



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**ANÁLISIS DE LAS MANIOBRAS DE
INSTALACIÓN DEL TABLERO
METÁLICO DEL PASO SUPERIOR
E-3 ENLACE CON LA A4
(SEVILLA)**

Alumno: Sandra Portillo Padilla

Tutor: Prof. D. Jesús Donaire Ávila
Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Febrero, 2019



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS DE LAS MANIOBRAS DE INSTALACIÓN DEL TABLERO METÁLICO DEL PASO SUPERIOR E-3 ENLACE CON LA A4 (SEVILLA)

D. JESÚS DONAIRE ÁVILA, tutor del Trabajo Fin de Grado “ANÁLISIS DE LAS MANIOBRAS DE INSTALACIÓN DEL TABLERO METÁLICO DEL PASO SUPERIOR E-3 ENLACE CON LA A4 (SEVILLA)” que presenta la alumna SANDRA PORTILLO PADILLA, da su visto bueno para la defensa y evaluación del citado trabajo en la Escuela Politécnica Superior de Linares.

Linares ,FEBRERO de 2019

LA ALUMNA:

EL TUTOR:



ÍNDICE

1.-RESUMEN	7
1.1.- Resumen	7
1.2.- Abstrac	7
2.- INTRODUCCIÓN.....	8
2.1.-Antecedentes.....	8
2.2.-Localización de la estructura.....	9
2.3.-Alcance del Trabajo de Fin de Grado.....	10
3.-DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	11
3.1.-Superestructura	11
3.2.-Subestructura	12
3.2.1.- Pilas	12
3.2.2.-Estribos.....	13
4.FASE DE DISEÑO DE LA ESTRCTURA	15
4.1.Materiales y coeficientes de ponderación.....	15
4.2.-Acciones	16
4.2.1.-Acciones Permanentes de valor constante (G)	16
4.2.2.-Acciones variables (Q)	18
4.2.3.-Acciones accidentales (A)	25
4.3.-Modelo de cálculo.....	27
4.3.1. Verificación de la estabilidad de las dovelas durante las maniobras.	28
4.3.2. Descripción de los útiles de izado.	29
4.3.3.-Diseño de los cáncamos de izado.....	30



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



5.FASE DE EJECUCIÓN DE LA MANIOBRA.....	38
5.1. Procedimiento de montaje. Secuencia.....	38
5.1.1.-Dovela 1.....	38
5.1.2.-Dovela 2.....	43
5.1.3.-Dovela 3.....	44
5.1.4.-Dovela 4.....	47
5.1.5.-Fase final.....	50
5.2.-Cálculo de los bloqueos durante las maniobras.....	51
5.2.1.-Bloqueos longitudinales de montaje.....	51
5.2.2.-Bloqueos transversales de montaje.....	53
5.3. Diseño de las vigas de cuelgue.....	58
5.4. Control de calidad adicional de elementos auxiliares.....	60
5.5. Cálculo de las dovelas durante las maniobras.....	60
5.5.1.-Dovela 1. Fase de izado.....	61
5.5.2.-Dovela 1. Fase de apoyo.....	69
5.5.3.-Dovela 3. Fase de izado.....	73
5.5.4.-Dovela 3. Fase de apoyo.....	80
6.-CONCLUSIONES.....	85
7.-PLANOS.....	87
8.-BIBLIOGRAFÍA.....	88



TABLA DE FIGURAS

Figura 2. 1.Autopista de Circunvalación SE-40.....	9
Figura 2. 2.Localización de la estructura E-3.....	10
Figura 3. 1.Alzado de la estructura	11
Figura 3. 2.Planta de la estructura.....	11
Figura 3. 3.Sección transversal de la estructura	12
Figura 3. 4.Dintel con doble apoyo	13
Figura 3. 5.Ejemplo de estribo cerrado	14
Figura 3. 6.Ejemplo de estribo abierto	14
Figura 4. 1.Tabla 4.2-a de la IAP-11	18
Figura 4. 2.Ubicación según mapa de isostacas.....	19
Figura 4. 3.Cuadro general de acción del viento.....	19
Figura 4. 4.Carga de viento. Empuje sin sobrecarga.	21
Figura 4. 5.Coeficientes de fuerza.	22
Figura 4. 6.Presión de referencia sobre superficies horizontales situadas encima de la vía.....	24
Figura 4. 7.Fórmula de IAPF-07. Presión sobre superficie horizontal situada sobre la vertical de la vía.	24
Figura 4. 8.Modelo 3D en Autocad.	27
Figura 4. 9.Modelo cara 3D en Autocad.	28
Figura 4. 10.Asignación de los grupos.....	28
Figura 4. 11.Esquema de eslingas	29
Figura 4. 12.Eslingas en el modelo de cálculo.....	30
Figura 4. 13.Planta cáncamos de izado.....	30
Figura 4. 14.Cáncamos con respecto al centro de gravedad.	31
Figura 4. 15.Acciones en cáncamo de izado.	32
Figura 4. 16.Ángulos mínimos cáncamo de izado	33



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Figura 4. 17.Diseño de cáncamos	33
Figura 4. 18.Grilletes de alta resistencia.....	35
Figura 4. 19.Verificación del bulón.....	36
Figura 4. 20.Tipo de cáncamo	37
Figura 5. 1.Ejemplo de viga de cuelgue en un puente en Escocia.	58
Figura 5. 2.Vista del modelo realizado para la dovela.....	62
Figura 5. 3.Se diferencian aquí los distintos espesores de las chapas.	62
Figura 5. 4.Vista posterior de la dovela.....	63
Figura 5. 5.Vista en planta de la dovela.....	63
Figura 5. 6. Detalle de los cáncamos de izado	64
Figura 5. 7.Detalle de los cáncamos de izado. Celosía	64
Figura 5. 8.Cargas en gancho de la grúa.....	65
Figura 5. 9.Desplazamientos en la dovela.	66
Figura 5. 10.Tensiones de Von Mises en la dovela. Muy por debajo de los límites establecidos.....	67
Figura 5. 11.En el entorno de los cáncamos las tensiones de Von Mises se mantienen lejos de los límites establecidos.	68
Figura 5. 12.Vista del modelo realizado para la dovela. Apoyos ubicados en la zona de neoprenos.	69
Figura 5. 13.Se diferencian aquí los distintos espesores de las chapas.	69
Figura 5. 14.Vista inferior de la dovela.....	70
Figura 5. 15.Distribución de las cargas en los apoyos. En el exterior de la curva las reacciones son mayores.....	70
Figura 5. 16.Desplazamientos en la dovela.	71
Figura 5. 17.Los desplazamientos de los dos extremos de la misma sección del cajón son del mismo orden y suponen un alabeo prácticamente nulo.....	72
Figura 5. 18.Tensiones de Von Mises en la dovela. Muy por debajo de los límites establecidos.....	72
Figura 5. 19.Vista del modelo realizado para la dovela. Posición de las orejetas y de las eslingas de tiro durante el izado.	73



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Figura 5. 20. Se diferencian aquí los distintos espesores de las chapas.....	74
Figura 5. 21. Vista posterior de la dovela.....	74
Figura 5. 22. Vista en planta de la dovela.....	75
Figura 5. 23. Detalle de los cáncamos de izado. Grado de detalle alcanzado. .	75
Figura 5. 24. Detalle de los cáncamos de izado. Grado de detalle alcanzado. Celosía.	75
Figura 5. 25. Distribución de las cargas en las distintas eslingas. La distribución es del mismo orden que los repartos teóricos.	77
Figura 5. 26. Desplazamientos en la dovela.	77
Figura 5. 27. Tensiones de Von Mises en la dovela 3. Muy por debajo de los límites establecidos.....	78
Figura 5. 28. En el entorno de los cáncamos las tensiones de Von Mises se mantienen lejos de los límites establecidos.	79
Figura 5. 29. Vista del modelo realizado para la dovela 3. Apoyos ubicados en la zona de neoprenos.....	80
Figura 5. 30. Se diferencian aquí los distintos espesores de las chapas.	80
Figura 5. 31. Vista inferior de la dovela 3.....	81
Figura 5. 32. Distribución de las cargas en los apoyos.	81
Figura 5. 33. Desplazamientos en la dovela.	82
Figura 5. 34. Los desplazamientos de los dos extremos de la misma sección del cajón son del mismo orden y suponen un alabeo prácticamente nulo.....	83
Figura 5. 35. Tensiones de Von Mises en la dovela 3. Muy por debajo de los límites establecidos.....	84



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1.Longitud de vanos	12
Tabla 4. 1.Hormigón empleado.....	15
Tabla 4. 2.Acero estructural empleado	15
Tabla 4. 3.Peso teórico de dovelas.....	17
Tabla 4. 4.Coefficientes según el tipo de entorno	20
Tabla 4. 5.Acciones sin sobrecarga vertical.....	22
Tabla 4. 6.Fuerzas desestabilizadoras de dovelas	26
Tabla 4. 7.Cáncamos de izado	31
Tabla 4. 8.Anclajes	36
Tabla 4. 9.Soporte de lámina y pernos	37



1.-RESUMEN

1.1.- Resumen

El objeto de este Trabajo de Fin de Grado consiste en realizar el diseño y el cálculo de las maniobras de izado para un puente dividido en dovelas situado en la SE-40 (Sevilla) para salvar una vía en uso.

Se recogen a su vez todas las verificaciones estructurales de los elementos temporales de maniobras que se utilizarán durante la instalación de las dovelas, así como el análisis del comportamiento del tablero de la estructura E-3 enlace con la A-4 durante el proceso de instalación de las dovelas en obra mediante grúa.

1.2.- Abstrac

The aim of this study consists of the design and technical definition of lifting maneuvers for a keystone bridge located in the SE-40 highway (Seville) to save a road in use.

All the structural verifications of the temporary elements of maneuvers that will be used during the installation of the segments are collected, as well as the analysis of the behaviour of the E-3 structure board with the A4 during the installation process of keystones in work by crane.



2.- INTRODUCCIÓN

2.1.-Antecedentes

Dentro de los trabajos previstos para la realización de la Autovía SE-40. Sector Este. Tramo Alcalá de Guadaíra (A-376)- Dos Hermanas (A-4). Subtramo II, se desarrolla el paso superior E-3 para enlace con la A-4 (ver Figura 2.1).

La autovía SE-40 o circunvalación del área metropolitana de Sevilla consta de una longitud actual de 32,2 kilómetros (terminada tendrá una longitud total de 77,6 kilómetros). Dista de unos 10 kilómetros del centro de la ciudad.

La segunda ronda de circunvalación de Sevilla viene a descongestionar en parte el colapsado tráfico de la SE-30, que actualmente cumple la función de articulador del área metropolitana de Sevilla (1.500.000 habitantes). Su coste será aproximadamente de 1200 millones de euros y dispondrá de dos amplias calzadas de tres carriles cada una, y la mediana con suficiente anchura para ampliar a 4 carriles por sentido en caso de ser necesario.

La SE-40 incorporará cuatro túneles, dos por sentido, de dos carriles cada uno, bajo el río Guadalquivir en su cruce al sur de Sevilla, en la zona navegable, de 2180 m de longitud. Debido a los recortes, este proyecto queda reducido inicialmente a sus dos túneles, de tres carriles de 3 m cada uno aunque las empresas adjudicatarias de la obra no llegaron a aceptar este cambio; con el cambio de gobierno volvió a estudiarse la sustitución de los túneles por un puente, para volver a recuperar de nuevo la idea inicial de cuatro túneles, aunque actualmente hay dudas al respecto de la solución que se adoptará finalmente y la construcción de los túneles está paralizada desde 2012.

El 13 de noviembre de 2011 se puso en servicio el primer tramo, que une la A-4 (término municipal de la Rinconada) con la A-92 en Alcalá de Guadaíra. El 5 de marzo de 2013 se abrió el segundo tramo, añadiendo 5 km más al itinerario de la autovía y enlazando con la A-376 que une Sevilla con Utrera. El 25 de julio de 2018 se puso en servicio el tramo de 14,6 km entre Almensilla y Espartinas.



Figura 2. 1. Autopista de Circunvalación SE-40

2.2.-Localización de la estructura

La estructura de análisis E-3 enlaza con la A-4 (ver Figura 2.2.) y a su vez conecta las ciudades de Coria del Río, cuyo territorio cuenta con 30.657 habitantes y se adentra en las comarcas del Aljarafe y de La Vega. Su núcleo urbano se asienta junto al cauce del río Guadalquivir, a tan solo 5 metros de altitud, aunque cuenta con la pequeña elevación del Cerro de San Juan. Por otro lado, Dos Hermanas cuenta con una población de 133.168 habitantes debido a la cercanía con la capital y a su actividad industrial, se encuentra a 42 msnm, y comprende los núcleos de Dos Hermanas (centro), Fuente del Rey, Marisma y Puntales-Adriano y Montequinto. La conexión actual entre ambas localidades es de 25 km.



Figura 2. 2.Localización de la estructura E-3

2.3.-Alcance del Trabajo de Fin de Grado

En el presente Trabajo de Fin de Grado se abordarán los siguientes aspectos:

- Descripción de las maniobras propuestas. Secuencias.
- Pesos de dovelas y reparto entre cáncamos.
- Verificación independiente del reparto entre cáncamos.
- Diseño de los cáncamos de izado.
- Verificación de la estabilidad durante las maniobras.
- Verificación estructural del cajón metálico durante las maniobras.
- Acciones durante el proceso de montaje de las dovelas.
- Procedimiento de montaje.
- Diseño de los bloqueos.



3.-DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

3.1.-Superestructura

La estructura de análisis presenta un tablero compuesto de un cajón metálico de ancho total 6,085 m y un canto máximo de 1,050 m, sobre el que se hormigonará una losa de hormigón armado. (Ver Figura 3.1)

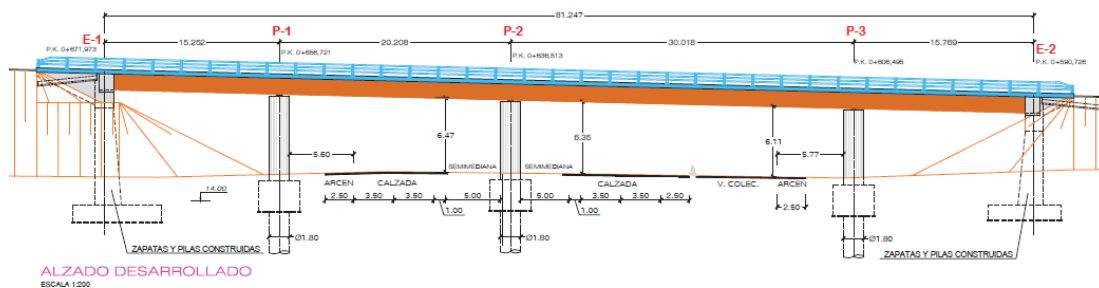


Figura 3. 1. Alzado de la estructura

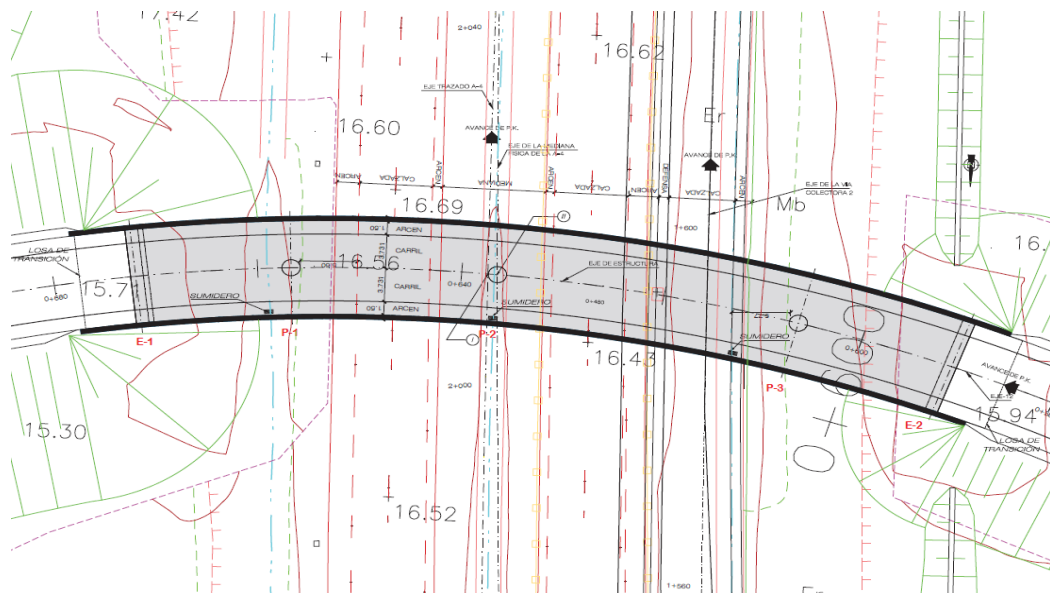


Figura 3. 2. Planta de la estructura



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



El tablero está formado por cuatro vanos $15.252+20.208+30.018+15.769$ de longitud en eje de estructura. El cajón metálico tiene 1.05m de canto y 4.0 m de ancho en la base. Las almas están inclinadas para reducir la luz libre de los voladizos laterales, elevando el ancho del cajón en su cara superior hasta 5.30 m (Ver Figura 3.3.).

Tabla 3. 1.Longitud de vanos

Vano 1	Vano 2	Vano 3	Vano 4
15,252 m	20,208 m	30,018 m	15,769 m

La pendiente longitudinal de la estructura es de 2.5% aproximadamente.

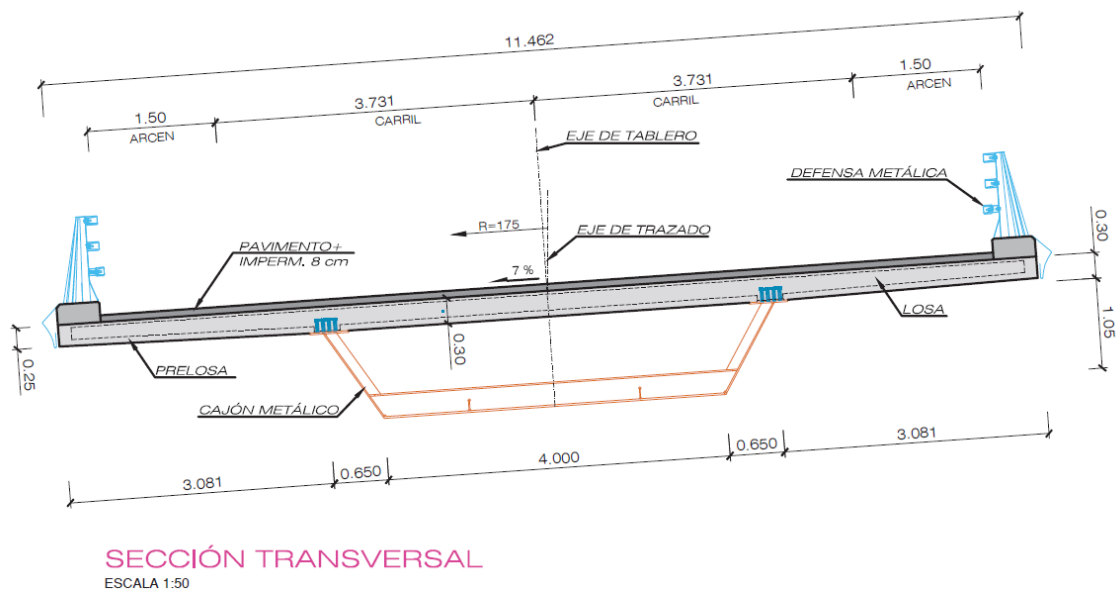


Figura 3. 3.Sección transversal de la estructura

3.2.-Subestructura

3.2.1.- Pilas

En el ámbito de la subestructura, las pilas se proyectan mediante fustes cilíndricos de sección circular de 1.80 m, prolongadas para materializar una pila-pilote que sirva de cimentación. A su vez poseen un dintel con doble apoyo para mejorar el comportamiento torsional de la estructura y aumentar la estabilidad de la estructura durante el montaje.



Las dimensiones de la parte superior del cuerpo de una pila para un puente están determinadas por consideraciones prácticas, como la magnitud de las reacciones en los apoyos, la distancia necesaria para la dilatación de la superestructura y la distancia entre armaduras.



Figura 3. 4. Dintel con doble apoyo

3.2.2.-Estribos

La tipología de los estribos de los puentes viene determinada por el tipo de tablero y por la capacidad portante del terreno de sustentación. Además, en la elección de uno u otro tipo influyen otros detalles como las características de la vía inferior, los niveles de tráfico, la existencia del cauce de un río o una vaguada, la altura del terraplén de acceso o el perfil longitudinal del terreno.

Estribos cerrados: Los estribos cerrados son los más comunes en puentes. Estos constan de un muro frontal sobre el que se apoya el tablero, que sirve también para contener las tierras. Se cimenta en el terreno natural y no sobre el terraplén, lo que permite disminuir el asiento que puede sufrir a largo plazo, que repercutiría en el tablero si éste fuese hiperestático (ver Figura 3.5).



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

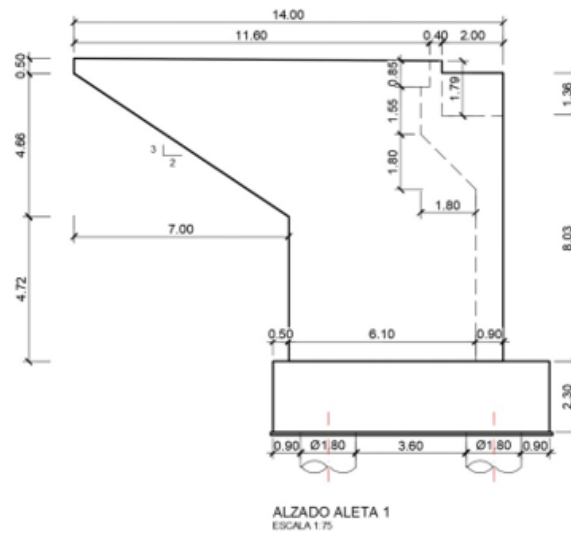


Figura 3. 5. Ejemplo de estribo cerrado

Estribos abiertos: Estos estribos se realizan para alturas superiores a los 5 metros, porque el espesor del dintel es importante y la dificultad constructiva es elevada. Los estribos abiertos siempre se completan con aletas en vuelta para que las tierras no invadan la zona de apoyos (ver Figura 3.6.). Cuando es posible el vertido de tierras por delante del muro frontal, este puede ser aligerado mediante la disposición de un dintel o cargadero donde apoya el tablero, el cual se apoya a su vez en unas pantallas que transmiten las cargas a la cimentación, y sustituyen en parte al muro frontal con el consiguiente ahorro de material.

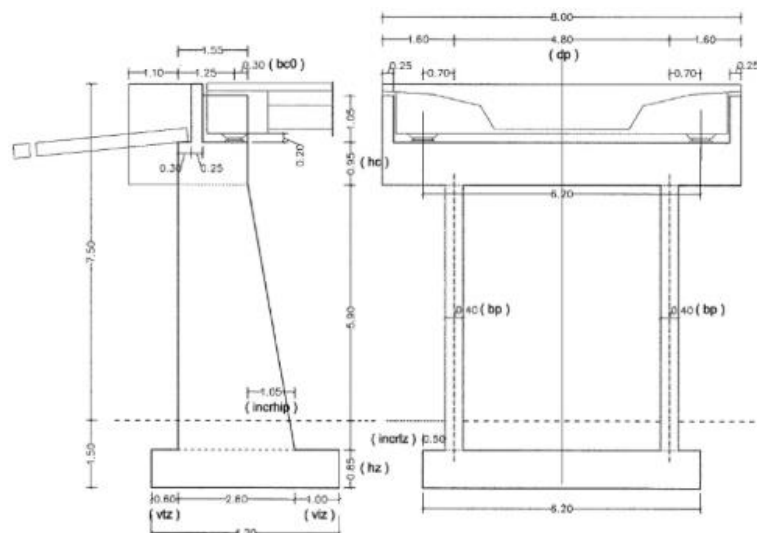


Figura 3. 6. Ejemplo de estribo abierto

En nuestro caso, los estribos son abiertos permitiendo el derrame de tierras.



4.FASE DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

4.1.Materiales y coeficientes de ponderación

Las características de los materiales que se consideran en el presente trabajo son las detalladas en la siguiente tabla:

Hormigones:

Según EHE, control de ejecución Intenso:

Tabla 4. 1.Hormigón empleado

ELEMENTO	HORMIGÓN	$\gamma_X(*)$	E_C [MPa]
LOSA DE TABLERO	HA-30/B/20/IIb	1.50	28500
PILAS	HA-30/B/20/IIb	1,5	28500
PILOTES	HA-30/L/20/IIa	1,5	28500
LIMPIEZA	HL-150	No Estructural	

(*) El coeficiente de seguridad para situación accidental es $\gamma_s = 1,30$

Acero Estructural:

Tabla 4. 2.Acero estructural empleado

ELEMENTO	CALIDAD	$\gamma_{M1(*)}$
CHAPAS	S355 J2G2W	1,1
RIGIDIZADORES	S355 J2G2W	1,1
RESTO DE PERFILES	S275 JR	1,1
CONECTADORES	St 37-3K	1.10
DEFENSA	S275 JR	1.25

Acero Pasivo:

Todos los elementos serán del tipo: **B 500 SD**, de acuerdo con EHE-08.

El límite elástico del acero será $f_y = 500$ MPa



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



El coeficiente de minoración del acero adoptado es $\gamma_s = 1,15$, salvo en situación accidental que es $\gamma_s = 1,0$.

Apoyos de Neopreno:

Módulo de deformación Nominal: $G_g = 0.9 \text{ MPa}$

Resistencia a rotura $> 16 \text{ MPa}$

Alargamiento en rotura > 425

Anclajes mecánicos:

Los anclajes a obra necesarios, en su caso, se realizarán con anclaje químico, basado en la idea de fijar una varilla roscada o similar de metal a hormigones fisurados o no fisurados (hormigones con más de 30 días de antigüedad) empleando resina. Los beneficios de este material son la resistencia mecánica y la velocidad de endurecimientos que en muchos casos es de 45 minutos. En este caso, la resina epoxi empleada es HIT-RE 500-A + B500 SD, varilla roscada o similar.

4.2.-Acciones

Se resumen en el presente apartado las acciones elementales consideradas en el presente trabajo según la normativa vigente para el Viaducto.

4.2.1.-Acciones Permanentes de valor constante (G)

Las acciones permanentes son producidas por el peso de los elementos que conforman la estructura. Se clasifican en peso propio y cargas muertas.

4.2.1.1.-Peso Propio

El peso propio es la acción que se corresponde con el peso de los elementos estructurales de los que la estructura está compuesta.

Para el peso propio se toma la geometría de cada sección, con un peso específico de 25 kN/m^3 para el hormigón y de 78.5 kN/m^3 para el acero estructural.

Así, los pesos definidos por el Taller metálico, en kN, redondeados al alza son:



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Tabla 4. 3. Peso teórico de dovelas

Dovela	Peso Teórico Aprox Taller
1	520
2	560
3	680
4	300

4.2.1.2.-Carga muerta

La carga muerta es la acción que corresponde con el peso de los elementos no estructurales que gravitan sobre la estructura.

Durante el izado, no se dispondrá ningún elemento añadido al peso de las dovelas, más que el propio de los cáncamos que se unan al cajón para su elevación.

Debido a que habitualmente hay pequeños incrementos en el peso de las dovelas metálicas debidos principalmente a:

- Soldaduras no contempladas en mediciones o exceso sobre las mediciones teóricas en el caso de estar contemplados.
- Pernos o tornillos (tornillos incluyendo arandelas y tuercas).
- Incrementos de espesores por exceso de laminación
- Pintura
- Chapas o perfiles necesarios para la fabricación de la estructura quedan incorporados a la obra a izar.
- Barandillas
- Escaleras

Se considera un incremento en el peso propio del 15% con respecto al teórico también. Esto no quiere decir que el elemento presente una medición de acero mayor que la que resulta de la estricta aplicación del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto, tan sólo se considera este pequeño incremento extra de forma conservadora.



4.2.2.-Acciones variables (Q)

Las acciones variables son las producidas por todas las sobrecargas que pueden afectar a la estructura.

4.2.2.1.-Viento

Para el cálculo de la acción del viento se seguirán las directrices del apartado “4.2 Viento” de la IAP-11, el cual nos indica que esta carga se podrá asimilar a una fuerza estática equivalente debida por el mismo actuante sobre la estructura, siempre y cuando se puedan despreciar los efectos aerolásticos del viento sobre esta.

Según recoge la IAP-11, para operaciones transitorias de hasta 3 meses, el periodo de retorno a considerar es de 5 años:

Tabla 4.2-a Periodos de retorno para situaciones transitorias

Duración de la situación	Periodo de retorno, T [años]
≤ 3 días	2
> 3 días y ≤ 3 meses	5
> 3 meses y ≤ 1 año	10
> 1 año	50

Figura 4. 1. Tabla 4.2-a de la IAP-11

Según el mapa de zonas, el proyecto se encuentra en zona A:



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Figura 4.2-a Mapa de isotacas para la obtención de la velocidad básica fundamental del viento $v_{b,0}$
(Coincide con el mapa correspondiente del Código Técnico de la Edificación)

Figura 4. 2.Ubicación según mapa de isostacas

Así la presión de viento de la velocidad punta que se obtiene es:

Velocidad básica del viento			
Velocidad básica fundamental	$v_b(T)$	22.20	m/ s
Factor direccional del viento	c_{dir}	1.0	
Factor estacional del viento	c_{season}	1.0	
Zona del mapa de isotacas (Figura 4.2-a)		Zona A	
Velocidad básica fundamental	$v_{b,0}$	26	m/ s
Periodo de retorno	T	5	años
Factor de probabilidad	c_{prob}	0.854500605	
Velocidad media del viento			
Velocidad media del viento	$v_m(z)$	16.81	m/ s
Factor de rugosidad	$c_r(z)$	0.757	
Factor de topografía	c_o	1	
Altura del punto de aplicación	z	10	m
Tipo de entorno (Tabla 4.2-b)	Tipo	III	
Presión de la velocidad punta			
Presión de la velocidad punta	$q_p(z)$	0.053	t/ m2
Presión de la velocidad punta	$q_p(z)$	0.520	kN/ m2
Presión de la velocidad básica	q_b	0.031	t/ m2
Presión de la velocidad básica	q_b	0.304	kN/ m2
Coefficiente de exposición	$c_{te}(z)$	1.719	

Figura 4. 3.Cuadro general de acción del viento



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



En este apartado también se van a calcular fuerzas estáticas equivalentes provenientes de multiplicar la presión que ejerce el viento sobre la estructura por el área que este expuesta a esta presión, esto se realizará para el viento que actúe transversalmente al puente, al ser el empuje mayor. Posteriormente se estimará el empuje longitudinal como una fracción del transversal para ambas direcciones del viento y se calculará el empuje vertical y horizontal sobre la estructura.

Para ello debemos considerar distintos factores entre los que se encuentran:

Velocidad media del viento: Para la obtención media del viento se corregirá la velocidad básica según a qué altura actúe y la topografía del terreno.

Por tanto, dichas velocidades serán:

$$v_m(z) = C_r(z) \cdot C_0 \cdot v_b(T)$$

Donde:

$$C_0 = 1.1$$

$C_r(z)$, depende de la topografía de la zona.

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ para } z \geq z_{min}$$

$$C_r(z) = C_r(z_{min}) \text{ para } z < z_{min}$$

Tabla 4. 4. Coeficientes 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

Una vez dicho esto, la expresión para calcular el empuje del viento transversal para cualquier elemento del puente es la siguiente:



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



$$F_W = \left[\frac{1}{2} \rho v_b^2(T) \right] C_e(z) C_{f, horizontal} A_{ref}$$

A continuación, se van a explicar y calcular cada uno de los parámetros de la expresión para obtener los empujes tanto vertical como horizontal provocados por el viento transversal.

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

$v_b(T)$ Velocidad básica del viento [m/s] para un periodo de retorno de T años.

Por tanto, las cargas obtenidas son:

Datos geométricos						
Presión de la velocidad punta			$q_p(z)$	0.520	kN / m ²	
Ancho del tablero			6 m			
Canto del tablero			1.4 m	yref	0.00	m
Resumen de viento, sin sobrecarga						
q_v [kN / m]	q_l [kN / m]	q_t [kN / m]	$Y_{q,ref} (qt)$ [m]	$\Delta M_{torsor,v}$ [m· kN / m]		
2.859	0.364	1.486	0.647	4.289		
Empuje transversal				Coef. Fuerza transversal	C_{tx}	1.300
Conjunto del tablero						
Elemento	nº	Canto	Ocultamiento	q_t [t / m]	y_q [m]	$M_{torsor,t}$ [mt / m]
Tablero	1	1.40	1.00	0.098	0.700	0.069
Vigas	1	1.1	0.69	0.053	0.550	0.029
Barandillas	2			0.000	1.400	0.000
						0.000
$y_{q,ref}$		0.647	m	0.151		0.098
Empuje vertical						
Elemento	q_v [t / m]	$M_{torsor,v}$ [mt / m]				
Tablero	0.291	0.437				
Empuje longitudinal						
Elemento	Frac.emp.t. [%]	Coef.reductor f	q_t [t / m]	q_l [t / m]	$\varphi [L / L(z)]$	
Tablero	25%	0.981	0.151	0.037	c_o 1	
Barandillas	50%	0.981	0.000	0.000	L 16.00	
					L(z) 48.25	
					z 10.00	
					f 0.981	
			0.151	0.037		

Figura 4. 4.Carga de viento. Empuje sin sobrecarga.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Lo que da unas acciones a tener en cuenta de:

Tabla 4. 5. Acciones sin sobrecarga vertical

Hipótesis	q transversal [kN/m]	q longitudinal [kN/m]	q vertical [kN/m]
Sin SC. Vertical	1.49	0.36	2.86

En el caso del viento transversal se ha tenido en cuenta que el cajón presenta dos almas. En el caso de viento longitudinal y del lado de la seguridad, se considerarán la presencia de los mamparos de pila y estribo junto con el resto de arriostramientos transversales de celosía y los rigidizadores de almas.

En efecto, el viento longitudinal será de 0.4 kN/m más la presión básica de la velocidad punta del viento multiplicada por el coeficiente de fuerza y por el área de 3 veces la sección transversal del tablero. Se tienen en cuenta 2 mamparos suficientemente lejos para no tener ocultamiento, así como otra área también considerada completa (sin ocultamiento) como generalización de los arriostramientos transversales.

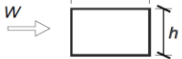
	$\frac{B}{h}$	$\leq 0,2$	0,4	0,6	0,7	1,0	2,0	5,0	$\geq 10,0$
	c_f	2,0	2,2	2,35	2,4	2,1	1,65	1,0	0,9
 $c_f = 1,4$	 $c_f = 0,7$ sección circular con superficie lisa y tal que: $\varnothing v_b (T) \sqrt{c_{pe}(z)} > 6 \text{ m}^2/\text{s}$		sección circular con superficie rugosa ⁽¹⁾ , o lisa tal que: $\varnothing v_b (T) \sqrt{c_{pe}(z)} < 6 \text{ m}^2/\text{s}$ $c_f = 1,2$						
 $c_f = 1,8$	 $c_f = 1,6$		 $c_f = 1,45$		 $c_f = 1,3$				
 $c_f = 1,6$	 $c_f = 2,2$		 $c_f = 2,0$						

Figura 4. 5. Coeficientes de fuerza.

El viento longitudinal de la dovela más larga se obtendría:

$$Vl = 3 * 0.52 * 2 * 6 * 1.05 + 0.4 * 26.80 = 30.4 \text{ kN}$$



En efecto, este valor de viento longitudinal es superior al que resulta de considerar la fracción del transversal correspondiente a tableros con huecos (50% del transversal).

Para el cálculo de $v_b(T)$, primero es necesaria la obtención de v_b , velocidad básica del viento para un periodo de retorno de 50 años, a partir de la siguiente expresión:

$$v_b = C_{dir} C_{season} v_{b,0}$$

Donde:

C_{dir} factor direccional del viento, a falta de estudios más precisos se tomará al 1,0.

C_{season} factor estacional del viento, a falta de estudios más precisos se tomará igual a 1,0.

$v_{b,0}$ velocidad básica fundamental del viento, obtenida de la figura 4.2-a de la IAP-11.

4.2.2.2. Efecto aerodinámico de los vehículos circulando bajo el tablero

La IAPF-07 recoge en su artículo 2.3.4.2 las presiones y succiones que hay que tener en cuenta para un vehículo circulando bajo el puente, como sobrecarga de uso.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

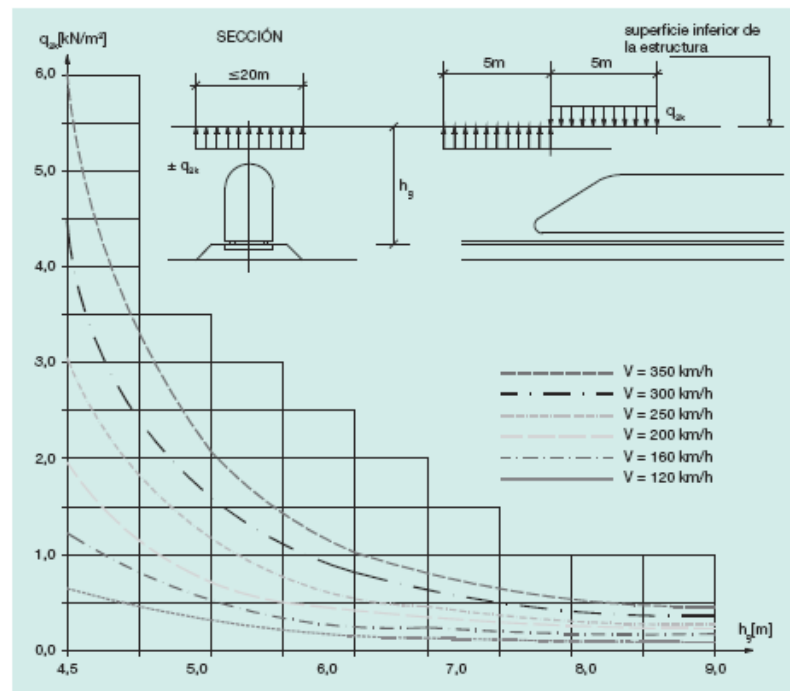


FIGURA 2.17. VALOR CARACTERÍSTICO DE LA PRESIÓN DE REFERENCIA q_{2k} SOBRE SUPERFICIES HORIZONTALES SITUADAS ENCIMA DE LA VÍA.

Figura 4. 6.Presión de referencia sobre superficies horizontales situadas encima de la vía.

La presión sobre cualquier superficie horizontal situada sobre la vertical de la vía será:

$$q'_k = \pm k_1 q_{2k}$$

donde:

k_1 : Coeficiente definido en 2.3.4.1.

q_{2k} : Presión de referencia (figura 2.17) definida por:

$$q_{2k} \text{ [kN/m}^2\text{]} = \left[\frac{2}{(h_g - 3,1)^2} + 0,015 \right] \cdot \frac{v^2}{1600}$$

h_g : Altura de la superficie respecto al plano medio de rodadura, en [m].

v : Velocidad del tren, en [m/s].

Figura 4. 7.Fórmula de IAPF-07. Presión sobre superficie horizontal situada sobre la vertical de la vía.

Para 100 km/h de velocidad de un camión o autobús y 5.30 m de gálibo libre, el valor es:

$$q_{2k}' = \pm k_1 \cdot 0.21, \text{ con } k_1 = 1, \text{ por tanto, } q_{2k}' = 0.21 \text{ kN/m}^2.$$



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



El efecto es equivalente en la dovela más larga a:

$E_{v,din}=0.21 \cdot 20 \cdot 4.65=20$ kN, lo que es despreciable frente al peso de los elementos, por lo que no provocará despegue o pérdida de contacto.

Si se supone conservadoramente que dicha fuerza puede actuar en la dirección transversal al tablero, dicha fuerza será de $E_{t,din}=0.21 \cdot 20 \cdot 1.1=4.62$ kN, lo que es despreciable teniendo en cuenta el resto de acciones que se considerarán en el presente trabajo, de cara a asegurar que no se van a presentar problemas durante la maniobra, con las vías inferiores en servicio.

4.2.3.-Acciones accidentales (A)

Se consideran acciones que acontecen en forma accidental y que inciden sobre la estructura.

De forma conservadora se tendrán en cuenta las siguientes acciones:

4.2.3.1.-Componente desestabilizadora del peso propio

Las superficies de contacto entre los apoyos de neopreno y las cuñas metálicas del tablero son horizontales tanto longitudinalmente como transversalmente. Sin embargo, debido a que las dovelas se instalarán sobre resina fresca, que puede actuar como lubricante incluso para pendientes imperceptibles, frente a la posibilidad de que existan fuerzas de viento ocasionadas por el viento o por el movimiento de vehículos, se realizarán los oportunos bloqueos durante las fases de instalación.

La pendiente longitudinal del tablero no hay que tenerla en cuenta durante el montaje, pues las cuñas hacen que el apoyo sea completamente horizontal.

Para quedar del lado de la seguridad, se tendrá en cuenta una componente de deslizamiento tanto longitudinal como transversal equivalente al 5% del peso del elemento izado, de cara a tener en cuenta las posibles imperfecciones de ejecución.

Por tanto, las fuerzas desestabilizadoras longitudinales y transversales serán del 5% del peso propio de la dovela izada.

Para las dovelas de asunto serán:



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Tabla 4. 6. Fuerzas desestabilizadoras de dovelas

Dovela	Peso Teórico Aprox Taller [kN]	Componente desestabilizadora. Fdesliz [kN]
1	520	26
2	560	28
3	680	34
4	300	15

Actuando en la dirección transversal (ambas direcciones) y en la dirección longitudinal (con desplazamiento desde el E-2 al E-1, por la pendiente longitudinal. Transversalmente, si bien las cuñas están a distinta altura, de forma conservadora, se consideran ambas direcciones, dado que no queda impedido completamente el posible desplazamiento de su posición teórica.



4.3.-Modelo de cálculo

La modelización de la estructura se ha realizado mediante un programa avanzado de elementos finito, modelizando con alto nivel de exactitud la geometría de los elementos. En este tipo de modelos, de gran complejidad y de dimensiones y pesos considerables, los modelos de cálculo de las estructuras son altamente sensibles a las vinculaciones que se modelicen entre los elementos, así como las rigideces que se consideren en las uniones. En la modelización se ha tenido en cuenta que las cruces de San Andrés del principio y final de la estructura no estarán presentes durante la maniobra, del lado de la seguridad.

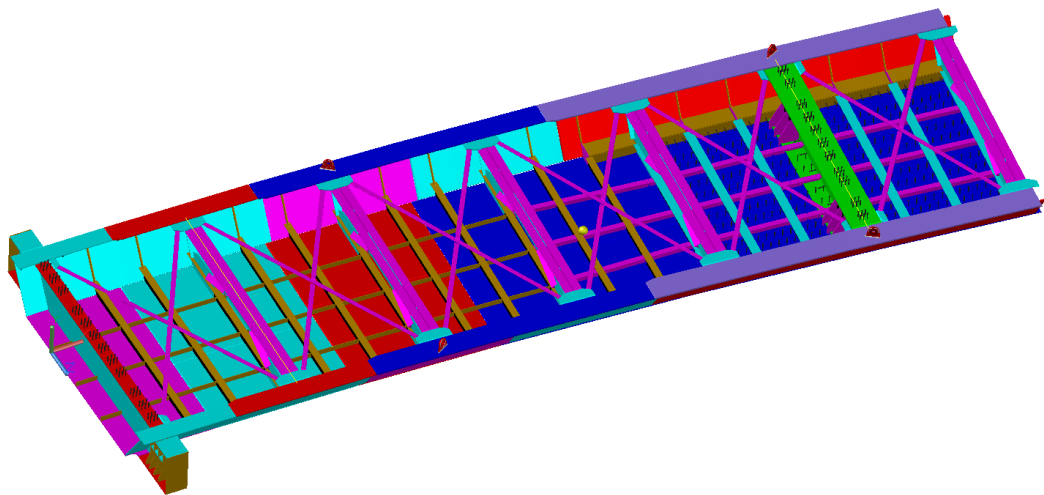


Figura 4. 8. Modelo 3D en Autocad.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

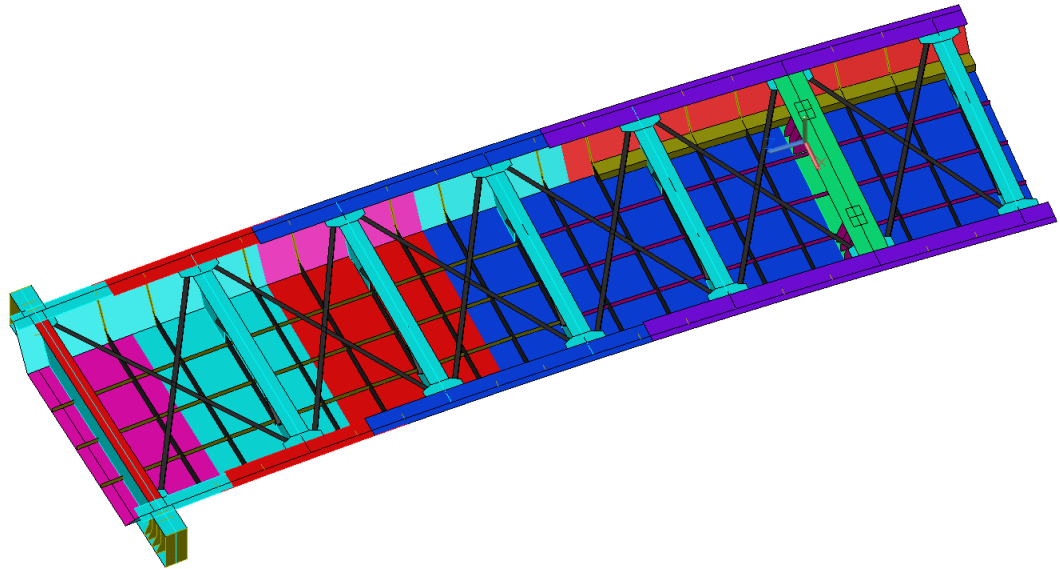


Figura 4. 9. Modelo cara 3D en Autocad.

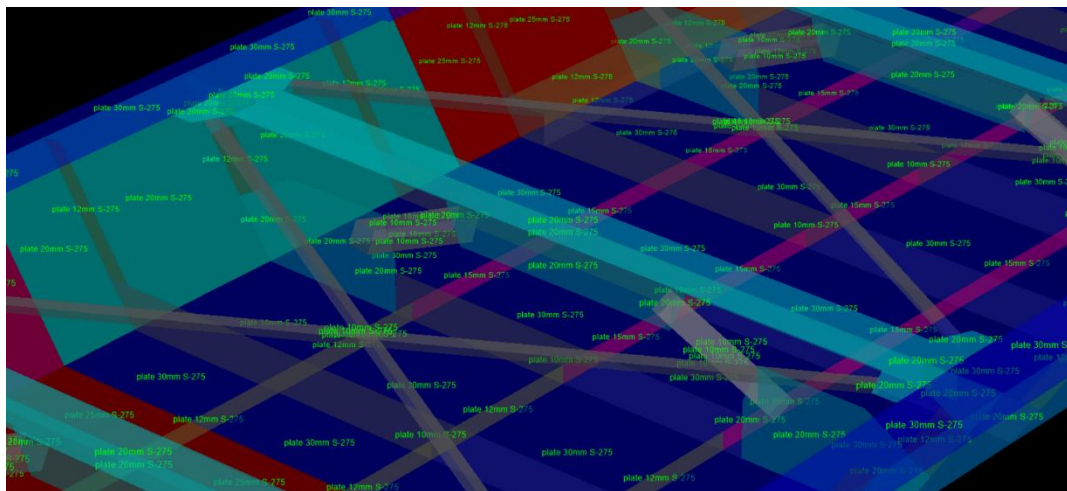


Figura 4. 10. Asignación de los grupos.

4.3.1. Verificación de la estabilidad de las dovelas

En el modelo de cálculo debemos considerar si la estabilidad de las dovelas se ve afectada por las acciones. Debido al diseño de las pilas con doble apoyo que se realizó en el proyecto de adaptación, las dovelas son estables una vez se colocan en los apoyos de estribos y pilas o pilas y viga de espera, a través de las vigas de cuelgue que se definirán después. Dado que la proyección del centro de gravedad de las dovelas cae siempre dentro del polígono formado por los apoyos, tanto durante el izado, como al apoyarlas en la obra existente, no



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



existen problemas de inestabilidades, por lo que no será necesario tener ninguna precaución adicional a las que se reflejarán en el capítulo de Procedimiento de Montaje.

Como ya se ha comentado, los efectos del viento, así como de los efectos aerodinámicos de los vehículos circulando bajo el puente en fase de montaje han sido contemplados. Por su parte, también se han tenido en cuenta las posibles irregularidades en la teórica planeidad de las superficies de apoyo, para evitar cualquier tipo de desplazamiento no deseado durante las maniobras.

4.3.2. Descripción de los útiles de izado.

Debido a la pendiente longitudinal y transversal de las dovelas, existirá una diferencia de cotas entre los extremos de las dovelas, tanto en transversal como en longitudinal, que provocará que las eslingas sean de diferente longitud, no existiendo longitudes iguales ni siquiera dos a dos, esto es, las cuatro eslingas serán completamente distintas, con una variación de hasta unos 1200 mm aproximadamente. Dado que las longitudes realmente dispuestas distarán una cierta cantidad de las teóricas, los repartos entre cargas no serán exactamente los teóricos. Este hecho se ha tenido en cuenta al aplicar el coeficiente que habitualmente se emplea al cálculo de las cargas que soportarán los elementos del arnés de izado (conjunto de elementos que se conectan a la estructura permanente para realizar la maniobra). En efecto, se han seguido las recomendaciones de la publicación “Temporary Works: Principles of Design and Construction. Authors: Murray Grant and Peter F. Pallet. Published: 2012. ICE-Institution of Civil Engineers” en el que se definen una serie de valores para tener en cuenta estos extremos. Se ha considerado un coeficiente de hiperestaticidad del 25%.

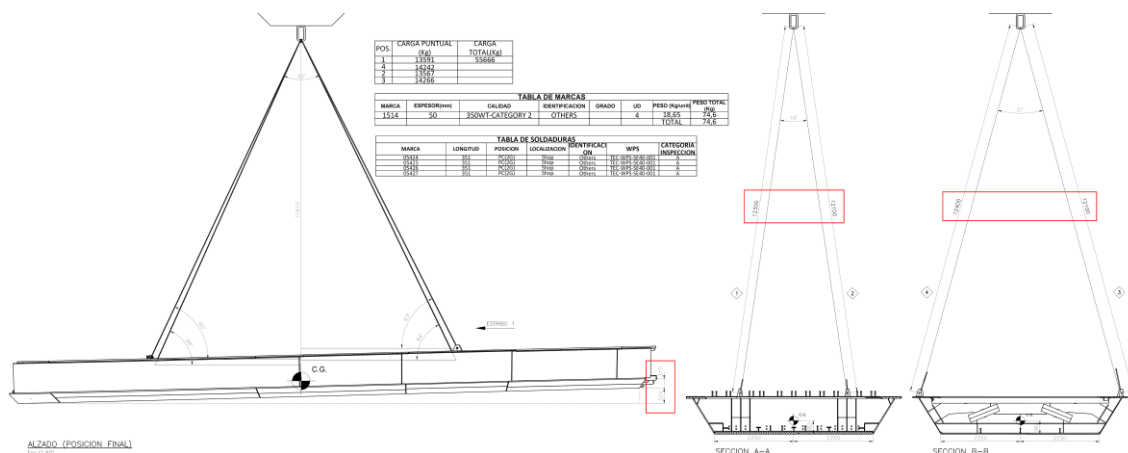


Figura 4. 11. Esquema de eslingas



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Tabla 4. 7. Cáncamos de izado

SE-40. E-3. CÁNCAMOS DE IZADO			
Localización de Cáncamos	X	Y	
1	-2843	6000	mm
2	2841	6000	mm
3	1521	-6600	mm
4	-1521	-6600	mm
CoG	0	0	mm
Distancia Superior Cáncamo	0	mm	
Distancia Extremo Cáncamo	0	mm	
Distancia al CoG [mm]	X	Y	
1	2843	6000	1
2	2841	6000	2
3	1521	6600	3
4	1521	6600	4
Distancia 1-2	5684	mm	
Distancia 3-4	3042	mm	
L1=Distancia 1-4	12669	mm	
L2=Distancia 2-3	12669	mm	
Elemento de Izado			
Peso	kN	680	
Factor SKL		1	
Factor sobrecarga		1,15	
Peso característico	kN	782	
Nk1	kN	204,74	
Nk2	kN	204,88	
Nk3	kN	186,19	
Nk4	kN	186,19	
Punto superior	kN	409,62	
Punto extremo	kN	372,38	

Así el reparto entre los distintos cáncamos, con respecto al centro de gravedad de la dovela será:

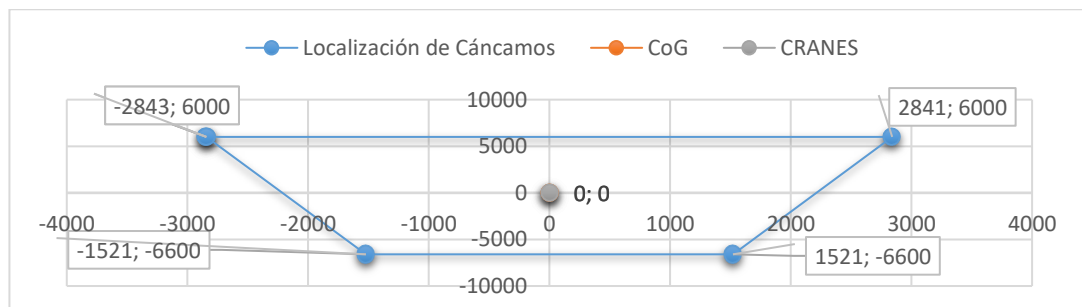


Figura 4. 14. Cáncamos con respecto al centro de gravedad.

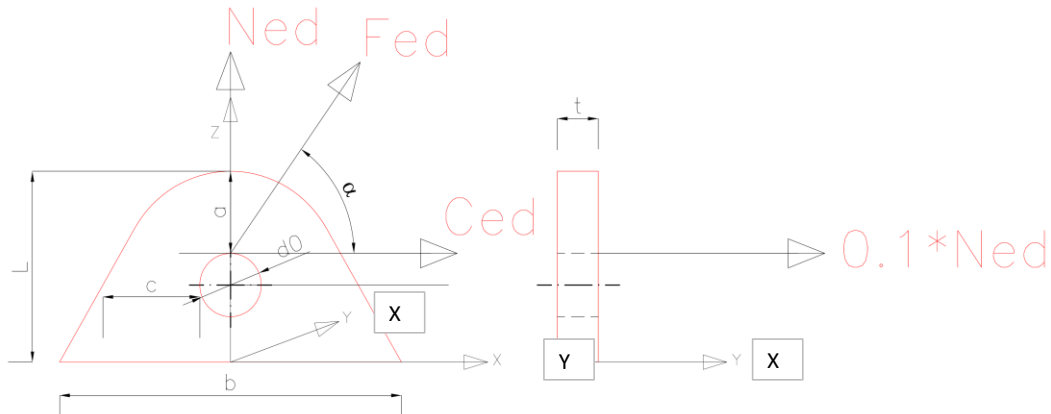


ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Así, suponiendo un incremento del peso propio de las dovelas del 15% como ya se explicó y un coeficiente de hiperestaticidad del 25%, una tolerancia en los ángulos de 10° para tener en cuenta un margen de tolerancia en el ángulo de izado de las dovelas, además del coeficiente de seguridad de 1.35, se tienen las siguientes acciones en el cáncamo.

1. FUERZAS



Máxima carga de izado por cáncamo	N	204,88	kN
Factor de Seguridad	γ	1,35	
Máxima carga con factor SKL	Ned	345,74	kN
Ángulo de izado-plano X-Y	α	62,00	grados
Ángulo de izado-plano Y-Z	β	0,00	grados
Ángulo de tolerancia	tol	10,00	grados
Cortante Y	Vyd	266,02	kN
Cortante X	Vxd	46,91	kN
RESULTADOS		438,75	kN

Figura 4. 15. Acciones en cáncamo de izado.

Se adopta el peso máximo establecido en las tablas de pesos de dovelas y los ángulos mínimos aquí recogidos, con las tolerancias definidas.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

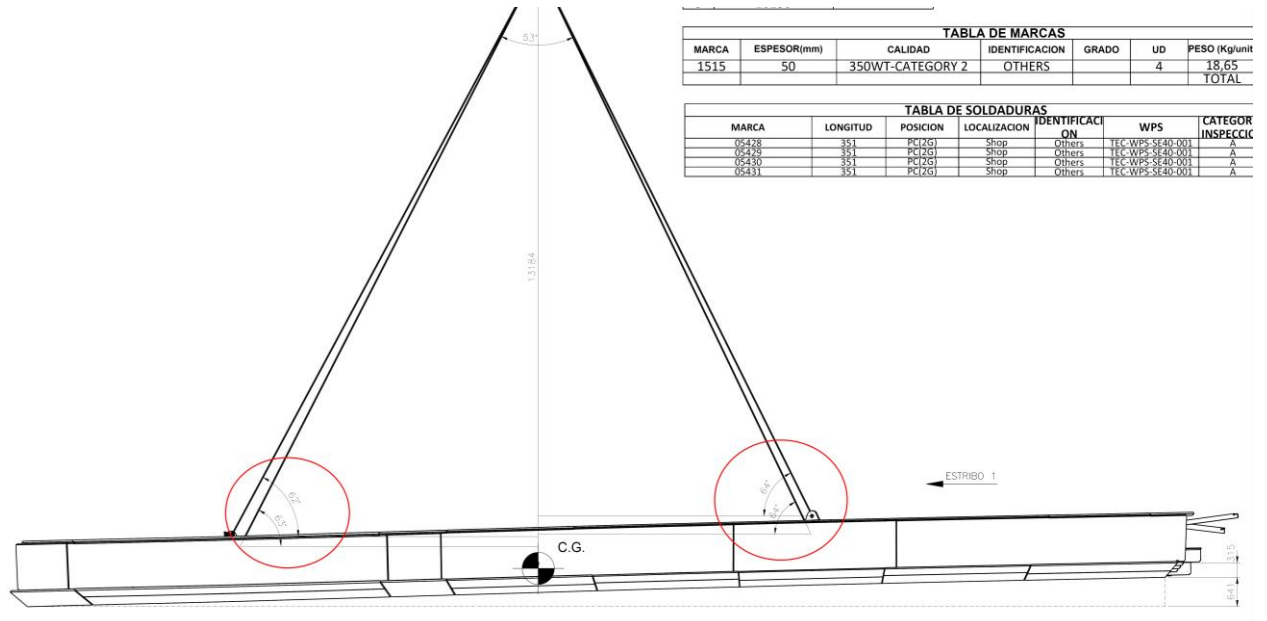


Figura 4. 16.Ángulos mínimos cáncamo de izado

Se verifica a continuación que la geometría propuesta cumple los requisitos normativos.

2. DISEÑO DE CANCAMO

(Art. 3.13 EN1993-1-8):

Fed	438,75	kN
Ángulo de aplicación/ Angle of application α	62,00	grados/ degree
a	72,00	mm
c	60,00	mm
d ₀	84,00	mm
Lámina principal	0,00	mm
Lámina central	50,00	mm
Cáncamo	50,00	mm
Acero/ Steel	S-355	

Condiciones impuestas por Grillete / Shackle			
Grillete / Shackle	55	t	OK
a <	267	mm	OK
c <	267	mm	OK
d ₀ >	70	mm	OK
t <	105	mm	OK
d ₃ =	152	mm	

f _y	335	N/mm ²
γ _{M0}	1,10	EC3-1-1 5.1.1

Material de la orejeta / Eyebolt material

Espeor				
a >=	70,69	mm	OK	1,018594 98%
c >=	42,69	mm	OK	1,405624 71%
Geometría				
b >=	26,57	mm	OK	1,881875 53%
d ₀ <=	125	mm	OK	

Figura 4. 17.Diseño de cáncamos



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Crosby® Shackles

For 3/16" - 3" Shackles

Angle loads must be applied in the plane of the bow.

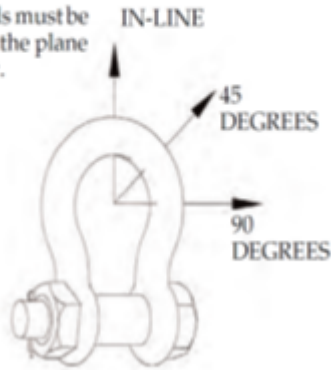


Table 1

Side Loading Reduction Chart For Screw Pin and Bolt Type Shackles Only *	
Angle of Side Load from Vertical In-Line of Shackle	Adjusted Working Load Limit
0° In-Line*	100% of Rated Working Load Limit
45° from In-Line*	70% of Rated Working Load Limit
90° from In-Line*	50% of Rated Working Load Limit

* In-Line load is applied perpendicular to pin.
- DO NOT SIDE LOAD ROUND PIN SHACKLE

ESLINGAS			
Capacidad de las eslingas	406,25	kN	
Capacidad de grillete	406,25	kN	
Factor SKL	1,25		
	45°	580,354	kN

Rigidizadores de la lámina base

es=	0	mm
ls=	84	mm
ds=	175	mm
Isxx=	0	mm ⁴
Isyy=	0	mm ⁴
hs=	100	mm

Verificación de la base de la orejeta frente a los esfuerzos:

3. VERIFICACIÓN DE LA OREJETA

Geometría / Geometry	Altura Total/Total height	L=	265	mm	L Sugerida/ Proposed L>	205 mm
	Largo/Lenght total	b=	300	mm	b Sugerida/ Proposed b>	204,00 mm
	Brazo/Lever arm	L-a=	193	mm		
	Espesor/Thickness	t=	50,00	mm		
	Area base	A=	15000	mm ²		
	Inercia Iy	Iy=	31250000	mm ⁴		
	Inercia Ix	Ix=	112500000	mm ⁴		

Fuerzas / Efforts (Allowing for skew factor)	Tracción/Tensile	Nd=	345,74	kN	
	Cortante /Shear X	Vxd=	46,91	kN	
	Cortante/Shear Y	Vyd=	266,02	kN	
	Momento/Bending Moment X	Mxd=	51341,11757	kN·mm	Fuerza aplicada a L-a
	Momento/Bending Moment Y	Myd=	9052,824247	kN·mm	Fuerza aplicada a L-a



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Las tensiones transmitidas a la dovela son de escasa magnitud. Por tanto, no es necesario rigidizar la base de la orejeta.

Se comprueba que el grillete de 55 t es válido, disponiendo una geometría que permite el correcto giro del grillete, permitiendo tanto la instalación como el correcto trabajo.

ACCESORIOS



107

GRILLETES DE ALTA RESISTENCIA

- Galvanizados con bulón barnizado.
- Marcados con la carga de trabajo y medida.
- Factor de Seguridad 6:1
- A partir de 85 T 4:1

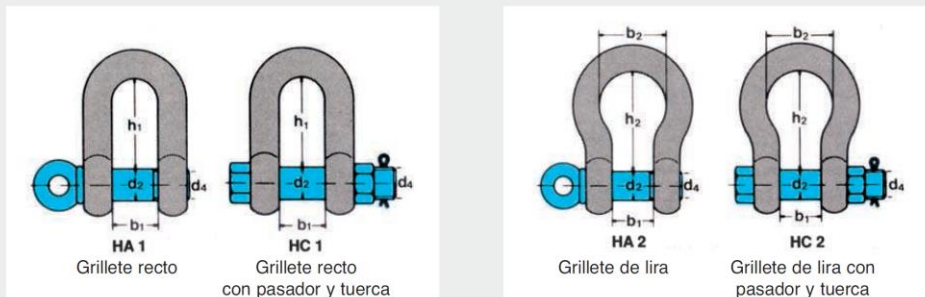


Figura 4. 18. Grilletes de alta resistencia

Medida nominal	Carga límite trabajo (kg)	d1	d2	d3	d4	b1	b2	h1	h2	Peso kg/pieza			
		mm	mm	mm	pulg.	mm	mm	mm	mm	HC1	HA1	HA2	HC2
1/4	500	6,5	8	17	5/16	12	20	-	28	-	-	0,05	-
5/16	750	8,0	10	21	3/8	13	21	26	31	-	0,08	0,08	-
3/8	1.000	10,0	11	25	7/16	16	26	31	36	-	0,13	0,14	-
7/16	1.500	11,0	13	27	1/2	18	29	36	42	-	0,19	0,22	-
1/2	2.000	13,0	16	30	5/8	21	33	41	48	0,34	0,31	0,33	0,37
5/8	3.250	16,0	19	40	3/4	27	43	51	60	0,70	0,55	0,65	0,71
3/4	4.750	19,0	22	48	7/8	32	51	60	71	1,18	0,96	0,97	1,27
7/8	6.500	22,0	25	54	1	36	58	71	84	1,64	1,40	1,52	1,78
1	8.500	25,0	29	60	1 1/8	43	68	81	95	2,41	2,03	2,39	2,52
1 1/8	9.500	29,0	32	67	1 1/4	46	74	90	108	3,27	2,97	3,15	3,53
1 1/4	12.000	32,0	35	76	1 3/8	52	82	100	119	4,59	4,01	4,32	5,04
1 3/8	13.500	35,0	38	84	1 1/2	57	92	113	133	6,00	5,40	5,67	6,84
1 1/2	17.000	38,0	41	92	1 5/8	60	98	124	146	8,33	7,29	7,79	8,78
1 3/4	25.000	44,0	51	110	2	73	127	146	178	12,83	11,25	12,51	14,09
2	35.000	51,0	57	127	2 1/4	83	146	171	197	18,50	16,20	18,50	20,84
2 1/2	55.000	63,0	70	152	2 3/4	105	184	203	267	38,03	33,30	37,58	42,30

La verificación del grillete o de su bulón no es necesaria, al estar fabricados para esas capacidades. La resultante en el grillete, mayorada es de 438.75 kN.

De cualquier forma, se realiza una verificación del bulón:



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

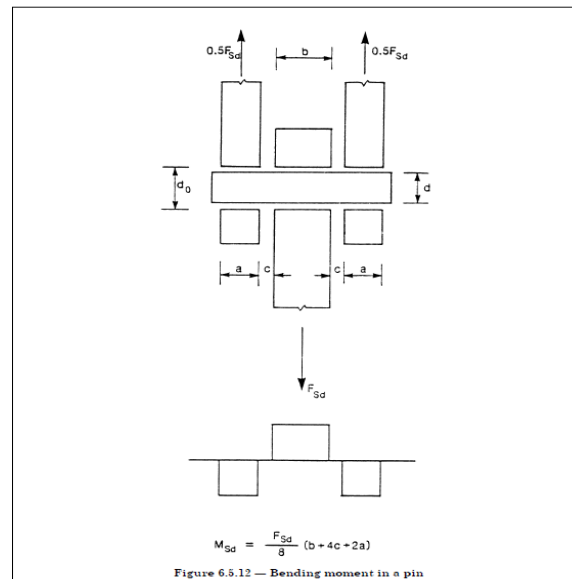


Figura 4. 19.Verificación del bulón

Tabla 4. 8.Anclajes

Anclaje

a=	50	mm
b=	70	mm
c=	0	mm
Coefic seg=	1	
F sin mayorar=	438747,4	N
Fsd=	438747,4	N
Fv,Sd=	219373,7	N
Msd=	6581211	N·mm
d=	70	mm
d0=	80	mm
A=	3848,45	mm ²
γ Mp=	1,25	
fub	470	N/mm ²
fyb	335	N/mm ²
Weff=	33673,95	mm ⁴
FvRd=	868210,55	N
MRd=	7219694,08	N·mm
MRd=	7219694,08	N·mm

VERDADERO
VERDADERO

Combinación cortante y flexión:

0,89 <=1

ok



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Y de la resistencia de la chapa de la orejeta frente al aplastamiento contra el bulón:

Tabla 4. 9. Soporte de lámina y pernos

Soporte de lámina y perno

t=	50	mm
d=	70	mm
f_y plate=	335	N/mm ²
γ_{Mp} =	1,25	
F_b, R_d =	1407	KN

$F_{b, sd}$ =	219,4	kN
$F_{b, R}$ =	1407,0	kN
Ratio=	15,6%	VERDADERO

Cumple con un margen de seguridad adicional.

El diseño de la soldadura, con 10 mm de espesor de garganta es suficiente. De forma conservadora se dará una penetración parcial, para mejorar la seguridad de la maniobra.

El cáncamo queda:

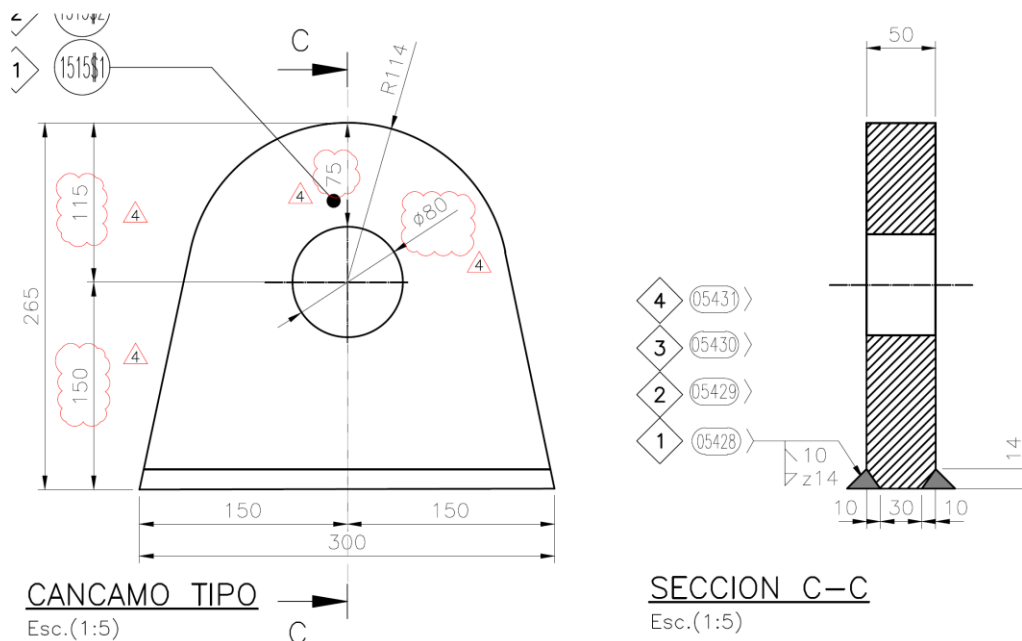


Figura 4. 20. Tipo de cáncamo



La soldadura de los cáncamos debe inspeccionarse además de visualmente con ultrasonidos y con partículas magnéticas.

Se recuerda la necesidad de que el agujero del cáncamo esté mecanizado, para garantizar la ausencia de defectos superficiales.

5.FASE DE EJECUCIÓN DE LA MANIOBRA

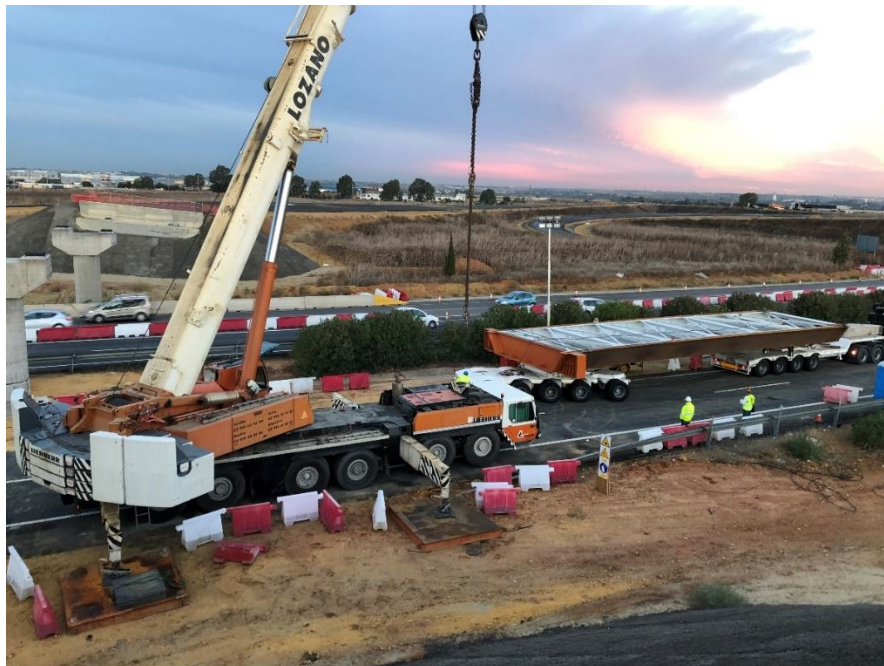
5.1. Procedimiento de montaje. Secuencia.

Tal y como viene establecido en los planos, se comenzará desde el estribo 2 hacia el 1. Se instalará desde el estribo más alto hacia el bajo.

Las fases y actividades principales serán:

5.1.1.-Dovela 1.

1. Previamente, se habrán instalado las placas para los bloqueos transversales en el estribo 2.
2. Se procede al izado Dovela 1.

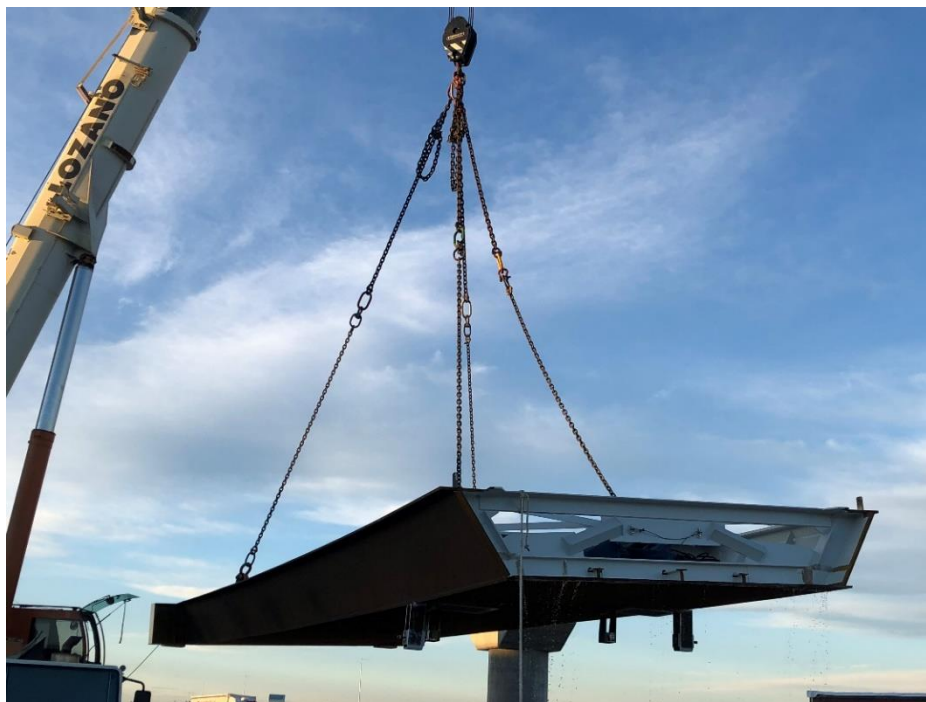




ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



3. Aproximación.



4. Se presenta la dovela en los apoyos, con la precaución de al acercarse no golpear los apoyos existentes, si es necesario se instalarán gatos hidráulicos/chapas para ayudar a la maniobra, debido a que la dovela es posible que llegue con una posición ligeramente distinta a la teórica y que por tanto no apoye a la vez en los 4 apoyos.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



5. Se pone en contacto las 4 cuñas con los 4 apoyos. No se liberará carga de la grúa en los apoyos más que la mínima necesaria para lograr el contacto, sin sobrepasar el 10%.



6. Se comprueba con precisión topográficamente que la dovela queda en su justa posición.
7. Una vez confirmada la posición, puede levantarse ligeramente la dovela, guardando el espacio justo para que los operarios puedan disponer la resina.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



8. Se disponen unos tacos de madera de aseguramiento de capacidad probada para que no sea posible el atrapamiento de los operarios en caso de descenso de la carga.





ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



9. Se aplica la resina. Esta será uniforme (1 mm es suficiente), sin dejar grumos ni zonas sin aplicación. Se limpiarán los excesos cuando baje la carga.



10. Retirada de los tacos de aseguramiento.
11. Descenso de la dovela repitiendo los pasos anteriores, hasta depositar el 10% de la carga de izado de la grúa, asegurando el contacto completo en los 4 apoyos. Debe realizarse dentro del plazo de trabajabilidad de la resina establecido en unos 40 minutos aproximadamente.
12. Bloqueo longitudinal y transversal en pila 3. Bloqueo transversal en E-2.
13. Inspección visual de las soldaduras. En caso de ser correcto, continuar la maniobra, por el contrario, reparar.
14. Liberación del siguiente 10% de carga de la grúa. Esperar 3 minutos, verificando que no existan comportamientos anómalos o desplazamientos.
15. Liberación del resto de la carga, en escalones del 10%, a 1 minuto por escalón.
16. Desenganchado de la grúa.



5.1.2.-Dovela 2.

17. Debe asegurarse que ha transcurrido el tiempo de fraguado de la resina de los apoyos de la dovela 1.
18. Izado Dovela 2.
19. Aproximación.
20. Presentación de la dovela en los apoyos, con la precaución de al acercarse no golpear los apoyos existentes, si es necesario se instalarán gatos hidráulicos/chapas para ayudar a la maniobra, debido a que la dovela es posible que llegue con una posición ligeramente distinta a la teórica y que por tanto no apoye a la vez en los 2 apoyos de pila y en la dovela en espera.
21. Contacto de las 2 cuñas con los 2 apoyos y la zona de unión en aire con las vigas de cuelgue. NO se liberará carga de la grúa en los apoyos ni sobre la dovela en espera más que la mínima necesaria para lograr el contacto, sin sobrepasar el 10%. Si es más, se analizará la situación sobre el terreno por parte del Proyectista.
22. Comprobación topográfica precisa de que la dovela quedaría en su justa posición.
23. Una vez confirmada la posición, puede levantarse ligeramente la dovela, el espacio justo para que los operarios puedan disponer la resina.
24. Disponer unos tacos de madera de aseguramiento de capacidad probada para que no sea posible el atrapamiento de los operarios en caso de descenso de la carga.
25. Aplicación de la resina. La aplicación será uniforme (1 mm es suficiente), sin dejar grumos ni zonas sin aplicación. Se limpiarán los excesos cuando baje la carga.
26. Retirada de los tacos de aseguramiento.
27. Descenso de la dovela repitiendo los pasos anteriores, hasta lograr contacto con la dovela existente en su posición deseada, asegurando el contacto completo en los 2 apoyos. Debe realizarse dentro del plazo de



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



trabajabilidad de la resina establecido en unos 40 minutos aproximadamente.

28. Bloqueo transversal en pila 2. No es necesario bloqueo longitudinal.
29. Acople de las dovelas gracias a las vigas de cuelgue.
30. Soldadura mínima de la viga de cuelgue para impedir el movimiento transversal.
31. Inspección visual de las soldaduras. En caso de ser correcto, continuar la maniobra. Si no, reparar.
32. Liberación del 10% de carga de la grúa. Esperar 3 minutos, verificando que no existan comportamientos anómalos o desplazamientos.
33. Liberación del resto de la carga, en escalones del 10%, a 1 minuto por escalón.
34. Verificación que los apoyos tanto de la dovela que se iza como de los existentes es correcto.
35. Desenganchado de la grúa.
36. Soldadura al 100% de la unión en aire. Ensayos.

5.1.3.-Dovela 3

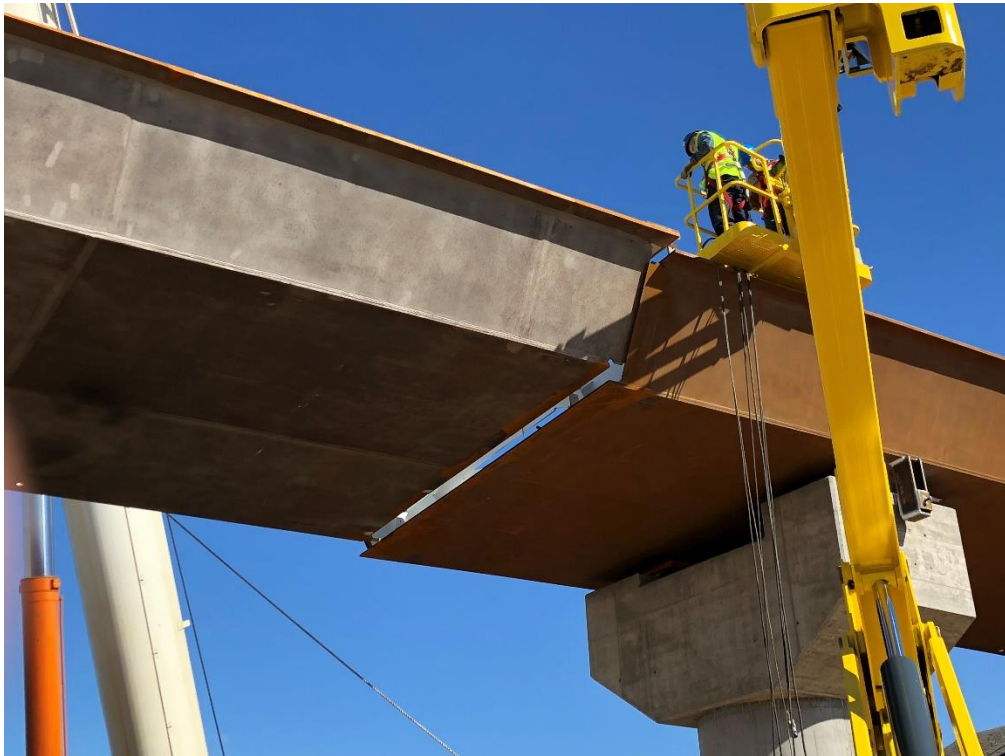
37. Debe asegurarse que ha transcurrido el tiempo de fraguado de la resina de los apoyos de la dovela 2.
38. La soldadura en aire de las dovelas previas se habrá realizado al 100% y se habrá ensayado siguiendo el plan de calidad de la obra.
39. Izado Dovela 3.
40. Aproximación.



41. Presentación de la dovela en los apoyos, con la precaución de al acercarse no golpear los apoyos existentes, si es necesario se instalarán gatos hidráulicos/chapas para ayudar a la maniobra, debido a que la dovela es posible que llegue con una posición ligeramente distinta a la teórica y que por tanto no apoye a la vez en los 2 apoyos de pila y en la dovela en espera.
42. Contacto de las 2 cuñas con los 2 apoyos y la zona de unión en aire con las vigas de cuelgue. NO se liberará carga de la grúa en los apoyos ni sobre la dovela en espera más que la mínima necesaria para lograr el contacto, sin sobrepasar el 10%. Si es más, se analizará la situación sobre el terreno por parte del Proyectista.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



43. Comprobación topográfica precisa de que la dovela quedaría en su justa posición.
44. Una vez confirmada la posición, puede levantarse ligeramente la dovela, el espacio justo para que los operarios puedan disponer la resina.
45. Disponer unos tacos de madera de aseguramiento de capacidad probada para que no sea posible el atrapamiento de los operarios en caso de descenso de la carga.
46. Aplicación de la resina. La aplicación será uniforme (1 mm es suficiente), sin dejar grumos ni zonas sin aplicación. Se limpiarán los excesos cuando baje la carga.
47. Retirada de los tacos de aseguramiento.
48. Descenso de la dovela repitiendo los pasos anteriores, hasta lograr contacto con la dovela existente en su posición deseada, asegurando el contacto completo en los 2 apoyos. Debe realizarse dentro del plazo de trabajabilidad de la resina establecido en unos 40 minutos aproximadamente.
49. Bloqueo transversal en pila 1. No es necesario bloqueo longitudinal.



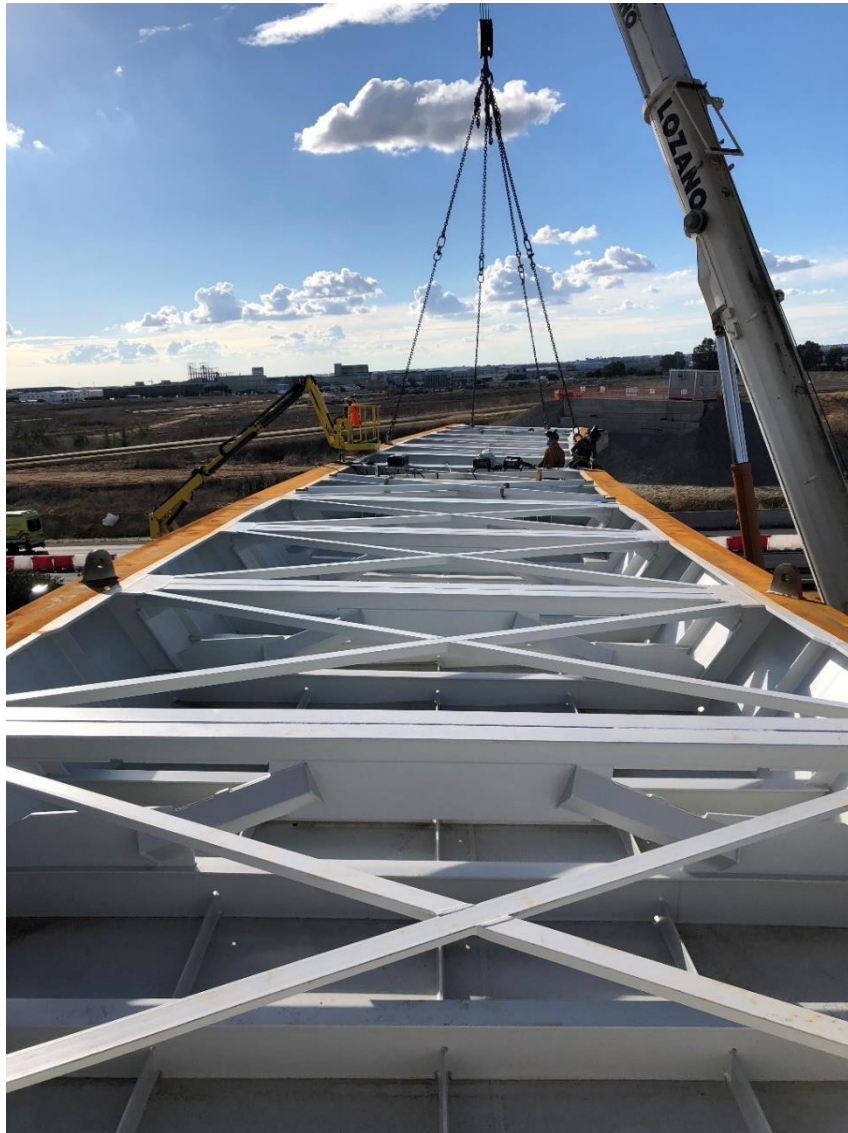
50. Acople de las dovelas gracias a las vigas de cuelgue.
51. Soldadura mínima de la viga de cuelgue para impedir el movimiento transversal.
52. Inspección visual de las soldaduras. En caso de ser correcto, continuar la maniobra. Si no, reparar.
53. Liberación del 10% de carga de la grúa. Esperar 3 minutos, verificando que no existan comportamientos anómalos o desplazamientos.
54. Liberación del resto de la carga, en escalones del 10%, a 1 minuto por escalón.
55. Verificación que los apoyos tanto de la dovela que se iza como de los existentes es correcto.
56. Desenganchado de la grúa.
57. Soldadura al 100% de la unión en aire. Ensayos.

5.1.4.-Dovela 4.

58. Debe asegurarse que ha transcurrido el tiempo de fraguado de la resina de los apoyos de la dovela 3.
59. La soldadura en aire de las dovelas previas se habrá realizado al 100% y se habrá ensayado siguiendo el plan de calidad de la obra.
60. Previamente, se habrán instalado las placas para los bloqueos transversales en el estribo 1.
61. Izado Dovela 4.
62. Aproximación.
63. Presentación de la dovela en los apoyos, con la precaución de al acercarse no golpear los apoyos existentes, si es necesario se instalarán gatos hidráulicos/chapas para ayudar a la maniobra, debido a que la dovela es posible que llegue con una posición ligeramente distinta a la teórica y que por tanto no apoye a la vez en los 2 apoyos de estribo y en la dovela en espera.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



64. Contacto de las 2 cuñas con los 2 apoyos y la zona de unión en aire. NO se liberará carga de la grúa en los apoyos ni sobre la dovela en espera más que la mínima necesaria para lograr el contacto, sin sobrepasar el 10%. Si es más, se analizará la situación sobre el terreno por parte del Proyectista.
65. Comprobación topográfica precisa de que la dovela quedaría en su justa posición.
66. Una vez confirmada la posición, puede levantarse ligeramente la dovela, el espacio justo para que los operarios puedan disponer la resina.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



67. Disponer unos tacos de madera de aseguramiento de capacidad probada para que no sea posible el atrapamiento de los operarios en caso de descenso de la carga.
68. Aplicación de la resina. La aplicación será uniforme (1 mm es suficiente), sin dejar grumos ni zonas sin aplicación. Se limpiarán los excesos cuando baje la carga.
69. Retirada de los tacos de aseguramiento.
70. Descenso de la dovela repitiendo los pasos anteriores, hasta lograr contacto con la dovela existente en su posición deseada, asegurando el contacto completo en los 2 apoyos. Debe realizarse dentro del plazo de trabajabilidad de la resina establecido en unos 40 minutos aproximadamente.
71. Bloqueo transversal en estribo 1, disponiendo lámina de elastómero para no dañar la pintura del mamparo. No es necesario bloqueo longitudinal.
72. Acople de las dovelas gracias a las vigas de cuelgue.
73. Soldadura mínima de la viga de cuelgue para impedir el movimiento transversal.
74. Inspección visual de las soldaduras. En caso de ser correcto, continuar la maniobra. Si no, reparar.
75. Liberación del 10% de carga de la grúa. Esperar 3 minutos, verificando que no existan comportamientos anómalos o desplazamientos.
76. Liberación del resto de la carga, en escalones del 10%, a 1 minuto por escalón.
77. Verificación que los apoyos tanto de la dovela que se iza como de los existentes es correcto.
78. Desenganchado de la grúa.
79. Soldadura al 100% de la unión en aire. Ensayos.
80. Curado resina apoyos.



5.1.5.-Fase final

Se liberan los bloqueos transversales de todos los elementos y se retiran los cáncamos de maniobra, vigas de cuelgue y cualquier elemento auxiliar empleado para el acople.



5.2.-Cálculo de los bloqueos durante las maniobras.

Serán necesarios unos elementos auxiliares para el aseguramiento de la posición de las dovelas durante las maniobras. Por un lado, para hacer frente a las fuerzas longitudinales será necesario instalar unas chapas soldadas al cajón. Por otro lado, para evitar el desplazamiento lateral de la estructura debido al viento transversal y el posible efecto de las imperfecciones de ejecución de los apoyos.

5.2.1.-Bloqueos longitudinales de montaje.

En efecto, en la primera dovela y mientras que la resina no haya alcanzado la resistencia necesaria, será necesario realizar un bloqueo longitudinal de la misma. Nótese que la resina fresca es un fluido viscoso que podría actuar como lubricante de las interfaces, dando lugar a desplazamientos no deseados.

Por tanto, se dispondrá un tope físico soldado al cajón en ambas caras de la pila P-3. Dicho tope físico consistirá en dos chapas soldadas al fondo del cajón que luego serán eliminadas, cuando acaben su función, en la fase indicada en el procedimiento definido.

Las fuerzas que pueden aparecer serán las de viento longitudinal más el efecto de la pendiente de los apoyos, que se combinarán siguiendo la expresión de situación persistente o transitoria y de la accidental de la IAP-11.

$$F_{L,D1, per}=1.5*VL=1.5*30.4=45.6 \text{ kN}$$

$$F_{L,D1, acc}=0*VL+ F_{desliz}=0*30.4+26=26 \text{ kN}$$

dado que el coeficiente de combinación del viento en la situación accidental es 0.

Por tanto, el valor de diseño será:

$F_{L,D1,d}=46 \text{ kN}.$

Se dispondrán como se ha comentado dos chapas para resistir dicho esfuerzo, por cada lado de la pila.

Las chapas presentarán un brazo máximo de 500 mm, lo que queda del lado de la seguridad, dadas las dimensiones de los elementos.

Por tanto, los esfuerzos de cálculo de los bloqueos longitudinales serán:



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



$$V_d = 46/2 = 23 \text{ kN}$$

$$M_d = 23 \cdot 0.5 = 11.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Por lo cual, se realizará una chapa de 150 mm de longitud, 30 mm de espesor, 500 mm de altura como máximo y con una soldadura de doble filete de 6 mm. Los 500 mm pueden reducirse a los mínimos constructivos que permitan el correcto contacto con las superficies a bloquear, cumpliendo el mínimo que se establece a continuación.

Verificación de la presión en el hormigón:

Verificación de la presión en el hormigón:

Características hormigón:

fck=	30.00	N/mm ²
Coeficiente de seguridad	1.50	
fcd=	20	N/mm ²
Presión máxima (criterio 60%)	12	N/mm ²
Longitud mínima de contacto	64	mm

Son suficientes con 64 mm de contacto de la chapa definida.

Estos bloqueos longitudinales se instalarán a ambos lados de la P-3 para impedir los movimientos hacia +PK y -PK.

Dado que una vez que la resina de los apoyos de neopreno haya alcanzado su resistencia característica las fuerzas resistidas por dicha unión serán muy superiores a las que puedan aparecer, no será necesario ni instalar nuevos bloqueos longitudinales ni será necesario mantener los aquí definidos, por lo que en el procedimiento se ha definido su eliminación, permitiendo que los neoprenos trabajen de la forma en la que se diseñaron.

En efecto, la resistencia de la resina a la adherencia es de unos 3 MPa:

Adherencia

(Según EN ISO 4624, EN 1542 y EN 12188)

Tiempo de curado	Temperatura	Soporte	Adherencia
1 día	+10°C	Hormigón seco	> 3 N/mm ² *
1 día	+10°C	Hormigón húmedo	> 3 N/mm ² *
7 días	+25°C	Acero	~18 N/mm ²

* 100 % Rompe el hormigón

Área de los 4 neoprenos de la dovela 1:

$$A = 2 \cdot 350 \cdot 450 + 2 \cdot 600 \cdot 700 = 1155000 \text{ mm}^2$$



$F_{adh}=3*A/1000=3465$ kN, mucho mayor que la fuerza de viento longitudinal de todo el tablero, por lo que queda justificada la no necesidad de disponer ningún bloqueo longitudinal más.

5.2.2.-Bloqueos transversales de montaje.

En cada dovela y mientras que la resina no haya alcanzado la resistencia necesaria, será necesario realizar un bloqueo transversal de la misma. Nótese que la resina fresca es un fluido viscoso que podría actuar como lubricante de las interfaces, dando lugar a desplazamientos no deseados. Debido a la configuración geométrica de los apoyos, los desplazamientos no deseados podrían tener lugar hacia ambos lados. Por tanto, se colocarán dos chapas, una a cada lado de las pilas, soldadas al fondo del cajón que luego serán eliminadas, cuando acaben su función, en la fase indicada en el procedimiento definido.

En función de las necesidades del taller, se podrá dejar una holgura y disponer unas chapas en obra que aseguren el contacto.

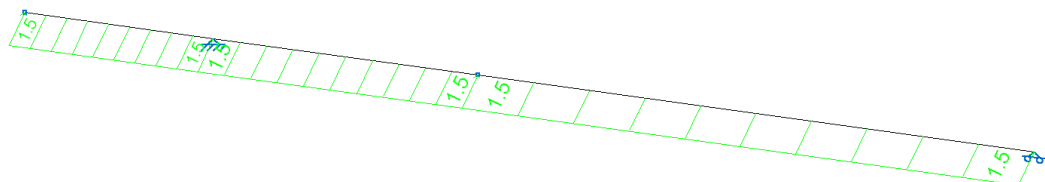
Las fuerzas que pueden aparecer serán las de viento longitudinal más el efecto de la pendiente de los apoyos, que se combinarán siguiendo la expresión de situación persistente o transitoria y de la accidental de la IAP-11.

$$F_{T,D3, per}=1.5*V_T, \text{ (lo que se justifica a continuación)}$$

$$F_{T,D3, acc}=0*V_T + F_{desliz} = 0+26=26 \text{ kN}$$

dado que el coeficiente de combinación del viento en la situación accidental es 0.

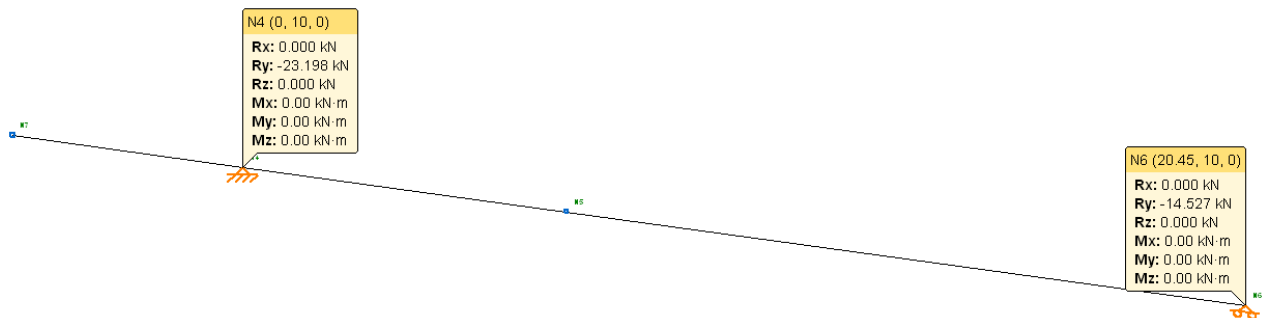
A la dovela 3, la más larga y que por tanto tendrá una fuerza de viento mayor, se le ha aplicado la carga característica de viento, de 1.5 kN/m.



Al aplicar dichas cargas se obtienen unas reacciones características de:



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Por tanto, los bloqueos transversales se diseñarán para resistir una carga de diseño de 23.2×1.5 kN. Se dispondrá un bloqueo formado por una chapa soldada al fondo del cajón de las dimensiones que a continuación se justifican:

De tal manera que el valor de diseño será:

$$F_{T,D3,d}=35 \text{ kN.}$$

Se dispondrá como se ha comentado una chapa por cada lado de la pila para resistir dicho esfuerzo.

Las chapas presentarán un brazo máximo de 500 mm, lo que queda del lado de la seguridad.

Por tanto, los esfuerzos de cálculo de los bloqueos transversales serán:

$$V_d=35 \text{ kN}$$

$$M_d=35 \times 0.5=17.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Se realizará una chapa de 120 mm de longitud, 30 mm de espesor, 500 mm de altura como máximo y con una soldadura de doble filete de 14 mm. Los 500 mm pueden reducirse a los mínimos constructivos que permitan el correcto contacto con las superficies a bloquear, cumpliendo el mínimo que se establece a continuación.

Verificación de la presión en el hormigón:



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Tabla 5. 1.Verificación de la presión en el hormigón.

Verificación de la presión en el hormigón:

Características hormigón:

fck=	30.00	N/mm ²
Coeficiente de seguridad	1.50	
fcd=	20	N/mm ²
Presión máxima (criterio 60%)	12	N/mm ²
Longitud mínima de contacto	98	mm

Son suficientes con 98 mm de contacto de la chapa definida.

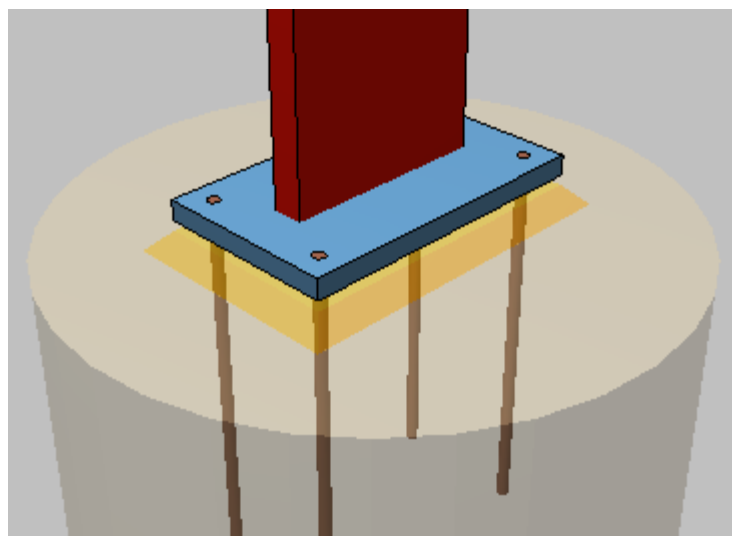
En los estribos, se dispondrán unas placas ancladas a la zona superior de la viga de apoyo, que recibirán unas chapas soldadas, en contacto con el cajón, a la posición deseada.

Las fuerzas a las que se verán sometidos los topes transversales en estribos serán, de forma conservadora: de 15 kN mayorados por 1.5, esto es: $V_{t,est,d}=22.5$ kN. Se supondrá un brazo de 500 mm, lo que da lugar a un momento de $M_{t,est,d}=11.5$ kN·m.

Es suficiente con 4 varillas roscadas de M12 y calidad 5.8 con una longitud de empotramiento de 140 mm, recibidas con resina epoxi..

Por tanto, se realizará una chapa vertical de 200 mm de longitud, 30 mm de espesor, 500 mm de altura como máximo y con una soldadura de doble filete de 5 mm.

La placa base tendrá un ancho de 180 mm, una longitud de 300 mm y un espesor de 20 mm. Se ha verificado mediante un programa específico, arrojando resultados correctos.





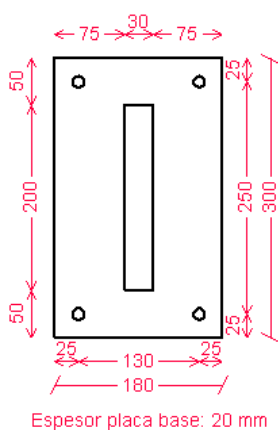
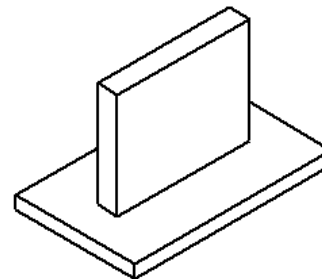
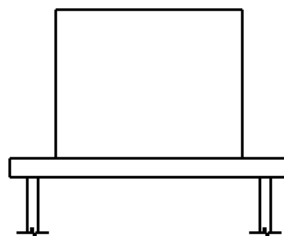
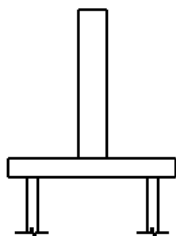
ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



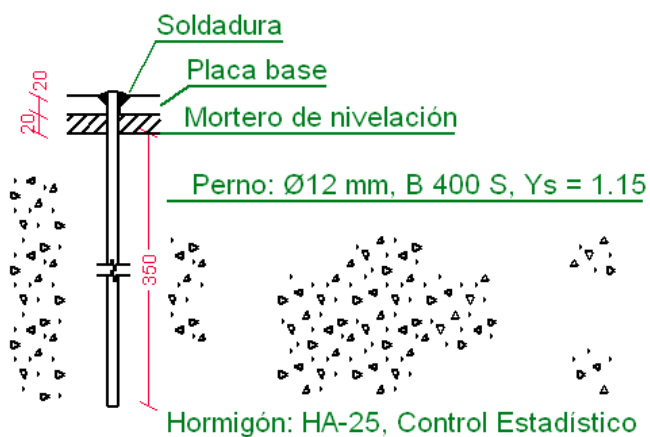
Dimensiones Placa = 180x300x20 mm (S275)

Pernos = 4Ø12 mm, B 400 S, Ys = 1.15

Escala 1 : 10



Detalle Anclaje Perno





ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Comprobaciones de resistencia		
Referencia:		
-Placa base: Ancho X: 180 mm Ancho Y: 300 mm Espesor: 20 mm -Pernos: 4Ø12 mm L=35 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 36 mm Calculado: 130 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 18 mm Calculado: 25 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 35 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 35.9 kN Calculado: 22.68 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 25.13 kN Calculado: 5.63 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 35.9 kN Calculado: 30.71 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 36.16 kN Calculado: 22.68 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 222.393 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 125.71 kN Calculado: 5.63 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 32.7488 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 32.7488 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 91.1074 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 100.588 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 33472.7	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 33472.7	Cumple
- Arriba:	Calculado: 2438.71	Cumple
- Abajo:	Calculado: 2133.4	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.117		



5.3. Diseño de las vigas de cuelgue.

Para hacer posible una maniobra segura, con ejecución de soldadura de unión entre dovelas en el aire y de forma que se acoplen rápidamente, permitiendo ajustar las posibles distorsiones que hagan que las almas o alas queden a distinta altura, se han definido unas vigas de cuelgue tal y como se realizan habitualmente. Estas vigas de cuelgue son las encargadas de recibir toda la carga vertical del extremo de la dovela que se iza, apoyando en la dovela que ya está instalada, resistiendo el cortante vertical y los posibles esfuerzos horizontales debidos al viento.



Figura 5. 1. Ejemplo de viga de cuelgue en un puente en Escocia.

La viga es un elemento fabricado y soldado en taller, que llega a obra soldado a la viga que se iza. El diseño de la viga es el que se justifica en el presente apartado, realizado para la dovela 3, que es la dimensionante.

La posición del centro de gravedad de la dovela hace que los 680 kN de peso propio se repartan según se muestra a continuación:



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Por tanto, la unión en el aire de la dovela 3 con la 2 tendrá un cortante de 220 kN, a dividir entre dos almas. La diferencia de reparto entre las dos almas debida a la forma en planta de la estructura es de pequeña índole y queda dentro del margen de seguridad adicional con el que cuentan los elementos diseñados.

El cortante de diseño por cada alma será de:

$$V_d = 220 / 2 * 1.15 * 1.35 = 171 \text{ kN.}$$

Según el esquema de cálculo de los bloqueos transversales, debido al viento, aparecerá en cada alma un cortante de diseño de:

$$W_{td} = 15 / 2 * 1.5 = 11.25 \text{ kN.}$$

En caso de que las zonas sin soldar de ala con alma de la dovela sean inferiores a las longitudes aquí definidas, se estará del lado de la seguridad.

El esfuerzo rasante en la unión de la platabanda superior de la viga en T con su alma es:

Rasante para dimensionar la soldadura de la viga armada (Fórmula de Colignon)

$M_x =$	90000 mm ³	Momento estático de la platabanda con respecto a la superficie de unión.
$\tau_{xz} =$	1.93 MPa	
$R_d =$	135.10 kN	Esfuerzo rasante total

Se realizará por tanto un cordón de soldadura de 5 mm de garganta en todo el contacto, por las dos caras del alma.

La soldadura de la parte de la viga de cuelgue que apoya en la dovela que espera tendrá que hacer frente a 11.25 kN debidos al viento transversal, como se vio anteriormente. Debido al viento longitudinal, deberán resistir 23 kN, como se vio en el apartado de bloqueos longitudinales.

Por tanto, se dispondrá una soldadura de 5 mm de garganta en una longitud total de 100 mm, lo que tiene una capacidad muy superior.



5.4. Control de calidad adicional de elementos auxiliares.

Para verificar que las soldaduras realizadas en obra son correctas y que por tanto puede procederse a la liberación de la grúa y a abrir el tráfico bajo ella, se realizan inspecciones visuales.

Además, las soldaduras realizadas en taller, de los elementos auxiliares, se ensayarán al 100%, por el método de partículas magnéticas (MT) o líquidos penetrantes (PT), más la consiguiente inspección visual.

5.5. Cálculo de las dovelas durante las maniobras.

El presente apartado recoge las verificaciones realizadas en las dovelas en base al método de los elementos finitos. Se ha realizado un modelo detallado de las dovelas más singulares, a saber, la dovela 1 que es la más grande con apoyo en estribo y será la primera a disponer en obra. Por otro lado, la dovela 3, que es la de mayor peso y tamaño. En base a los resultados que se infieren de ellas, se pueden colegir análogas conclusiones para el resto de dovelas y operaciones.

Se han analizado las dovelas tanto en el momento del izado como en el momento del apoyo en los apoyos definitivos.

Se han analizado tanto las tensiones como las deformaciones en los diversos estadios.

El detalle de los modelos de elementos finitos es muy elevado. Se ha empleado un coeficiente de paso para relacionar el peso del modelo de elementos finitos que da el programa de cálculo y el peso teórico de la dovela aportado por el Taller. En la dovela 1 el coeficiente es de 1.14. En la dovela 3 es de 1.19. Además, se ha definido el PP de la dovela como el peso teórico de la misma, incrementado por 1.15, como ya se ha comentado en apartados anteriores. Por último, para la verificación tensional, se ha empleado un coeficiente de mayoración de cargas de 1.35 sobre el PP. Por tanto:

$$\text{Peso del modelo} \cdot 1.14 = \text{Peso Taller} = \text{PT}.$$

$$\text{PT} \cdot 1.15 = \text{PP}$$

En ELU se ha empleado $1.35 \cdot \text{PP}$ para las verificaciones.

En ELS, se ha empleado el PP.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



En cuanto a las tensiones, se emplea la limitación del Art. 5.5 de la RPM de que no se supere el 75% del límite elástico del material:

$\sigma_{co1} \leq 0.75 \cdot f_y = 0.75 \cdot 275 = 206 \text{ MPa}$, en el caso de los perfiles laminados.

$\sigma_{co2} \leq 0.75 \cdot f_y = 0.75 \cdot 355 = 266 \text{ MPa}$, resto de casos.

Este criterio se emplea en zonas de 1 dm^2 , como habitualmente se realiza. En tensiones puntuales, se aceptaría la limitación de que no se alcance f_y . Se ha tenido en cuenta el espesor de las chapas para la reducción del límite elástico por el espesor.

Si no se indica lo contrario, las cargas se muestran en kN y m, las tensiones en MPa y los desplazamientos en mm.

5.5.1.-Dovela 1. Fase de izado

Se adjuntan a continuación algunas imágenes del modelo realizado, sus condiciones de contorno y los resultados.

5.5.1.1.-Definición del modelo y sus condiciones de contorno.

Se propone la colocación de una estructura de arriostramiento en forma de cruz de San Andrés, de manera que se aporte rigidez a las deformaciones. Se ha adoptado como criterio de diseño de este arriostramiento que no aparezcan en las almas de las vigas de las dovelas tensiones mayores que las que aparecen en los diafragmas de la viga.

Se han definido unas chapas equivalentes a las orejetas que se soldarán a las platabandas superiores, de cara a ver el efecto real de tensiones localizadas generadas por los elementos de cogida. La ubicación coincide con la definida en los planos de replanteo de cáncamos.

Se ha situado sobre el centro de gravedad aproximado de la dovela la posición teórica del gancho de la grúa, conectando las cuatro orejetas con barras con las propiedades de las eslingas.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

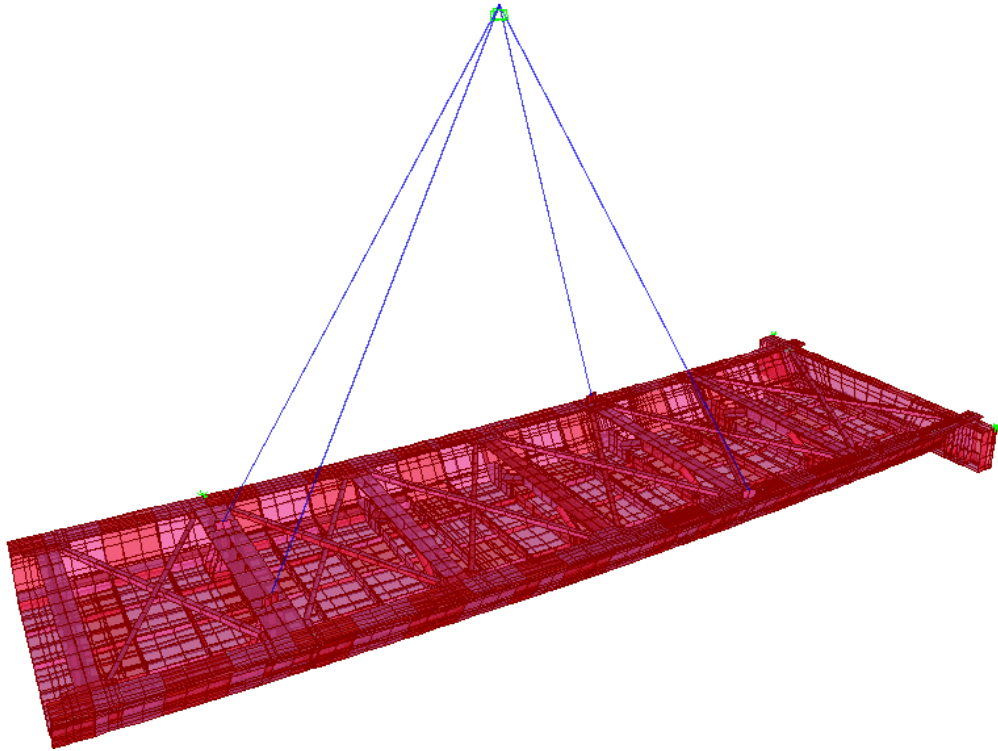


Figura 5. 2. Vista del modelo realizado para la dovela

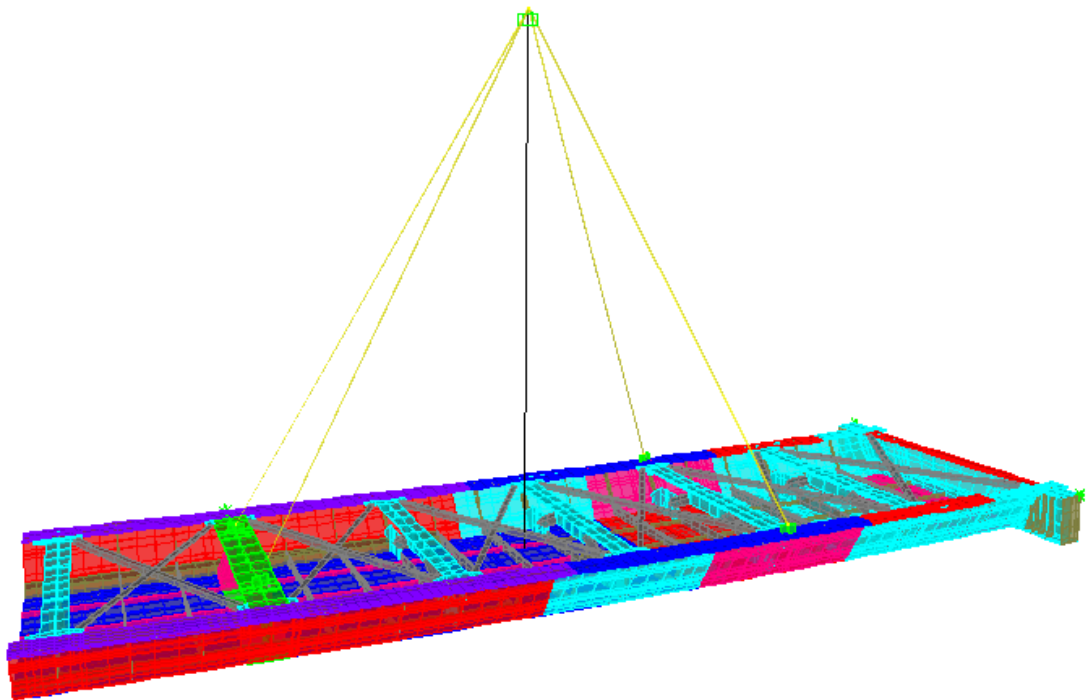


Figura 5. 3. Se diferencian aquí los distintos espesores de las chapas.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



Se han supuesto soldados al 100% todos los elementos.

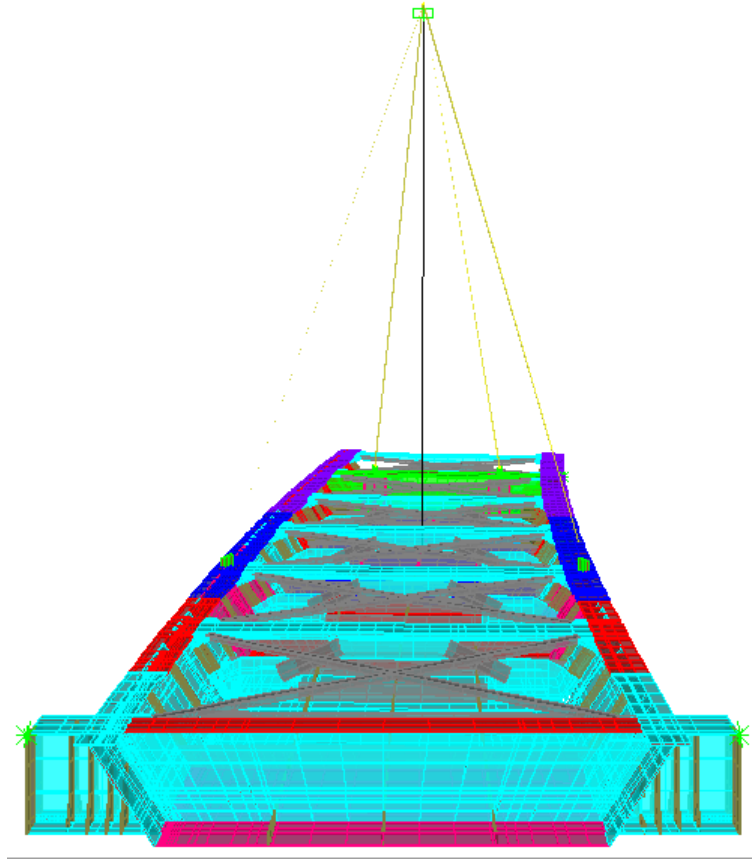


Figura 5. 4. Vista posterior de la dovela.

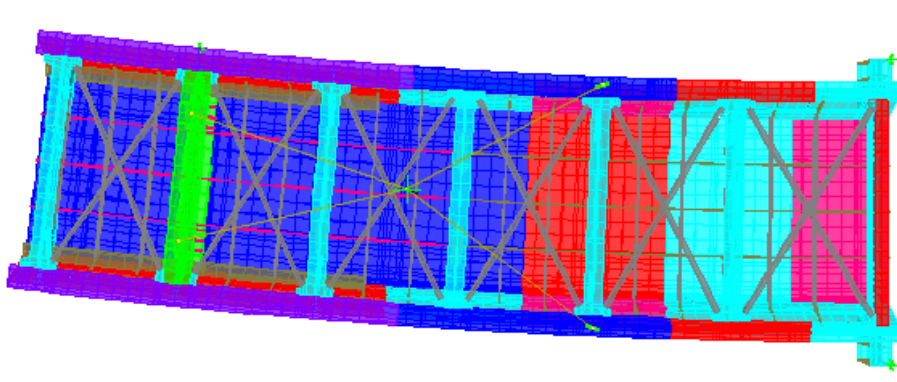


Figura 5. 5. Vista en planta de la dovela.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

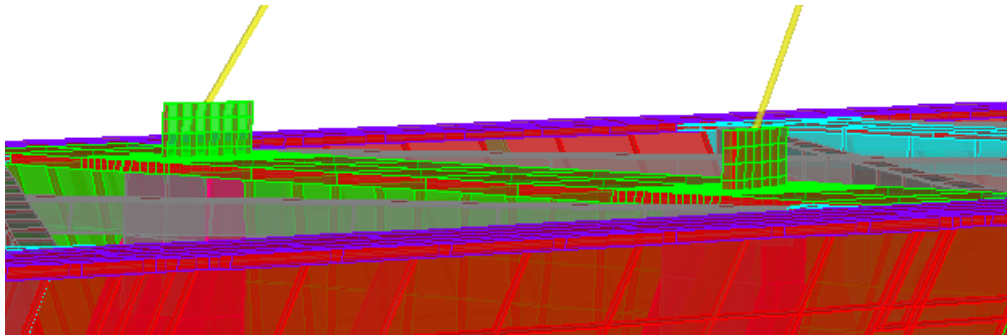


Figura 5. 6. Detalle de los cáncamos de izado

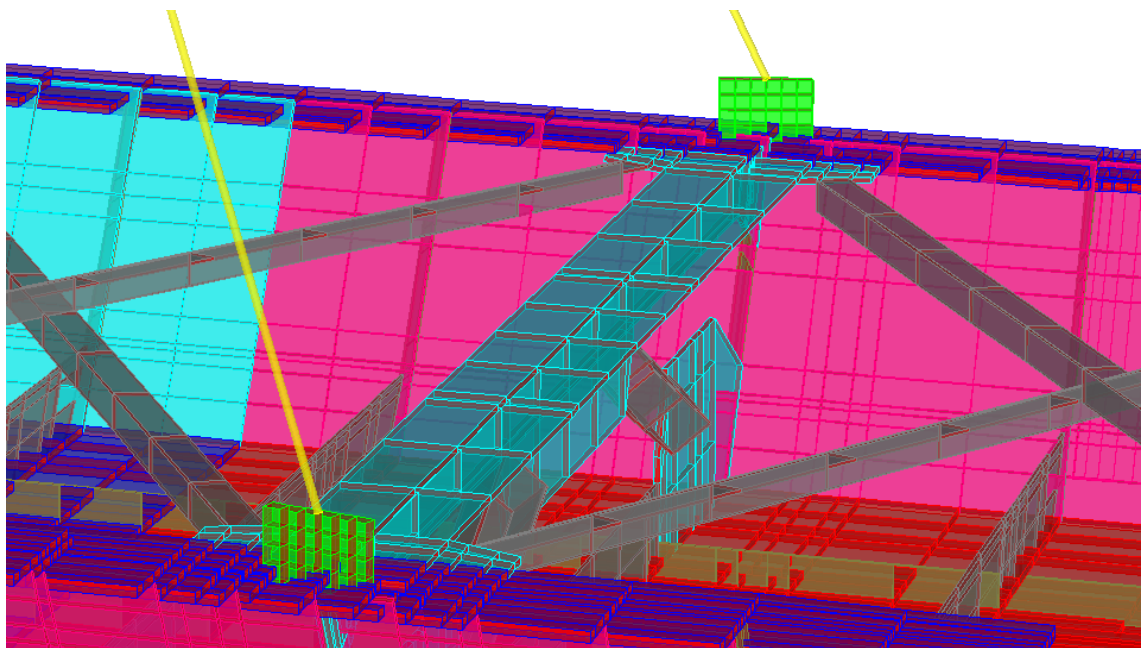


Figura 5. 7. Detalle de los cáncamos de izado. Celosía



5.5.1.2.-Axiles en las eslingas.

Las cargas en el gancho de la grúa serán:

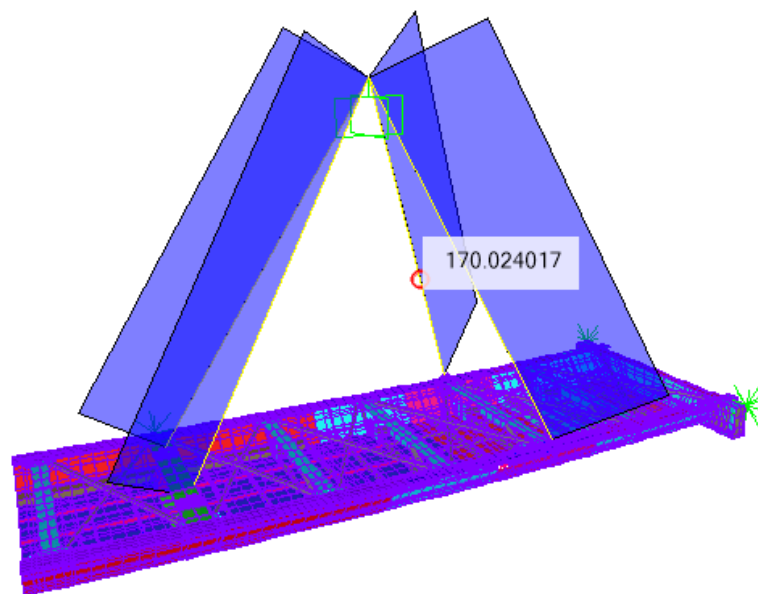
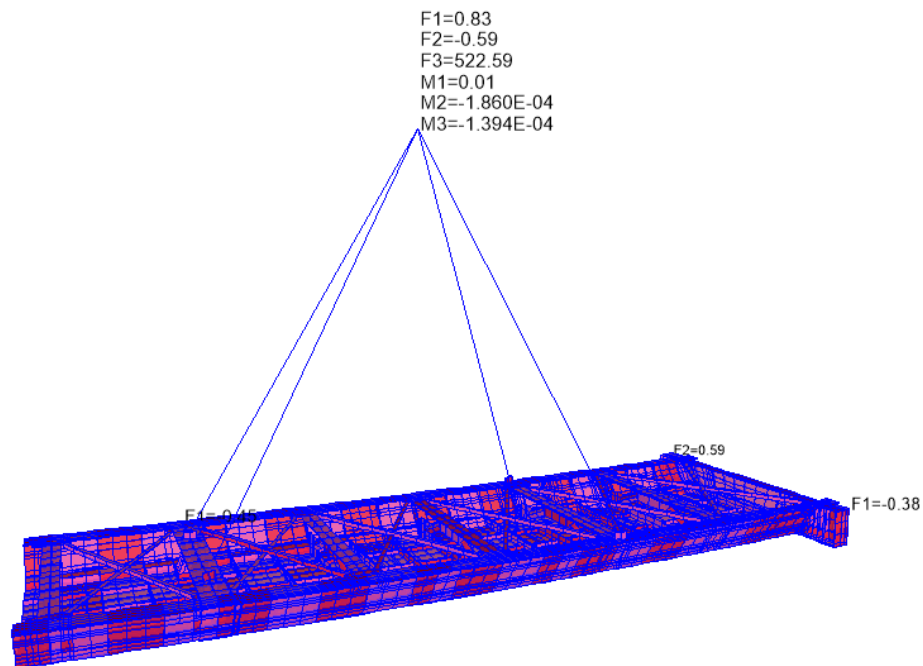


Figura 5. 8.Cargas en gancho de la grúa



5.5.1.3.-Desplazamientos.

Para el caso de PP, los desplazamientos son:

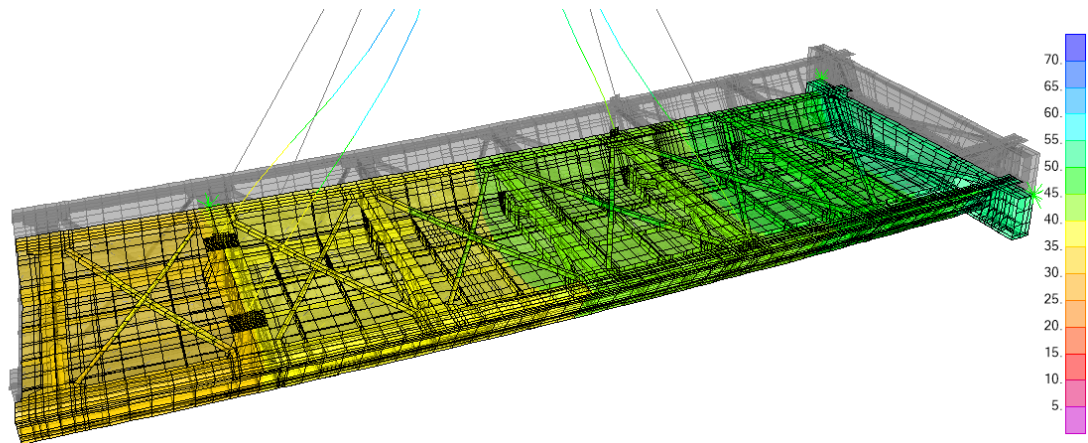


Figura 5. 9.Desplazamientos en la dovela.

Como se observa, los desplazamientos son del mismo orden en todas las zonas de la dovela, lo que se colige en que las deformaciones son pequeñas

5.5.1.4.-Verificación tensional.

Se verifica que las tensiones de Von Mises están por debajo de los límites establecidos. Dado que como se verá localmente, en el entorno de la orejeta, no hay riesgo de alcanzar los límites tensionales conservadores establecidos, no es necesario establecer análisis adicionales sobre el reparto diferente al teórico por el esquema hiperestático del arnés de izado.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

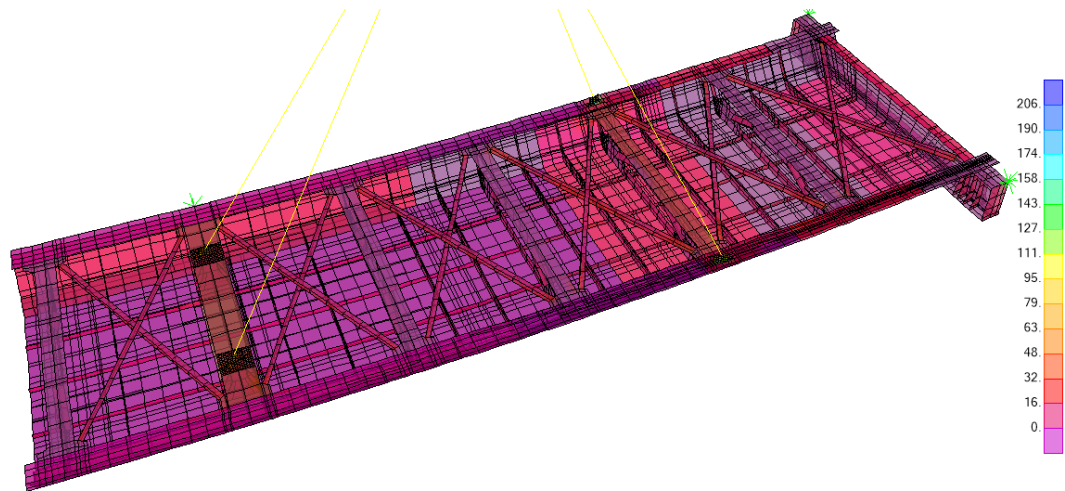
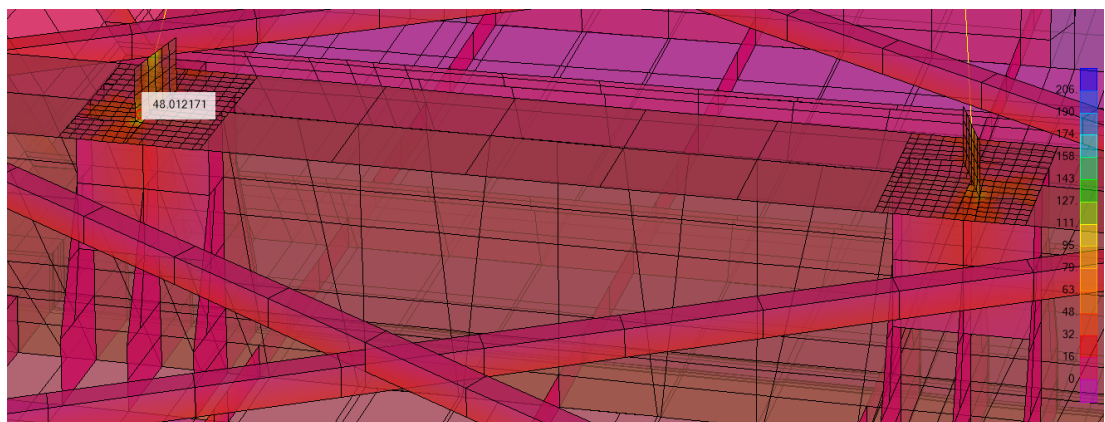


Figura 5. 10. Tensiones de Von Mises en la dovela. Muy por debajo de los límites establecidos.





ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

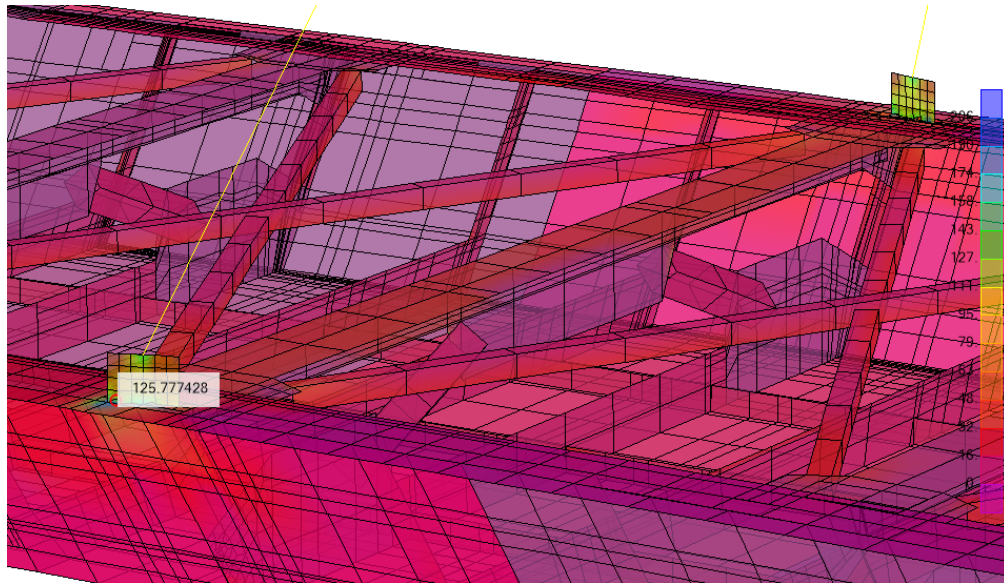


Figura 5. 11. En el entorno de los cáncamos las tensiones de Von Mises se mantienen lejos de los límites establecidos.

Por todo lo anterior se confirma que la dovela tendrá un comportamiento correcto en esta fase de estudio.



5.5.2.-Dovela 1. Fase de apoyo

Se adjuntan a continuación algunas imágenes del modelo realizado, sus condiciones de contorno y los resultados.

5.5.2.1.-Definición del modelo y sus condiciones de contorno.

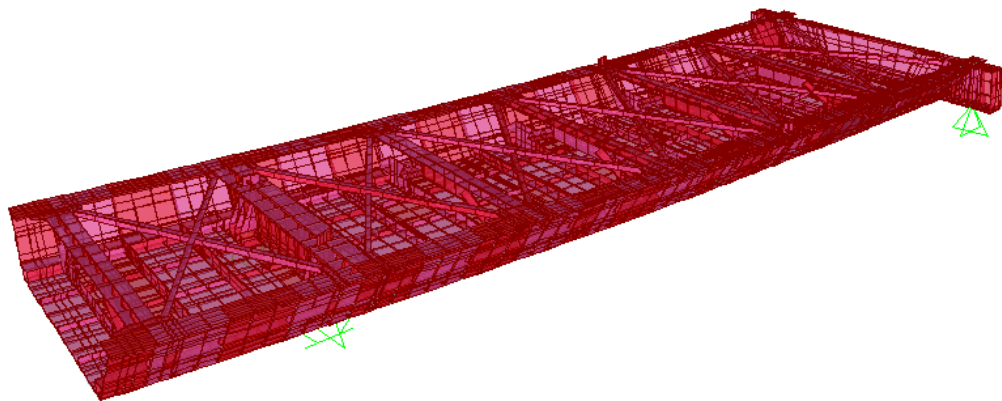


Figura 5. 12. Vista del modelo realizado para la dovela. Apoyos ubicados en la zona de neoprenos.

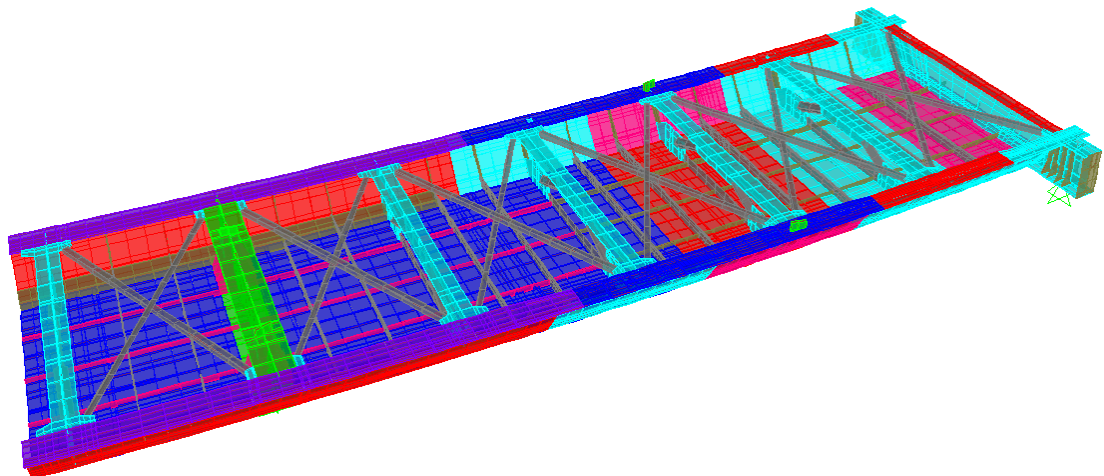


Figura 5. 13. Se diferencian aquí los distintos espesores de las chapas.

Se han supuesto soldados al 100% todos los elementos.

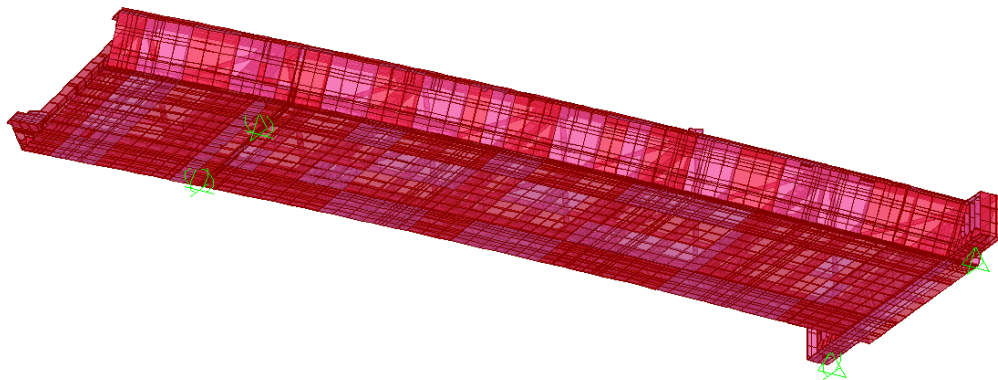


Figura 5. 14. Vista inferior de la dovela..

5.5.2.2.-Reacciones.



Figura 5. 15. Distribución de las cargas en los apoyos. En el exterior de la curva las reacciones son mayores.



5.5.2.3.-Desplazamientos.

Para el caso de PP, los desplazamientos son:

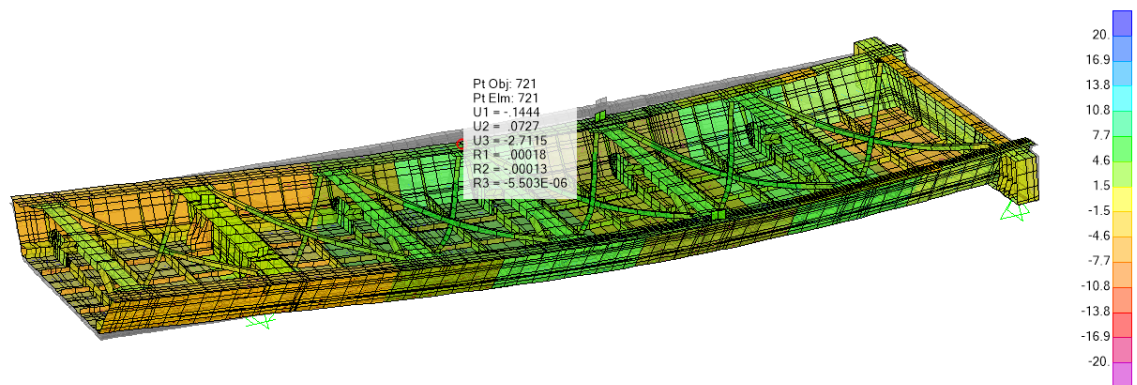
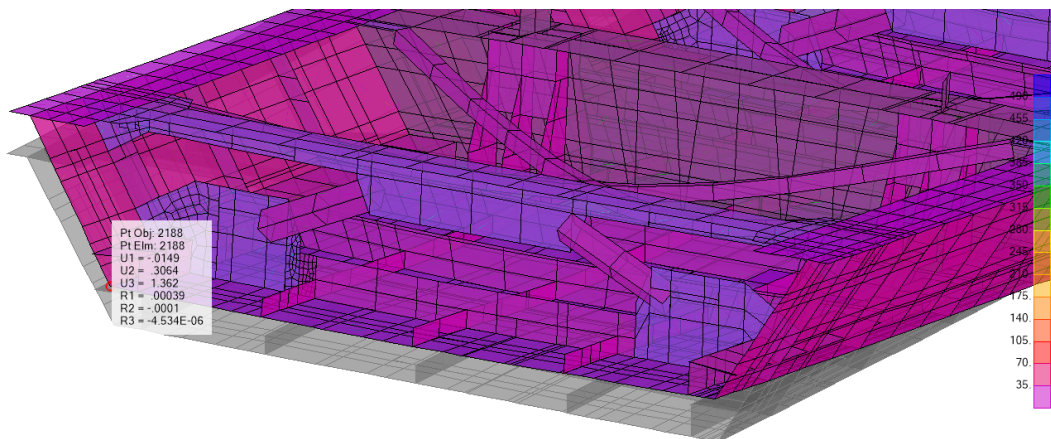


Figura 5. 16.Desplazamientos en la dovela.

Se ha verificado que, en estas circunstancias, la distorsión en el frente de fase es despreciable, teniendo las dos almas la misma deformación aproximadamente.



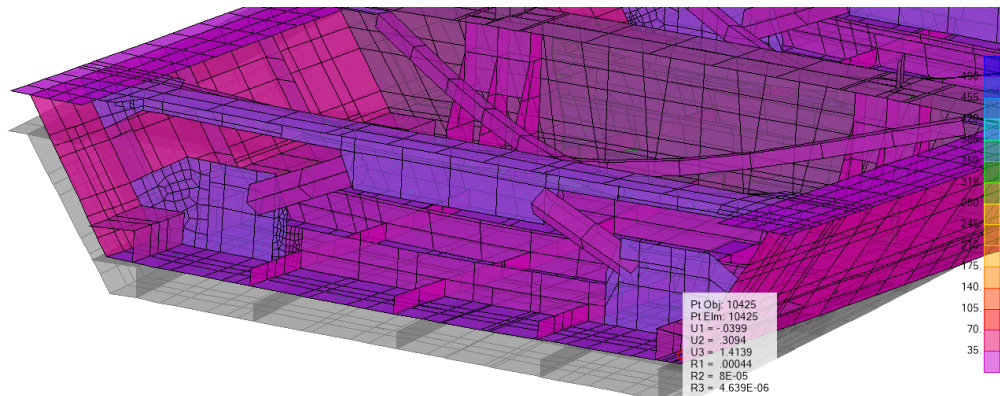


Figura 5. 17. Los desplazamientos de los dos extremos de la misma sección del cajón son del mismo orden y suponen un alabeo prácticamente nulo.

5.5.2.4.-Verificación tensional.

Se verifica que las tensiones de Von Mises están por debajo de los límites establecidos.

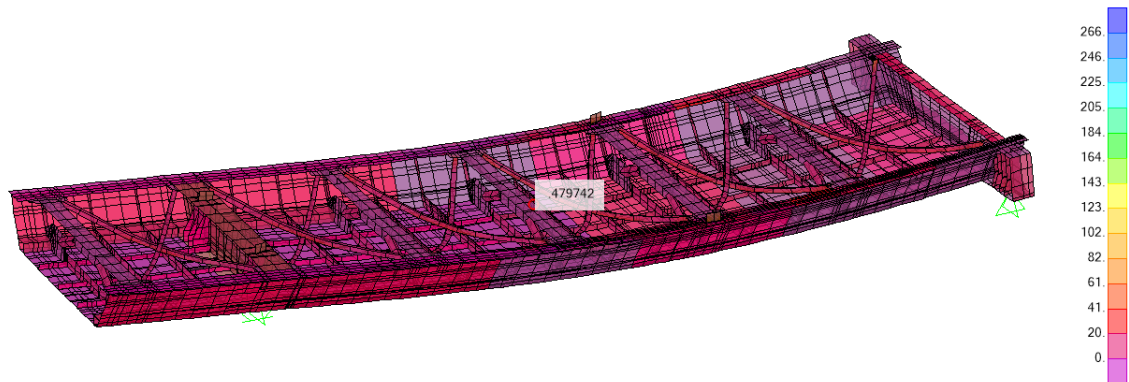


Figura 5. 18. Tensiones de Von Mises en la dovela. Muy por debajo de los límites establecidos.



5.5.3.-Dovela 3. Fase de izado

Se adjuntan a continuación algunas imágenes del modelo realizado, sus condiciones de contorno y los resultados.

5.5.3.1.-Definición del modelo y sus condiciones de contorno.

Se han definido unas chapas equivalentes a las orejetas que se soldarán a las platabandas superiores, de cara a ver el efecto real de tensiones localizadas generadas por los elementos de cogida. La ubicación coincide con la definida en los planos de replanteo de cáncamos.

Se ha situado sobre el centro de gravedad aproximado de la dovela la posición teórica del gancho de la grúa, conectando las cuatro orejetas con barras con las propiedades de las eslingas.

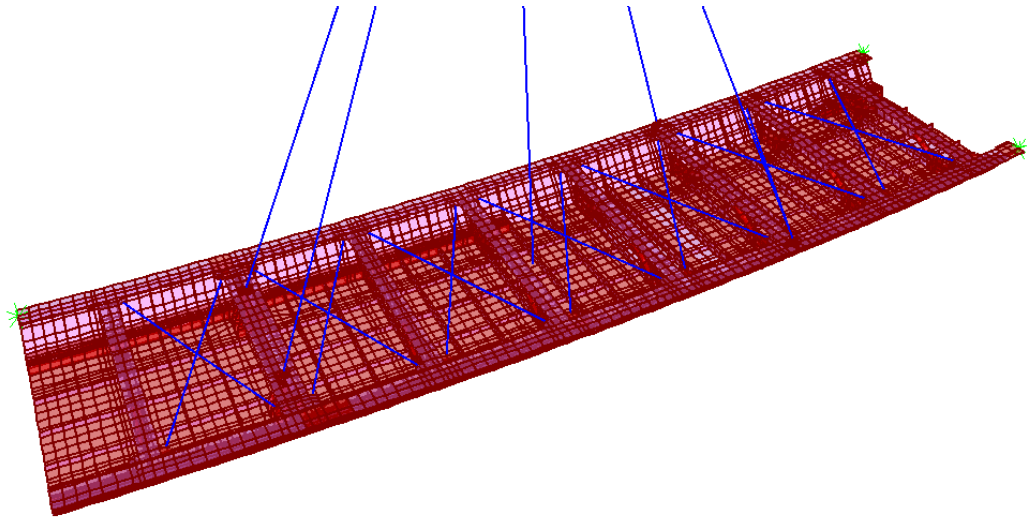


Figura 5. 19. Vista del modelo realizado para la dovela. Posición de las orejetas y de las eslingas de tiro durante el izado.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

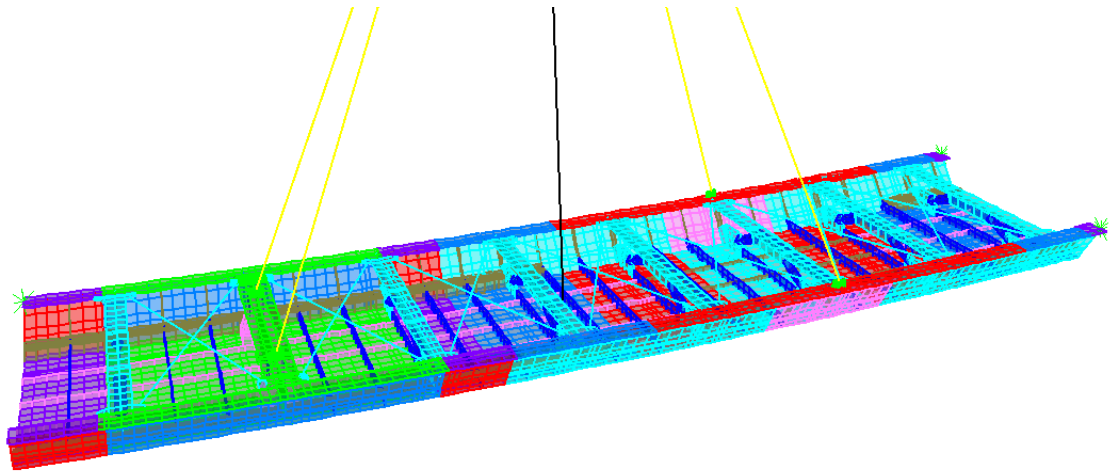


Figura 5. 20. Se diferencian aquí los distintos espesores de las chapas.

Se han supuesto soldados al 100% todos los elementos.

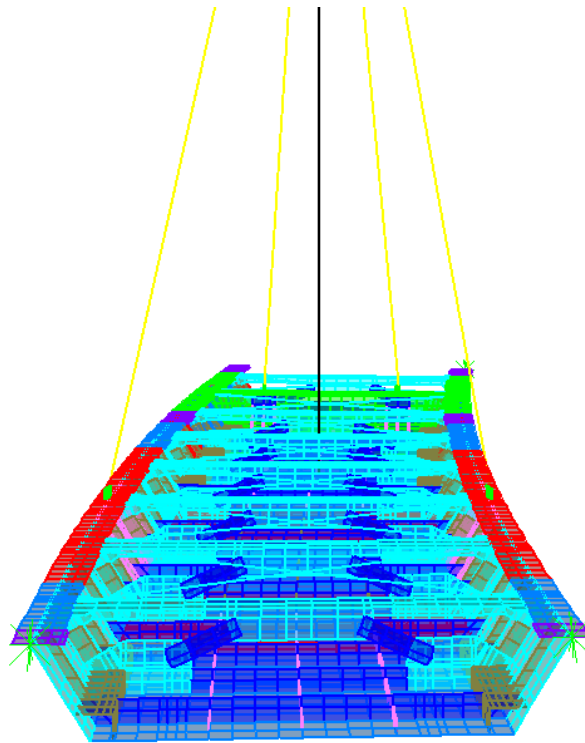


Figura 5. 21. Vista posterior de la dovela.

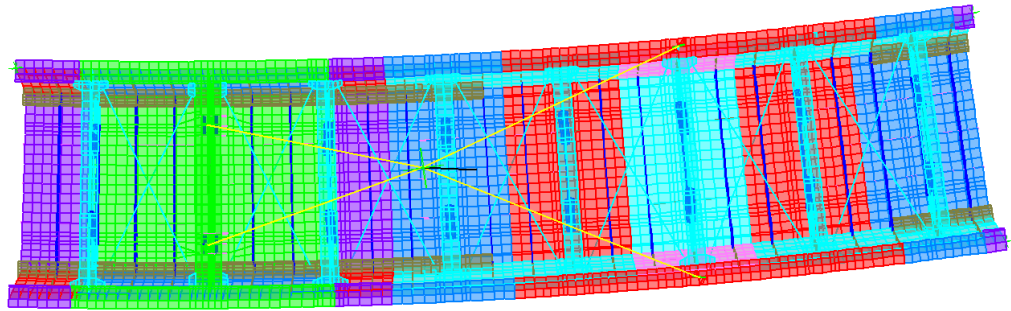


Figura 5. 22. Vista en planta de la dovela.

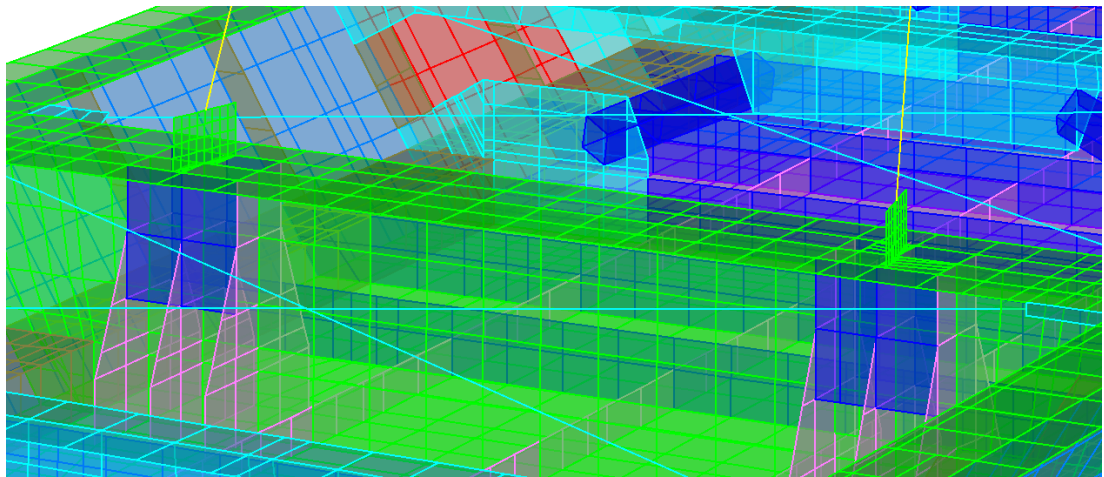


Figura 5. 23. Detalle de los cáncamos de izado. Grado de detalle alcanzado.

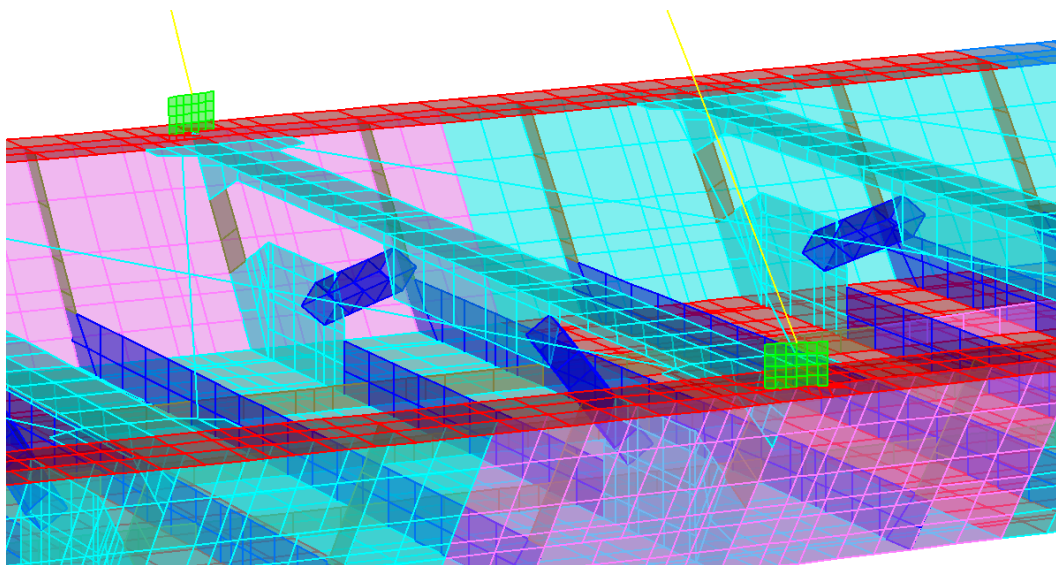
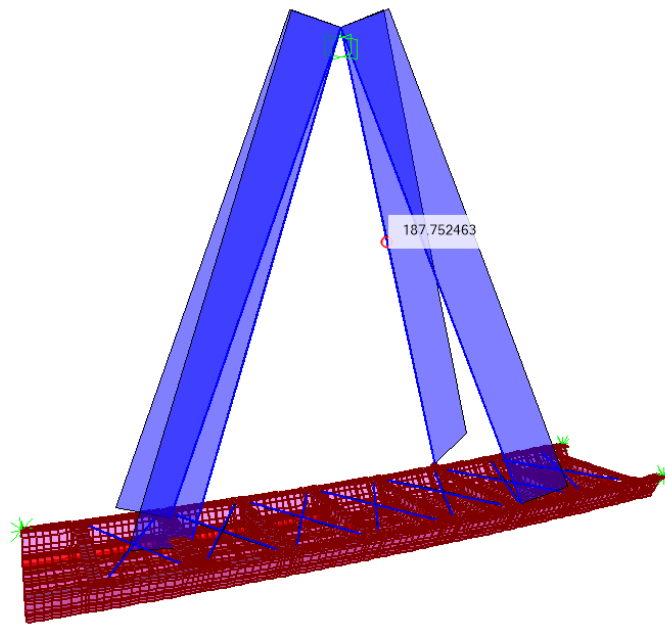


Figura 5. 24. Detalle de los cáncamos de izado. Grado de detalle alcanzado. Celosía.



5.5.3.2.-Axiles en las eslingas.

Las cargas en el gancho de la grúa serán:



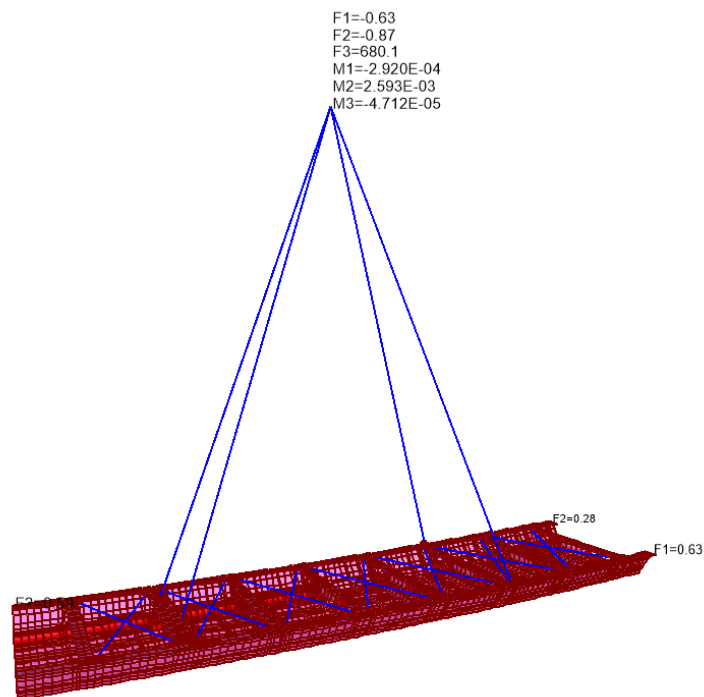


Figura 5. 25. Distribución de las cargas en las distintas eslingas. La distribución es del mismo orden que los repartos teóricos.

5.5.3.3.-Desplazamientos.

Para el caso de PP, los desplazamientos son:

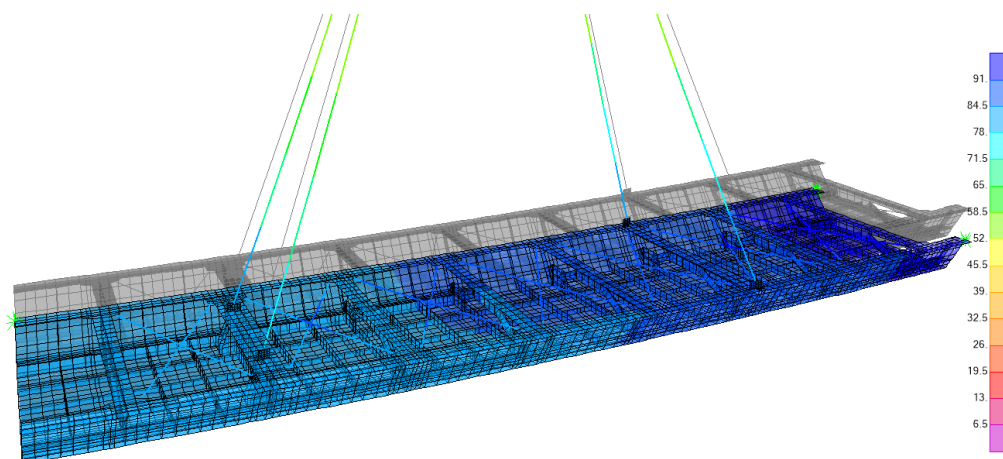


Figura 5. 26. Desplazamientos en la dovela.



Como se observa, los desplazamientos son del mismo orden en todas las zonas de la dovela, lo que se colige en que las deformaciones son pequeñas

5.5.3.4.-Verificación tensional.

Se verifica que las tensiones de Von Mises están por debajo de los límites establecidos. Dado que como se verá localmente, en el entorno de la orejeta, no hay riesgo de alcanzar los límites tensionales conservadores establecidos, no es necesario establecer análisis adicionales sobre el reparto diferente al teórico por el esquema hiperestático del arnés de izado.

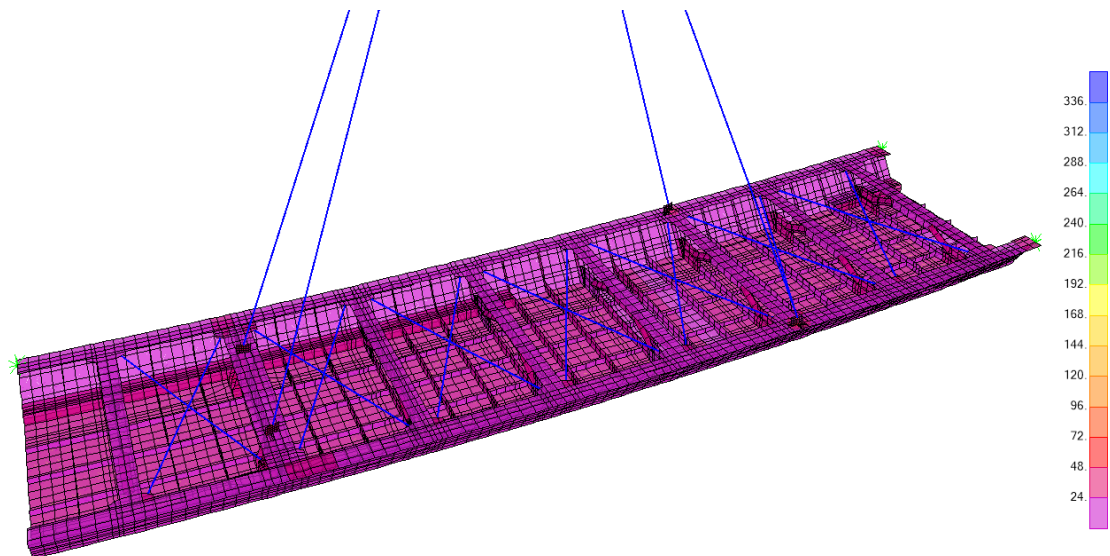


Figura 5. 27. Tensiones de Von Mises en la dovela 3. Muy por debajo de los límites establecidos.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

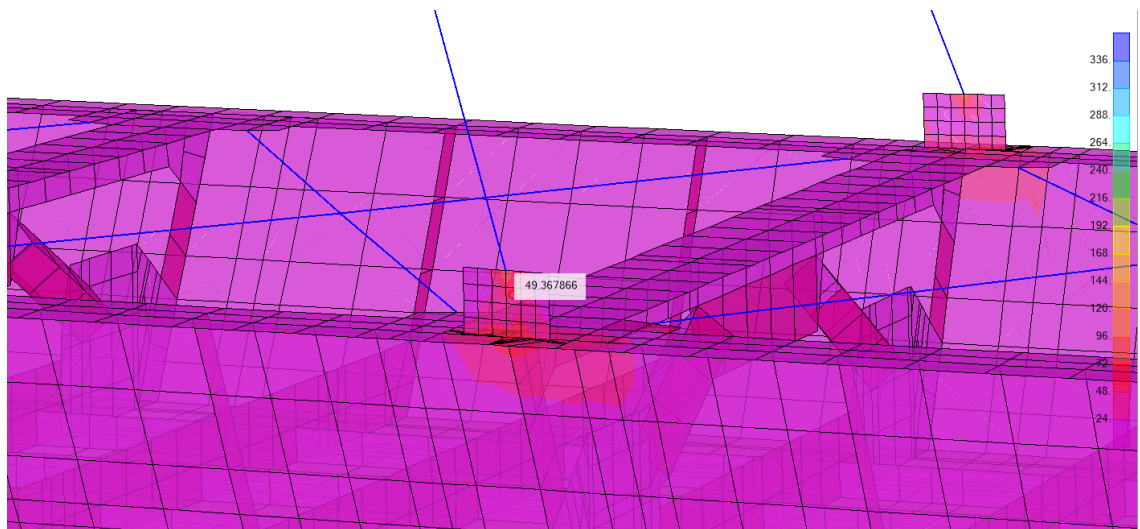
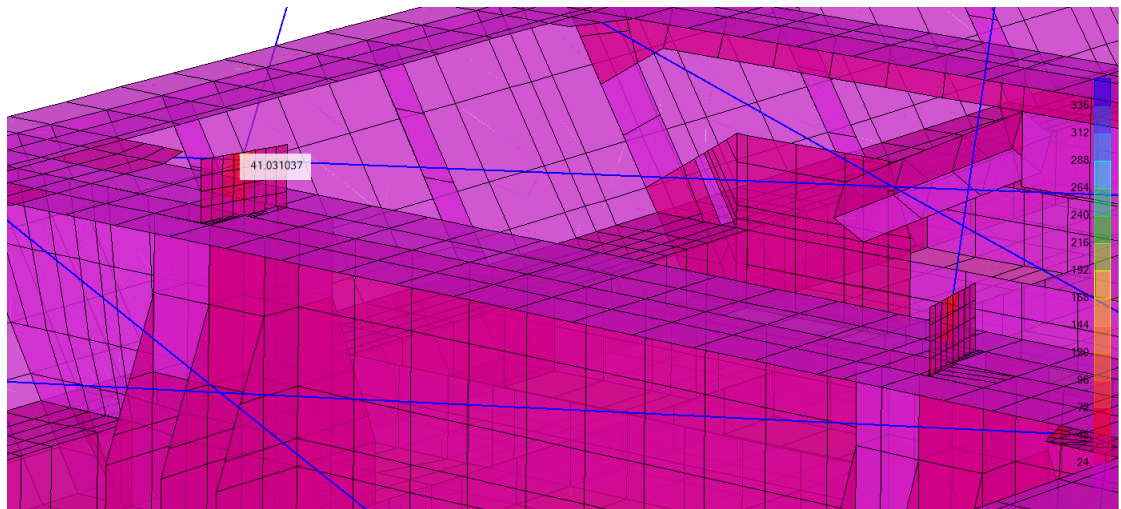


Figura 5. 28. En el entorno de los cáncamos las tensiones de Von Mises se mantienen lejos de los límites establecidos.

Por todo lo anterior se colige que la dovela tendrá un comportamiento correcto en esta fase de estudio.



5.5.4.-Dovela 3. Fase de apoyo

Se adjuntan a continuación algunas imágenes del modelo realizado, sus condiciones de contorno y los resultados.

14.4.1.-Definición del modelo y sus condiciones de contorno.

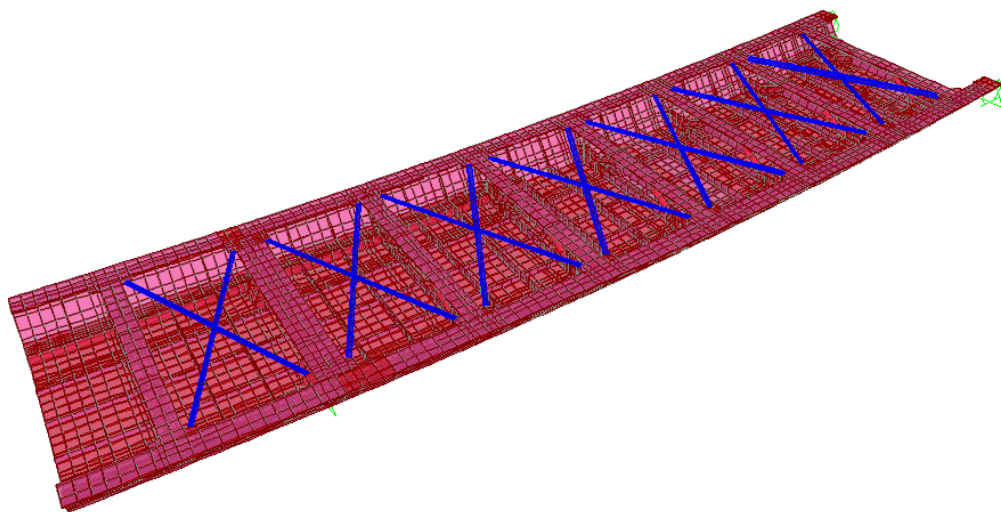


Figura 5. 29.Vista del modelo realizado para la dovela 3. Apoyos ubicados en la zona de neoprenos.

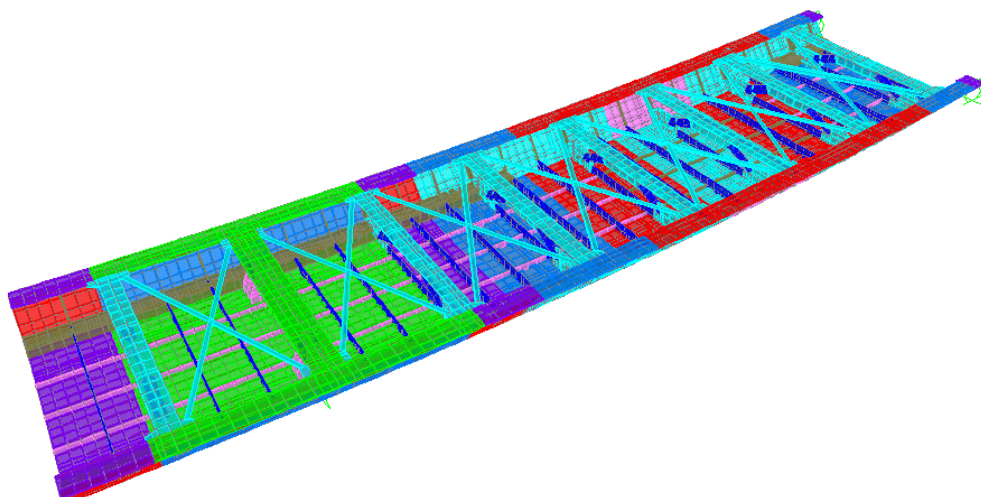


Figura 5. 30.Se diferencian aquí los distintos espesores de las chapas.



Se han supuesto soldados al 100% todos los elementos.

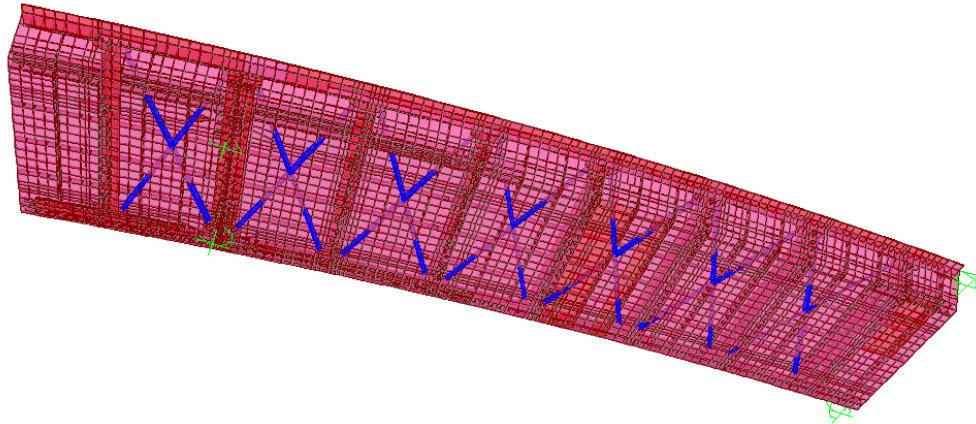


Figura 5. 31. Vista inferior de la dovela 3.

5.5.4.2.-Reacciones.

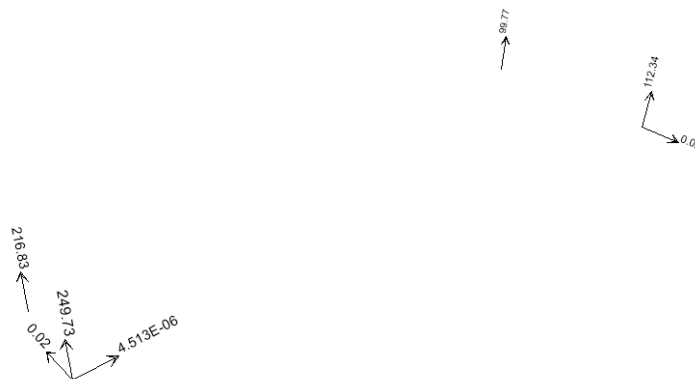


Figura 5. 32. Distribución de las cargas en los apoyos.



5.5.4.3.-Desplazamientos.

Para el caso de PP, los desplazamientos son:

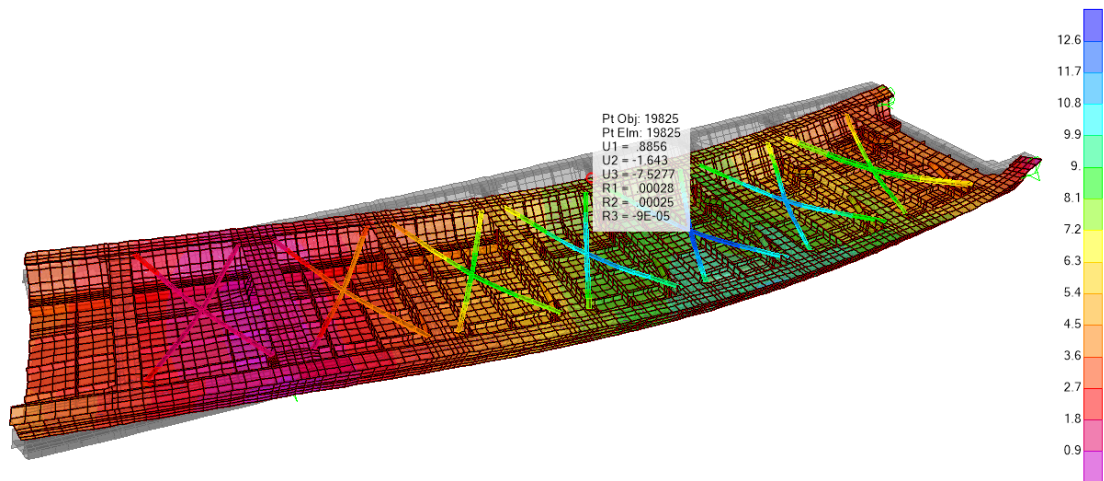


Figura 5. 33.Desplazamientos en la dovela.

Se ha verificado que, en estas circunstancias, la distorsión en el frente de fase es despreciable, teniendo las dos almas la misma deformación aproximadamente.



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO

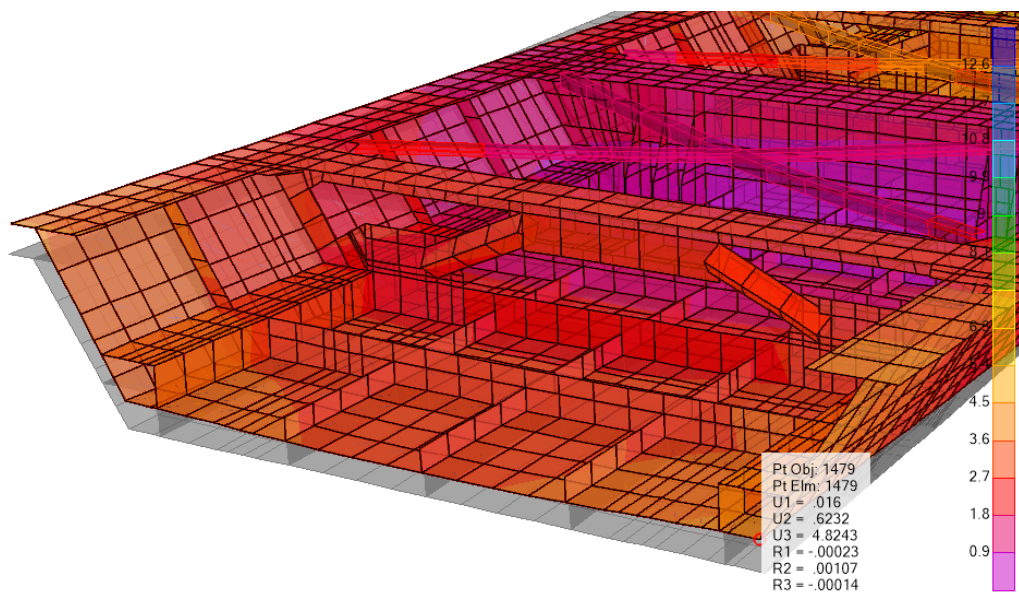
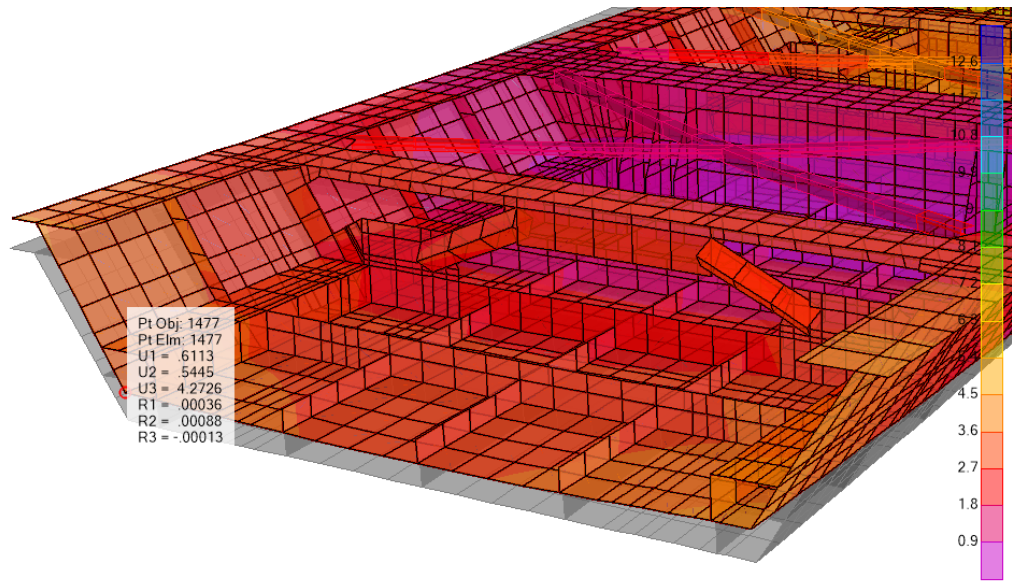


Figura 5. 34. Los desplazamientos de los dos extremos de la misma sección del cajón son del mismo orden y suponen un alabeo prácticamente nulo.



5.5.4.4.-Verificación tensional.

Se verifica que las tensiones de Von Mises están por debajo de los límites establecidos.

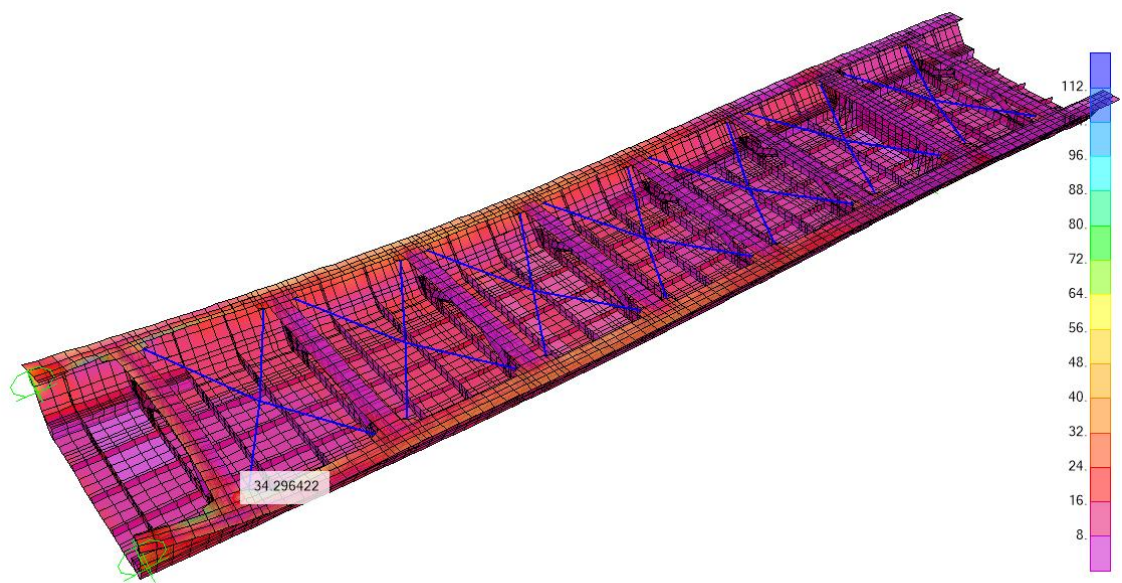


Figura 5. 35. Tensiones de Von Mises en la dovela 3. Muy por debajo de los límites establecidos.



6.-CONCLUSIONES

Conforme a los puntos de partida considerados, las acciones anteriormente descritas y a los cálculos llevados a cabo sobre la estructura E-3 Enlace con la A-4 se puede concluir:

El procedimiento de colocación del tramo central cuenta con varias fases, diferenciándose las operaciones de desplazamiento de la estructura desde su posición de acopio hasta su posición de izado y, una vez posicionada, el izado de la estructura hasta su posición final.

Para el desplazamiento de la estructura hasta su posición de izado, se utilizan unas mesas de transporte, cuyos elementos resistentes principales son 3 perfiles HEB400 soldados en sus alas con una soldadura de penetración completa en las zonas de apoyo sobre la mesa basculante y en las zonas de apoyo de las dovelas. El acero de los perfiles es clase S275. Cada viga está unida a la mesa basculante mediante uniones soldadas de dos veces el ancho de ala, estando la unión diseñada tanto para resistir las reacciones horizontales que aparecen en el transporte de la dovela como para una situación accidental en la que solo apoya un lateral de la dovela, generándose un esfuerzo de tracción en el apoyo más alejado.

Al ser un modelo bastante detallado, el peso propio de los elementos debe diferir poco respecto al peso real. No obstante, hay elementos no modelados (conectores, soldadura, etc.) que añaden peso. Para en cuenta estos elementos, se ha aumentado un 15 %.

A partir de la geometría, espesores y densidades, se considera una única hipótesis de carga correspondiente a la acción del peso propio, imponiendo las condiciones de desplazamientos ya descritas. Se ha realizado un análisis elástico lineal con el objetivo de valorar las deformaciones y tensiones obtenidas.

En primer lugar, se determina el peso que debe soportar cada elemento de cuelgue. Debido a la geometría de la estructura, con curvatura en planta, los elementos situados en la viga de mayor radio estarán más cargados que aquellos que se sitúan en la viga de menor radio. A partir del modelo de elementos finitos elaborado para estudiar las deformaciones, se calculan las reacciones verticales en los puntos de unión entre la estructura metálica y los elementos auxiliares.

Se observan valores pequeños para los desplazamientos, determinando que no existe riesgo por deformaciones en la operación de izado.

Finalmente, en la Figura 5.35, se muestran los resultados para las tensiones evaluadas en la dovela 3, la más estricta. Se observa que los valores



ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE CAJÓN METÁLICO



máximo y mínimo, concluyéndose que las tensiones generadas en la operación de izado son admisibles, bastante inferiores al límite elástico del material.

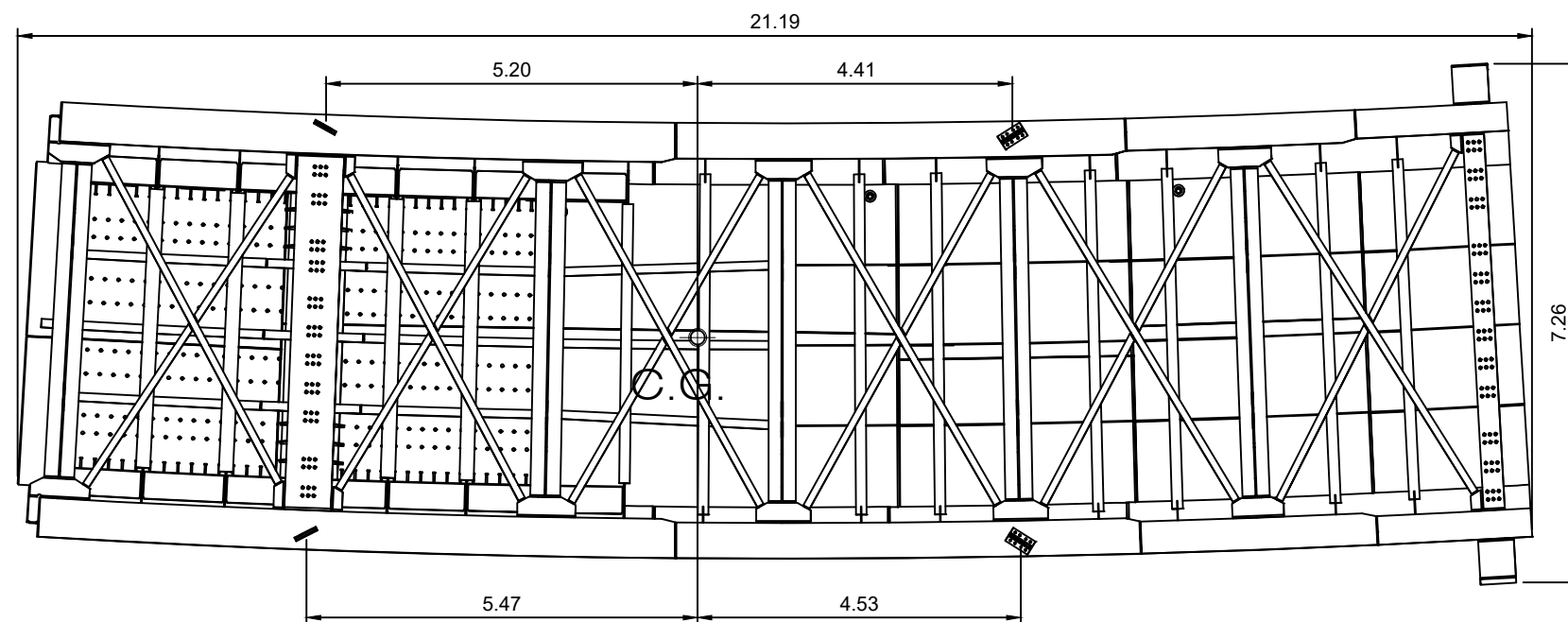
Se definen en el presente documento las maniobras y actividades principales a realizar durante el montaje de las 4 dovelas que componen la estructura y se ha verificado que las dovelas serán estables durante el montaje, permitiendo abrir el tráfico bajo el puente en un corto espacio de tiempo. A su vez, se justifican los cáncamos a disponer para el izado de las dovelas cuya soldadura debe inspeccionarse además de visualmente, con ultrasonidos y con partículas magnéticas. Es importante destacar la necesidad de que el agujero del cáncamo esté mecanizado, para garantizar la ausencia de defectos superficiales.

Se justifican los bloqueos transversales y longitudinales que conformarán el punto fijo en la pila 3 durante el montaje de la estructura, así como los bloqueos transversales en cada uno de los apoyos de la estructura. Las vigas de cuelgue permitirán un correcto acople durante las maniobras, así como la realización de soldadura sin tensiones. Se han definido las maniobras de tal manera que se puede liberar la grúa lo más rápido posible, no teniendo que realizar soldaduras estructurales en la sección del cajón entre dovelas para permitir que la grúa libere la carga. Tan sólo serán necesarias soldaduras de pequeña entidad en las vigas de cuelgue para permitir realizar la soldadura definitiva sin tensiones, antes de que la grúa suelte la carga.

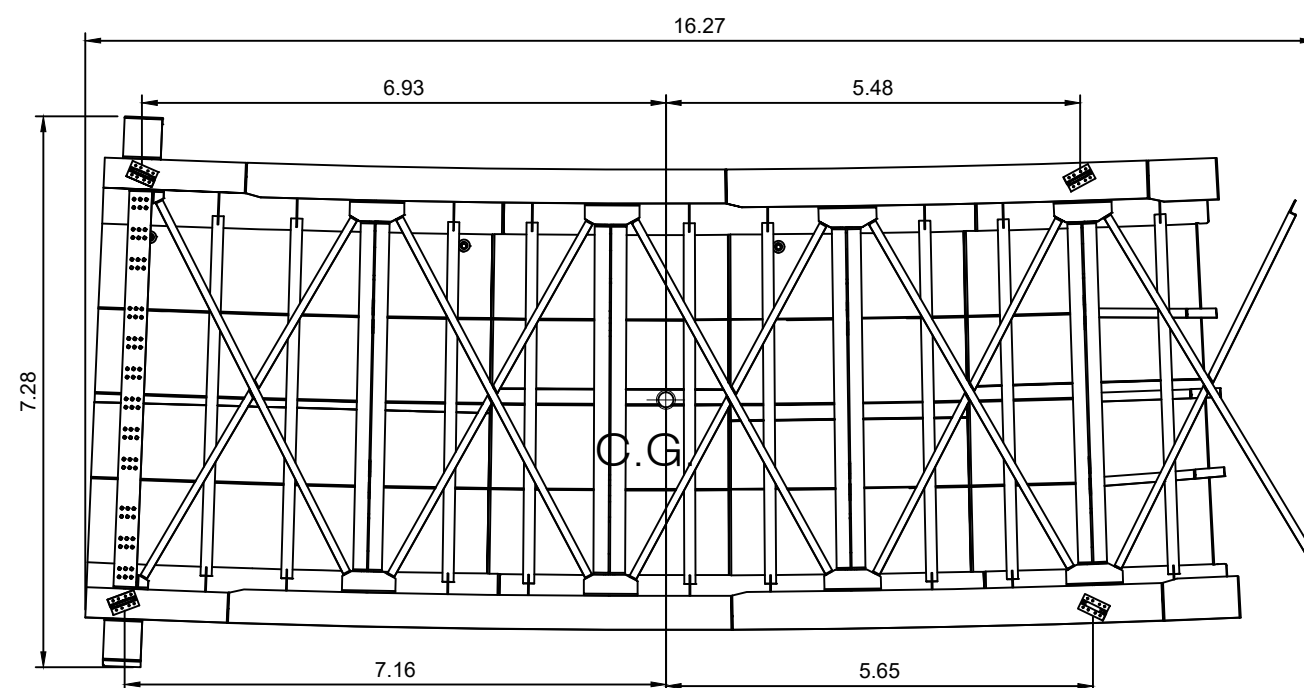
Se han tenido en cuenta los controles de ejecución de los elementos provisionales, recomendando disponer una pegatina en las dovelas indicando la ubicación aproximada del centro de gravedad, los controles de calidad y topográficos adicionales para asegurar las maniobras verificando en todo momento el cajón, tanto a nivel de tensiones como deformaciones, durante el izado y durante el apoyo definitivo de las dos dovelas más representativas de la estructura, con resultados satisfactorios.



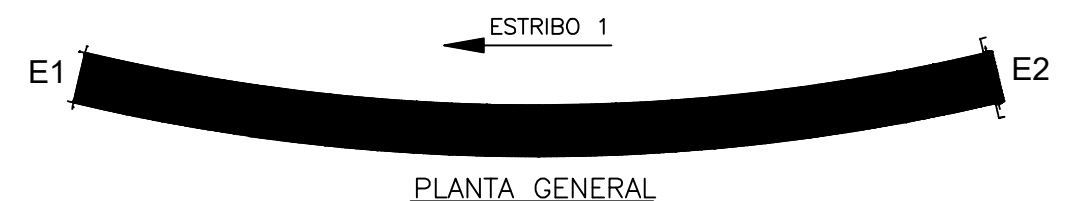
7.-PLANOS



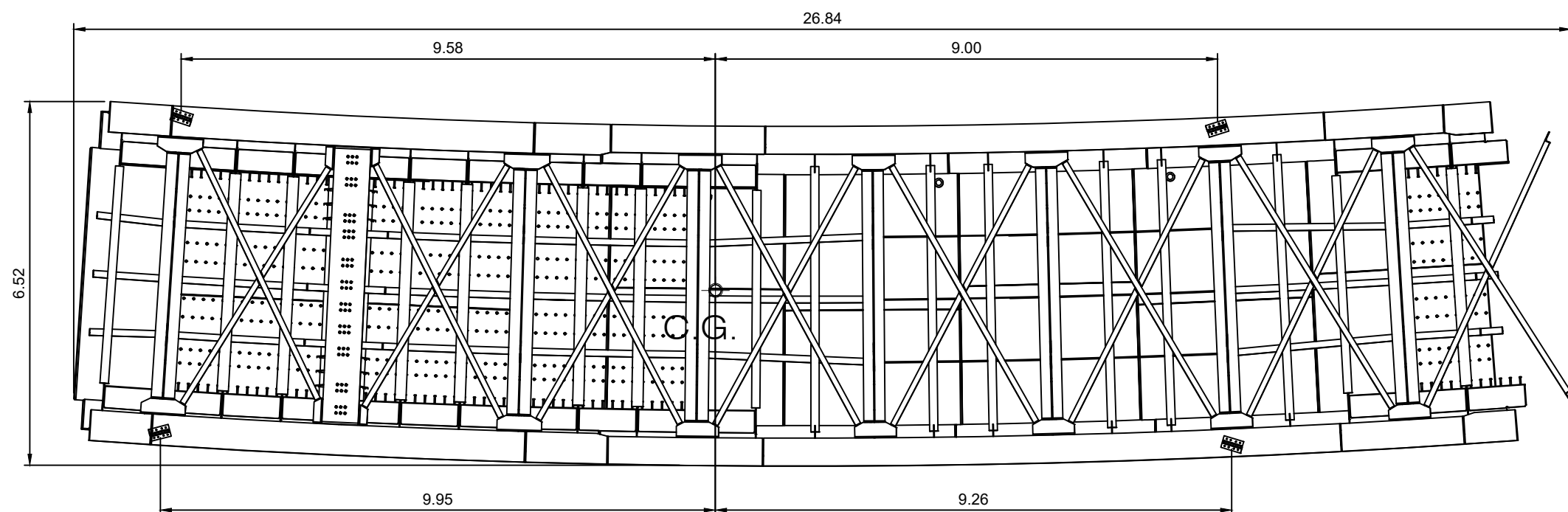
DOVELA 1
 PESO: 51471 Kg
 ESC. 10:1



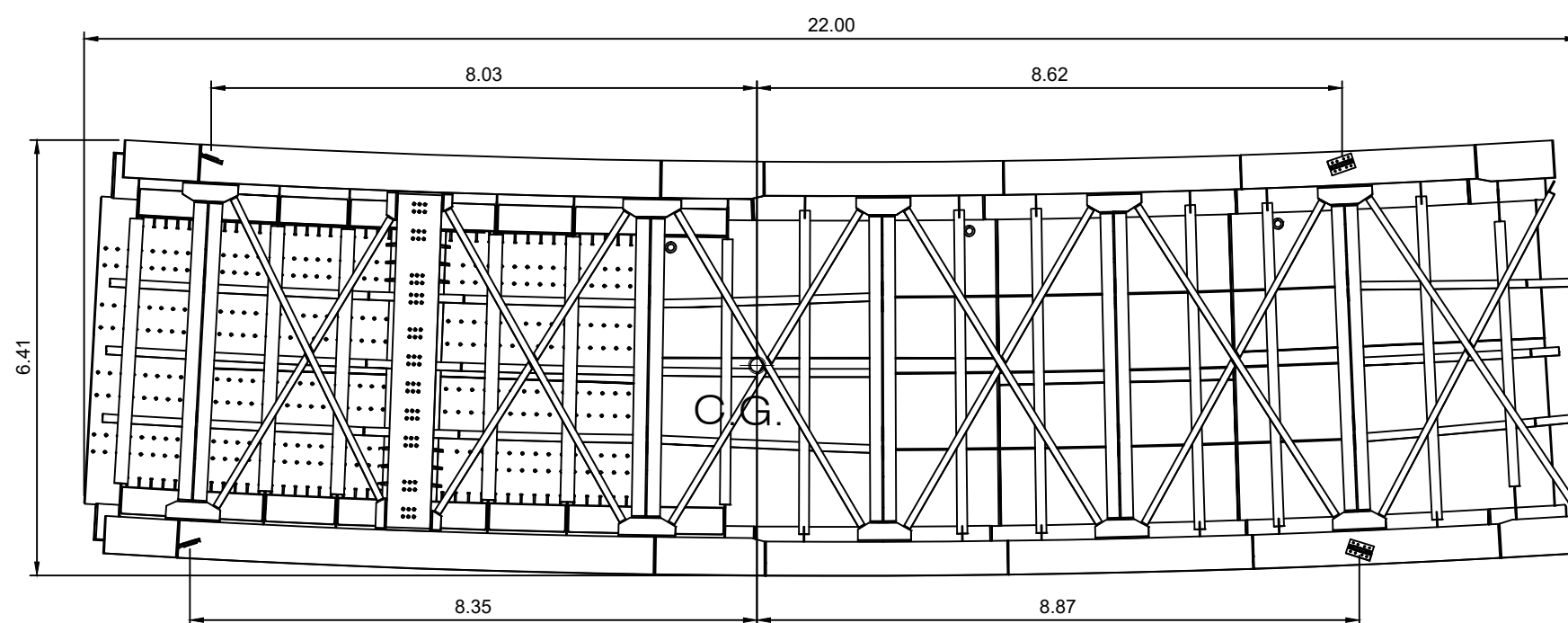
DOVELA 4
 PESO: 29613 Kg
 ESC. 10:1



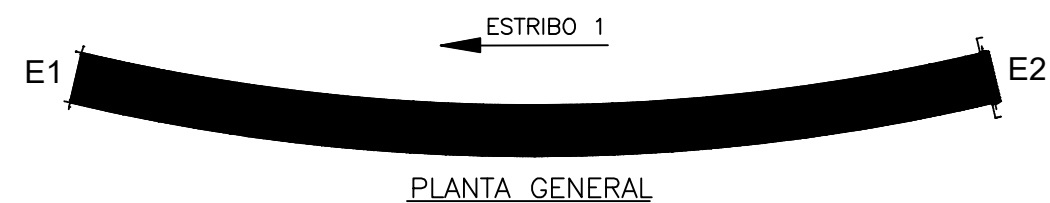
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	09-02-19	SANDRA		
COMPROBADO		PORTILLO		
		PADILLA		
ESCALA:	Análisis de las maniobras de instalación del Tablero metálico del Paso Superior E-3 Enlace con la A-4. Definición General (I). Dovelas 1 y 4.			Nº PLANO 1 de 3
VARIAS				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



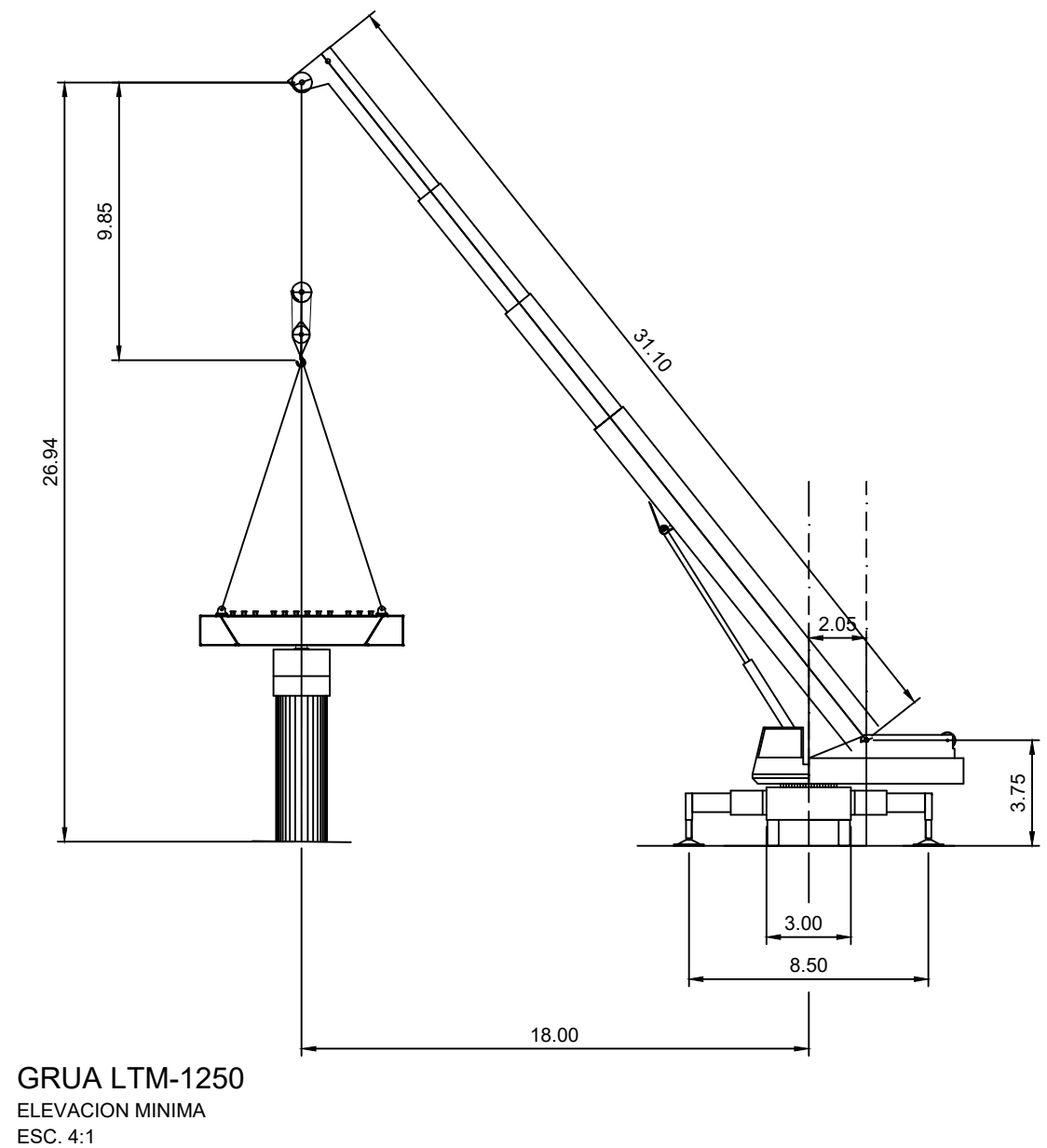
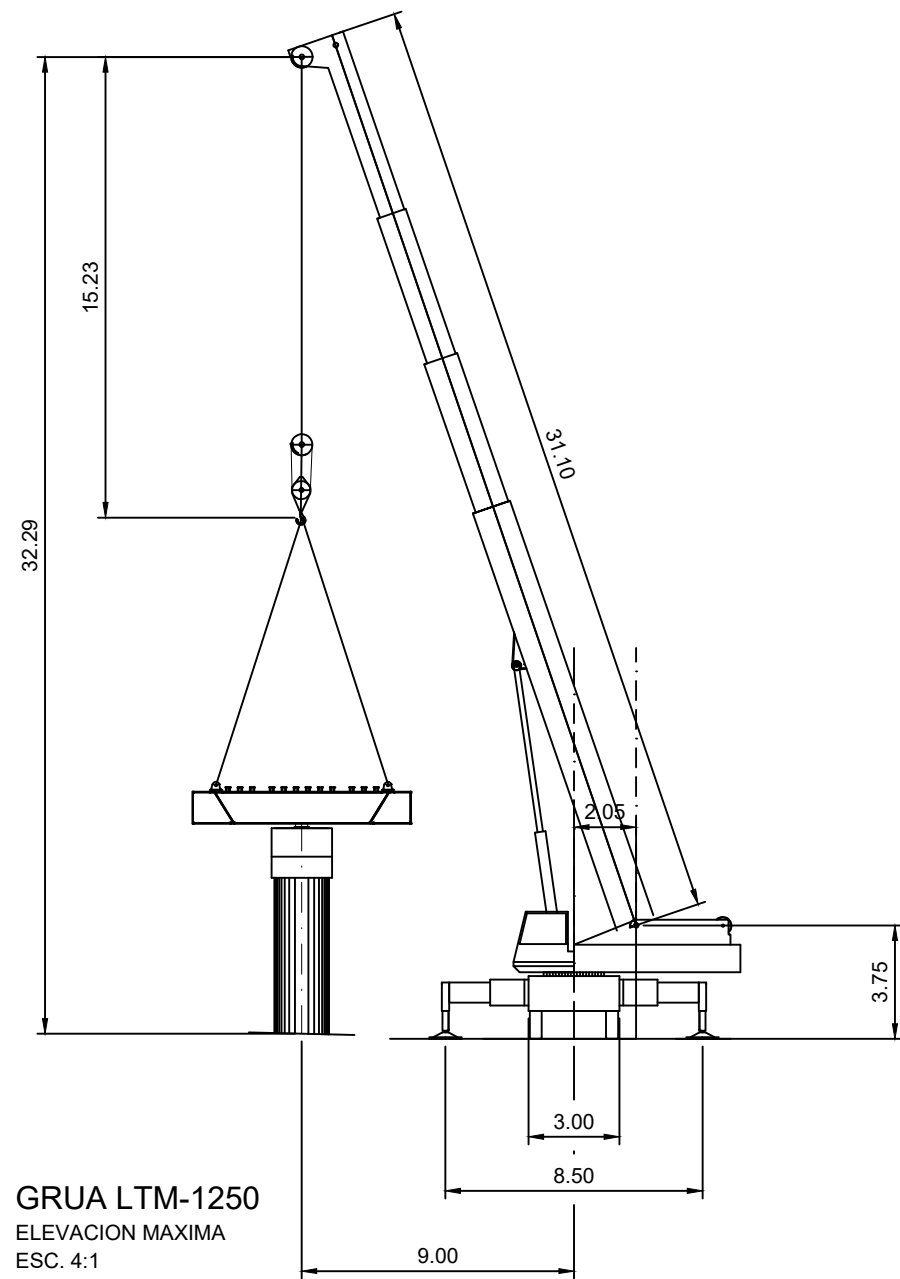
DOVELA 3
 PESO: 67910 Kg
 ESC. 10:1



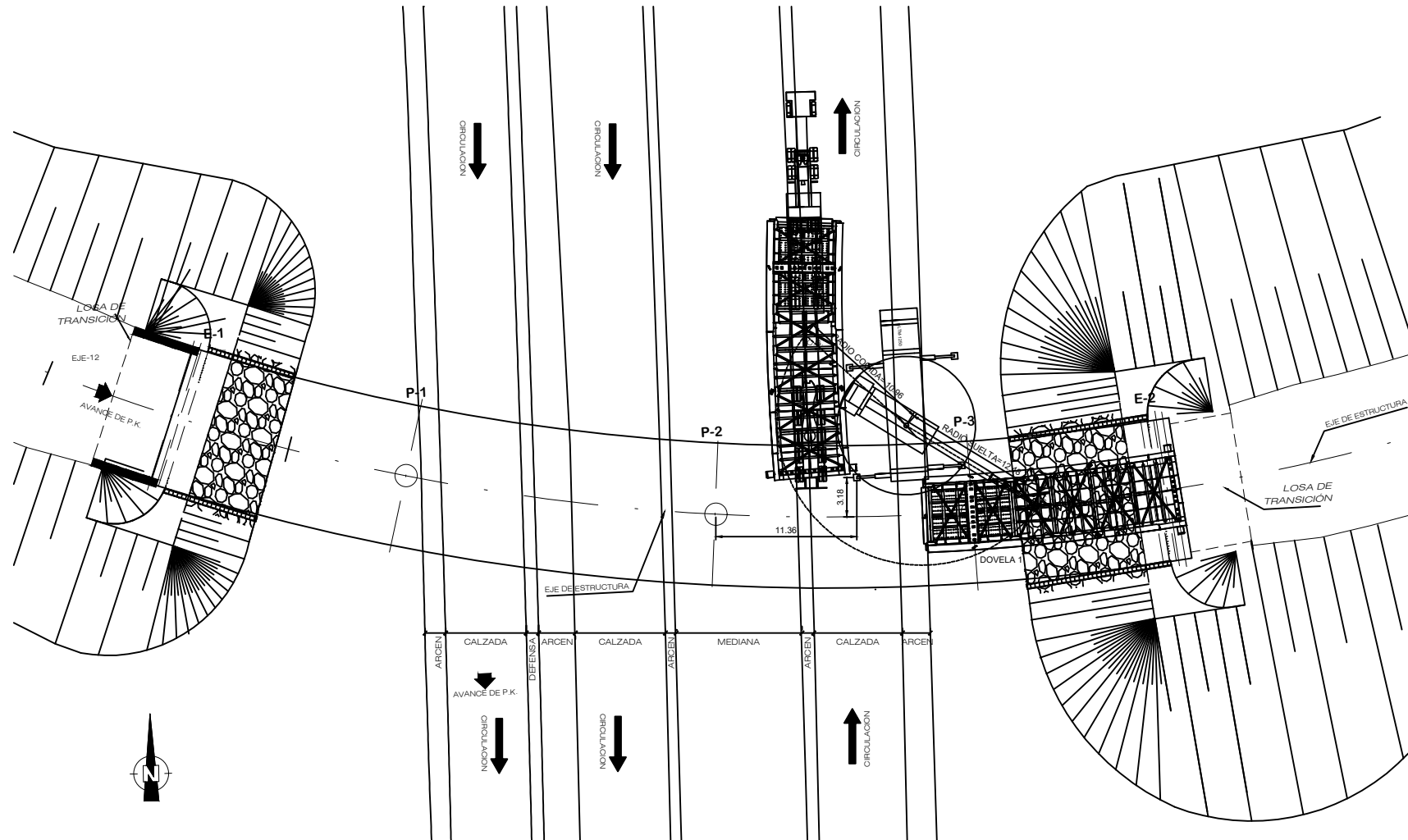
DOVELA 2
 PESO: 55666 Kg
 ESC. 10:1



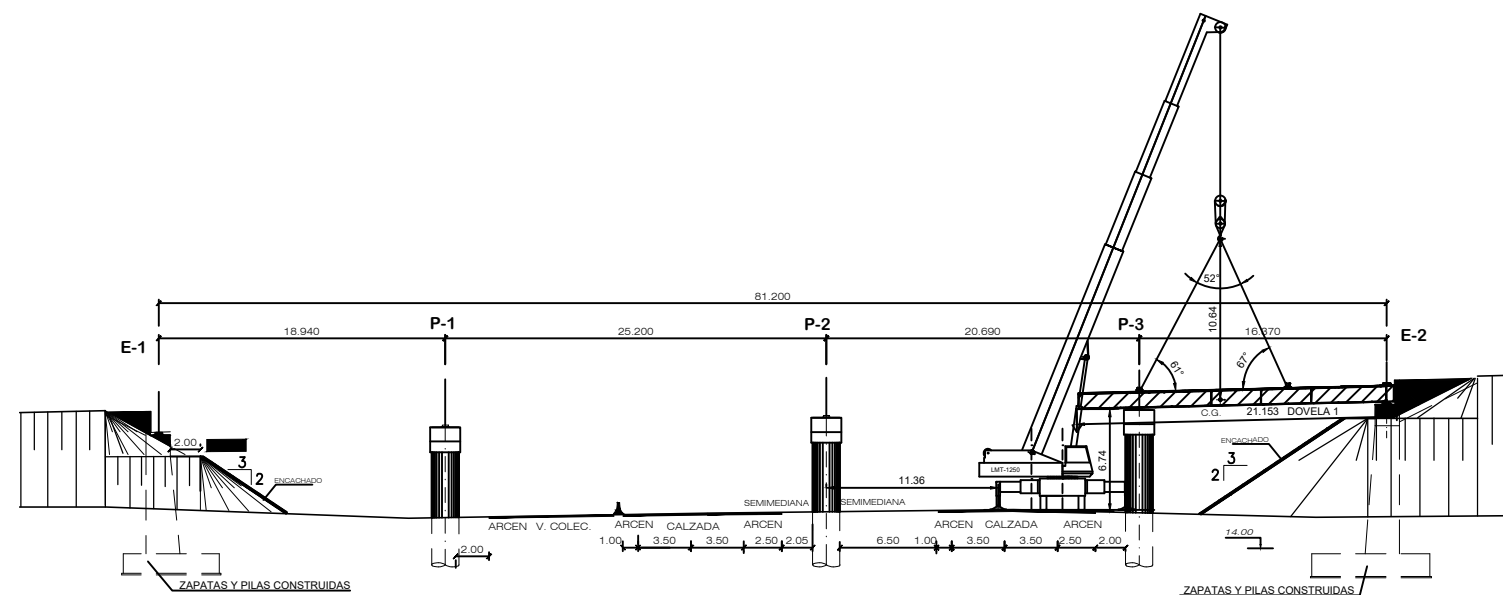
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	09-02-19	SANDRA		
COMPROBADO		PORTILLO		
		PADILLA		
ESCALA:	Análisis de las maniobras de instalación del Tablero metálico del Paso Superior E-3 Enlace con la A-4. Definición General (II). Dovelas 2 y 3.			Nº PLANO 2 de 3
VARIAS				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



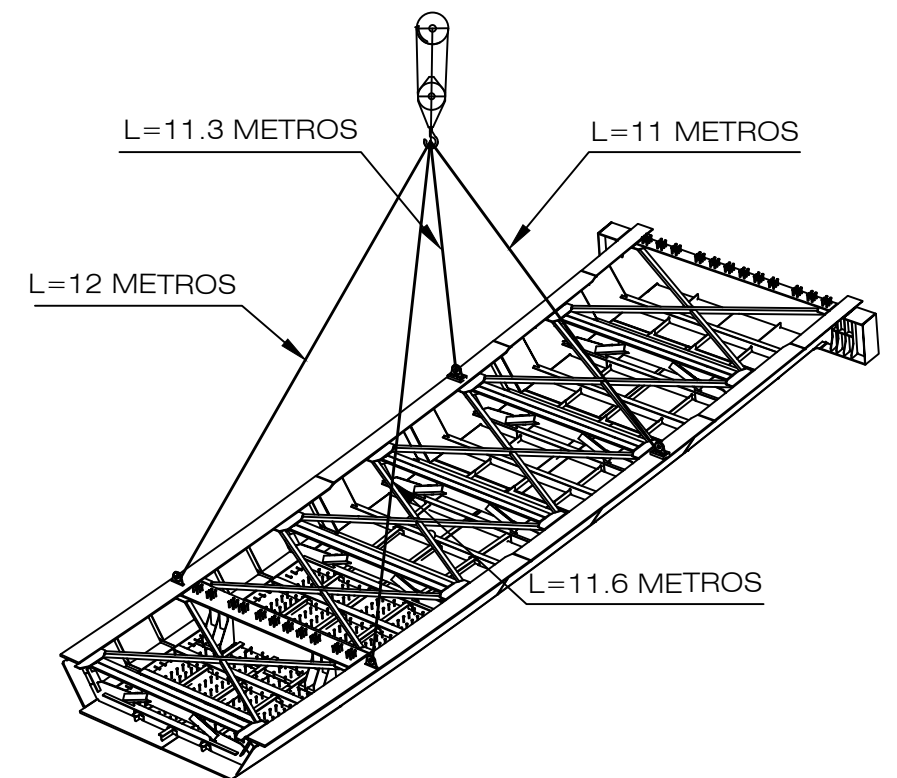
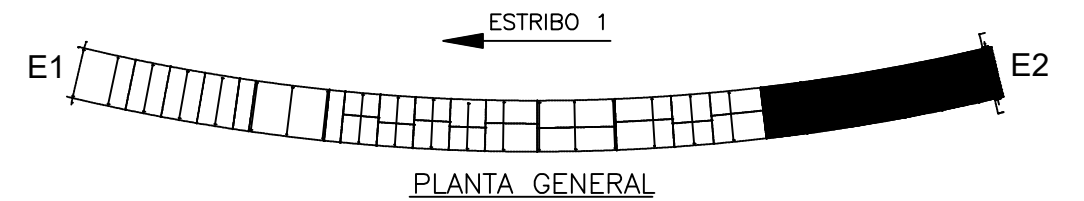
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	09-02-19	SANDRA		
COMPROBADO		PORTILLO		
		PADILLA		
ESCALA:	Análisis de las maniobras de instalación del Tablero metálico del Paso Superior E-3 Enlace con la A-4. Definición General (III). Elevación máx y mín de grúa.			Nº PLANO 3 de 3
VARIAS				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



PLANTA (FASE 1)
POSICIONAMIENTO DOVELA 1
ESC. 2:1



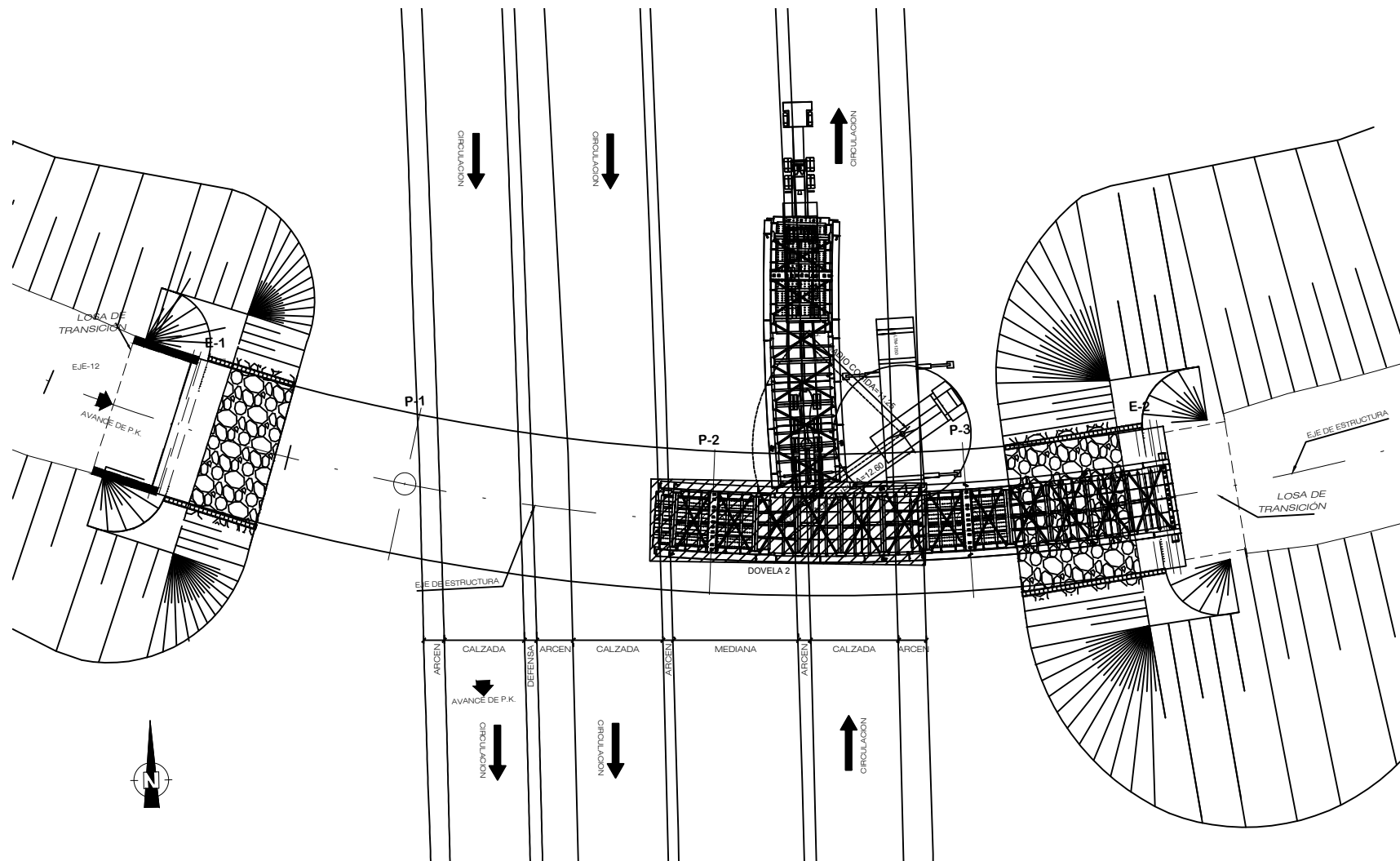
ALZADO (FASE 1)
POSICIONAMIENTO DOVELA 1
ESC. 2:1



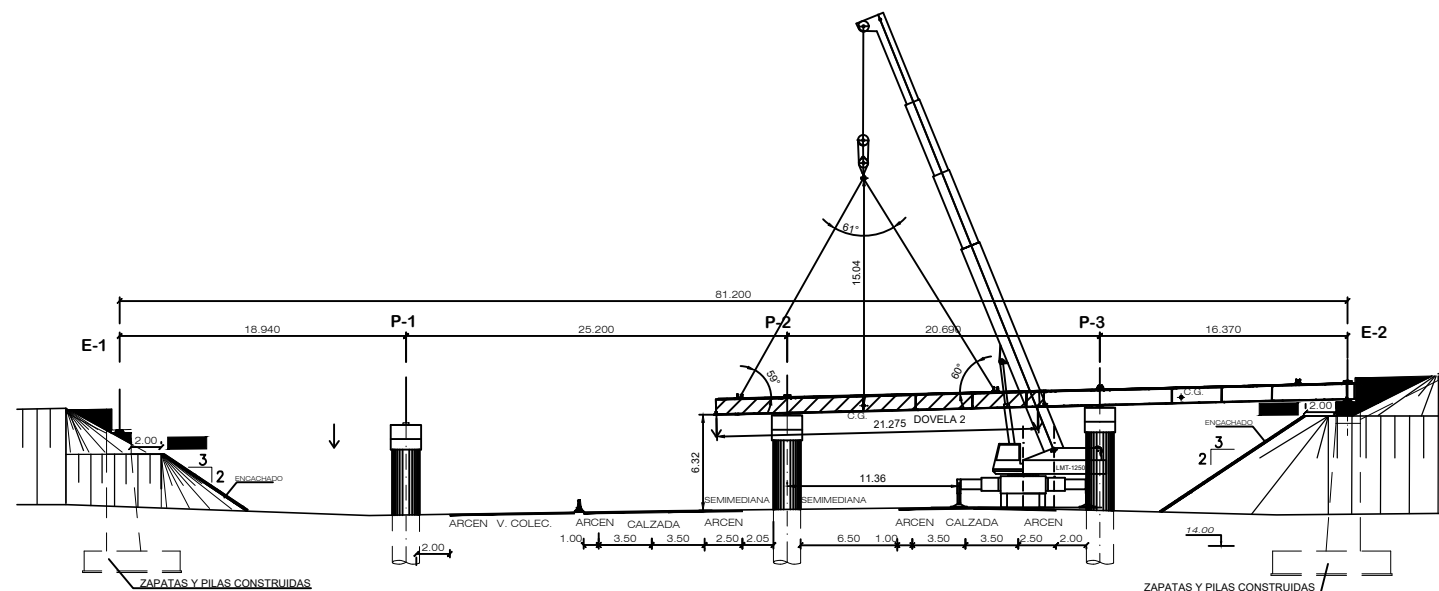
ISOMETRICO (FASE 1)
LONGITUD DE ESLINGAS
S/E

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	09-02-19	SANDRA		
COMPROBADO		PORTILLO		
		PADILLA		
ESCALA:	Análisis de las maniobras de instalación del Tablero metálico del Paso Superior E-3 Enlace con la A-4. Montaje vano 1			Nº PLANO 1 de 1
VARIAS				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

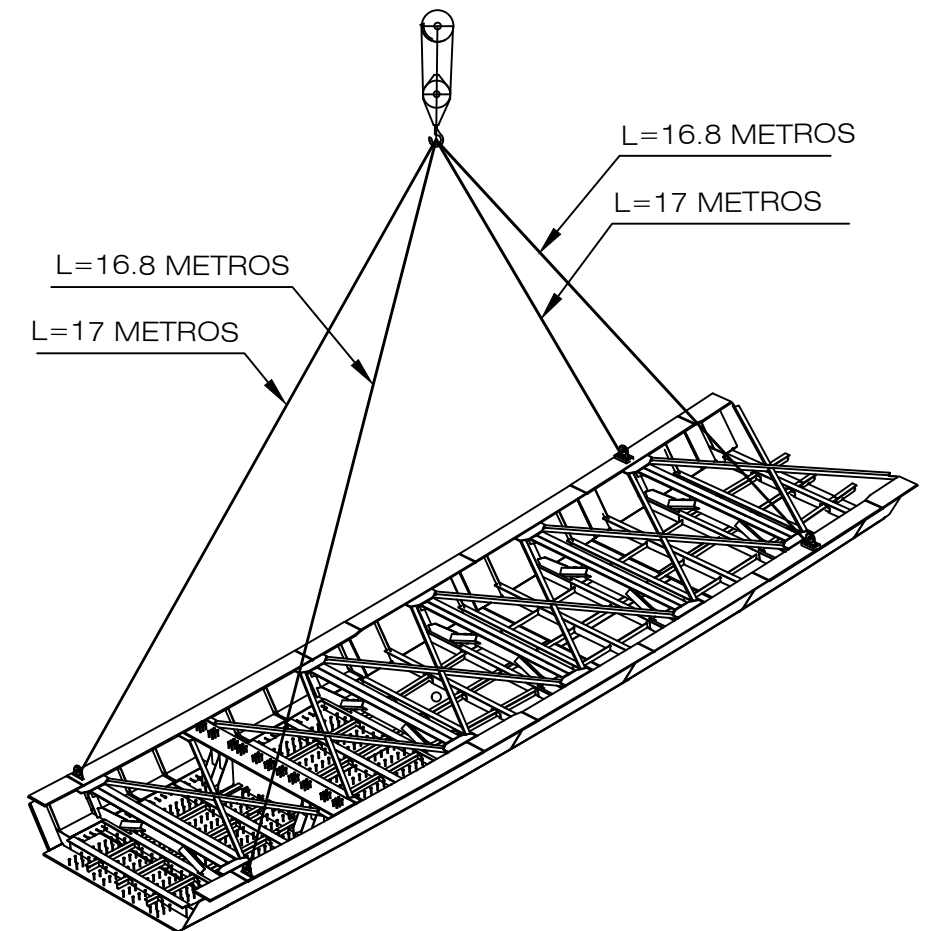
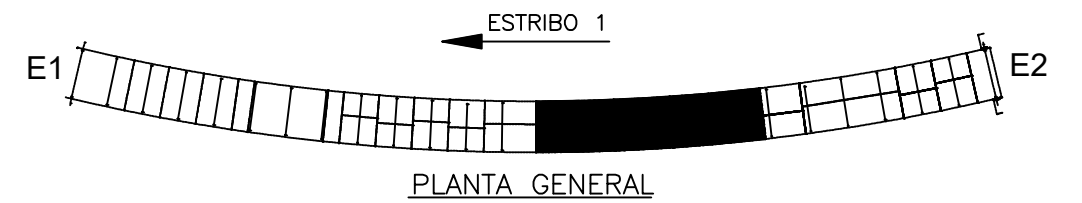
Montaje vano 1



PLANTA (FASE 2)
POSICIONAMIENTO DOVELA 2
ESC. 2:1



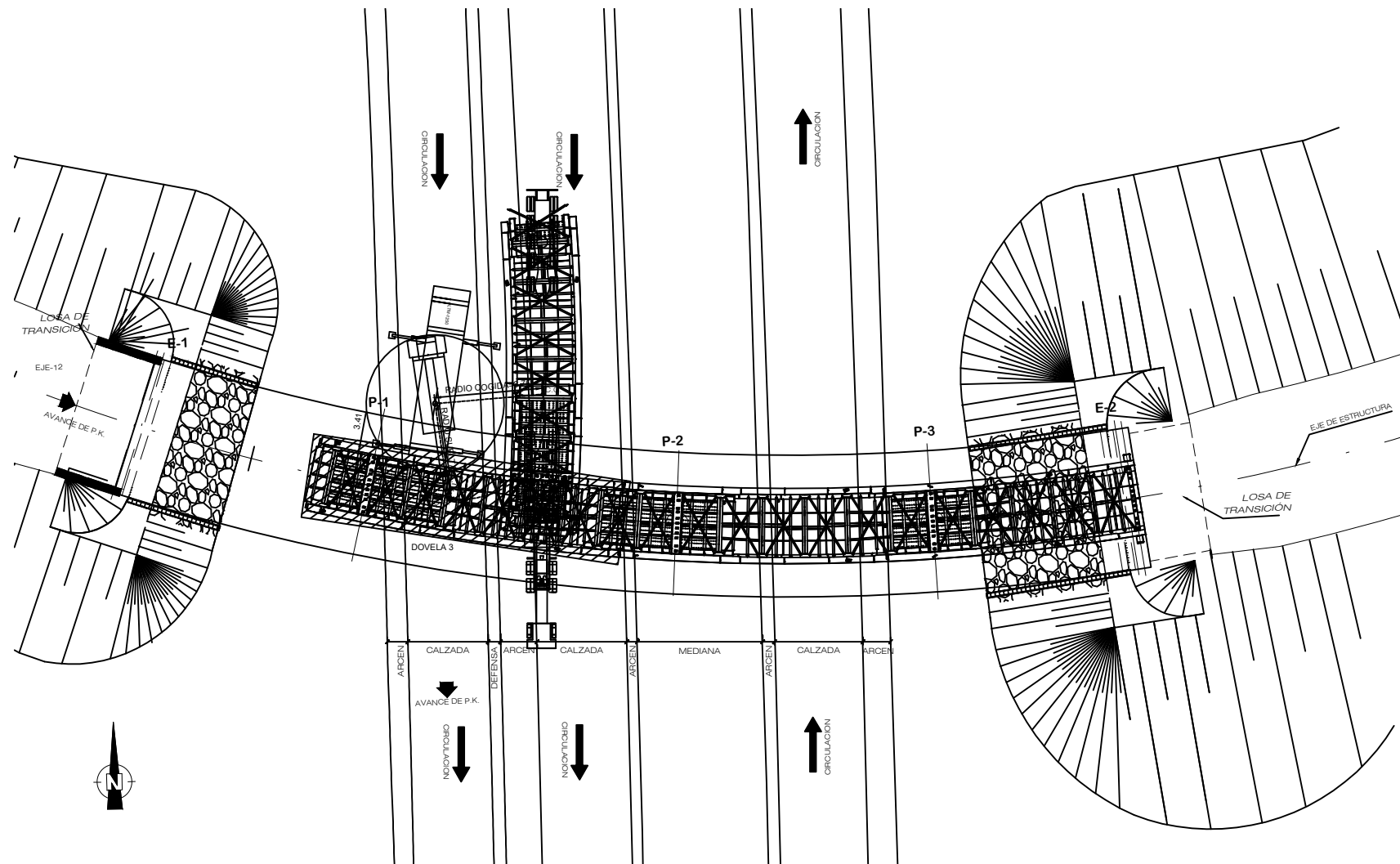
ALZADO (FASE 2)
POSICIONAMIENTO DOVELA 2
ESC. 2:1



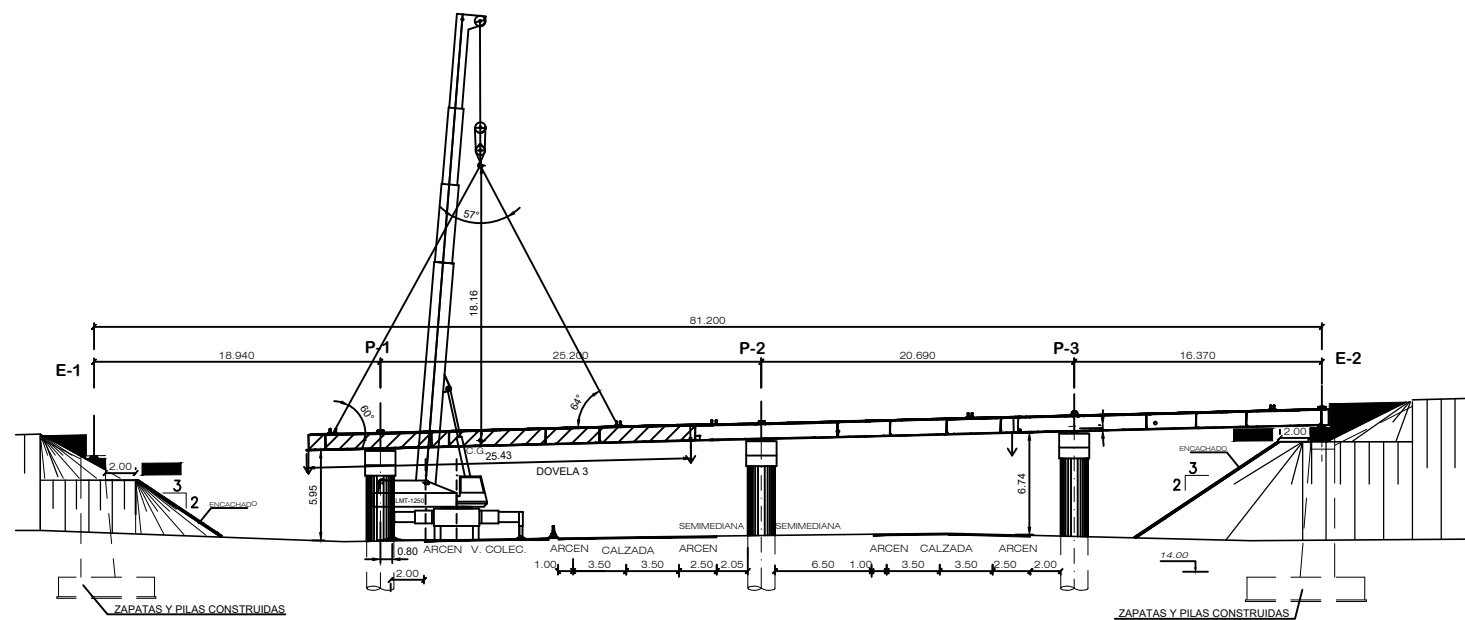
ISOMETRICO (FASE 2)
LONGITUD DE ESLINGAS
S/E

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	09-02-19	SANDRA		
COMPROBADO		PORTILLO		
		PADILLA		
ESCALA:	Análisis de las maniobras de instalación del Tablero metálico del Paso Superior E-3 Enlace con la A-4.			Nº PLANO 1 de 1
VARIAS				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

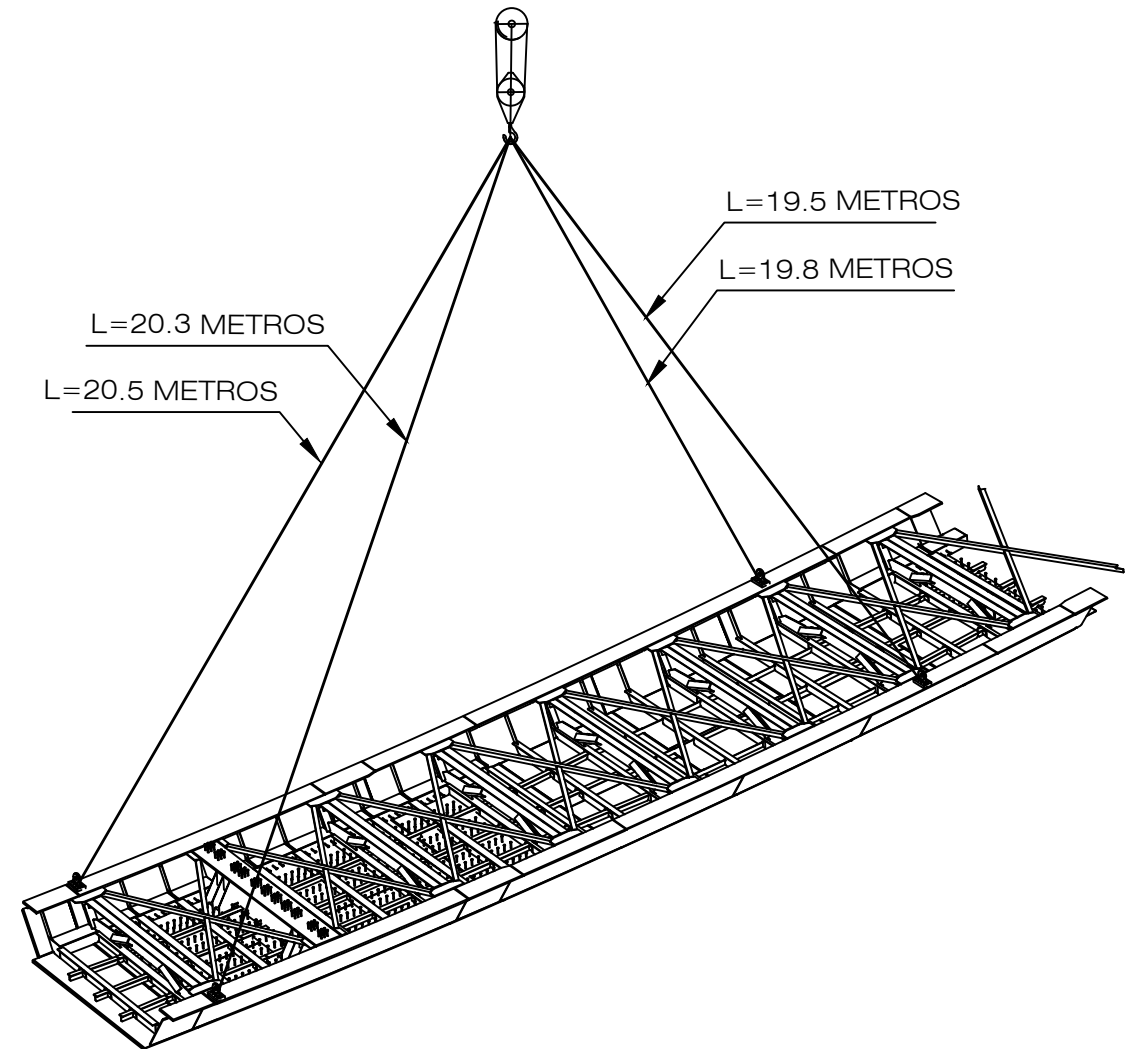
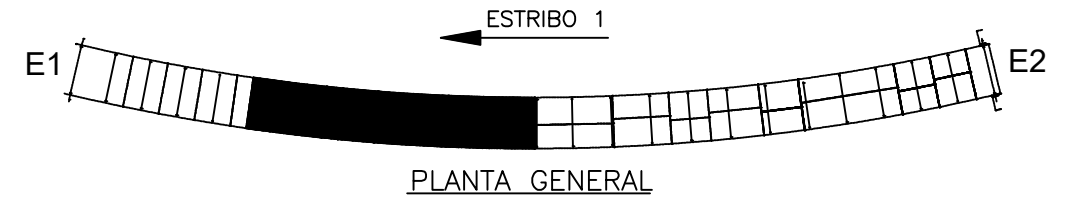
Montaje vano 2



PLANTA (FASE 3)
POSICIONAMIENTO DOVELA 3
ESC. 2:1

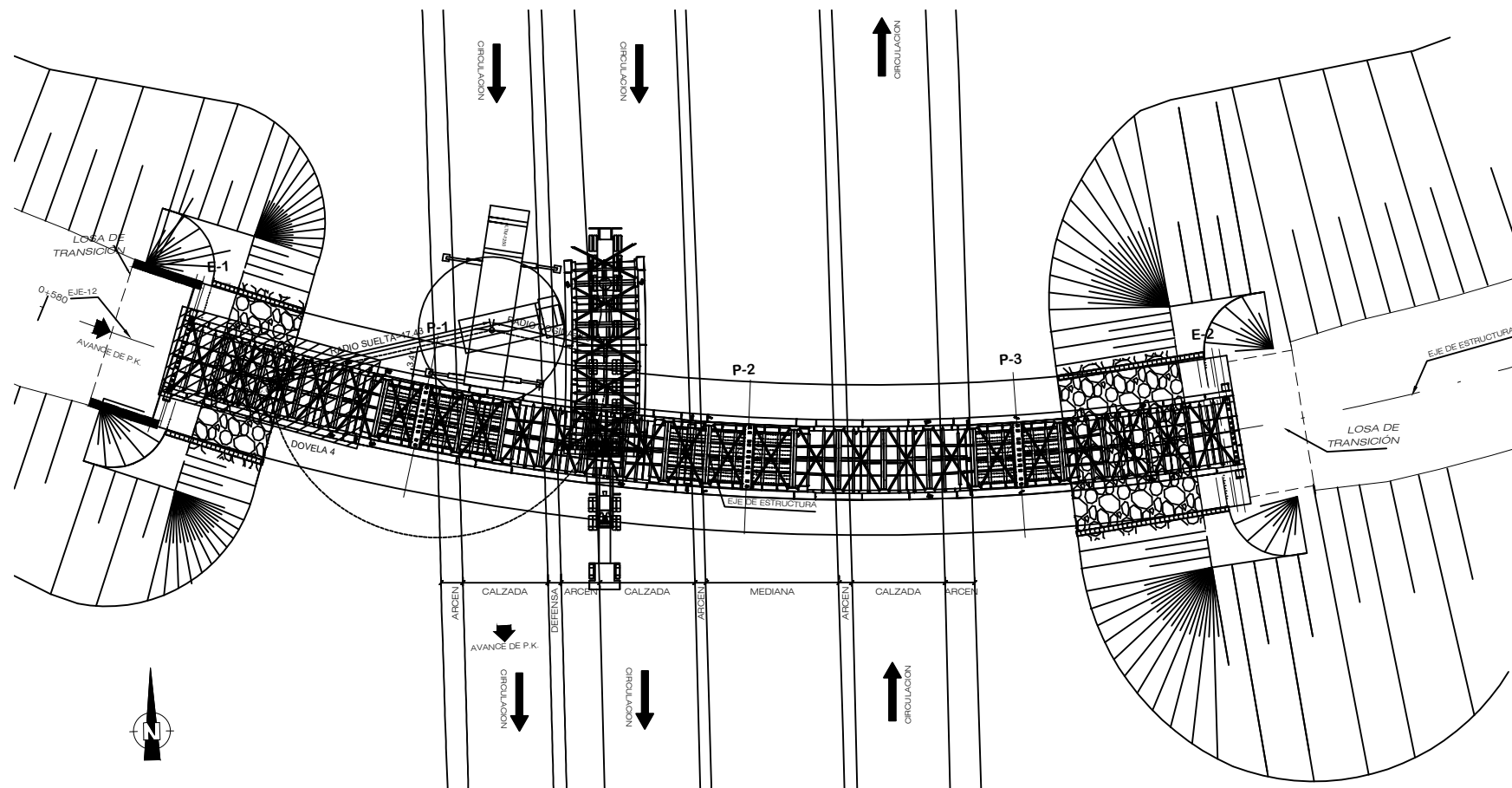


ALZADO (FASE 3)
POSICIONAMIENTO DOVELA 3
ESC. 2:1

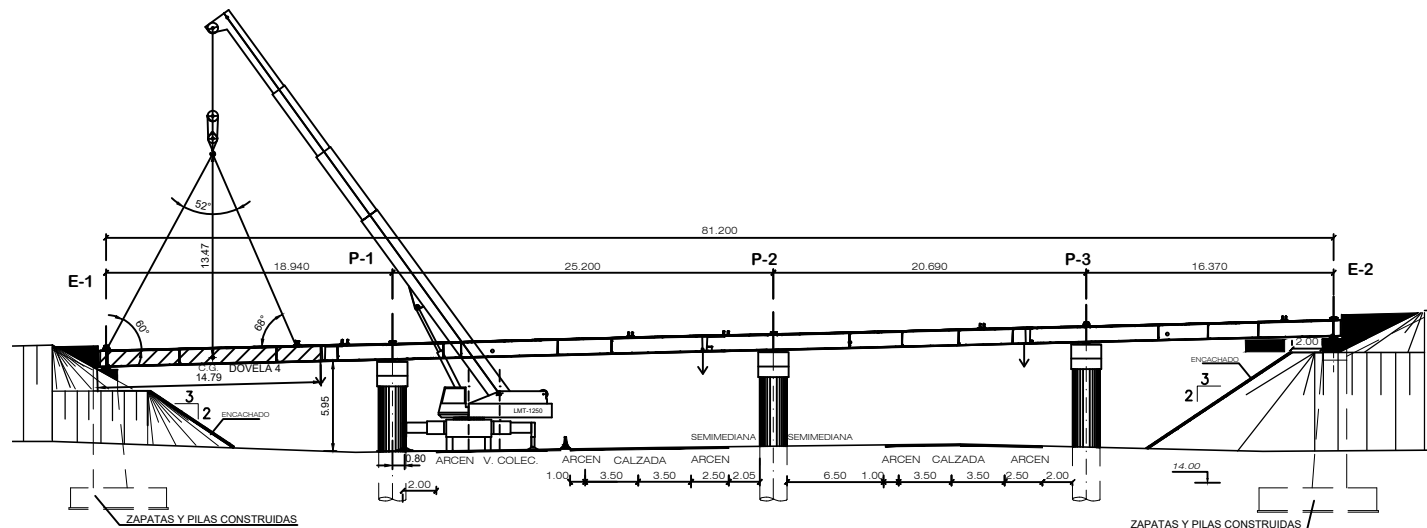


ISOMETRICO (FASE 3)
LONGITUD DE ESLINGAS
S/E

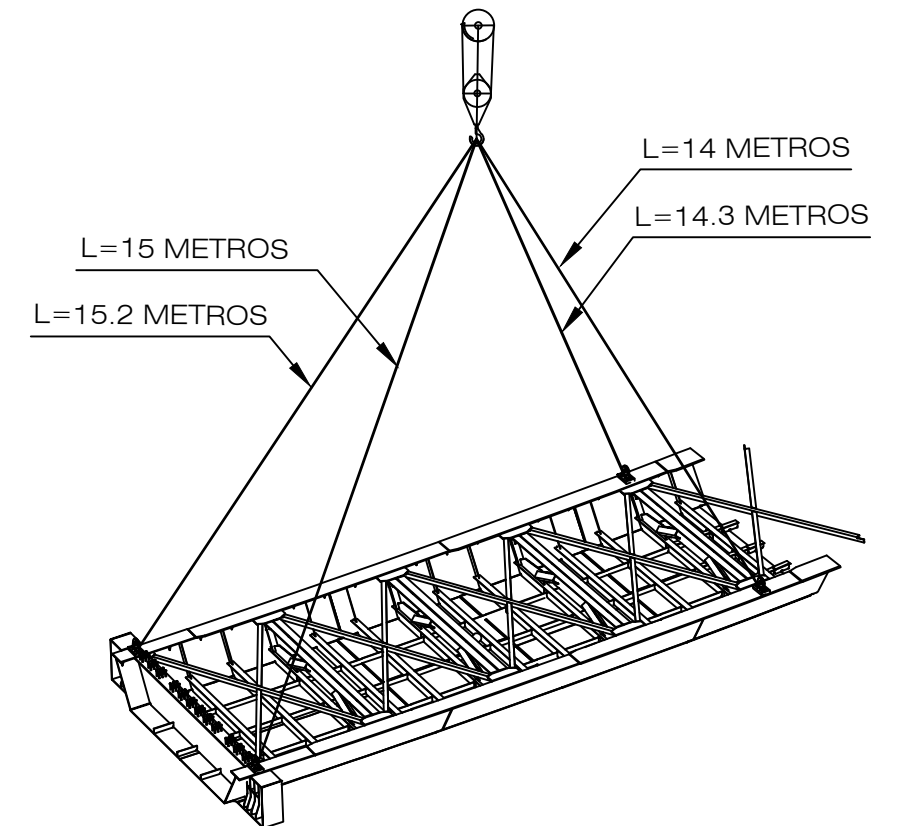
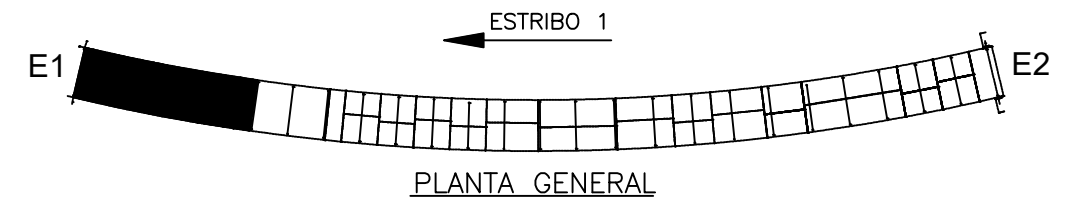
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	09-02-19	SANDRA		
COMPROBADO		PORTILLO		
		PADILLA		
ESCALA:	Análisis de las maniobras de instalación del Tablero metálico del Paso Superior E-3 Enlace con la A-4.			Nº PLANO
VARIAS				1 de 1
				SUSTITUYE A:
	Montaje vano 3			SUSTITUIDO POR:



PLANTA (FASE 4)
POSICIONAMIENTO DOVELA 4
ESC. 2:1



ALZADO (FASE 4)
POSICIONAMIENTO DOVELA 4
ESC. 2:1



ISOMETRICO (FASE 4)
LONGITUD DE ESLINGAS
S/E

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	09-02-19	SANDRA		
COMPROBADO		PORTILLO		
		PADILLA		
ESCALA:	Análisis de las maniobras de instalación del Tablero metálico del Paso Superior E-3 Enlace con la A-4.			Nº PLANO 1 de 1
VARIAS				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

Montaje vano 4



8.-BIBLIOGRAFÍA

- Donaire Ávila, J. (2017). Apuntes de Procedimientos de la Construcción II. Escuela Politécnica Superior de Linares.
- Manterola Armísen, J. (2006). Puentes, Apuntes para su diseño, cálculo y construcción. Madrid: Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.
- Obras de paso de nueva construcción ministerio de fomento
- Instrucción de hormigón estructural (EHE-08). **Ministerio de Fomento.**
- Norma ENV 1992-1-1:2010 (EuroCódigo-2) **AENOR.**
- Instrucción sobre acciones a considerar en el proyecto de puentes de carreteras (IAP-11). **Ministerio de Fomento**
- Norma de Construcción Sismorresistente Puentes, NCSP-07. **Ministerio de Fomento.**
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). **Ministerio de Fomento.**
- Norma Apoyos Estructurales. Parte 1: Reglas Generales de Diseño: UNE-EN 1337-1 = 2001. **AENOR.**
- Norma Apoyos Estructurales. Parte 3: Apoyos Elastoméricos: UNE-EN 1337-3 = 2005. **AENOR.**
- Ministerio de Fomento.Gobierno de España. (2008). Instrucción de Carreteras. Norma 3.1-IC.TRAZADO. Madrid.
- Ministerio de Fomento.Gobierno de España. (2010). EHE-08: Instrucción de Hormigón estructural. Madrid.
- Ministerio de Fomento.Gobierno de España. (2011). IAP-11: Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de puentes de carretera. Madrid.
- Ministerio de Fomento.Gobierno de España. (s.f.). Instituto Geográfico Nacional. Obtenido de <http://www.ign.es/web/ign/portal>
- Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Dirección General de Carreteras. (1995). Nota técnica para aparatos de apoyo. Madrid.
- Ministerio de Fomento.Gobierno de España. (2008). NCSP-07: Norma de Construcción Sismoresistente de Puentes (2º Edición). Madrid.
- Varona Moya, F. (2012). Apuntes de hormigón armado adaptado a la EHE-08. Escuela Politécnica Superior-Universidad de Alicante.