



ANEJO Nº1: ESTUDIO DE SOLUCIONES

Redactor:

Ángel Andújar Zabal



ANEJO Nº1: ESTUDIO DE SOLUCIONES

1. OBJETO..... 2

2. CONDICIONANTES 2

2.1. NATURALES 2

2.2. FUNCIONALES..... 3

2.3. ESTÉTICOS 3

2.4. CONSTRUCTIVOS..... 4

2.5. ECONÓMICOS..... 4

3. PLANTEAMIENTO INICIAL DE LAS ALTERNATIVAS..... 4

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS 4

4.1. ARCO SUPERIOR..... 5

4.2. TERRAPLÉN Y DOS PUENTES TIPO VIGA 5

4.3. VIGA CONTINUA DE TABLERO MIXTO..... 6

5. PREDIMENSIONAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS 6

5.1. ARCO SUPERIOR..... 6

5.2. TERRAPLÉN Y DOS PUENTES VIGA 8

5.3. VIGA CONTINUA DE TABLERO MIXTO..... 9

6. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS10

6.1. ARCO SUPERIOR..... 10

6.2. TERRAPLÉN Y DOS PUENTES TIPO VIGA 11

6.3. VIGA CONTINUA DE TABLERO MIXTO..... 11

7. COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS11

8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA12



1. OBJETO

El objeto del presente Anejo es la realización de un estudio comparativo de las soluciones propuestas para comprobar la viabilidad de las diferentes soluciones constructivas diferenciadas entre sí, y obtener un resultado que nos pueda aportar beneficio en el campo económico, medio ambiental y de tiempos de ejecución, así como obtener la solución que más se adecue a las necesidades funcionales de proyecto.

Se podría sintetizar que se ha realizado un análisis multicriterio comparativo entre las diferentes soluciones propuestas: realizar la conexión mediante terraplenes y dos puentes de luz reducida, mediante un puente tipo viga y en la parte central un arco superior y mediante un puente tipo viga en su totalidad.

Se ha analizado cada alternativa desde diferentes puntos de vista: funcional, estético, económico, etc. Para ello se ha realizado un calculo simplificado de la sección resistente necesaria según la tipología de cada alternativa y se ha aproximado el coste de la misma.

Con los datos que se han obtenido de estos análisis se ha realizado una comparación y evaluación de los resultados para conocer la solución más idónea.

Este estudio de soluciones se ha llevado a cabo intentando satisfacer los diversos condicionantes, cumpliendo las funciones de seguridad, funcionalidad, durabilidad, economía y también otras de carácter no técnico como las estéticas, medioambientales y las de integración con el entorno.

2. CONDICIONANTES

2.1. Naturales

2.1.1. Topografía

El puente sirve de enlace entre la Autovia RN23 y la Ronda Este de Tiaret, Argelia.

La región de Tiaret queda emplazada en un gran sinclinal desde el Sudoeste hasta el Noreste y rellenado de depósitos carbonatados del mesozoico, la estructura litológica del tellien se caracteriza por el desarrollo de depósito aluviales (materiales suelos), niveles calcáreos jurásicos y niveles de arenisca y margas miocenas.

La topografía natural de la zona es bastante regular en la cual no se encuentran fallas ni otros elementos naturales que puedan suponer un diseño especial o una peculiaridad en el cálculo (ver *Figura 2.1.1.a Imagen de la situación actual*)

2.1.2. Hidrología

En el Estudio Geotécnico, proporcionado por la Autoridad encargada de llevar a cabo el enlace entre la Autovia RN23 y la Ronda Este de Tiaret, se determina que la zona no presenta nivel freático por lo que no existe presencia de agua que pueda condicionar las subestructura.



Figura 2.1.1.a Imagen de la situación actual.

2.1.3. Acciones naturales

La estructura se puede ver sometida fundamentalmente a dos tipos de acciones naturales:

Acciones climáticas (lluvia, nieve, viento y temperatura): se diseñará la estructura de forma que resista las variaciones de longitud debidas a la temperatura y los esfuerzos inducidos por el viento y la nieve. Así mismo deberá evacuar las pluviales de forma eficiente.

Acciones sísmicas: La zona de estudio cuenta con una sismicidad de 0,12g, por lo que se diseñará la estructura de forma que resista la acción sísmica que presenta la zona de Tiaret.

2.1.4. Entorno paisajístico

El puente sirve de enlace entre la Autovia RN23 y la Ronda Este de Tiaret, Argelia.

Como se ha establecido anteriormente la zona de las obras se encuentra en un gran sinclinal donde la topografía es muy regular y donde no hay vegetación ni elementos de obra que caractericen el entorno, por lo que el entorno es abierto y despejado sin elementos que destaquen.



La solución seleccionada debe estar integrada y en armonía con el entorno natural que lo rodea. Así mismo, se deben buscar soluciones y procesos constructivos con poca afección al terreno y al entorno.

2.1.5. Geotecnia

El Informe Geotécnico de la zona del emplazamiento de las obras ha sido realizado por el laboratorio “Laboratoire Travaux Publics L’Oouest” y proporcionado por la autoridad encargada de la realización del enlace. En el informe se detallan los sondeos rotativos y las campañas geoténicas realizadas tanto por el laboratorio “Laboratoire Travaux Publics L’Oouest” como los sondeos complementarios realizados por el laboratorio “Blamberg”.

En dicho informe se determinan que la zona presenta tres niveles diferenciados:

- Nivel 0: Desde la cota 0 hasta la cota -2,7 m: constituidos por la capa superficial del aglomerado asfáltico que apoya sobre los rellenos granulares de las capas del firme. Este primer nivel presenta escasa importancia geotécnica ya que se procederá a excavar para implementar la cimentación.
- Nivel A: Desde la cota -2,7 m hasta la cota -5,0 m, donde el terreno se ha clasificado como arcillas limosas de baja plasticidad.
- Nivel B: Desde la cota -5 m hasta la máxima profundidad reconocida -20 m: se trata del sustrato terciario constituido por margas arcillosas de consistencia muy firme.

El terreno del nivel A es un terreno bueno con capacidad portante alta, por lo que es suficiente con alcanzar 2,7 m de profundidad para realizar la cimentación.

2.2. Funcionales

2.2.1. Trazado

La planta del puente debe dar continuidad a la Ronda Este de Tiaret, sobrepasando la Autovía RN23 y conservando la actual rotonda. La Autoridad encargada del proyecto ha realizado un estudio de trazado del enlace en el cual se ha determinado cuál será la traza en planta del mismo. Por lo que la longitud del enlace es de 182 m, con la posibilidad de poder ampliarla o reducirla ligeramente si el diseño del enlace así lo requiere.

El trazado en alzado queda esencialmente sujeto a la actual rotonda que servirá de enlace entre la Ronda Este de Tiaret y la Autovía RN23. La rotonda afecta al emplazamiento de las pilas ya que deben situarse o bien dentro de la rotonda o bien lo suficientemente alejadas de la misma de manera que no se impida la circulación alrededor de la rotonda. Así mismo, es necesario ajustarse a las pendientes longitudinales sugeridas por la Autoridad encargada de proyecto, al mismo tiempo de asegurarse que se cumple con la normativa vigente que limita las pendientes longitudinales, siendo este límite de 12%.

2.2.2. Anchura del tablero

El enlace entre la Autovía RN23 y la Ronda Este de Tiaret, se ha resuelto mediante un puente de doble calzada, es decir, las calzadas correspondientes a cada sentido de circulación se encuentran separadas físicamente. Cada calzada cuenta con 9,6 m de ancho y da servicio a dos carriles en un mismo sentido de circulación. La Entidad responsable del proyecto ha encargado únicamente el diseño de una calzada para un único sentido de circulación.

El ancho total del puente es de 9,6 m, reservado para vehículos a motor, conformando dos carriles en un mismo sentido de 3,5 m de ancho.

2.2.3. Gálibo

Como se ha detallado en el apartado del condicionante de trazado se debe continuar dando servicio a la rotonda que quedará bajo el puente de enlace, por lo que es necesario respetar una distancia de seguridad entre la calzada de la rotonda y el tablero del puente para evitar molestias o daños a los usuarios.

El galibo que debe respetarse, como mínimo, es de 5 m.

2.2.4. Pendientes

Las pendientes longitudinales del enlace no deben superar el 12% por razones de accesibilidad de los vehículos y al mismo tiempo debe ser suficiente para asegurar la evacuación de las pluviales del tablero, con un mínimo de 0,5%.

La pendiente transversal mínima será del 2% en los carriles para asegurar la evacuación de pluviales en el tablero.

2.2.5. Conductos para servicios

No debe preverse ningún espacio para ubicar conducciones de la red de servicios ya que la Autoridad responsable del proyecto ha determinado que no es necesario. Sin embargo debe preverse la evacuación de pluviales del tablero y las conducciones necesarias para llevar a cabo el drenaje.

2.3. Estéticos

2.3.1. Estética + durabilidad, funcionalidad y seguridad

Se dará especial preferencia a las soluciones englobadas en la seguridad y durabilidad sin despreciar el factor estético.



2.3.2. Área natural próxima

Se debe tener en consideración el diseño estético del conjunto, integrándolo con el medio ambiente del entorno próximo a la zona de actuación.

2.4. Constructivos

2.4.1. Presencia de maquinaria pesada

Será necesario habilitar una zona para el almacén de la maquinaria y facilitar un vial de acceso con anchura suficiente para el paso y maniobras de la misma. Así mismo, disponer de una zona de acopio de materiales y una zona de escombros.

2.4.2. Relleno

Para satisfacer la normativa de accesibilidad se necesitará la ejecución de un relleno para la construcción de las rampas de entrada y salida.

2.4.3. Plazos de ejecución

Es conveniente establecer un plazo máximo de ejecución para evitar prolongaciones excesivas en la duración de las actividades. Se deberán buscar soluciones con procedimientos de construcción que agilicen y faciliten la ejecución.

2.4.4. Legislación

Es necesario cumplir con la normativa técnica vigente en este País (Argelia), así como la redacción y cumplimiento de un estudio de seguridad y salud e impacto ambiental, los cuales no pertenecen al alcance de este proyecto.

2.5. Económicos

A pesar de no existir limitación de presupuesto es conveniente tener en cuenta en todo momento el coste global tanto de la estructura como de su mantenimiento para tratar de encontrar una solución lo más económica posible sin dejar de lado la funcionalidad, seguridad y estética.

3. PLANTEAMIENTO INICIAL DE LAS ALTERNATIVAS

En primer lugar se expondrán las tipologías estructurales que, en base a los condicionantes anteriormente analizados en el apartado anterior, mejor se adaptan a los requisitos de proyecto.

Desde un principio se descartan todas aquellas soluciones cuyo elemento resistente se considera excesivo para este proyecto debido a su elevado coste económico frente al relativamente poco valor arquitectónico que proporciona un puente de enlace entre una autovía y una ronda en un emplazamiento alejado de la zona urbana. Además son descartadas ya que no son viables para la luz de este proyecto. De esta forma, se descartan las tipologías siguientes:

- Puente colgante: la propia naturaleza de esta tipología hace que sea descartada desde un primer momento ya que la luz a salvar sería de aproximadamente 80 m debido a que los extremos son inevitablemente rampas de acceso, por lo que la zona sustentada por el elemento colgante sería únicamente los metros centrales. Así mismo esta tipología presenta un coste elevado y los beneficios característicos de la misma no son necesarios en este proyecto.
- Puente atirantado: se ha descartado considerar esta tipología estructural ya que es recomendable para luces mayores y también presenta un coste de ejecución elevado.

Por lo tanto, se van a analizar las siguientes soluciones de enlace:

- Terraplén + puentes de luz reducida: se trata de realizar terraplenes en las partes exteriores (rampas de acceso) e interiores a la rotonda y proyectar dos puentes de pequeña luz que salven los carriles de circulación de la rotonda.
- Puente tipo arco: se trata de realizar las rampas de acceso mediante un tablero tipo viga y la parte central, que salva la rotonda inferior, sustentada mediante un arco superior.
- Puente de vigas: se trata de realizar todo el enlace mediante un puente de vigas continuas apoyado en pilas.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Como se ha detallado en el condicionante de trazado, la longitud del enlace viene dada, siendo esta de 182m. Sin embargo, no es necesario realizar un único puente que abarque dichos metros, se pueden realizar soluciones que no conlleven la realización de un puente de 182 m de luz.

Existen un conjunto de características que se pueden fijar desde un primer momento y que serán comunes a todas las alternativas:

- El ancho del tablero será de 9,6 m
- El trazado en alzado del tablero: constarán de dos rampas de acceso con una pendiente del 7% y una parte central con la pendiente mínima del 1,5% para evacuación de pluviales.
- El gálibo inferior deberá respetar el mínimo establecido por la normativa, siendo este de 5 m.
- La pendiente longitudinal máxima no superará el 12%



4.1. Arco superior

En primer lugar se plantea una solución en la cual las rampas de acceso se resuelven mediante dos puentes de 49 m cada uno, los cuales presentan un tablero tipo viga de sección mixta. Los 84 m centrales se han diseñado para resistir con un arco superior y un tablero de sección mixta.

La luz total del puente es de 182m, presentando 5 vanos: 21 m, 28 m, 84m, 28m y 21m.

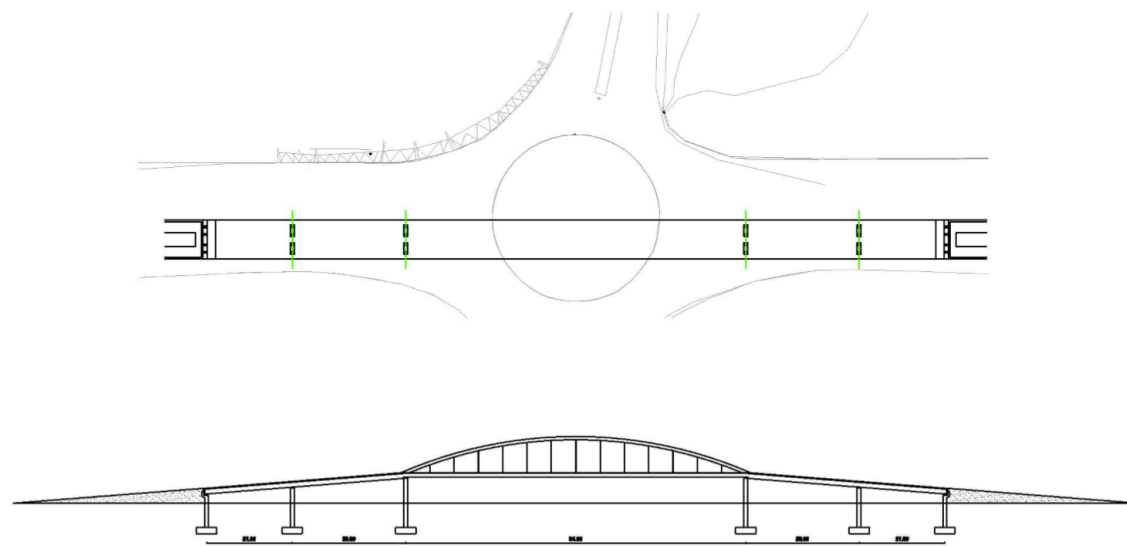


Figura 4.1.a. Alzado y planta del arco superior

Como sistema primario se plantean dos arcos verticales de 8m de altura situados en los extremos del tablero y las péndolas que se encuentran situadas cada 6 metros. El tablero esta formado por dos vigas longitudinales, que resisten principalmente las tracciones, situadas en los extremos del tablero y una losa de hormigón armado de 20 cm de canto.

Así mismo se dispondrán los rigidizadores necesarios tanto para evitar el pandeo del arco, como los rigidizadores de las vigas del tablero.

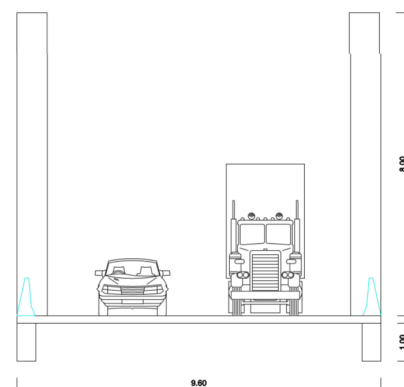


Figura 4.1.b. Sección transversal arco superior

4.2. Terraplén y dos puentes tipo viga

En esta segunda alternativa se abandona la idea de desarrollar el elemento resistente principal por encima del tablero y se introduce la idea de realizar el enlace sin la necesidad de realizar un puente de 182m. El enlace esta formado por dos rampas de acceso y dos puentes tipo viga de 20 m que salvan los carriles de la rotonda inferior de manera que se permite el servicio por vía inferior

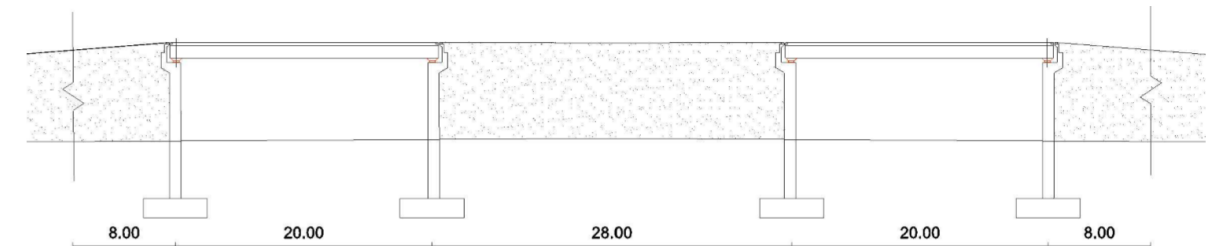


Figura 4.2.a. Alzado Alternativa 2

Los estribos de los extremos se plantean con las aletas inclinadas para retener las tierras de los terraplenes de las rampas de acceso, mientras que los estribos que se emplazan en la rotonda se plantean con las aletas perpendiculares ya que no se puede realizar un terraplén en la rotonda.

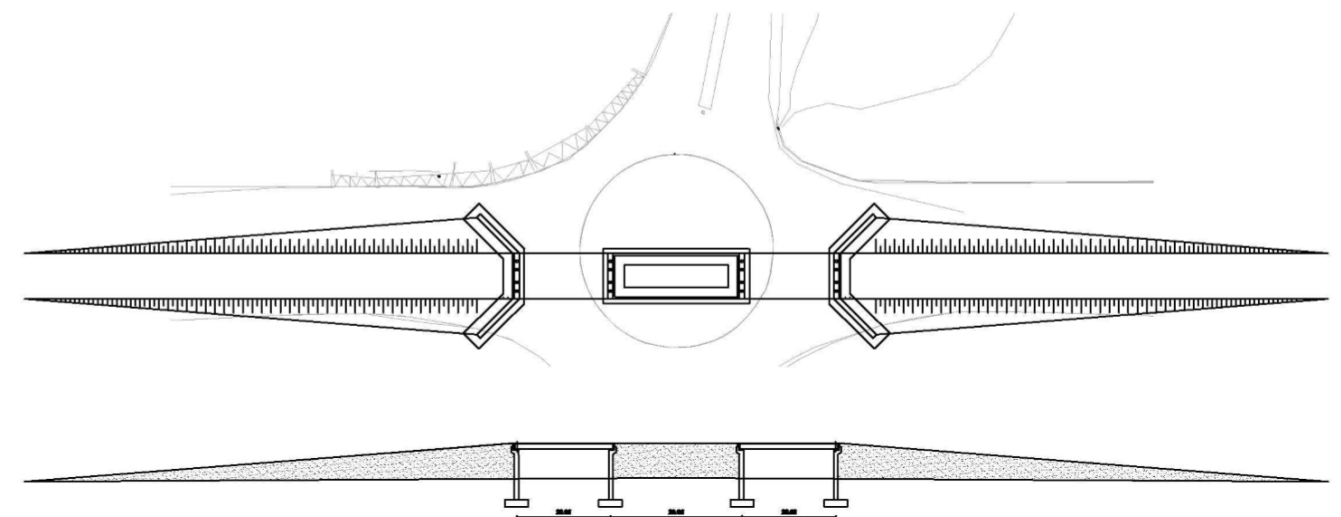


Figura 4.2.b. Planta y alzado Alternativa 2

La sección transversal del tablero esta formada por 6 vigas de hormigón pretensado y una losa superior de hormigón armado.

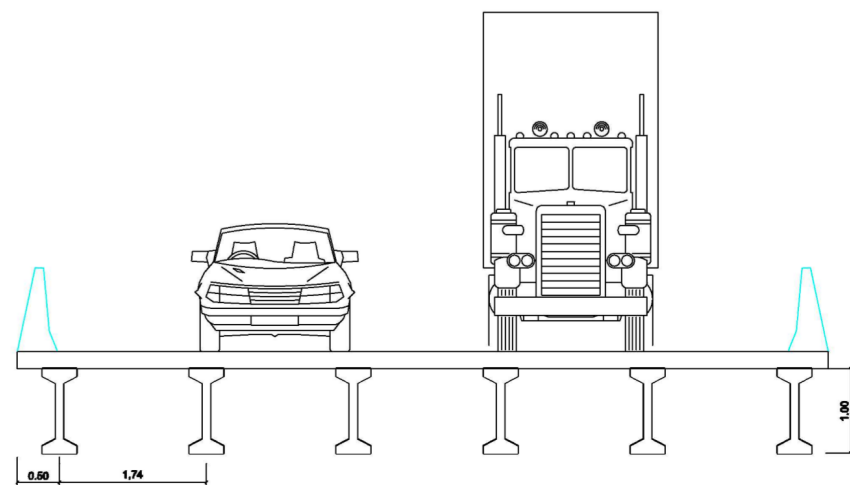


Figura 4.2.c. Sección transversal Alternativa 2

4.3. Viga continua de tablero mixto

En tercer lugar se plantea realizar el enlace mediante un puente tipo viga de 182 m, formado por 7 vanos: los dos vanos de los extremos de 21m y los 5 vanos centrales de 28m

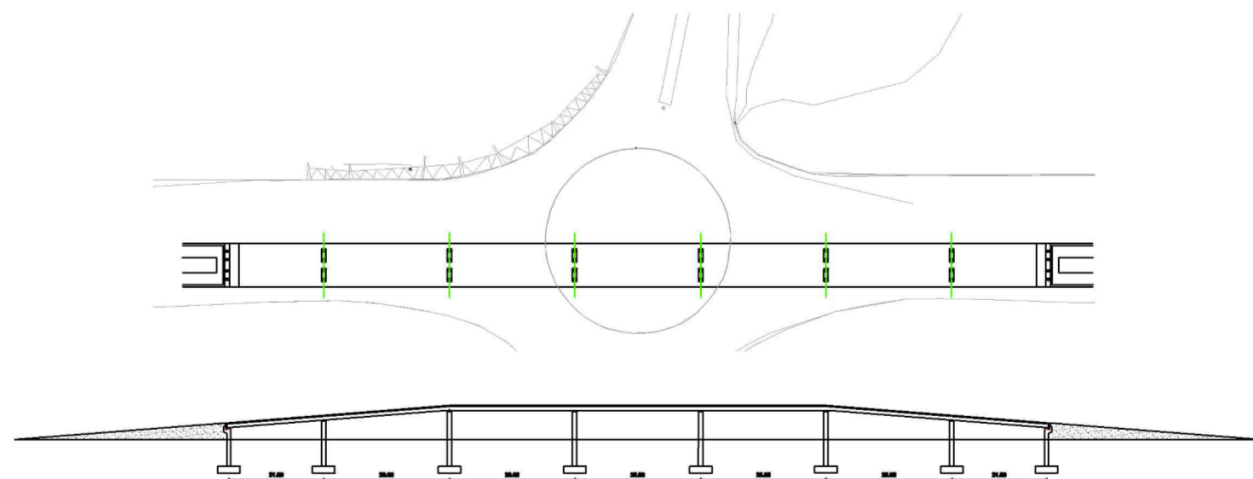


Figura 4.3.a. Alzado y planta de la viga continua

Como sistema primario, la sección transversal de la viga esta formada por dos cajones metálicos sobre los que descansa una losa de hormigón armado de 25 cm de espesor.

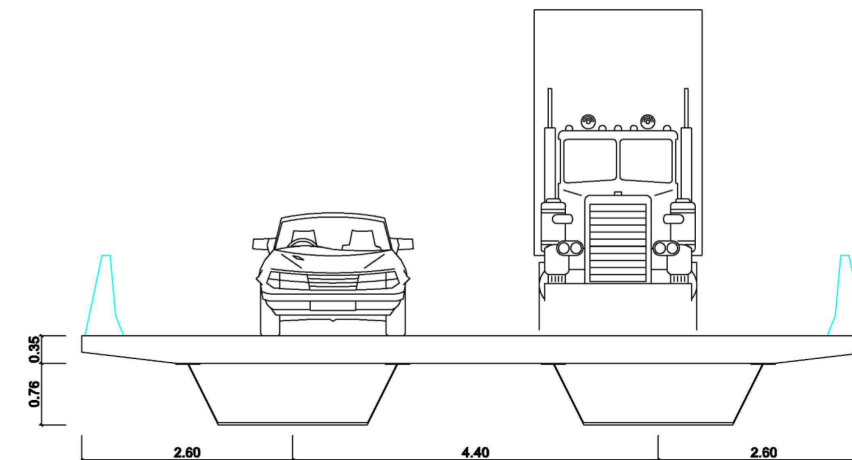


Figura 4.3.b. Sección transversal Alternativa

5. PREDIMENSIONAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

En el presente apartado se va a realizar el predimensionamiento necesario para poder analizar las diferentes alternativas descritas anteriormente y compararlas entre si desde diferentes puntos de vista, realizando finalmente un análisis multicriterio. Se van a comparar los 84 m centrales de cada alternativa ya que se considera que es la parte que más difiere entre las tres alternativas. Por ello, a continuación, se detalla el predimensionamiento de los 84m centrales de las diferentes soluciones propuestas.

5.1. Arco superior

Para asegurar el buen funcionamiento del arco se ha realizado el predimensionamiento de la sección resistente con el fin de determinar qué sección es necesaria para soportar las cargas a las que esta sometido el puente. Al conocer la sección la sección que es necesaria se puede calcular el peso de la pasarela y el coste de la misma.

Para determinar la sección transversal necesaria se ha realizado un calculo simplificado mediante el cual se ha obtenido una primera estimación de la misma y con la cual se ha procedido a modelar el arco en el programa de cálculo SAP2000 para determinar la sección resistente definitiva.

El modelo estructural simplificado para realizar la primera estimación de la sección es el de una viga continua biapoyada de 84m, la cual debe resistir las siguientes cargas:

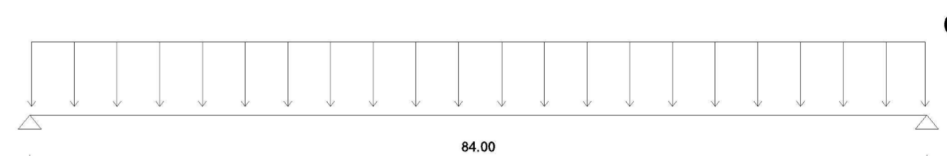


Figura 5.1.a Sistema de cargas Arco superior

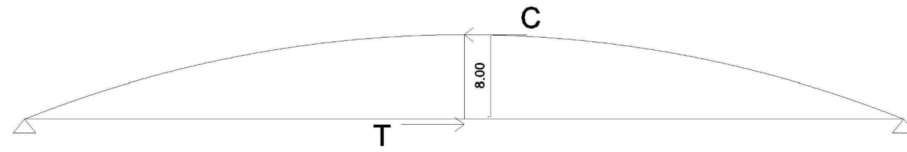


Figura 4.1.b Descomposición del momento Arco superior

El ancho de la pasarela es de $b=9,6\text{m}$ y la longitud de $L=84\text{m}$.

La estimación del peso del acero estructural es de 2kN/m^2

El peso de la losa de hormigón de 20cm de espesor es de 5 kN/m^2

Por lo tanto, el peso propio del tablero es de 7 kN/m^2

La normativa argelina establece que, para una longitud de 84m, la carga distribuida debida a la sobrecarga de tráfico es de $6,05\text{ kN/m}^2$

Por lo tanto, se obtiene una carga distribuida Q la cual debe resistir la pasarela de:

$$Q = 7 + 6,05 = 13,05\text{ kN/m}^2$$

Tomando como coeficiente de seguridad 1,5, el momento máximo que ha de resistir la sección resistente debido a la carga Q es:

$$M = \frac{Q \cdot L^2 \cdot b}{8} \cdot 1,5 = \frac{13,05 \cdot 84^2 \cdot 9,6}{8} \cdot 1,5 = 165745,44\text{ kN} \cdot \text{m}$$

Estableciendo como condición una altura de arco de $h = 8\text{m}$, la tensión en la fibra mas comprimida es:

$$T_c = \frac{M}{h} = \frac{165745,44}{8} = 20718,18\text{ kN}$$

El área necesaria para resistir esa tensión es:

$$A_{nec_c} = \frac{T}{f_y} = \frac{20718,18}{355 \cdot 10^2} \cdot 10^3 = 600\text{ cm}^2$$

Dado que los arcos trabajan a compresión de debe considerar el posible pandeo que puede sufrir el arco. Para ello se va a duplicar el área necesaria para resistir esa tensión y, de esta forma, se estará del lado de la seguridad frente al posible pandeo.

$$A_{pandeo} = A_{nec_c} \cdot 2 = 1200\text{ cm}^2$$

Dado que se van a disponer dos arcos paralelos de 8 m de alto, la sección transversal necesaria para cada arco es de 600cm^2 .

Por otro lado, para las vigas longitudinales del tablero que recogen las tracciones se van a disponer con un área igual a la del arco pero sin tener en cuenta el aumento por pandeo, es decir, se disponen dos vigas longitudinales de 300cm^2 cada una.

Se consideran péndolas cada 6m y para determinar el área que deben presentar se ha considerado una viga de 84m apoyada cada 6m y se ha determinado las reacciones verticales en cada apoyo debido a la carga Q . De esta manera se ha obtenido que el área necesaria para las péndolas es de 6cm^2

Por lo tanto, mediante el primer tanteo se ha determinado las secciones que se van a utilizar para modelar el arco en el programa de calculo, siendo éstas las siguientes:

- Dos arcos de acero S355 de: 800x800 y 2,5cm de espesor
- Dos vigas longitudinales de acero S355 de= 100x50 y 1,5cm de espesor
- Péndolas cada 6m con un área de 6cm^2 .

Para introducir el puente arco en el programa de cálculo se ha decidido realizar una simplificación, ya que se trata de un predimensionamiento, modelando únicamente uno de los dos arcos, siendo el ancho tributario de 4,8m

Para comprobar el aprovechamiento de las barras se ha calculado el arco mediante la siguiente combinación de cargas:

$$Q_r = 1,35 \cdot PP + 1,5 \cdot SC$$

donde el peso propio (PP) del tablero lo considera el propio programa y el peso de la losa se ha introducido como una carga de 5 kN/m^2 y la sobrecarga (SC) es de $6,05\text{ kN/m}^2$. De manera que $Q_r = 16\text{ kN/m}^2$ y para un arco, $Q_r = 77\text{kN/m}$

Para la comprobación de flecha, la cual esta limitada a $L/1000$, se ha utilizado la siguiente combinación de cargas:

$$Q_f = 0,4 \cdot SC$$

donde la sobrecarga (SC) es de $6,05\text{ kN/m}^2$. De manera que $Q_f = 2,5\text{ kN/m}^2$ y para un arco $Q_f = 12\text{kN/m}$



Se ha obtenido que las secciones del tablero necesarias para soportar las cargas establecidas son las obtenidas con la primera estimación, mientras que para las péndolas es necesario 8cm^2 . Así mismo, la flecha obtenida es de 25mm por lo que se cumple la limitación de flecha.

El resultado del predimensionamiento del arco concluye que las secciones necesarias son las siguientes:

- Dos arcos de acero S355 de: 800×800 y 2,5cm de espesor
- Dos vigas longitudinales de acero S355 de: 100×50 y 1,5cm de espesor
- Péndolas cada 6m con un área de 8cm^2 .

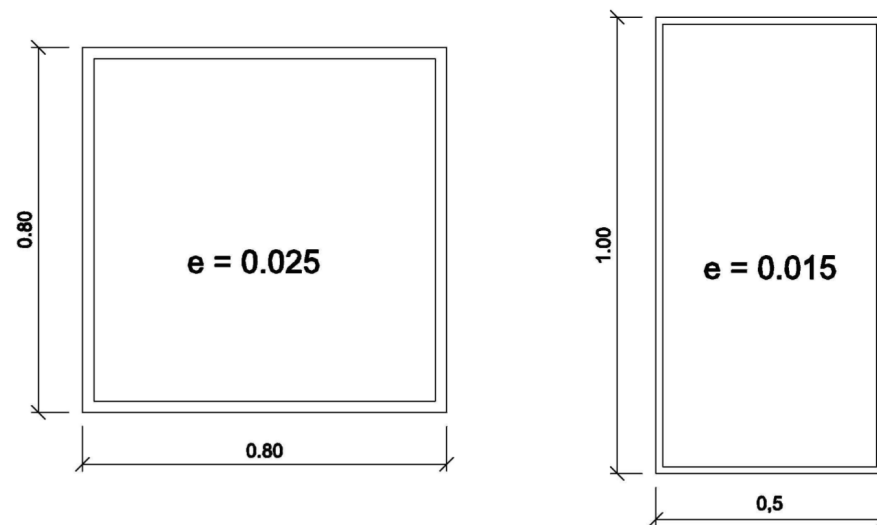


Figura 5.1.a Secciones del arco y de la viga longitudinal

5.2. Terraplén y dos puentes viga

En esta segunda alternativa el enlace se ha resuelto mediante terraplenes y dos puentes viga de 20m cada uno. En este apartado se va a detallar el predimensionamiento de un puente viga de 20m ya que ambos son idénticos.

Para asegurar el buen funcionamiento de viga se ha realizado el predimensionamiento de la sección resistente con el fin de determinar que sección resistente es necesaria para soportar las cargas a las que está sometido el puente. Al conocer la sección la sección que es necesaria se puede calcular el peso de la pasarela y el coste de la misma.

Para determinar la sección transversal necesaria se ha realizado un predimensionamiento simplificado mediante el cual se ha obtenido una primera estimación de la misma y con la cual se ha procedido a modelar el arco en el programa de cálculo SAP2000 para determinar la sección resistente definitiva.

Como se ha descrito en el anterior apartado, en este caso la luz del puente es de $L = 20\text{m}$ y se trata de un puente tipo viga con una sección de hormigón. El canto, h , viene dado por la relación:

$$\frac{h}{L} \in \left[\frac{1}{30}; \frac{1}{10} \right]$$

Normalmente se toma $1/17$, por lo que el canto total del tablero es de 1,2m. Una vez se ha determinado el canto del tablero necesario se ha decidido, en un primer tanteo, disponer de 6 vigas en I de hormigón pretensado, cuya sección sería la indica en *Figura 5.2.a Sección tipo viga hormigón* y posee y área de $0,165\text{m}^2$.

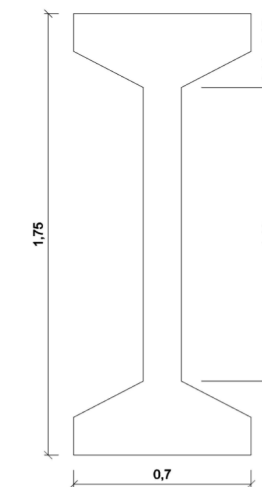
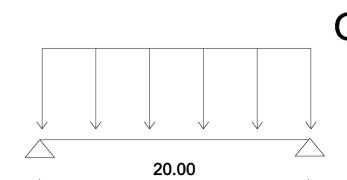


Figura 5.2.a Sección tipo viga de hormigón

Con la primera estimación de la sección resistente anteriormente expuesta, se procede a su comprobación mediante el programa de cálculo SAP2000. De manera simplificada se va a calcular únicamente una viga de las 6 vigas que forman el tablero, ya que el resto se dispondrán de las mismas dimensiones. Por lo tanto el modelo estructural simplificado para realizar la primera estimación de la sección es el de una viga continua biapoyada de 20m y ancho tributario 1,74m, la cual debe resistir las siguientes cargas:



Q

El ancho de la pasarela es de $b=9,6\text{m}$ y la longitud de $L=20\text{m}$.

El peso de la losa de hormigón de 20cm de espesor es de 5kN/m^2

El peso de una viga de hormigón de $0,165\text{m}$ de área es de $2,6\text{kN/m}^2$

Por lo tanto, el peso propio del tablero es de $7,6\text{kN/m}^2$



La normativa argelina establece que, para una longitud de 20m, la carga distribuida debida a la sobrecarga de tráfico es de 13,55 kN/m²

Para comprobar el aprovechamiento de las barras se ha calculado el arco mediante la siguiente combinación de cargas:

$$Q_r = 1,35 \cdot PP + 1,5 \cdot SC$$

donde el peso propio (PP) del tablero es de 7,6 kN/m² y la sobrecarga (SC) es de 13,55 kN/m². De manera que $Q_r = 31 \text{ kN/m}^2$ y para una viga $Q_r = 54 \text{ kN/m}$

Para la comprobación de flecha, la cual esta limitada a L/1000, se ha utilizado la siguiente combinación de cargas:

$$Q_f = 0,4 \cdot SC$$

donde la sobrecarga (SC) es de 13,55 kN/m². De manera que $Q_f = 5,5 \text{ kN/m}^2$ y para una viga $Q_f = 9,5 \text{ kN/m}$

Se ha obtenido que la flecha es de 1,7mm por lo que se encuentra por debajo del límite (L/1000 = 2mm) y el momento máximo debido a las cargas es de 2700kN·m.

Con el momento máximo se procede a calcular la armadura pasiva necesaria y para ello se supone un área de pretensado de 21cm² lo cual supone una fuerza de pretensado de 3150kN la cual induce un momento de pretensado de 1520kN·m. Por lo tanto el momento restante es de 1188kN·m y la tensión que debe resistir la armadura pasiva es de 1484 kN, resultando necesaria un área de 34cm².

El resultado del predimensionamiento concluye que las secciones necesarias para formar la sección resistente son las siguientes:

- Losa de hormigón de 20cm de espesor
- 6 vigas de hormigón pretensado de 0,165 m² de área, indicada en la *Figura 5.2.a Sección tipo viga de hormigón*.
- 3 tendones de pretensado de 700mm² de área para cada viga.
- 8φ25 para el armado pasivo de cada viga.

5.3. Viga continua de tablero mixto

En esta última alternativa se propone el enlace mediante un puente tipo viga de 182m y una sección formada por dos cajones de acero S355 y una losa de hormigón armado.

Para asegurar el buen funcionamiento de viga se ha realizado el predimensionamiento de la sección resistente con el fin de determinar que sección resistente es necesaria para soportar las cargas a las que está sometido el puente. Al conocer la sección la sección que es necesaria se puede calcular el peso de la pasarela y el coste de la misma.

Para determinar la sección transversal necesaria se ha realizado un predimensionamiento simplificado mediante el cual se ha obtenido una primera estimación de la misma y con la cual se ha procedido a modelar el arco en el programa de cálculo SAP2000 para determinar la sección resistente definitiva.

Como se ha determinado se va a realizar el predimensionamiento de los 84m centrales ya que se va a comparar únicamente esta zona. Los 84m centrales están formado por 3 vanos de 28m cada uno. Basándonos en unas relaciones que presentan los puentes mixtos de sección en cajón, *Anejo nº1: RELACIONES PUENTE MIXTO DE CAJONES*, se han determinados las dimensiones principales de la sección transversal con el fin de obtener un primer tanteo. Dado que la luz es de 28m se dispondrá de dos cajones de acero S355 con un canto de tablero que viene dado por la siguiente relación:

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{27}$$

Por lo que el canto necesario es de 1,1m incluyendo la losa y las vigas de acero. El resto de características geométricas viene dadas por las relaciones indicadas en el *Anexo nº1: RELACIONES PUENTE MIXTO DE CAJONES*. del presente anejo. Por lo que las características geométricas del tablero mixto para un primer tanteo son:

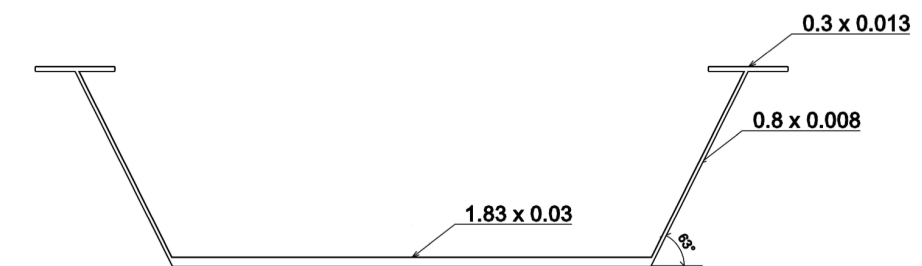


Figura 5.3.a Sección tipo cajón de metálico

Con la primera estimación de la sección resistente anteriormente expuesta, se procede a su comprobación mediante el programa de cálculo SAP2000. De manera simplificada se va a calcular únicamente una viga de las 2 vigas que forman el tablero, ya que la segunda se dispondrá de las mismas dimensiones. Por lo tanto el modelo estructural simplificado para realizar la primera estimación de la sección es el de una viga continua de 84m formada por 3 vanos de 24m cada uno y ancho tributario 4,8m, la cual debe resistir las siguientes cargas:

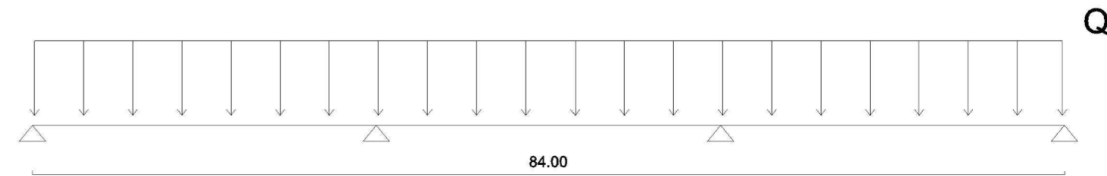


Figura 5.3.b Sistema de cargas Alternativa 3

El ancho de la pasarela es de $b=9,6\text{m}$ y la longitud de $L=84\text{m}$.

El peso de la losa de hormigón de 25cm de espesor es de $7,5\text{ kN/m}^2$

El peso de una viga de acero S355 y de área $0,076\text{m}^2$ es de $1,3\text{kN/m}^2$

Por lo tanto, el peso propio del tablero es de $8,8\text{ kN/m}^2$

La normativa argelina establece que, para una longitud de 84m, la carga distribuida debida a la sobrecarga de tráfico es de $6,05\text{ kN/m}^2$

Para comprobar el aprovechamiento de las barras se ha calculado el arco mediante la siguiente combinación de cargas:

$$Q_r = 1,35 \cdot PP + 1,5 \cdot SC$$

donde el peso propio (PP) del tablero es de 9 kN/m^2 y la sobrecarga (SC) es de $6,05\text{ kN/m}^2$. De manera que $Q_r = 12,3\text{kN/m}^2$ y para una viga $Q_r = 60\text{ kN/m}$

Para la comprobación de flecha, la cual esta limitada a $L/1000$, se ha utilizado la siguiente combinación de cargas:

$$Q_f = 0,4 \cdot SC$$

donde la sobrecarga (SC) es de $6,05\text{ kN/m}^2$. De manera que $Q_f = 2,5\text{ kN/m}^2$ y para una viga $Q_f = 11,6\text{ kN/m}$

Se ha obtenido que las secciones del cajón necesaria para soportar las cargas establecidas es la obtenida con la primera estimación. Así mismo, la flecha obtenida es de 5mm por lo que se cumple la limitación de flecha.

El resultado del predimensionamiento concluye que la sección tipo del cajón metálico es la indicada en la *Figura 5.3.a Sección tipo cajón metálico*.

6. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS

En el presente apartado se va a realizar el análisis de cada una de las alternativas desde diferentes aspectos importantes: económico, funcional, constructivo, estético y ambiental; para poder compararlas entre sí y determinar cual de todas ellas es la más idónea para este proyecto.

6.1. Arco superior

Una vez se ha determinado la sección resistente y se conocen las dimensiones de la solución, es posible determinar el peso de la estructura y por lo tanto su coste aproximado.

Mediante las dimensiones establecidas en el apartado 4. *Descripción de las alternativas* y considerando un sobrepeso adicional del 50% para rigizadores, en el tablero y en el arco, sobre el peso del propio arco y de las vigas longitudinales, se obtiene un peso total de los elementos de acero de 111.000 kg.

Aplicando un precio unitario a los kg de acero pertenecientes al arco, vigas longitudinales y péndolas, considerando material, maquinaria, mano de obra y costes adicionales de 3€/kg, 2,25€/kg y 1€/kg respectivamente, se obtiene un coste total de los elementos metálicos de 300.000€.

Aplicando un coste unitario de 41€/m², considerando material, maquinaria, mano de obra y costes adicionales, para la losa de hormigón de 806m² se obtiene un coste de la misma de 33.000€.

Por lo que se obtiene un coste total para la alternativa de arco superior en los 84m centrales de comparación de 333.000€ lo que supone un coste por metro cuadrado de **420€/m²**

A continuación se analiza la integración con el entorno:

El presente proyecto trata de resolver el enlace entre la autovía RN23 y la ronda Este de Tiaret, el cual se encuentra ubicado en medio de un sinclinal a la afueras de cualquier núcleo urbano. Así mismo en la ubicación de las obras no se encuentra ningún entorno paisajístico importante, por lo que el entorno del enlace se encuentra libre de edificación y de vegetación alta.

La estructura debe integrarse con el entorno, en este caso un entorno sin ningún elemento predominante por lo que una solución tipo arco supondría una intrusión en la zona. Dependiendo de si se busca dar notoriedad a la zona y que ésta presente un elemento llamativo para atraer la atención, o por le contrario si se busca resolver el enlace de la manera más simple sin aportar ningún elemento singular a la zona, la solución tipo arco será más idónea que las otras dos alternativas o menos adecuada.



6.2. Terraplén y dos puentes tipo viga

Una vez se ha determinado la sección resistente y se conocen las dimensiones de la solución, es posible determinar el peso de la estructura y por lo tanto su coste aproximado.

Mediante las dimensiones establecidas en el apartado 4. *Descripción de las alternativas* y aplicando un precio unitario de:

- Para las vigas de hormigón considerando material y armadura, colocación, maquinaria, mano de obra y costes adicionales, 415€/m³
- Para el pretensado, 2€/kg
- Para la losa, incluyendo material, armadura, colocación, maquinaria mano de obra y coste adicionales, 41€/m²
-

Se obtiene que el coste total de un puente viga de las dimensiones establecidas es de 48.200€. En los 84m que se van a comparar se incluyen los dos puentes de 20m, por lo que supone un coste de 96.400€

Al coste de los dos puentes es necesario sumarle el coste del relleno entre ambos y de los 8m de terraplén, a cada lado, de la rampas de acceso. El volumen total de tierras necesarias para llevar a cabo este relleno y los dos terraplenes necesarios para considerar los 84m de comparación es de 3.500m³. Considerando un precio unitario el m³ de relleno con zahorra natural caliza y compactación al 95% del Proctor Modificado mediante equipo manual con bandeja vibrante es de 24€, el coste total de los terraplenes es de 84.000€.

Por lo que se obtiene un coste total para esta alternativa en los 84m centrales de comparación de 180.400€ lo que supone un coste por metro cuadrado de **225€/m²**

A continuación se analiza la integración con el entorno:

El presente proyecto trata de resolver el enlace entre la autovía RN23 y la ronda Este de Tiaret, el cual se encuentra ubicado en medio de un sinclinal a la afueras de cualquier núcleo urbano. Así mismo en la ubicación de las obras no se encuentra ningún entorno paisajístico importante, por lo que el entorno del enlace se encuentra libre de edificación y de vegetación alta.

La estructura debe integrarse con el entorno, en este caso un entorno sin ningún elemento predominante por lo que una solución tipo viga quedaría en armonía con la zona sin aportar ningún elemento singular.

Sin embargo, esta solución supone un gasto de tierras que proporciona una sensación de confinamiento para el usuario que circula por la rotonda inferior de la Ronda Este. Por lo que el impacto ambiental de este solución frente a las otras dos es más elevado. Así mismo, supone un gasto de espacio mayor que dificultaría el posible ensanchamiento de los carriles de la rotonda y de las ramas de acceso entre la autovía RN23 y la Ronda Este de Tiaret.

6.3. Viga continua de tablero mixto

Una vez se ha determinado la sección resistente y se conocen las dimensiones de la solución, es posible determinar el peso de la estructura y por lo tanto su coste aproximado.

Mediante las dimensiones establecidas en el apartado 4. *Descripción de las alternativas* y considerando un sobrepeso adicional del 30% para rigizadores, en el tablero sobre el peso del propio de las vigas en cajón, se obtiene un peso total de los elementos de acero de 116.000 kg.

Aplicando un precio unitario a los kg de acero, considerando material, maquinaria, mano de obra y costes adicionales, de 2,25 se obtiene un coste total de los elementos metálicos de 260.000€.

Aplicando un coste unitario de 41€/m², considerando material, maquinaria, mano de obra y costes adicionales, para la losa de hormigón de 806m² se obtiene un coste de la misma de 33.000€.

Por lo que se obtiene un coste total para la alternativa de viga continua de tablero mixto en los 84m centrales de comparación de 293.000€ lo que supone un coste por metro cuadrado de **360€/m²**

A continuación se analiza la integración con el entorno:

El presente proyecto trata de resolver el enlace entre la autovía RN23 y la ronda Este de Tiaret, el cual se encuentra ubicado en medio de un sinclinal a la afueras de cualquier núcleo urbano. Así mismo en la ubicación de las obras no se encuentra ningún entorno paisajístico importante, por lo que el entorno del enlace se encuentra libre de edificación y de vegetación alta.

La estructura debe integrarse con el entorno, en este caso un entorno sin ningún elemento predominante por lo que una solución tipo viga quedaría en armonía con la zona sin aportar ningún elemento singular.

7. COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS

A continuación se expone la evolución que ha experimentado el diseño de la pasarela escogida desde sus inicios hasta el resultado final. Este proceso se ha dividido en los diferentes elementos que componen la estructura, comenzado por la parte resistente y finalizando por los equipamientos.

A continuación se comparan las diferentes alternativas desde los puntos de vista mencionados con anterioridad: coste, funcional, constructivo y colocación, estético e integración e impacto ambiental.

Para ello se ha realizado una matriz de análisis en la cual se puntúan las diferentes alternativas según los puntos de vista condicionantes. A cada condicionante se le ha asignado un peso para determinar la importancia que cada uno conlleva:



- Aspecto económico: se trata del aspecto más condicionante y por ello se le ha asignado un peso del 45%
- Aspecto funcional: este condicionante es de los más importantes ya que es el fin en sí mismo del enlace y por ello se le ha asignado un peso del 20%
- Aspecto constructivo y de ejecución: se le ha asignado un peso del 10%
- Aspecto estético: se le ha asignado un peso del 10%
- Aspecto ambiental: se le ha asignado un peso del 15%

A continuación se detalla la matriz de análisis con la puntuación que recibe cada alternativa según los diferentes puntos de vista:

	Arco superior	Terraplén + dos puentes tipo viga	Viga continua con sección mixta
Coste 45%	2.00	3.00	2.50
Funcional 20%	3.00	4.00	4.00
Constructivo 10%	3.00	4.00	4.00
Estético 10%	5.00	1.00	4.00
Ambiental 15%	3.00	3.00	5.00

*Nota: Las alternativas están puntuadas sobre 5

La alternativa que presenta el arco superior es la solución menos viable ya que, entre otros, supone un coste mayor al de las otras dos alternativas planteadas. El procedimiento constructivo es el aspecto que más encarece esta solución ya que se utiliza un método constructivo mas específico y por lo tanto más costoso y precisa de unos tiempo de ejecución mas largos. Esto es debido a que primero ha de realizar el tablero metálico en taller y montarlo en obra y a continuación ejecutar la losa de hormigón y el pavimento. Una vez se ha ejecutado el tablero se procede a montaje del arco metálico, bien sobre apoyos provisionales o bien mediante construcción vertical y posterior rotación hasta el emplazamiento final, se suelda y se rellena interiormente con hormigón.

El arco es una solución que funciona bastante bien en puentes y pasarelas situados en valles, ya que el arco transmite el terreno una componente oblicua que en el caso de valles es normal a la superficie del terreno y por lo tanto es más fácil de resistir por este. En este caso, se proponía una solución de arco bow-string de modo que el tablero recogiese la componente horizontal del arco y se transmitiese únicamente una componente vertical a los estribos.

Como se ha comentado anteriormente, la solución proyectada debe estar integrada en el entorno, que en este caso es un entorno abierto, por lo que el arco supone un elemento singular. En este caso la finalidad de enlace es únicamente facilitar en acceso entre la autovía RN23 y la Ronda Este de Tiaret, eliminando el enlace mediante la actual rotonda. Dado que dar notoriedad a la zona no es una de las finalidades del proyecto, no se requiere una solución que presente esta característica y por lo tanto el arco pierde importancia en el análisis comparativo.

La solución mediante terraplenes y dos puentes de 20 m de luz es sin duda la más económica pero, cómo se ha dicho anteriormente, es la que mayor sensación de confinamiento proporciona a los usuarios. Así mismo se ha considerado que es la solución menos estética por se más robusta.

Por lo tanto, ponderando según los pesos indicados se obtienen los siguientes puntuaciones:

	RESULTADO
Arco superior	2,75 / 5
Terraplén + dos puentes tipo viga	3,1 / 5
Viga continua con sección mixta	3,5 / 5

Por consiguiente, se ha considerado que la solución que mejor se adapta a todos los condicionantes y mejor responde a los criterios estipulados es la viga continua con tablero mixto, que es la solución que se desarrolla en el presente Proyecto Básico y que a continuación se describe con detalle.

Para solventar las necesidades que son objeto del presente Proyecto Básico se ha realizado el Estudio de Soluciones, llegándose a la conclusión que la solución más viable tanto desde el punto de vista económico, como funcional, estético, ambiental y constructivo es proyectar un enlace mediante un puente de viga continua con una sección de tablero mixto.

8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Llevado a cabo el análisis de las tres alternativas que resultaron de mayor interés se estipula que, en base a las ventajas e inconvenientes que presenta, la solución adoptada para el Proyecto Básico "Estructura de enlace entre la autovía RN 23 y la Ronda Este de Tiaret" sea la Alternativa 3, correspondiente a una viga continua con tablero mixto en cajón, salvando 7 vanos de 21 y 28 metros de longitud.

A continuación se realiza la descripción completa de la solución adoptada:

Se trata de un puente tipo viga continua, compuesto por dos cajones metálicos y una losa colaborante de hormigón armado que conforman un tablero de 9,60 metros de ancho y 182 metros de longitud. Los 250 milímetros de losa y 750 de cajón metálico otorgan a dicho tablero 1 metro de canto, suficiente para salvar las luces mencionadas.



En cuanto al trazado, el puente presenta un desarrollo recto en planta y curvo en alzado. La pendiente longitudinal es del 7% en los accesos y de 1,5 % en el tramo central.

Los apoyos de la estructura se resuelven mediante estribos y pilas cimentados. Los primeros, dos estribos cerrados con aletas laterales para contención de tierras, constan de una zapata de hormigón armado de 12x5x1 metros, cimentada a una cota de 2,7 metros por debajo de la cota actual del terreno. El muro frontal se ha diseñado con un metro de espesor y las aletas laterales con 0,5 metros cada una. En segundo lugar, cada una de las pilas consta de una zapata de 10x6,5x1,5 metros, cimentada a la misma cota que los estribos en busca del estrato resistente, y de un muro de 6,7 metros de ancho y 1 metro de espesor. La altura de las pilas varía en función de la longitud, de forma que se obtienen tres alturas diferentes que dotarán al trazado en alzado de la curvatura necesaria para que la transición entre las rampas de acceso y el tramo central sea lo más suavizada y confortable posible.

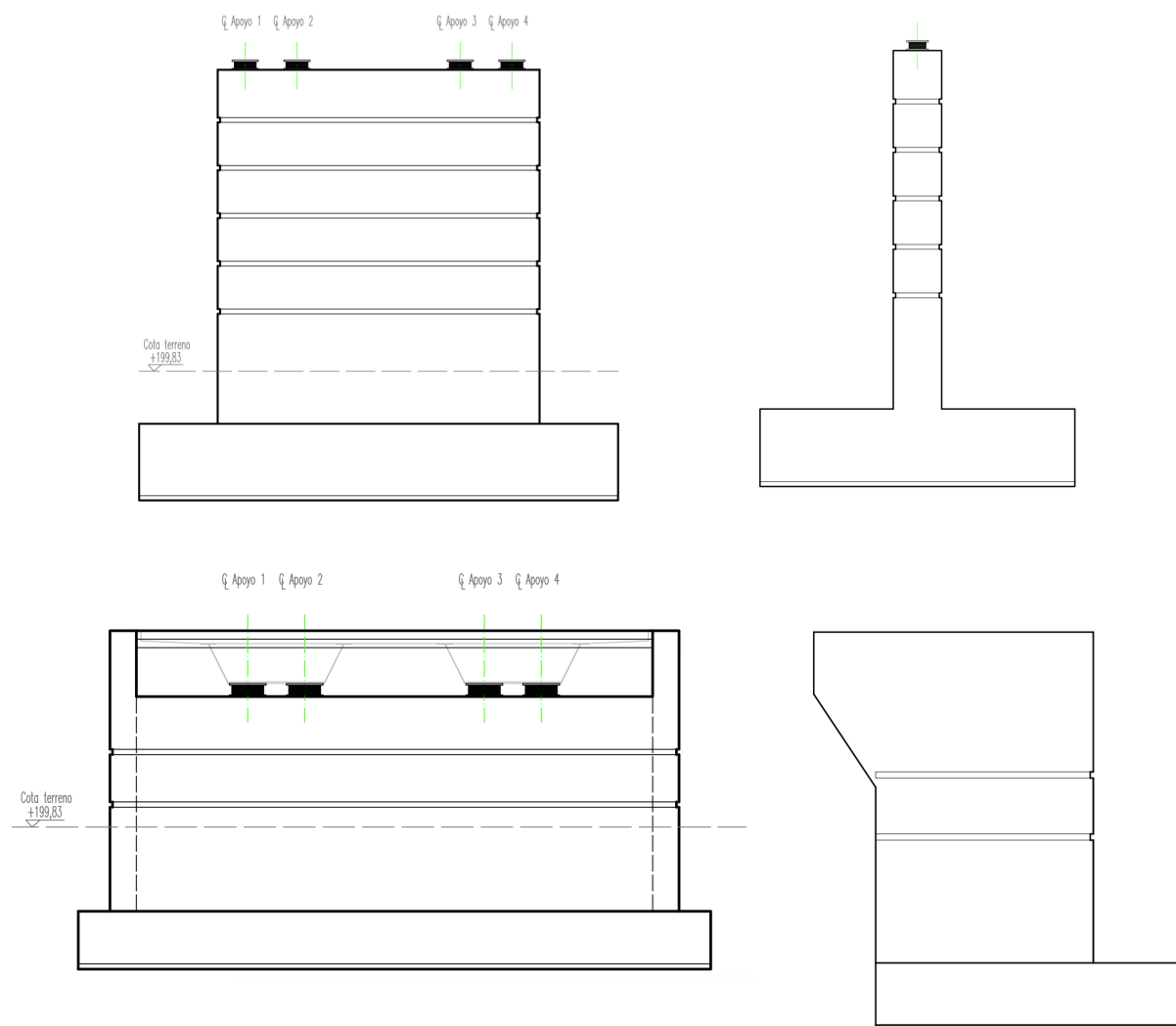


Figura.8.a. Estribos y pilas.

Por lo que respecta al tablero, como ya se ha mencionado, consta de 9,60 metros de ancho, albergando en él 2 carriles de circulación de un sólo sentido, arcén de medio metro y 85 centímetros a ambos lados que permiten la disposición de los equipamientos requeridos por este tipo de estructuras.

Con el fin de evacuar las pluviales, se ha dotado a la losa superior de hormigón de una pendiente transversal del 1,5% que permitirá conducir el agua hacia uno de los lados, donde se dispondrá de un CAZ encargado de dirigirla hacia las zonas de vertido, situadas en cada una de las pilas. En este punto serán recogidas y finalmente vertidas en un otro punto donde se ocasione el mínimo impacto ambiental posible.

El pavimento constará de espesor variable, partiendo de un espesor en su lado bajo de 8 centímetros y creciendo de forma uniforme hasta alcanzar los 10 centímetros de espesor en el lado opuesto de la calzada.

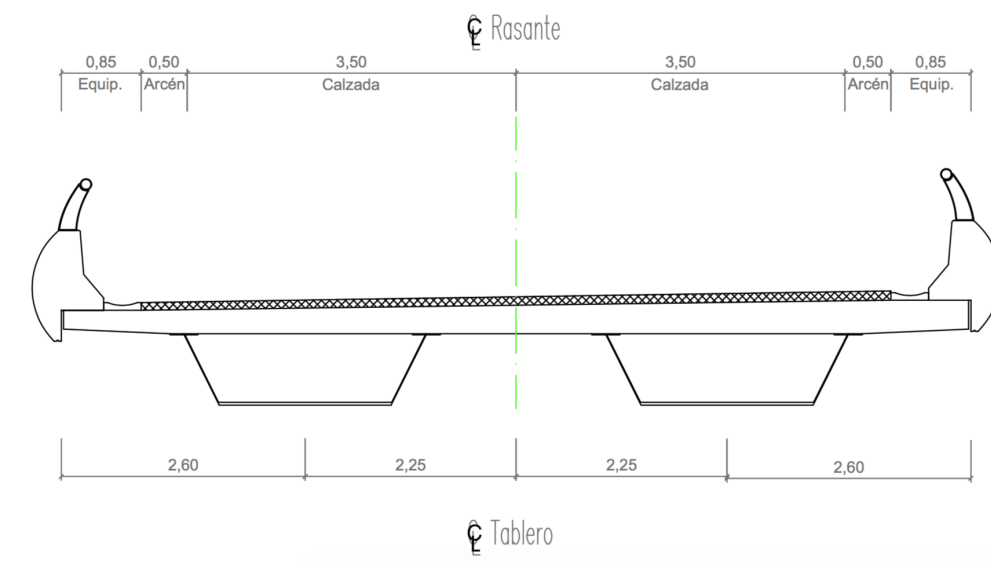


Figura 8.b. Sección transversal del tablero.

En cuanto al sistema resistente, se dispone de una losa de hormigón armado de espesor variable, de forma que permita adoptar la pendiente transversal necesaria. Los cajones metálicos se materializan en acero S 355 JR y constan de dos alas superiores de 300x13 mm, dos alas de 720x8 mm inclinadas 63 grados con respecto a la horizontal y un ala inferior de 183x30 mm. Dichos cajones se encuentran separados por una distancia de 4,50 metros entre ejes.

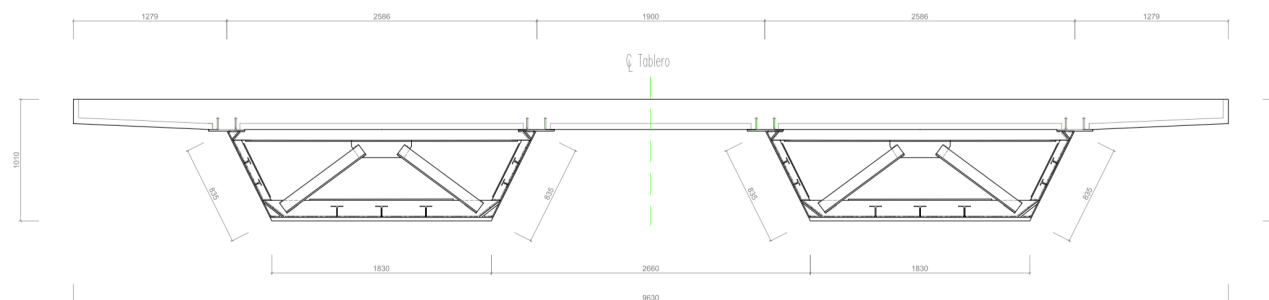


Figura 8.c. Sección transversal por marcos.

El pavimento estará formado por una primera capa de imprimación de 1 centímetro de espesor, una segunda de espesor variable de mástico en frío, y finalmente una última capa de rodadura compuesta por mezcla bituminosa en caliente S-20 de 3 centímetros de espesor.

Todo el tablero se encuentra rigidizado a lo largo de su longitud por múltiples perfiles cuya completa definición se encuentra en el DOCUMENTO Nº2. PLANOS. La rigidización principal de la estructura se compone por:

Perfil HEB 100: rigidizador transversal vertical

Perfil 1/2 IPE 300: rigidizador transversal inferior

Perfil 1/2 IPE 200: rigidizador transversal superior

Perfil IPE 140: rigidizador longitudinal superior

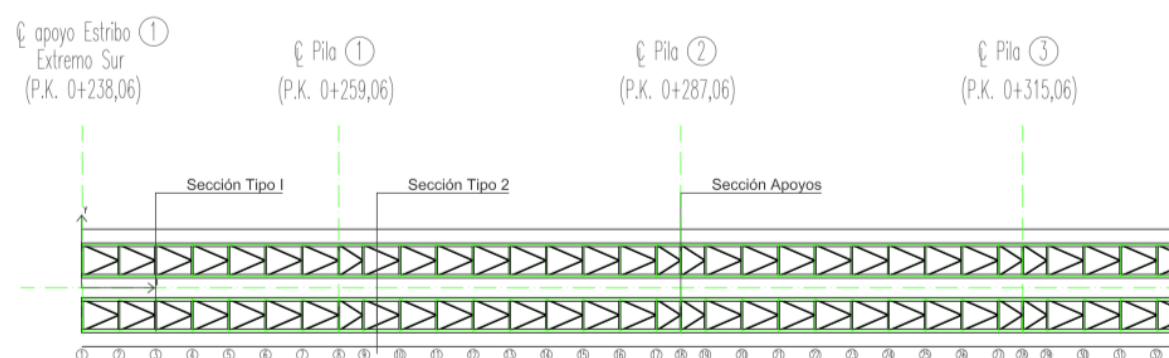


Figura 8.d. Planta de detalle de la celosía tipo K.

Por lo que respecta a los equipamientos, se ha dotado a la estructura de una barrera mixta, formada por un pretil de hormigón armado de 45 Mpa de resistencia característica anclados mediante pernos cada 1,5 metros de forma que se asegure la completa seguridad de los vehículos que circulen por el puente frente a caída libre. Sobre dicho pretil de hormigón se dispone una barandilla metálica de 55 centímetros de altura que remata el sistema de contención de vehículos.



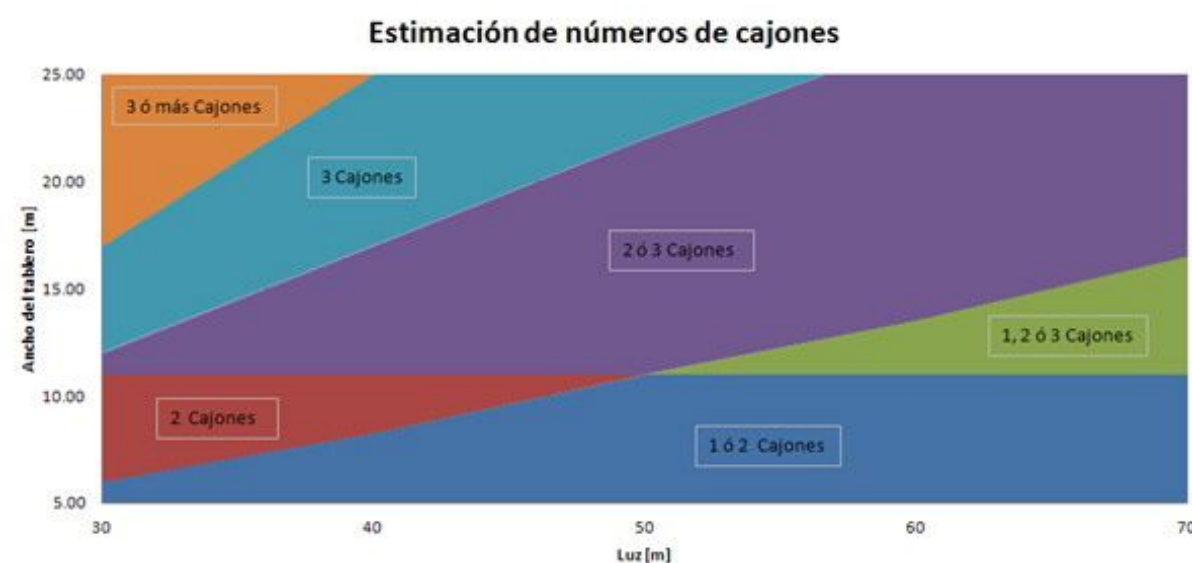
ANEXO Nº1.
RELACIONES EN UN PUENTE MIXTO DE CAJONES



En el presente anexo se indican las relaciones para determinar las características geométrico de un puente mixto de cajones:

Las relaciones se han obtenido de la web estructurando (www.estructurando.com)

Lo primero es determinar el numero de cajones necesario para la estructura , lo cual depende de la luz a salvar por el vano y del ancho del tablero.



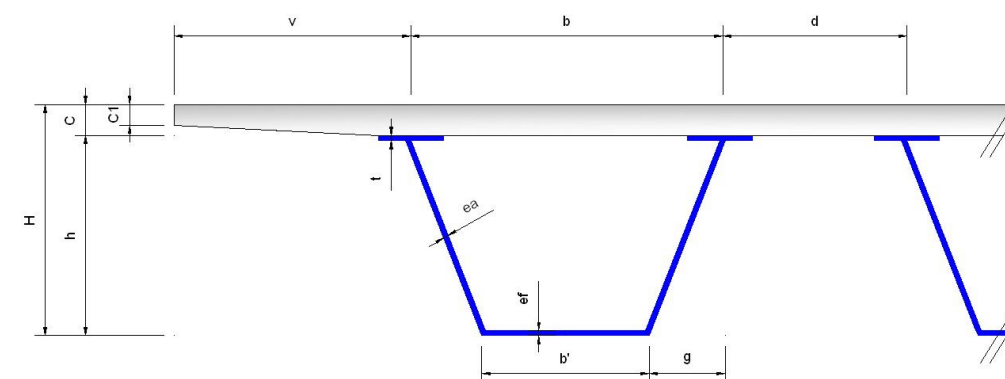
El siguiente paso en el predimensionamiento es conocer el canto de la estructura. Relaciones de H (canto total=canto de la losa de hormigón + canto del cajón metálico) con L (Luz de vano) habituales son:

$$\frac{1}{27} \geq \frac{H}{L} \geq \frac{1}{33} \text{ en vanos intermedios}$$

$$\frac{1}{22} \geq \frac{H}{L} \geq \frac{1}{27} \text{ en vanos extremos}$$

$$\frac{1}{19} \geq \frac{H}{L} \geq \frac{1}{24} \text{ en vanos isostáticos}$$

El resto de características geométricas del tablero viene dadas por las siguientes relaciones:



Donde:

- Para el voladizo se tiene:

$$v \leq \frac{b}{2}$$

$$v \leq 3,50 \text{ m}$$

- Para el espesor de la losa en el extremo del voladizo:

$$C1 \geq 0,2 \text{ m}$$

- Para el espesor de la losa en el arranque del voladizo:

$$C1 \geq 0,2 \text{ m}$$

- Para el ancho superior del cajón

$$b \leq 3,5 \text{ h}$$

- Para la distancia libre entre cajones

$$d \leq 3,5 \text{ h}$$

- Para la inclinación de las almas

$$g \leq \frac{h}{2}$$



- Para el espesor del alma

$$\frac{h}{80} \leq e_a \leq \frac{h}{200}$$

A continuación se recogen las dimensiones obtenidas para las dimensiones del presente proyecto:

Luz	L	30.00 m
Canto	H	1.11 m
Ancho superior	b	2.59 m
Inclinación almas	g	0.38 m
Ancho inferior	b*	1.83 m
Distancia entre cajones	d	1.90 m
Voladizo	v	1.29 m
Espesor voladizo extremo	C1	0.20 m
Espesor voladizo arranque	C	0.35 m
Canto cajón acero	h	0.76 m
Espesor almas	ea	0.008 m
Espesor ala inferior	ef	0.030 m
Espesor ala superior	t	0.013 m
Ancho tablero	B	9.67 m