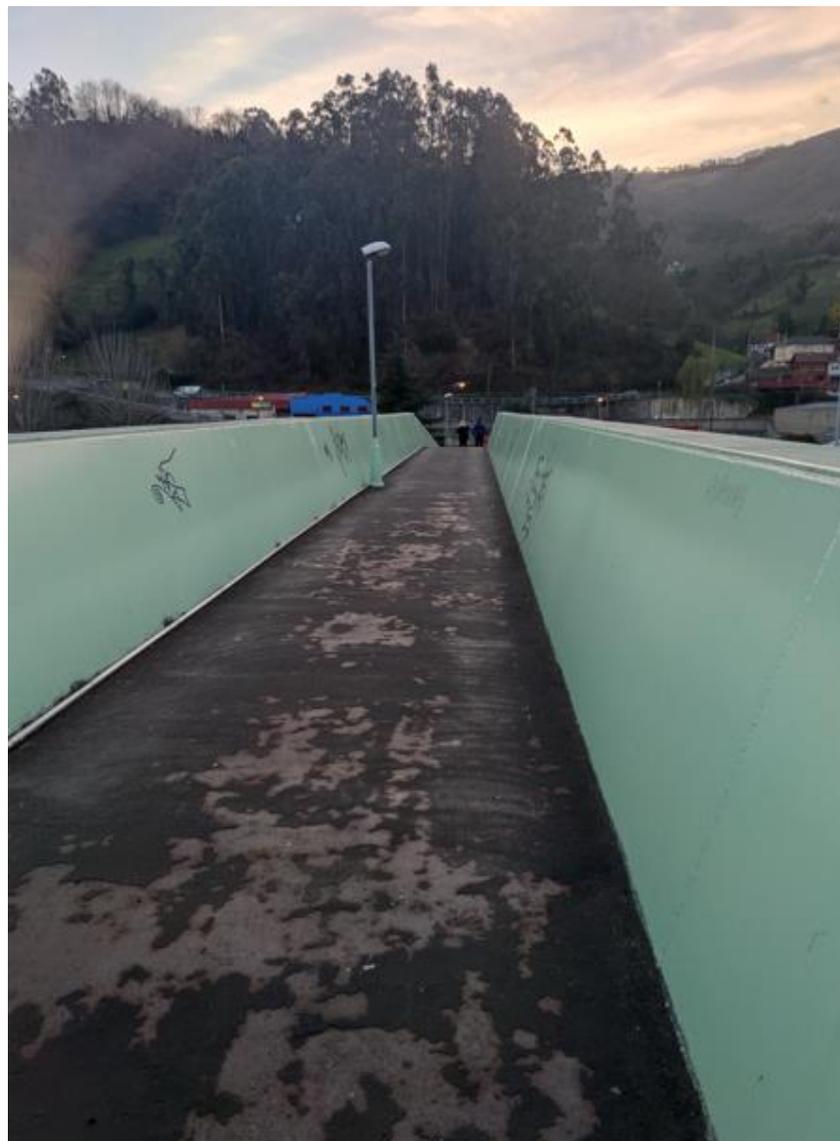


Tramo inclinado de la pasarela





Tramo recto de la pasarela





**Apoyo intermedio entre el río Caudal y
la autovía A-66**





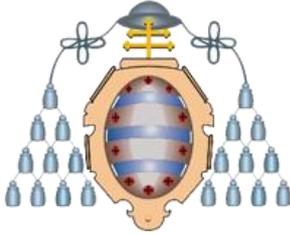
Apoyo lado Mieres





Rampa de acceso a la pasarela desde el lado Mieres





UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN E INGNIERÍA DE FABRICACIÓN

**ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
ESTUDIO TÉCNICO**

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO PARA PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL RÍO CAUDAL

ANEXO II: DIFERENCIAS ENTRE PLANOS Y ESTRUCTURA CONSTRUIDA

AUTOR: ALBA LÓPEZ BRAÑA

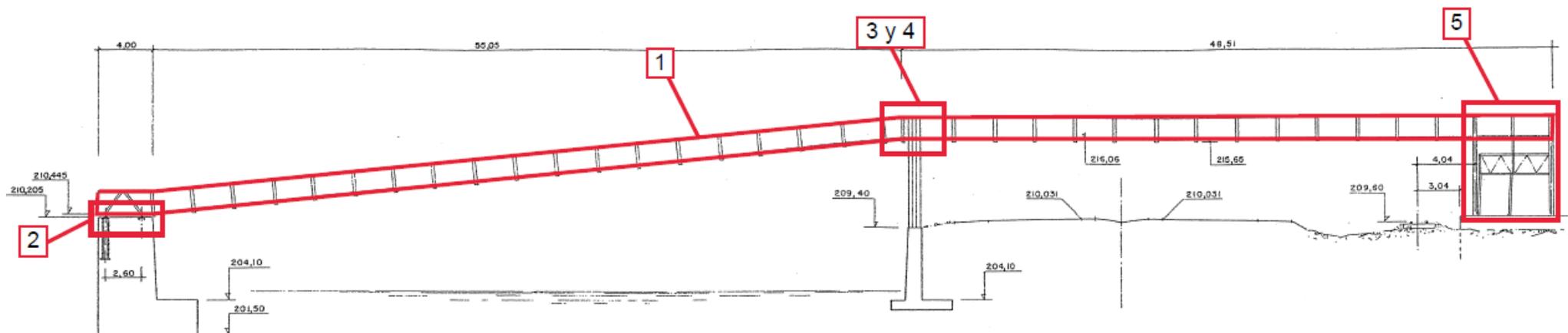
TUTOR: CARLOS LÓPEZ-COLINA PÉREZ

COTUTOR: MARTA GARCÍA DIÉGUEZ

JUNIO DE 2022

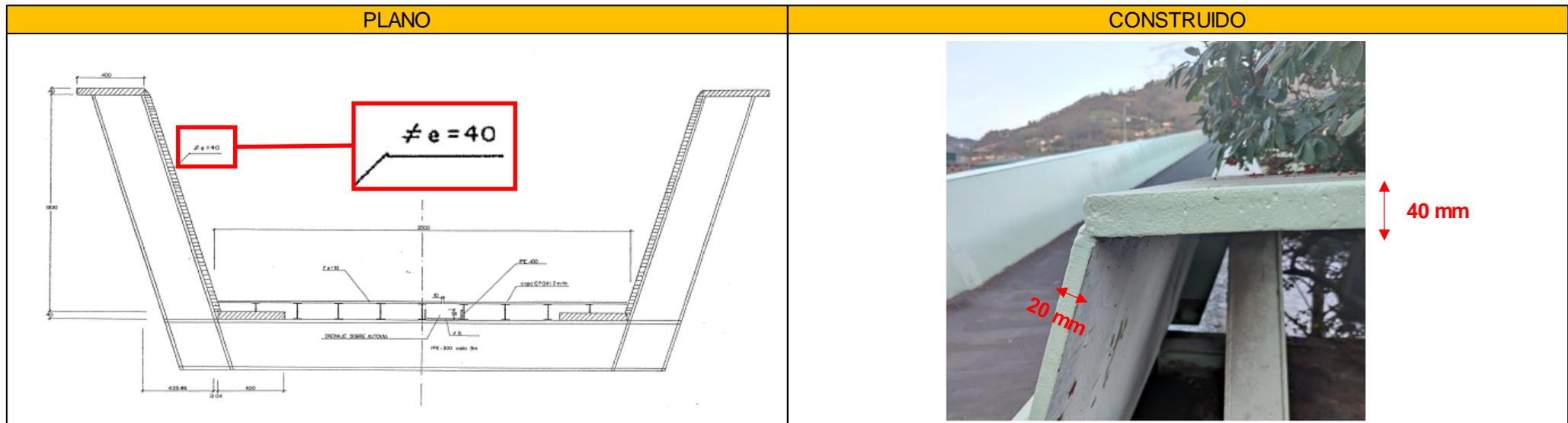


0. Ubicación de los cambios





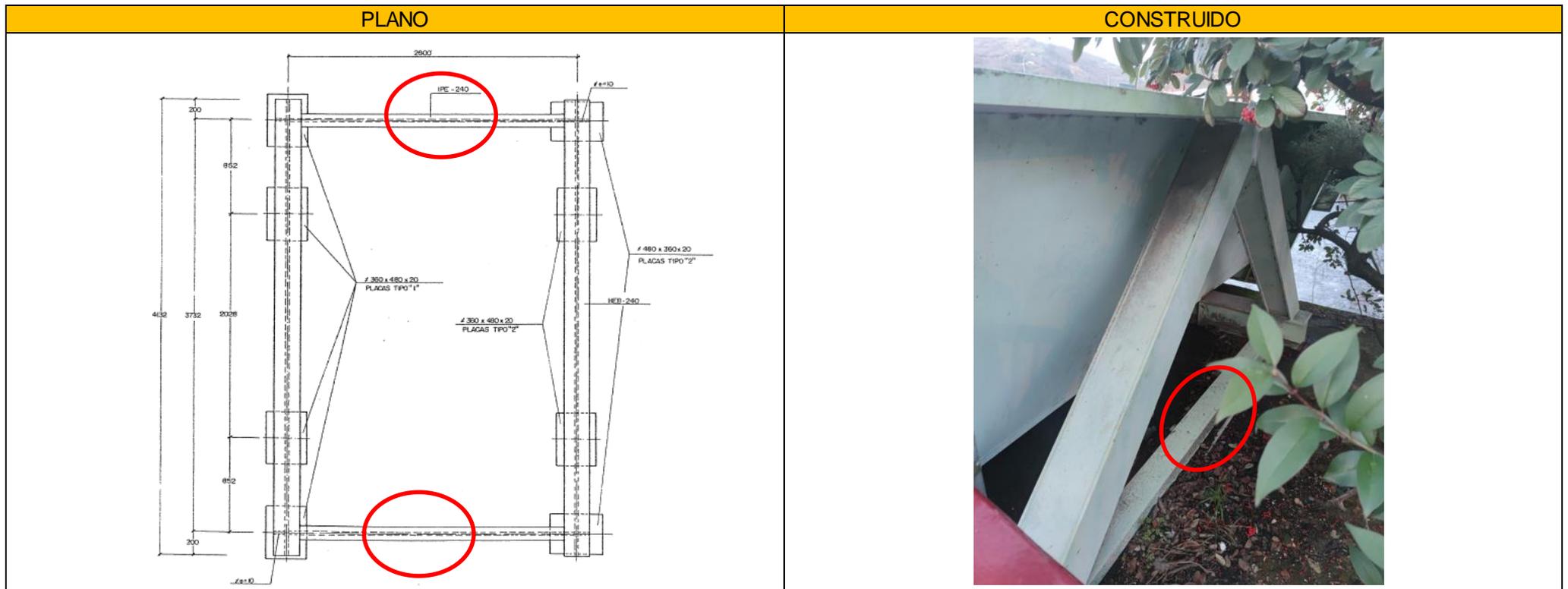
1. Espesor de las chapas que unen los marcos IPE 300



En los planos se indica un espesor constante de 40 mm en la chapa que une los marcos IPE300, sin embargo, los espesores son distintos en la cara inclinada y en la horizontal.



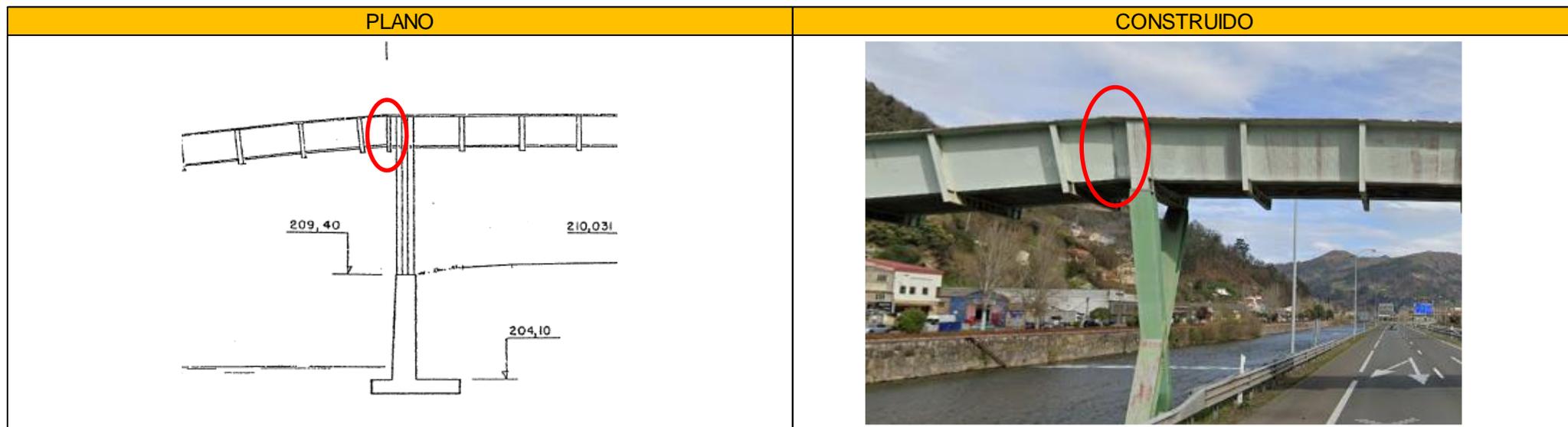
2. Placas de soldadura del apoyo del lado “Gonzalín”



Existen puntos de soldadura adicionales a los indicados en el plano.



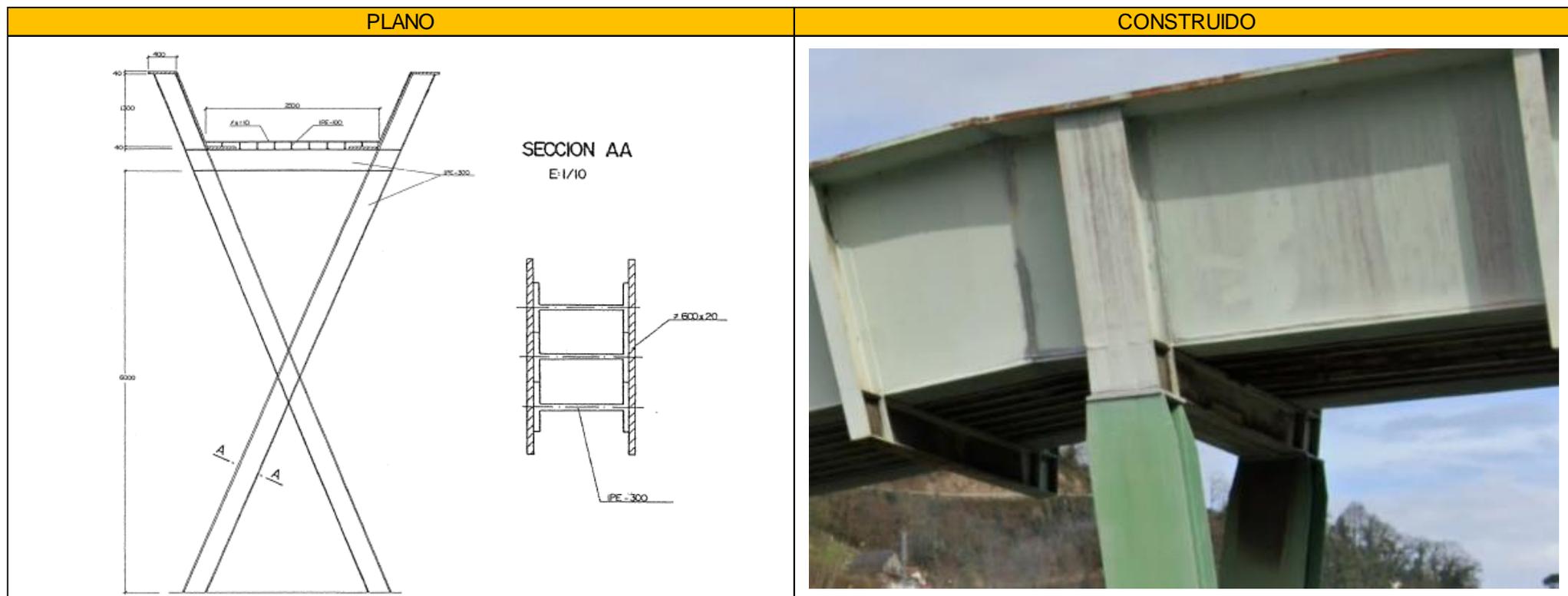
3. Marco IPE 300 entre tramos de distintas pendientes



En la pasarela construida, no existe un marco de IPE300 en el plano de cambio de pendientes del tablero..



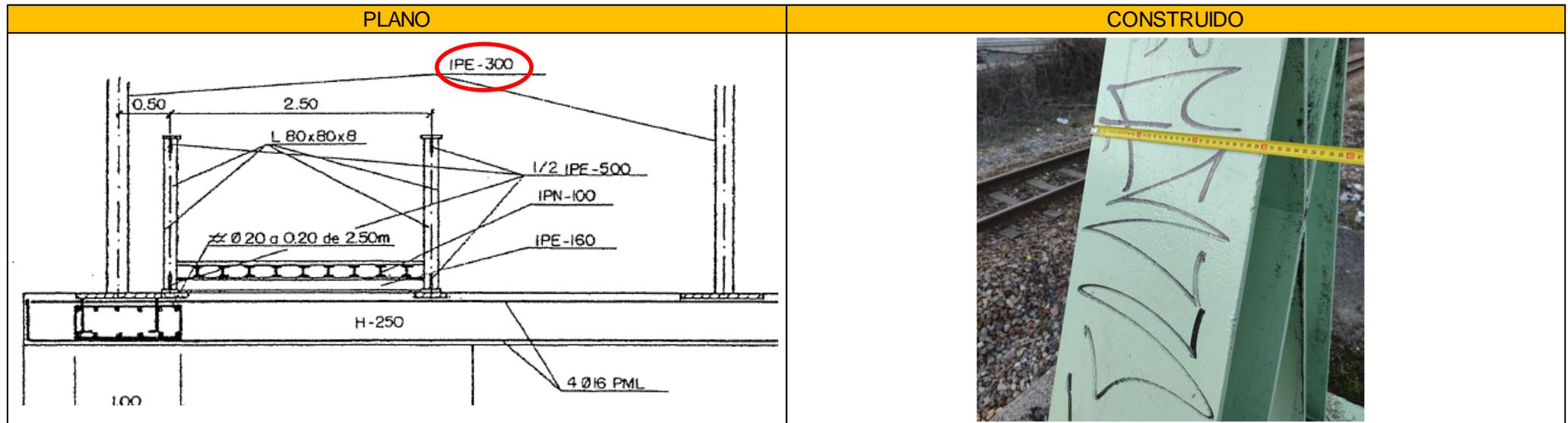
4. Sección transversal del apoyo intermedio



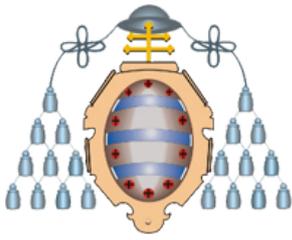
La sección A-A del apoyo intermedio, formada por 3 perfiles IPE300 reforzados con dos platabandas de espesor 20 mm, no es constante en toda la altura de la pasarela; en la parte del tablero, no se aprecian las dos platabandas.



5. Perfiles del apoyo del lado Mieres



Los dos apoyos en forma de cruz que soportan la pasarela en el lado Mieres están formados por perfiles HEB300, en lugar de IPE300 como indica el plano.



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN E INGNIERÍA DE FABRICACIÓN
ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
ESTUDIO TÉCNICO**

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO PARA PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL RÍO CAUDAL

ANEXO III: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

AUTOR: ALBA LÓPEZ BRAÑA

TUTOR: CARLOS LÓPEZ-COLINA PÉREZ

COTUTOR: MARTA GARCÍA DIÉGUEZ

JUNIO DE 2022



CONTENIDO

1. Objetivo	3
2. Gálibos	3
2.1. Gálibo de carreteras	3
2.2. Gálibo ferroviario	4
3. Comprobación de la flecha máxima	5
4. Sistema de protección de la estructura	6
5. Fases de implantación	8
6. Planificación de los trabajos.....	14
7. Estimación económica	16
8. Conclusiones	16
9. Normativa aplicable	17

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ocupación aproximada del refuerzo intermedio, en el lado de la autovía.	3
Ilustración 2. Dimensiones del gálibo ferroviario GED10. Fuente: Instrucción Ferroviaria de Gálibos [3].....	5
Ilustración 3. Deformada de la pasarela reforzada, incluyendo la sobrecarga de uso.	6
Ilustración 4. Fases de implantación del refuerzo lado Gonzalín	10
Ilustración 5. Fases de implantación de los refuerzos del apoyo intermedio.	12
Ilustración 6. Fases de implantación del refuerzo lado Mieres.	14

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esquema de protección Im1.	7
Tabla 2. Esquema de protección C3.....	7
Tabla 3. Planificación de los trabajos de instalación de los refuerzos.	15



1. Objetivo

En este anexo se desarrolla la propuesta escogida, con el objetivo de justificar la viabilidad técnica, constructiva y económica de la misma. Para ello, se estudian los posibles puntos conflictivos de la propuesta, como son los gálibos de la autovía y el ferrocarril, así como las crecidas del río Caudal.

Del mismo modo, se analizan las fases de ejecución, llevándose a cabo una estimación de tiempos y costes requeridos, así como posibles afecciones a los usuarios.

2. Gálibos

2.1. Gálibo de carreteras

Se comprueba que el gálibo de la autovía no se ve afectado por la implantación de un refuerzo diagonal en el apoyo central, ya que éste se une al tablero a una distancia de 3 m del apoyo, sin interferir en el espacio de la plataforma de la autovía.



Ilustración 1. Ocupación aproximada del refuerzo intermedio, en el lado de la autovía.

Fuente: Google Street View.



El gálibo vertical actual se encuentra en 5,60 m, superando el mínimo de 5 m establecido en la Norma 3-1 IC. Trazado [1], por lo que no es necesario considerar acciones sísmicas de impacto.

En cuanto al gálibo horizontal, la IAP-11 [2], establece que no será necesario considerar la acción del impacto de vehículos contra un elemento de sustentación cuando se disponga la protección adecuada, como son los pretilos metálicos que se encuentran instalados en este caso.

2.2. Gálibo ferroviario

En la Norma ADIF Plataforma de Pasos Superiores [3], se especifica que, como norma general, la distancia horizontal mínima entre el eje de la vía más cercana y los paramentos de las pilas u otros soportes de los tableros será mayor a 4,4 m en el caso vías de ancho de 1,0 m, como es este caso.

Por lo que respecta al gálibo vertical entre cota superior de carril y parte inferior de la estructura no deberá ser inferior a 7,0 m para velocidades de circulación iguales o superiores a 160 km/h o a 6,5 m para velocidades inferiores.

Estas distancias no se cumplen en la pasarela original, por lo que tampoco se cumplirán una vez colocados los puntales. Sin embargo, la norma establece que donde no se pueda cumplir estas distancias, se deberá cumplir el gálibo de implantación de obstáculos, así como el gálibo mecánico y eléctrico del pantógrafo según la Instrucción Ferroviaria de Gálidos [4]. Teniendo en cuenta que se trata de una vía de ancho métrico sin electrificar, se considera el gálibo uniforme de implantación de obstáculos GED10:

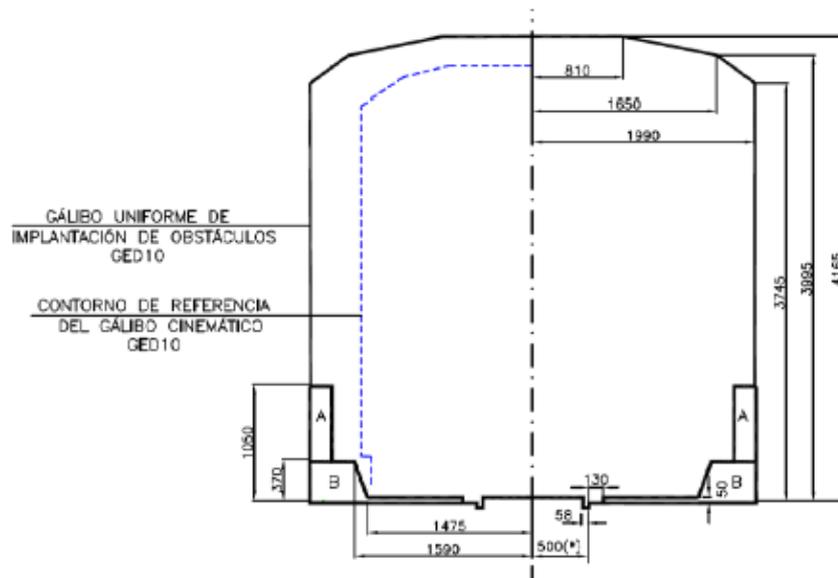


Ilustración 2. Dimensiones del gálibo ferroviario GED10. Fuente: Instrucción Ferroviaria de Gálibos [3].

En el Plano N°3 se comprueba que el refuerzo no interfiere con dicho gálibo.

3. Comprobación de la flecha máxima

Tal y como se ha visto en el análisis de alternativas, los refuerzos diagonales de los apoyos contribuyen a la reducción de la flecha vertical máxima en el tablero en un 43% bajo cargas de peso propio.

Sin embargo, de acuerdo con la IAP-11 [2], esta condición debe verificarse para el valor frecuente de la sobrecarga de uso ($\Psi_1 \cdot Q_k$), que en el caso de las pasarelas peatonales se calcula:

$$\Psi_1 \cdot Q_k = 0,4 \cdot 5 \text{ kN/m}^2 = 2 \text{ kN/m}^2$$

La norma establece que, en general, se considerará verificado el estado límite de servicio de vibraciones si se cumple el criterio de limitación de las flechas verticales ($L/1200$ en el caso de pasarelas peatonales, siendo L la longitud del vano), lo que implica que, limitando las deformaciones, se elimina el problema de las vibraciones que presenta la pasarela actualmente.

Introduciendo este valor sobre el tablero del modelo creado con ANSYS, se obtiene la máxima deformación de la pasarela:

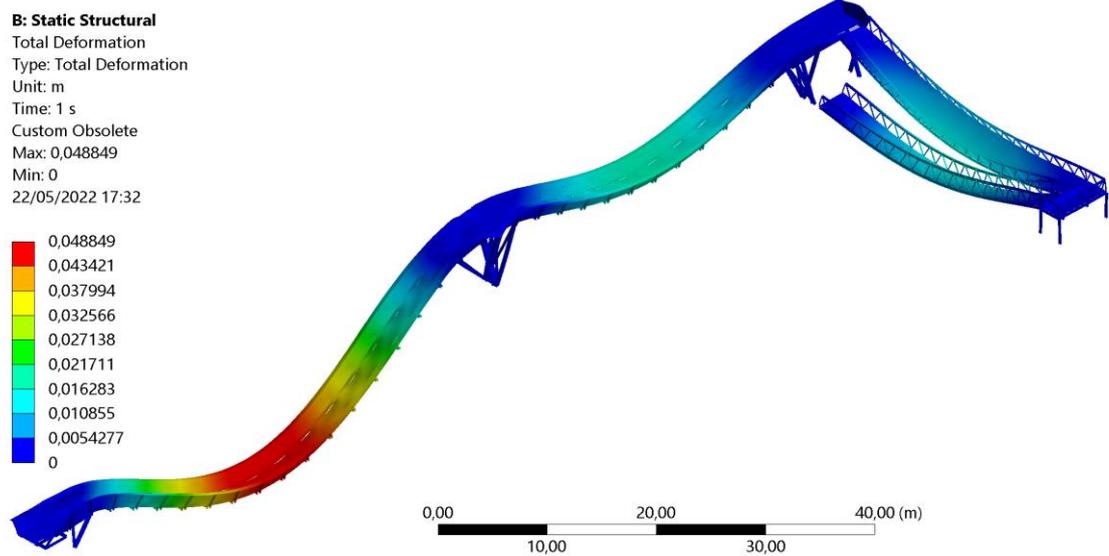


Ilustración 3. Deformada de la pasarela reforzada, incluyendo la sobrecarga de uso.

Para la configuración de pasarela reforzada, la luz o longitud libre del vano se reduce, y, en consecuencia, también se reduce la luz máxima admisible. En el caso del vano sobre el río Caudal, se considera una luz de 48 m (frente a los 55 iniciales) y un valor límite de 0,040 m.

De la imagen anterior se deduce que, a pesar de mejorar notablemente los valores obtenidos, la flecha máxima obtenida (0,049) supera en un 20% el valor máximo admisible (0,040), por lo que sigue siendo necesario el análisis de vibraciones.

No obstante, cabe recordar que la configuración inicial ofrecía valores que, únicamente sometidos al peso propio (0,065 m), superaban en más de un 40% el valor límite (0,046 m), por lo que la afirmación de que se reducen las deformaciones sigue siendo válida.

4. Sistema de protección de la estructura

Atendiendo a la clasificación establecida en la norma UNE-EN ISO 12944-2:2018 [5] se consideran 2 esquemas de protección diferentes atendiendo a los siguientes criterios:



Refuerzo apoyo lado Gonzalín: se considera un sistema de protección compatible con una categoría de corrosividad **Im1** por encontrarse en una zona de posible inmersión en agua dulce en caso de crecida del río Caudal y, en cumplimiento con UNE-EN ISO 12944-5:2020 [6], se escoge el siguiente esquema (A6.01, durabilidad esperada media para C3):

	Ligante	ENPS (μm)
Preparación de la superficie	Sa 2 1/2 granallado	-
Imprimación	EP Zn(R) Epoxídica rica en zinc	60
Capa intermedia	EP Epoxídica	150
Capa final	EP Epoxídica	150
ENPS total (μm)		360

Tabla 1. Esquema de protección Im1.

▪ **Resto de estructura:** se considera un sistema de protección apto para una categoría de corrosividad **C3** por encontrarse en una zona urbana e industrial, con moderada contaminación por dióxido de azufre. Se propone el siguiente esquema (A3.3, de durabilidad esperada alta para C3):

	Ligante	ENPS (μm)
Preparación de la superficie	Sa 2 1/2 granallado	-
Imprimación	AK alquídico	80
Capa intermedia	AK alquídico	80
Capa final	AK alquídico	40
ENPS total (μm)		200

Tabla 2. Esquema de protección C3.



En ambos casos el color de la capa final debe asimilarse con el de la estructura existente, por lo que se propone RAL 6019.

5. Fases de implantación

Con el objetivo de facilitar la implantación de este sistema de la forma más sencilla posible, reduciendo tiempos, minimizando riesgos y ocasionando las menores molestias posibles a los usuarios tanto de la pasarela como de las infraestructuras afectadas por la pasarela, se definen uniones atornilladas siempre que sea posible, reduciendo el número de soldaduras en campo, y definiendo piezas de dimensiones fácilmente manejables. El detalle de las uniones puede verse en el Plano N°3.

Previa a la ejecución de la solución adoptada, es altamente recomendable llevar a cabo una campaña de ensayos no destructivos que permita evaluar el estado de la estructura existente y que, consista, al menos, en una inspección visual y ensayos de ultrasonidos en las uniones soldadas principales.

Se definen las siguientes fases de implantación para cada uno de los apoyos:

Apoyo lado Gonzalín:

1. Ejecución de los anclajes químicos en el estribo de hormigón.

Mediante una plataforma elevadora de personal apta para trabajos en negativo, situada en el área de aproximación a la pasarela, se ejecutan los taladros de diámetro y profundidad indicada en planos.

Posteriormente, siguiendo las instrucciones del fabricante, se limpia la perforación mediante soplado y cepillo. Una vez limpia la perforación se rellena de adhesivo epóxico (cantidad definida por el fabricante) mediante aplicador manual y finalmente se introduce la varilla roscada en la longitud definida. Transcurrido el tiempo de curado, que en función de la temperatura ambiente puede variar entre 4h y 24h, puede ponerse en carga el anclaje.

Esta fase debe llevarse a cabo en épocas estivales, cuando los niveles de agua del río se encuentren en sus mínimos.



2. Instalación de viga longitudinal HEB200 entre marcos IPE300 (sección tablero).

De nuevo mediante plataforma elevadora, o bien mediante andamio colgante soportado por el propio tablero de la pasarela, se colocan las dos vigas longitudinales, soldándolas en los extremos a sendos marcos IPE300. Se trata de soldadura a bisel con penetración completa, llevada a cabo mediante soldeo por arco eléctrico manual que incluye revestimientos de tipo rutilo. Este proceso se lleva a cabo según procedimiento aprobado conforme a la norma UNE-EN ISO 15609-1:2020 [7] y ejecutado por un soldador cualificado según UNE-EN ISO 9606-1:2017 [8].

Finalizadas las tareas de soldadura, se llevan a cabo ensayos no destructivos de líquidos penetrantes según norma UNE-EN ISO 3452-1:2022 [9] y se procede a reparar la pintura dañada, aplicando el mismo esquema que el definido en el apartado anterior.

3. Instalación de apoyos principales HEB300.

Los perfiles son aproximados a su ubicación definitiva mediante grúa telescópica de al menos 15 m de pluma. Una vez situadas, se encajan en las varillas ya ancladas en el estribo y, por último, se atornillan en el extremo superior, con el correspondiente par de apriete recomendado por el fabricante del conjunto tornillo y tuerca, de acuerdo con la clasificación que establece la norma UNE-EN 14399-1:2016 [10]. Para finalizar, se llevan las tareas de retoque de pintura que sean necesarias.

4. Instalación de la cruz de San Andrés (perfiles HEB200).

Estos perfiles se atornillan a las cartelas inferiores y superiores de los perfiles HEB300, de nuevo mediante la ayuda de una grúa telescópica y los andamios y plataformas previamente instalados.

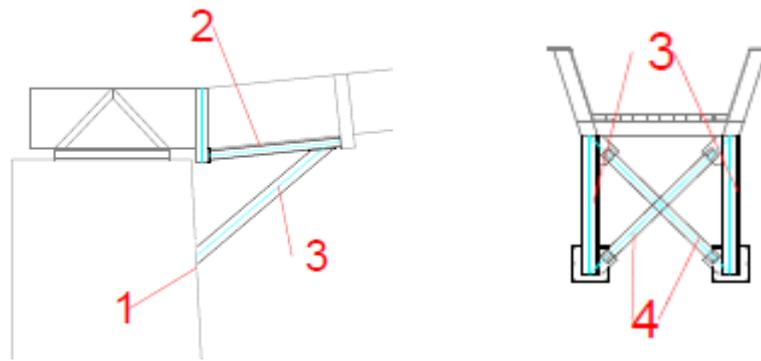


Ilustración 4. Fases de implantación del refuerzo lado Gonzalín

Apoyo intermedio

1. Soldadura de cartelas inferiores a apoyos existentes

Se sueldan 2 cartelas en la parte inferior de cada uno de los 2 perfiles que constituyen el apoyo intermedio y a ambos lados de los 2 perfiles, es decir, 6 cartelas en total. Se trata de una soldadura a bisel simple y con penetración completa.

Al tratarse de una soldadura con penetración completa ésta debe ser continua, y además proporcionar una completa penetración y fusión con el metal base en todo el espesor de la unión. Las propiedades mecánicas del material de aporte serán iguales o superiores a las del material base, según lo establecido en el Anejo 26 del Código Estructural [11].

Dados los espesores de las piezas a soldar y el reducido espacio de trabajo en algunas zonas, se ejecuta mediante soldeo por arco eléctrico manual que incluye revestimientos de tipo rutilo.

Los trabajos de soldadura se llevan a cabo mediante procedimiento aprobado según UNE-EN ISO 15609-1:2020 [7] y debe ser ejecutado por un soldador cualificado según UNE-EN ISO 9606-1:2017 [8].

Finalizadas las tareas de soldadura, se llevan a cabo ensayos no destructivos de líquidos penetrantes según norma UNE-EN ISO 3452-1:2022 [9] y se procede a reparar la pintura dañada, aplicando el mismo esquema que el definido para el resto de la estructura.



Estas tareas se llevan a cabo a nivel de suelo, fuera de la plataforma de la autovía, pero próximas al río, por lo que se colocan barandillas fijas en el borde del encauzamiento para evitar caídas.

2. Instalación de apoyos principales HEB300.

Previo a la colocación de los perfiles se dispone un andamio colgante sujeto al tablero de la pasarela para hacer las perforaciones de la unión atornillada que unirá el marco IPE300 existente y los nuevos perfiles HEB300 diagonales. Estas perforaciones se llevan a cabo mediante taladrado.

Los perfiles son aproximados a su ubicación definitiva mediante camión pluma de 10 toneladas, en base a la pieza de mayor peso a instalar.. Una vez situadas, se atornillan a las cartelas en su parte inferior y a la estructura existente en el extremo superior, con el correspondiente par de apriete recomendado por el fabricante del conjunto tornillo y tuerca, de acuerdo con la clasificación que establece la norma UNE-EN 14399-1:2016 [10].

Para estas tareas se utiliza plataforma elevadora, que al igual que el camión grúa, se colocarán en el carril de la autovía más próximo al apoyo, por lo que ese carril permanece cortado durante estos trabajos. Para finalizar, se llevan las tareas de retoque de pintura que sean necesarias.

3. Instalación de cruz de San Andrés (perfiles HEB200).

Estos perfiles se atornillan a las cartelas inferiores y superiores de los perfiles HEB300, de nuevo mediante la ayuda de una grúa telescópica y los andamios y plataformas previamente instalados.

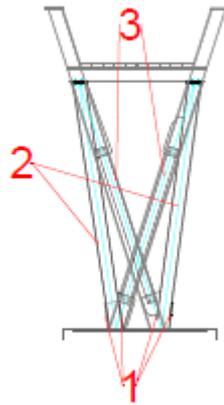


Ilustración 5. Fases de implantación de los refuerzos del apoyo intermedio.

Apoyo lado Mieres

1. Soldadura de cartelas inferiores a apoyos existentes.

Se sueldan 2 cartelas en la parte inferior de cada uno de los 2 perfiles que constituyen el apoyo, es decir, 4 cartelas en total. Se trata de una soldadura a bisel simple y con penetración completa.

Al tratarse de una soldadura con penetración completa ésta debe ser continua, y además proporcionar una completa penetración y fusión con el metal base en todo el espesor de la unión. Las propiedades mecánicas del material de aporte serán iguales o superiores a las del material base. [Anejo 26. Del código estructural].

Dados los espesores de las piezas a soldar y el reducido espacio de trabajo en algunas zonas, se ejecuta mediante soldeo por arco eléctrico manual que incluye revestimientos de tipo rutilo.

El procedimiento de soldadura se lleva a cabo mediante procedimiento aprobado según UNE-EN ISO 15609-1:2020 [7] y debe ser ejecutado por un soldador cualificado según UNE-EN ISO 9606-1:2017 [8].

Finalizadas las tareas de soldadura, se llevan a cabo ensayos no destructivos de líquidos penetrantes según norma UNE-EN ISO 3452-1:2022 [9] y se procede a reparar la pintura dañada, aplicando el mismo esquema que el definido en el apartado anterior.

Estas tareas se llevan a cabo a nivel de suelo, fuera de la plataforma del ferrocarril, pero próximas muy próximas a él, por lo que se deben planificar estos



trabajos de forma que no coincidan con el paso del tren como, por ejemplo, en horario nocturno.

2. Instalación de viga longitudinal HEB200 entre marcos IPE300 (sección tablero).

Mediante plataforma elevadora situada en el área de aproximación a la pasarela, se colocan las dos vigas longitudinales, soldándolas en los extremos a sendos marcos IPE300. Se trata de soldadura a bisel con penetración completa, llevada a cabo mediante soldeo por arco eléctrico manual que incluye revestimientos de tipo rutilo. Este proceso se lleva a cabo según procedimiento aprobado conforme a la norma UNE-EN ISO 15609-1:2020 [7] y ejecutado por un soldador cualificado según UNE-EN ISO 9606-1:2017 [8].

Finalizadas las tareas de soldadura, se llevan a cabo ensayos no destructivos de líquidos penetrantes según norma UNE-EN ISO 3452-1:2022 [9] y se procede a reparar la pintura dañada, aplicando el mismo esquema que el definido en el apartado anterior.

De nuevo estas tareas se llevan a cabo muy próximas a la plataforma del ferrocarril, por lo que también se deben planificar estos trabajos de forma que no coincidan con el paso del tren como, por ejemplo, en horario nocturno.

3. Instalación de apoyos principales HEB300.

Los perfiles son aproximados a su ubicación definitiva mediante grúa telescópica. Una vez situadas, se atornillan a las cartelas en su parte inferior y a la estructura existente en el extremo superior, con el correspondiente par de apriete recomendado por el fabricante del conjunto tornillo y tuerca, de acuerdo con la clasificación que establece la norma UNE-EN 14399-1:2016 [10].

Para estas tareas se utiliza plataforma elevadora, que al igual que el camión grúa, se ubica en la zona de aproximación de la pasarela en el lado Mieres. Para finalizar, se llevan las tareas de retoque de pintura que sean necesarias.



4. Instalación de la cruz de San Andrés (perfiles HEB200).

Estos perfiles se atornillan a las cartelas inferiores y superiores de los perfiles HEB300, de nuevo mediante la ayuda de una grúa telescópica y los andamios y plataformas previamente instalados.

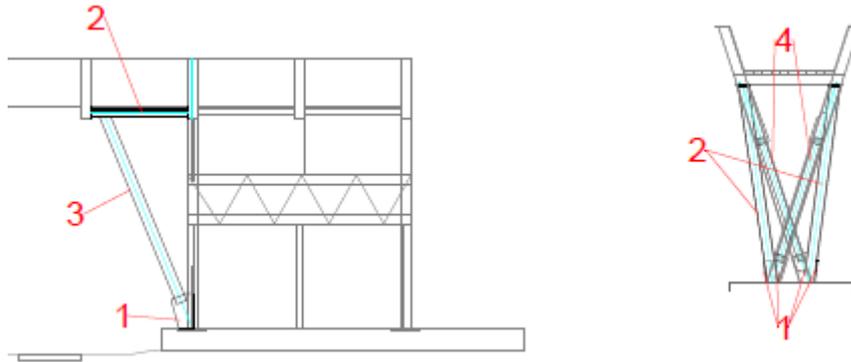


Ilustración 6. Fases de implantación del refuerzo lado Mieres.

6. Planificación de los trabajos

Con el objetivo de determinar de forma más precisa tanto los costes como las afecciones a los usuarios, se realiza una estimación de la duración de los trabajos de construcción. Por este motivo, no se incluye dentro de esta planificación ninguna de las fases anteriores a la ejecución de los trabajos, como puede ser la obtención de permisos, la realización de la ingeniería de detalle o la fabricación de la estructura.

Únicamente se incluye una partida de trabajos previos al montaje, que comprendería las labores de puesta en obra de las instalaciones temporales, la descarga de material y delimitación de las zonas de acopio y la ubicación y delimitación de la zona de maquinaria.

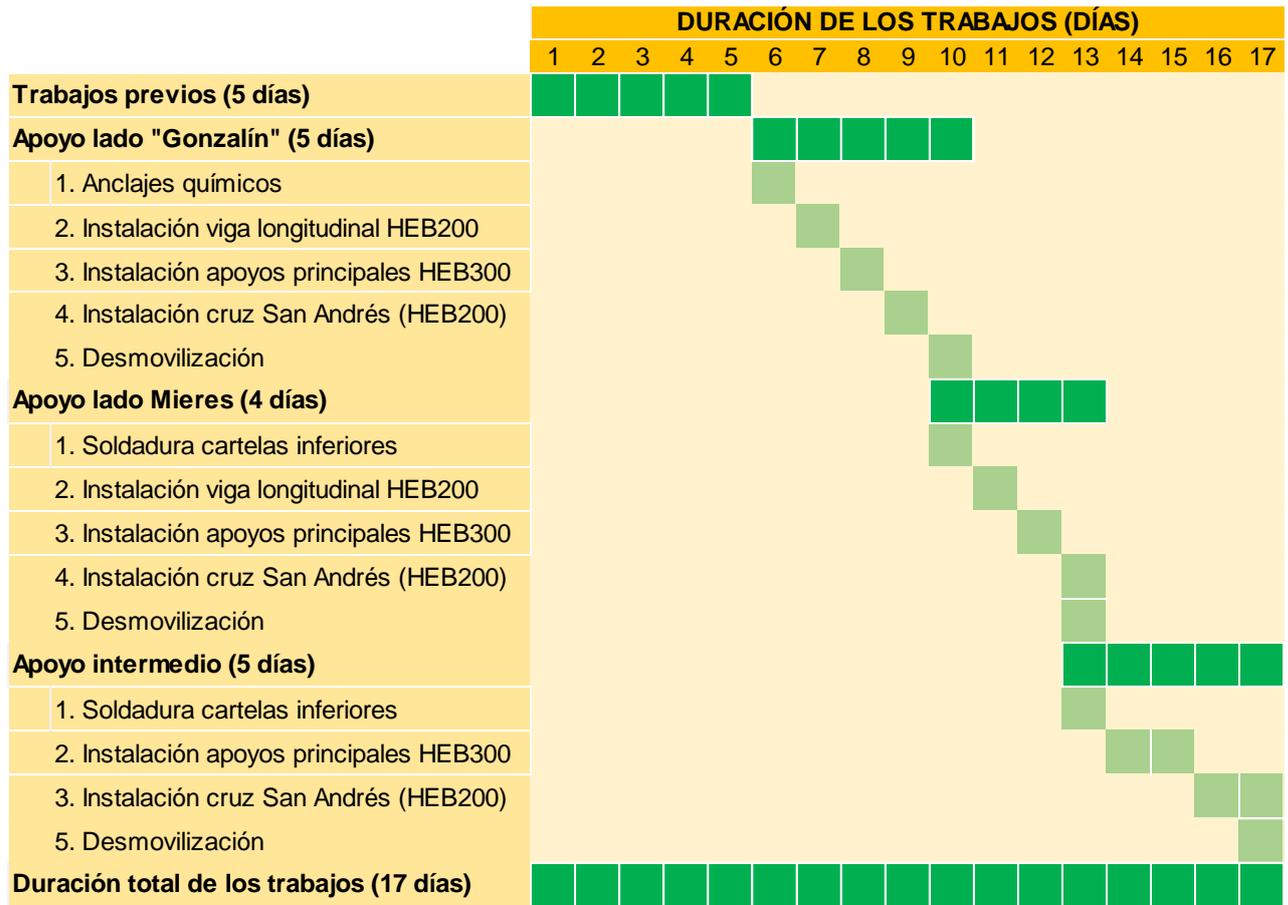


Tabla 3. Planificación de los trabajos de instalación de los refuerzos.

Aunque los refuerzos de cada uno de los apoyos pueden ejecutarse de manera independiente unos de otros, las tareas se planifican de forma que se optimice el rendimiento de la maquinaria utilizada: por ejemplo, una vez finalizados los trabajos en el lado Gonzalín, se le dé continuidad a los trabajos de la grúa telescópica que se ha usado y se continúe en el apoyo Mieres.

De la tabla anterior se desprende que el alquiler de la grúa telescópica se reduce a 8 días (apoyos extremos) y que son necesarias 4 jornadas de trabajos nocturnos para no interferir con el paso del ferrocarril.



7. Estimación económica

En base a lo descrito en apartados anteriores en cuanto a requisitos, ensayos, maquinaria y plazos necesarios para llevar a cabo la propuesta, se realiza una estimación económica general, que corresponde con el Anexo IV.

8. Conclusiones

La alternativa escogida, consistente en reforzar los apoyos mediante puntales diagonales, mejora notablemente el comportamiento de la estructura, sin requerir de actuaciones especiales que incrementen su coste de implantación. Además, tampoco supone un problema de seguridad para los usuarios de las infraestructuras inferiores. Por todo lo anterior, queda justificado que esta opción es factible y razonable para la pasarela objeto de este estudio.



9. Normativa aplicable

[1] Norma 3-1 IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras, aprobada por la Orden FOM/273/2016. Ministerio de Fomento.

[2] Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11), aprobada por la Orden FOM/2842/2011. Ministerio de Fomento

[3] Norma ADIF Plataforma de Pasos Superiores (NAP 2-0-0.4). 2ª Edición: julio 2020 +M1: enero 2021.

[4] Instrucción Ferroviaria de Gálibos, aprobada por la Orden FOM/1630/2015. Ministerio de Fomento.

[5] UNE-EN ISO 12944-2:2018. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 2: Clasificación de ambientes.

[6] UNE-EN ISO 12944-5:2020 Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 5: Sistemas de pintura protectores. (ISO 12944-5:2019).

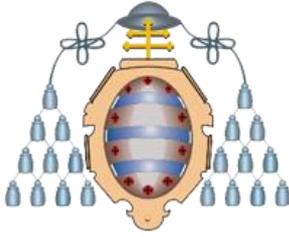
[7] UNE-EN ISO 15609-1:2020. Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Especificación del procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldeo por arco.

[8] UNE-EN ISO 9606-1:2017. Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros. (ISO 9606-1:2012 incluido Cor 1:2012 y Cor 2:2013)

[9] UNE-EN ISO 3452-1:2022. Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes. Parte 1: Principios generales.

[10] UNE-EN 14399-1:2016 Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 1: Requisitos generales.

[11] Código Estructural aprobado por el Real Decreto 470/2021, que regula las estructuras de hormigón, de acero y mixtas de hormigón-acero, tanto de edificación como de obra civil. Ministerio de Transportes, movilidad y agenda urbana.



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN E INGNIERÍA DE FABRICACIÓN
ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
ESTUDIO TÉCNICO**

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO PARA PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL RÍO CAUDAL

ANEXO IV: ESTIMACIÓN ECONÓMICA

AUTOR: ALBA LÓPEZ BRAÑA

TUTOR: CARLOS LÓPEZ-COLINA PÉREZ

COTUTOR: MARTA GARCÍA DIÉGUEZ

JUNIO DE 2022

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	IMPORTE (€)
1. ESTUDIOS TÉCNICOS				5.340,00
1.1. Toma de medidas de las vibraciones de la pasarela en campo, mediante acelerómetro piezoeléctrico uniaxial de 100 mV/g conectado a un analizador portátil 2120. Jornada de trabajo de 1/2 día.	ud.	1,00	250,00	250,00
1.2. Estudio de análisis de las mediciones obtenidas. El precio incluye modelización de la pasarela mediante software ANSYS, interpretación de los resultados, análisis de alternativas y estudio de viabilidad de la alternativa escogida.	ud.	1,00	5.090,00	5.090,00
2. PROYECTO CONSTRUCTIVO				10.000,00
2.1. Elaboración de Proyecto Constructivo , incluyendo cálculo y planos de detalle de la estructura y uniones planteadas en el Estudio Previo, Estudio de Seguridad y Salud, de Impacto Ambiental, Pliego de Prescripciones, Plan de Calidad, presupuesto detallado, así como todos los anexos y documentos necesarios. Incluso permisos y licencias.	ud.	1,00	10.000,00	10.000,00
3. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE				1.135,73
3.1. Ensayo para la determinación del espesor de perfiles metálicos mediante ultrasonidos , de 1 jornada laboral de duración.	ud.	1,00	704,98	704,98
1.2. Informe técnico sobre el estado de la estructural, redactado con un nivel de especificación básico, considerando una distancia de desplazamiento al edificio de hasta 25 km.	ud.	1,00	430,75	430,75
4. FABRICACIÓN DE LOS REFUERZOS				42.178,97
4.1. Cálculo de uniones y elaboración de planos de taller basados en los planos de Proyecto, incluyendo dimensiones de todas las piezas, dimensiones y tipo de soldaduras, diámetro de perforaciones e identificación de las piezas para su montaje.	ud.	1,00	5.430,00	5.430,00
4.2. Fabricación de refuerzos de acero estructural UNE-EN 10025 S275JR , formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, con esquema de pintura Im1 según norma UNE-EN ISO 12944-2:2018. El precio incluye las soldaduras, perforaciones, los cortes, los despuntes, las piezas especiales (cartelas o similar), las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior. Incluso transporte y descarga en obra.	kg	1.812,80	4,55	8.248,23
4.3. Fabricación de refuerzos de acero estructural UNE-EN 10025 S275JR , formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, con esquema de pintura C3 según norma UNE-EN ISO 12944-2:2018. El precio incluye las soldaduras, perforaciones, los cortes, los despuntes, las piezas especiales (cartelas o similar), las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior. Incluso transporte y descarga en obra.	kg	7.952,74	3,35	26.641,66
4.4. Suministro de juegos tornillería, tuercas y arandelas calidad 8.8 UNE-EN ISO 898-1, galvanizados en caliente según UNE-EN ISO 10684. Incluso transporte a obra.	kg	723,37	2,57	1.859,07
5. MONTAJE DE LOS REFUERZOS				39.570,19
5.1. TRABAJOS PREVIOS				
5.1.1. Conjunto de instalaciones provisionales , incluidas instalaciones de higiene requeridas por normativa vigente de Seguridad y Salud. El precio incluye el alquiler, incluido mobiliario, el porte, así como la carga y descarga mediante camión grúa. Incluso conexión a servicios existentes de agua y luz o suministro de los mismos.	mes	1,00	874,45	874,45

5.1.2. Preparación y delimitación de las zonas de acopio y de ubicación de la maquinaria. El precio incluye trabajos de nivelado, desbrozado y compactado del terreno en caso de ser necesario.	ud.	1,00	750,00	750,00
5.2. MONTAJE APOYO GONZALÍN				
5.2.1. Suministro e instalación de anclajes químicos con resina HILTI HIT RE-500 V4 y varilla roscada HAS-U M20 y longitud 170 mm. Incluye taladros y medios de limpieza.	ud.	12,00	376,63	4.519,56
5.2.2. Montaje de refuerzos de acero estructural UNE-EN 10025 S275JR , formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN. El precio incluye soldaduras en campo con soldador cualificados por UNE-EN ISO 9606-1:2017, uniones atornilladas con par de apriete mediante llave dinamométrica. Para la puesta en obra se considera grúa telescópica de 15 m de pluma y plataforma elevadora de personal apta para trabajos en negativo .	kg	1.812,80	3,89	7.045,28
5.3. MONTAJE APOYO INTERMEDIO				
5.3.1. Montaje de refuerzos de acero estructural UNE-EN 10025 S275JR , formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN. El precio incluye soldaduras en campo con soldador cualificados por UNE-EN ISO 9606-1:2017, uniones atornilladas con par de apriete mediante llave dinamométrica. Para la puesta en obra se considera camión grúa de 10 t y plataforma elevadora de personal .	kg	5.118,38	3,26	16.696,41
5.4. MONTAJE APOYO MIERES				
5.4.1. Montaje de refuerzos de acero estructural UNE-EN 10025 S275JR , formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN. El precio incluye soldaduras en campo con soldador cualificados por UNE-EN ISO 9606-1:2017, uniones atornilladas con par de apriete mediante llave dinamométrica. Para la puesta en obra se considera grúa telescópica de 15 m de pluma y plataforma elevadora de personal . Se considera turno de trabajo nocturno .	kg	2.834,35	3,42	9.684,48
6. SEGURIDAD Y SALUD				3.793,12
6.1. Conjunto de equipos de protección individual (EPIs) , necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. El precio incluye cascos, guantes, gafas, arnés, botas de seguridad, ropa reflectante y cualquier otro EPI contemplado en el Plan de Seguridad y Salud.	ud.	1,00	840,00	840,00
6.2. Protección de caída a distinto nivel mediante barandilla de seguridad , de 1 m de altura y formando un cuadrado de 1,20x1,20 m, compuesta por pasamanos de tablancillo de madera de pino de 15x5,2 cm, travesaño intermedio de tablancillo de madera de pino de 15x5,2 cm y rodapié de tablón de madera de pino de 20x7,2 cm, todo ello fijado con clavos de acero a cuatro montantes de madera de pino de 7x7 cm colocados en sus esquinas e hincados en el terreno. Amortizable en 4 usos.	ml	10,00	22,50	225,00
6.3. Conjunto de elementos de balizamiento y señalización provisional de obras , necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo.	ud.	1,00	150,00	150,00
6.4. Alquiler de torre de iluminación portátil con generador diésel. 180000 lúmenes y luces LED.	día	4,00	84,53	338,12
6.5. Partida alzada de abono íntegro para el mantenimiento del tráfico y señalización de los desvíos durante las obras.	PA	1,00	2.240,00	2.240,00
7. CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS				15.526,86

7.1. Inspección visual a realizar por laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, sobre una unión soldada en estructura metálica, para la determinación de las imperfecciones superficiales y, en ocasiones, defectos internos de la unión, según UNE-EN ISO 17637. Incluso desplazamiento a obra e informe de resultados.

ud.	20,00	63,73	1.274,60
-----	-------	-------	----------

7.2. Ensayo para determinar el estado actual de las soldaduras en la estructura metálica mediante el uso de **líquidos penetrantes**, de 1 jornada laboral de duración, sin incluir calas ni reposición de revestimientos o recubrimientos.

ud.	20,00	704,98	14.099,60
-----	-------	--------	-----------

7.3. Trabajos de retoque y reparación de pintura, esquema **A3.3** en ambiente **Im1** según norma UNE-EN ISO 12944-2:2018. El precio incluye limpieza da superficie y tratamiento de Sa 2 1/2 según UNE-EN ISO 8501-1, así como imprimaciones y las capas requeridas hasta alcanzar el espesor de **360 µm**. Aplicable en desconchones, zonas de soldadura y de perforaciones, y cualquier otro desperfecto que presente la estructura tras el montaje.

m2	23,32	3,00	69,96
----	-------	------	-------

7.4. Trabajos de retoque y reparación de pintura, esquema **A6.01** en ambiente **C3** según norma UNE-EN ISO 12944-2:2018. El precio incluye limpieza da superficie y tratamiento de Sa 2 1/2 según UNE-EN ISO 8501-1, así como imprimaciones y las capas requeridas hasta alcanzar el espesor de **200 µm**. Aplicable en desconchones, zonas de soldadura y de perforaciones, y cualquier otro desperfecto que presente la estructura tras el montaje.

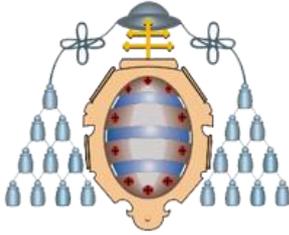
m2	16,54	5,00	82,70
----	-------	------	-------

8. GESTIÓN DE RESIDUOS	3.000,00
-------------------------------	-----------------

8.1. Transporte de residuos inertes metálicos producidos en obras de construcción y/o demolición, con contenedor de 5 m³, a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos. **Incluso servicio de entrega, alquiler y recogida en obra del contenedor.**

ud.	1,00	3.000,00	3.000,00
-----	------	----------	----------

TOTAL	120.544,87
TOTAL ESTUDIO TÉCNICO (Capítulo 1)	5.340,00
Gastos generales (13%)	694,20
Beneficio industrial (6%)	320,40
TOTAL PRESUPUESTO ESTUDIO TÉCNICO	6.354,60
IVA (21%)	1334,466
TOTAL PRESUPUESTO ESTUDIO TÉCNICO CON IVA	7.689,07
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL (Capítulos del 2 al 8)	105.204,87
Gastos generales (13%)	13.676,63
Beneficio industrial (6%)	6.312,29
TOTAL PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	125.193,79
IVA (21%)	26290,6961
TOTAL PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN CON IVA	151.484,49
COSTE TOTAL ANÁLISIS Y REFUERZO DE PASARELA PEATONAL	159.173,55



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN E INGNIERÍA DE FABRICACIÓN
ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
ESTUDIO TÉCNICO**

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO PARA PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL RÍO CAUDAL

PLANO Nº1: UBICACIÓN DE LA PASARELA

AUTOR: ALBA LÓPEZ BRAÑA

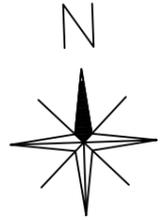
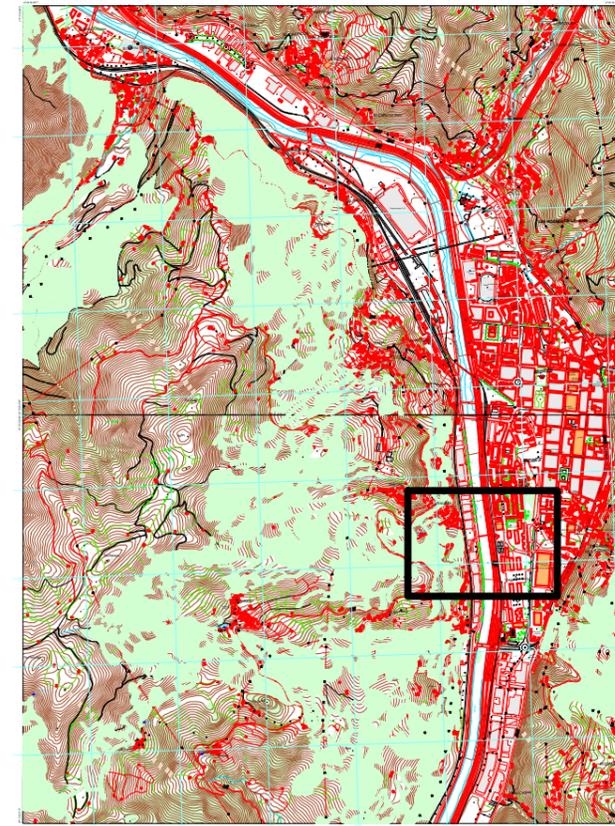
TUTOR: CARLOS LÓPEZ-COLINA PÉREZ

COTUTOR: MARTA GARCÍA DIÉGUEZ

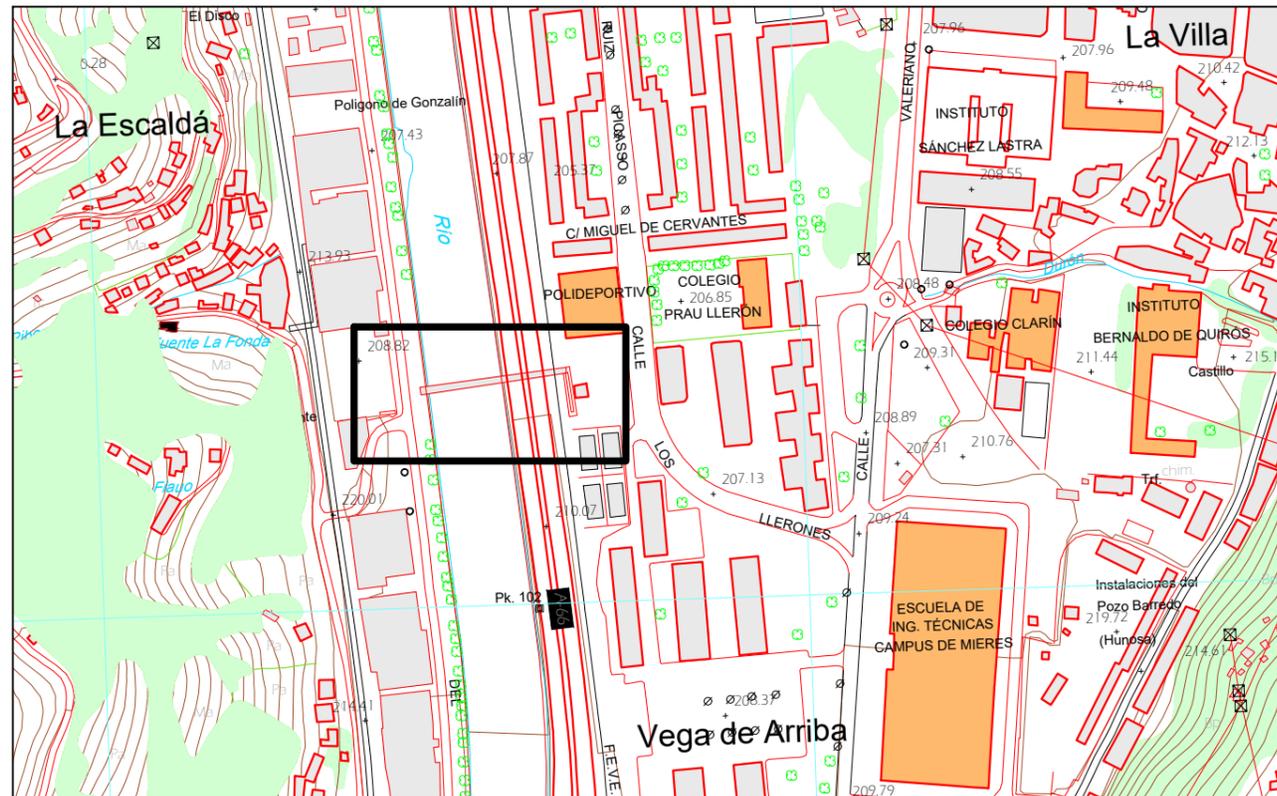
JUNIO DE 2022



ASTURIAS
S/E



MIERES
E: 1/40000



UBICACIÓN DE LA PASARELA
DENTRO DEL NÚCLEO URBANO
E: 1/5000



UNIVERSIDAD DE OVIEDO
ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES
MÁSTER EN INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



La autora del Trabajo Fin de Máster:

Alba López Braña

Título del Trabajo Fin de Máster:

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO PARA
PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL RÍO CAUDAL

Título del plano:

UBICACIÓN DE LA PASARELA

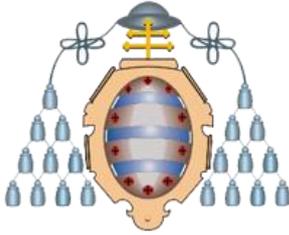
FECHA: JUNIO 2022

ESCALA: VARIAS

PLANO Nº

1

HOJA 1 DE 1



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN E INGNIERÍA DE FABRICACIÓN
ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
ESTUDIO TÉCNICO**

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO PARA PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL RÍO CAUDAL

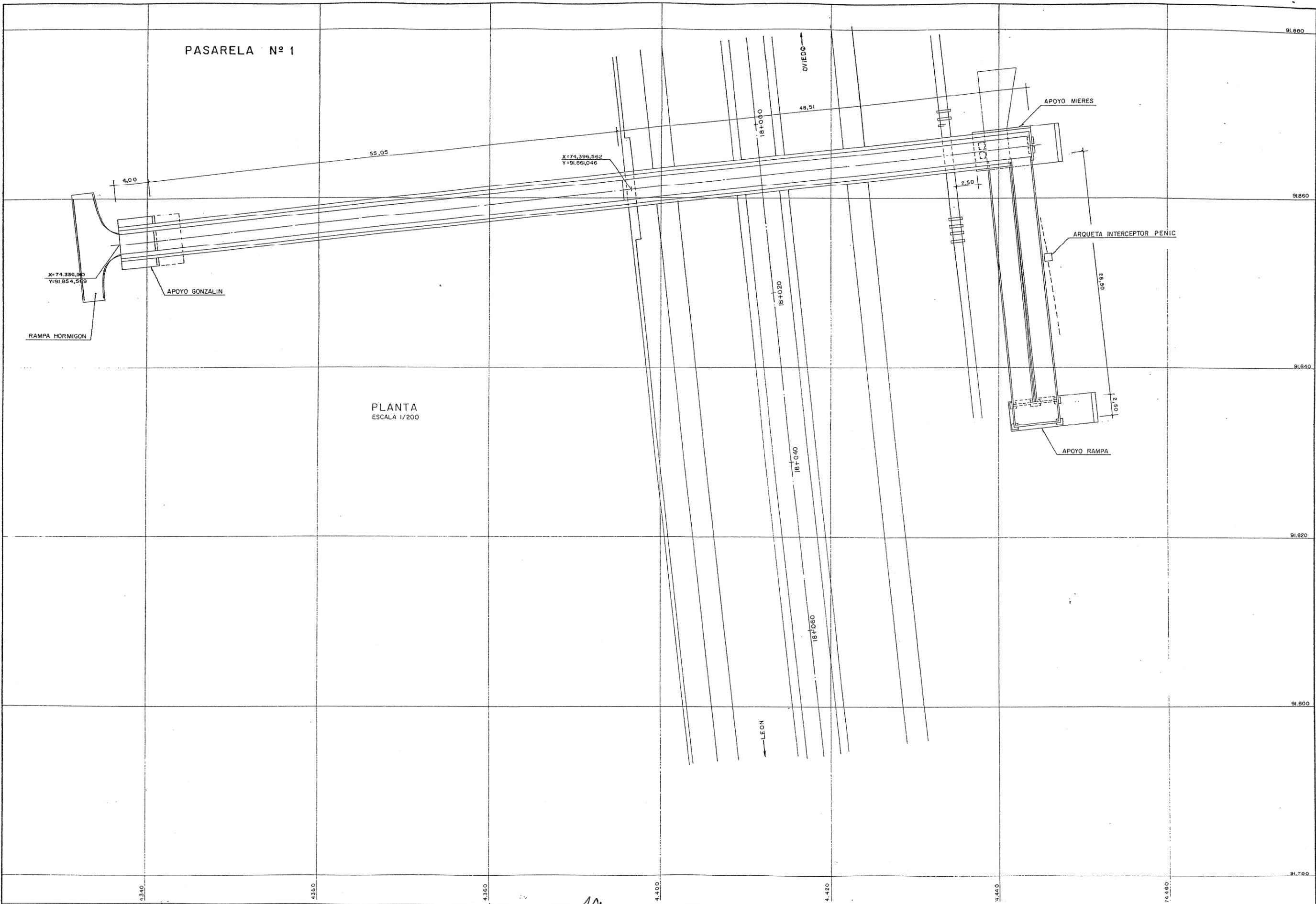
PLANO Nº2: ESTRUCTURA ORIGINAL

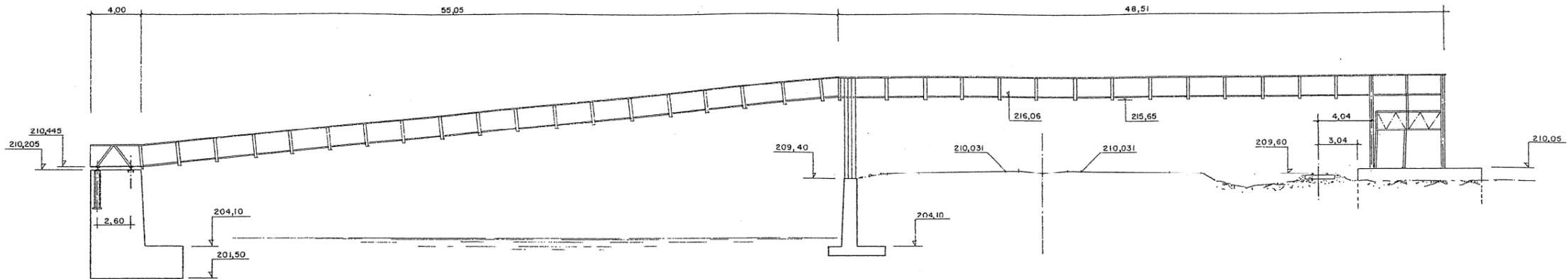
AUTOR: ALBA LÓPEZ BRAÑA

TUTOR: CARLOS LÓPEZ-COLINA PÉREZ

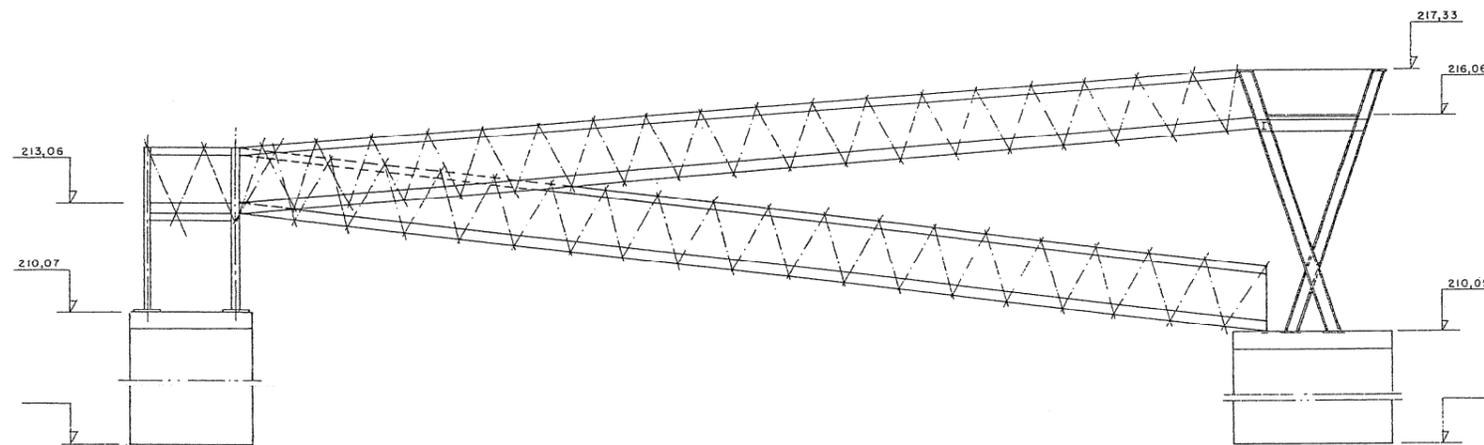
COTUTOR: MARTA GARCÍA DIÉGUEZ

JUNIO DE 2022



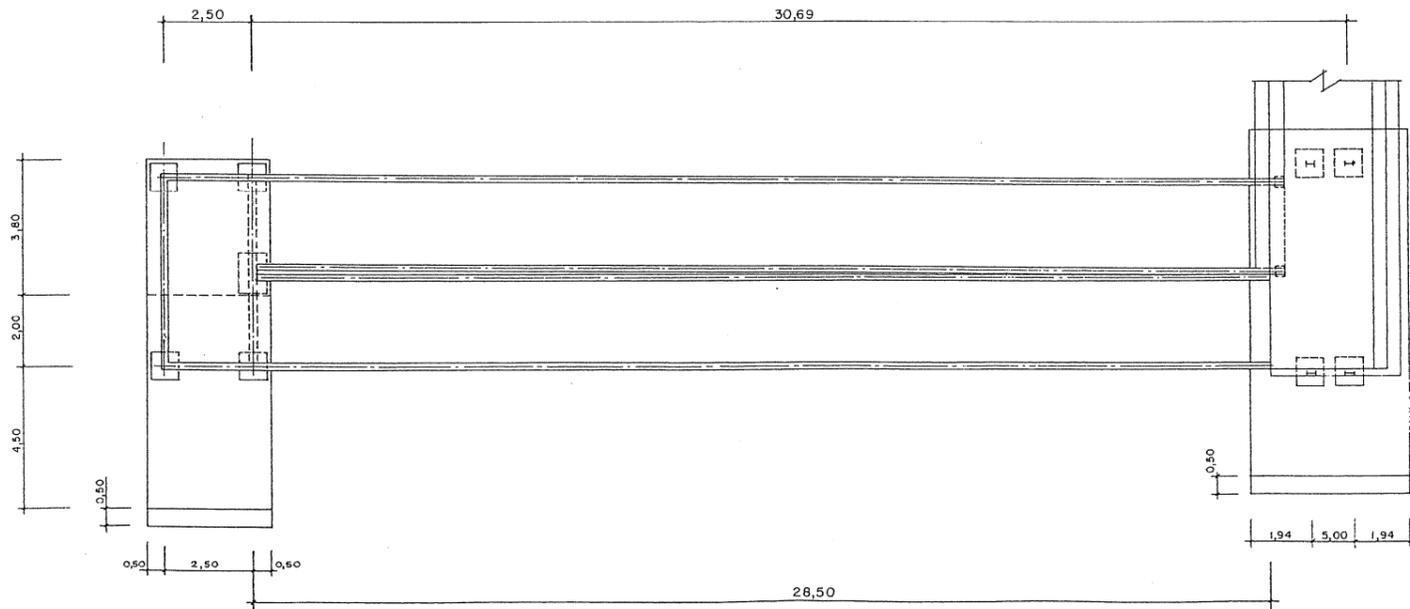


ALZADO PASARELA
ESCALA 1/200



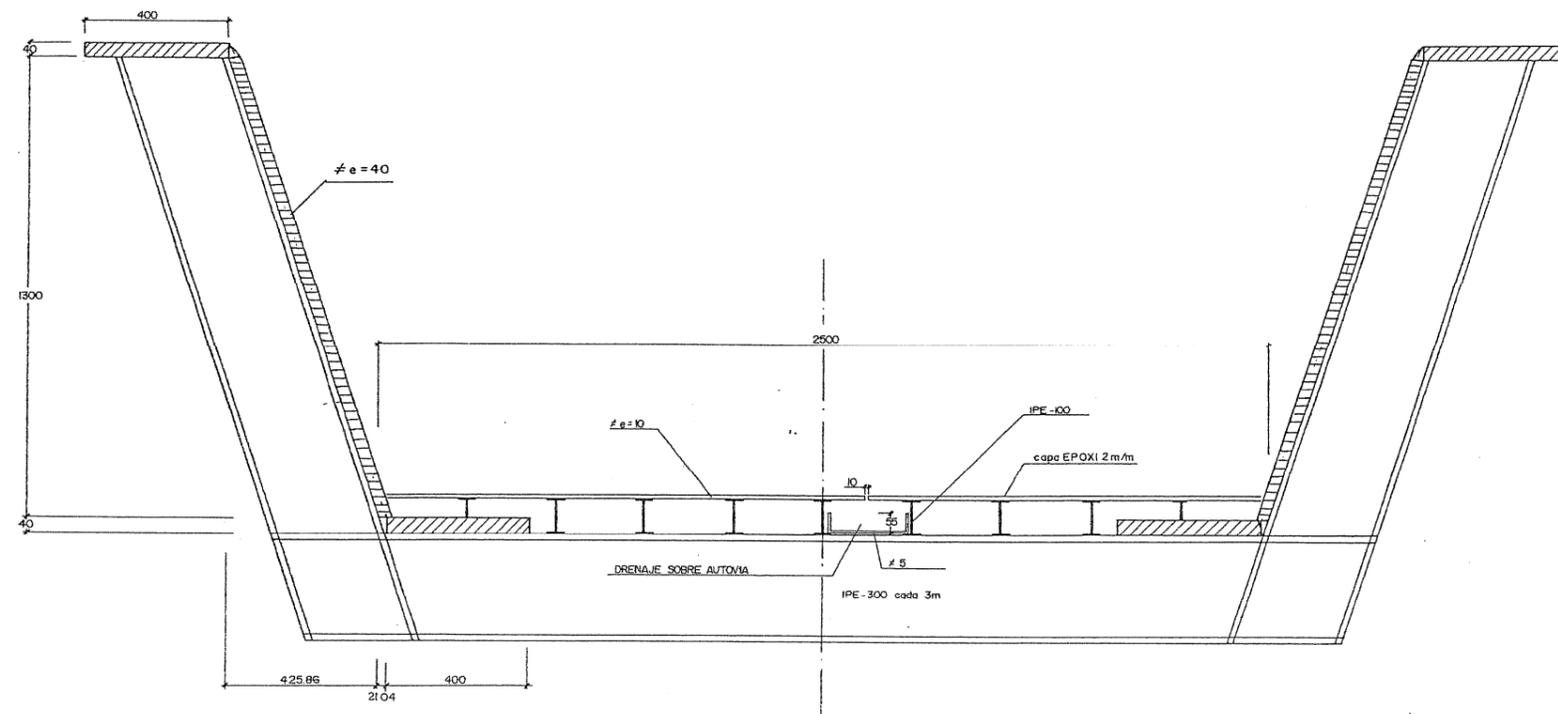
ALZADO
ESCALA 1/100

RAMPA DE ACCESO

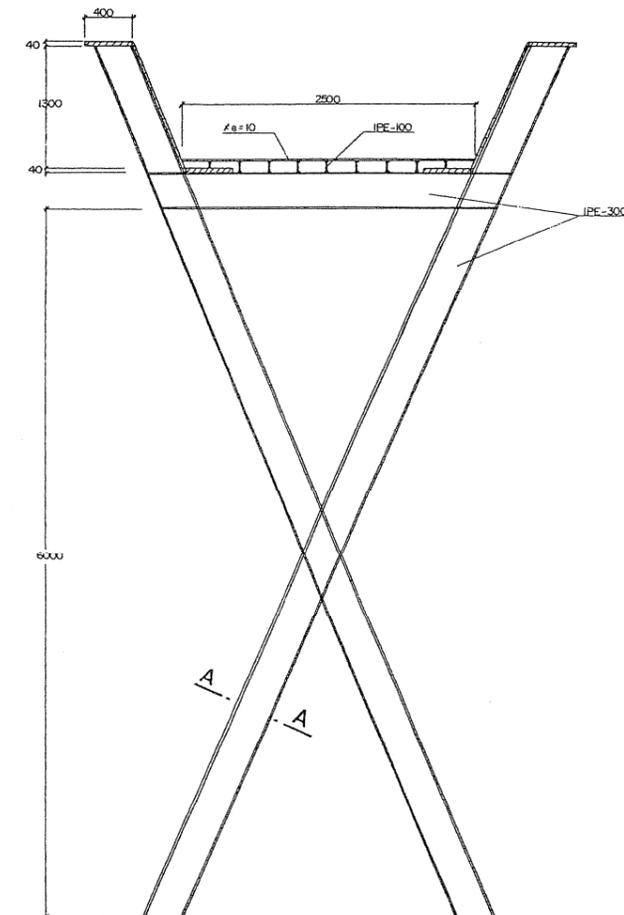


PLANTA
ESCALA 1/100

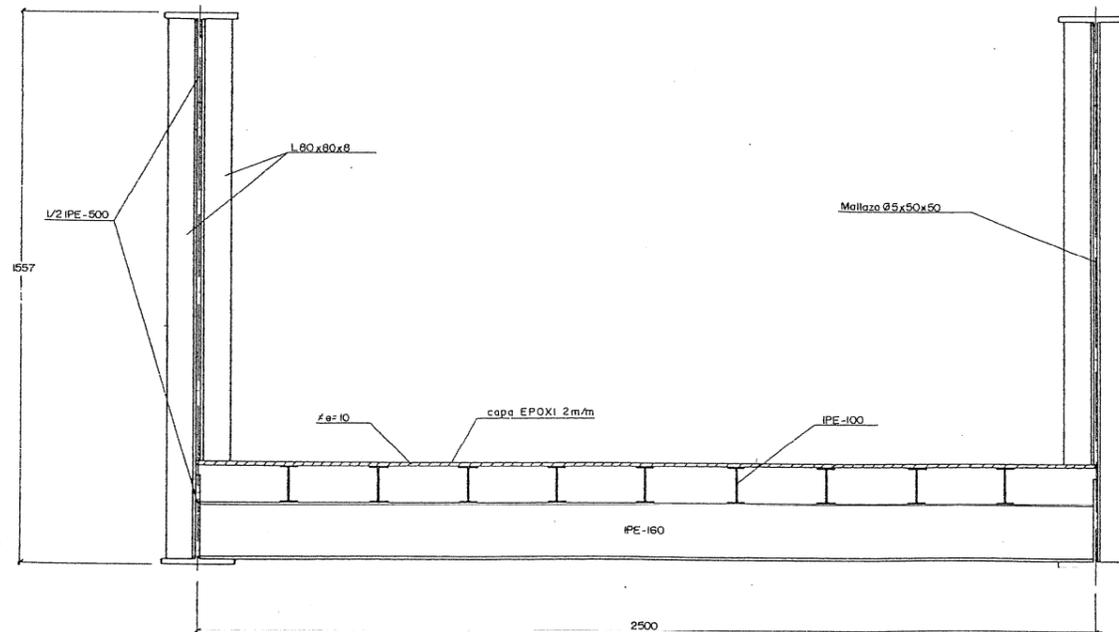
SECCION PASARELA
E:1/10



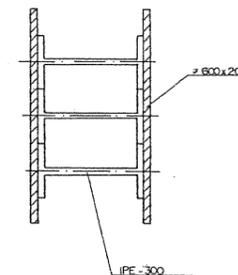
SECCION APOYO SOBRE MURO
E:1/30

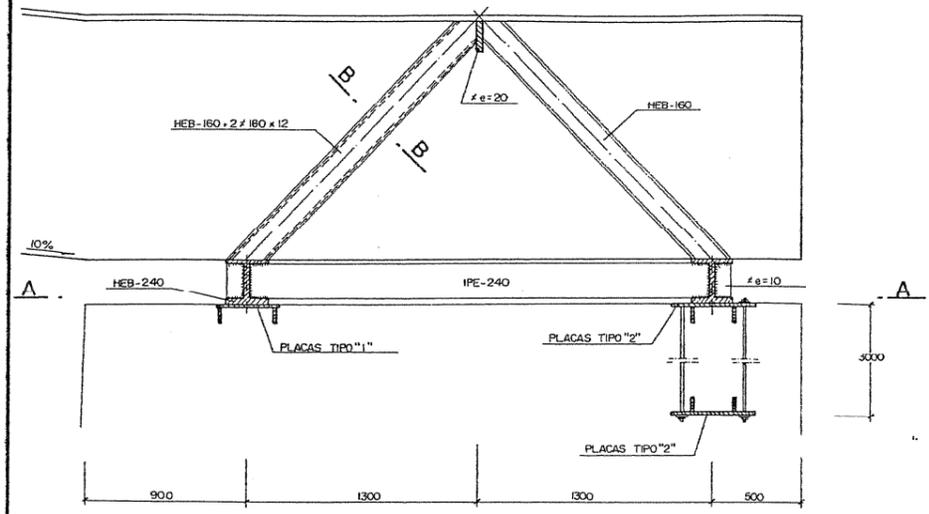


SECCION RAMPA
E:1/10

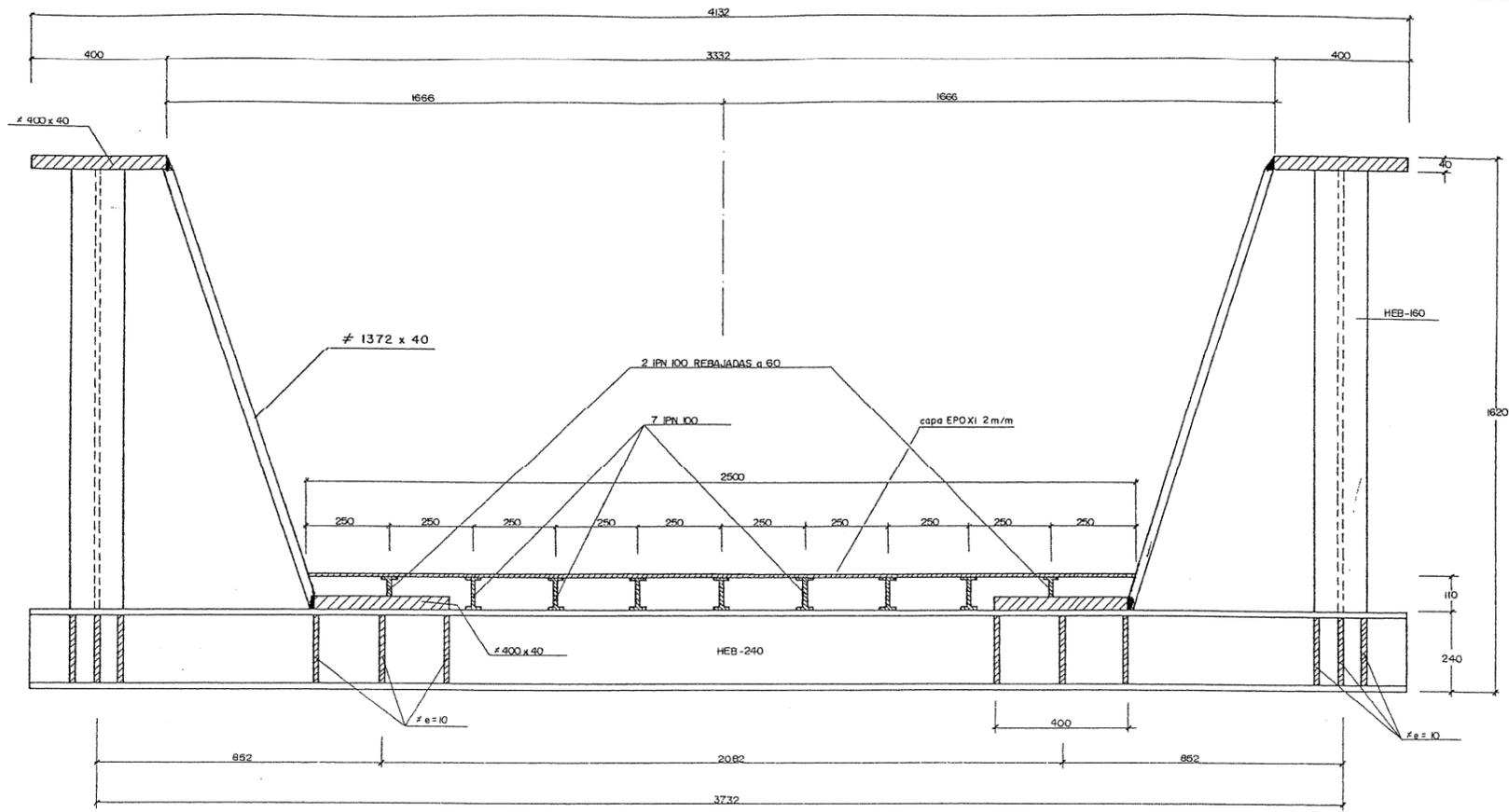


SECCION AA
E:1/10

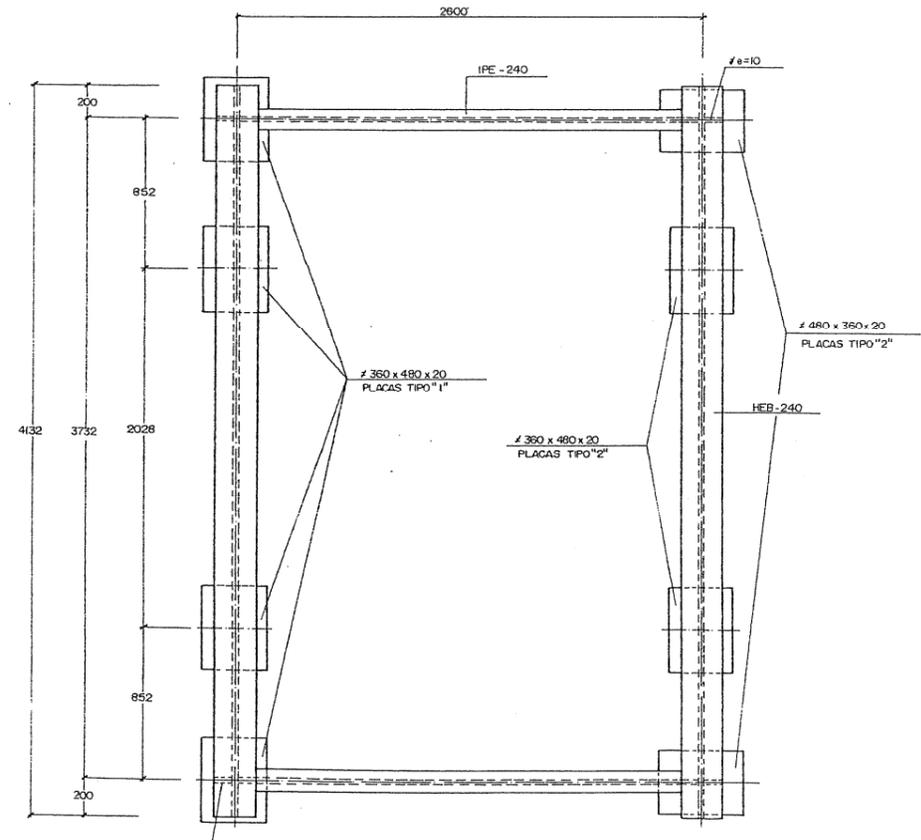




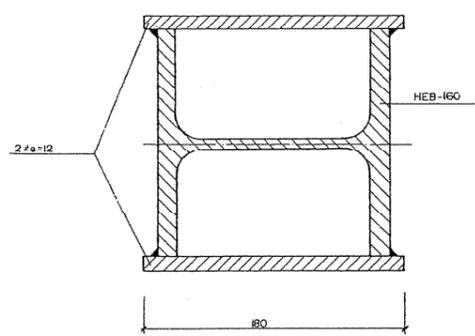
ALZADO LONGITUDINAL
E:1/20



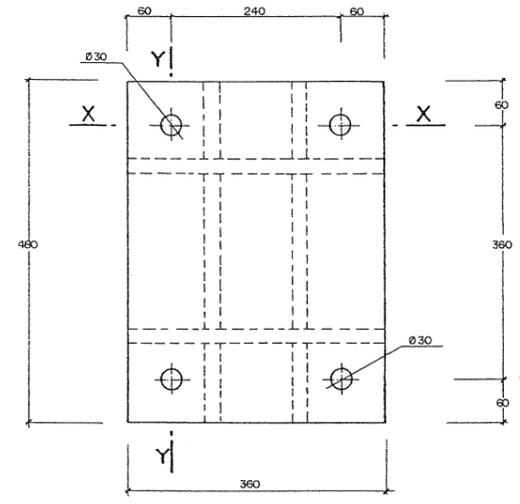
SECCION TRANSVERSAL
E:1/10



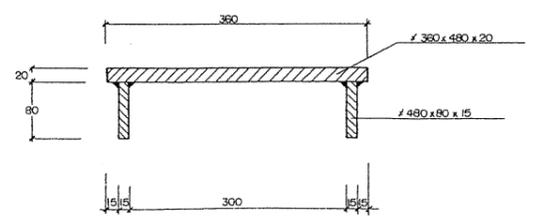
PLANTA SECCION A-A
E:1/20



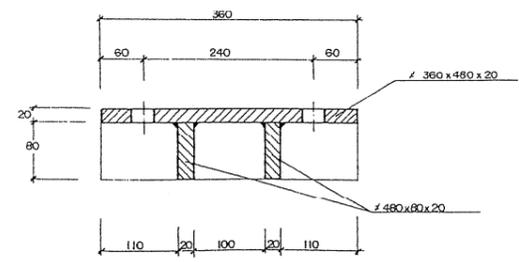
SECCION B-B
E:1/2.5



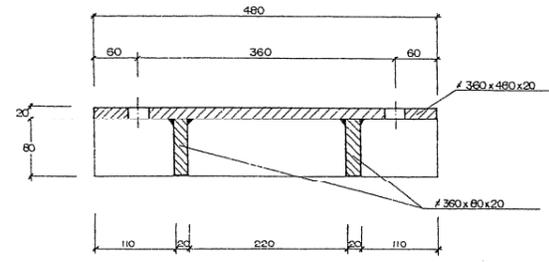
PLACAS TIPO "2"
PLANTA
E:1/5



PLACAS TIPO "1"
ALZADO SECCION
E:1/5

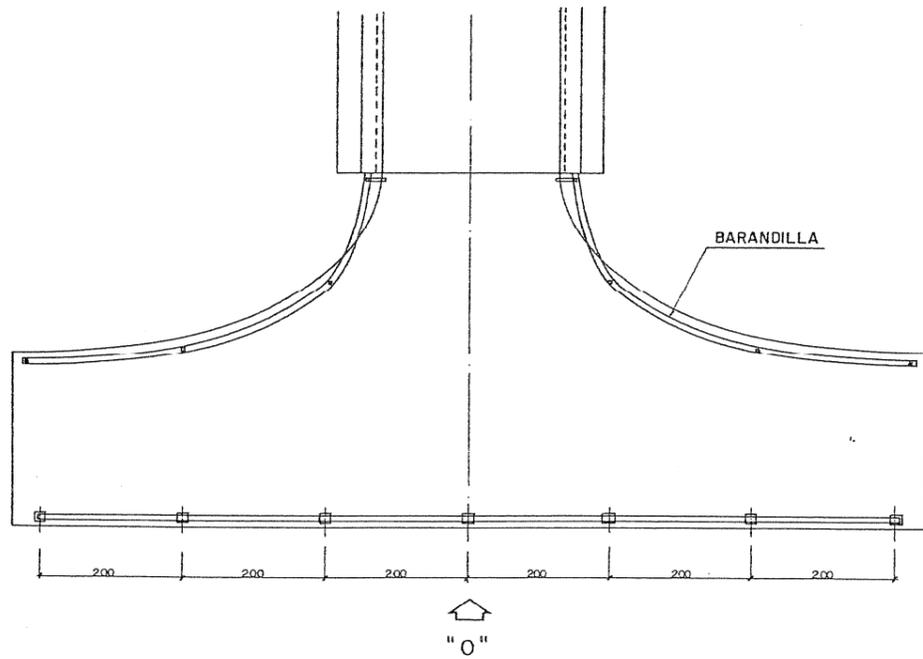


SECCION X-X
E:1/5

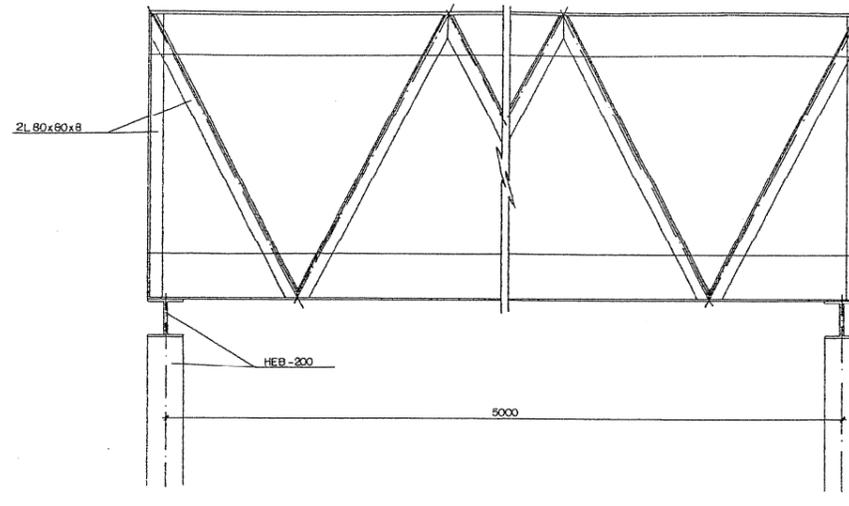


SECCION Y-Y
E:1/5

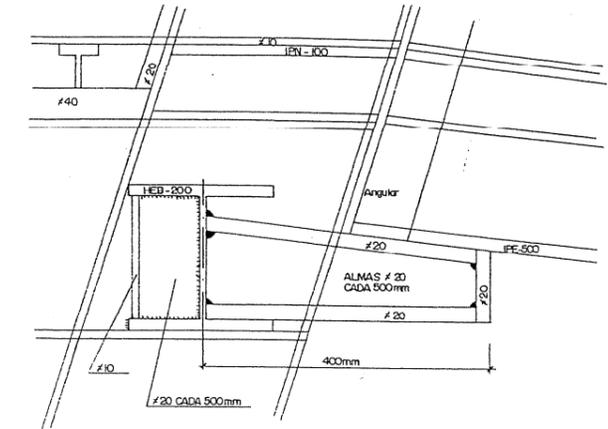
RAMPA DE HORMIGON EN POLIGONO GONZALIN
E:1/50



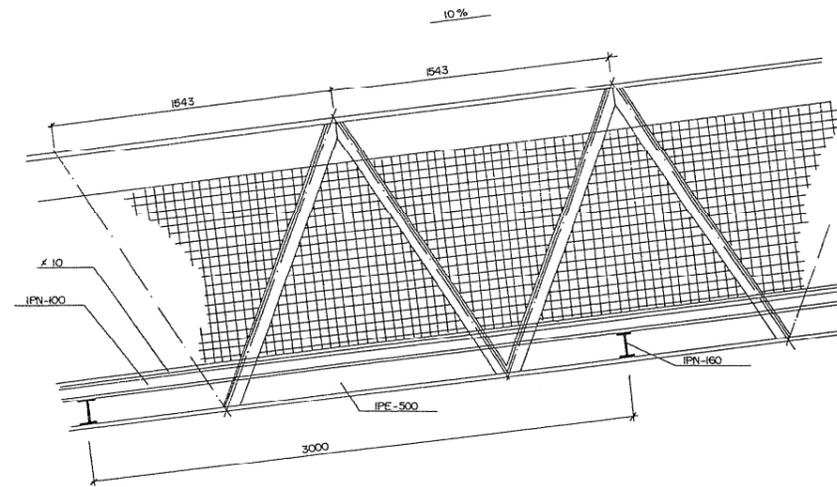
DESCANSILLO DE LA RAMPA
E:1/20



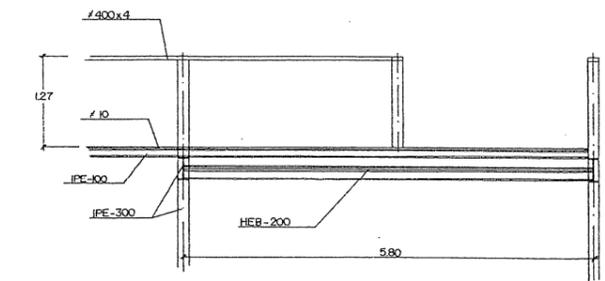
DETALLE DE APOYO DE RAMPA EN PASARELA
E:1/5



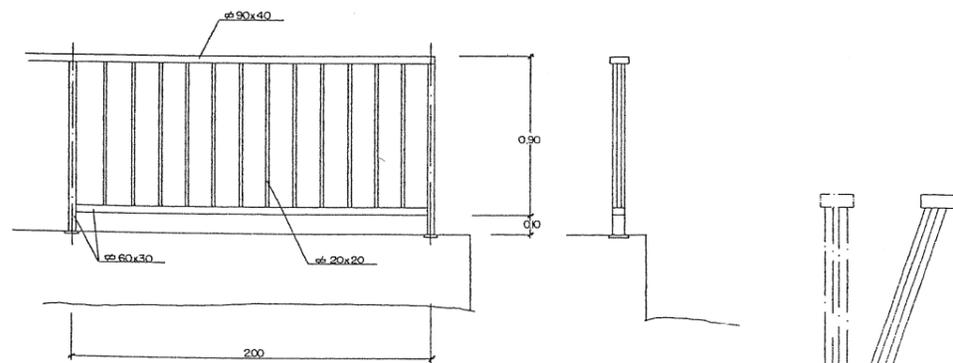
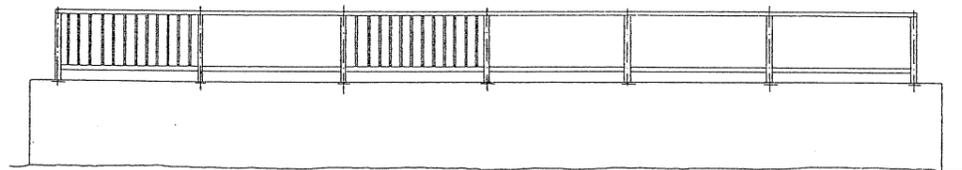
RAMPA
E:1/20



APOYO DE RAMPA EN PASARELA
E:1/50



ALZADO POR "0"

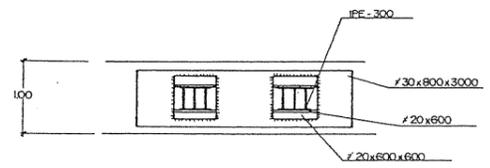
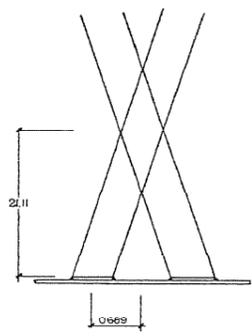
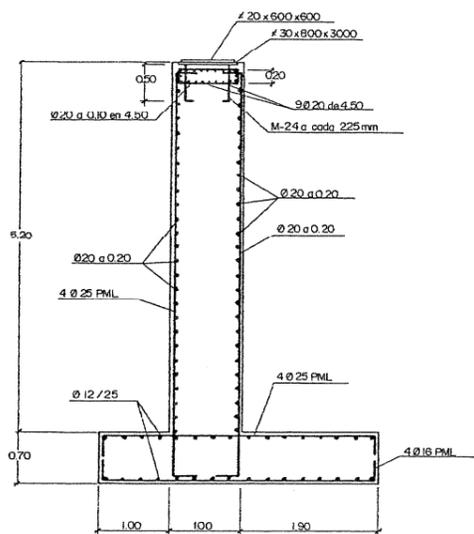


DETALLE DE BARANDILLA

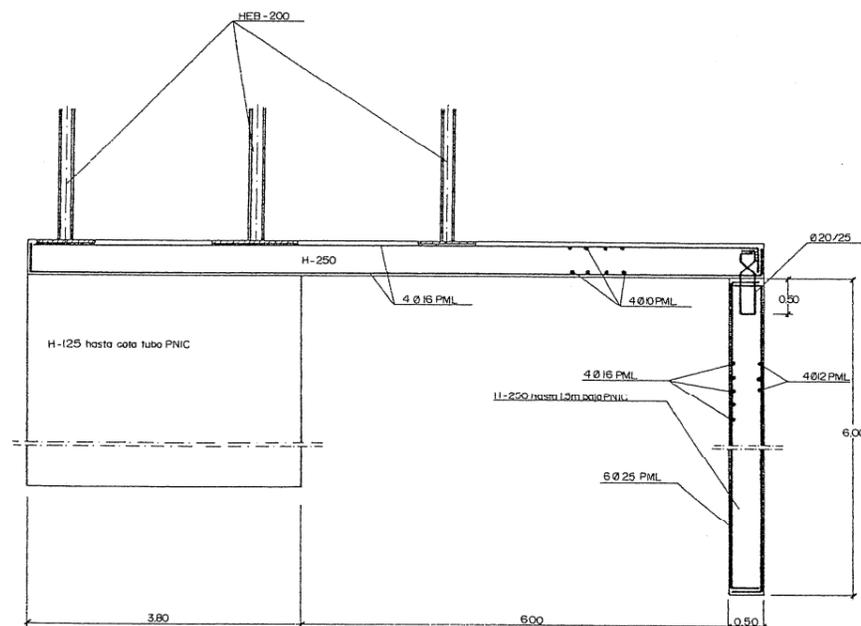
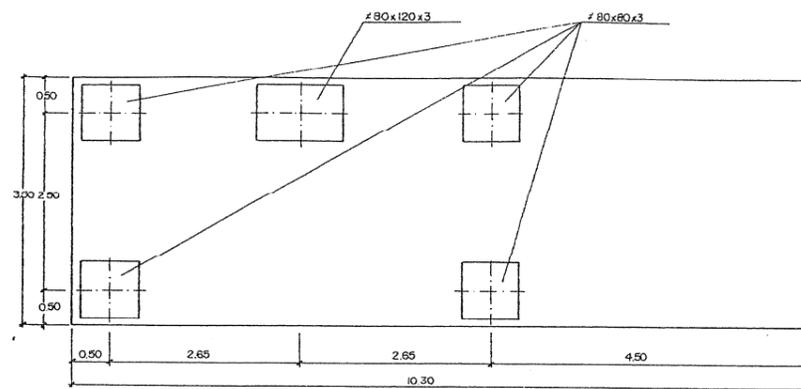
ALZADO DE RAMPA (DETALLE)
E = 1/20

Transición del paramento inclinado de la pasarela a la vertical de la barandilla, se hará el primer tramo de 2m

APOYO Nº 2
E:1/50

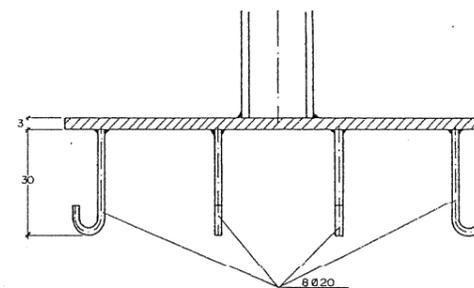
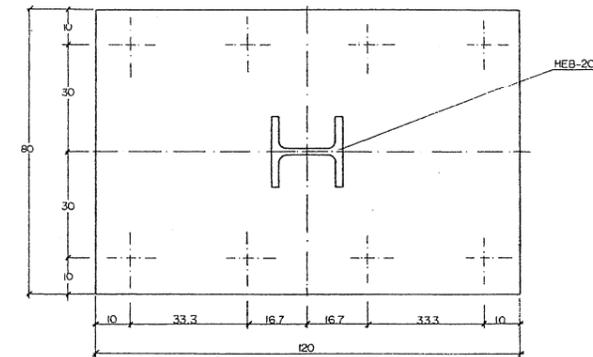
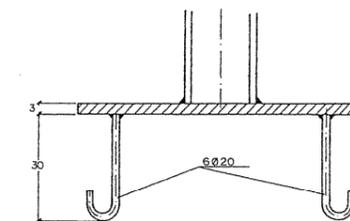
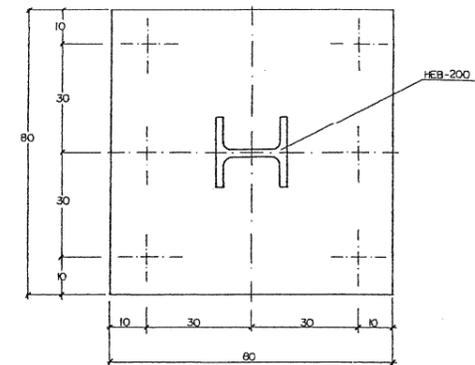


CIMENTACION
E:1/50



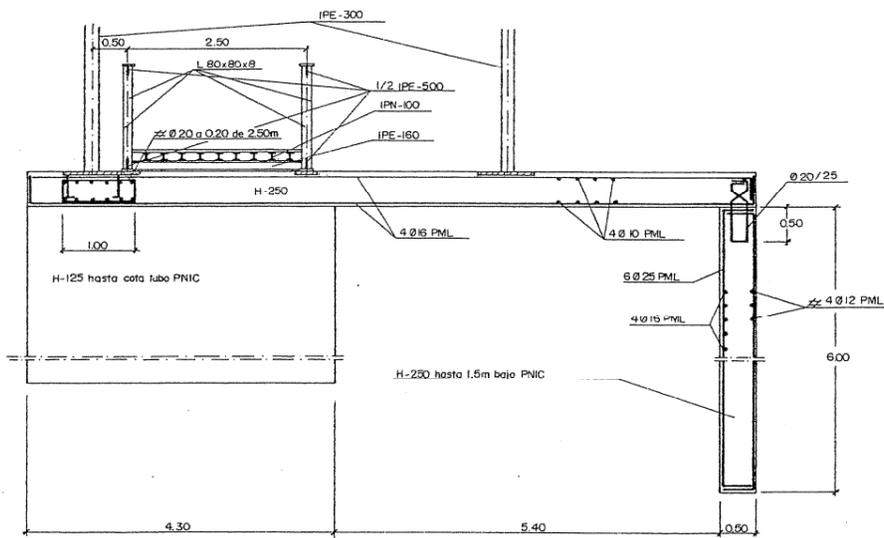
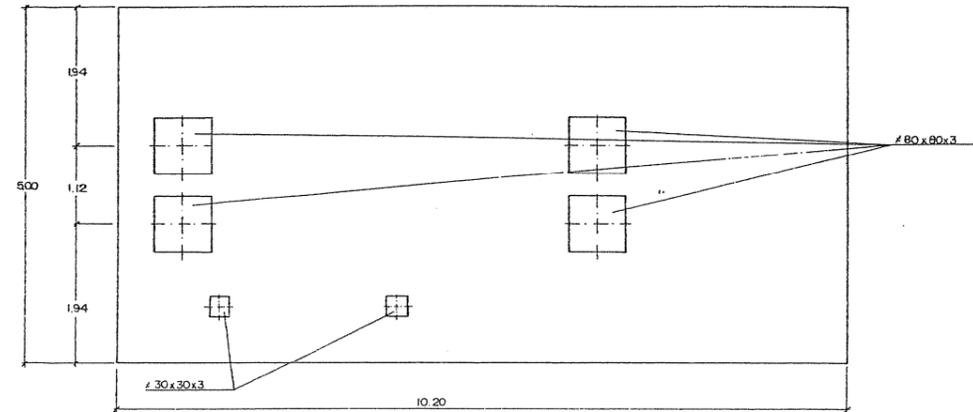
APOYO Nº 4

PLACAS DE ANCLAJE
E:1/10

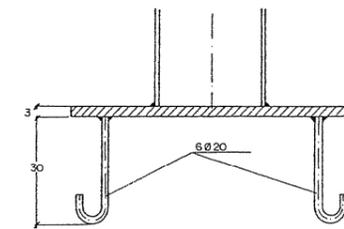
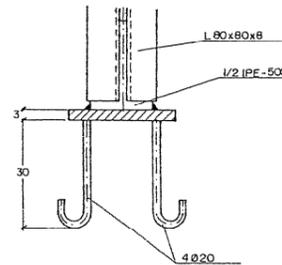
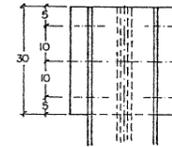
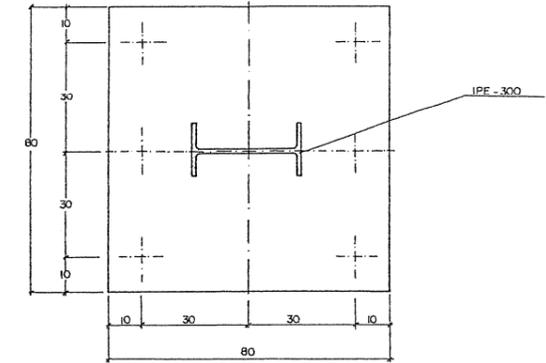


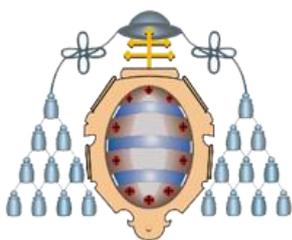
APOYO N° 3

CIMENTACION
E:1/50



PLACAS DE ANCLAJE
E:1/10





UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN E INGNIERÍA DE FABRICACIÓN
ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
ESTUDIO TÉCNICO**

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO PARA PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL RÍO CAUDAL

PLANO N°3: DETALLE DE LA PROPUESTA DE REFUERZO

AUTOR: ALBA LÓPEZ BRAÑA

TUTOR: CARLOS LÓPEZ-COLINA PÉREZ

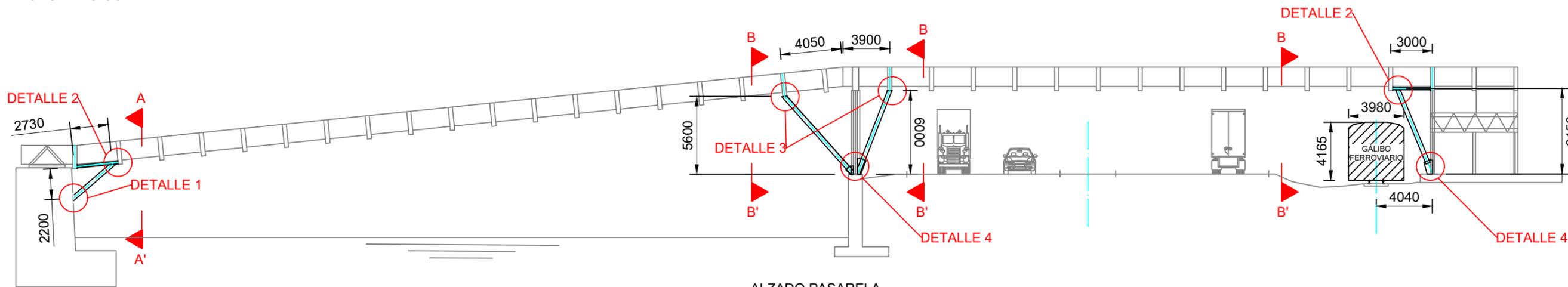
COTUTOR: MARTA GARCÍA DIÉGUEZ

JUNIO DE 2022

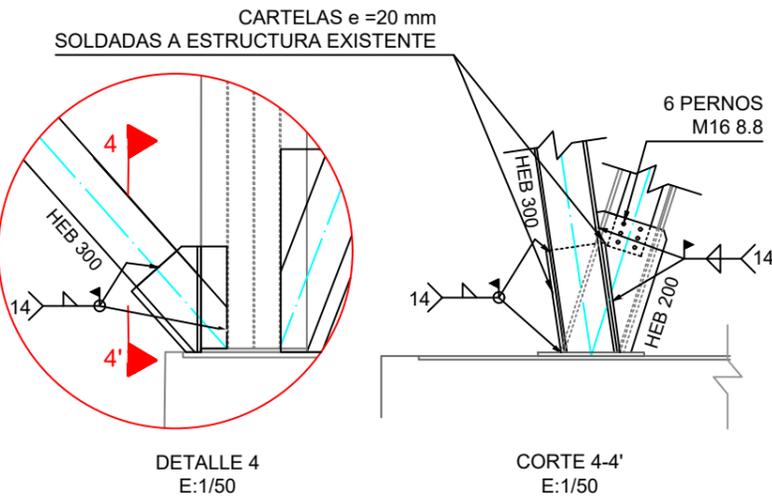
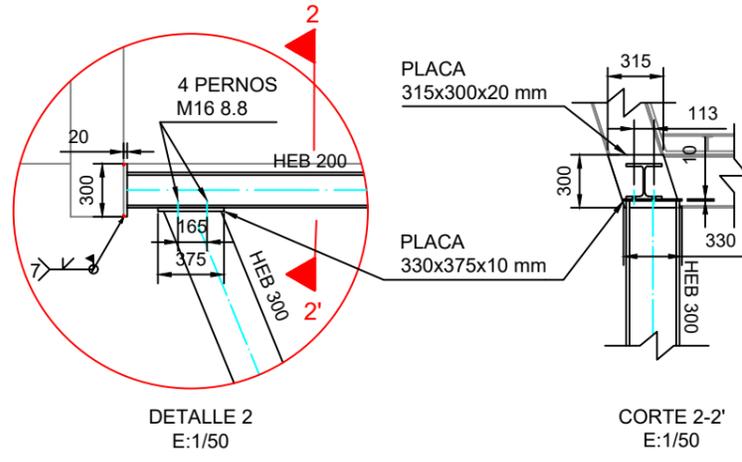
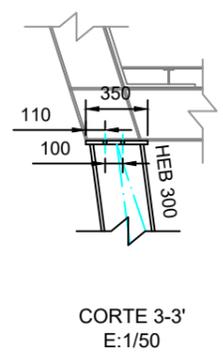
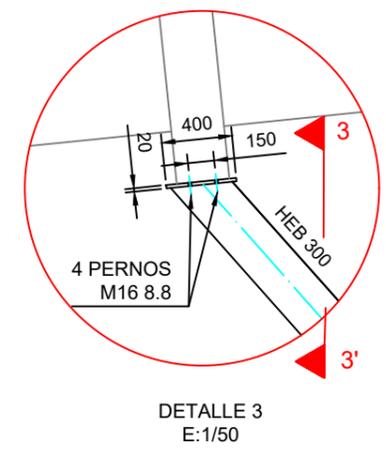
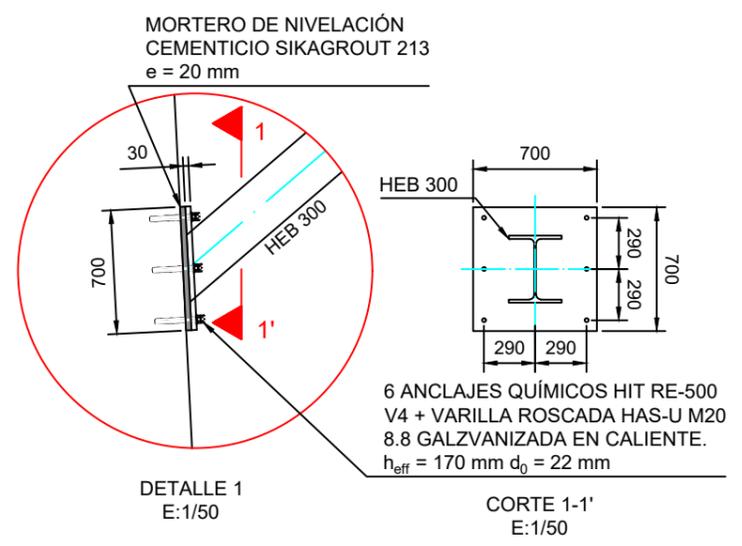
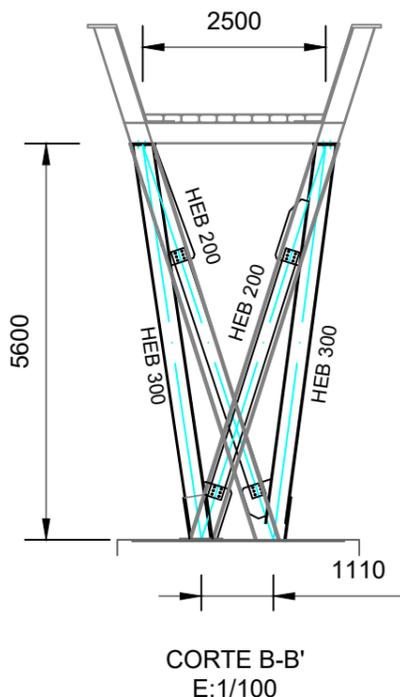
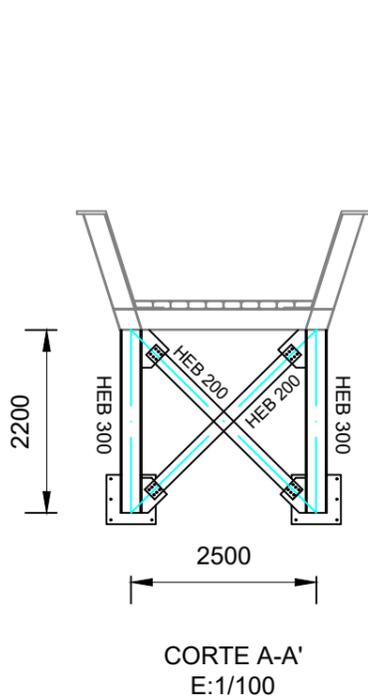
APOYO LADO GONZALÍN

APOYO INTERMEDIO

APOYO LADO MIERES



ALZADO PASARELA
E:1/300



- NOTAS:
1. COTAS EN MILÍMETROS.
 2. ACERO ESTRUCTURAL S275JR.
 3. ESQUEMA DE PINTURA: A6.01(APOYO LADO "GONZALÍN") Y A3.3 (RESTO DE ESTRUCTURA) SEGÚN UNE-EN ISO 12944. RAL 6019.
 4. PERNOS DE CONEXIÓN Y VARILLAS DE ANCLAJE CALIDAD 8.8 GALVANIZADOS EN CALIENTE SEGÚN UNE-EN ISO 10684.
 5. TODOS LOS PERNOS DE CONEXIÓN IRÁN PROVISTOS DE TUERCA Y ARANDELA GALVANIZADOS EN CALIENTE.
 6. SOLDADURAS POR ARCO ELÉCTRICO DE CONFORMIDAD CON UNE-EN ISO 3834.
 7. LAS MEDICIONES INCLUIDAS EN LA TABLA CONSIDERAN UN 8% ADICIONAL QUE ENLOBA LAS CONEXIONES, CARTELAS Y RESTO DE DETALLES DE FABRICACIÓN.

LEYENDA:	
	ESTRUCTURA EXISTENTE
	REFUERZO PROPUESTO
	EJE DEL PERFIL DE ACERO

MEDICIÓN DE ACERO ESTRUCTURAL:	
APOYO LADO GONZALÍN:	1.813 kg
APOYO INTERMEDIO:	5.118 kg
APOYO LADO MIERES:	2.834 kg
TOTAL:	9.765 kg

UNIVERSIDAD DE OVIEDO
ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES
MÁSTER EN INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

La autora del Trabajo Fin de Máster:

Alba López Braña

Título del Trabajo Fin de Máster:
ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y DISEÑO DE REFUERZO PARA PASARELA PEATONAL SOBRE LA A-66 Y EL RÍO CAUDAL

Título del plano:
DETALLE DE LA PROPUESTA DE REFUERZO

FECHA:	JUNIO 2022	PLANO Nº 3 HOJA 1 DE 1
ESCALA:	VARIAS	



Es decir, a la fuerza dinámica externa, $p(t)$, se oponen la fuerza elástica, f_s , que es función de la rigidez de la estructura, la fuerza de amortiguamiento, f_d , sin la cual los sistemas vibrarían indefinidamente y cuya caracterización (energía disipada) es compleja, y la fuerza inercial, f_I , que actúa en la dirección opuesta a la aceleración de la masa.

De acuerdo con lo anteriormente descrito, cualquier sistema oscilante (o vibrante) vendrá determinado por estas 3 variables principales: rigidez, amortiguamiento y masa.

2.2. Vibración libre, frecuencias naturales y modos de vibración

Se denomina vibración libre a aquella que se produce cuando dejamos oscilar libremente un sistema sin amortiguamiento en el que hemos introducido una perturbación inicial, velocidad o desplazamiento, que no se mantiene una vez iniciada la oscilación:

La solución del problema es una función de onda, cuya frecuencia se conoce como frecuencia natural.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2)$$

siendo m la masa total de la estructura y k la rigidez o relación entre fuerzas y desplazamientos, que es función a su vez de:

- las condiciones de contorno;
- el material (módulo de Young);
- la inercia de la sección;
- la longitud libre o distancia entre apoyos.

Las N raíces reales de ω_n^2 constituyen las frecuencias naturales de vibración. La menor (o el mayor periodo) de todas las frecuencias se considera la frecuencia fundamental. Y cada una de las frecuencias naturales tendrá asociado un patrón de vibración distinto, o lo que es lo mismo, una estructura tendrá tantos modos de vibración como frecuencias naturales. [5]