Escuela Politécnica Superior de Linares

Grado en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PASARELA CICLISTA Y PEATONAL EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MARTOS (JAÉN)

Alumno: Pablo Martínez Belda

Tutor: Prof. D. Javier Fernández Aceituno
Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Noviembre, 2020

ÍNDICE DE CONTENIDO

1 RESUMEN 9

1.1 Resumen 9

1.2 Abstract 9

2 INTRODUCCIÓN 10

2.1 Situación y emplazamiento 10

2.2 Antecedentes 11

2.3 Solución propuesta 12

2.4 Clasificación de los puentes 13

2.4.1 En función a sus materiales 14

2.4.2 Por su estructura transversal 15

2.4.3 Sustentados por cables 24

2.5 Metodología BIM 27

3 CÁLCULO DE CARGAS SEGÚN NORMATIVA 31

3.1 Vida útil 32

3.2 Acciones permanentes de valor constante (G) 33

3.2.1 Peso propio 33

3.2.2 Cargas muertas 33

3.3 Acciones variables (Q) 35

3.3.1 Sobrecarga de uso 35

3.3.2 Nieve 36

3.3.3 Viento 39

3.4 Acciones accidentales 52

3.4.1 Sismo 52

3.4.2 Impacto. 53

4 DISEÑO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA 54

4.1 Modelado de la pasarela en Revit 54

4.2 Definición de la estructura en Robot Structural Analysis 60

4.2.1 Definición de grupos. 61
4.2.2 Definición de los apoyos 62
4.2.3 Definición de cargas.....62
4.2.4 Combinaciones de carga 76
4.3 Cálculo de la estructura.....79
4.3.1 Grupos y parámetros 79
4.3.2 Verificación de los perfiles.....83
4.3.3 Comparativa deformación provocada por el viento.....87
4.4 Cálculo manual de una sección.....89
4.4.1 Clasificación de la sección 92
4.4.2 Cálculo de la resistencia 94
5 ESTIMACIÓN ECONÓMICA 101
5.1 Desglose de precios.....104
6 PLANOS 108
7 BIBLIOGRAFÍA 115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Ilustración 2-1: Ubicación sobre España. Fuente: socialesweb.com.....10
Ilustración 2-2:Ubicación sobre la provincia de Jaén. Fuente: ideal.es 10
Ilustración 2-3: Ubicación de la pasarela. Fuente: propia.....11
Ilustración 2-4: Vista sobre la vía. Fuente: propia. 11
Ilustración 2-5: emplazamiento de la pasarela. Fuente: propia. 12
Ilustración 2-6: Ejemplo de componentes de un puente. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. 14
Ilustración 2-7: Vigas simplemente apoyadas. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. 15
Ilustración 2-8: Izda.Dcha Puente de vigas continuas y puente de vigas parcialmente continuas. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas 15

Ilustración 2-9: Puentes de vigas Gerber. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. 16

Ilustración 2-10: Puentes de portico. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. 16

Ilustración 2-11: Tipos de vigas. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas 17

Ilustración 2-12: Imagen. Ejemplos de vigas de celosia. Fuente: www.arquitectuaenacero.com 17

Ilustración 2-13: Viga Pratt. Fuente: www.excelbridge.com/es/para-propietarios/bridge-types-spanish 18

Ilustración 2-14: Puente Pythonbrug en Holanda. Estructura en red. Fuente: www.larevista.ec/actualidad/vivienda-y-decoracion/puentes-insolitos 18

Ilustración 2-15: Puente de armadura superior. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. 19

Ilustración 2-16: Imagen. Puente Durcal en Granada de paso superior. Fuente: www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/A24249.pdf 19

Ilustración 2-17: Puente de armadura inferior. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. 19

Ilustración 2-18: Puente de armadura de paso inferior. Fuente: https://pxhere.com/es/photo/624446 20

Ilustración 2-19: Puente de armadura de paso inferior. Fuente: https://pxhere.com/es/photo/582500 20

Ilustración 2-20: Puente de paso intermedio. Fuente: www.excelbridge.com/es/para-ingenieros/tipos-de-puentes.....21

Ilustración 2-21: Puente de paso intermedio. Fuente: https://pxhere.com/es/photo/1614518 21

Ilustración 2-22: Apoyo de la cimbra y andamios. Fuente: Puentes arcos (I). Historia de los puentes arco. Revista de Obras Publicas. 22

Ilustración 2-23: Puente Alcantara. Fuente: www.abc.es/viajar/top/abci-puentes-romanos-y-medievales-mas-impresionantes-espana-201609301150_noticia.html 22

Ilustración 2-24: Viaducto de Segovia. Fuente: www.abc.es/viajar/top/20140115/abci-acueductos-romanos-201401071106_1.html 23

Ilustración 2-25: Puente de tablero. Puente Paul Sauer. Fuente: https://victoryepes.blogs.upv.es/ 23

Ilustración 2-26: Puente de tablero medio. Puente Lupu. Fuente: http://www.revistavector.com.mx/2018/05/01/puente-lupu/ 24

Ilustración 2-27: Puente de tablero medio. Pasarela de Plencia. Fuente: www.puentemania.com.....24

Ilustración 2-28: Puente colgante. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. 25

Ilustración 2-29: Puente Akashi. Japón. Fuente: www.europapress.es.....25

Ilustración 2-30: Puente Humber. Reino Unido Fuente: www.europapress.es.....25

Ilustración 2-31: Puente atirantado. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. 26

Ilustración 2-32: Puente atirantado Ruskky. Rusia. Fuente: https://jose-yupanqui.blogspot.com 26

Ilustración 2-33: Puente atirantado Alamillo. Sevilla. Fuente: https://jose-yupanqui.blogspot.com 27

Ilustración 2-34: Fases de un proyecto. Fuente: https://www.autodesk.es/solutions/bim/benefits-of-bim 28

Ilustración 2-35: ejemplos de software que se incorpora en BIM según sectores. Fuente: https://www.autodesk.es/solutions/bim.....30

Ilustración 3-1: Velocidad básica el viento por localización geográfica 40

Ilustración 4-1: Creación de rejilla.....54

Ilustración 4-2: niveles de trabajo. 55

Ilustración 4-3 acotación de la rejilla.....56

Ilustración 4-4 Vista de planta de vigas longitudinales, viguetas y tornapuntas. ...56

Ilustración 4-5: selección de plano de trabajo. 57

Ilustración 4-6: selección de vista 57

Ilustración 4-7: Línea de modelo para arco 1. 58

Ilustración 4-8: alzado del arco 58

Ilustración 4-9: Péndolas 59

Ilustración 4-10: Riostras y tornapuntas.....59
Ilustración 4-11: Visualización 3D de la pasarela.....60
Ilustración 4-12: Botón para exportar a Robot. 60
Ilustración 4-13: estructura importada en Robot 61
Ilustración 4-14: grupos de barras 61
Ilustración 4-15: creación de un nuevo apoyo.....62
Ilustración 4-16: casos de carga. 63
Ilustración 4-17: aplicación de carga pavimento a viguetas centrales 64
Ilustración 4-18: valor de carga pavimento. 64
Ilustración 4-19: carga pavimento. 65
Ilustración 4-20: carga barandilla.....65
Ilustración 4-21: sobrecarga de uso.....66
Ilustración 4-22: cargas de nieve 67
Ilustración 4-23: opción cerramientos 68
Ilustración 4-24: definición de cerramiento. 69
Ilustración 4-25: cerramientos en 3D 70
Ilustración 4-26: opción descuidar. 70
Ilustración 4-27: definición del viento 71
Ilustración 4-28: perfiles de viento con Ce 72
Ilustración 4-29: proceso de cálculo 73
Ilustración 4-30: Viento en Y simulado.....74
Ilustración 4-31: viento en Y 75
Ilustración 4-32: Viento en X.....75
Ilustración 4-33: opción para calcular 76
Ilustración 4-34: Combinaciones según norma 76
Ilustración 4-35: coeficientes por defecto en CTE DB-SE:2006 77
Ilustración 4-36: coeficientes IAP-11 [1].....78
Ilustración 4-37: parámetros de norma IAP-11 [1] 78

Ilustración 4-38: combinaciones de carga según IAP-11 [1] 79

Ilustración 4-39 izq.parámetros no arriostrada der. parámetros arriostrada 79

Ilustración 4-40: parámetros vigueta inferior 80

Ilustración 4-41: definición arriostramientos pandeo Z y pandeo Y 80

Ilustración 4-42: parámetros tornapuntas inferiores 81

Ilustración 4-43: parámetros péndolas.....81

Ilustración 4-44: parámetros vigueta superior 82

Ilustración 4-45: parámetros tornapuntas superiores 82

Ilustración 4-46: opción para calcular si cumplen a ELU y ELS 83

Ilustración 4-47: comprobación de perfiles 1/3. La barra señalada se comprobará manualmente según la EAE [3].....84

Ilustración 4-48: comprobación de perfiles 2/3.....85

Ilustración 4-49: comprobación de perfiles 3/3.....86

Ilustración 4-50: deformada según viento X norma. 87

Ilustración 4-51: deformada según viento X simulado.....88

Ilustración 4-52: deformada según viento Y norma. 88

Ilustración 4-53: deformada según viento Y simulado.....89

Ilustración 4-54: Ubicación barra 20 90

Ilustración 4-55: detalle barra 20 91

Ilustración 4-56: Leyes momento-curvatura de secciones transversales de cases 1 a 4 92

Tabla 3-1: Pesos específicos de diversos materiales [kN/m3] 33

Tabla 3-2: Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal, sk [kN/m2].....37

Tabla 3-3: Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal en capitales de provincia y ciudades autónomas.....38

Tabla 3-4: Coeficientes kr, $Z0$, y $Zmin$ según el tipo de entorno 42

Tabla 3-5: Coeficiente de fuerza Cf para las secciones más habituales. 47

Tabla 3-6: Coeficiente α según el tipo de entorno.....50

Tabla 3-7: resumen de cargas de viento.....52

Tabla 4-1: coeficientes de exposición según altura 72

Tabla 4-2: cargas de viento 74

Tabla 4-3: Resumen de perfiles.....87

Tabla 4-4: esbelteces máximas para paneles comprimidos interiores 93

Tabla 4-5: elección de las curvas de pandeo.....98

Tabla 4-6: valores de alfa. 98

1 RESUMEN

1.1 Resumen

El objetivo de este proyecto es el diseño de la superestructura de una pasarela peatonal y ciclista en el término municipal de Martos (Jaén), que evitará un peligroso paso a nivel en la carretera JA-3308, a la altura de Monte Lope-Álvarez.

El modelado inicial se realizará con el *software* Revit 2020. Una vez esté definido el modelo 3D, se exportará al programa “Robot Structural Analysis”, donde serán introducidas las cargas calculadas según las IAP-11 “Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera”, del Ministerio de Fomento. Y a continuación se comprobará si la estructura cumple la norma para las cargas calculadas, o en caso contrario, se redimensionarán los perfiles empleados.

Por último, también se muestra la comprobación manual de una barra según la EAE.

1.2 Abstract

The goal of this project is to design the board of a pedestrian and cyclists bridge in Martos (Jaén). The starting modelling of the structure will be made using Revit 2020. Once defined this model, it will be exported to Robot Structural Analysis Software, where loads will be introduced according to the Spanish Standard IAP-11, published by the government. After that, the resistance of the structure will be calculated, according to the standards. In negative case, it will be resized with bigger sections.

Lastly, one element of the structure will be checked manually following the EAE standard.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Situación y emplazamiento

La estructura que se presenta y desarrolla en este Trabajo fin de Grado tiene como objetivo conectar ambos extremos de un camino peatonal y ciclista que discurre a lo largo de la carretera JA-3308, y que queda separado por ésta.

Ilustración 2-1: Ubicación sobre España. Fuente: socialesweb.com

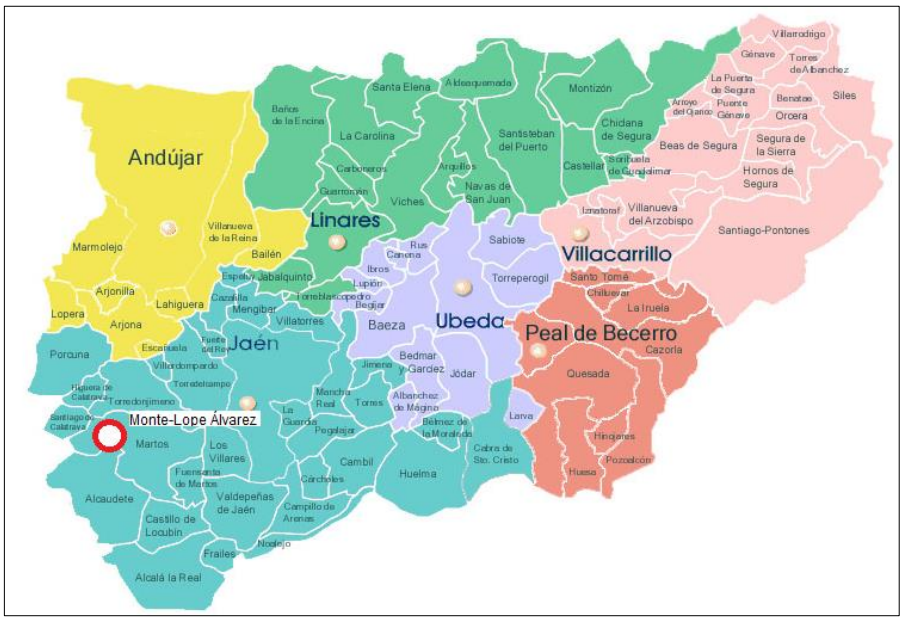


Ilustración 2-2:Ubicación sobre la provincia de Jaén. Fuente: ideal.es

Ilustración 2-3: Ubicación de la pasarela. Fuente: propia.

Ilustración 2-4: Vista sobre la vía. Fuente: propia.

2.2 Antecedentes

Con la construcción de una nueva carretera hacia la población de Monte Lope-Álvarez que se llevó a cabo en el año 2010, se optó por añadir lateralmente un camino de más de veinte kilómetros de recorrido. Este camino discurre por el lateral derecho de la carretera, sentido Martos-Monte Lope Álvarez, hasta los últimos dos kilómetros, donde las viviendas de verano obligan a cambiar de lateral. Ese cambio se realiza mediante un paso de cebra a nivel.

El camino es muy transitado por los habitantes de la localidad para pasear, correr e ir en bicicleta, y es frecuente ver a decenas de personas paseando al caer la tarde. A este uso hay que añadir que es el único camino peatonal para llegar al cementerio local.

Desde el punto de vista ciclista, es muy transitado ya que conecta con la Vía Verde de Martos, por lo que no es raro encontrar ciclistas que vienen incluso desde Jaén.

La carretera JA-3308 tiene un límite genérico de velocidad de 90km/h. Sin embargo, al tratarse de una vía bastante recta, transitada por los vecinos que se desplazan diariamente a Jaén o Martos, es muy frecuente que los vehículos circulen en torno a 120km/h.

Estas dos condiciones, vehículos a alta velocidad y paso de cebra a nivel con alto tránsito de peatones y ciclistas, hace que el punto de cruce sea de alto riesgo.

2.3 Solución propuesta

Para eliminar este riesgo de atropello se propone construir una pasarela elevada sobre la rasante de la carretera.

Ilustración 2-5: emplazamiento de la pasarela. Fuente: propia.

Debido al uso preminentemente ciclista, se establece como prioridad que la incorporación desde el camino hacia la pasarela sea lo más lineal posible. Ya que además circulan a alta velocidad debido a que esa parte del camino está en pendiente.

Por ello, se opta por situar la pasarela con a 41º grados sobre el eje longitudinal de la carretera, para evitar así un ángulo de entrada perpendicular a la pasarela.

Otra opción que se podría barajar sería la expropiación de los olivos adyacentes al camino para modificar el trazado de éste y que coincidiera longitudinalmente con la pasarela. Sin embargo, esta opción se descarta debió a que posiblemente su coste sea más alto.

En carreteras similares cercanas a la del presente proyecto, se han ensanchado recientemente los arcenes para facilitar el tráfico de tractores. Es posible que esta obra también se acometa en la carretera JA-3308, que presenta características de tráfico similares. Así, adicionalmente, el hecho de tener la pasarela inclinada, permite ampliar el ancho de la vía sin tener que sustituirla, suponiendo un ahorro económico.

La pasarela será de tipo arco, ya que son más estéticas.

El presente TFG se centra exclusivamente en el cálculo de la pasarela (superestuctura). Por lo tanto, no se contempla el cálculo de la cimentación ni de las pilas (infraestructura).

2.4 Clasificación de los puentes

Los puentes son estructuras esenciales a lo largo de la historia, el reflejo del desarrollo de un país se puede medir por su infraestructura vial. “Desde los puentes emana una fascinación a la que solo pocos pueden sustraerse. Con ellos supera el hombre los límites de su espacio vital, une lo separado, triunfa sobre los obstáculos de la naturaleza”. (Hans Wittfoth).

Es necesario conocer la tipología y elementos estructurales para evaluar su condición, con el fin de conocer sus características que están ligadas a su resistencia y durabilidad.

Los puentes constan de dos elementos básicos a) la subestructura que conforma los pilares, apoyos, estribos, fundaciones y cimientos que soportan a b) la superestructura conformada por todos los elementos que forman parte del tablero como losas, vigas, armaduras, cables, bordillos, plataforma y arcos.

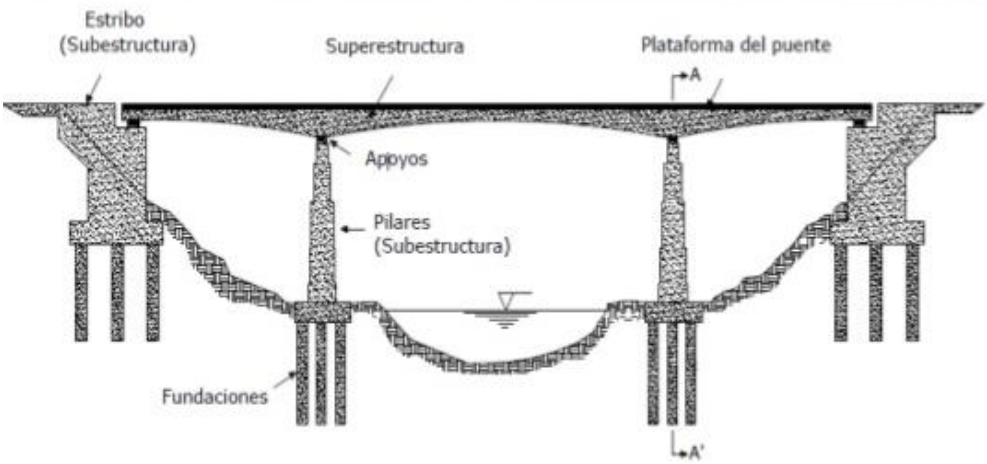


Ilustración 2-6: Ejemplo de componentes de un puente. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas.

2.4.1 En función a sus materiales

Los puentes, según el uso que se les dé, podrán estar conformados por particularidades concretas como rapidez de construcción, costes, resistencia y durabilidad. Los agentes atmosféricos también son importantes en la elección del mismo porque están relacionados estrechamente con la resistencia.

Por ejemplo, la madera es un material de bajo coste, pero poco duradero, que, con los cambios en el ambiente, ve afectada sus cualidades. Es un material que, debido a su abundancia y sencillez de explotación, fue muy utilizado en la antigüedad.

En el caso de la piedra, fue un material muy utilizado por ser muy resistente. Sólo con las nuevas técnicas de la revolución industrial y con el hierro lograron quitarle su dominio en la construcción.

En tiempos modernos el hormigón tiene gran éxito por su rápida instalación por sus elementos prefabricados, tiene poco gasto de mantenimiento y gran resistencia.

En general la correcta elección del material contribuirá en un buen mantenimiento y disminución de costos. Algunos materiales utilizados además de los ya descritos son:

- Hormigón
- Hormigón armado
- Hormigón pretensado
- Acero
- Acero y hormigón
- Madera

- Hormigón ciclópeo
- Mampostería

2.4.2 Por su estructura transversal

Se refiere a la sección diagonal del tablero de la superestructura. Las dividiremos en las siguientes:

2.4.2.1 Tablero y vigas

El tablero permite la carga y sobrecargas de las vigas, es un elemento estructural que normalmente es construido de losas de hormigón armado, también puede ser de otro material como placas de acero reforzado sobre el que se coloca asfalto. La losa puede ser construida con carga aligerada o maciza de acuerdo a la luz total por cubrir:

- Simplemente apoyada con múltiples luces o apoyada en menos luces: puede ser de losa maciza o de losas y vigas. Tiene mayor punto de apoyos.

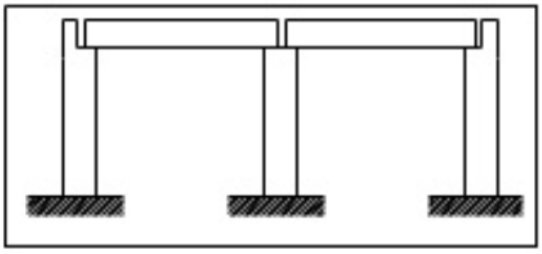


Ilustración 2-7: Vigas simplemente apoyadas. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas.

- Vigas continuas y parcialmente continuas: Es la solución más eficiente, conformada por vigas prefabricadas que se colocan entre los apoyos.

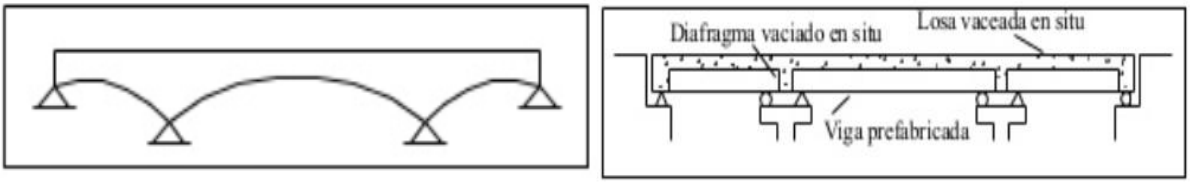


Ilustración 2-8: Izda.Dcha Puente de vigas continuas y puente de vigas parcialmente continuas. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas

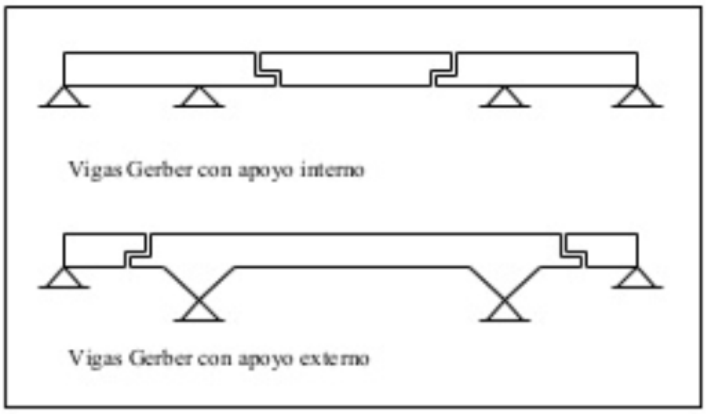


Ilustración 2-9: Puentes de vigas Gerber. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas.

- Pórtico continuo con unión rígida entre la superestructura y los pilares. Existen varios sistemas, entre los más importantes: Vigas conectadoras, pórtico continuo, pórtico con vigas ligadas en voladizo, pórtico en T, puente acaballado con tirantes, arco tipo Maillart.

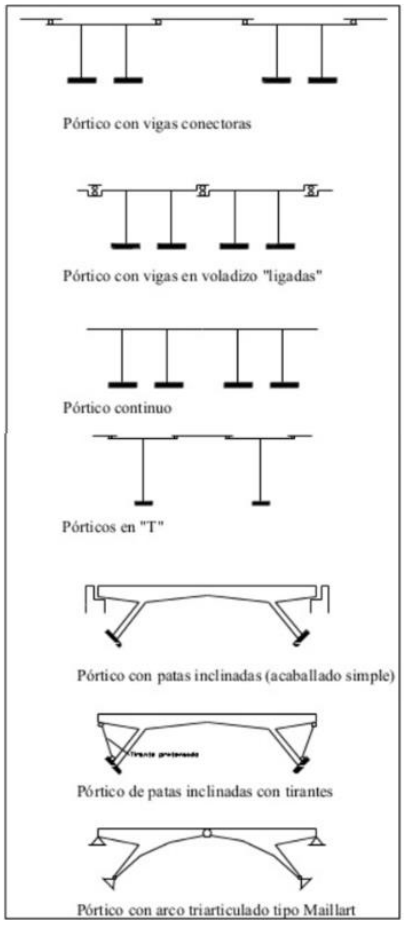


Ilustración 2-10: Puentes de portico. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas.

La carga se transmite por el sistema de vigas que soportan la losa. Este sistema constituye la solución más común y sencilla. Existen muchos tipos de vigas según su sección trasversal por ejemplo rectangulares, tee, I, cajón, viga continua etc.

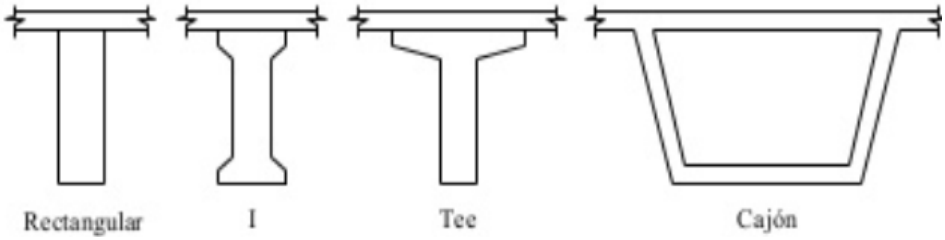


Ilustración 2-11: Tipos de vigas. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas

2.4.2.2 Armadura

Este tipo de puentes están basados en puntos de tensión formados por nodos donde se sostiene la carga, los soportes de apoyo se colocan a cada lado. El peso se aplica en todas las piezas horizontal y diagonalmente para sostener la carga. La viga de celosía más típica es la que tiene cordón superior, uno inferior y un sistema de barras que los unen, existen muchas formas de conectar ambos cordones entre ellas:

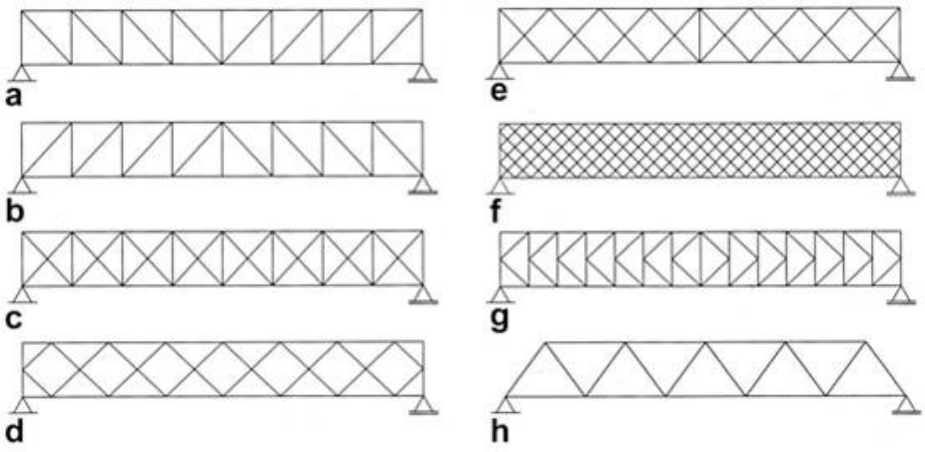


Ilustración 2-12: Imagen. Ejemplos de vigas de celosía. Fuente: www.arquitectuaenacero.com

a) Viga Pratt diagonales convergen hacia el centro

b) Viga Howe diagonales salen desde el centro

c) Estructura Reticular isostática

d) Estructura reticular rómbica sin montante

e) Reticular rómbica con montante central estable

f) Estructura en red

g) Estructura en K

h) Viga Warren reticular sin montantes

Ilustración 2-13: Viga Pratt. Fuente: www.excelbridge.com/es/para-propietarios/bridge-types-spanish

Ilustración 2-14: Puente Pythonbrug en Holanda. Estructura en red. Fuente: www.larevista.ec/actualidad/vivienda-y-decoracion/puentes-insolitos

2.4.2.2.1 Paso superior

Los usuarios pasan por encima de la armadura, su carga es trasladada de la losa a las vigas para distribuir su carga a través de los nodos.

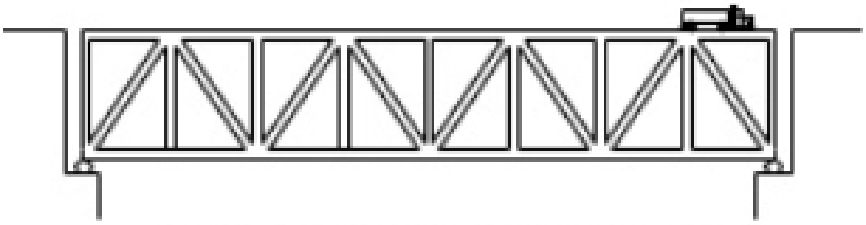


Ilustración 2-15: Puente de armadura superior. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas.

Ilustración 2-16: Imagen. Puente Durcal en Granada de paso superior. Fuente: www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/A24249.pdf

2.4.2.2.2 Paso inferior

Los puentes de armadura con paso inferior se componen de un tablero de losa de hormigón con barras laterales, sujeción en la parte superior e inferior y vigas longitudinales y transversales.

Los usuarios por el interior de la armadura, estando la losa apoyada en la en el extremo inferior de ésta.

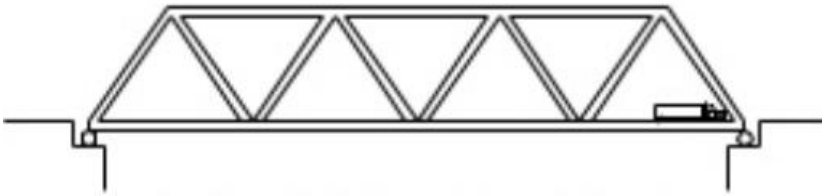


Ilustración 2-17: Puente de armadura inferior. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas.

Ilustración 2-18: Puente de armadura de paso inferior. Fuente: https://pxhere.com/es/photo/624446

Ilustración 2-19: Puente de armadura de paso inferior. Fuente: https://pxhere.com/es/photo/582500

2.4.2.2.3 Paso intermedio

Este tipo de puente no tiene armazón superior. Para el paso intermedio se consta de losa de hormigón, la estructura trasmite la carga con armaduras laterales y vigas longitudinales.

Ilustración 2-20: Puente de paso intermedio. Fuente: www.excelbridge.com/es/para-ingenieros/tipos-de-puentes

Ilustración 2-21: Puente de paso intermedio. Fuente: https://pxhere.com/es/photo/1614518

2.4.2.3 Arco

La estructura en curva ha sido utilizada durante mucho tiempo por ser un medio resistente con grandes posibilidades de construcción. La razón de utilizar la forma de arco reside en su misma estructura que transmite las cargas desde su punto de aplicación hasta los apoyos, produciendo esfuerzos de compresión. Usando este principio se entiende por qué la piedra fue el material esencial en la construcción de este tipo de puentes durante

mucho tiempo. Es un material que trabaja muy bien a compresión, y por ello el contacto entre diferentes tamaños de piezas no necesita más elementos de unión.

Los romanos desarrollaron construcciones de puentes de arco tan duraderos que actualmente muchos de ellos aún se conservan. Se basaron en bóvedas para aportar compresión compuesta. Con el tiempo utilizaron arco en medio punto o semicírculo que tiene su origen en Mesopotamia, pero los romanos lo hicieron popular en Europa durante los siglos XI, XII y XIII. Para la construcción de las bóvedas utilizaban cimbras de madera, rectas y curvadas para tener resistencia de soporte de cargas y rigidez para evitar deformaciones.

Después de la piedra se utilizó el hormigón, por sus posibilidades estéticas, ahorro de material y capacidad estructural.

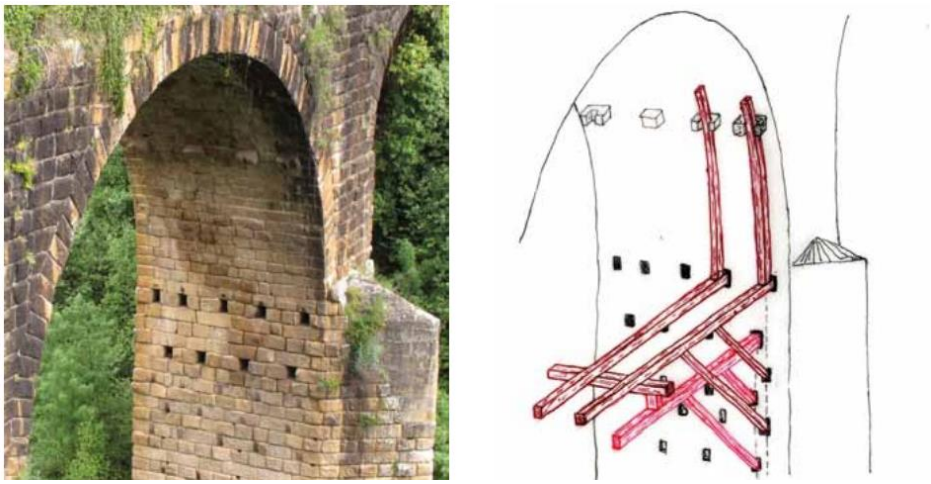


Ilustración 2-22: Apoyo de la cimbra y andamios. Fuente: Puentes arcos (I). Historia de los puentes arco. Revista de Obras Públicas.

Ilustración 2-23: Puente Alcántara. Fuente: www.abc.es/viajar/top/abci-puentes-romanos-y-medievales-mas-impresionantes-espana-201609301150_noticia.html

Ilustración 2-24: Viaducto de Segovia. Fuente: www.abc.es/viajar/top/20140115/abci-acueductos-romanos-201401071106_1.html

En cuanto a clasificación según el tablero que transmite la carga de la losa a los arcos que se apoyan en los estribos se pueden mencionar tres tipos: de tablero superior, tablero intermedio y tablero inferior:

Ilustración 2-25: Puente de tablero. Puente Paul Sauer. Fuente: https://victoryepes.blogs.upv.es/

Ilustración 2-26: Puente de tablero medio. Puente Lupu. Fuente: http://www.revistavector.com.mx/2018/05/01/puente-lupu/

Ilustración 2-27: Puente de tablero medio. Pasarela de Plencia. Fuente: www.puentemania.com

2.4.3 Sustentados por cables

2.4.3.1 Colgante

Son sostenidos por numerosos cables de acero, el tablero es tirado por péndolas verticales que son las encargadas de distribuir la carga, constituyen un arco invertido anclados al puente. Los cables portantes que pasan sobre los pilones se anclan en los extremos, tienen elementos de conexión en toda la estructura.

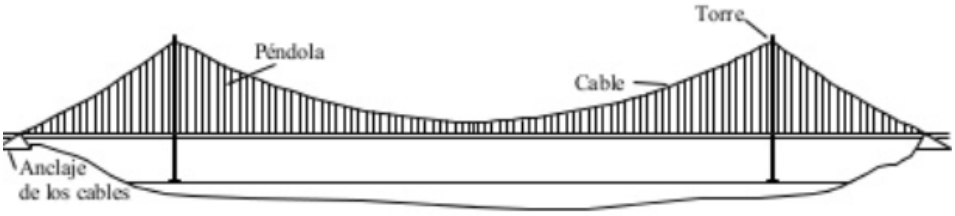


Ilustración 2-28: Puente colgante. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas.

Ilustración 2-29: Puente Akashi. Japón. Fuente: www.europapress.es

Ilustración 2-30: Puente Humber. Reino Unido Fuente: www.europapress.es

2.4.3.2 Atirantado

El tablero está suspendido por cables de acero utilizados para soportar grandes luces. Los cables se disponen de pila a pila; con diferencia al puente colgante que se basan en tracción, mientas los atirantados se basan en tracción y compresión.

Surgen por la necesidad de hacer frente a problemas geotécnicos, solucionándolo disponiendo apoyos intermedios que permiten reducir la rigidez de las superestructuras. Es un recurso que se puede disponer en forma de arpa, semi-arpa y de forma abanico, según la localización de los cables.

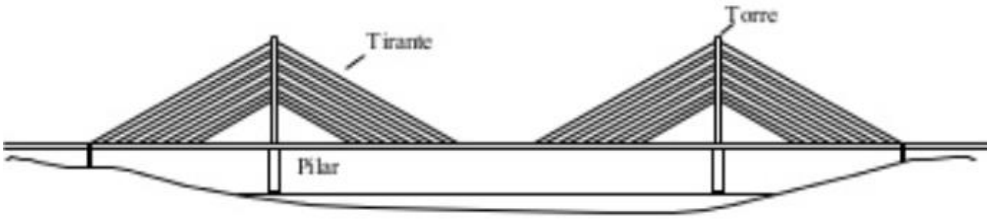


Ilustración 2-31: Puente atirantado. Fuente: Guía para el diseño de puentes con vigas y losas.

Ilustración 2-32: Puente atirantado Ruskky. Rusia. Fuente: https://jose-yupanqui.blogspot.com

Ilustración 2-33: Puente atirantado Alamillo. Sevilla. Fuente: https://jose-yupanqui.blogspot.com

2.5 Metodología BIM

En BIM, los diseñadores crean modelos digitales en 3D que incluyen datos con características físicas y funcionales. Esto permite a arquitectos, ingenieros y constructores colaborar en modelos coordinados.

Todos los detalles del edificio se modelan en BIM. Esto permite saber cuál será el aspecto de la estructura o edificio antes de construirlo. A continuación, en base a ese mismo modelo, se puede obtener la documentación de diseño para comenzar a construir.

El proceso de BIM genera datos que se emplearán a lo largo de toda la vida útil de un proyecto, que es:

- Planificación: durante esta fase, la metodología BIM permite combinar datos del mundo real con herramientas de captura de realidad y producir, así, modelos en el contexto del entorno real donde se construirán.
- Diseño: se diseña, se analiza, se detalla y se genera la documentación del proyecto.
- Construcción: todas las especificaciones definidas en BIM se comparten con el equipo de fabricación. Los datos logísticos de construcción se comparten con los contratistas, lo que asegura plazos óptimos.

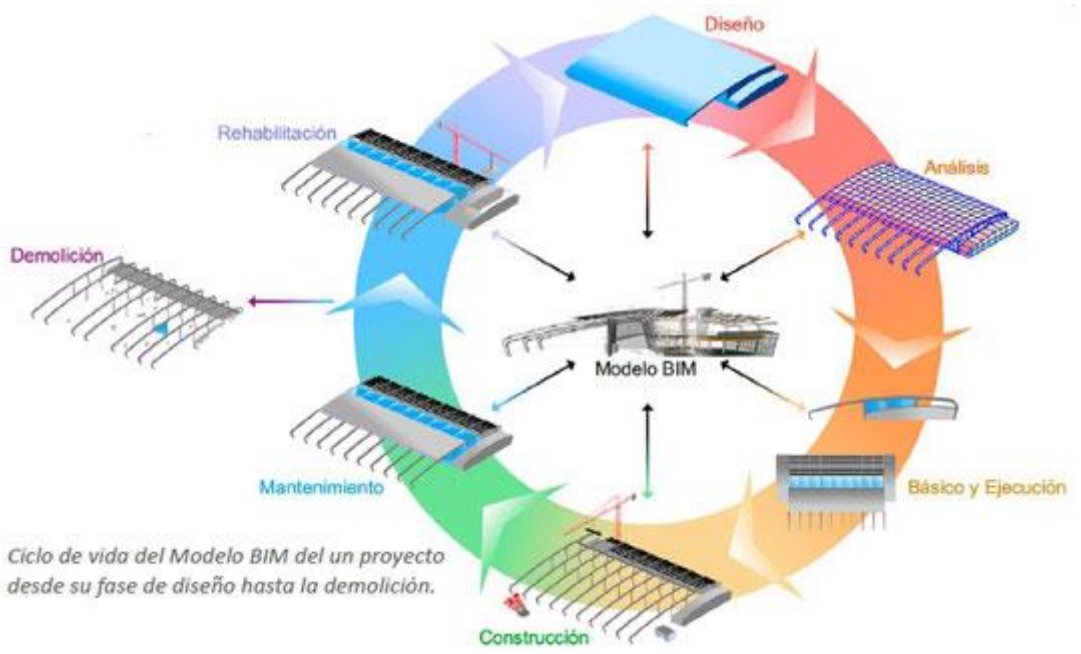
- Operaciones: Los datos BIM se comparten con los operadores y mantenedores, lo que abaratará costes de operación, mantenimiento, remodelación o desmontaje de instalaciones.

Ilustración 2-34: Fases de un proyecto. Fuente: https://www.autodesk.es/solutions/bim/benefits-of-bim

Por tanto, BIM es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de proyectos de construcción.

Se centraliza en un modelo toda la información generada durante el proyecto por todos los profesionales implicados.

Esto es una evolución de los sistemas basados en planos, que incluye información geométrica, de tiempos, de costes, ambientales y de mantenimiento y explotación.



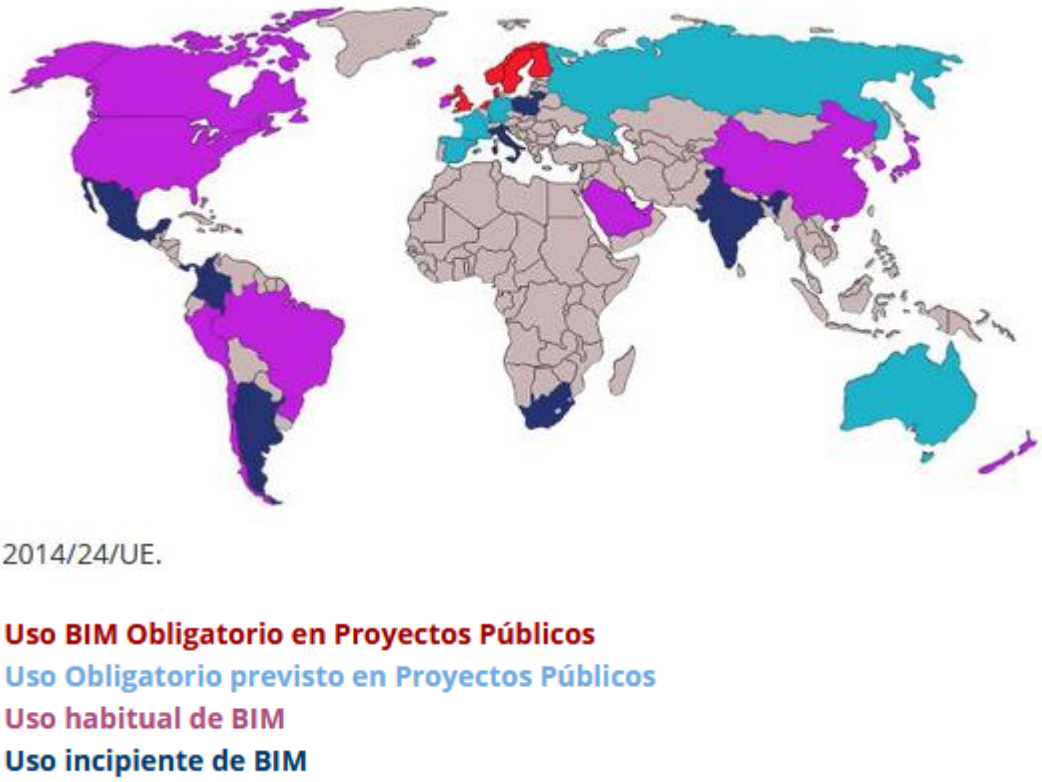
Fuente: https://www.buildingsmart.es/bim/

Implantación en el mundo:

En los últimos diez años, esta revolucionaria metodología se ha ido implantando paulatinamente en los diferentes países. Incluso en algunos de ellos, las Administraciones

Públicas lo han establecido como objetivo prioritario a incorporar en su obra pública, siguiendo la recomendación de la Directiva Europea de Contratación Pública.

En el caso de España, en 2015 el Ministerio de Fomento creo la Comisión Nacional es.BIM, para analizar cómo implementar esta metodología en el sector español e incluirlo en las licitaciones públicas. Se establecieron dos fechas a partir de las cuales se comenzaría a fomentar el uso de BIM en proyectos cuyo promotor fuera un organismo público: diciembre de 2018 en el sector de la edificación y Julio de 2019 en el de la obra civil.



Fuente: https://www.buildingsmart.es/bim/

Para el diseño de la pasarela recogida en este proyecto se empleará el programa Revit 2020. Este programa está basado en la metodología Building Information Modeling (BIM). La compañía desarrolladora es Autodesk, y ofrece un amplio abanico de herramientas de software para completar Revit, como, por ejemplo, Robot Structural Analysis, que será el software para calcular la estructura, y que se interconecta con Revit, permitiendo exportar y exportar los modelos y los datos entre programas.

Ilustración 2-35: ejemplos de software que se incorpora en BIM según sectores. Fuente: https://www.autodesk.es/solutions/bim

3 CÁLCULO DE CARGAS SEGÚN NORMATIVA

La definición precisa de las cargas que actuarán sobre la estructura, es primordial para que nuestro modelo simulado se asemeje al comportamiento real.

Las cargas a las que estará sometida la estructura vienen definidas en la normativa IAP-11 [1]. En el apartado 2.4 - "Clasificación de las acciones", las acciones quedan clasificadas según:

a) Su naturaleza:

− *Acción directa:* fuerza aplicada sobre la estructura (peso propio, sobrecargas de uso, etc.).

− *Acción indirecta:* una deformación o una aceleración impuesta a la estructura (acciones reológicas, térmicas, sísmicas, asientos, etc.).

b) Su variación en el tiempo:

− *Acciones permanentes de valor constante* o, abreviadamente, acciones permanentes (G): son las que actúan en todo momento y son constantes en posición y magnitud, para una situación de proyecto determinada (peso propio de la estructura, del pavimento y de los elementos funcionales, etc.).

− *Acciones permanentes de valor no constante* (G*): son las que actúan en todo momento, pero cuya magnitud no es constante.

En este grupo se incluyen aquellas acciones cuya variación sea función del tiempo transcurrido y se produzca en un único sentido, tendiendo hacia un determinado valor límite (acciones reológicas, pretensado, asientos del terreno bajo las cimentaciones, etc.).

También se incluyen otras acciones originadas por el terreno cuya magnitud no varía en función del tiempo, sino de la interacción terreno-estructura (por ejemplo, empujes sobre elementos verticales).

− *Acciones variables (Q):* son acciones externas a la estructura que pueden actuar o no, y, si lo hacen, pueden tener diferentes valores (sobrecargas de uso, acciones climáticas, etc.).

− *Acciones accidentales (A):* son acciones de corta duración cuya probabilidad de actuación durante la vida útil de la estructura es pequeña, pero cuyos efectos pueden ser

considerables (impactos de vehículos, sismos, avenidas de periodo de retorno importante, etc.).

c) Su variación espacial:

− *Acciones fijas:* son las que se aplican siempre en la misma posición (por ejemplo, el peso propio de los elementos estructurales y de algunos elementos funcionales).

− *Acciones libres:* son las que pueden actuar en diferentes posiciones (por ejemplo, las sobrecargas de uso).

d) La respuesta estructural que producen:

− *Acciones estáticas o casi estáticas:* son las que no provocan oscilaciones o vibraciones significativas en la estructura o en sus elementos estructurales.

− *Acciones dinámicas:* son las que pueden originar oscilaciones o vibraciones significativas en la estructura o en sus elementos estructurales.

A modo de resumen. de todas las cargas definidas anteriormente, son objeto de estudio las siguientes:

<u>Acciones permanentes de valor constante (G).</u>

- Peso propio de la estructura.
- Cargas muertas
    - Pavimento.
    - Barandilla.

<u>Acciones variables (Q).</u>

- Sobrecargas de uso.
- Nieve.
- Viento.

<u>Acciones accidentales (A)</u>

- Sismo.
- Impactos.

3.1 Vida útil

El punto 2.2 “Vida útil” de la IAP-11 [1] se indica: *Se entiende por vida útil de una estructura el periodo de tiempo, a partir de la fecha en que finaliza su ejecución, durante el*

cual debe cumplir la función para la que fue construida, contando siempre con la conservación adecuada, pero sin requerir operaciones significativas de rehabilitación. Para los puentes de carretera objeto de esta Instrucción, se establece una vida útil de proyecto de cien (100) años.

Por tanto, la vida útil se establece en cien años.

3.2 Acciones permanentes de valor constante (G)

3.2.1 Peso propio

Esta acción corresponde al peso de los elementos estructurales. Su valor puede deducirse de la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Pesos específicos de diversos materiales [kN/m3]

Fundición	72,5
Acero	78,5
Aluminio	27,0
Madera seca	6,0 a 9,0
Madera húmeda	10,5
Hormigón en masa	23,0 a 24,0
Hormigón armado y pretensado	25,0
Elementos de basalto, pórfidos y ofitas	31,0
Elementos de granito o caliza	30,0
Materiales granulares y rellenos (zahorras, gravas y arenas)	20,0
Pavimentos de mezcla bituminosa	23,0
Material elastomérico	15,0
Poliestireno expandido	0,3
Vidrio	25,0

No obstante, para este caso presentado, será el programa Robot Structural Analysis el que calcule el peso propio en función de los perfiles estructurales empleados en el modelo.

3.2.2 Cargas muertas

Son las cargas debidas a elementos no estructurales que se apoyan en estos, tales como pavimentos, barandillas, elementos de contención, conductos de servicios, etc.

3.2.2.1 Pavimento

La norma IAP-11 [1] en su apartado 3.1.2 determina que el espesor máximo del pavimento bituminoso proyectado no será superior a 10 cm.

Además, a efectos de cálculo, para la acción debida al pavimento se deben considerar dos valores extremos:

- Valor inferior ($G_{k,inf}$), determinado con los espesores teóricos definidos en el proyecto.

- Valor superior ($G_{k,sup}$), obtenido incrementando un cincuenta por ciento (50%) los espesores teóricos definidos en el proyecto.

Este valor superior se introduce como margen para poder realizar futuras labores de mantenimiento y conservación tales como el repavimentado.

El tablero de la pasarela está formado por:

- Losa de hormigón de 10 cm de espesor. Este espesor es el mínimo recomendable.
- Hormigón de regulación de 2 cm de espesor.
- Pavimento bituminoso proyectado de 2 cm de espesor.

Todos estos componentes tienen un peso específico, según la tabla anterior, de 23 kN/m3.

El valor superior, que se empleará a efectos de cálculo incrementa en un 50% los espesores indicados. Por lo tanto, el tablero tendrá un espesor de cálculo de 21 cm.

Esta carga será soportada por las vigas transversales, por lo que hay que determinar el área tributaria de la carga. Las vigas están separadas 1,5 m. Por lo tanto, cada viga central soporta 0,75 m a izquierda y 0,75 m a la derecha, 1,5 m en total. Sólo las vigas de los extremos soportarán una sola mitad de 0,75 m.

El peso lineal del pavimento, por tanto, será:

$$P_{pav\ central} = 23\frac{kN}{m^3} \cdot 0{,}21m \cdot 1{,}5m = 7{,}25\ \frac{kN}{m} \tag{1}$$

$$P_{pav\ extremos} = 23\frac{kN}{m^3} \cdot 0{,}21m \cdot 0{,}75m = 3{,}62\ \frac{kN}{m} \tag{2}$$

3.2.2.2 Barandilla

Las barandillas estarán apoyadas a lo largo de las vigas longitudinales, a ambos lados. Por ello se cuenta con dos barandillas de 31m de longitud cada una. Se montarán después de que la estructura y el tablero estén finalizados.

En el mercado se pueden encontrar barandillas con un peso propio desde los 0,1 kN/m hasta las que rondan 1 kN/m. No obstante, la norma IAP-11 [1] en su apartado 4.1.7. “Empuje de las barandillas” indica que las fuerzas transmitidas por la barandilla al tablero dependerán de la clase de carga de la barandilla proyectada, según la EN 1317-6. En puentes y pasarelas, se adoptará una clase de carga tal que la fuerza horizontal perpendicular al elemento superior de la barandilla sea como mínimo 1,5 kN/m.

$$P_{barandilla} = 1{,}5\ \frac{kN}{m}$$

3.3 Acciones variables (Q)

Encontramos las siguientes acciones variables en la norma IAP-11 [1], apartado 4. “Acciones variables (Q)”.

3.3.1 Sobrecarga de uso

Según el punto 4.1.8 de la norma IAP-11 [1], para la determinación de los efectos estáticos de la sobrecarga de uso debida al tráfico de peatones, se considerará la acción simultánea de las cargas siguientes:

a) Una carga vertical uniformemente distribuida q_{fk} de valor igual a 5 $\frac{kN}{m^2}$

b) Una fuerza horizontal longitudinal Q_{flk}de valor igual al 10% del total de la carga vertical uniformemente distribuida, actuando en el eje del tablero al nivel de la superficie del pavimento.

Estas cargas están expresadas en metros cuadrados, por lo que será necesario multiplicarlas por el ancho tributario de las vigas transversales, que como ya se ha indicado en un apartado anterior, será 1,5 m para vigas centrales, y 0,75 m para vigas de los extremos, para convertirlas en cargas lineales.

- Vigas centrales:

$$q_{fk=}5\ \frac{kN}{m^2} \cdot 1{,}5\ m = 7{,}5 \frac{kN}{m} \tag{3}$$

Y la carga horizontal.

$$Q_{flk} = q_{fk} \cdot 10\% = 7{,}5\ \frac{kN}{m} \cdot 0{,}1 = 0{,}75 \frac{kN}{m} \tag{4}$$

- Vigas de los extremos:

$$q_{fk=}5\ \frac{kN}{m^2} \cdot 0{,}75\ m = 3{,}75 \frac{kN}{m} \tag{5}$$

Y la carga horizontal:

$$Q_{flk} = q_{fk} \cdot 10\% = 7{,}5\ \frac{kN}{m} \cdot 0{,}1 = 0{,}375 \frac{kN}{m} \tag{6}$$

3.3.2 Nieve

España se divide en la norma en seis zonas geográficas, según queda recogido en la siguiente imagen.

Figure 1: Zonas climáticas de invierno

La pasarela está ubicada en la zona 6.

En el apartado 4.4.1 “Sobrecarga de nueve en un terreno horizontal” quedan recogidos los valores característicos de la sobrecarga de nieve tanto para una determinada altitud, como para las capitales de provincia y ciudades autónomas, en sendas tablas.

Tabla 3-2: Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal, sk [kN/m2]

ZONA DE CLIMA INVERNAL (SEGÚN FIGURA 4.3-b)							
ALTITUD [M]	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2200	-	8,0	-	-	-	-	-

Tabla 3-3: Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal en capitales de provincia y ciudades autónomas

CAPITAL	ALTITUD [m]	s_k [kN/m²]	CAPITAL	ALTITUD [m]	s_k [kN/m²]	CAPITAL	ALTITUD [m]	s_k [kN/m²]
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	San Sebastián	0	0,3
Ávila	1130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	1000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lleida	150	0,5	Sevilla	10	0,2
Bilbao	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	1090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Ourense	130	0,4	Valencia	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	690	0,4
A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria	520	0,7
Cuenca	1010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	650	0,4
Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

El valor característico de la sobrecarga de nieve en los tableros de la pasarela q_k será, según el apartado 4.4.2 de la IAP-11 [1]:

$$q_k = 0{,}8 \cdot S_k = 0{,}8 \cdot 0{,}3 = 0{,}24 \frac{kN}{m^2} \tag{7}$$

Con S_k= 0,3 para una altitud de 500 m y zona geográfica 6.

Convirtiéndola ahora en una carga lineal al multiplicarla por el área tributaria:

- Vigas centrales:

$$q_k = 0{,}24 \cdot 1{,}5 = 0{,}36 \frac{kN}{m} \tag{8}$$

- Vigas de los extremos:

$$q_k = 0{,}24 \cdot 0{,}75 = 0{,}18 \frac{kN}{m} \tag{9}$$

3.3.3 Viento

En general, la acción del viento se asimila a una carga estática equivalente, salvo que, de acuerdo con el apartado 4.2.9 de la (IAP-11) [1], sea además necesario calcular los efectos aeroelásticos. Estos efectos no serán comprobados si se cumplen las siguientes condiciones.

- Luz inferior a 100 metros en pasarelas.
- Luz efectiva menor de 30 metros.
- Anchura del tablero superior a 1/10 de la distancia entre puntos de momento transversal nulo bajo viento transversal.

Y, aún no cumpliendo esas condiciones simultáneamente, tampoco será necesario comprobarlo si:

- Luz menor de 80 metros, y
- Frecuencia fundamental de flexión vertical mayor de 2 Hz.

Por tanto, al tratarse de una pasarela de 31 metros y asumiendo una frecuencia mayor de 2 Hz, no es necesario comprobar los efectos aeroelásticos.

3.3.3.1 Velocidad básica del viento

La velocidad básica del viento se calcula según el apartado 4.2.1 de la (IAP-11) [1], y será necesaria conocer previamente la *velocidad básica fundamental,* $V_{b,0}$ y que se define como la velocidad media a lo largo de un periodo de 10 minutos, con un periodo de retorno de 50 años, medida con independencia de la dirección del viento y de la época del año en una zona plana y desprotegida frente al viento a una altura de 10 metros.

A partir de ella se obtiene la *velocidad básica del viento*, V_b, a través de la expresión:

$$V_b = C_{dir} C_{season} V_{b,0} \tag{10}$$

Siendo:

- V_b: velocidad básica del viento para un periodo de retorno de 50 años (m/s)
- C_{dir}: factor direccional del viento que, a falta de estudios más precisos, se puede tomar como 1,0.
- C_{season}: factor estacional del viento, que, a falta de estudios más precisos, se puede tomar como 1,0.

- $V_{b,0}$: velocidad básica fundamental del viento (m/s), viene expresada en la siguiente ilustración, según el lugar del proyecto. En este caso, 26 m/s.

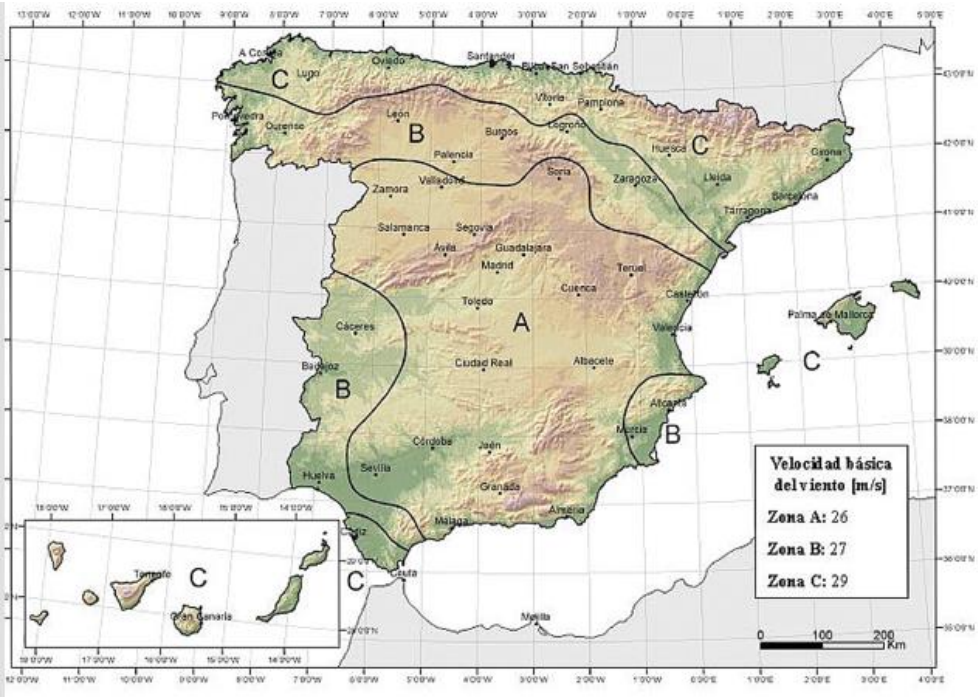


Ilustración 3-1: Velocidad básica el viento por localización geográfica

Para un periodo de retorno superior a 50 años, como es el caso de la presente pasarela (100 años), la velocidad del viento será:

$$V_b(T) = V_b \cdot C_{prob} \tag{11}$$

Con:

$$C_{prob} = \left\{ \frac{1 - K\ ln\left[-ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]}{1 - K\ ln\left[-ln(0,98)\right]} \right\}^n \tag{12}$$

Tomando K y n como 0,2 y 0,5 respectivamente, y T=100.

$$C_{prob} = \left\{ \frac{1 - K \cdot \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]}{1 - K \cdot \ln\left[-\ln(0,98)\right]} \right\}^n = \left\{ \frac{1 - 0,2 \cdot \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{100}\right)\right]}{1 - 0,2 \cdot \ln\left[-\ln(0,98)\right]} \right\}^{0,5} = 1,04 \tag{13}$$

Sustituyendo valores en la fórmula de la velocidad básica del viento:

$$V_b(100) = V_b \cdot C_{prob} = 26\frac{m}{s} \cdot 1{,}04 = 27{,}04\ m/s \tag{14}$$

3.3.3.2 Velocidad media del viento

El siguiente paso es calcular la velocidad media del viento. Dicho cálculo se realiza siguiendo el apartado 4.2.2 de la (IAP-11) [1]. Esta velocidad media del viento $V_m(Z)$ a una altura Z sobre el terreno dependerá de la rugosidad del terreno, de la topografía y de la velocidad básica del viento V_b, y se determina según la siguiente expresión:

$$V_m(Z) = c_r(Z)\ c_o\ V_b(T) \tag{15}$$

Siendo:

$V_b(T)$ velocidad básica del viento para un retorno T años.

c_o factor de topografía, que se tomará como 1,0.

$c_r(Z)$ factor de rugosidad obtenido de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} c_r(z) &= k_r\, ln\left(\frac{z}{z_0}\right) && \text{para } z \geq z_{min} \\ c_r(z) &= c_r(z_{min}) && \text{para } z < z_{min} \end{aligned} \tag{16}$$

Donde:

Z: altura del punto de aplicación del empuje de viento respecto del terreno (m).

k_r: factor del terreno, según la tabla 4.2-b. de la IAP-11 [1], que se verá a continuación.

Z_0: longitud de la rugosidad, según la tabla 4.2-b. de la IAP-11 [1]

Z_{min}: altura mínima, según la tabla 4.2-b. de la IAP-11 [1]

Se consideran cinco tipos de entornos a la hora de calcular los parámetros anteriores, tal y como los define la norma:

- Tipo 0: mar o zona costera expuesta al mar abierto.
- Tipo I: lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos

- Tipo II: zona rural con vegetación baja y obstáculos aislados, (árboles, construcciones pequeñas, etc.), con separación de al menos 20 veces la altura del obstáculo.
- Tipo III: zona suburbana, forestal o industrial con construcciones y obstáculos aislada con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos.
- Tipo IV: zona urbana en la que al menos el 15% de la superficie esté edificada y la altura media de los edificios exceda de los 15 metros.

Tabla 3-4: Coeficientes k_r, Z_0, y Z_{min} según el tipo de entorno

TIPO DE ENTORNO	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
0	0,156	0,003	1
I	0,170	0,01	1
II	0,190	0,05	2
III	0,216	0,30	5
IV	0,235	1,00	10

Por lo tanto, para un entorno tipo II, y una Z=5,5 m del tablero, que son las condiciones del presente proyecto:

k_r = 0,190

Z_0 = 0,05 m

Z_{min} = 2 m

Podemos calcular $c_r(Z)$ para $Z > Z_{min}$

$$C_r(Z) = k_r \cdot \ln(\frac{Z}{Z_0}) = 0{,}190 \cdot \ln\left(\frac{5{,}5}{0{,}05}\right) = 0{,}893 \tag{17}$$

Y por tanto la velocidad media del viento es:

$$V_m(Z) = c_r(Z)\, c_o\, V_b(T) = 0{,}893 \cdot 1 \cdot 27{,}04 \frac{m}{s} = 24{,}146\, m/s \tag{18}$$

3.3.3.3 Empuje del viento

Para el cálculo de las cargas producidas por el viento es necesario conocer la geometría final de la estructura. Por tanto, se trata de un proceso iterativo hasta alcanzar

la solución final, ya que las cargas de viento dependen de la sección transversal de las barras, perpendicular a la acción del viento. En el presente proyecto, se presenta exclusivamente el cálculo sobre la geometría final tras dimensionarla en el programa "Robot Structural Analysis y comprobar que cumple la normativa vigente.

Según la norma IAP-11 [1] en su apartado 4.2.3, el empuje producido por el viento se calculará por separado para cada elemento de la pasarela.

Vendrá definido por la expresión:

$$F_w = \left[\frac{1}{2}\rho v_b^2(T)\right] c_e(z) c_f A_{ref} \tag{19}$$

Siendo:

F_w: empuje horizontal del viento.

ρ: densidad del aire, se tomará 1,25kg/m3

v_b: velocidad básica del viento, en este caso 27,04m/s

c_f: coeficiente de fuerza del elemento considerado

A_{ref}: área de referencia, que se obtendrá como la proyección de área solida expuesta sobre el plano perpendicular a la dirección del viento (m2)

$c_e(z)$: coeficiente de exposición en función de la altura z calculado según la fórmula:

$$c_e(z) = k_r^2 \left[c_o^2 \ln^2\left(\frac{z}{z_0}\right) + 7k_l c_o \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \text{ para } z \geq z_{min} \tag{20}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \text{ para } z < z_{min} \tag{21}$$

Donde:

k_l factor de turbulencia, que se tomará igual a 1,0

c_0 =1, z_0 y z_{min} según se definen en la tabla Tabla 3-4.

Por tanto, el coeficiente de exposición queda:

$$C_e(z) = 0{,}190^2 \left[1^2 \cdot \ln^2\left(\frac{5{,}5}{0{,}05}\right) + 7 \cdot 1 \cdot \ln\left(\frac{5{,}5}{0{,}05}\right)\right] = 1{,}985 \tag{22}$$

Por lo tanto:

$$F_w = \left[\frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 27{,}04^2\right] \cdot 1{,}985 \cdot c_f \cdot A_{ref} \tag{23}$$

Los valores c_f y A_{ref} dependerán de los elementos sobre los que actúa el viento, y se estudian de forma independiente.

Para evaluar la acción del viento sobre la estructura se considerará su actuación en dos direcciones:

- Perpendicular al eje del tablero: dirección transversal (Y). Esta componente podrá ir acompañada de una componente asociada en dirección vertical (Z).
- Paralela al eje del tablero: dirección longitudinal (X).

Se comienza calculando las cargas del viento sobre el tablero.

3.3.3.4 Empuje del viento sobre tableros

El empuje del viento sobre los tableros viene recogido en el punto 4.2.5 de la norma IAP-11 [1].

3.3.3.4.1 Efectos provocados por el viento transversal

Tendrá dos componentes, una horizontal y otra vertical.

3.3.3.4.1.1 Empuje horizontal

En este caso, la norma diferencia entre dos tipos de tableros:

a) *Tableros de alma llena:* Se incluyen en este caso los tableros con alma llena de tipo cajón (sencillo o múltiple), las losas o los tableros de vigas.

b) *Tableros de tipo celosía.*

En este caso, la plataforma de la pasarela es de alma llena.

$$c_{f,y} = 2{,}5 - 0{,}3\left(\frac{B}{h_{eq}}\right) \tag{24}$$

donde:

B anchura total del tablero [4m]

h_{eq} altura equivalente [m] obtenida, considerando, además del propio tablero, la altura de cualquier elemento no estructural que sea totalmente opaco frente al

viento o, si se tiene en cuenta la presencia de la sobrecarga de uso, la altura de ésta, en caso de ser más desfavorable.

En cualquier caso, el coeficiente $c_{f,x}$ se considerará limitado por los valores siguientes:

$$1{,}3 < c_{f,x} < 2{,}4 \tag{25}$$

Si los elementos no estructurales (sistemas de contención, barandillas o pantallas) son permeables al viento, no se considerarán en la determinación de esta altura equivalente $h_{eq.}$

En este proyecto la $h_{eq.}$ será por tanto la suma de 1,25 m que expone la norma en el apartado 4.2.3 ‘’Empuje del viento’’ y el canto de la viga longitudinal (30 cm)

$$h_{eq.} = 1{,}25\ m + 0{,}30\ m = 1{,}55\ m \tag{26}$$

Por tanto:

$$c_{f,y} = 2{,}5 - 0{,}3\left(\frac{B}{h_{eq}}\right) = 2{,}5 - 0{,}3 \cdot \left(\frac{4}{1{,}55}\right) = 1{,}7 \tag{27}$$

Lo cual cumple la condición:

$$1{,}3 < c_{f,y} < 2{,}4 \tag{28}$$

El empuje transversal horizontal que sufre el tablero será:

$$F_{w,y} = \left[\frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 27{,}04^2\right] \cdot 1{,}985 \cdot c_{f,y} \cdot A_{ref} \tag{29}$$

Siendo:

$$A_{ref} = h_{eq}L = 1{,}50\ m \cdot 33\ m = 49{,}5\ m^2 \tag{30}$$

Pero para expresar la carga en kN/m, se introduce heq en lugar de Aref.

$$F_{w,y} = \left[\frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 27{,}04^2\right] \cdot 1{,}985 \cdot 1{,}72 \cdot 1{,}50 = 2{,}34\ kN/m \tag{31}$$

3.3.3.4.1.2 Empuje vertical

Según el punto 4.2.5.1.2 de la norma IAP-11 [1], se considera un empuje vertical (Z), sobre el tablero actuando en el sentido más desfavorable, igual a:

$$F_{w,z} = \left[\frac{1}{2}\rho v_b^2(T)\right] c_e(z) c_{f,z} A_{ref,z} \tag{32}$$

Donde:

$F_{w,z}$ empuje vertical del viento (N)

$\frac{1}{2}\rho v_b^2(T)$ presión de la velocidad básica del viento.

$c_e(z)$ coeficiente de exposición,

$c_{f,z}$ coeficiente de fuerza en Z = +- 0,9

$A_{ref,z}$ área en planta del tableto (m^2)

La fuerza vertical que soporta el tablero será:

$$F_{w,z} = \left[\frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 27{,}04^2\right] \cdot 1{,}985 \cdot 0{,}9 \cdot (4 \cdot 33) = 107.763{,}17\ kN = 107{,}76\ kN \tag{33}$$

Esta fuerza vertical sobre el tablero es soportada por las viguetas transversales, por lo que se distribuirá linealmente entre las 23 viguetas, contando con su correspondiente área tributaria.

- En las viguetas centrales:

$$F_{w,z} = \left[\frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 27{,}04^2\right] \cdot 1{,}985 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}5 = 1224{,}58\ N/m = 1{,}223\ kN/m \tag{34}$$

- En las viguetas extremas:

$$F_{w,z} = \left[\frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 27{,}04^2\right] \cdot 1{,}985 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}75 = 612{,}29\ N/m = 0.612\ kN/m \tag{35}$$

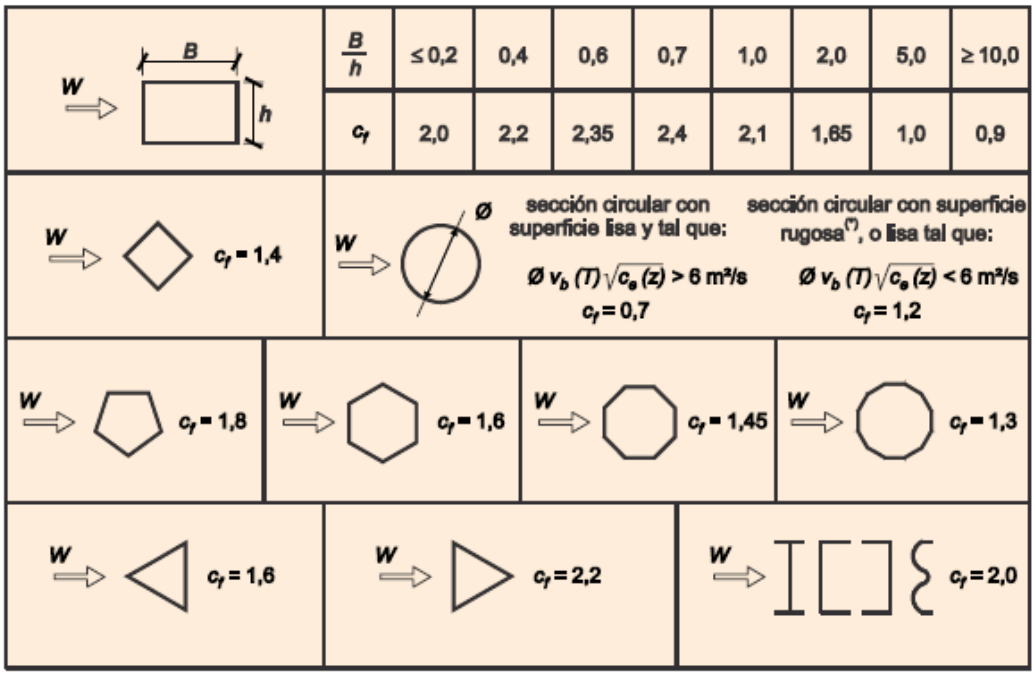
3.3.3.5 Empuje del viento sobre arcos y péndolas

Según el apartado 4.2.7 de la IAP-11 [1], el cálculo del empuje de viento sobre otros elementos del puente tales como cables, péndolas o los sistemas de iluminación y señalización, se realizará también a partir de las áreas de referencia y los coeficientes de

fuerza indicados en la figura 4.2-b del punto 4.2.3. En este caso será necesario tener en cuenta el empuje sobre todos los elementos sin considerar posibles efectos de apantallamiento.

Por tanto, se extrae de la siguiente tabla los coeficientes de fuera:

Tabla 3-5: Coeficiente de fuerza Cf para las secciones más habituales.



❖ ARCO:

Los perfiles que conforman el arco son de sección circular de 0,355 m de diámetro.

Según la tabla anterior:

$c_{f,y}$ = 1,2 para perfiles cilíndricos lisos de diámetro que cumplan con la condición:

$$\emptyset \cdot V_b(T) \cdot \sqrt{c_e(z)} < 6\frac{m^2}{s} \tag{36}$$

$c_{f,y}$ = 0,7 para perfiles cilíndricos lisos de diámetro que cumplan con la condición:

$$\emptyset \cdot V_b(T) \cdot \sqrt{c_e(z)} > 6\frac{m^2}{s} \tag{37}$$

Sustituyendo:

$$\emptyset \cdot V_b(T) \cdot \sqrt{c_e(z)} = 0{,}470 \cdot V_b(T) \cdot \sqrt{c_e(z)} = 0{,}355 \cdot 27{,}04 \cdot \sqrt{1{,}985} = 13{,}52\ m^2/s > 6\ m^2/s \quad (38)$$

Por tanto $c_f = 0{,}7$.

Así tenemos:

$$F_{w,y} = \left[\frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 27{,}04^2\right] \cdot 1{,}985 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}355 = 0{,}225\ kN/m \quad (39)$$

- PÉNDOLAS

Los perfiles que conforman las péndolas son cilíndricos, de diámetro 0,114 m. Por tanto, según la tabla Tabla 3-5

$c_{f,y}$ = 1,2 para perfiles cilíndricos lisos de diámetro que cumplan con la condición:

$$\emptyset \cdot V_b(T) \cdot \sqrt{c_e(z)} < 6\frac{m^2}{s} \quad (40)$$

$c_{f,y}$ = 0,7 para perfiles cilíndricos lisos de diámetro que cumplan con la condición:

$$\emptyset \cdot V_b(T) \cdot \sqrt{c_e(z)} > 6\frac{m^2}{s} \quad (41)$$

Sustituyendo:

$$\emptyset \cdot V_b(T) \cdot \sqrt{c_e(z)} = 0{,}114 \cdot V_b(T) \cdot \sqrt{c_e(z)} = 0{,}114 \cdot 27{,}04 \cdot \sqrt{1{,}985} = 4{,}34\frac{m^2}{s} < 6\ m^2/s \quad (42)$$

Por tanto $c_f = 1{,}2$.

Así tenemos:

$$F_{w,y} = \left[\frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 27{,}04^2\right] \cdot 1{,}985 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}114 = 124{,}09\frac{N}{m} = 0{,}124\ kN/m \quad (43)$$

3.3.3.5.1 Empuje provocado por el viento longitudinal

Recogido en el punto 4.2.5.1.3 de la IAP-11 [1], se considerará un empuje horizontal paralelo al eje del puente (dirección X) sobre los elementos de desarrollo longitudinal (tablero).

El empuje longitudinal será una fracción del empuje transversal producido por el viento transversal (dirección Y), multiplicado por un coeficiente reductor. El valor de dicha fracción será:

- 25% para los elementos sólidos (tableros tipo cajón, losa o vigas, sistemas de contención no permeables, pantallas antirruido, sobrecarga de uso, etc.). Para el cálculo de este empuje longitudinal no se considerará la reducción debida a la inclinación de las almas en los tableros de alma llena.

- 50% para los elementos que presenten huecos (tableros tipo celosía, sistemas de contención permeables, barandillas y, en su caso, sobrecargas de uso).

El coeficiente reductor, será el definido por la expresión:

$$1 - \left[\frac{7}{c_0 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) + 7}\right] \Phi[L/L(z)] \tag{44}$$

Donde:

c_0 factor de topografía

$\Phi\left[\frac{L}{L(z)}\right] = 0{,}230 + 0{,}182 \ln\left[\frac{L}{L(z)}\right]$ estando comprendido entre 0 y 1.

L longitud sobre la cual actúa el empuje longitudinal (m). Se tomará igual a la longitud total del puente.

$L(z)$ longitud integral de la turbulencia (m) definida por:

$$L(z) = \begin{cases} 300(z_{\text{min}}/200)^{\alpha} & \text{para } z < z_{\text{min}} \\ 300(z/200)^{\alpha} & \text{para } z_{min} \leq z \leq 200 \\ 300 & \text{para } z > 200 \end{cases}$$

Z altura del punto de aplicación del empuje de viento respecto del terreno

z_0, z_{min} coeficientes definidos en la Tabla 3-4

α coeficientes definidos en la Tabla 3-6

Tabla 3-6: Coeficiente α según el tipo de entorno.

TIPO DE ENTORNO	α
0	0,38
I	0,44
II	0,52
III	0,61
IV	0,67

En nuestro caso, como:

$$200 > Z(m) = 5{,}5 > Z_{min}(m) = 2 \tag{45}$$

Se tiene:

$$L(Z) = 300 \cdot \left(\frac{5{,}5}{200}\right)^{0{,}52} = 46{,}29 \tag{46}$$

$$\Phi\left[\frac{L}{L(z)}\right] = 0{,}230 + 0{,}182 \cdot \ln\left[\frac{L}{L(z)}\right] = 0{,}230 + 0{,}182 \cdot \ln\left[\frac{33}{46{,}29}\right] = 0{,}168 \tag{47}$$

Así, el coeficiente de reducción resultante es:

$$C_{reducción} = 1 - \left[\frac{7}{1 * \ln\left(\frac{5{,}5}{0{,}05}\right) + 7}\right] \cdot 0{,}168 = 0{,}899 \tag{48}$$

Conociendo factor de reducción podemos calcular el empuje longitudinal aplicado a cada elemento:

$$F_{w,x} = 0{,}25 \cdot \sum F_{w,y} \cdot C_{reducción} \tag{49}$$

- Viguetas inferiores

Sustituyendo valores:

$$F_{w,x} = 0{,}25 \cdot (2{,}34 + 0{,}257 + 0{,}124) \cdot 0{,}899 = 0{,}612\ kN/m \tag{50}$$

- Tornapuntas inferiores

Se considera que las tornapuntas inferiores se encuentran en el mismo plano que las viguetas inferiores, por lo que serán éstas últimas sobre las que actuará el viendo longitudinal. Por tanto, no procede calcularlo para las tornapuntas inferiores.

- Viguetas superiores

Las viguetas superiores tendrán el mismo empuje en Y que el arco y las péndolas combinados. Por tanto, el empuje horizontal será.

Sustituyendo valores:

$$F_{w,x} = 0{,}25 \cdot (0{,}257 + 0{,}124) \cdot 0{,}899 = 0{,}085\ kN/m \tag{51}$$

- Tornapuntas superiores

En el caso de las tornapuntas superiores, no se encuentran en el mismo plano que las viguetas superiores, por lo que sí se produce empuje del viento. Tendrá el mismo valor que en las viguetas superiores.

$$F_{w,x} = 0{,}25 \cdot (0{,}257 + 0{,}124) \cdot 0{,}899 = 0{,}085\ kN/m \tag{52}$$

Por tanto, a modo de resumen de cargas de viento, se presenta la siguiente tabla.

Tabla 3-7: resumen de cargas de viento

Tablero dirección Y (viguetas transversales) (kN/m)	2,34
Arco dirección Y (kN/m)	0,257
Péndolas dirección Y (kN/m)	0,124
Viguetas transversales dirección X (kN/m)	0,634
Viguetas superiores dirección X (kN/m)	0,085
Tornapuntas superio. dirección X (kN/m)	0,085
Viguetas centrales dirección -Z (kN/m)	1,22
Viguetas extremas dirección -Z (kN/m)	0,61

3.4 Acciones accidentales

3.4.1 Sismo

La norma IAP-11 [1] indica que la acción sísmica en los proyectos de puentes se considerará de acuerdo con las prescripciones recogidas en la *Norma de Construcción Sismorresistente de Puentes (NCSP-07)* [2].

Así mismo, también indica:

> *Para la clasificación de los puentes por su importancia, exclusivamente a efectos de la aplicación de dicha Norma, se distinguirán las siguientes categorías:*
>
> *a) Puentes de importancia moderada*
>
> *Se podrán incluir en esta categoría aquellos puentes o estructuras en los que la consideración de la acción sísmica no sea económicamente justificable, siempre que no sean críticos para el mantenimiento de las comunicaciones.*

Por tanto, en el presente proyecto, a efectos de simplificación, se considerará que la pasarela es de importancia moderada, y se excluirá del cálculo de la acción sísmica.

3.4.2 Impacto.

El cálculo de la infraestructura queda fuera del alcance del presente trabajo, por lo que no procede calcular cargas provocadas por impactos que actuarían sobre los pilares.

4 DISEÑO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

El diseño 3D de la estructura se modelará con el programa informático *Revit 2020*, y se calculará con el programa *Robot Structural Analysis 2020,* ambos de la compañía *Autodesk*.

4.1 Modelado de la pasarela en Revit

Para comenzar el diseño en Revit en necesario establecer, en primer lugar, la rejilla de trabajo. Ello facilitará la posterior disposición de los distintos elementos que compondrán la pasarela. Las opciones de rejilla se alojan en la pestaña de arquitectura.

Para realizar la rejilla nos basamos en las medidas de la pasarela, concretamente el ancho y el largo. También se introduce la separación entre viguetas.

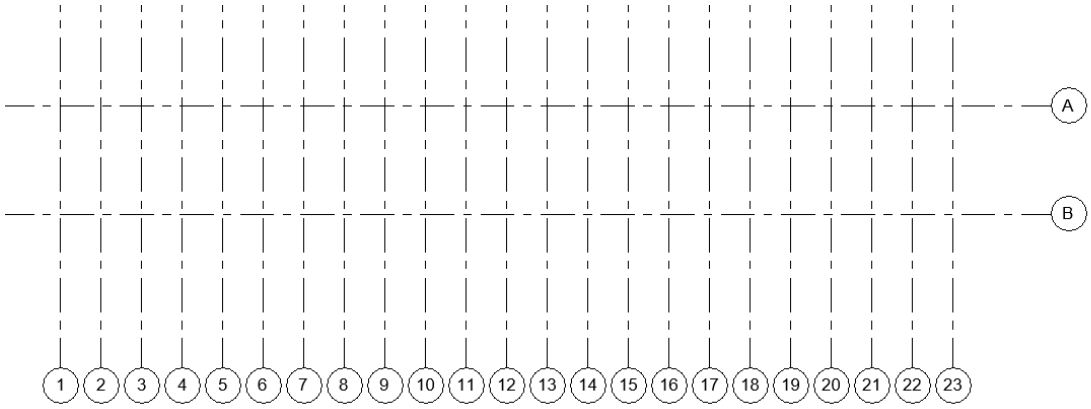


Ilustración 4-1: Creación de rejilla

La rejilla 1-23 marca el largo de la pasarela. Las rejillas A-B marca el ancho.

Una vez realizada la rejilla, es necesario establecer los distintos niveles verticales de la pasarela. Para ello cambiamos la vista oeste, y en la pestaña estructura, seleccionamos la opción Nivel.

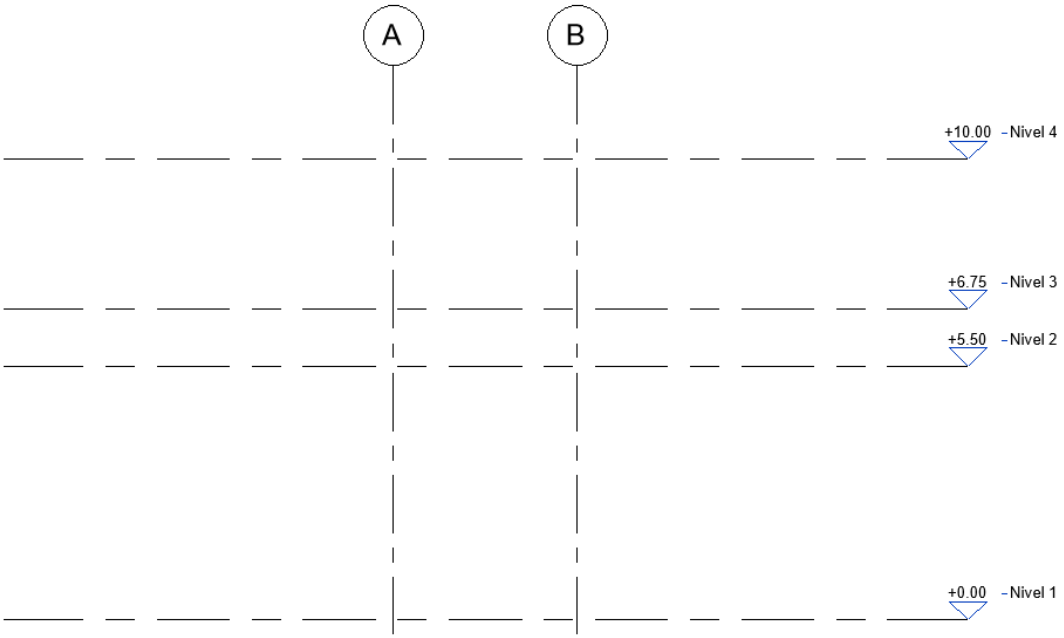


Ilustración 4-2: niveles de trabajo.

Establecemos cuatro niveles:

- Nivel 1: sería el nivel suelo.
- Nivel 2: nivel del tablero. A 5,5 metros del suelo.
- Nivel 3: altura de la barandilla. A 6,25 metros del suelo, y a 1,25 metros del tablero.
- Nivel 4: punto más alto del arco. A 10 metros del suelo, y a 5,5 metros del tablero.

Lo siguiente es acotar la rejilla. Para ello, volvemos a la vista de nivel, y seleccionamos la pestaña “anotar”. Una vez ahí, seleccionamos “alineada”.

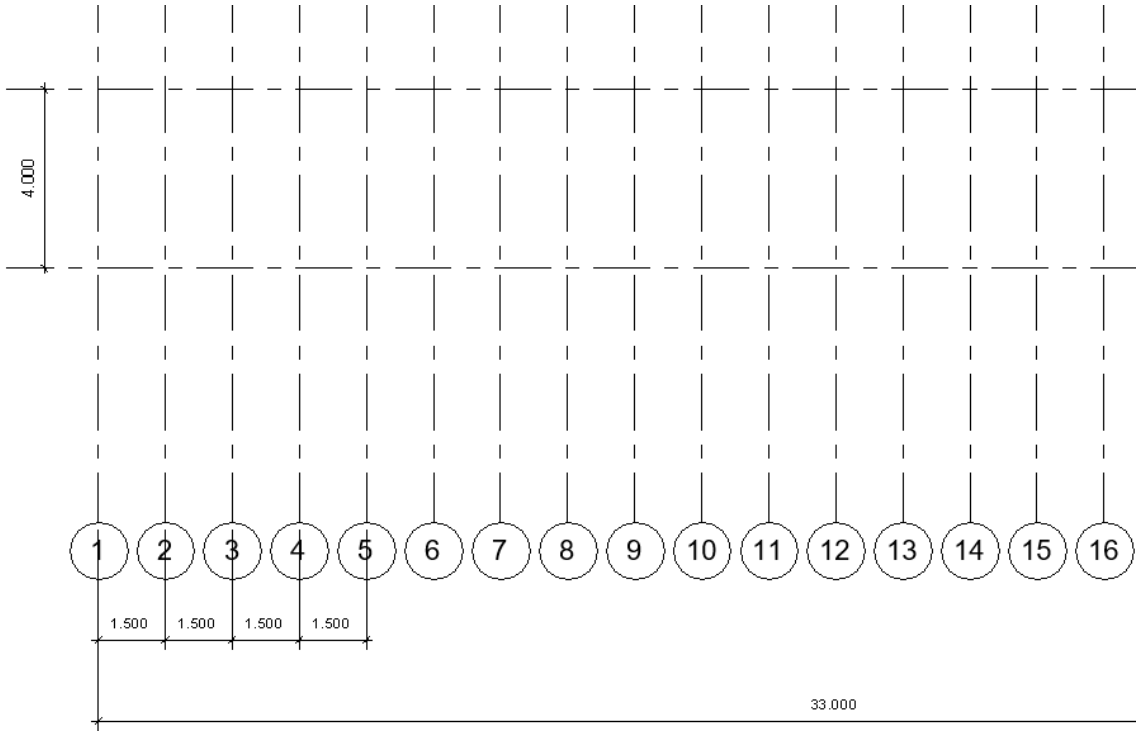


Ilustración 4-3 acotación de la rejilla

Por tanto, la pasarela tiene una longitud de 33 m y una anchura de 4 m.

Una vez establecidos las rejillas y los niveles, asegurando su correcto distanciamiento, se comienza a elaborar el modelo.

Lo primero será introducir las vigas longitudinales y viguetas transversales, arriostrando la pasarela con tornapuntas. Para ello seleccionamos la vista “nivel 2”, y en la pestaña “estructura”, seleccionamos esos elementos y lo vamos ubicando en el plano de trabajo.

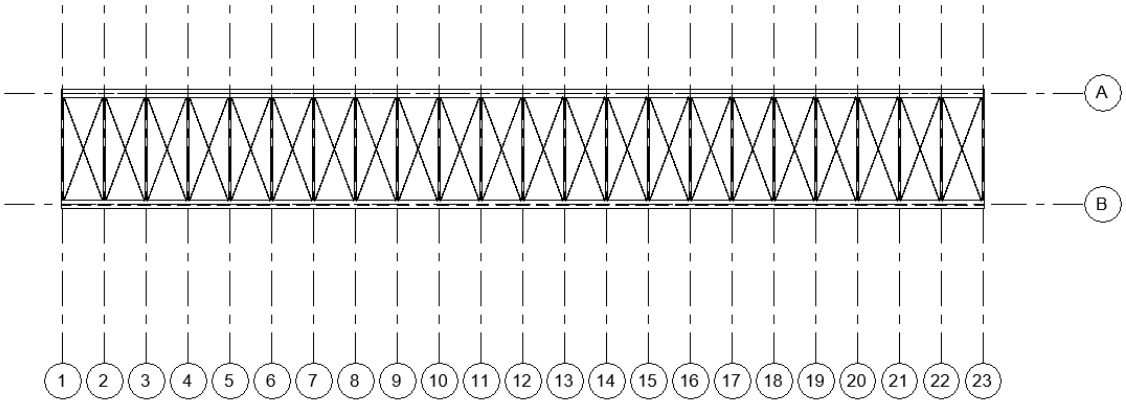


Ilustración 4-4 Vista de planta de vigas longitudinales, viguetas y tornapuntas.

A continuación, se procede a realizar el arco. Para ello se realizará un arco guía que sirve para colocar sobre él el perfil estructural seleccionado. Seleccionamos la vista oeste. A continuación, seleccionamos en la pestaña estructura, “línea modelo”. En el cuadro, elegimos Rejilla: B

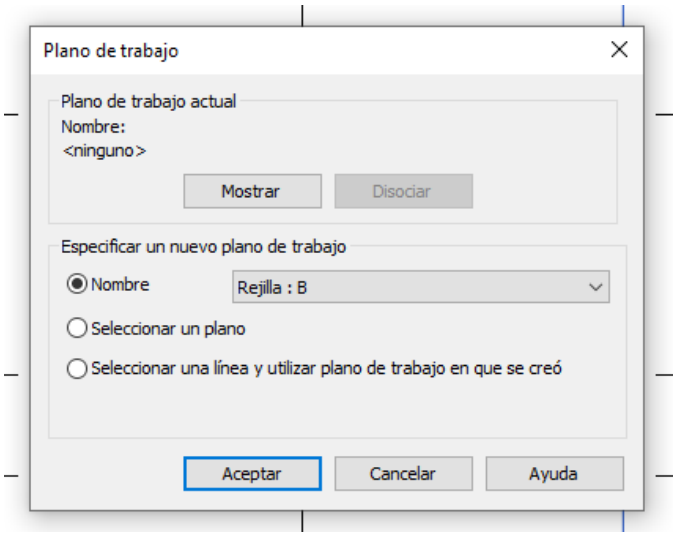


Ilustración 4-5: selección de plano de trabajo.

En la siguiente venta seleccionamos “vista norte”.

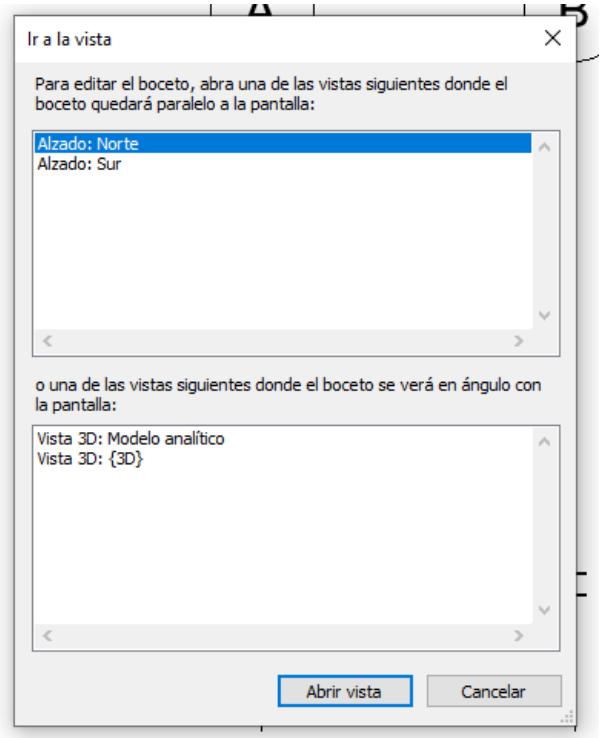


Ilustración 4-6: selección de vista

Trazamos la línea de modelo.

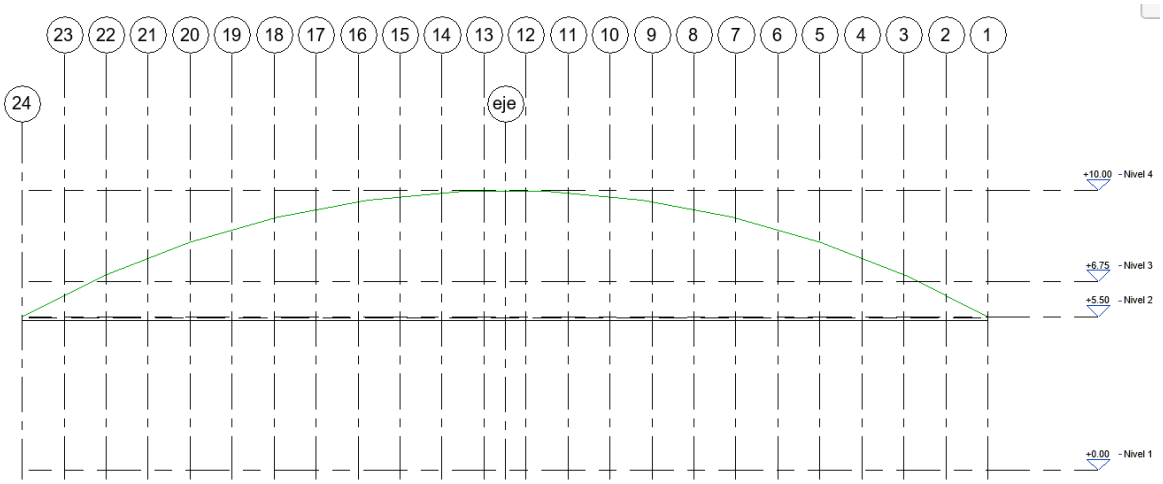


Ilustración 4-7: Línea de modelo para arco 1.

Repetimos la operación para la línea de modelo de la rejilla A. En esta ocasión seleccionaremos “rejilla A” cuando el programa solicite un plano de trabajo, y “alzado sur” cuando solicite una vista.

A continuación, introducimos el arco. En la pestaña estructura, seleccionamos viga, y activamos “seleccionar líneas”.

Volvemos a elegir los mismos planos que para introducir las líneas de modelo, y seleccionamos la línea de modelo. Automáticamente aparecerá el arco con el perfil elegido.

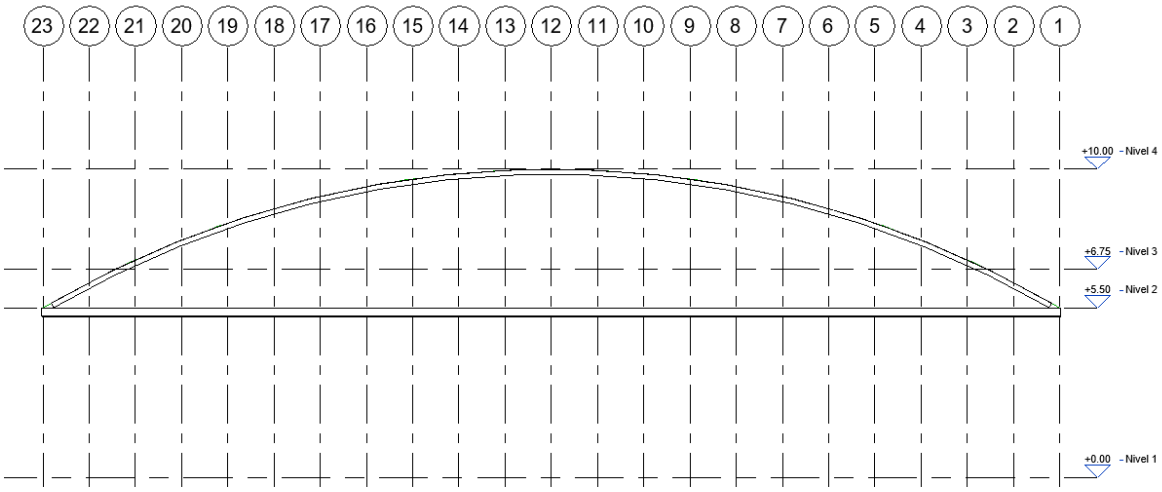


Ilustración 4-8: alzado del arco

Es momento de introducir las péndolas. Como son de tipo Nielsen, serán inclinadas.

De nuevo, marcando la pestaña estructura y seleccionando pilar, las introducimos.

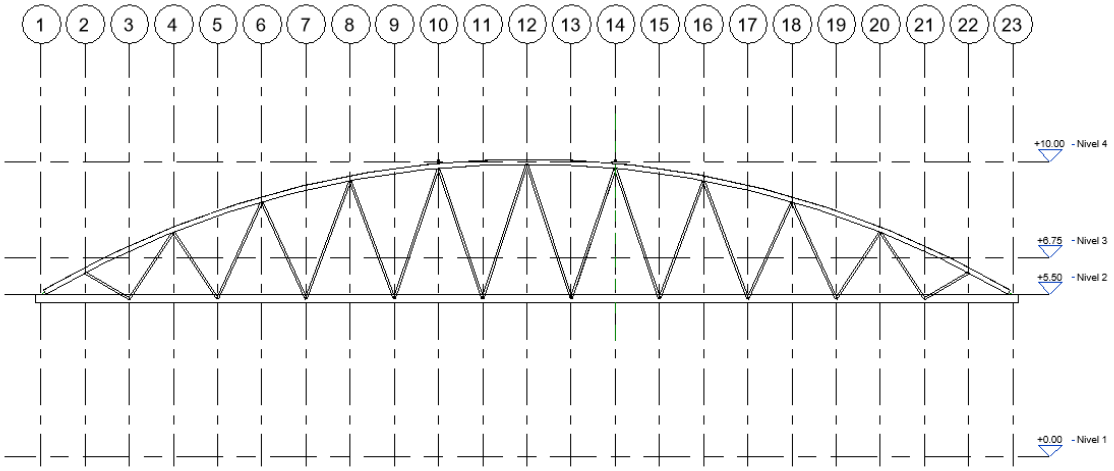


Ilustración 4-9: Péndolas

Y, por último, diseñamos las riostras superiores y tornapuntas.

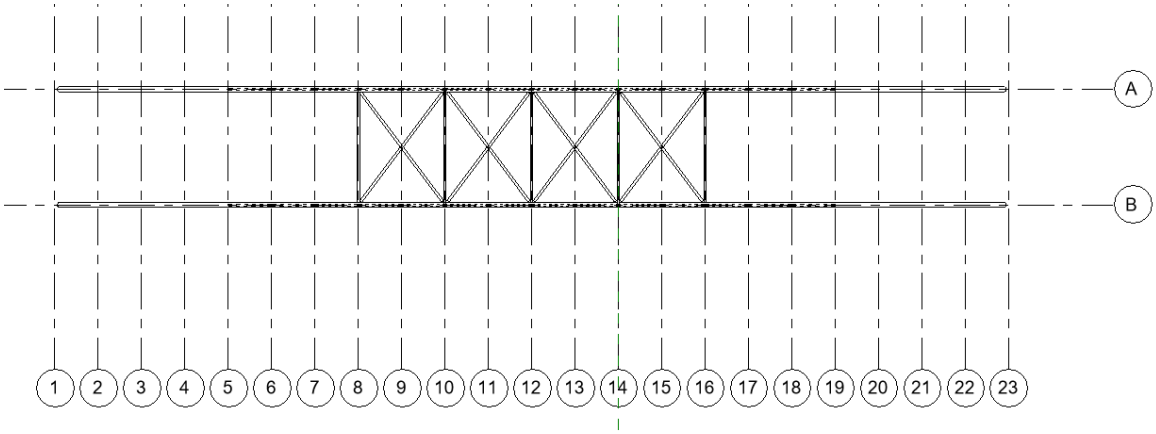


Ilustración 4-10: Riostras y tornapuntas.

El resultado en 3D es el que sigue.

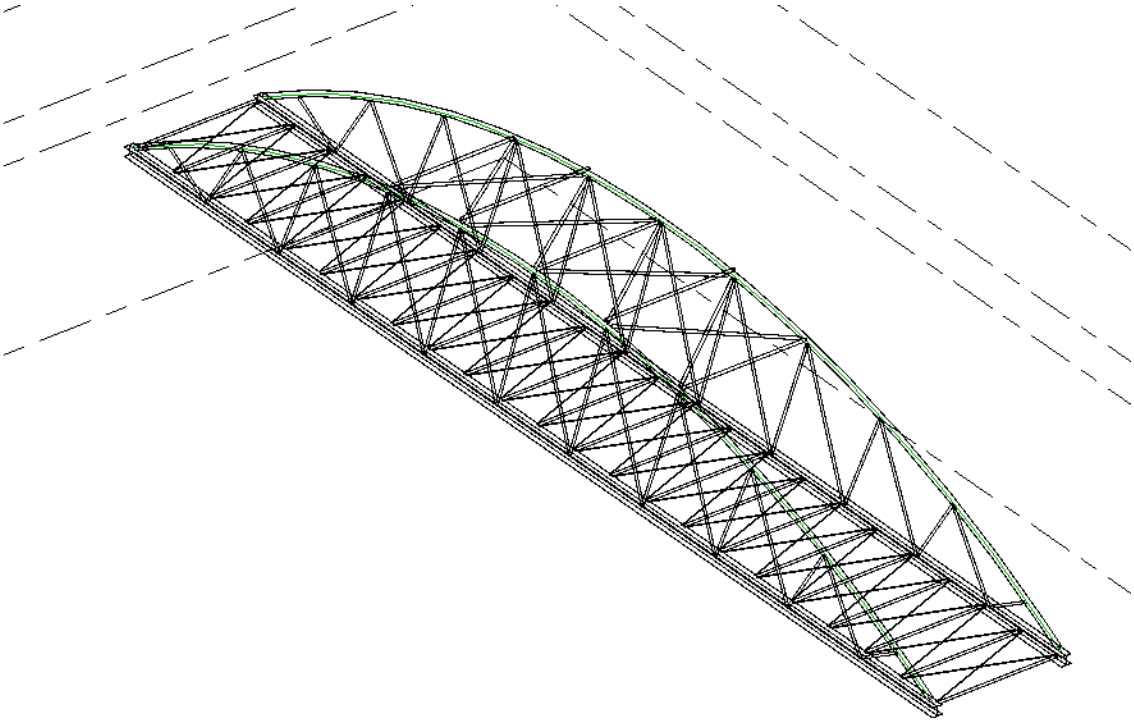


Ilustración 4-11: Visualización 3D de la pasarela.

4.2 Definición de la estructura en Robot Structural Analysis

Una vez está modelada la estructura en Revit, se exporta al programa de cálculo. Para ello se emplea la herramienta “Robot Structural Analysis” en su opción *link*. Ésta se encuentra en la pestaña “análisis”.

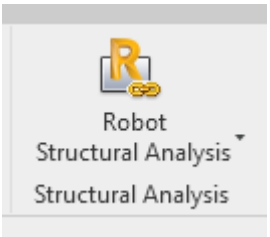


Ilustración 4-12: Botón para exportar a Robot.

La exportación resulta en el modelo siguiente:

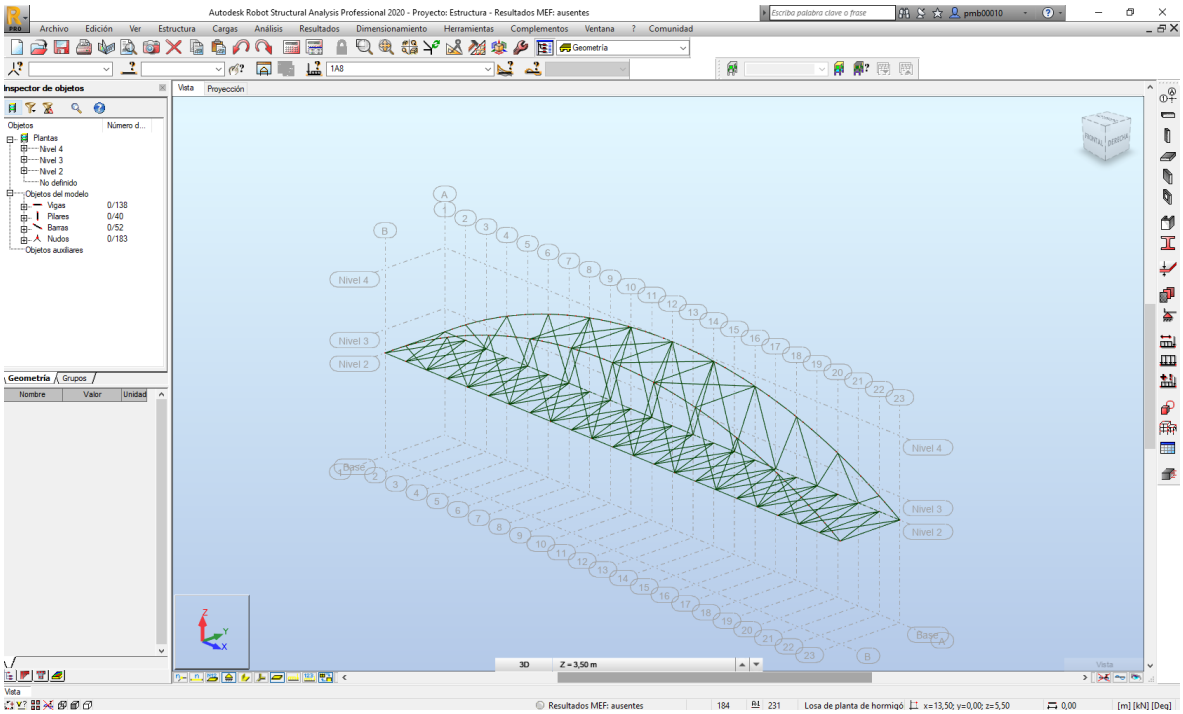


Ilustración 4-13: estructura importada en Robot

4.2.1 Definición de grupos.

Lo primero a realizar en Robot Structural Analysis es crear los grupos de barras. Esto facilitará posteriormente definir las barras en bloques. Además, en caso de cambio o ajuste, no será necesario hacerlo de barra en barra.

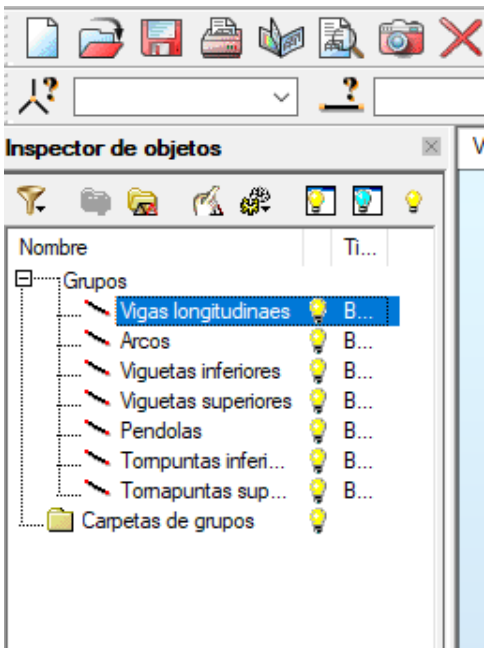


Ilustración 4-14: grupos de barras

4.2.2 Definición de los apoyos

Los apoyos introducidos para calcular esta estructura sólo permiten el giro en Y. El eje Y, en el programa, es el eje transversal de la pasarela.

Por tanto, la definición de los apoyos queda así:

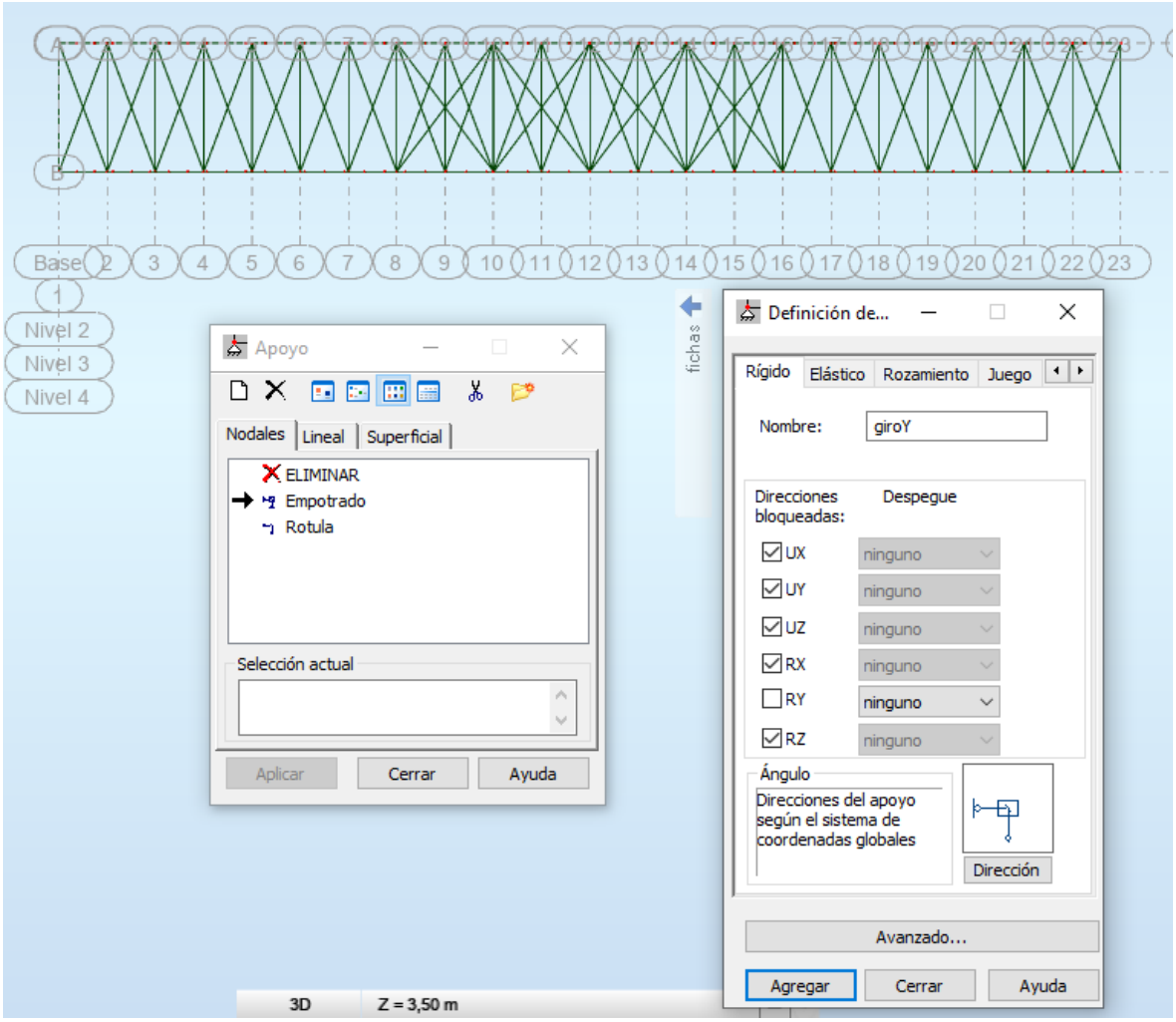


Ilustración 4-15: creación de un nuevo apoyo.

4.2.3 Definición de cargas

Las cargas se definen desde la pestaña “cargas”, opción casos de carga, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

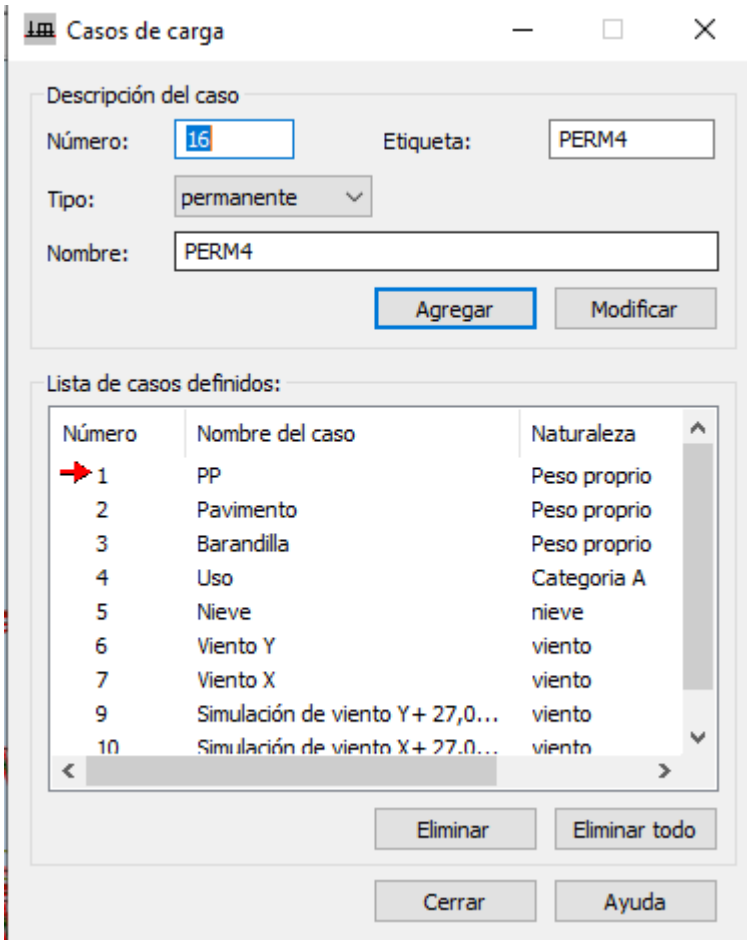


Ilustración 4-16: casos de carga.

Por defecto vienen varios casos, pero será necesario editarlos e introducirlos manualmente.

4.2.3.1 Peso propio

El valor de esta carga se realiza de forma automática por el programa en función de los perfiles estructurales seleccionados.

4.2.3.2 Pavimento

El peso del pavimento se calculó en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de este proyecto. Tras definir su caso de carga. Se introduce su valor como carga distribuida, a aplicar a las viguetas centrales transversales y extremas.

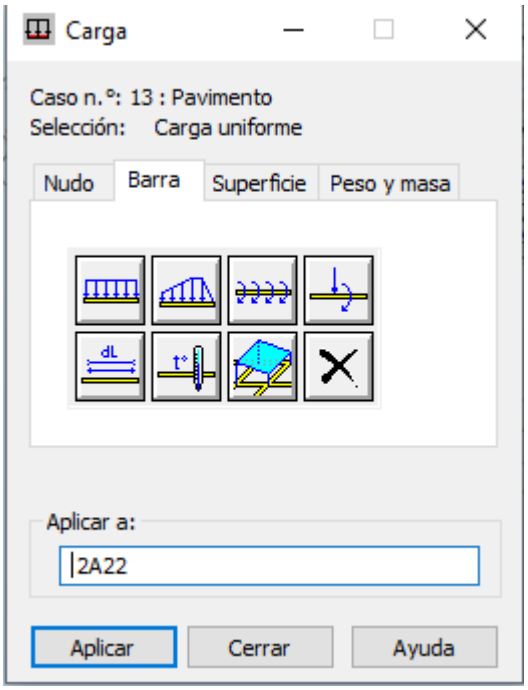


Ilustración 4-17: aplicación de carga pavimento a viguetas centrales

Y se introduce su valor.

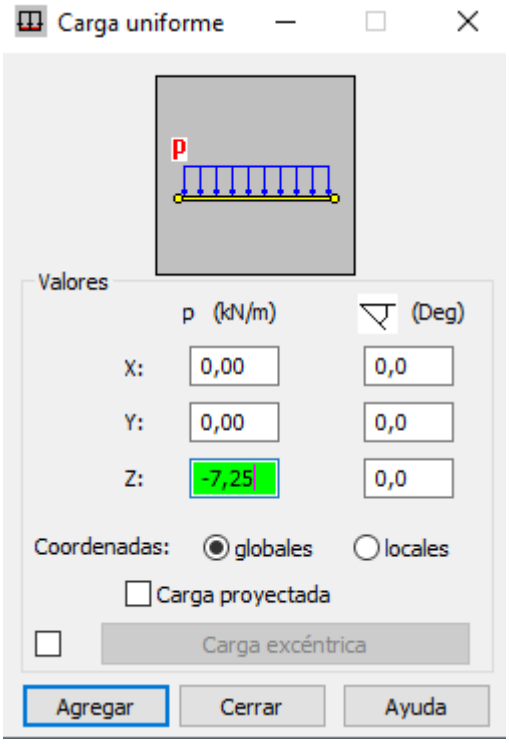


Ilustración 4-18: valor de carga pavimento.

El resultado es:

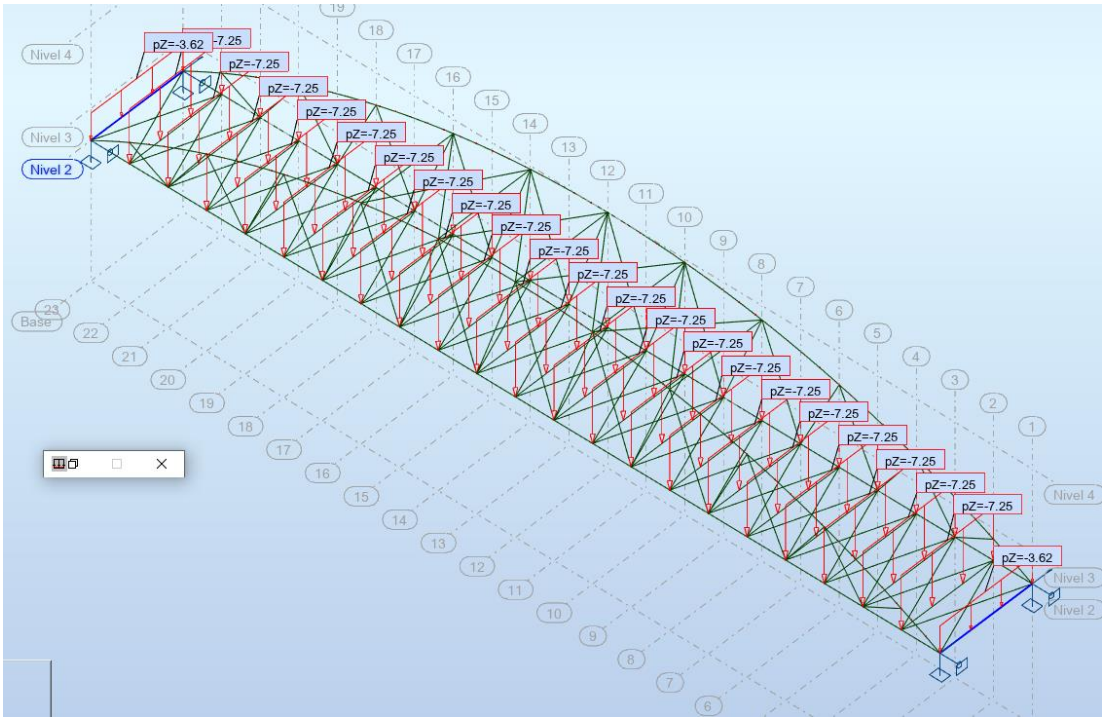


Ilustración 4-19: carga pavimento.

4.2.3.3 Barandilla

El valor de la carga de la barandilla es de 1,5 kN/m a lo largo de las vigas longitudinales de forma perpendicular.

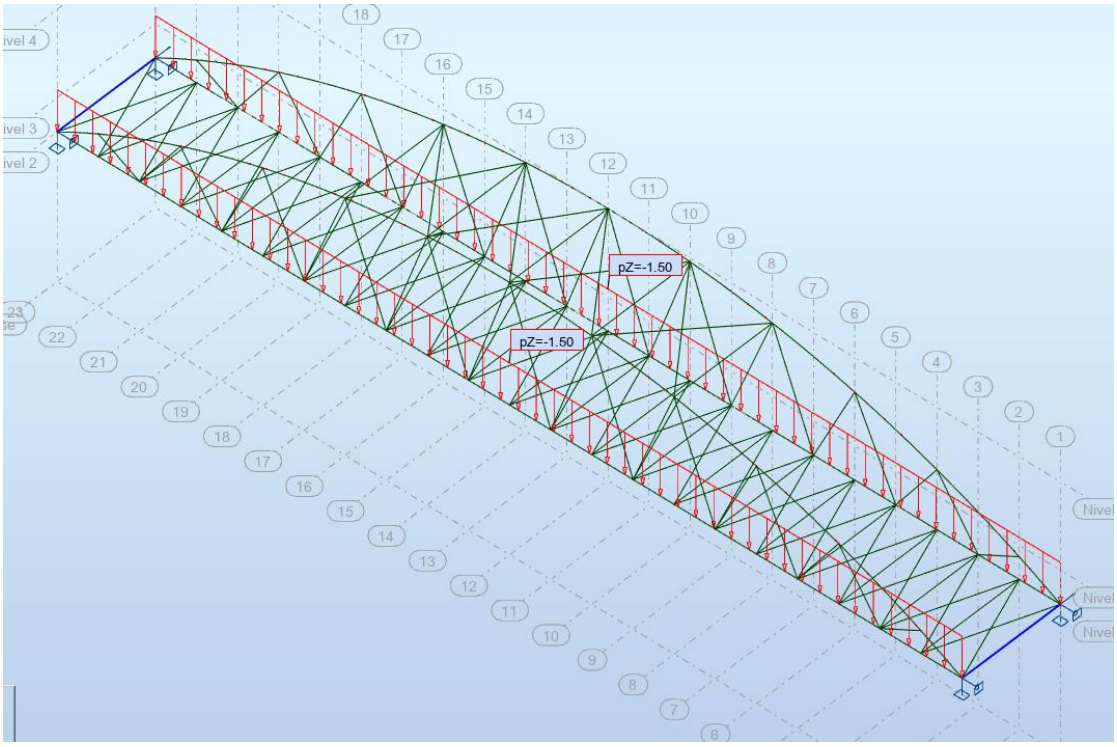


Ilustración 4-20: carga barandilla

4.2.3.4 Sobrecarga de uso

Tal y como se calculó en el apartado de sobrecarga de uso, los valores son:

- Vigas centrales:

$$q_{fk=}5\ \frac{kN}{m^2} \cdot 1{,}5\ m = 7{,}5\frac{kN}{m}$$

Y la carga horizontal.

$$Q_{flk} = q_{fk} \cdot 10\% = 7{,}5\ \frac{kN}{m} \cdot 0{,}1 = 0{,}75\frac{kN}{m}$$

- Vigas de los extremos:

$$q_{fk=}5\ \frac{kN}{m^2} \cdot 0{,}75\ m = 3{,}75\frac{kN}{m}$$

Y la carga horizontal:

$$Q_{flk} = q_{fk} \cdot 10\% = 7{,}5\ \frac{kN}{m} \cdot 0{,}1 = 0{,}375\frac{kN}{m}$$

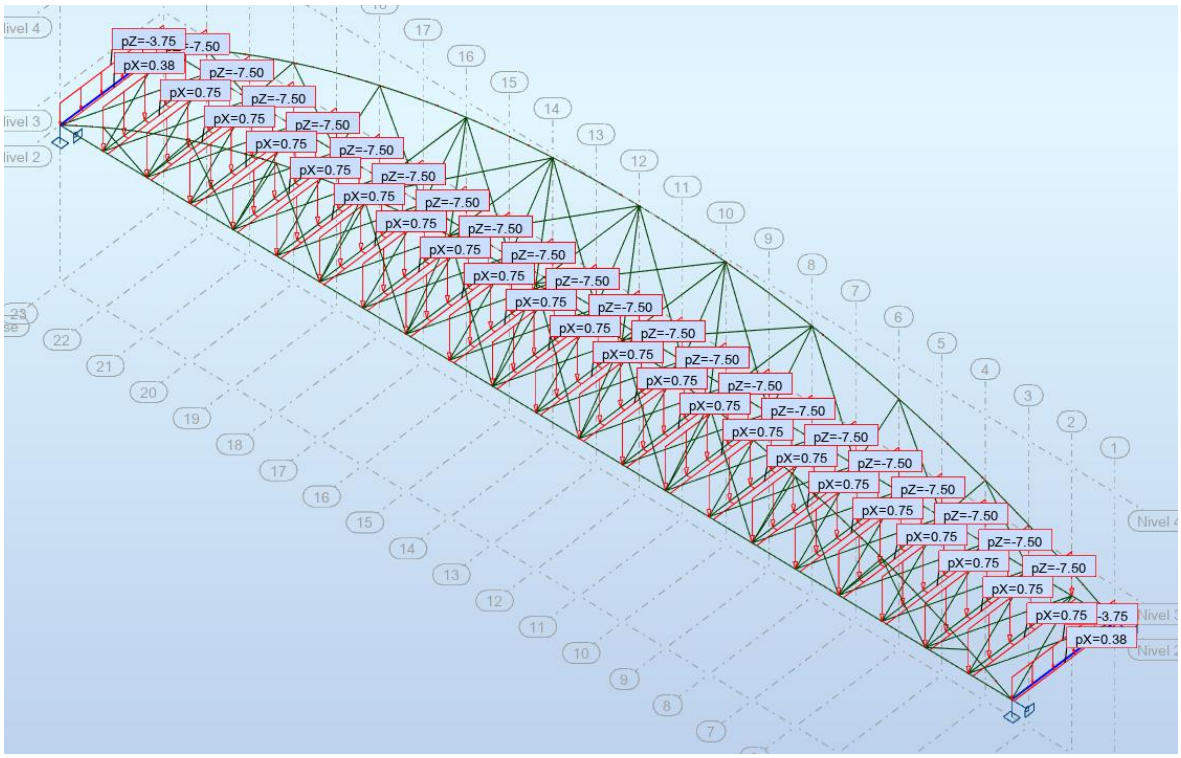


Ilustración 4-21: sobrecarga de uso

4.2.3.5 Nieve

Las cargas de nieve calculadas previamente son:

- Vigas centrales:

$$q_k = 0{,}24 \cdot 1{,}5 = 0{,}36 \frac{kN}{m}$$

- Vigas de los extremos:

$$q_k = 0{,}24 \cdot 0{,}75 = 0{,}18 \frac{kN}{m}$$

Al introducirlas en el programa de cálculo, resultan:

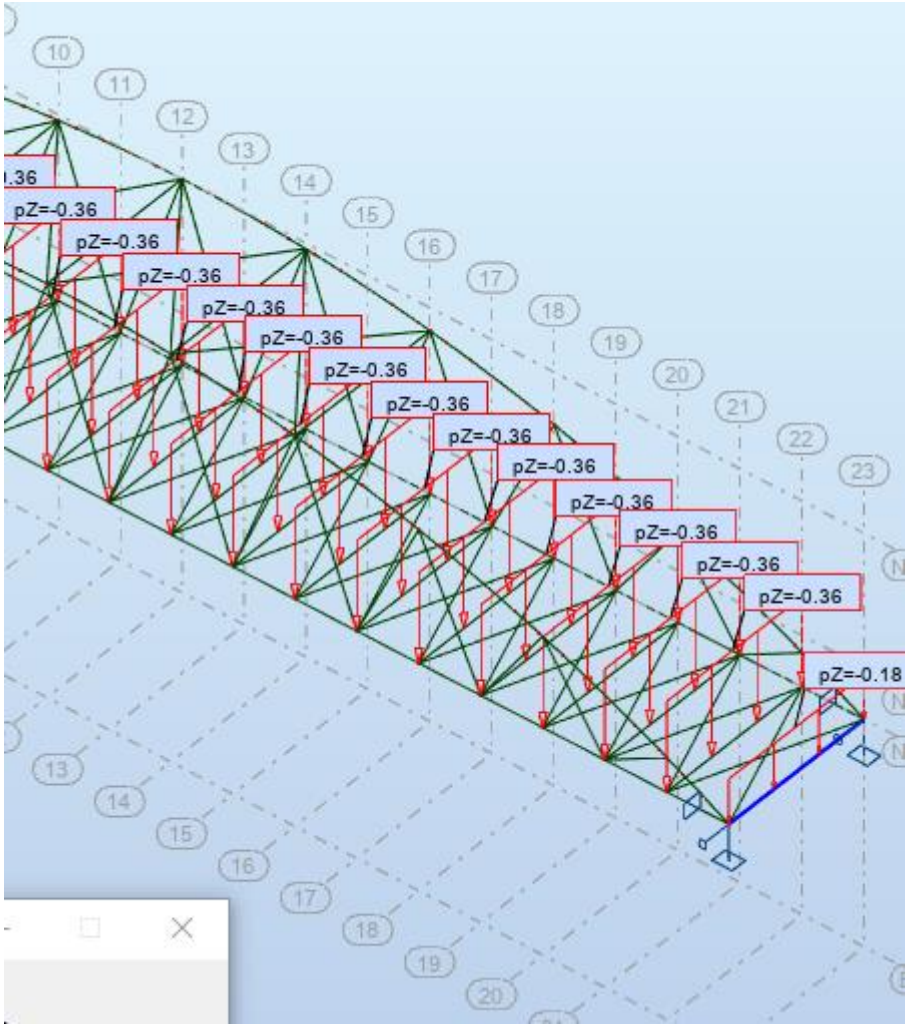


Ilustración 4-22: cargas de nieve

4.2.3.6 Viento

Las cargas de viento se definirán de dos maneras. Una, calculándolas según la norma IAP-11 [1]. La otra, mediante la simulación de dichas cargas de viento mediante la opción correspondiente de Robot Structural Analysis.

La IAP-11 [1] establece dos direcciones del viento, según el eje X y según el eje Y, ya que la estructura es simétrica. Así, el viento se simulará en esas mismas dos direcciones, con el fin de poder establecer una comparativa. En total serán cuatro hipótesis de viento.

El objetivo de estas simulaciones será comprobar si las cargas introducidas según la IAP-11 [1] son del mismo orden de magnitud, aunque del lado de la seguridad, que sería lo esperable en una normativa.

Lo primero será panelar las barandillas y el tablero, para incluir estos elementos como cerramientos. En la pestaña “estructura”, seleccionamos “cerramientos”.

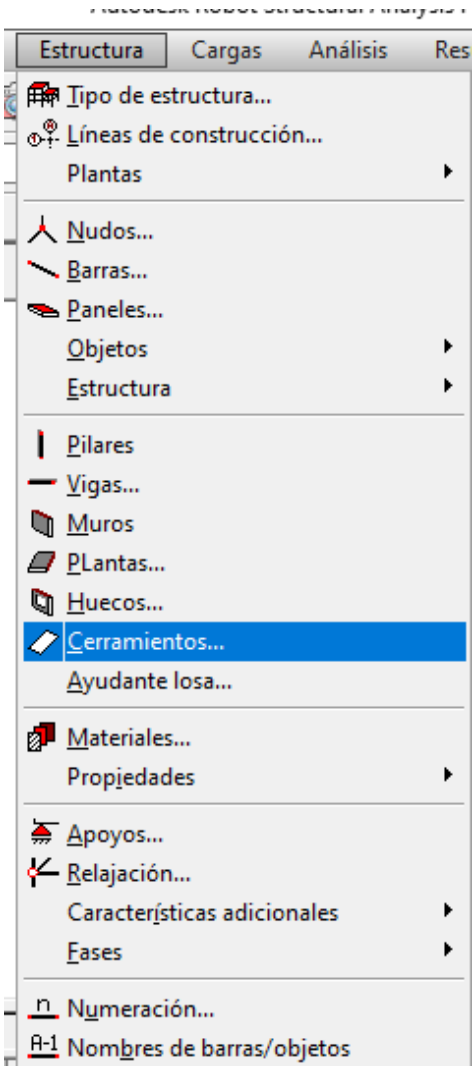


Ilustración 4-23: opción cerramientos

Seleccionando la opción “rectángulo”, y marcando tres puntos, el tercero con cota Z=6,75. Así, la barandilla tiene un alto de 1,25 m.

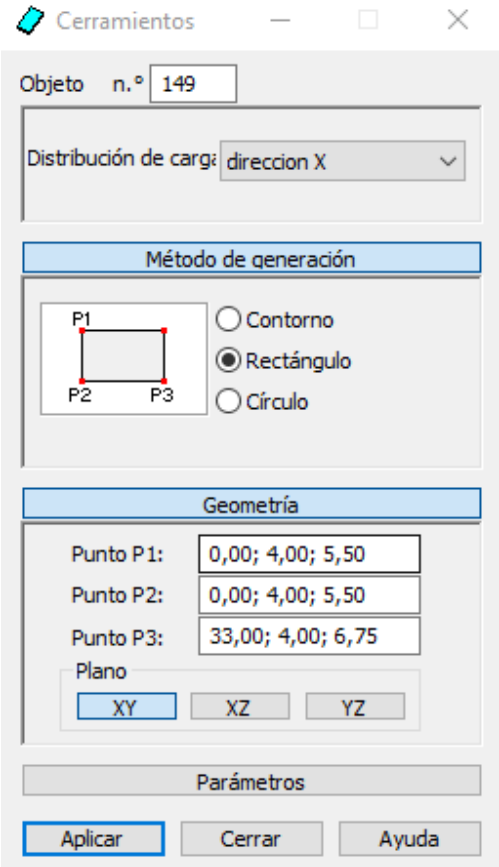


Ilustración 4-24: definición de cerramiento.

El resultado es:

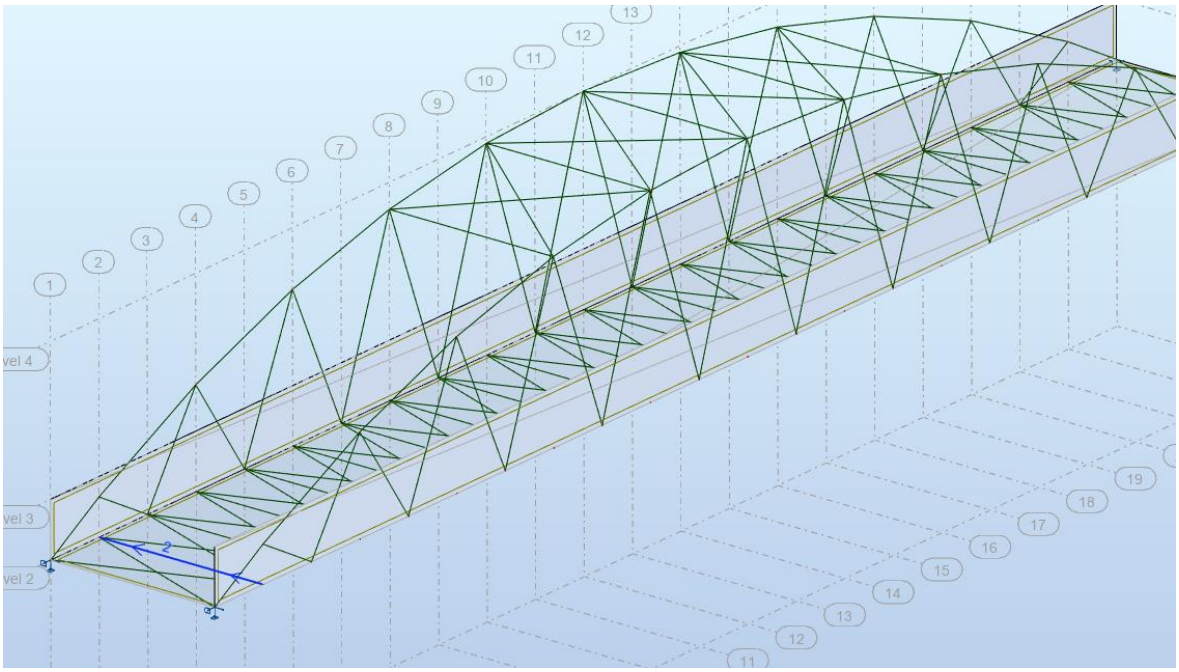


Ilustración 4-25: cerramientos en 3D

Por defecto, el empuje que se produce sobre el cerramiento recae sobre cada barra en contacto con éste. Sin embargo, en este caso ni las péndolas, ni el arco ni las tornapuntas se verán afectados por el empuje del panel. Solamente las viguetas inferiores y las vigas longitudinales.

Para indicar esto, es necesario marcar la opción “descuidar” en las barras que no reciben empuje de los paneles.

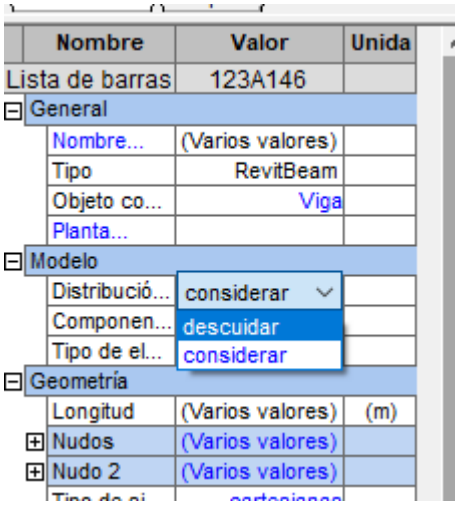


Ilustración 4-26: opción descuidar.

Ahora vamos a simular las cargas de viento. Para ello, establecemos los parámetros de la velocidad del viento, previamente calculada según la norma IAP-11 [1]. Las direcciones, X e Y. Aplicamos a todas las barras de la estructura.

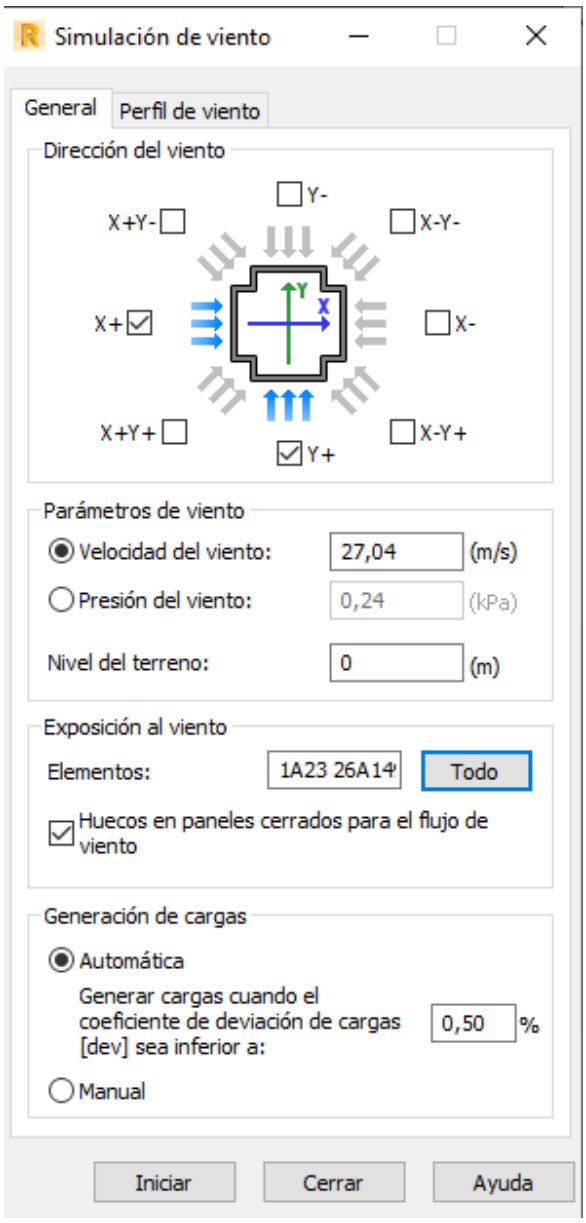


Ilustración 4-27: definición del viento

Lo siguiente será establecer el perfil del viento. Se calculará el coeficiente de exposición Ce, en función de varias alturas clave, que son:

Tabla 4-1: coeficientes de exposición según altura

Altura	Z (m)	Ce
Altura mínima según norma	2	1,68
Altura tablero	5,5	1,98
Altura barandilla	6,25	2,03
Punto más alto del arco	10	2,2

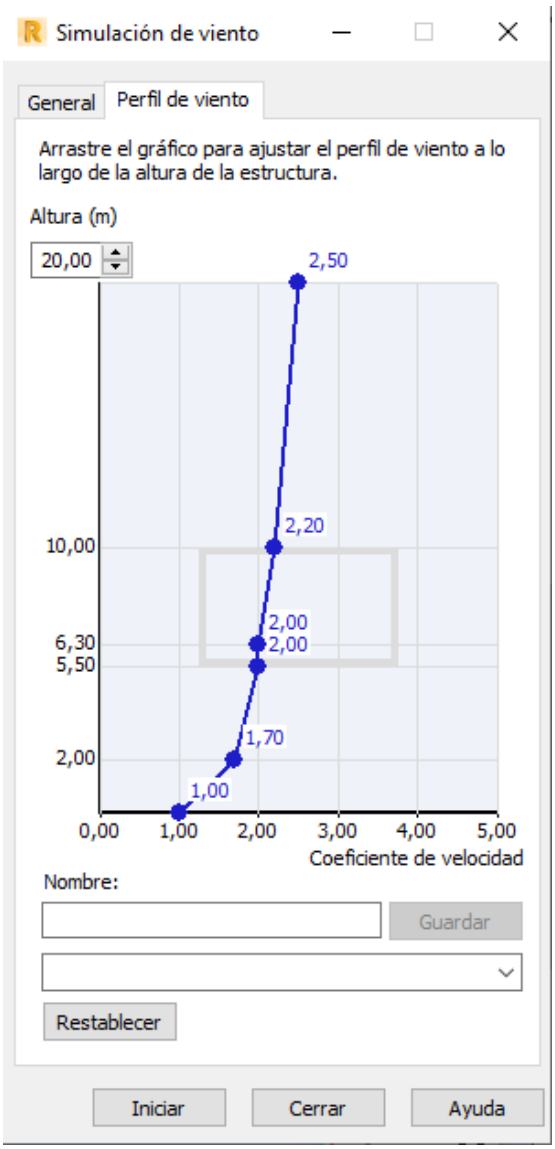


Ilustración 4-28: perfiles de viento con Ce

Y finalmente la generamos.

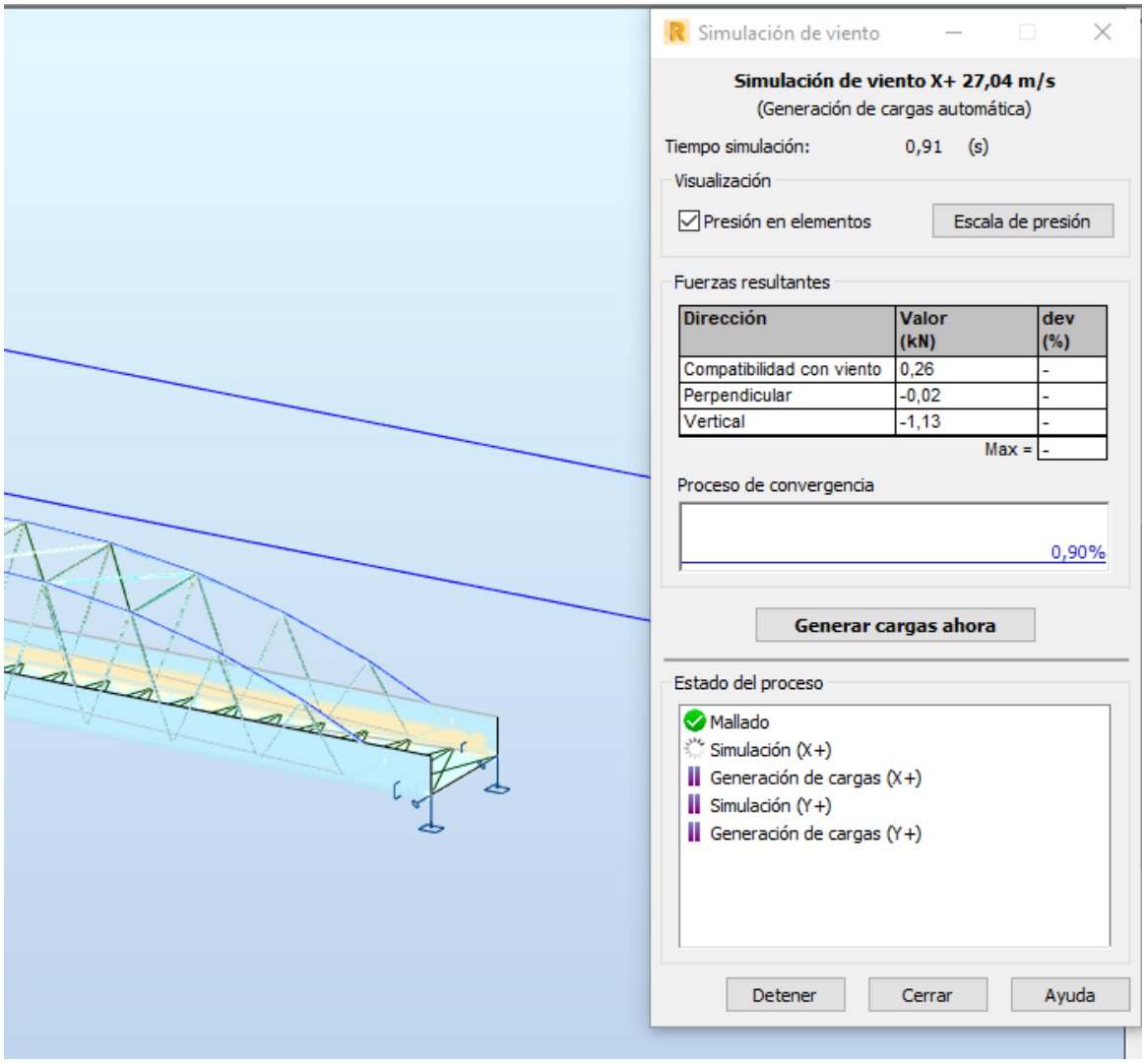


Ilustración 4-29: proceso de cálculo

Una vez termina la iteración, el resultado se muestra como sigue:

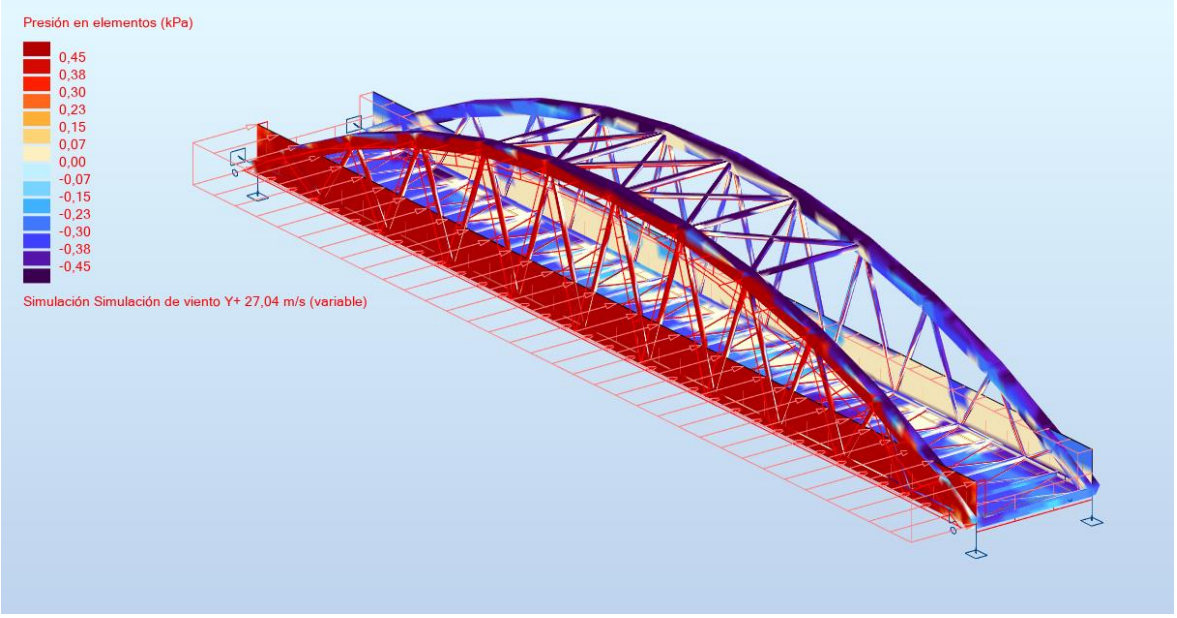


Ilustración 4-30: Viento en Y simulado.

Ya están definidas las cargas de viento simuladas. Ahora es turno para definir en el programa las cargas calculadas según la norma IAP-11 [1]. Éstas son:

Tablero dirección Y (viguetas infe.) (kN/m)	2,34
Arco dirección Y (kN/m)	0,257
Péndolas dirección Y (kN/m)	0,124
Viguetas transversales dirección X (kN/m)	0,634
Viguetas superiores dirección X (kN/m)	0,085
Tornapuntas superio. dirección X (kN/m)	0,085
Viguetas centrales dirección -Z (kN/m)	1,22
Viguetas extremas dirección -Z (kN/m)	0,61

Tabla 4-2: cargas de viento

Una vez introducidas todas las cargas en sus respectivas barras, resulta:

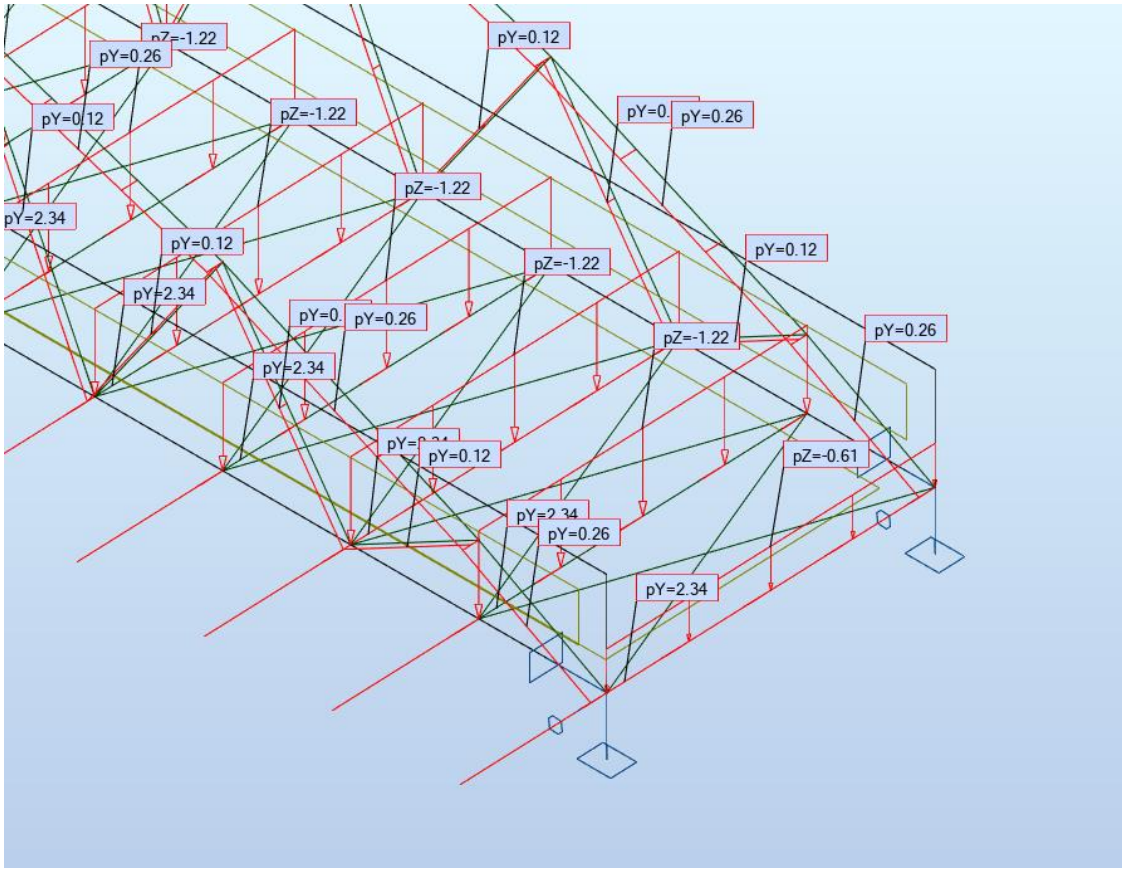


Ilustración 4-31: viento en Y

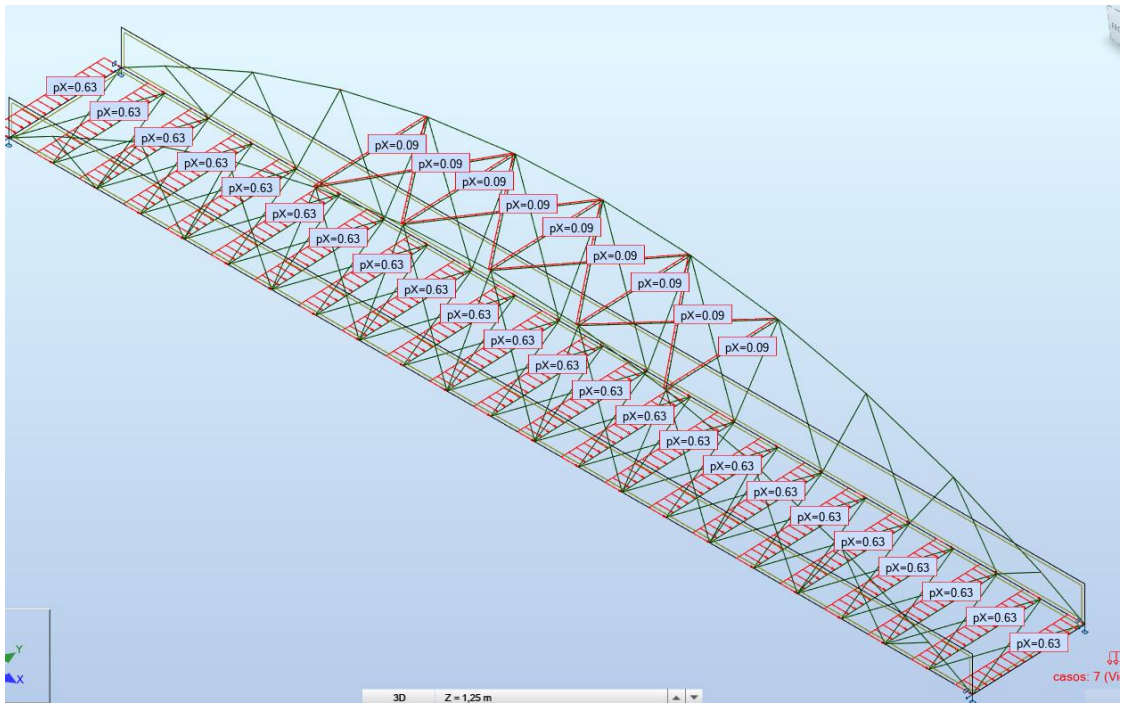


Ilustración 4-32: Viento en X

Una vez están introducidas todas las cargas, se procede a su cálculo en el programa.

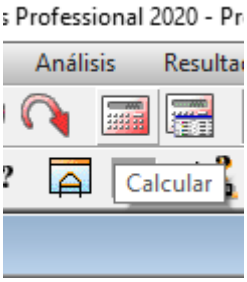


Ilustración 4-33: opción para calcular

4.2.4 Combinaciones de carga

Se finalizará la introducción de cargas sobre el modelo, estableciendo las distintas combinaciones de acciones que sufrirá la pasarela. Para ello, seleccionamos la opción "combinaciones según norma".

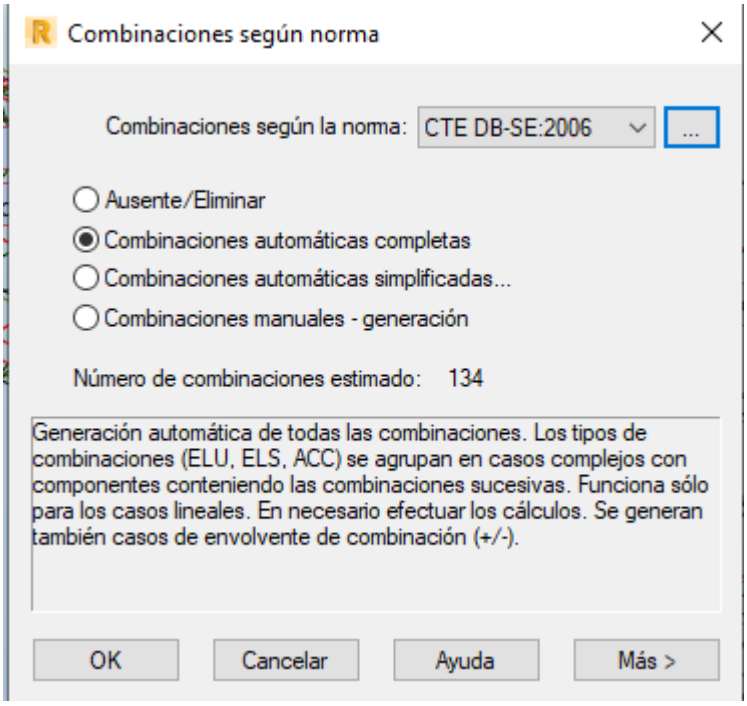


Ilustración 4-34: Combinaciones según norma

La norma por defecto del programa es la CTE DB-SE:2006. Sin embargo, en este proyecto se quiere seguir la norma IAP-11 [1]. Por ello será necesario modificar varios parámetros de la norma por defecto. Par ello pinchamos en los tres puntos.

Aparece los coeficientes por defecto.

Editor of code combination regulations - C:\Users\Pablo\AppData\Roaming\Autodesk\Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020\CfgUsr\CTE...

File Preferences Help

Code: IAP-11 CTE Version: 24.0

	Nature	Subnature	γ_{max}	γ_{min}	γ_s	γ_a	$\Psi_{0,1}$	$\Psi_{0,2}$	$\Psi_{0,3}$	$\Psi_{0,n}$	Ψ_1	$\Psi_{2,1}$	$\Psi_{2,n}$	Ψ_K	ξ_i	ξ_a
1	Dead	Peso proprio	1.35	0.8	1	1										
2	Live	Categoria A	1.5		1		0.7				0.5	0.3				
3	Live	Categoria B	1.5		1		0.7				0.5	0.3				
4	Live	Categoria C	1.5		1		0.7				0.7	0.6				
5	Live	Categoria D	1.5		1		0.7				0.7	0.6				
6	Live	Categoria F	1.5		1		0.7				0.7	0.6				
7	Live	Categoria H	1.5		1											
8	Wind		1.5		1		0.6				0.5					
9	Snow		1.5		1		0.7				0.5	0.2				
10	Snow	nieve >1000	1.5		1		0.7				0.5	0.2				
11	Snow	nieve <1000	1.5		1		0.5				0.2					
12	Temperature		1.5		1		0.6				0.5					
13	Accidental					1										
14	Seismic					1										
15	Live	terreno	1.5		1		0.7				0.7	0.7				
16																

		Combination type	User-defined type	Loads			
				Dead	Live	Accidental	
1	ULS	USR	RES	(4) $\sum_{i\geq 1} G_i \cdot \begin{cases} \gamma_{max}^{(i)} \\ \gamma_{min}^{(i)} \end{cases}$	(19) $Q_i \cdot \gamma_i + \sum_{j\geq 1, i\neq j} Q_j \cdot \gamma_j \cdot \Psi_{0,1}$	(0) ———	(0)
2	SLS	USR	CAR	(1) $\sum_{i\geq 1} G_i \cdot \gamma_S^{(i)}$	(21) $Q_i + \sum_{j\geq 1, i\neq j} Q_j \cdot \Psi_{0,1}$	(0) ———	(0)
3	SLS	FRE		(1) $\sum_{i\geq 1} G_i \cdot \gamma_S^{(i)}$	(20) $Q_i \cdot \Psi_1 + \sum_{j\geq 1, i\neq j} Q_j \cdot \Psi_{2,1}$	(0) ———	(0)
4	SLS	USR	PER	(1) $\sum_{i\geq 1} G_i \cdot \gamma_S^{(i)}$	(22) $\sum_{i\geq 1} Q_i \cdot \Psi_{2,1}^{(i)}$	(0) ———	(0)

Ilustración 4-35: coeficientes por defecto en CTE DB-SE:2006

La IAP-11 [1] introduce los siguientes parámetros.

ACCIÓN			ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga de uso	gr 1, Cargas verticales	Vehículos pesados	0,75	0,75	0
		Sobrecarga uniforme	0,4	0,4	0 / 0,2[1]
		Carga en aceras	0,4	0,4	0
	gr 2, Fuerzas horizontales		0	0	0
	gr 3, Peatones		0	0	0
	gr 4, Aglomeraciones		0	0	0
	Sobrecarga de uso en pasarelas		0,4	0,4	0
Viento	F_{wk}	En situación persistente	0,6	0,2	0
		En construcción	0,8	0	0
		En pasarelas	0,3	0,2	0
Acción térmica	T_k		0,6	0,6	0,5
Nieve	$Q_{Sn,k}$	En construcción	0,8	0	0
Acción del agua	W_k	Empuje hidrostático	1,0	1,0	1,0
		Empuje hidrodinámico	1,0	1,0	1,0
Sobrecargas de construcción	Q_c		1,0	0	1,0

Ilustración 4-36: coeficientes IAP-11 [1]

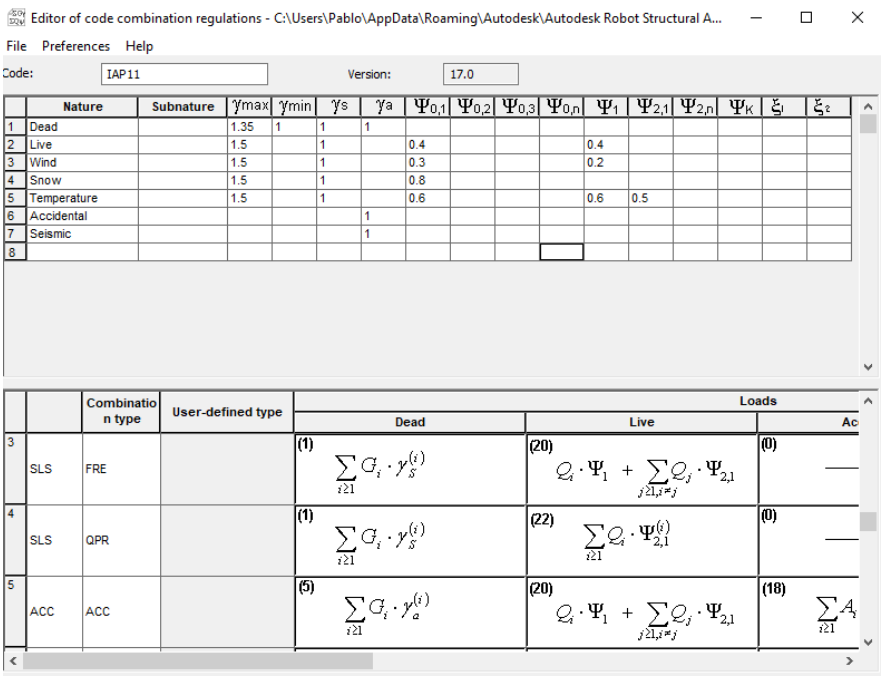


Ilustración 4-37: parámetros de norma IAP-11 [1]

Así pues, aunque en el programa siga apareciendo CTE DB-SE:2006, estará aplicando los coeficientes de la norma IAP-11 [1].

Continuamos pinchando en el botón “más” para introducir los modelos que conforman las combinaciones de carga.

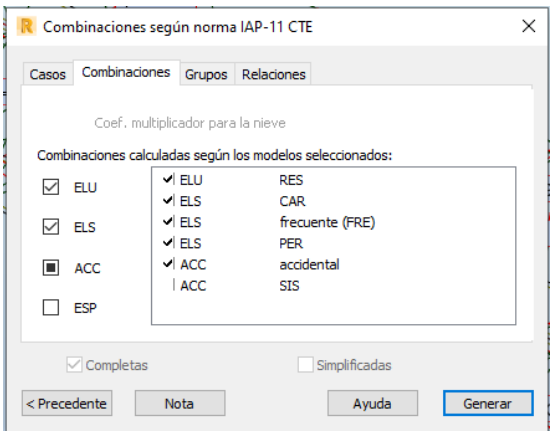


Ilustración 4-38: combinaciones de carga según IAP-11 [1]

4.3 Cálculo de la estructura

4.3.1 Grupos y parámetros

- Grupo 1: arco

Incluye las vigas de 123 a 146. En este grupo se establecen dos tipos de barras diferentes, las que están arriostradas por las viguetas superiores, y las que no.

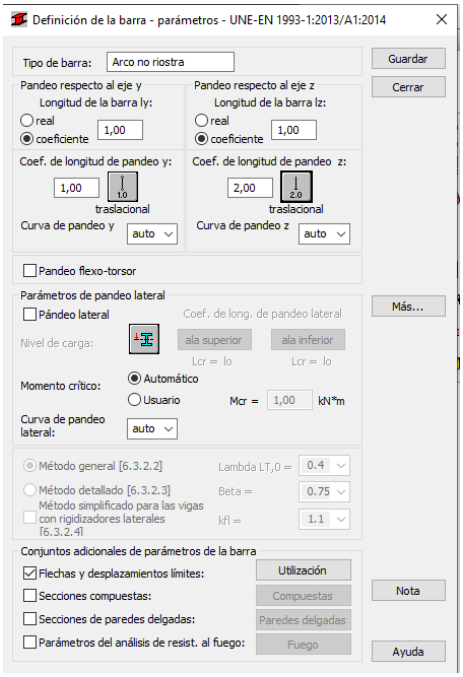


Ilustración 4-39 izq.parámetros no arriostrada der. parámetros arriostrada

- Grupo 2: viguetas inferiores

De la barra 1 a la 23. Sus parámetros quedan configurados así:

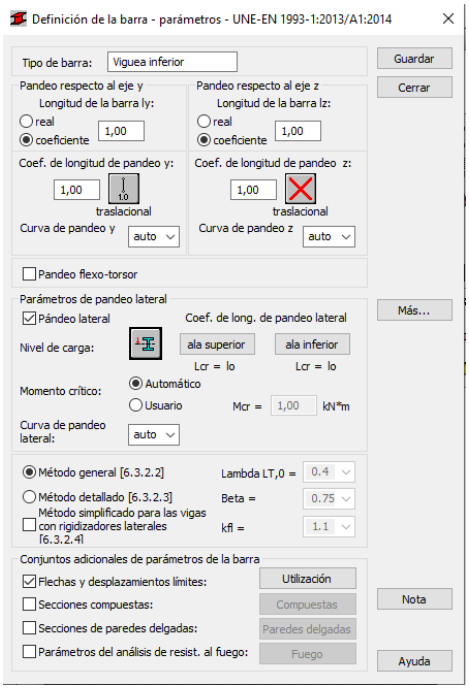


Ilustración 4-40: parámetros vigueta inferior

- Grupo 3: vigas longitudinales

Agrupa las barras 147 y 148. En el caso de esta barra hay que hacer un ajuste adicional. Aunque tenga una longitud total de 33 metros, está arriostrada en Z cada 1,5m por las viguetas inferiores, y en Y cada 3 metros por las péndolas. Definimos los arriostramientos en el programa.

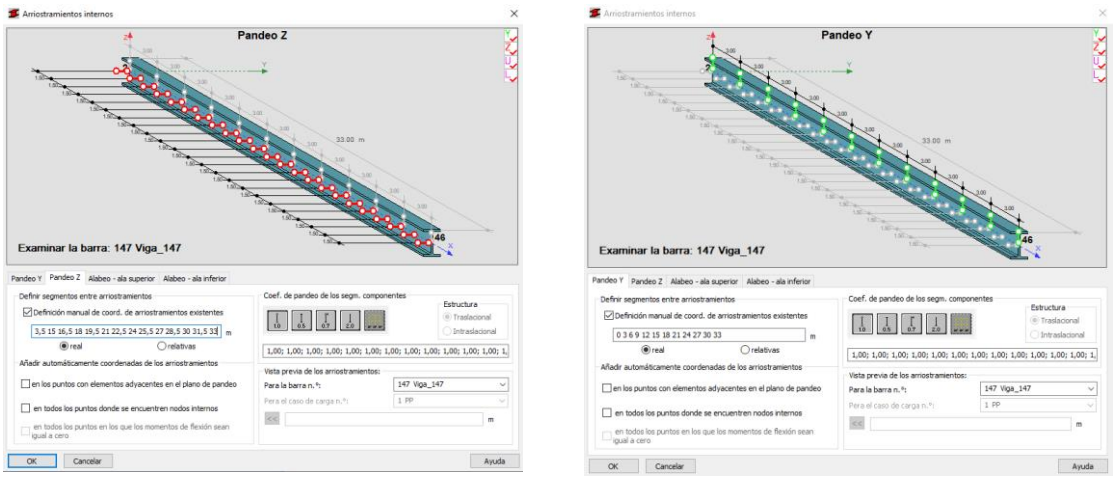


Ilustración 4-41: definición arriostramientos pandeo Z y pandeo Y

- Grupo 4: tornapuntas inferiores

Barras 26 a 69.

Ilustración 4-42: parámetros tornapuntas inferiores

- Grupo 5: péndolas

De la barra 70 a 109.

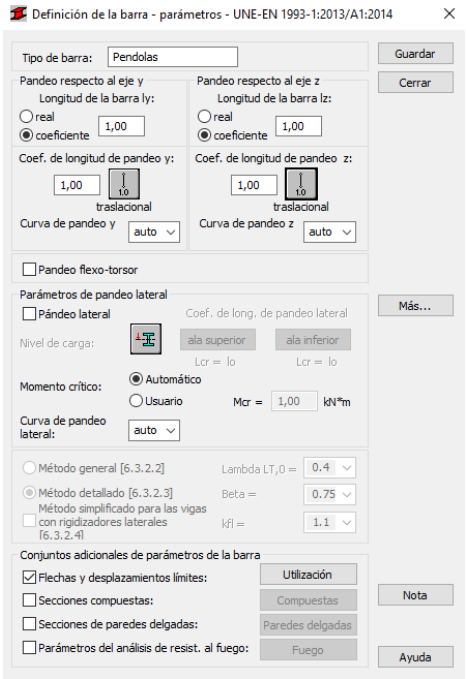


Ilustración 4-43: parámetros péndolas

- Grupo 6: viguetas superiores

De la barra 110 a 114.

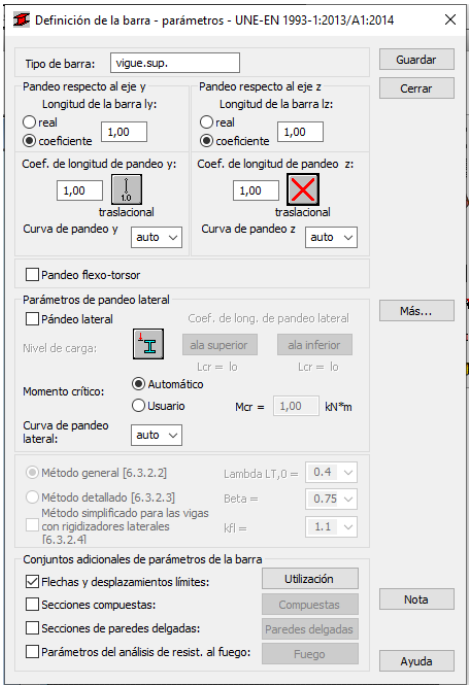


Ilustración 4-44: parámetros vigueta superior

- Grupo 7: tornapuntas superiores

De la barra 115 a 122.

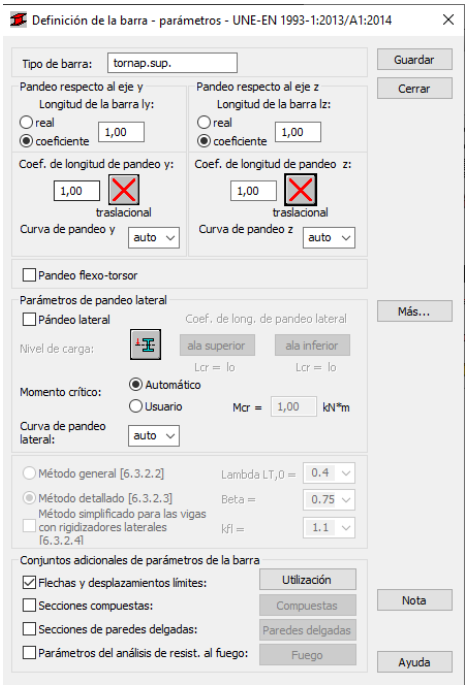


Ilustración 4-45: parámetros tornapuntas superiores

4.3.2 Verificación de los perfiles

Previamente a la verificación de las barras, se ha realizado el dimensionamiento de los perfiles atendiendo a criterios de minimización de peso total.

Tras la selección de los teóricamente perfiles óptimos, es momento de verificar que los perfiles cumplen. Para ello verificamos todas las barras, a todas las combinaciones de acciones, tanto ELU como ELS. Se muestra a continuación.

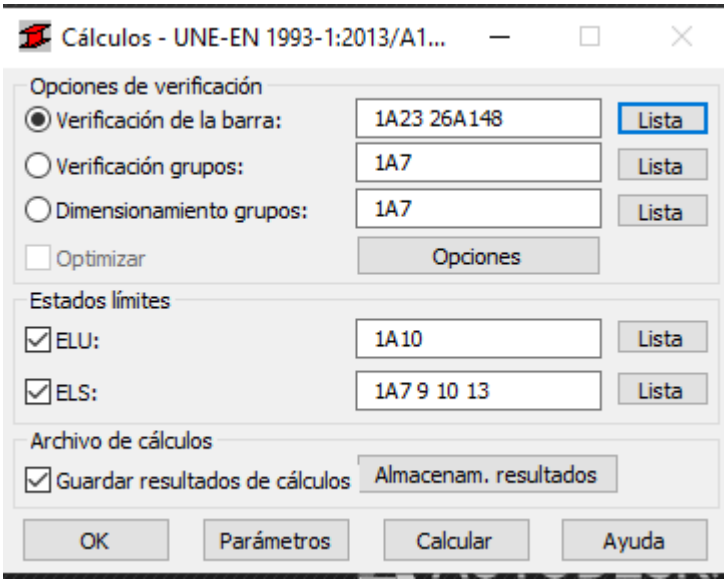


Ilustración 4-46: opción para calcular si cumplen a ELU y ELS

Y se obtiene el resultado.

Barra		Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso	Ratio(uy	Caso (uy)	Ratio(uz	Caso (uz)
1 RevitBeam_1	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.24	8 ELU /3/	0.01	7 Viento X	0.10	13 ELS /3/
2 RevitBeam_1	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.52	8 ELU /3/	0.05	13 ELS /12/	0.68	13 ELS /3/
3 RevitBeam_3	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.58	8 ELU /3/	0.05	13 ELS /12/	0.79	13 ELS /3/
4 RevitJoist_4	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.70	8 ELU /3/	0.04	13 ELS /12/	0.88	13 ELS /3/
5 RevitJoist_5	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.62	8 ELU /3/	0.04	13 ELS /12/	0.85	13 ELS /3/
6 RevitJoist_6	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.70	8 ELU /3/	0.03	13 ELS /12/	0.91	13 ELS /3/
7 RevitJoist_7	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.63	8 ELU /3/	0.02	13 ELS /12/	0.86	13 ELS /3/
8 RevitJoist_8	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.69	8 ELU /3/	0.02	13 ELS /12/	0.91	13 ELS /3/
9 RevitJoist_9	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.63	8 ELU /3/	0.02	7 Viento X	0.87	13 ELS /3/
10 RevitJoist_10	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.68	8 ELU /3/	0.02	13 ELS /16/	0.92	13 ELS /3/
11 RevitJoist_11	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.63	8 ELU /3/	0.02	7 Viento X	0.87	13 ELS /3/
12 RevitJoist_12	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.66	8 ELU /3/	0.02	7 Viento X	0.92	13 ELS /3/
13 RevitJoist_13	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.63	8 ELU /3/	0.02	13 ELS /16/	0.87	13 ELS /3/
14 RevitJoist_14	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.68	8 ELU /3/	0.02	7 Viento X	0.92	13 ELS /3/
15 RevitJoist_15	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.63	8 ELU /3/	0.02	13 ELS /16/	0.87	13 ELS /3/
16 RevitJoist_16	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.69	8 ELU /3/	0.02	13 ELS /12/	0.91	13 ELS /3/
17 RevitJoist_17	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.63	8 ELU /3/	0.02	13 ELS /12/	0.86	13 ELS /3/
18 RevitJoist_18	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.70	8 ELU /3/	0.03	13 ELS /12/	0.91	13 ELS /3/
19 RevitJoist_19	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.62	8 ELU /3/	0.04	13 ELS /12/	0.85	13 ELS /3/
20 RevitJoist_20	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.70	8 ELU /3/	0.04	13 ELS /12/	0.88	13 ELS /3/
21 RevitJoist_21	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.58	8 ELU /3/	0.05	13 ELS /12/	0.79	13 ELS /3/
22 RevitJoist_22	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.52	8 ELU /3/	0.05	13 ELS /12/	0.68	13 ELS /3/
23 RevitJoist_23	OK	TREC 200x150x5	S 275	52.59	65.52	0.24	8 ELU /3/	0.01	7 Viento X	0.10	13 ELS /3/
26 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.66	8 ELU /40/	0.25	10 Simulación de vie	0.61	13 ELS /14/
27 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.70	8 ELU /23/	0.02	13 ELS /14/	0.52	13 ELS /18/
28 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.63	8 ELU /23/	0.13	9 Simulación de vien	0.62	13 ELS /18/
29 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.56	8 ELU /40/	0.15	13 ELS /19/	0.67	13 ELS /27/
30 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.48	8 ELU /23/	0.15	13 ELS /19/	0.80	13 ELS /18/
31 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.41	8 ELU /40/	0.16	13 ELS /27/	0.72	13 ELS /18/
32 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.33	8 ELU /23/	0.15	9 Simulación de vien	0.77	13 ELS /18/
33 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.26	8 ELU /40/	0.17	13 ELS /19/	0.73	13 ELS /27/
34 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.18	8 ELU /23/	0.16	9 Simulación de vien	0.78	13 ELS /18/
35 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.11	8 ELU /40/	0.17	13 ELS /26/	0.74	13 ELS /19/
36 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.12	8 ELU /29/	0.15	13 ELS /18/	0.80	13 ELS /26/
37 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.11	8 ELU /29/	0.16	9 Simulación de vien	0.75	13 ELS /18/
38 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.11	8 ELU /30/	0.15	13 ELS /26/	0.77	13 ELS /27/
39 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.18	8 ELU /23/	0.19	13 ELS /26/	0.76	13 ELS /19/
40 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.26	8 ELU /40/	0.14	9 Simulación de vien	0.81	13 ELS /18/
41 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.33	8 ELU /23/	0.18	13 ELS /18/	0.72	13 ELS /19/
42 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.41	8 ELU /40/	0.15	13 ELS /27/	0.76	13 ELS /18/
43 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.48	8 ELU /23/	0.16	13 ELS /26/	0.72	13 ELS /27/
44 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.56	8 ELU /40/	0.13	9 Simulación de vien	0.76	13 ELS /26/
45 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.63	8 ELU /23/	0.16	9 Simulación de vien	0.61	13 ELS /19/
46 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.70	8 ELU /23/	0.01	13 ELS /18/	0.52	13 ELS /18/

Ilustración 4-47: comprobación de perfiles 1/3. La barra señalada se comprobará manualmente según la EAE [3]

Barra		Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso	Ratio(uy	Caso (uy)	Ratio(uz	Caso (uz)
47 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.66	8 ELU /40/	0.22	13 ELS /18/	0.44	13 ELS /18/
48 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.67	8 ELU /23/	0.10	13 ELS /19/	0.48	13 ELS /18/
49 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.69	8 ELU /40/	0.19	13 ELS /19/	0.57	13 ELS /18/
50 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.63	8 ELU /40/	0.12	13 ELS /26/	0.65	13 ELS /18/
51 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.56	8 ELU /23/	0.17	13 ELS /18/	0.62	13 ELS /18/
52 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.48	8 ELU /40/	0.13	13 ELS /26/	0.75	13 ELS /27/
53 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.41	8 ELU /23/	0.17	13 ELS /18/	0.73	13 ELS /18/
54 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.33	8 ELU /40/	0.13	13 ELS /18/	0.76	13 ELS /18/
55 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.26	8 ELU /23/	0.19	9 Simulación de vien	0.72	13 ELS /26/
56 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.18	8 ELU /40/	0.14	13 ELS /26/	0.79	13 ELS /26/
57 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.11	8 ELU /23/	0.19	9 Simulación de vien	0.75	13 ELS /27/
58 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.11	8 ELU /30/	0.15	13 ELS /27/	0.78	13 ELS /18/
59 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.10	8 ELU /30/	0.18	9 Simulación de vien	0.71	13 ELS /18/
60 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.12	8 ELU /29/	0.14	13 ELS /18/	0.80	13 ELS /26/
61 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.18	8 ELU /40/	0.19	9 Simulación de vien	0.76	13 ELS /18/
62 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.26	8 ELU /23/	0.15	13 ELS /26/	0.79	13 ELS /18/
63 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.33	8 ELU /40/	0.17	9 Simulación de vien	0.73	13 ELS /18/
64 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.41	8 ELU /23/	0.13	13 ELS /19/	0.76	13 ELS /18/
65 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.48	8 ELU /40/	0.18	13 ELS /19/	0.70	13 ELS /18/
66 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.56	8 ELU /23/	0.12	9 Simulación de vien	0.65	13 ELS /18/
67 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.63	8 ELU /40/	0.12	13 ELS /19/	0.60	13 ELS /19/
68 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.69	8 ELU /40/	0.14	9 Simulación de vien	0.52	13 ELS /26/
69 RevitBracing_	OK	TRON 48x3.2	S 275	267.25	267.25	0.67	8 ELU /23/	0.25	10 Simulación de vie	0.65	13 ELS /14/
70 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	121.13	121.13	0.36	8 ELU /29/	0.47	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /3/
71 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	117.70	117.70	0.38	8 ELU /29/	0.47	13 ELS /9/	0.01	13 ELS /14/
72 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	117.78	117.78	0.38	8 ELU /29/	0.46	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /3/
73 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	107.76	107.76	0.44	8 ELU /29/	0.46	13 ELS /9/	0.01	13 ELS /14/
74 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	107.76	107.76	0.44	8 ELU /29/	0.46	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /3/
75 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	90.92	90.92	0.47	8 ELU /29/	0.42	13 ELS /9/	0.01	13 ELS /5/
76 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	90.92	90.92	0.44	8 ELU /29/	0.44	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /3/
77 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	68.07	68.07	0.45	8 ELU /9/	0.34	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /3/
78 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	68.07	68.07	0.40	8 ELU /9/	0.33	13 ELS /9/	0.05	13 ELS /3/
79 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	43.80	43.80	0.29	8 ELU /1/	0.18	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /3/
80 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	121.13	121.13	0.35	8 ELU /29/	0.47	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /5/
81 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	117.78	117.78	0.37	8 ELU /29/	0.47	13 ELS /9/	0.01	13 ELS /9/
82 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	117.78	117.78	0.38	8 ELU /29/	0.46	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /5/
83 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	107.69	107.69	0.44	8 ELU /29/	0.46	13 ELS /9/	0.01	13 ELS /3/
84 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	107.69	107.69	0.44	8 ELU /29/	0.46	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /14/
85 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	90.92	90.92	0.47	8 ELU /29/	0.42	13 ELS /9/	0.01	13 ELS /9/
86 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	90.92	90.92	0.44	8 ELU /29/	0.44	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /5/
87 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	68.07	68.07	0.45	8 ELU /9/	0.34	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /3/
88 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	68.07	68.07	0.40	8 ELU /9/	0.33	13 ELS /9/	0.05	13 ELS /3/
89 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	43.80	43.80	0.30	8 ELU /7/	0.18	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /5/
90 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	121.21	121.21	0.31	8 ELU /7/	0.44	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /7/

Ilustración 4-48: comprobación de perfiles 2/3

Barra		Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso	Ratio(uy	Caso (uy)	Ratio(uz	Caso (uz)
90 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	121.21	121.21	0.31	8 ELU /7/	0.44	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /7/
91 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	117.78	117.78	0.32	8 ELU /1/	0.43	13 ELS /3/	0.01	13 ELS /14/
92 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	117.78	117.78	0.32	8 ELU /7/	0.43	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /3/
93 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	107.75	107.75	0.35	8 ELU /1/	0.41	13 ELS /1/	0.01	13 ELS /18/
94 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	107.75	107.75	0.33	8 ELU /7/	0.40	13 ELS /7/	0.02	13 ELS /3/
95 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	90.92	90.92	0.37	8 ELU /1/	0.37	13 ELS /1/	0.01	13 ELS /3/
96 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	90.92	90.92	0.35	8 ELU /7/	0.36	13 ELS /7/	0.02	13 ELS /3/
97 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	68.07	68.07	0.43	8 ELU /1/	0.32	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /9/
98 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	68.07	68.07	0.38	8 ELU /7/	0.27	13 ELS /7/	0.05	13 ELS /3/
99 RevitColGravit	OK	TRON 114x3.6	S 275	43.80	43.80	0.54	8 ELU /3/	0.18	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /3/
100 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	121.13	121.13	0.31	8 ELU /1/	0.44	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /5/
101 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	117.78	117.78	0.32	8 ELU /7/	0.43	13 ELS /3/	0.01	13 ELS /7/
102 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	117.78	117.78	0.32	8 ELU /1/	0.43	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /5/
103 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	107.69	107.69	0.35	8 ELU /7/	0.41	13 ELS /7/	0.01	13 ELS /18/
104 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	107.69	107.69	0.33	8 ELU /5/	0.40	13 ELS /1/	0.02	13 ELS /14/
105 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	90.92	90.92	0.37	8 ELU /5/	0.37	13 ELS /7/	0.01	13 ELS /3/
106 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	90.92	90.92	0.35	8 ELU /5/	0.36	13 ELS /1/	0.02	13 ELS /5/
107 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	68.07	68.07	0.43	8 ELU /5/	0.32	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /3/
108 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	68.07	68.07	0.38	8 ELU /5/	0.27	13 ELS /5/	0.05	13 ELS /3/
109 RevitColGrav	OK	TRON 114x3.6	S 275	43.80	43.80	0.54	8 ELU /3/	0.18	13 ELS /3/	0.02	13 ELS /3/
110 RevitBeam_1	OK	TRON 88x3.2	S 275	131.92	131.92	0.15	8 ELU /29/	0.03	7 Viento X	0.20	13 ELS /18/
111 RevitBeam_1	OK	TRON 88x3.2	S 275	131.92	131.92	0.16	8 ELU /29/	0.04	13 ELS /16/	0.19	13 ELS /18/
112 RevitBeam_1	OK	TRON 88x3.2	S 275	131.92	131.92	0.18	8 ELU /54/	0.06	10 Simulación de vie	0.18	13 ELS /18/
113 RevitBeam_1	OK	TRON 88x3.2	S 275	131.92	131.92	0.18	8 ELU /54/	0.03	13 ELS /16/	0.18	13 ELS /18/
114 RevitBeam_1	OK	TRON 88x3.2	S 275	131.92	131.92	0.16	8 ELU /29/	0.03	13 ELS /18/	0.19	13 ELS /18/
115 RevitBracing	OK	TRON 60x3.2	S 275	247.14	247.14	0.11	8 ELU /27/	0.67	7 Viento X	0.61	9 Simulación de vien
116 RevitBracing	OK	TRON 60x3.2	S 275	248.40	248.40	0.13	8 ELU /7/	0.68	7 Viento X	0.50	13 ELS /14/
117 RevitBracing	OK	TRON 60x3.2	S 275	248.53	248.53	0.22	8 ELU /23/	0.68	13 ELS /24/	0.54	9 Simulación de vien
118 RevitBracing	OK	TRON 60x3.2	S 275	247.00	247.00	0.12	8 ELU /3/	0.67	7 Viento X	0.65	9 Simulación de vien
119 RevitBracing	OK	TRON 60x3.2	S 275	247.38	247.38	0.12	8 ELU /3/	0.67	13 ELS /16/	0.64	9 Simulación de vien
120 RevitBracing	OK	TRON 60x3.2	S 275	247.38	247.38	0.11	8 ELU /27/	0.67	13 ELS /24/	0.61	9 Simulación de vien
121 RevitBracing	OK	TRON 60x3.2	S 275	248.13	248.13	0.13	8 ELU /7/	0.68	7 Viento X	0.44	13 ELS /20/
122 RevitBracing	OK	TRON 60x3.2	S 275	248.15	248.15	0.22	8 ELU /23/	0.68	7 Viento X	0.53	9 Simulación de vien
123 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	26.71	53.42	0.82	8 ELU /3/	0.05	9 Simulación de vien	0.06	13 ELS /3/
124 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	13.88	27.77	0.80	8 ELU /3/	0.08	13 ELS /12/	0.04	13 ELS /3/
125 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	25.67	51.34	0.73	8 ELU /3/	0.04	13 ELS /18/	0.02	13 ELS /3/
126 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.97	49.94	0.70	8 ELU /3/	0.06	13 ELS /12/	0.02	13 ELS /3/
127 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.52	24.52	0.60	8 ELU /3/	0.03	6 Viento Y	0.01	13 ELS /1/
128 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.31	24.31	0.58	8 ELU /3/	0.01	13 ELS /1/	0.01	13 ELS /1/
129 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.31	24.31	0.58	8 ELU /3/	0.01	13 ELS /7/	0.01	13 ELS /7/
130 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.53	24.53	0.60	8 ELU /3/	0.03	6 Viento Y	0.01	13 ELS /7/
131 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.96	49.93	0.70	8 ELU /3/	0.06	13 ELS /12/	0.02	13 ELS /3/
132 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	25.67	51.34	0.73	8 ELU /3/	0.04	13 ELS /18/	0.02	13 ELS /3/
133 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	26.71	53.42	0.82	8 ELU /3/	0.05	9 Simulación de vien	0.06	13 ELS /3/
134 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	13.88	27.77	0.80	8 ELU /3/	0.08	13 ELS /12/	0.04	13 ELS /3/
135 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	13.88	27.77	0.69	8 ELU /23/	0.06	6 Viento Y	0.04	13 ELS /1/
136 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	26.71	53.42	0.78	8 ELU /3/	0.07	13 ELS /18/	0.05	13 ELS /1/
137 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	25.67	51.34	0.72	8 ELU /3/	0.03	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /3/
138 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.97	49.94	0.75	8 ELU /3/	0.06	13 ELS /12/	0.02	13 ELS /3/
139 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.52	24.52	0.65	8 ELU /3/	0.04	13 ELS /12/	0.02	13 ELS /3/
140 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.31	24.31	0.59	8 ELU /3/	0.02	13 ELS /18/	0.02	13 ELS /3/
141 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.31	24.31	0.59	8 ELU /3/	0.02	13 ELS /18/	0.02	13 ELS /3/
142 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.53	24.53	0.66	8 ELU /3/	0.04	13 ELS /12/	0.02	13 ELS /3/
143 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	24.96	49.93	0.75	8 ELU /3/	0.06	13 ELS /12/	0.02	13 ELS /3/
144 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	25.67	51.34	0.72	8 ELU /3/	0.03	13 ELS /9/	0.02	13 ELS /3/
145 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	26.71	53.42	0.78	8 ELU /3/	0.07	13 ELS /18/	0.05	13 ELS /7/
146 RevitBeam_1	OK	TRON 355x6.3	S 275	13.88	27.77	0.69	8 ELU /23/	0.06	6 Viento Y	0.04	13 ELS /7/
147 Viga_147	OK	TREC 300x100x8	S 275	29.80	35.70	0.33	8 ELU /7/	0.18	13 ELS /12/	0.22	13 ELS /3/
148 Viga_148	OK	TREC 300x100x8	S 275	29.80	35.70	0.60	8 ELU /23/	0.18	13 ELS /13/	0.23	13 ELS /3/

Ilustración 4-49: comprobación de perfiles 3/3

Por lo tanto, la selección de los perfiles de las barras ha sido correcta y queda como sigue:

Tabla 4-3: Resumen de perfiles

GRUPO DE BARRA	PERFIL
Vigas longitudinales	TREC 300x100x8
Viguetas inferiores	TREC 200x150x5
Viguetas superiores	TRON 88x3,2
Tornapuntas inferiores	TRON 48x3,2
Tornapuntas superiores	TRON 60x3,2
Péndolas	TRON 114x3,6
Arco	TRON 355x6,3

4.3.3 Comparativa deformación provocada por el viento.

Como hipótesis de viento se han introducido dos, la calculada según la norma, y la simulada a través del programa Robot Structural Analysis. A continuación, se estudian las diferencias entre las deformadas causadas por cada una.

4.3.3.1 Viento en X según norma

La deformada tiene un desplazamiento de 11,5 mm.

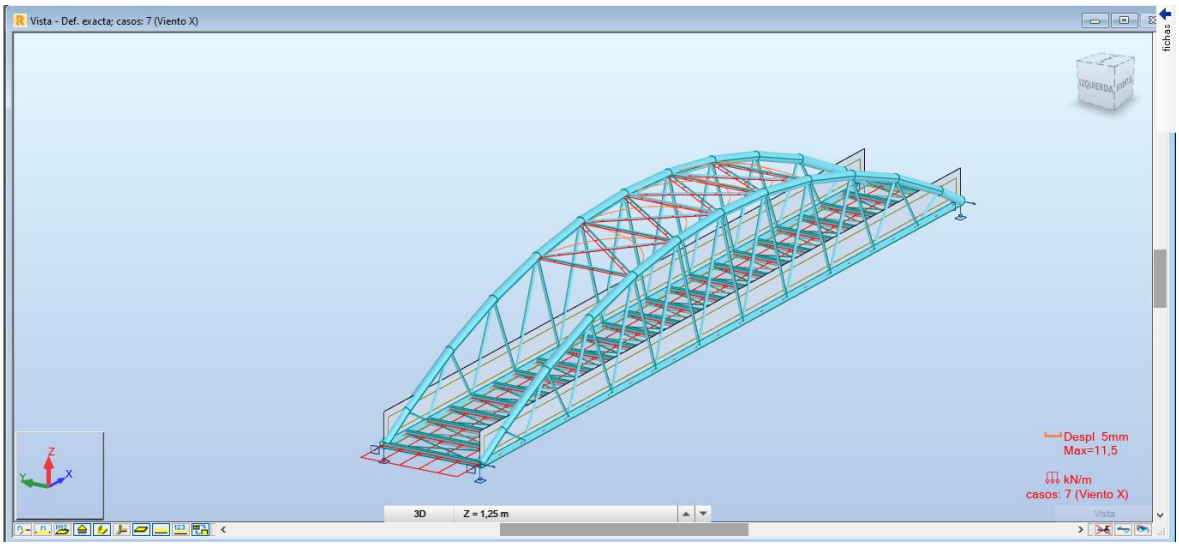


Ilustración 4-50: deformada según viento X norma.

4.3.3.2 Viento en X simulado

Para el viendo simulado, la deformada tiene un desplazamiento máximo de 4,7 mm.

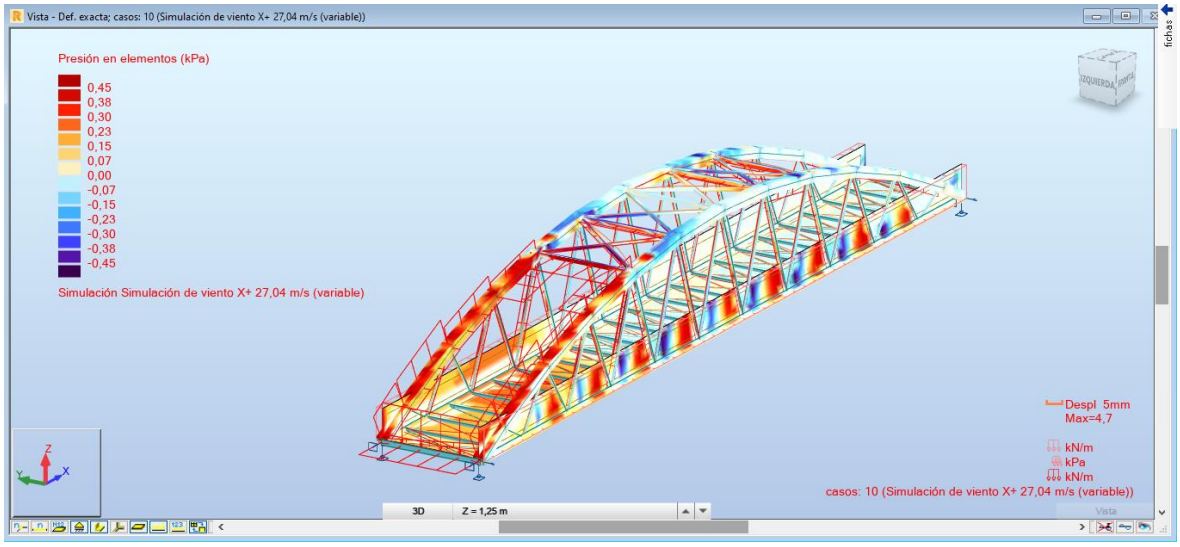


Ilustración 4-51: deformada según viento X simulado.

4.3.3.3 Viento en Y según norma

La deformada según el viento en Y calculado a través de la norma, tiene un valor máximo de 23,7 mm.

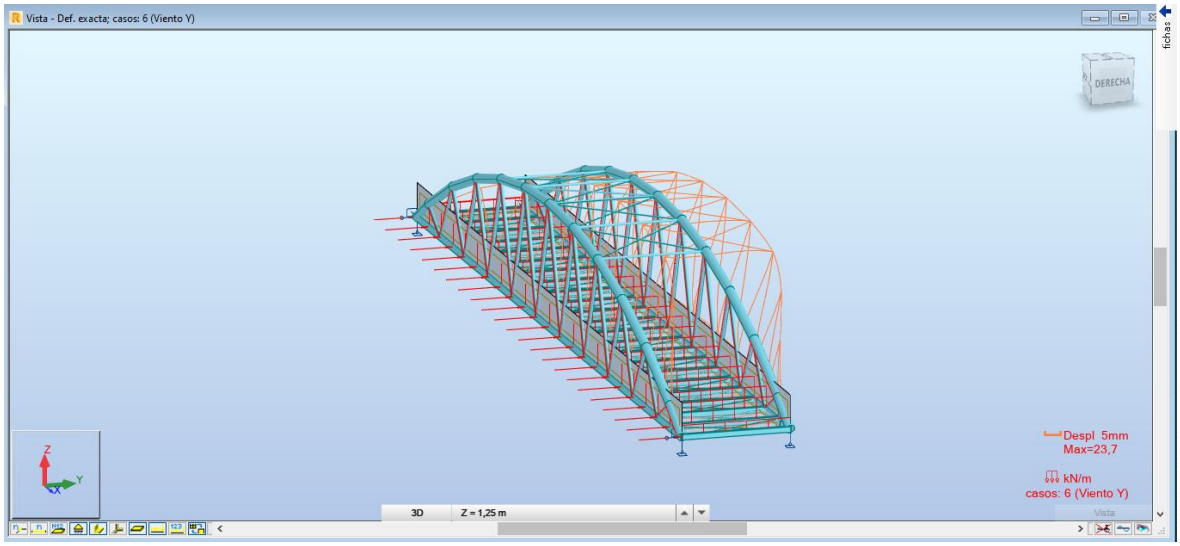


Ilustración 4-52: deformada según viento Y norma.

4.3.3.4 Viento en Y simulado

Para el viento simulado en Y, el desplazamiento máximo tiene un valor de 29,5 mm.

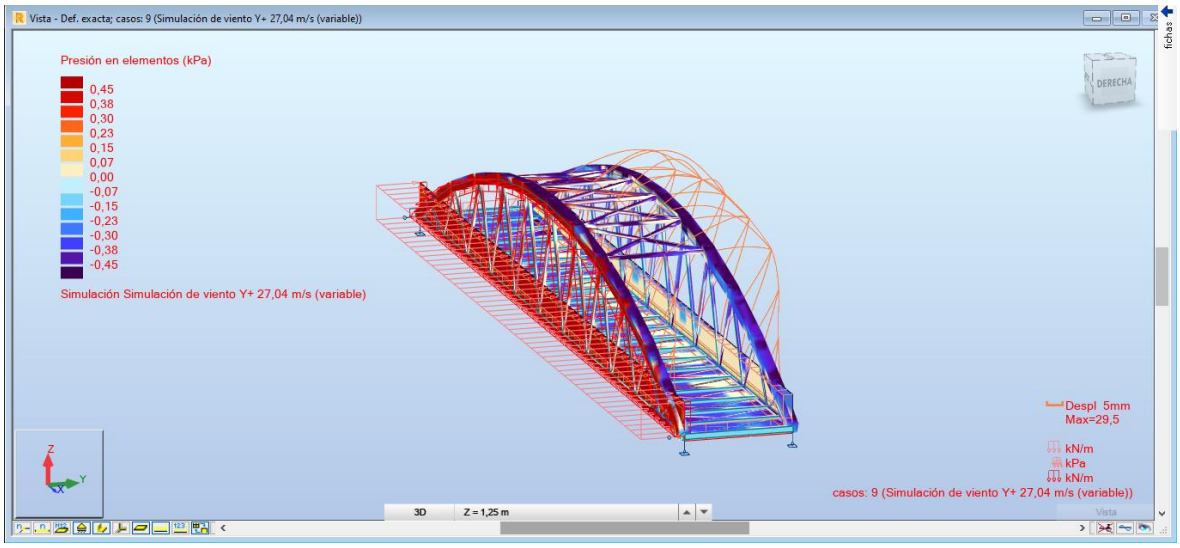


Ilustración 4-53: deformada según viento Y simulado.

4.3.3.5 Conclusiones sobre viento

- Según el eje X

El desplazamiento según norma es de 11,5 mm frente a los 4,7 mm del viento simulado. Ello manifiesta que la simulación es más precisa que la norma.

- Según el eje Y

En este caso, el desplazamiento con el viento de la norma es de 23,7 mm, frente a 29,5 mm del viento simulado en Y. *A priori* puede parecer una incoherencia, puesto que la norma siempre debe estar del lado de la seguridad. Sin embargo, es necesario reseñar que para el cálculo del viento en Y según norma, se consideró una barandilla permeable, mientras que, en la simulación, la barandilla es de tipo parapeto. Esto provoca mayor carga del viento, y por tanto más desplazamiento.

Por tanto, los resultados se estiman coherentes y se concluye que las cargas de viento simulado se ajustan más a la realidad que las calculadas mediante la norma. Estas últimas alcanzan valores más altos, y que por lo que están del lado de la seguridad.

4.4 Cálculo manual de una sección

En esta sección se comprobará manualmente si la barra 20, una vigueta transversal, cumple la norma. El programa ha calculado una solicitación del 70% para el

tercer caso de ELU, que se muestra remarcado en rojo en la Ilustración 4-55: detalle barra 20

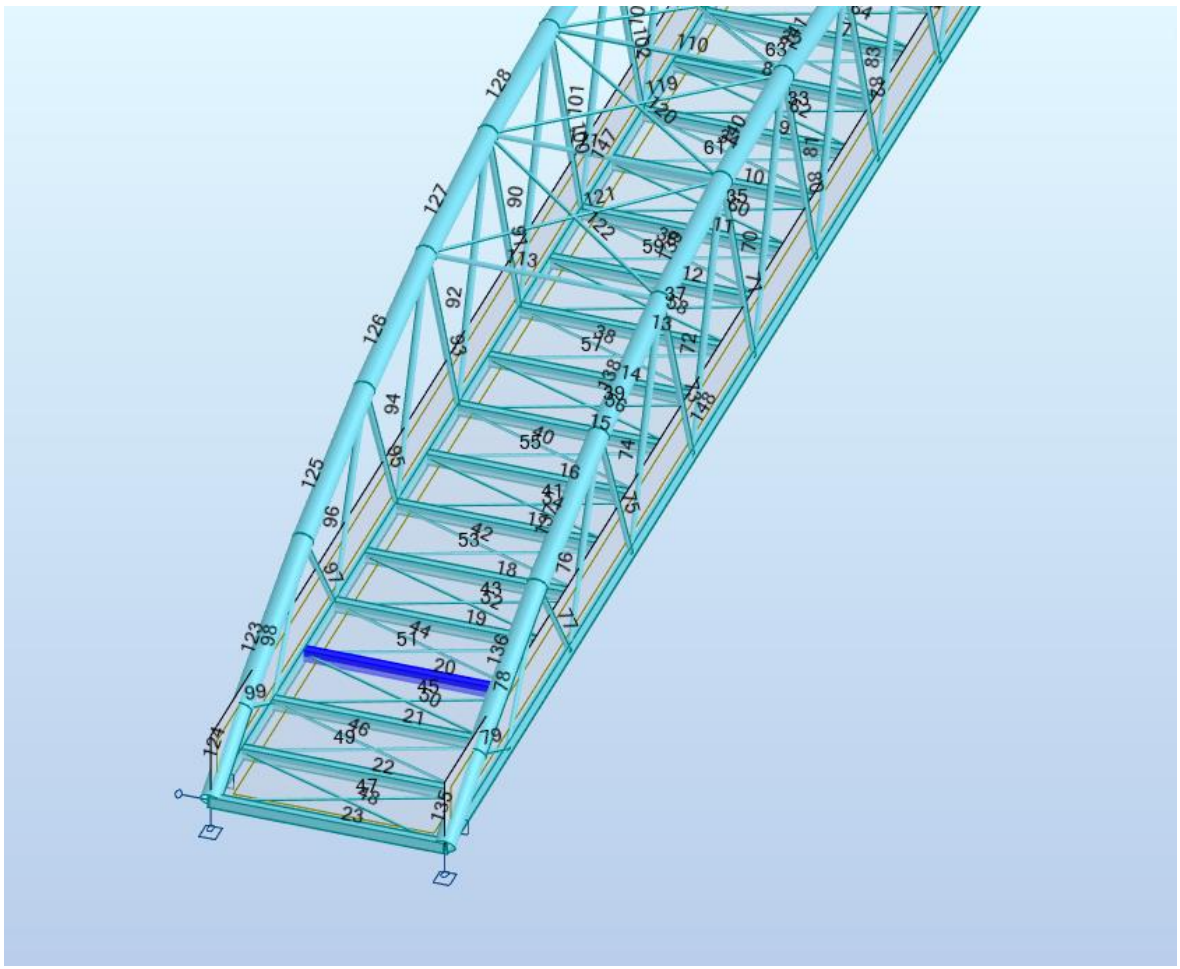


Ilustración 4-54: Ubicación barra 20

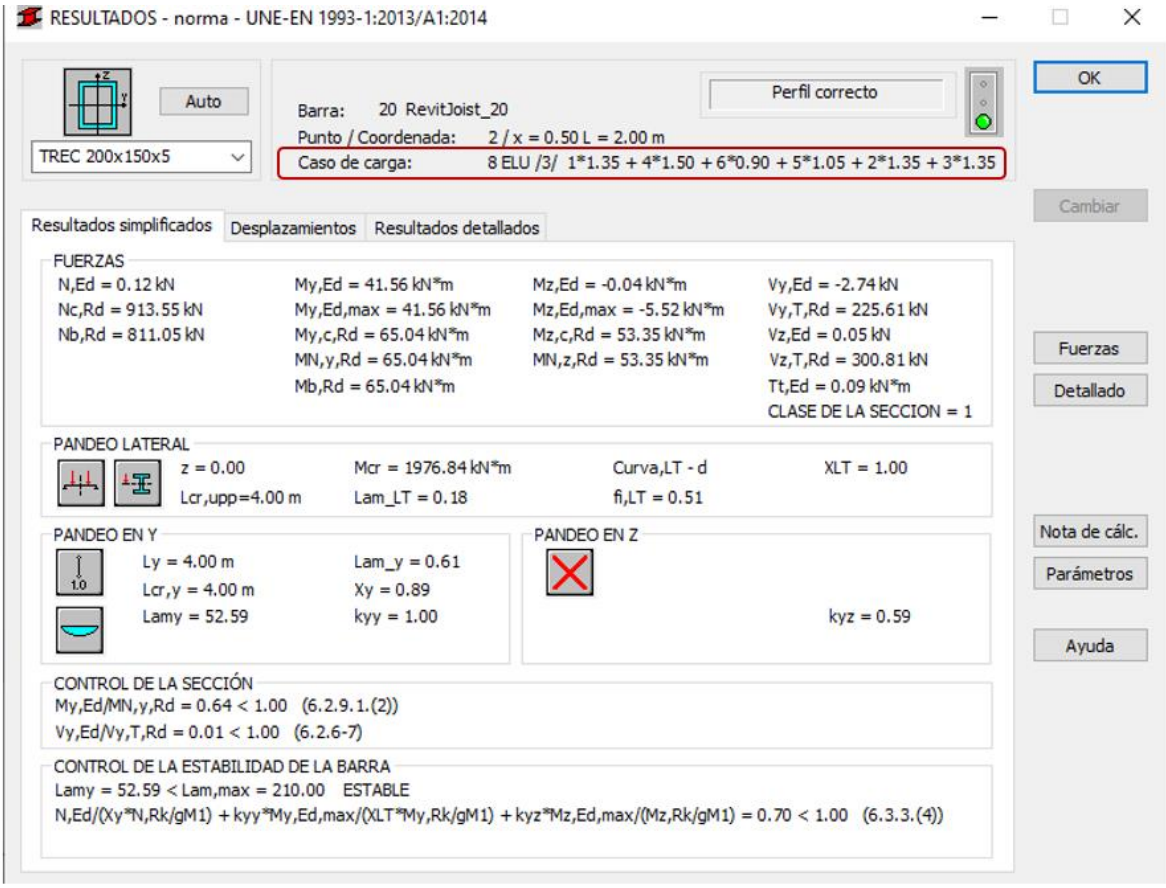


Ilustración 4-55: detalle barra 20

Los datos de esta sección son:

- Área: $\mathrm{A} = 33{,}22\ \mathrm{cm}^2$
- Altura de la sección: $\mathrm{h} = 20\ \mathrm{cm}$
- Ancho de la sección: $\mathrm{b_f} = 15\ \mathrm{cm}$
- Espesor del ala: $t_f = 0{,}5\ \mathrm{cm}$
- Espesor del alma: $t_w = 0{,}5\ \mathrm{cm}$
- Módulo de torsión uniforme: $I_t = 2397\ \mathrm{cm}^4$
- Momento de inercia respecto al eje Y: $I_y = 1922\ \mathrm{cm}^4$
- Momento de inercia respecto al eje Z: $I_z = 1238\ \mathrm{cm}^4$
- Momento plástico de la sección respecto al eje Y: $W_{pl,y} = 228\ \mathrm{cm}^3$
- Momento plástico de la sección respecto al eje Z: $W_{pl,z} = 188\ \mathrm{cm}^3$
- Resistencia característica del material: $f_y = 275\frac{N}{mm^2}$
- Módulo de elasticidad del material: $E = 210.000\frac{N}{mm^2}$

4.4.1 Clasificación de la sección

La forma de clasificar la sección queda recogida en la norma EAE [3], en su artículo 20.

Se podrá clasificar en una de las cuatro clases definidas en la norma.

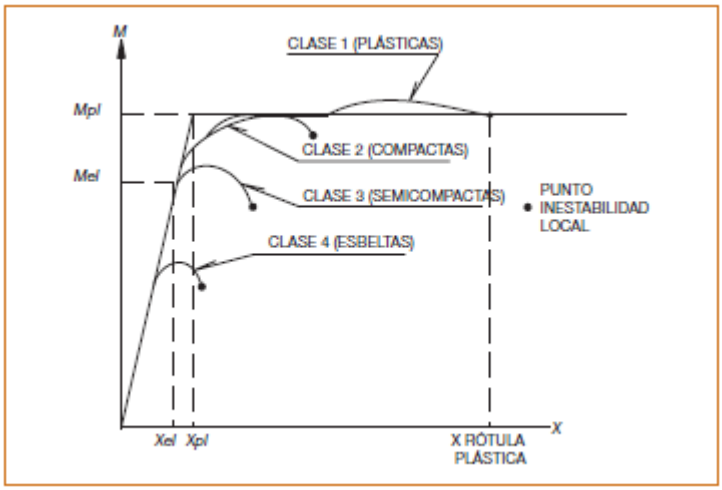
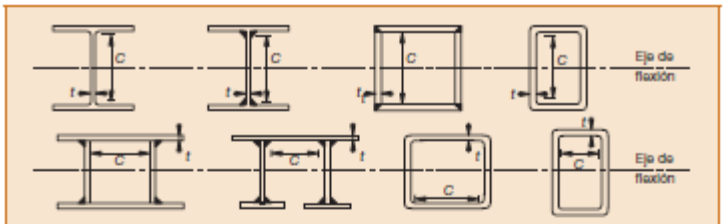
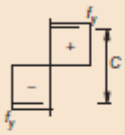
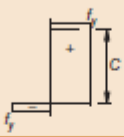
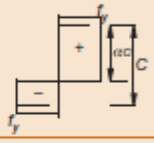
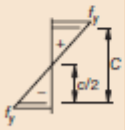
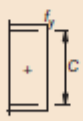
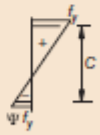


Ilustración 4-56: Leyes momento-curvatura de secciones transversales de cases 1 a 4ç

A partir del artículo 20.3 “Criterios de asignación de clase en secciones no rigidizadas” de la norma EAE [3], se calcula el ala comprimida según la siguiente figura:

Tabla 4-4: esbelteces máximas para paneles comprimidos interiores



Clase	Panel flectado	Panel comprimido	Panel flexocomprimido
Ley de tensiones en los paneles (compresión +)			
1	$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$	Cuando $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ Cuando $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$\frac{c}{t} \leq 83\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq 38\varepsilon$	Cuando $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ Cuando $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$
Ley de tensiones en los paneles (compresión +)			
3	$\frac{c}{t} \leq 124\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq 42\varepsilon$	Cuando $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ Cuando $\psi \leq -1$* : $c/t \leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$

$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	f_y (N/mm²)	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

❖ *Clasificación del alma*

El axil será $N_{Ed} = 0,12\ kN$. Los valores de cálculo son:

$$C_w = 200\ \text{mm} - (2 \cdot 5\text{mm}) = 190\text{mm} \tag{53}$$

$$t_\text{w} = 5\text{mm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{120}{5 \cdot 275 \cdot 190}\right) = 0,501 \tag{54}$$

Se comprueba que:

$$\frac{C}{t_w} = \frac{190}{5} = 38 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot a - 1} = \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,501 - 1} = 64,28 \tag{55}$$

Por lo tanto, la sección del alma es clase 1.

- *Clasificación del ala*

Ahora los valores son:

$$C_f = 150\ \text{mm} - (2 \cdot 5\text{mm}) = 140\text{mm} \tag{56}$$

$$t_\text{f} = 5\text{mm}$$

$$\varepsilon = 0{,}92$$

Para clase 1:

$$\frac{C}{t_w} = \frac{140}{5} = 28 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0.92 = 30{,}36 \tag{57}$$

Por lo tanto, la sección del ala es clase 1.

4.4.2 Cálculo de la resistencia

A continuación, se comprobará la sección para elementos sometidos a flexión y compresión. Para ello nos valdremos de los artículos 34 y 35 de la EAE [3].

4.4.2.1 Esfuerzo axil de compresión.

Según el punto 34.3 de la EAE [3], el esfuerzo axil de compresión deberá cumplir para cualquier sección:

$$N_{Ed} \leq N_{pl,c,Rd} \tag{58}$$

Donde:

N_{Ed} Valor de cálculo del axil = 0,12 kN

$N_{pl,c,Rd}$ Resistencia de cálculo de la sección a compresión

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3322\text{mm}^2 \cdot 275\text{N/mm}^2}{1{,}05} = 870\ \text{kN} \tag{59}$$

Se cumple:

$$0{,}12\ \mathrm{kN} \leq 870\ \mathrm{kN} \tag{60}$$

4.4.2.2 Momento flector

Para calcular el momento flector se sigue el artículo 34.4 de la EAE [3].

Se debe cumplir:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} \tag{61}$$

- *Para el eje Y:*

$$41{,}56\ \mathrm{kNm} \leq \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{228 \cdot 275}{1{,}05} = 59{,}71\ kNm \tag{62}$$

Por tanto, cumple en Y.

- *Para el eje Z:*

$$0{,}04\ \mathrm{kNm} \leq \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{188 \cdot 275}{1{,}05} = 49{,}24\ kNm \tag{63}$$

También cumple para el eje Z.

4.4.2.3 Flexión esviada y axil

Para la flexión esviada y axil, la EAE [3] en el punto 34.7.2.1 indica que se puede comprobar mediante el siguiente criterio aproximado:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^{\beta} \leqslant 1 \tag{64}$$

Siendo, para secciones rectangulares huecas:

$$\alpha = \beta = \frac{1{,}66}{1 - 1{,}13 \cdot n^2} \text{ con } \alpha = \beta \leqslant 6 \tag{65}$$

Donde:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,\mathrm{Rd}}} \tag{66}$$

Sustituyendo valores:

$$\left[\frac{41{,}56}{65{,}04}\right]^{1{,}66} + \left[\frac{0{,}04}{53{,}35}\right]^{1{,}66} = 0{,}47 \ \leq 1 \tag{67}$$

Por tanto, cumple.

4.4.2.4 Estabilidad de la barra

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{C_{my}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{C_{mz}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leqslant 1{,}0 \tag{68}$$

Siendo:

$N_{b,Rd}$ Mínimo de la resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido según los dos ejes principales, según apartado 35.1.1 de la EAE [3]

χ_{LT} Coeficiente de reducción por pandeo lateral, según apartado 35.2.2 de la EAE [3]. Para elementos no susceptibles a torsión tendrá valor 1.

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 275 \frac{N}{mm2} \cdot 228 \cdot 10^3 \ mm^3 = \ 62{,}7 \ kNm \tag{69}$$

$$M_{z,Rk=} f_y \cdot W_{pl,z} = 275 \frac{N}{mm2} \cdot 188 \cdot 10^3 \ mm^3 = \ 51{,}7 \ kNm \tag{70}$$

$N_{cr,y}$ $N_{cr,z}$ Esfuerzos axiles críticos elásticos según 35.1.3

N_{Ed} $M_{y,Ed}$ $M_{z,Ed}$ Valores de cálculo del esfuerzo axil y de los momentos.

C_{my} C_{mz} Coeficientes según la distribución de momentos flectores = 1.

Para el cálculo de $N_{b,Rd}$ nos basamos en el punto 35.1.1 de la EAE [3]

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \tag{71}$$

Donde

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ siendo } \chi < 1{,}0 \tag{72}$$

Siendo:

$\Phi = 0{,}5\left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2\right]$

α = coeficiente de imperfección

$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_\sigma}}$ en secciones de clase $1{,}2$ y 3 .

Es necesario elegir una curva de pandeo según la siguiente tabla. En este caso, nuestro perfil es hueco laminado en caliente. Por lo que la curva de pandeo será “a”, cuyo valor α es 1.

Tabla 4-5: elección de las curvas de pandeo

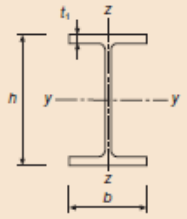
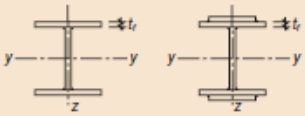
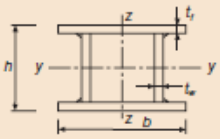
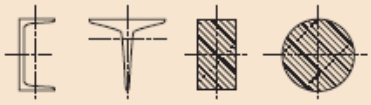
Sección transversal		Límites		Pandeo alrededor del eje	Curva de pandeo: S 235, S 275, S 355, S 420	Curva de pandeo: S 460
Secciones de perfiles laminados		$h/b > 1{,}2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a b	a_0 a_0
			40 mm $< t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c	a a
		$h/b \leq 1{,}2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d d	c c
Secciones de vigas en I armadas soldadas		$t_f \leq 40$ mm		y-y z-z	b c	b c
		$t_f > 40$ mm		y-y z-z	c d	c d
Secciones de perfiles huecos		Acabados en caliente		Cualquiera	a	a_0
		Conformados en frío		Cualquiera	c	c
Secciones de vigas en cajón armadas soldadas		En general (excepto caso recuadro inferior)		Cualquiera	b	b
		Soldadura gruesa $a > 0{,}5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$		Cualquiera	c	c
Secciones de perfiles en U, en T y macizas				Cualquiera	c	c
Secciones de perfiles angulares				Cualquiera	b	b

Tabla 4-6: valores de alfa.

Curva de pandeo	a_0	a	b	c	d
Coeficiente de imperfección α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

La longitud crítica de pandeo del plano que se está considerando es 4 m, por ser una barra biarticulada, por tanto:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000\text{N/mm}^2 \cdot 1922 \cdot 10^4\text{mm}^4}{4000^2\text{mm}^2} = 2489\ kN \tag{72}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000\text{N/mm}^2 \cdot 1238 \cdot 10^4\text{mm}^4}{4000^2\text{mm}^2} = 1603\ kN \tag{74}$$

A continuación, se calculan las esbelteces

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = 0{,}60 \tag{75}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,z}}} = 0{,}75 \tag{76}$$

Y, por último, ya se puede calcular χ_y y χ_z

- χ_y

$$\Phi = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21 \cdot (0{,}60 - 0{,}2) + 0,6^2] = 0{,}72 \tag{77}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0{,}72 + \sqrt{0,72^2 - 0,6^2}} = 0{,}889 \tag{78}$$

- χ_z

$$\Phi = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21 \cdot (0{,}75 - 0{,}2) + 0,75^2] = 0{,}839 \tag{79}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0{,}839 + \sqrt{0,839^2 - 0,75^2}} = 0{,}823 \tag{80}$$

Por tanto, la resistencia de cálculo a pandeo según lo el eje Y y Z serán:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{0{,}8839 \cdot 3322 \cdot 275}{1{,}05} = 870\ kN \tag{81}$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{0{,}823 \cdot 3322 \cdot 275}{1{,}05} = 869\ kN \tag{82}$$

Por último, sustituimos valores

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} + \frac{C_{my}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{C_{mz}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leqslant 1{,}0 \tag{83}$$

$$\frac{0{,}12}{869} + \frac{1}{1 - \frac{0{,}12}{2489}} \cdot \frac{41{,}56}{\frac{1 \cdot 62{,}7}{1{,}05}} + \frac{1}{1 - \frac{0{,}12}{1603}} \cdot \frac{0{,}04}{\frac{51{,}7}{1{,}05}} = 0{,}7034 \leqslant 1{,}0 \tag{84}$$

4.4.2.4.1 Comparativa con Robot Structural Analysis

El cálculo realizado por el programa Robot Structural Analysis ha sido:

```
CONTROL DE LA ESTABILIDAD DE LA BARRA
Lamy = 52.59 < Lam,max = 210.00    ESTABLE
N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + kyz*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.70 < 1.00   (6.3.3.(4))
```

Por tanto, los resultados son coherentes. El método simplificado de la EAE [3] determina una menor estabilidad de la barra, lo cual está del lado de la seguridad. Sin embargo, no se observa mucha desviación

$$0{,}70 < 0{,}7034 \tag{85}$$

Por lo que se puede confirmar que los cálculos son correctos.

5 ESTIMACIÓN ECONÓMICA

A continuación, se presenta una estimación económica del material empleado en la pasarela.

La base de precios empleada es el Generador de Precios del programa CYPE, actualizado a junio de 2020, y para la provincia de Jaén.

También se presentará el desglose de precios de los perfiles estructurales empleados y el pavimento.

Código	Descripción	Unidades	Longitud	Kg metro lineal	Medición	Precio	Total
	CAPÍTULO 1 C01 ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
	kg. Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura de pasarela peatonal, formada por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.						
VIG_LONG	TREC 300X100x8	x2	66	46,7	3082,2	8,78	27061,716
	kg. Acero UNE-EN 10025 S275JR, en viguetas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, simplemente apoyado, a una altura de hasta 3 m. El precio incluye los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.						
VIG_INF	TREC 200x150x5	x23	92	26,1	2401,2	1,89	4538,268
	kg. Acero UNE-EN 10025 S275JR, en viguetas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, simplemente apoyado, a una altura de hasta 3 m. El precio incluye los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje..						
VIG_SUP	TRON 88x3,2	x5	20	6,76	135,2	1,54	208,208
	kg. Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura de pasarela peatonal, formada por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.						
ARCO	TRON 355x3,6	x2	36	54,6	1965,6	8,78	17257,968
	kg. Acero UNE-EN 10025 S275JR, en pilares formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, colocado con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.						
PEND	TRON 114x3,6	x1	109	9,81	1069,29	1,72	1839,1788
	kg. Acero UNE-EN 10025 S275JR, en viguetas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, simplemente apoyado, a una altura de hasta 3 m. El precio incluye los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.						
TORN	TRON 48x3,2	x52	222,04	3,55	788,242	1,72	1355,77624
						TOTAL	**52261,115**

Código	Descripción	Unidades	Longitud	Kg metro lineal	Medición	Precio	Total
	CAPÍTULO 2 C02 PAVIMENTO						
	m2. Losa de 12 cm de canto, realizada con placas alveolares prefabricadas de hormigón pretensado, de 12 cm de canto y 100 cm de anchura, con momento flector último de 12 kN·m/m, con altura libre de planta de hasta 3 m, apoyada directamente sobre vigas de canto o muros de carga; relleno de juntas entre placas alveolares y zonas de enlace con apoyos, realizados con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero B 500 S en zona de negativos, con una cuantía aproximada de 4 kg/m². Incluso piezas de acero UNE-EN 10025 S275JR tipo Omega, en posición invertida, laminado en caliente, con recubrimiento galvanizado, 1 kg/m², para el apoyo de las placas en los huecos del forjado y alambre de atar. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye los apoyos ni los pilares.						
PAV		4	33		132	55,63	7343,16
	m2. Capa de 4 cm de espesor de mezcla bituminosa en frío de composición densa, tipo DF12, con árido granítico y emulsión bituminosa. El precio no incluye la capa base.						
BIT		4	33		132	4,19	553,08
						TOTAL	**7896,24**
	CAPÍTULO 3 C03 BARANDILLA						
	m. Barandilla de protección exterior sobre pavimento, de 1,25 metros de altura, realizada con pasamanos y tubos horizontales de acero de 50 mm de diámetro separados 40 cm y pilastras del mismo tubo cada 1,5 m.						
BAR		x2	33		66	31,67	2090,22
						TOTAL	**2090,22**

RESUMEN GENERAL DEL PRESUPUESTO

Código	Capítulo	Total
C01	ELEMENTOS ESTRUCTURALES	52.261,12 €
C02	PAVIMENTO	7.896,24 €
C03	BARANDILLA	2.090,22 €
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	**62.247,58 €**

noviembre de 2020

5.1 Desglose de precios

EAE020 kg Acero en estructura de pasarela peatonal. 8,84€

Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura de pasarela peatonal, formada por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		**Materiales**			
mt07ala010deb	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	0,96	0,96
			Subtotal materiales:		**0,96**
2		**Equipo y maquinaria**			
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,20	0,05
			Subtotal equipo y maquinaria:		**0,05**
3		**Mano de obra**			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,200	19,67	3,93
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,200	18,63	3,73
			Subtotal mano de obra:		**7,66**
4		**Costes directos complementarios**			
	%	Costes directos complementarios	2,000	8,67	0,17
Coste de mantenimiento decenal: 0,27€ en los primeros 10 años.			**Costes directos** (1+2+3+4):		8,84

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(b) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones

EAU010 kg Acero en viguetas. 1,54€

Acero UNE-EN 10025 S275JR, en viguetas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, simplemente apoyado, a una altura de hasta 3 m. El precio incluye los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		**Materiales**			
mt07ala010dca	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar en obra.	1,000	0,93	0,93
			Subtotal materiales:		**0,93**
2		**Mano de obra**			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,015	19,67	0,30
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,015	18,63	0,28
			Subtotal mano de obra:		**0,58**
3		**Costes directos complementarios**			
	%	Costes directos complementarios	2,000	1,51	0,03
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.			**Costes directos** (1+2+3):		1,54

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(b) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones

EAS010 kg Acero en pilares. 1,72€

Acero UNE-EN 10025 S275JR, en pilares formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, colocado con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		**Materiales**			
mt07ala010dcb	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	1,03	1,03
			Subtotal materiales:		**1,03**
2		**Equipo y maquinaria**			
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,20	0,05
			Subtotal equipo y maquinaria:		**0,05**
3		**Mano de obra**			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,016	19,67	0,31
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,016	18,63	0,30
			Subtotal mano de obra:		**0,61**
4		**Costes directos complementarios**			
	%	Costes directos complementarios	2,000	1,69	0,03
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.			**Costes directos** (1+2+3+4):		1,72

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(b) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones

EPF010 m² Losa de placas alveolares prefabricadas de hormigón pretensado. 51,68€

Losa de 12 cm de canto, realizada con placas alveolares prefabricadas de hormigón pretensado, de 12 cm de canto y 100 cm de anchura, con momento flector último de 12 kN·m/m, con altura libre de planta de hasta 3 m, apoyada directamente sobre vigas de canto o muros de carga; relleno de juntas entre placas alveolares y zonas de enlace con apoyos, realizados con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero B 500 S en zona de negativos, con una cuantía aproximada de 4 kg/m². Incluso piezas de acero UNE-EN 10025 S275JR tipo Omega, en posición invertida, laminado en caliente, con recubrimiento galvanizado, 1 kg/m², para el apoyo de las placas en los huecos del forjado y alambre de atar. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye los apoyos ni los pilares.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		**Materiales**			
mt07pha020aa1b	m²	Placa alveolar prefabricada de hormigón pretensado de 12 cm de canto y 100 cm de anchura, con junta lateral abierta superiormente, momento flector último de 12 kN·m por m de ancho. Según UNE-EN 1168.	1,000	26,20	26,20
mt07ala250b	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en pieza para apoyo de placa prefabricada de hormigón en hueco de forjado, compuesta por perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T y pletina, trabajado en taller, acabado galvanizado en caliente.	1,000	2,64	2,64
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	4,000	0,81	3,24
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,048	1,10	0,05
mt10haf010nga	m³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	0,011	76,88	0,85
			Subtotal materiales:		**32,98**
2		**Equipo y maquinaria**			
mq07gte010c	h	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t y 27 m de altura máxima de trabajo.	0,150	67,00	10,05
			Subtotal equipo y maquinaria:		**10,05**
3		**Mano de obra**			
mo046	h	Oficial 1ª montador de estructura prefabricada de hormigón.	0,150	19,67	2,95
mo093	h	Ayudante montador de estructura prefabricada de hormigón.	0,150	18,63	2,79
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,048	19,67	0,94
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,040	18,63	0,75
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,002	19,67	0,04
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,009	18,63	0,17
			Subtotal mano de obra:		**7,64**
4		**Costes directos complementarios**			
	%	Costes directos complementarios	2,000	50,67	1,01
Coste de mantenimiento decenal: 4,13€ en los primeros 10 años.			**Costes directos** (1+2+3+4):		51,68

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)
UNE-EN 1168:2006/A3:2012 Productos prefabricados de hormigón. Placas alveolares.	1.7.2012	1.7.2013	2+
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(b) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones

UXF020 m² Capa de mezcla bituminosa en frío. 4,19€

Capa de 4 cm de espesor de mezcla bituminosa en frío de composición densa, tipo DF12, con árido granítico y emulsión bituminosa. El precio no incluye la capa base.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		**Materiales**			
mt47aag030aa	t	Mezcla bituminosa en frío de composición densa, tipo DF12, con árido granítico y emulsión bituminosa.	0,092	40,97	3,77
			Subtotal materiales:		**3,77**
2		**Equipo y maquinaria**			
mq11ext030	h	Extendedora asfáltica de cadenas, de 81 kW.	0,001	80,34	0,08
mq02ron010a	h	Rodillo vibrante tándem autopropulsado, de 24,8 kW, de 2450 kg, anchura de trabajo 100 cm.	0,001	16,58	0,02
mq11com010	h	Compactador de neumáticos autopropulsado, de 12/22 t.	0,001	58,20	0,06
			Subtotal equipo y maquinaria:		**0,16**
3		**Mano de obra**			
mo041	h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0,002	18,89	0,04
mo087	h	Ayudante construcción de obra civil.	0,008	17,90	0,14
			Subtotal mano de obra:		**0,18**
4		**Costes directos complementarios**			
	%	Costes directos complementarios	2,000	4,11	0,08
Coste de mantenimiento decenal: 0,59€ en los primeros 10 años.			**Costes directos** (1+2+3+4):		4,19

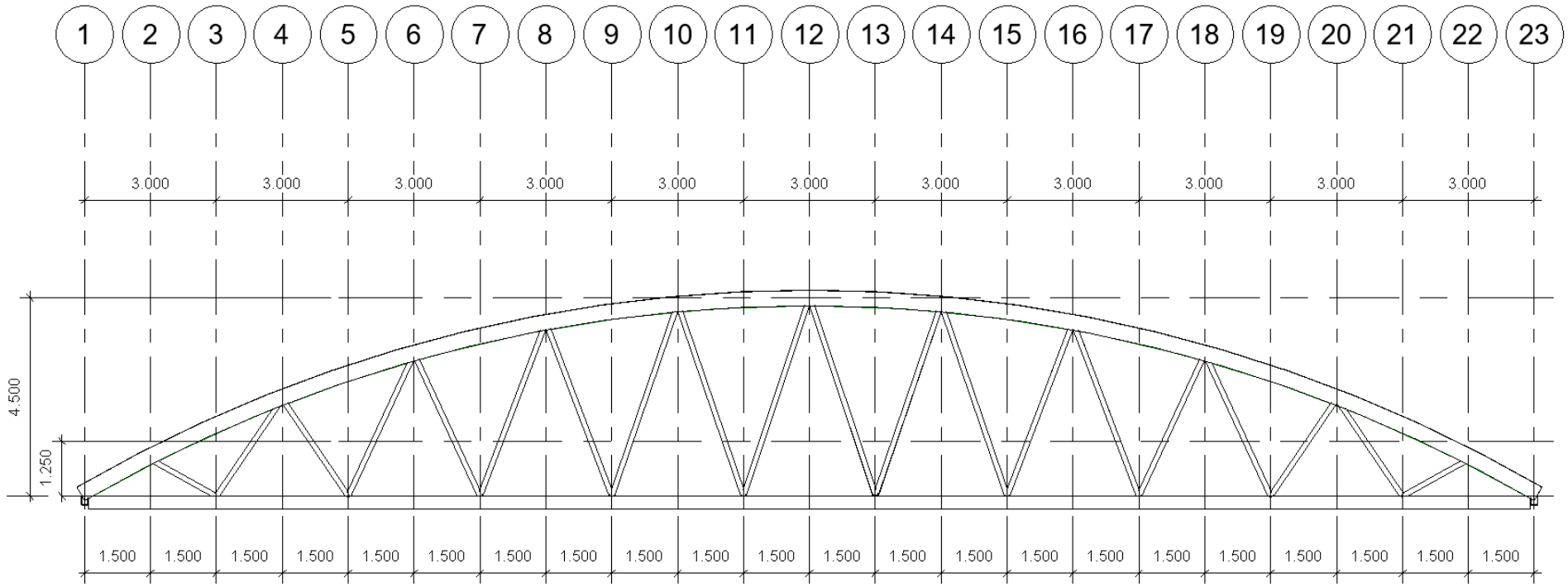
6 PLANOS

SITUACIÓN GENERAL
Escala 1:5000

SITUACIÓN EN PLANTA
Escala 1:1000

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	11-11-20	P.M.Belda		
COMPROBADO				

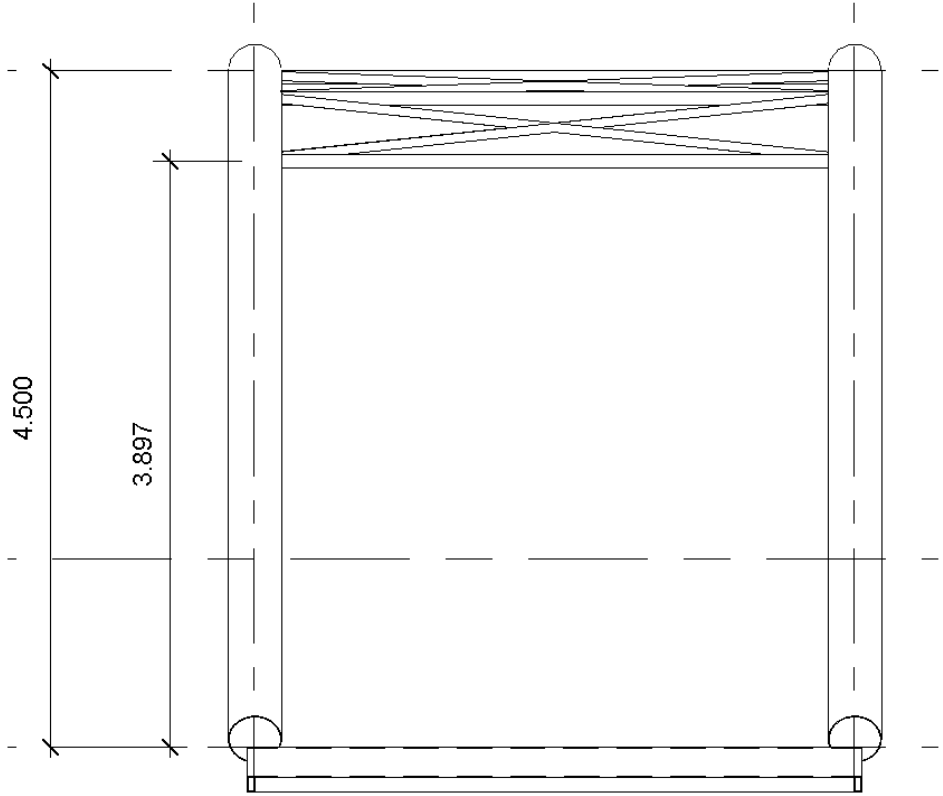
ESCALA: varias	Situación	Nº PLANO 1
		SUSTITUYE A:
		SUSTITUIDO POR:



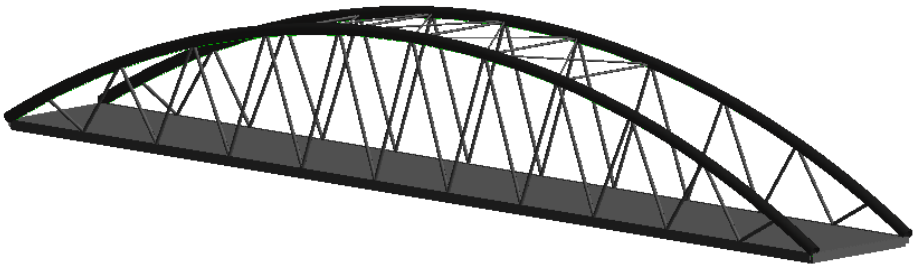
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	11-11-20	P.M.Belda		
COMPROBADO				

ESCALA: 1:100	Plano en alzado	Nº PLANO 2
		SUSTITUYE A:
		SUSTITUIDO POR:

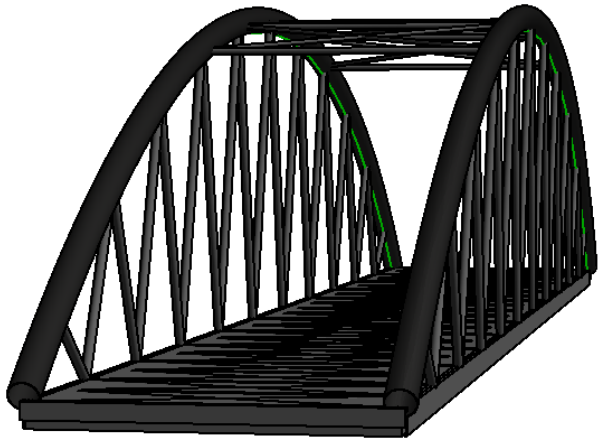
Escala 1:50



Escala: indeterminada



Escala: indeterminada



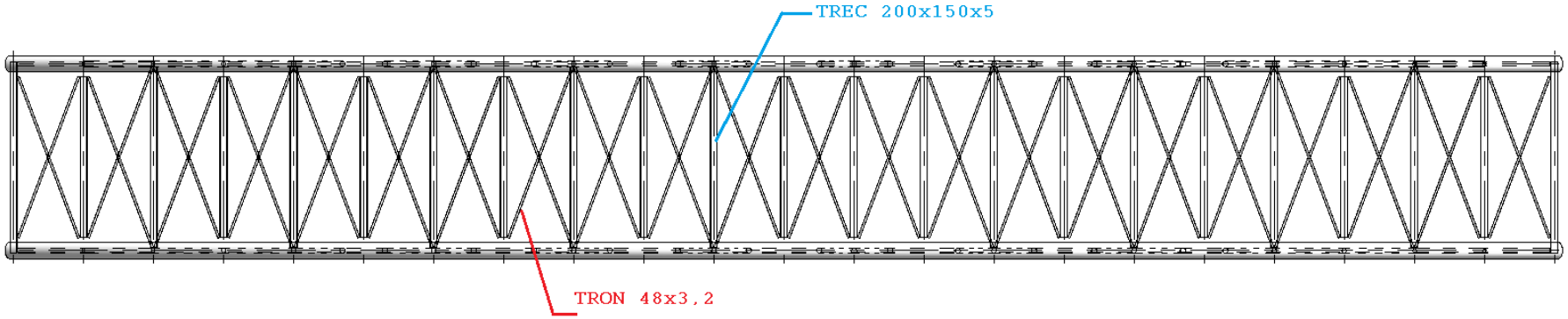
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	11-11-20	P.M.Belda		
COMPROBADO				

ESCALA: 1:100	Vista 3D	Nº PLANO 4
		SUSTITUYE A:
		SUSTITUIDO POR:

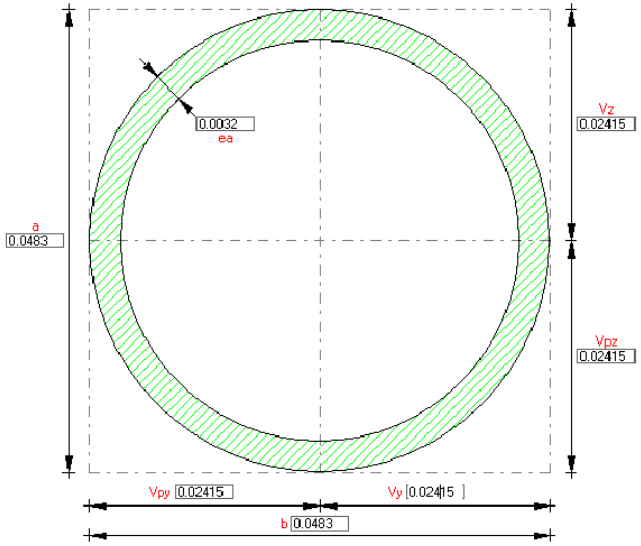
DETALLE EN PLANTA: NIVEL TABLERO

Escala 1:100

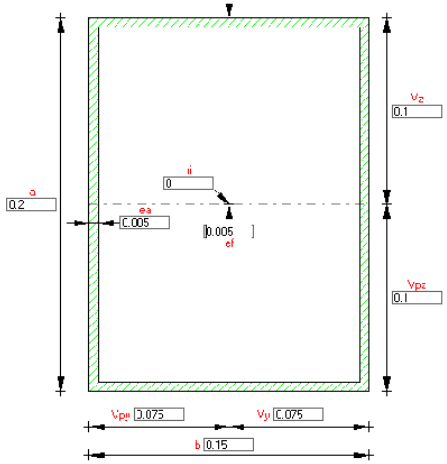
Unidades en metros



TRON 48x3,2
Escala 2:1



TREC 200x150x5
Escala 1:3



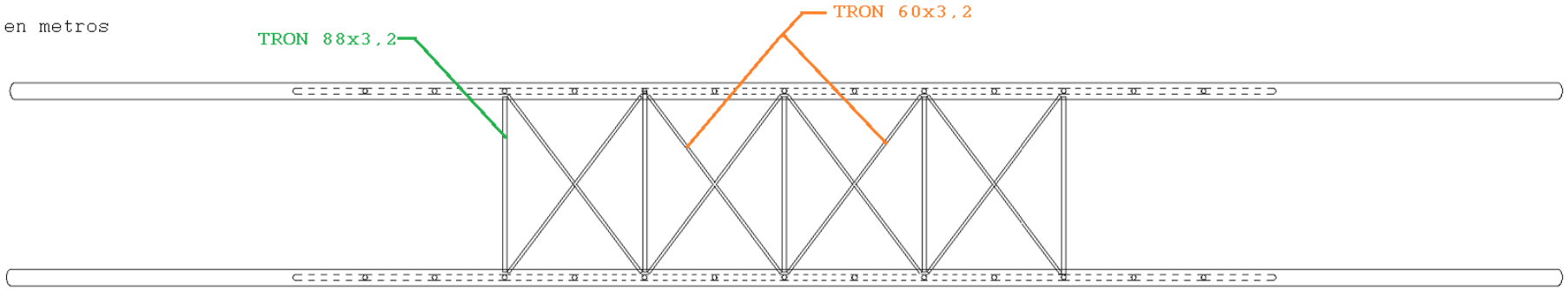
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	11-11-20	P.M.Belda		
COMPROBADO				

ESCALA: varias	Detalle en planta: nivel tablero	Nº PLANO 5
		SUSTITUYE A:
		SUSTITUIDO POR:

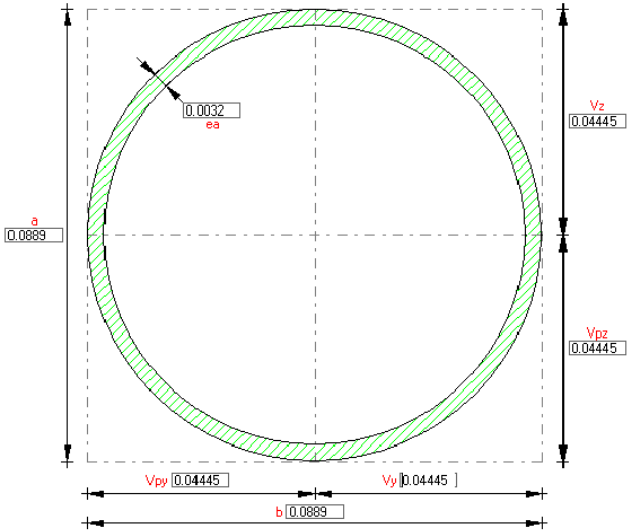
DETALLE EN PLANTA: NIVEL SUPERIOR

Escala 1:100

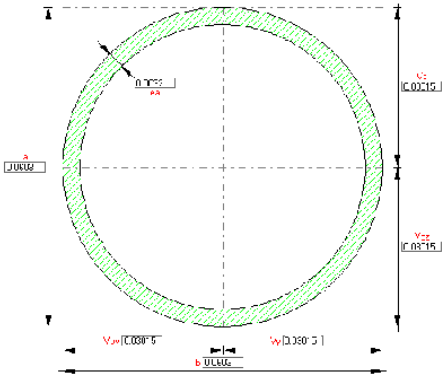
Unidades en metros



TRON 88x3,2
Escala 1:1



TRON 60x3,2
Escala 1:1

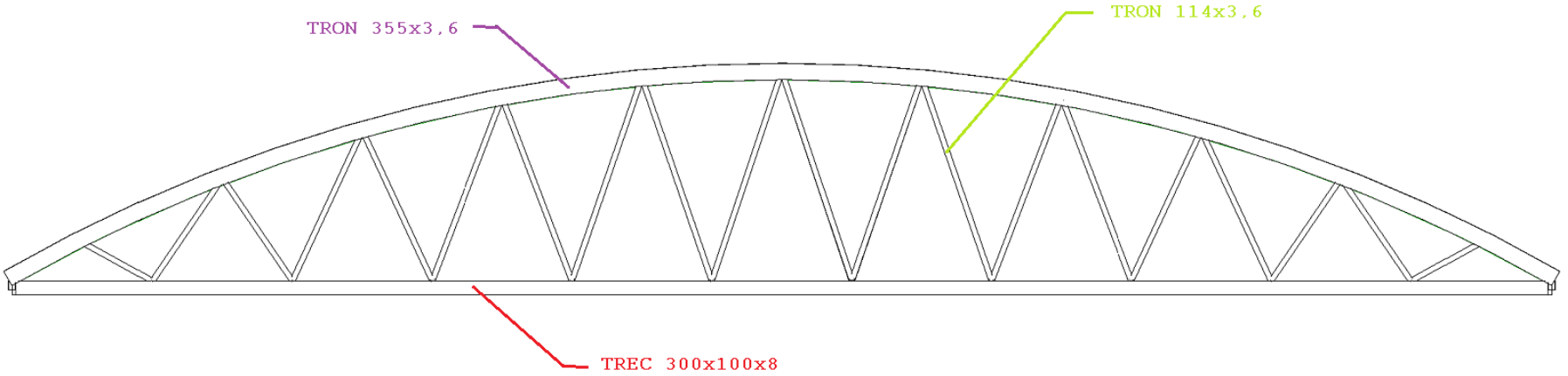


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	11-11-20	P.M.Belda		
COMPROBADO				

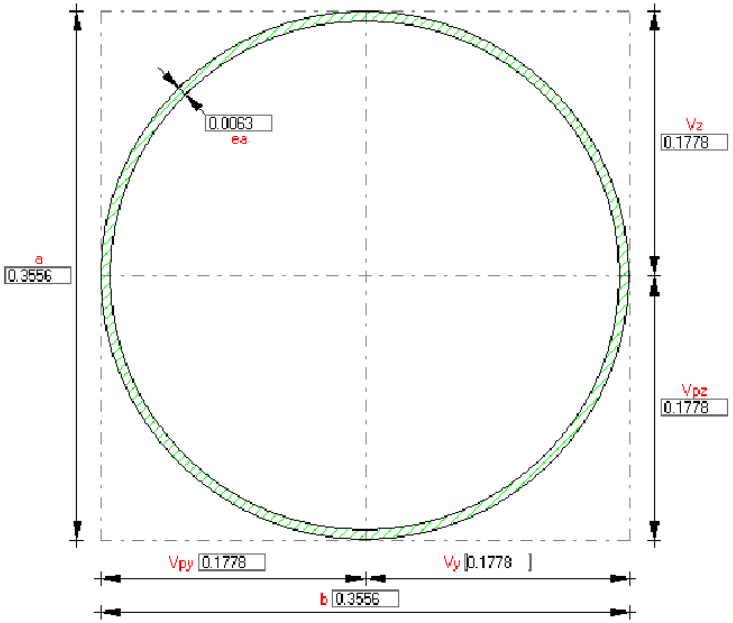
ESCALA: varias	Detalle en planta: nivel superior	Nº PLANO 6
		SUSTITUYE A:
		SUSTITUIDO POR:

DETALLE EN ALZADO

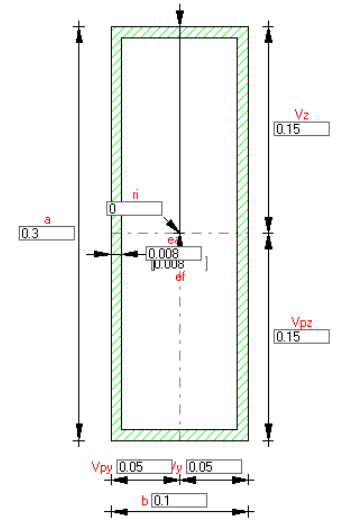
Escala 1:100



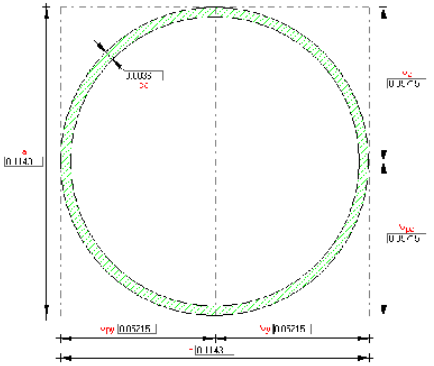
TRON 355x3,6
Escala 1:3



TREC 300x100x8
Escala 1:4



TRON 114x3,6
Escala 1:2



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	11-11-20	P.M.Belda		
COMPROBADO				

ESCALA: varias	Detalle en alzado	Nº PLANO 7
		SUSTITUYE A:
		SUSTITUIDO POR:

7 BIBLIOGRAFÍA

[1] G. de E. Ministerio de Fomento. (2011). “IAP-11: Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera,”.

[2] G. de E. Ministerio de Fomento. (2007). “NCSP-07: Norma de Construcción Sismoresistente de Puentes.,”

[3] E. C. P. de E. de Acero and E. M. de Fomento. (2012). “EAE: Instrucción de Acero Estructural,” Ser. Norm. (Ministerio Fomento).

[4] Pasarelas peatonales. Caminos Naturales. Manual de aspectos constructivos. Cap.6. Normalización de aspectos constructivos. Ministerio de agricultura alimentación y Medio Ambiente. (2012).

[5] Manrique Piura, Ernesto Seminario. (2014). Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Piura, Peru.

[6] Muñoz Díaz, Edgar Eduardo. (2012). Ingeniería de puentes. Reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación. Colección de libros de Investigación de Pontificia Universidad Javeriana.

[7] Proyecto CICA Recursos didácticos. Sociedad Andaluza de educación matemática Thales. (s.f). Los puentes. Clasificación. Recuperado de https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-2/contenido/9_clasificacion_puentes.htm

[8] Durán, Manuel. (2015) Los puentes arco de época romana. Puentes arco (I). Historia de los puentes en arco. Revista de obras públicas. Pag. 7-18. Madrid, España.

[9] Curso construcción de puentes: Tipologías de puentes. (s.f). Stuctualia.

[10] BuildingSmart. (s.f.) https://www.buildingsmart.es/bim/

[11] Autodesk. (s.f). https://www.autodesk.es/solutions/bim/benefits-of-bim