

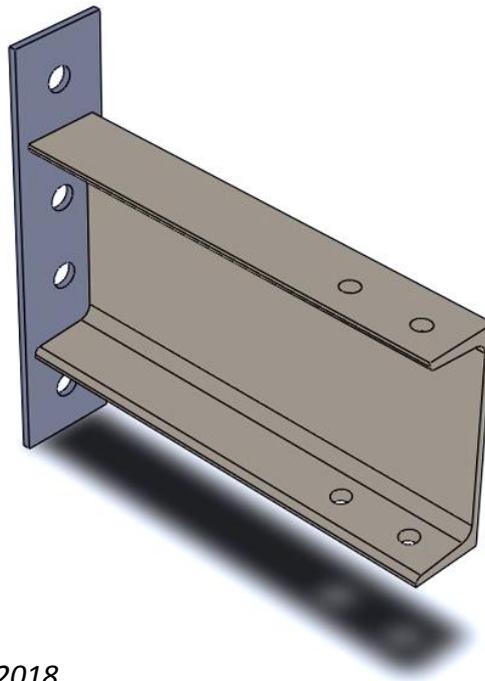
TFG Grado en Ingeniería Mecánica

---

**Título:**

*Estudio y propuesta de  
mejoras para soportes de vigas  
carrileras en las Naves de  
Expedición de ArcelorMittal  
Sagunto.*

---



**Fecha:** 4 de Julio de 2018

**Autor:** Aaron Hortelano Boix

**Tutor:** David Hernández Figueirido

**Supervisor:** Juan Antonio Montaner Gimenez



## **INDICE**

<b>1. AGENTES</b>	<b>3</b>
1.1. Promotor	3
1.2. Redacción del proyecto	3
<b>2. MEMORIA</b>	<b>5</b>
2.1. Objeto	5
2.2. Justificación	5
2.3. Emplazamiento y entorno físico	7
2.4. Antecedentes	11
2.4.1. Descripción del problema	15
2.4.1.1. Descripción de la estructura	15
2.4.1.2. Causas probables que originan el problema	18
2.4.1.3. Documentación gráfica de los problemas detectados	19
2.4.2. Documentación previa	23
2.5. Normas de referencia	25
2.5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	26
2.5.2. Programas de cálculo	26
2.5.3. Bibliografía	27
2.6. Requisitos de diseño	29
2.7. Análisis de soluciones	31
2.8. Conclusión y resultados finales	33
<b>3. ANEXOS A LA MEMORIA</b>	<b>35</b>
3.1. Cálculos de esfuerzos en viga carril	35
3.1.1. Cálculo de acciones verticales de las ruedas del puente grúa	37
3.1.2. Cálculo de acciones horizontales longitudinales de los puentes grúa	38
3.1.3. Cálculo de acciones horizontales transversales de los puentes grúa	39

3.1.3.1.	Acciones horizontales transversales debidas a la aceleración/frenado del carro	40
3.1.3.2.	Acciones horizontales transversales debidas a la aceleración y deceleración del puente con la excentricidad máxima de la carga	41
3.1.3.3.	Acciones horizontales transversales debidas a la marcha oblicua del puente grúa	42
3.1.3.4.	Cálculo del peso propio de la viga carril	43
3.2.	Tabla resumen y diagrama de aplicación de las fuerzas sobre puente y viga carrilera	45
3.3.	Cálculo de Momento crítico de vuelco en viga carril	49
3.4.	Hipótesis de carga	53
3.4.1.	Un puente grúa sobre viga carril de 15 metros	53
3.4.2.	Dos puentes grúa sobre viga carril de 15 metros	67
3.5.	Tabla resumen de las cargas más desfavorables que llegan a los soportes	81
3.6.	Comprobación de la placa a flexión y cálculo del espesor mínimo necesario	83
3.7.	Comprobación de la resistencia a tracción de los pernos	87
3.8.	Tablas de referencia	89
3.8.1.	Tablas libro Estructuras de Acero 1	89
3.8.2.	Tablas UNE-76201:1988	91
3.9.	Soportes tipo GANTREX	93
<b>4.</b>	<b>PLANOS</b>	<b>95</b>
<b>5.</b>	<b>PLIEGO DE CONDICIONES</b>	<b>97</b>
<b>6.</b>	<b>MEDICIONES Y PRESUPUESTO</b>	<b>135</b>
6.1.	Resumen del presupuesto	141
6.2.	Comparativa y viabilidad	143

---

## 1. AGENTES

---

### 1.1. PROMOTOR

---

El presente proyecto ha sido realizado a petición de la Dirección de Mantenimiento Central de la empresa ARCELORMITTAL Sagunto, cuyos datos figuran a continuación:

---

<b>Nombre de la empresa:</b>	ARCELORMITTAL SAGUNTO S.L.
<b>Dirección:</b>	Carretera de acceso a IV Planta p.k. 3.9, CP 46520 Puerto de Sagunto (Valencia).
<b>Tel:</b>	(962 658 072)
<b>Fax:</b>	(962 658 473)
<b>Dirección web:</b>	<a href="http://www.arcelormittal.com">www.arcelormittal.com</a>
<b>Representante:</b>	Juan Antonio Montaner Giménez JEFE DE TALLERES

---

### 1.2. REDACCIÓN DEL PROYECTO

---

El presente proyecto ha sido elaborado por Aaron Hortelano Boix, estudiante de grado en Ingeniería Mecánica por la Universidad Jaume I de Castellón y bajo la supervisión de David Hernández Figuerido, Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia y coordinador de Trabajo de Fin de Grado en la Universidad Jaume I de Castellón.

---

<b>Redacción:</b>	Aaron Hortelano Boix (73395503L)
<b>Tel:</b>	(635 677 258)
<b>E-mail:</b>	<a href="mailto:al190371@uji.es">al190371@uji.es</a>

---



## **2. MEMORIA**

---

### **2.1. OBJETO**

---

El objeto del presente proyecto es realizar un análisis para evaluar posibles opciones de mejora y/o sustitución de los sistemas de soporte antivuelco de las vigas carrileras sitas en el Almacén de Producto Acabado (APA) de las naves de expediciones de ARCELORMITTAL Sagunto. Más concretamente este análisis se realizará para los soportes presentes en la Nave 11, alineaciones FK y FL desde los ejes 1 al 12 ya que son en las que aún se mantienen los soportes diseñados en origen y que todavía no han sido sustituidos por los de tipo GANTREX según proyecto de TECTUM INGENIERIA.

### **2.2. JUSTIFICACIÓN**

---

La justificación del presente proyecto es la propuesta de medidas para la eliminación, o reducción en la medida de lo posible de un problema constante que presentan los soportes de las vigas carril de manera generalizada en toda la planta de ARCELORMITTAL Sagunto desde su puesta en servicio en 1974, pero que se manifiesta de forma más acusada en la Nave 11 de APA ya que esta presenta un error de ejecución en origen que la hace más propensa a sufrir este tipo de problemas.





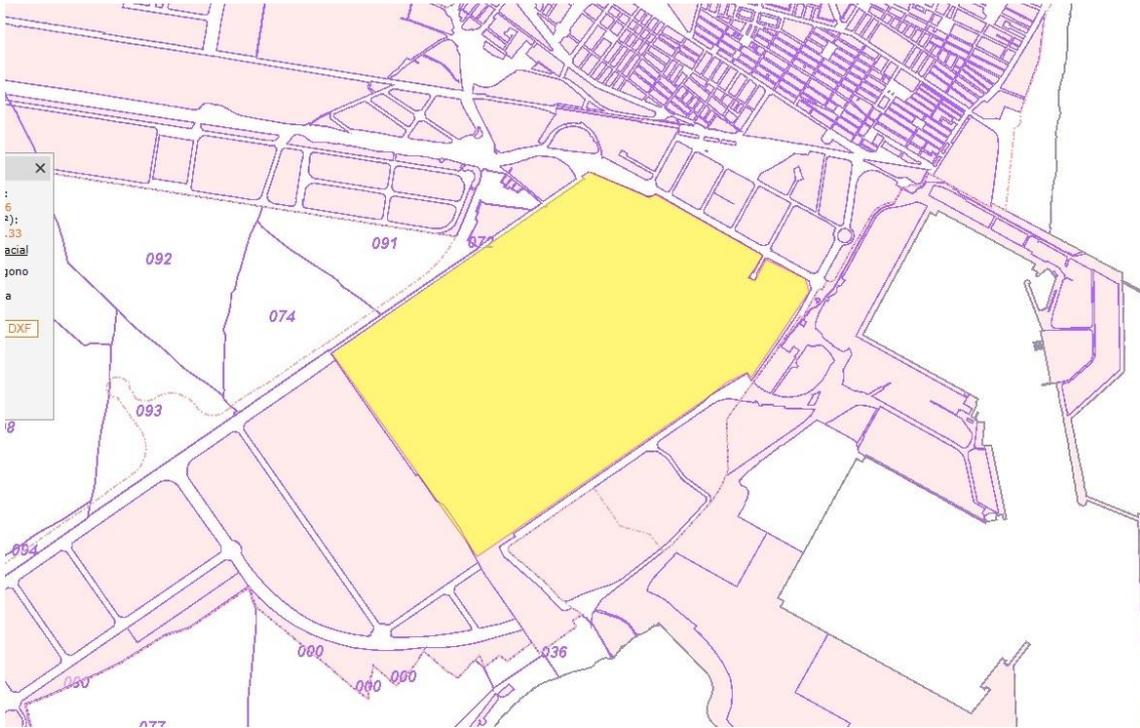


Imagen 3. Ubicación de la parcela que ocupa la empresa ARCELORMITTAL Sagunto dentro del Polígono industrial IV Planta, Referencia catastral: 8437312YJ3972N0001UX.  
Fuente: Cartografía catastral.



Imagen 4. Ortofoto de la planta de ARCELORMITTAL Sagunto. Fuente: SIGPAC.

Las naves de expediciones y APA se encuentran en el extremo Este del conjunto de naves de laminación en frío y al norte de las líneas de galvanizado, como se ve en la siguiente imagen.



Imagen 5. Detalla de ubicación de las naves de expedición y APA en el conjunto de la planta.



## **2.4. ANTECEDENTES**

---

Las naves de expediciones albergan el Almacén de Producto Acabado (APA) de la planta de Sagunto, para su entrega a través de ferrocarril o carretera a clientes u otras líneas de procesamiento posteriores de la chapa laminada en el tren de laminado en frío de la factoría. Las naves de expedición forman parte de las instalaciones de laminación en frío construidas en el año 1974 por la empresa siderúrgica ALTOS HORNOS DEL MEDITERRANEO (AHM), que posteriormente pasó a llamarse SIDMED, y que actualmente pertenecen a la multinacional ARCELORMITTAL (AM).

Los soportes objeto de este proyecto arriostran los extremos de las vigas carrileras por los que discurren los puentes grúa del almacén a los pilares principales de la nave.

Desde su entrada en servicio se han detectado las siguientes anomalías en dichas vigas como sigue:

- 1974** AHM construye las naves de expediciones que forman el APA, se observan algunas deformaciones horizontales excesivas en el ala inferior de algunas vigas carril.
  
- 1979** Se ejecutan celosías horizontales entre las alas inferiores de las vigas carril dobles. Se producen roturas de cartelas y deformaciones por pandeo en algunas diagonales de esas celosías.
  
- 2005** Se detecta una grieta en el ala inferior de una viga carril de 20m que se prolonga por el alma y alcanza dos tercios de la sección de la viga.
  
- 2006** AM encarga dos informes a las empresas de ingeniería SENNER y IVA-LEYING para realizar un diagnóstico del problema. Se concluye que deben sustituirse las vigas carrileras de las naves de APA por haber llegado estas al final de su vida útil.  
  
AM decide la sustitución siguiendo el informe de IVA-LEYING y realizando la obra en tres fases.

Este informe aconseja que la tipología de las vigas carril pase a ser de biapoyada a viga continua, para conseguir así un aumento de la rigidez de la misma. Dicho cambio se materializa mediante el perforado y unión con pernos pretensados de la parte superior e inferior de las testas de las vigas carrileras.

**2008** Se realiza la sustitución de vigas carril dentro de la primera fase de la obra, esa primera fase abarca la sustitución de las carrileras desde los ejes 12 al 23 en las alineaciones FJ, FK y FL de las naves 10 y 11 de APA.

Al finalizar las obras de sustitución y antes de la entrada en servicio de esas vigas carril se realiza un mecanizado del ala superior de las mismas para rectificar una falta de planeidad que dificulta el montaje del carril y causa que se exceda la excentricidad máxima admitida para el montaje del mismo. (No logra eliminarse por completo la excentricidad en el carril que sigue excediendo la máxima admisible en algunos puntos)

**2010** Se observan anomalías en las vigas carril sustituidas en la primera fase de la obra tras su entrada en servicio:

- Rotura y pérdida de par de apriete en los pernos superiores de unión entre las vigas carril.
- Deformaciones excesivas en el ala inferior de algunas vigas.

**2010** AM encarga a la empresa de ingeniería TECTUM INGENIERIA un informe con el fin de diagnosticar el problema y proponer posibles soluciones. De ese informe se concluye lo siguiente:

- la distribución de esfuerzos en los pernos de la unión pretensada de la parte superior de las testas de las vigas carril no es uniforme.
- la rotura de los pernos en las uniones de las chapas frontales de las vigas carril se debe a esfuerzos de tracción causados por el giro de las vigas en su apoyo en el pilar principal.
- Debe volverse al sistema de viga biapoyada para paliar los efectos descritos anteriormente.

- Al tratarse como vigas biapoyadas, las vigas que cubren los vanos de 20mm deben reforzarse ya que no cuentan con un canto suficiente para soportar las acciones producidas por el trasiego de cargas de los puentes grúa.

**2011** Se ejecutan las obras de refuerzo en las vigas de 20m y se vuelve a la tipología de viga biapoyada de acuerdo con el proyecto de TECTUM INGENIERIA.

**NOTA:**

Se observa un problema que se repite de forma constante desde la entrada en servicio de las naves de APA hasta la actualidad con independencia de las actuaciones realizadas en las vigas carril, este tiene lugar en los soportes antivuelco que atan los extremos de las vigas carril a la bayoneta del pilar principal y consiste en:

- Rotura de pernos de unión de los soportes de la viga carril con el pilar principal.
- Rotura de las soldaduras que unen los perfiles que conforman el soporte con la chapa de unión con el pilar principal.
- Rotura de la chapa de unión de los soportes con el pilar principal.

(Se muestran algunos ejemplos gráficos de os fallos anteriormente descritos en el punto 2.4.1.3.)



## 2.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde la puesta en servicio de las naves de expediciones y APA en el año 1975, se han detectado varios problemas en el conjunto de vigas carril por las que se desplazan los puentes grúa encargados del trasiego de bobinas por el almacén.

De entre los diferentes problemas que sufren estas naves destacan dos por su importancia:

- Agotamiento de las vigas carril antes de alcanzar el número de ciclos para los que fueron diseñadas.
- Roturas en los soportes antivuelco de las vigas carril en sus apoyos con el pilar principal de la nave.

### 2.4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Para entender mejor la problemática de este caso se va a proceder a una breve descripción de la estructura de las naves de expediciones y APA.

El conjunto de naves de expediciones y APA está situado en el extremo Este del conjunto de naves de laminación en frío de la planta. Este conjunto está formado por cuatro naves, a saber: Nave 10, Nave 11, Nave Auxiliar y Nave 12, tal i como se muestra en la siguiente imagen.

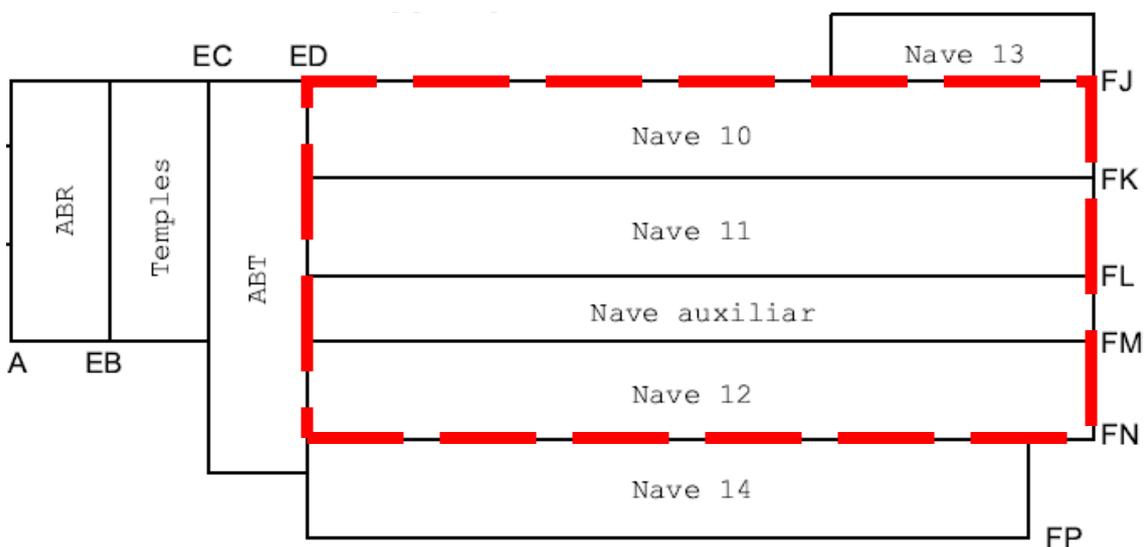


Imagen 6. Disposición de las naves de expediciones y APA.

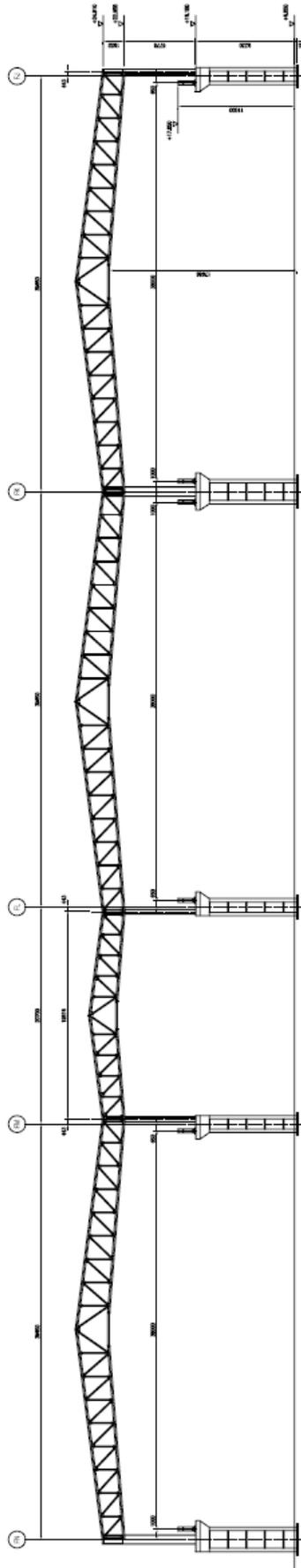


Imagen 7. Alzado de las naves de expediciones y APA.

Todas las naves que forman APA siguen la tipología siguiente (a excepción de la nave auxiliar):

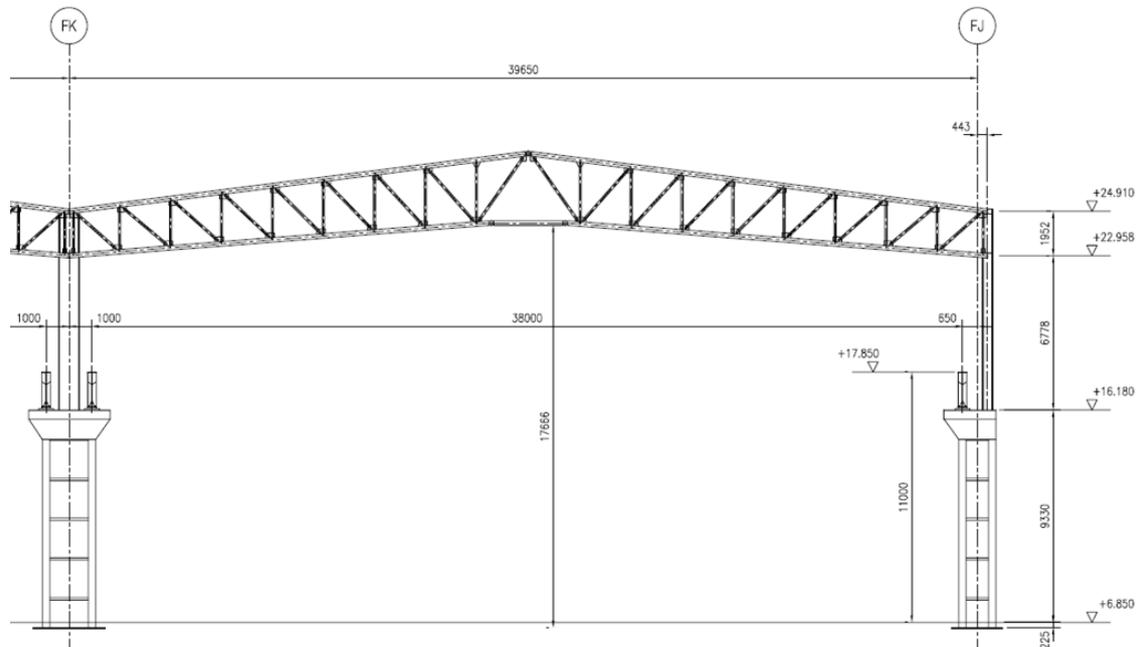


Imagen 8. Topología de las naves de expedición y APA.

La nave objeto de estudio (Nave 11) consta de 24 pilares dispuestos en las alineaciones FK y FL con las características que se indica en la siguiente tabla:

ALINEACIÓN	PILARES	CRUJÍA (m)	TIPO PÓRTICO	ESTADO
FK-FL	1-2	15	Normal	Original
FK-FL	2-3	15	Normal	Original
FK-FL	3-4	15	Frenado	Original
FK-FL	4-5	15	Normal	Original
FK-FL	5-6	15	Normal	Original
FK-FL	6-7	15	Normal	Original
FK-FL	7-8	15	Normal	Original
FK-FL	8-9	15	Frenado	Original
FK-FL	9-10	15	Normal	Original
FK-FL	10-11	15	Normal	Original
FK-FL	11-12	15	Frenado	Original
FK-FL	12-13	15	Normal	Mod. TECTUM
FK-FL	13-14	15	Normal	Mod. TECTUM
FK-FL	14-15	20	Normal	Mod. TECTUM
FK-FL	15-16	15	Frenado	Mod. TECTUM

<b>ALINEACIÓN</b>	<b>PILARES</b>	<b>CRUJÍA (m)</b>	<b>TIPO PÓRTICO</b>	<b>ESTADO</b>
FK-FL	16-17	15	Normal	Mod. TECTUM
FK-FL	17-18	15	Normal	Mod. TECTUM
FK-FL	18-19	20	Normal	Mod. TECTUM
FK-FL	19-20	15	Frenado	Mod. TECTUM
FK-FL	20-21	15	Normal	Mod. TECTUM
FK-FL	21-22	15	Normal	Mod. TECTUM
FK-FL	22-23	20	Normal	Mod. TECTUM
FK-FL	23-24	15	Frenado	Original

Tabla 1. Tipología de pórticos de la Nave 11.

Todas las naves de expedición y APA (e excepción de la nave auxiliar) están servidas por dos puentes grúa birrail de 350KN de capacidad cada uno.

La tipología de vigas carrileras por las que discurren los puentes grúa FK-L1 y FK-L2 de esta nave es de viga carril simple en su alineación FL, y viga carril doble en su alineación FK. Esta segunda alineación presenta viga doble ya que se comparte para los puentes que operan en la nave contigua, Nave 10.

#### **2.4.1.2. CAUSAS PROBABLES QUE ORIGINAN EL PROBLEMA**

Una vez conocida la tipología y características de la nave objeto de estudio pasan a enumerarse las posibles causas que provocan el fallo de los soportes antivuelco de las vigas carril.

Como puedo observarse en la Imagen 8 (Plano 0002), la luz teórica entre vigas carril de ambas alineaciones es de 38.00 metros, pero existen pequeñas desalineaciones en los carriles tipo A-100 montados sobre las vigas carrileras de esta nave.

Esta desalineación ha intentado corregirse en varias ocasiones pero no se ha logrado que el carril se encuentre dentro de las tolerancias admitidas por la viga en todos sus tramos. Por lo que el paso del puente grúa por las zonas donde la excentricidad del carril es superior a la admisible induce a la viga carrilera unos esfuerzos de torsión mayores a los calculados originariamente. Esto provoca que la viga no trabaje de forma óptima y que se agote su vida útil antes de alcanzar los ciclos de trabajo esperados.

También debe tenerse en cuenta que la producción actual de la planta supera en más del doble la producción para la que fue diseñada en el año 1974, cosa que hace aumentar considerablemente el número de movimientos de los puentes grúa en las naves de expedición y que puede llevar a un agotamiento prematuro de los soportes diseñados en origen.

### 2.4.1.3. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DE LOS PROBLEMAS DETECTADOS

En primer lugar se expone de forma esquemática el montaje de los soportes objeto de estudio en el conjunto de pilar principal y viga carrilera para facilitar la comprensión de las imágenes expuestas a continuación que detallan el problema.

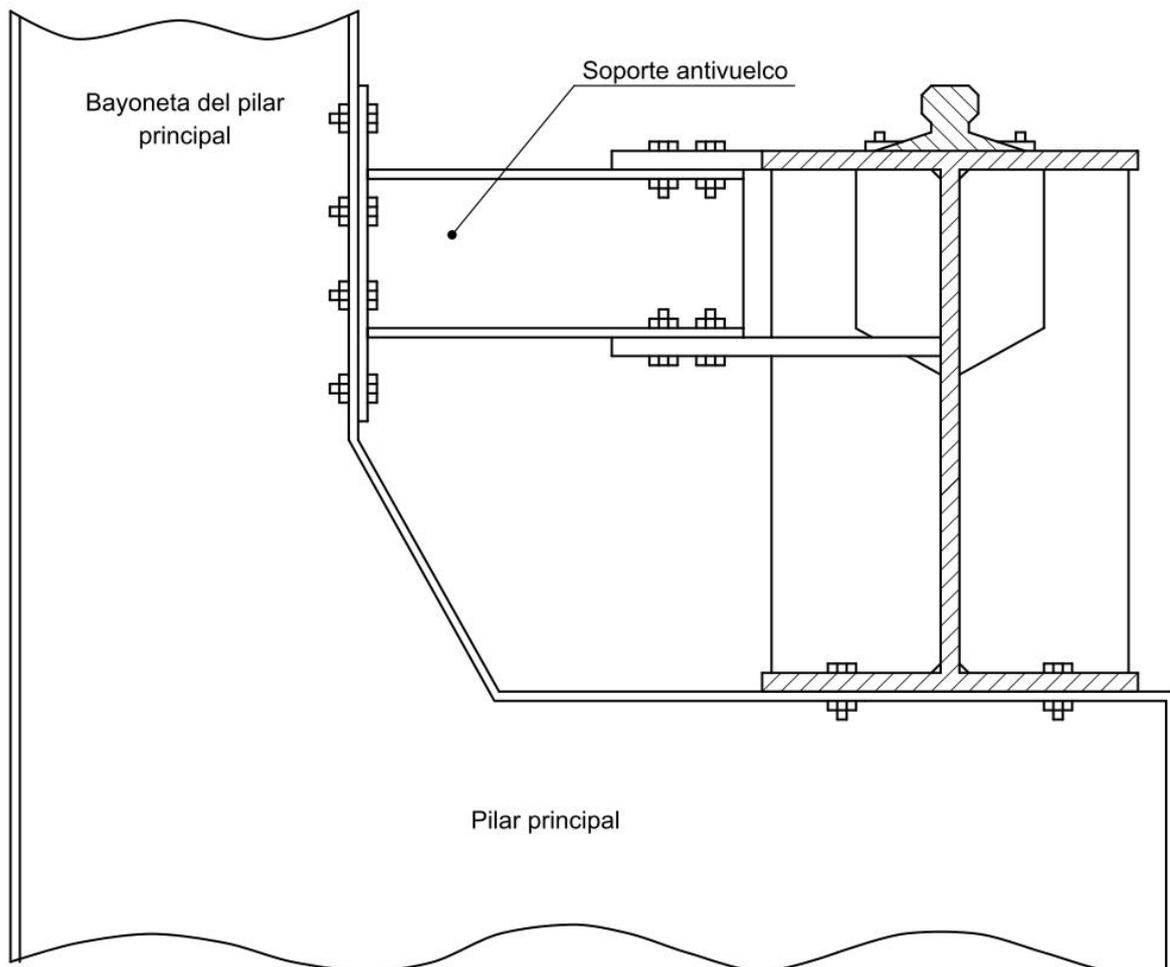


Imagen 9. Esquema de montaje de los soportes antivuelco de las vigas carril.

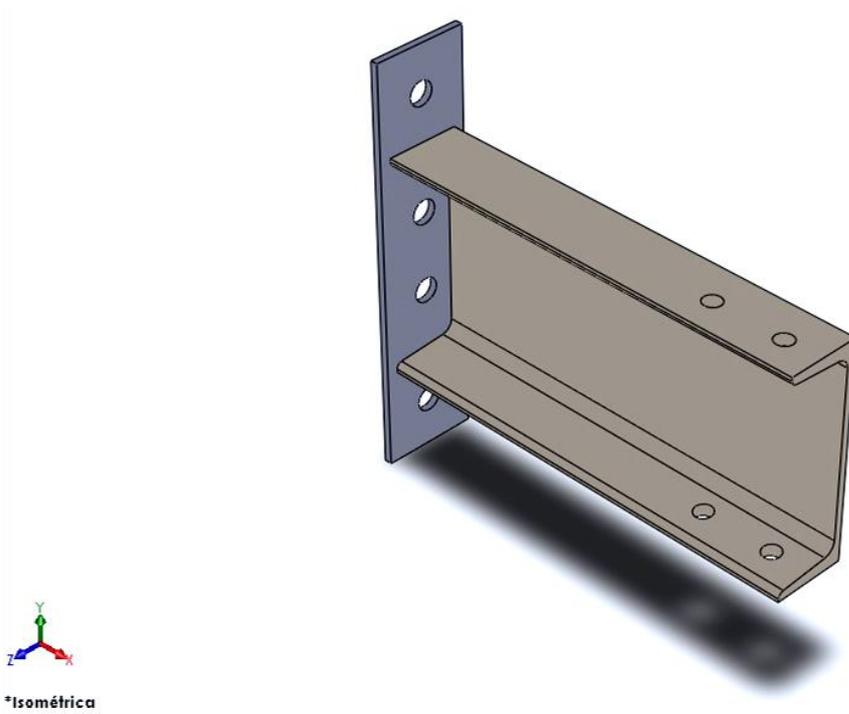


Imagen 10. Modelo del soporte antivuelco tipo de las vigas carril.



Imagen 11. Rotura de la placa de unión del soporte al pilar principal a lo largo del cordón de soldadura.



Imagen 12. Rotura del perno superior que une la placa del soporte con el pilar principal de la nave.



Imagen 13. Inicio de grieta en soldadura de unión entre la UPN-300 y la placa de anclaje del soporte.



Imagen 14. Deformación plástica de la chapa de unión del soporte con el pilar principal.

## **2.4.2. DOCUMENTACIÓN PREVIA**

---

La documentación de la que se dispone para realizar este proyecto es la siguiente:

- Informe de reparación de viga carril del puente grúa de la nave de expediciones de la empresa SIDMED; IVA-LEYING (2006).
- Informe sobre roturas en vigas carrileras de SIDEMED; SENER (2006).
- Proyecto de sustitución de vigas carril del almacén de producto acabado de la empresa ARCELORMITTAL Sagunto; IVA-LEYING (2008).
- Tabla de posicionamiento de los carriles en la Nave 11 de APA (2008).
- Grafica de posicionamiento de los carriles de la Nave 11 de APA (2008).
- Análisis y diagnóstico de las vigas carril de las naves de expediciones de la factoría de Sagunto; TECTUM INGENIERIA (2010).



## 2.5. **NORMAS DE REFERENCIA**

---

La normativa española considerada para la determinación de las bases de cálculo, en la realización de análisis y comprobaciones estructurales de este documento, ha sido la siguiente:

- CTE DB-SE AE                      Código técnico de la edificación Documento Básico Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación
- CTE DB SE A                      Código técnico de la edificación Documento Básico Seguridad Estructural, Acero
- UNE 76201 : 1988                Construcciones metálicas. Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases de cálculo.

Como documentación complementaria se ha tenido en cuenta la siguiente:

- EC 3                                  Eurocódigo 3
- R. Argüelles; F. Arriaga. y J. M. Argüelles. (2013) **ESTRUCTURAS DE ACERO 1**, Fundamentos de cálculo según CTE, EAE y EC-3.

## **2.5.1. DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS**

---

La normativa utilizada en la redacción de este proyecto, ha sido la siguiente:

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| - CTE DB-SE AE          | Código técnico de la edificación Documento Básico Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación.   |
| - CTE DB SE A           | Código técnico de la edificación Documento Básico Seguridad Estructural, Acero.  |
| - UNE 76201:1988        | Construcciones metálicas. Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases de cálculo.   |
| - UNE 157001:2014       | Criterios para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.  |
| - UNE 1032:1982         | Dibujo técnico, principios generales de representación.  |
| - UNE-EN ISO 10209:2012 | Documentación técnica de producto. Vocabulario. Términos relacionados con los diseños técnicos, la definición de productos y productos relacionados. |
| - UNE-EN ISO 5457:2000  | Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.   |
| - UNE-EN ISO 7200:2004  | Documentación técnica de productos. Campos de datos en bloques de títulos y en cabeceras de documentos.  |

## **2.5.2. PROGRAMAS DE CÁLCULO**

---

La relación de software utilizado para desarrollar los diversos cálculos y modelos del proyecto ha sido la siguiente:

- SAP2000 v14
- SolidWorks 2016

### 2.5.3. BIBLIOGRAFÍA

---

La bibliografía seguida en la elaboración de este proyecto, ha sido la siguiente:

- CTE DB-SE AE Código técnico de la edificación Documento Básico Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación.
- CTE DB SE A Código técnico de la edificación Documento Básico Seguridad Estructural, Acero.
- UNE 76201:1988 Construcciones metálicas. Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases de cálculo.
- UNE 157001:2014 Criterios para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- UNE 1032:1982 Dibujo técnico, principios generales de representación.
- UNE-EN ISO 10209:2012 Documentación técnica de producto. Vocabulario. Términos relacionados con los diseños técnicos, la definición de productos y productos relacionados.
- UNE-EN ISO 5457:2000 Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.
- UNE-EN ISO 7200:2004 Documentación técnica de productos. Campos de datos en bloques de títulos y en cabeceras de documentos.
- EC 3 Eurocódigo 3
- R. Argüelles; F. Arriaga. y J. M. Argüelles. (2013) **ESTRUCTURAS DE ACERO 1**, Fundamentos de cálculo según CTE, EAE y EC-3.



## **2.6. REQUISITOS DE DISEÑO**

---

Los soportes objeto de este proyecto deben cumplir una serie de requisitos en cuanto a su diseño para mantener la funcionalidad y viabilidad en su utilización por parte de la empresa ArcelorMittal.

- Las dimensiones de la placa de anclaje entre el soporte y la bayoneta del pilar principal no pueden exceder de las actuales salvo en el espesor de la chapa.
- En caso de proponerse una solución con placa atornillada, los pernos deberán mantener el espaciado y el diámetro actual (M30) por la imposibilidad de retaladrar el pilar principal, (podrá variarse si procede la calidad de los pernos).
- Se desaconseja el uso de cartelas de refuerzo en la parte superior de los soportes ya que ello imposibilitaría la inspección visual desde el suelo de la planta del estado de los soportes/pernos.
- Se calculará para el caso más desfavorable y la solución adoptada se implantará en la totalidad de los soportes de la nave incluso cuando alguno de estos presente unas sollicitaciones inferiores a las de cálculo.



## 2.7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

---

De los cálculos realizados en el anexo 3.6. *Comprobación de la placa a flexión y cálculo del espesor mínimo necesario*. Se deduce que el espesor actual de la placa de anclaje entre el soporte y la bayoneta del pilar principal es insuficiente para soportar las solicitaciones derivadas de los distintos esfuerzos que introduce el movimiento del puente grúa sobre la viga carril. Esto se debe a que la placa no cumple con el estado límite último (ELU) de agotamiento de la placa a flexión, produciéndose la rotura de la misma en el punto donde la placa se une mediante soldadura al perfil UPN300.

Según los cálculos, las placas de anclaje deberían tener un espesor mínimo de 26.81 mm, siendo las actuales de solo 10 mm.

Por otra parte y en referencia a los pernos, según lo indicado en los cálculos del anexo 3.7. *Comprobación de la resistencia a tracción de los pernos*. Los actuales (M30, calidad 8.8) cumplen perfectamente las solicitaciones a tracción, presentando estos un aprovechamiento del 19.43%

Como posibles soluciones se podría considerar el acartelamiento de las placas de anclaje para disminuir el espesor de estas, pero se desestima esta opción por imposición directa de uno de los requisitos de diseño. Otra posible solución que abarataría los costes de sustitución de los soportes sería la utilización de tornapuntas como ya se están utilizando en los pilares 12-23 de ambas alineaciones de la Nave 11, donde se están utilizando, a propuesta de un proyecto previo de TECTUM INGENIERÍA, soportes tipo GANTREX cuyas características pueden verse en el anexo 3.9. *Soportes tipo GANTREX*



## **2.8. CONCLUSIÓN Y RESULTADOS FINALES**

---

Se concluye que el espesor de las placas de anclaje actuales es insuficiente, para el correcto funcionamiento de los soportes. Ante la imposibilidad de acartelar estas placas, se opta por sustituir estas por unas de espesor 30 mm (espesor comercial inmediatamente superior al obtenido en calculo de 26.81 mm)

Se concluye que los pernos actuales de M30 y calidad 8.8 cumplen con las sollicitaciones a tracción que introducen los esfuerzos del puente grúa sobre los soportes pudiendo ser sustituidos por unos de calidad superior 10.9 en caso que la empresa ArcelorMittal lo considere oportuno

Se concluye que las vigas carril no superan en ningún caso el momento crítico de vuelco en situación normal de trabajo, por lo que no es necesaria la intervención ni el refuerzo de ninguna parte de estas.



### 3. ANEXOS A LA MEMORIA

#### 3.1. CÁLCULOS DE ESFUERZOS EN VIGA CARRIL

Los cálculos expuestos a continuación se han realizado de acuerdo a la norma UNE 76201:1988; Caminos de rodadura de puentes grúa, bases de cálculo.

Se muestran a continuación las características de las vigas carrileras de las naves de expediciones y APA de ARCELORMITTAL Sagunto:

##### CARACTERÍSTICAS MATERIAL VIGA CARRILERA

MATERIAL		S 355 JR	
MODULO ELASTICIDAD LONGITUDINAL	$E$	2,10E+08	KN/m <sup>2</sup>
MODULO ELASTICIDAD TRANSVERSAL	$G$	8,10E+07	KN/m <sup>2</sup>
COEFICIENTE DE PIOSON	$\nu$	0,3	
COEFICIENTE DE DILATACIÓN TERMICA	$\alpha$	1,20E-05	°C <sup>-1</sup>
DENSIDAD	$\rho$	78,5	KN/m <sup>3</sup>

Tabla 2. Características del material de la viga carril.

##### DATOS VIGA CARIL PRINCIPAL 15m

LONGITUD	$L$	15	m
ESPELOR ALA SUPERIOR	$T_s$	30	mm
ANCHURA ALA SUPERIOR	$W_s$	400	mm
ESPELOR DEL ALMA	$T_a$	20	mm
ALTURA DEL ALMA	$h_a$	1490	mm
ESPELOR ALA INFERIOR	$T_i$	30	mm
ANCHURA ALA INFERIOR	$W_i$	400	mm
AREA DE SECCIÓN	$A$	0,0538	m <sup>2</sup>
MOMENTO DE INERCIA DE LA VIGA CARRIL Y	$I_y$	32099.334	Cm <sup>4</sup>
MOMENTO DE INERCIA DE LA VIGA CARRIL Z	$I_z$	1937744.8	Cm <sup>4</sup>

Tabla 3. Características de la viga carril.

Se muestran a continuación las características de los puentes grúa que trabajan en las naves de expediciones y APA de ARCELORMITTAL Sagunto:

<b>CARACTERISICAS DEL PUENTE GRÚA</b>			
CAPACIDAD	<b>Q</b>	350	KN
PESO PROPIO	<b>P</b>	1080	KN
PESO CARRO	<b>C</b>	200	KN
REACCIÓN MAXIMA POR RUEDA	<b>Rmax</b>	545	KN
REACCIÓN MINIMA POR RUEDA	<b>Rmin</b>	270	KN
LUZ ENTRE CARRILES	<b>L</b>	38	m
SEPARACIÓN ENTRE RUEDAS	<b>B</b>	9	m
DISTANCIA DE RUEDA A TOPE	<b>D</b>	2,25	m
ACELERACIÓN DEL CARRO	<b>jc</b>	0,35	m/s <sup>2</sup>
ACELERACIÓN DEL PUENTE	<b>jp</b>	0,35	m/s <sup>2</sup>
VELOCIDAD DEL PUENTE	<b>vp</b>	2	m/s
VELOCIDAD DEL CARRO	<b>vc</b>	1	m/s
VELOCIDAD DE ELEVACIÓN	<b>vn</b>	0,334	m/s
EXCENTRICIDAD MAX DE LA CARGA	<b>e max</b>	6,41	M
RUEDAS TOTALES DEL PUENTE GRÚA		8	
RUEDAS MOTRICES DEL PUENTE GRÚA		4	
RUEDAS TOTALES DEL CARRO		4	
RUEDAS MOTRICES DEL CARRO		2	

Tabla 4. Características de los puentes grúa de APA

Se muestran a continuación las condiciones de carga del puente grúa:

<b>CONDICIONES DE CARGA DEL PUENTE GRÚA</b>	
<i>Según Tabla 3 de la UNE 76-201:1988</i>	
<i>Puente pesado, aparato que levanta con bastante frecuencia carga útil y corrientemente cargas medianas</i>	
Condiciones de carga	Q3
Parámetro del espectro	<b>Kq</b> 0,5

Tabla 5. Condiciones de carga.

Se muestran a continuación las condiciones de utilización del puente grúa:

### **CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DEL PUENTE GRÚA**

Según Tabla 2 Y Tabla 4 de la UNE 76-201:1988

Utilización intensiva

Número convencional de ciclos de maniobra	<b>Nm</b>	4,00E+06	U8
Condiciones de utilización	<b>Grupo</b>	8	

Tabla 6. Condiciones de utilización.

#### **3.1.1. CALCULO DE ACCIONES VERTICALES DE LAS RUEDAS DEL PUENTE GRÚA**

Las acciones gravitatorias del puente grúa se deben al peso propio del puente, del carro y de la carga trasegada. Estas acciones se obtienen mayorando las cargas estáticas con un coeficiente  $\emptyset$  (coeficiente de efectos dinámicos). Este coeficiente varía en función del número de puentes grúa que estén actuando simultáneamente sobre la misma viga carril y toma los siguientes valores en este caso:

$$\emptyset_{max} = 1.35$$

$$\emptyset_{red} = 1.10$$

**NOTA:** los valores de  $\emptyset$  se obtienen a partir de la Tabla 5 de la UNE 76201:1988.

Se procede a continuación al cálculo de las acciones verticales siguiendo la siguiente expresión de la UNE 76201:1988.

$$Vd = \emptyset \cdot V \quad (1)$$

Acciones verticales para la actuación de un puente grúa con la excentricidad máxima de la carga:

$$V_{max} = \emptyset_{max} \cdot R_{max} \quad \rightarrow \quad V_{max} = 1.35 \cdot 545$$

$$\mathbf{V_{max} = 735.75 KN}$$

$$V_{min} = \emptyset_{max} \cdot R_{min} \quad \rightarrow \quad V_{min} = 1.35 \cdot 270$$

$$\mathbf{V_{min} = 364.50 KN}$$

Acciones verticales para la actuación de dos puentes grúa con la excentricidad máxima de la carga:

$$V_{max} = \phi_{red} \cdot R_{max} \quad \rightarrow \quad V_{max} = 1.10 \cdot 545$$

$$\mathbf{V_{max} = 599.75 KN}$$

$$V_{min} = \phi_{red} \cdot R_{min} \quad \rightarrow \quad V_{max} = 1.10 \cdot 270$$

$$\mathbf{V_{max} = 297 KN}$$

### **3.1.2. CALCULO DE ACCIONES HORIZONTALES LONGITUDINALES DE LOS PUENTES GRÚA**

---

La aceleración, o el frenado del movimiento de translación del puente grúa conducen a la aparición de acciones longitudinales aplicadas a las cabezas de los carriles. Estas fuerzas horizontales que las ruedas motrices del puente ejercen sobre el carril se calculan en función de la aceleración o deceleración máxima producidas en el servicio normal utilizando la expresión siguiente:

$$\sum Hl_{max} = (Q + C + P) \cdot \left( \omega + \frac{2 \cdot j_p}{g} \right) \leq (Q + C + P) \cdot f \cdot k_p \quad (2)$$

Donde: Q = Capacidad de elevación del puente

C = Peso del carro

P = Peso propio del puente

$\omega$  = Factor de resistencia por fricción (Tabla A-2 UNE 76201:0988)

$j_p$  = Aceleración media del Puente grúa

$g$  = Aceleración gravitatoria

$f$  = Coeficiente de adherencia rueda/carril (UNE 76201:0988)

$k_p$  = Relación entre el número total de ruedas motrices del puente con su número total de ruedas.

**NOTA:** Los valores de  $f$  vienen dados por la UNE 76201:0988 y toman el siguiente valor:

$f = 0.12$  en caminos de rodadura húmedos

$f = 0.2$  en caminos de rodadura secos

Se tomara en este caso  $f = 0.2$  ya que los puentes grúa objeto de estudio se encuentran en el interior de las naves de Expediciones y APA.

$$\begin{aligned} \sum Hl_{max} &= (350 + 200 + 1080) \cdot \left( 0.0035 + \frac{2 \cdot 0.35}{9.81} \right) \\ &\leq (350 + 200 + 1080) \cdot 0.2 \cdot 0.5 \end{aligned}$$

$$\sum Hl_{max} = 122.015 \text{ KN} \leq 163 \text{ kN} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

Se considera que la carga se halla en su posición más elevada, y no se tienen en cuenta sus oscilaciones. Las acciones longitudinales se consideran repartidas por igual en los dos carriles ya que no se ve limitado su valor por la adherencia entre rueda y carril.

Por tanto la carga longitudinal que se lleva cada carril es la mitad de  $\sum Hl_{max}$ .

$$\begin{aligned} Hl &= \frac{1}{2} \cdot \sum Hl_{max} \quad (3) \\ Hl &= \frac{1}{2} \cdot 122.015 \end{aligned}$$

$$Hl = 61.01 \text{ kN}$$

### **3.1.3. CALCULO DE ACCIONES HORIZONTALES TRANSVERSALES DE LOS PUENTES GRÚA**

Acciones horizontales que aparecen en los carriles de rodadura de los puentes grúa son debidas a los siguientes factores: Aceleración y deceleración del carro ( $H_c$ ), aceleración y deceleración del puente con la excentricidad máxima de la carga ( $H_p$ ) y marcha oblicua del puente grúa ( $H_o$ ). A continuación se detallan los cálculos de cada una de estas fuerzas.

### 3.1.3.1. *Acciones horizontales transversales debidas a la aceleración/frenado del carro.*

La aceleración o deceleración del movimiento de translación del carro conduce a la aparición de acciones horizontales transversales al camino de rodadura. Estas fuerzas se calculan siguiendo la siguiente expresión.

$$\sum H_{cmax} = (Q + C) \cdot \left( \omega + \frac{2 \cdot j_c}{g} \right) \leq (Q + C) \cdot f \cdot k_c \quad (4)$$

Donde: Q = Capacidad de elevación del puente

C = Peso del carro

$\omega$  = Factor de resistencia por fricción (Tabla A-2 UNE 76201:0988)

$j_c$  = Aceleración media del carro

$g$  = Aceleración gravitatoria

$f$  = Coeficiente de adherencia rueda/carril (UNE 76201:0988). Se toma el valor de 0.2 (caminos de rodadura secos)

$k_c$  = relación entre el número total de ruedas motrices del carro con su número total de ruedas.

$$\sum H_{cmax} = (350 + 200) \cdot \left( 0.0035 + \frac{2 \cdot 0.35}{9.81} \right) \leq (350 + 200) \cdot 0.2 \cdot 0.5$$

$$\sum H_{cmax} = 41.171 \text{ KN} \leq 55 \text{ kN} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

Las acciones transversales debidas a la aceleración o frenado del carro se consideran repartidas por igual en los dos carriles ya que no se ve limitado su valor por la adherencia entre rueda y carril. Por tanto en cada carril se tendrá la mitad de  $\sum H_{cmax}$

$$H_c = \frac{1}{2} \cdot \sum H_{lmax} \quad (5)$$

$$H_c = \frac{1}{2} \cdot 41.171$$

$$H_c = 20.586 \text{ kN}$$

### **3.1.3.2. Acciones horizontales transversales debidas a la aceleración y deceleración del puente con la excentricidad máxima de la carga**

En el caso que el puente grúa se traslade con la excentricidad máxima de la carga, aparecen unas fuerzas horizontales transversales que se aplican en la cabeza de los carriles. Estas fuerzas se obtienen conforme a la siguiente expresión.

$$H_p = \pm \sum H_{lmax} \cdot \frac{e_{max}}{B} \quad (6)$$

Donde:  $e_{max}$  = excentricidad máxima del centro de gravedad del conjunto de puente, carro y carga

$B$  = separación entre ruedas del puente grúa

$$H_p = \pm 122.015 \cdot \frac{6.41}{9}$$

$$\mathbf{H_p = \pm 86.902 kN}$$

Estas fuerzas se aplican iguales y de sentido contrario en las ruedas de los testeros de los puentes grúa.

### 3.1.3.3. *Acciones horizontales transversales debidas a la marcha oblicua del puente grúa*

---

La marcha oblicua del puente origina acciones horizontales transversales iguales y opuestas en los rodillos guía (yugos) del puente grúa, estas fuerzas alcanzan su valor máximo cuando el carro se encuentra en sobre el eje de la nave, y se calculan siguiendo la siguiente expresión.

$$H_o = 0.024 (Q + C + P) \cdot \frac{L}{B} \quad (7)$$

- Donde:
- Q = Capacidad de elevación del puente
  - C = Peso del carro
  - P = Peso propio del puente
  - L = Luz entre carriles del puente grúa
  - B = Separación entre ruedas del puente grúa

$$H_o = 0.024 (350 + 200 + 1080) \cdot \frac{38}{9}$$

$$\mathbf{H_o = 165.174 kN}$$

Estas fuerzas se aplican iguales y de sentido contrario en las ruedas de los testeros de los puentes grúa.

### 3.1.3.4. Cálculo del peso propio de la viga carril

---

Se tomarán para el cálculo las vigas carril de 15 metros de longitud ya que son las que aún no han sido modificadas y por tanto las que siguen dando problemas en sus soportes antivuelco.

Para realizar el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$P_{vc} = \rho \cdot A \cdot l \quad (8)$$

Donde:  $\rho$  = Densidad del acero

$A$  = Área de la sección de la viga carrilera

$l$  = Longitud de la viga carrilera

$$P_{vc} = 78.5 \cdot 53.8 \cdot 10^{-3} \cdot 15$$

$$\mathbf{P_{vc} = 63.35 \text{ kN}}$$

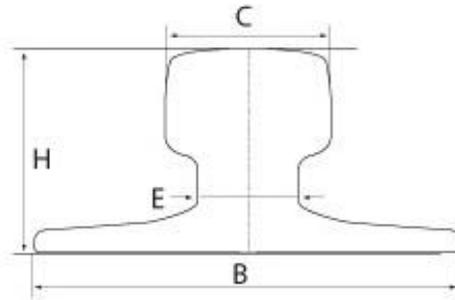
Esta carga se introducirá como carga distribuida a lo largo de la viga carril de valor:

$$Q_v = \frac{P_{vc}}{l} \quad (9)$$

$$Q_v = \frac{63.35}{15}$$

$$\mathbf{Q_v = 4.22 \text{ kN/m}}$$

A la carga distribuida calculada anteriormente se le suma la carga introducida por el carril de rodadura del puente, siendo este un carril macizo de acero tipo A-100 cuyas características pueden verse en la siguiente tabla:



Tipo de Rail	Normas	Dimensiones mm				Sección S	Masa M
		H	B	C	E	cm <sup>2</sup>	kg/m
A45	DIN 536 P1:1991	55,00	125,00	45,00	24,00	28,20	22,10
A55	DIN 536 P1:1991	65,00	150,00	55,00	31,00	40,50	31,80
A65	DIN 536 P1:1991	75,00	175,00	65,00	38,00	54,90	43,10
A75	DIN 536 P1:1991	85,00	200,00	75,00	45,00	71,60	56,20
A100	DIN 536 P1:1991	95,00	200,00	100,00	60,00	94,70	74,30
A120	DIN 536 P1:1991	105,00	220,00	120,00	72,00	127,40	100,00
A150	DIN 536 P1:1991	150,00	220,00	150,00	80,00	191,40	150,30

Tabla: 7. Características del carril de rodadura.

De la tabla anterior se obtiene que el peso total del carril de rodadura que descansa sobre el ala superior de las vigas carril de 15m es el siguiente:

$$P_c = g \cdot l \cdot M \quad (10)$$

$$P_c = 9.81 \cdot 15 \cdot 74.3$$

$$P_c = 10.93 \text{ kN}$$

Siguiendo la expresión (9) se obtiene un valor de carga distribuida en la viga de:

$$Q_c = \frac{10.93}{15}$$

$$Q_c = 0.73 \text{ kN/m}$$

### 3.2. TABLA RESUMEN Y DIAGRAMA DE APLICACIÓN DE LAS FUERZAS SOBRE PUENTE Y VIGA CARRILERA

Se muestra a continuación una tabla resumen con todas las fuerzas actuantes en las vigas carril de la Nave 11.

<b>TIPO DE ACCIÓN</b>	<b>ALINEACIÓN FK</b>	<b>ALINEACIÓN FL</b>
<b>V (1 puente) Carro próximo a alineación FK</b>	735.75 kN	634.50 kN
<b>V (1 puente) Carro próximo a alineación FL</b>	634.50 kN	735.75 kN
<b>V (2 puentes) Carro próximo a alineación FK</b>	599.50 kN	297.00 kN
<b>V (2 puentes) Carro próximo a alineación FL</b>	297.00 kN	599.50 kN
<b>HI</b>	61.01 kN	61.01 kN
<b>Qvc</b>	4.95 kN/m	4.95 kN/m
	<b>RUEDAS EN TESTERO FK</b>	<b>RUEDAS EN TESTERO FL</b>
<b>Hc</b>	20.59 kN	20.59 kN
<b>Hp</b>	±86.90 kN	±86.90 kN
<b>Ho</b>	±165.17 kN	-

Tabla 8. Resumen de fuerzas.

**NOTA:** Nótese que las cargas horizontales transversales debidas a la marcha oblicua del puente ( $H_o$ ) solo se aplican en la alineación FK, esto es debido a que los puentes grúa de la Nave 11 solo presentan yugos de guiado en la viga testero que discurre por esa alineación, por lo que a priori los cálculos se realizaran para las vigas carril de la alineación FK por ser las que están más solicitadas y por lo tanto se suponen en una situación más desfavorable.

Para ayudar a entender cómo actúan las fuerzas anteriormente calculadas, se mostraran a continuación los diagramas de fuerzas sobre los puentes y vigas carrileras de la Nave 11.

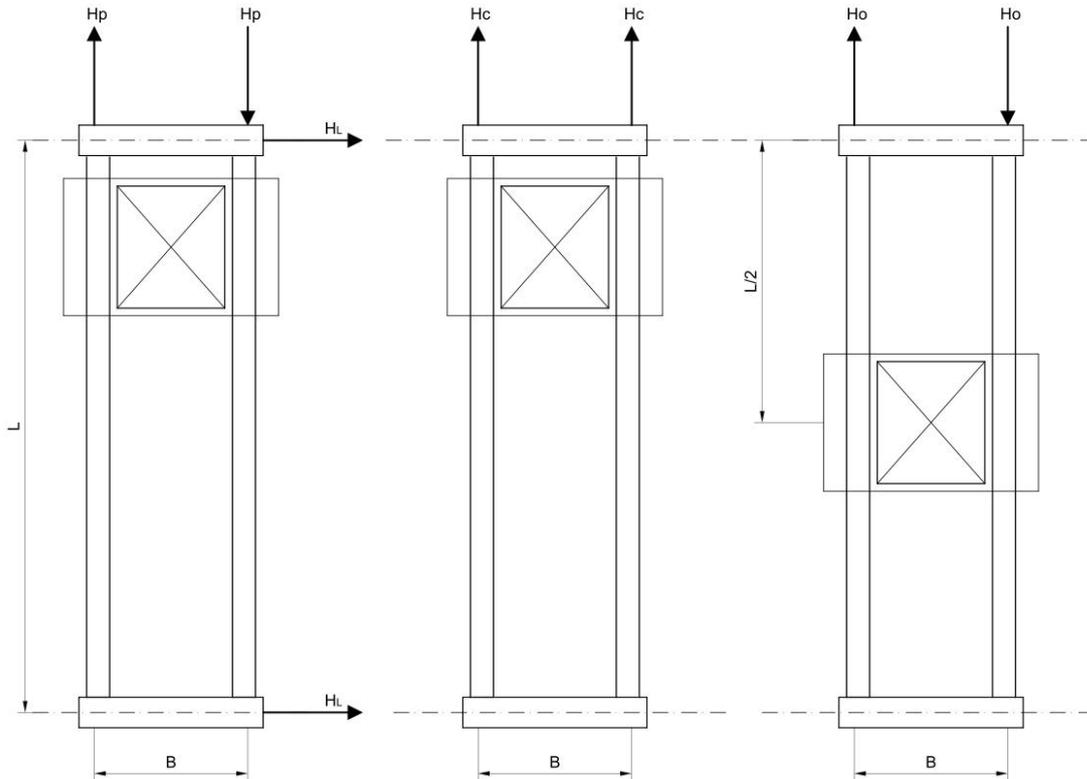


Figura 1. Representación de los esfuerzos actuantes en el puente grúa.

En la imagen superior se observan los diferentes tipos de cargas actuantes en el puente según sus movimientos, mostrándose de izquierda a derecha los siguientes casos:

- 1- Aceleración / deceleración del puente grúa con la excentricidad máxima de la carga
- 2- Aceleración / deceleración del carro con el puente grúa parado.
- 3- Marcha oblicua del puente grúa.

A continuación se detallan las cargas anteriores más las verticales en un modelo de la viga carrilera más solicitada (alineación FK):

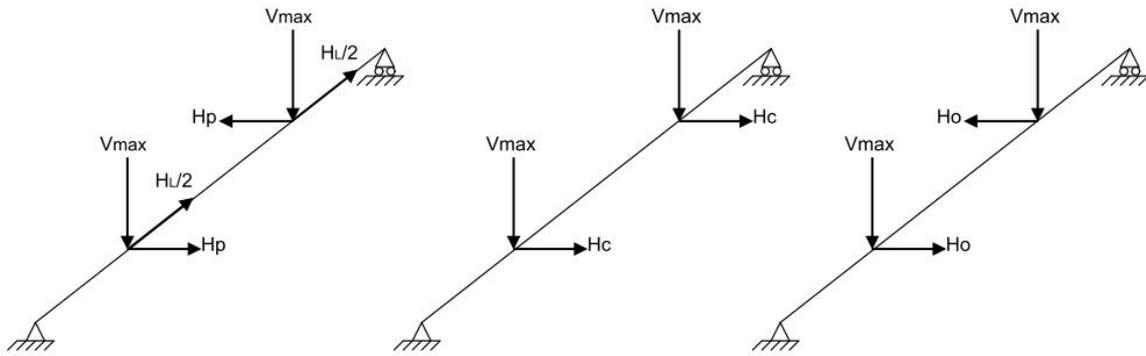


Figura 2. Representación de los esfuerzos en las vigas carrileras correspondientes a los casos anteriormente descritos.

Por último cabe comentar que estos esfuerzos se no se aplican directamente desde el puente grúa a la viga carril, si no que se recaen directamente sobre el carril de rodadura tipo A-100 según indica el siguiente diagrama.

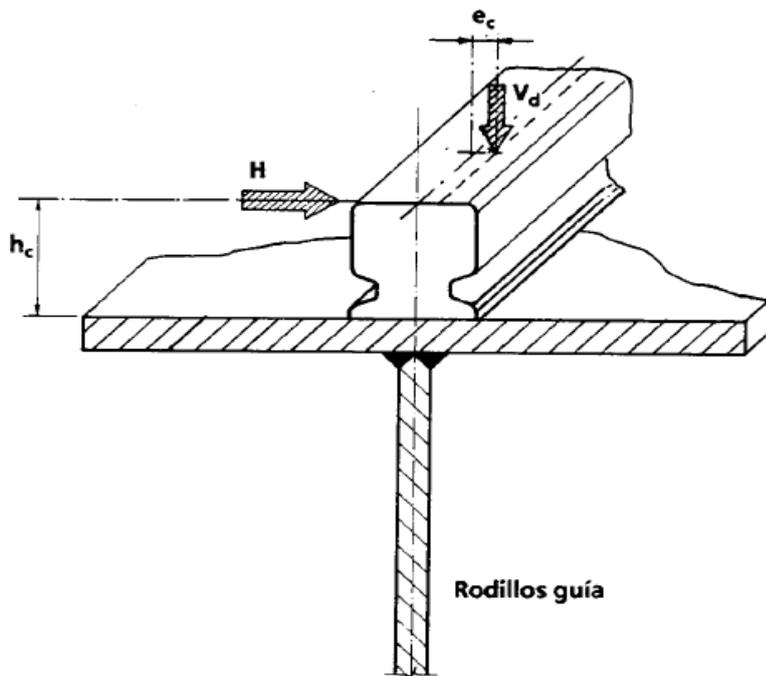


Figura 3. Aplicación de fuerzas sobre el carril de rodadura, “ $h_c$ ” corresponde a la altura del carril y “ $e_c$ ” a la posible excentricidad entre la rueda del puente y el carril



### 3.3. CÁLCULO DE MOMENTO CRÍTICO DE VUELCO EN VIGA CARRIL

Los cálculos que se muestran a continuación se han realizado de acuerdo a lo expuesto en el capítulo 8 (Inestabilidad de la barra, vuelco lateral y pandeo por flexión-torsión) del libro R. Argüelles; F. Arriaga. y J. M. Argüelles. (2013) **ESTRUCTURAS DE ACERO 1**, Fundamentos de cálculo según CTE, EAE y EC-3.

Se observa que la tipología de las vigas armadas que conforman el conjunto de vigas carril de las naves de expediciones y APA es de viga en doble Te simétricas, por lo tanto su momento crítico de vuelco ( $M_{cr}$ ) se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$M_{cr} = c_1 \cdot \frac{\pi}{k_\Phi \cdot l} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{k^2} \cdot (1 + c_2^2)} \pm c_2 \cdot \frac{\pi}{k} \right] \quad (11)$$

Donde:  $l$  = Longitud de la viga

$I_z$  = Momento de inercia en Z

$I_t$  = Módulo de torsión (tabla 8.4. del libro)

$E$  = Módulo de elasticidad

$G$  = Modulo de elasticidad transversal

$k_\Phi$  = Coeficiente que define la longitud de vuelco lateral de la viga

$c_1$  = Coeficiente que depende del tipo de carga y de las condiciones de sustentación

$c_2$  = Coeficiente que depende de la posición de la carga con respecto al eje Z de la viga

$k$  = es un coeficiente definido por una expresión que se mostrara a continuación.

**NOTA:** El símbolo  $\pm$  hace referencia a la posición de la carga sobre la viga; si la carga se sitúa en el ala inferior de la viga se utilizará el símbolo (+), si en cambio esta se coloca en el ala superior de la misma se usara el símbolo (-).

$k\Phi$  toma los siguientes valores:

$k\Phi = 1$  si los apoyos están liberan el giro torsional.

$k\Phi = 0.5$  si los apoyos son empotramientos.

$k\Phi = 0.7$  si un apoyo es libre y el otro un empotramiento.

Los coeficientes,  $c_1$  y  $c_2$  se obtienen de la tabla 8.2 del libro.

Para obtener el coeficiente  $k$ , se utilizará la siguiente expresión:

$$k = k_{\Phi} \cdot l \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}} = k_{\Phi} \cdot l \cdot \sqrt{\frac{I_t}{2.6 \cdot I_w}} \quad (12)$$

Donde:  $l$  = Longitud de la viga

$k\Phi$  = Coeficiente que define la longitud de vuelco lateral de la viga

$G$  = Modulo de elasticidad transversal

$E$  = Módulo de elasticidad

$I_t$  = Módulo de torsión (tabla 8.4. del libro)

$I_w$  = Módulo de alabeo (tabla 8.4. del libro)

$$k = 1 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{1117.37/100^4}{2.6 \cdot 103.26 \cdot 10^8/100^5}}$$

$$\mathbf{k = 0.031}$$

Para calcular el módulo de torsión del perfil que conforma la viga carril se ha seguido la siguiente expresión correspondiente a vigas doble Te simétricas que se encuentra en la tabla 8.4. del libro:

$$I_t = \frac{2 \cdot b \cdot t_1^3 + b_3 \cdot t_3^3}{3} \quad (13)$$

Donde:  $b$  = ancho del ala de la viga  
 $t_1$  = espesor del ala de la viga  
 $b_3$  = altura del alma de la viga  
 $t_3$  = espesor del alma de la viga

$$I_t = \frac{2 \cdot 40 \cdot 3^3 + 149 \cdot 2^3}{3}$$

$$I_t = 1117.34 \text{ Cm}^4$$

Para calcular el modulo de alabeo de la viga carril se ha seguido la siguiente expresión correspondiente a vigas doble Te simétricas que se encuentra en la tabla 8.4. del libro:

$$I_w = I_z \cdot \frac{h^2}{4} \quad (14)$$

Donde:  $h$  = distancia entre los centros de los espesores de las dos alas de la viga

$$I_w = 1937744.8 \cdot \frac{\left(149 - 2 \cdot \left(\frac{3}{2}\right)\right)^2}{4}$$

$$I_w = 10326242039 \text{ Cm}^4 \rightarrow 103.26 \cdot 10^8 \text{ Cm}^5$$

Sustituyendo todos los valores anteriormente calculados en la expresión (10), se obtiene el momento crítico de vuelco para las vigas carrileras de 15 metros:

$$M_{cr} = 1.046 \cdot \frac{3.14}{1 \cdot 15} \cdot \sqrt{8.1 \cdot 10^{10} \cdot 1117.34 \cdot 10^{-8} \cdot 2.1 \cdot 10^{11} \cdot 1937744.810^{-8}} \\
 \cdot \left[ \sqrt{1 + \frac{3.14^2}{0.031^2} \cdot (1 + 0.430^2)} - 0.430 \cdot \frac{3.14}{0.03} \right]$$

$$\mathbf{M_{cr} = 887.8 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

**NOTA:** Se han tomado los siguientes valores para  $c_1$  y  $c_2$  obtenidos de la tabla 8.2 del libro, siendo estos para el valor de  $k\Phi = 1$  los siguientes.  $c_1 = 1.046$ , y  $c_2 = 0.430$ .

### 3.4. HIPÓTESIS DE CARGA

#### 3.4.1. UN PUENTE GRÚA SOBRE VIGA CARRIL DE 15 METROS

Se han tenido en cuenta cuatro posibles casos para esta hipótesis:

1. Solo se considera el peso propio de la viga ( $Q_{vc}$ ) y el del puente ( $V_{max}$ ) parado sobre ella.
2. Se consideran el peso propio de la viga ( $Q_{vc}$ ), las cargas verticales del puente ( $V_{max}$ ) y las horizontales introducidas por el movimiento del carro ( $H_c$ ).
3. Se consideran los pesos propios de la viga ( $Q_{vc}$ ), las cargas verticales ( $V_{max}$ ), las cargas longitudinales horizontales (HL) y las cargas horizontales transversales ( $H_p$ ) introducidos estas dos últimas por el movimiento del puente grúa.
4. Se consideran el peso propio de la viga ( $Q_{vc}$ ), las cargas verticales ( $V_{max}$ ) y las cargas horizontales debidas a la macha oblicua del puente ( $H_o$ ).

En todos los casos anteriores se ha considerado que el puente se encuentra en el centro del vano de las vigas de 15 metros, los cálculos y comprobaciones se han realizado utilizando el software SAP200 V14.

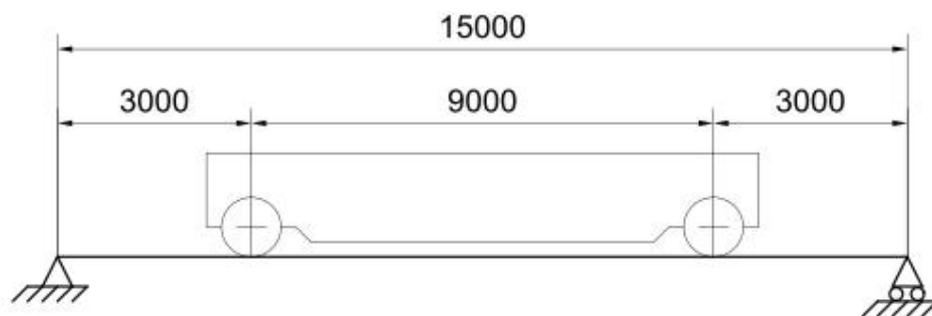


Figura 4. Ubicación del puente grúa para los cálculos de los casos anteriormente descritos.

**CASO 1:**

Se analiza a continuació el caso 1 correspondiente al puente grúa parado donde solo actúan las cargas debidas al peso propio de la viga carril ( $Q_{vc}$ ) y del puente con su carga ( $V_{max}$ ).

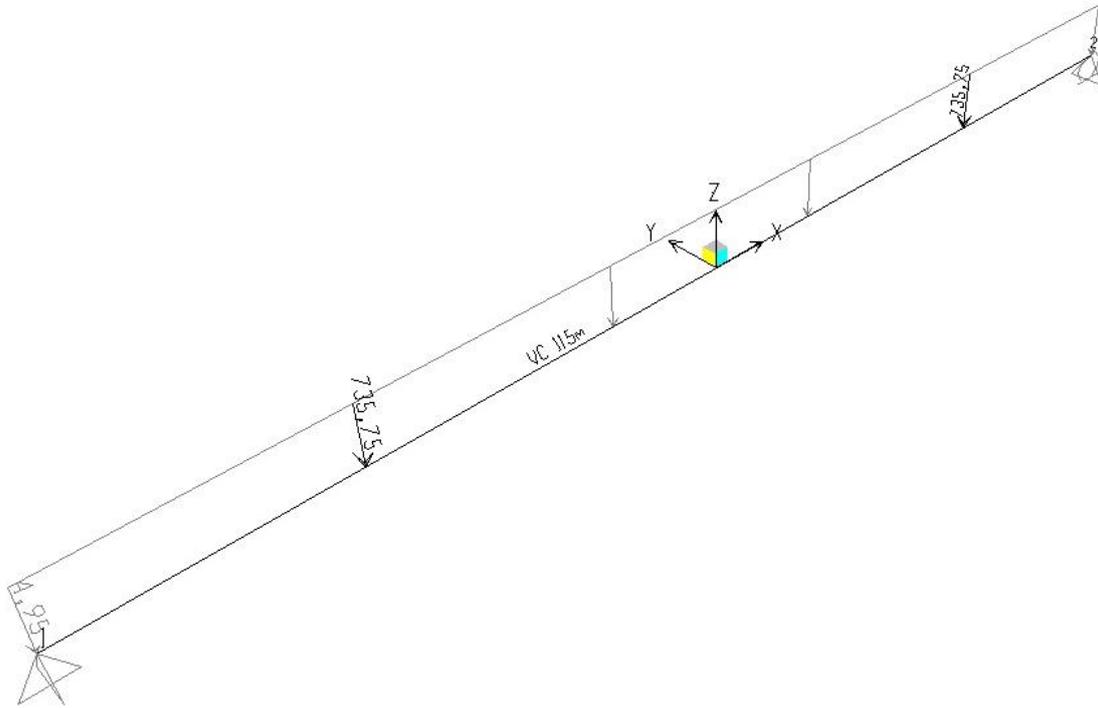


Imagen 15. Disposición de cargas sobre la viga carril.

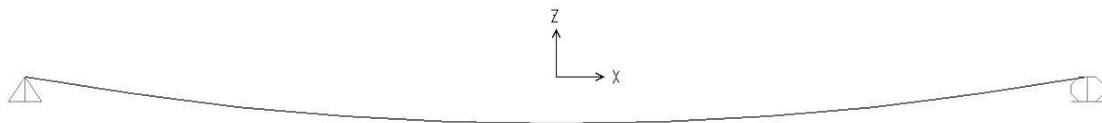


Imagen 16. Deformada de la viga carril en el plano XZ.

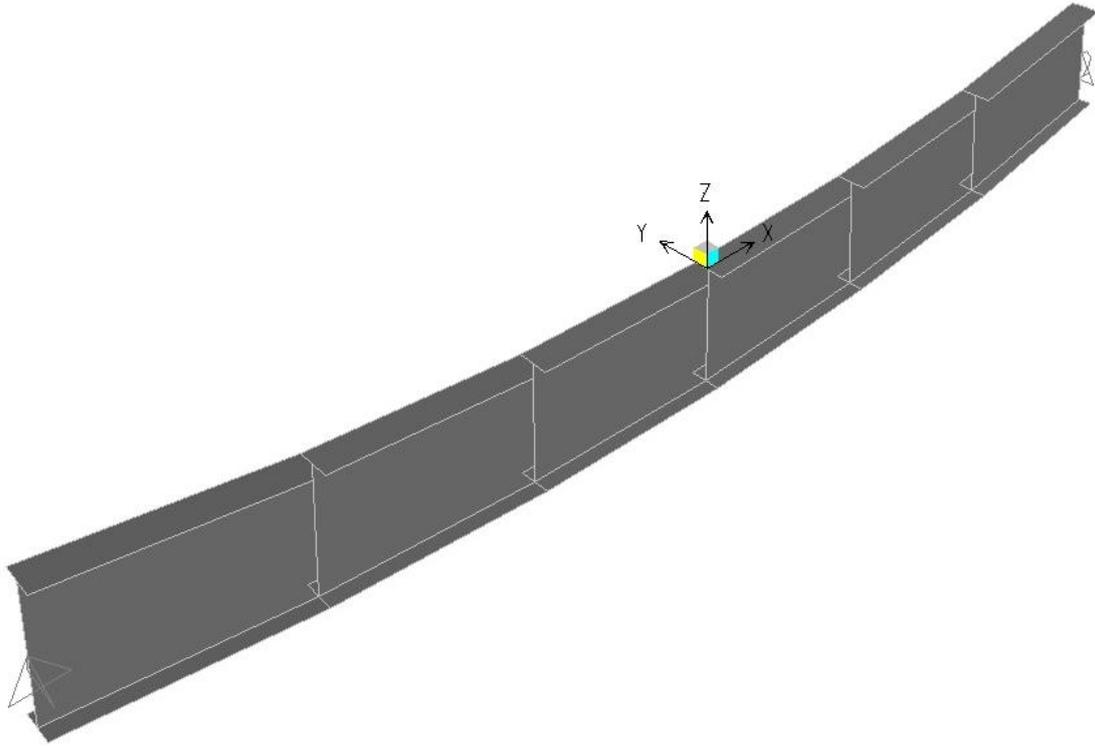


Imagen 17. Deformada real de la viga carril

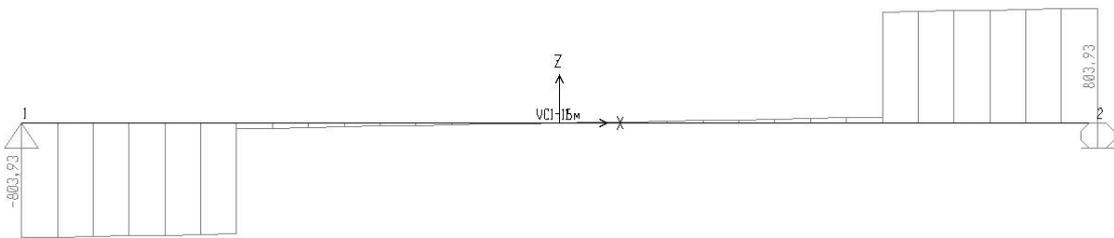


Imagen 18. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XZ

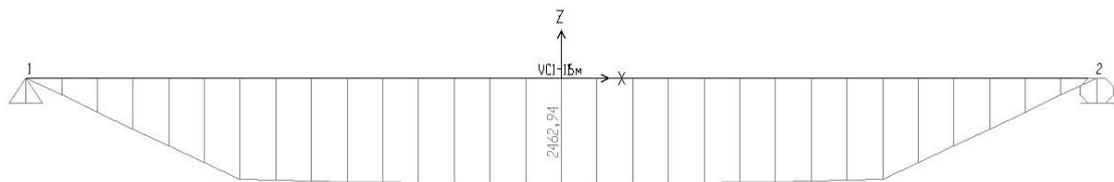


Imagen 19. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XZ

Tabla resumen	
Cortante máximo	803.93 kN
Cortante mínimo	-803.93 kN
Momento máximo	2462.94 kN·m

Tabla 9. Esfuerzos máximos y mínimos en la viga

Table: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m
1	HIPOTESIS 1	LinStatic	0,000	0,000	<b>803,934</b>	0,0000	0,0000	0,0000
2	HIPOTESIS 1	LinStatic	0,000	0,000	<b>803,934</b>	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla: 10. Reacciones en los apoyos de la viga carrilera.

**CASO 2:**

Se analiza a continuació el caso 2 correspondiente al puente grúa parado pero con movimiento del carro cargado donde intervienen  $(Q_{vc})$ ,  $(V_{max})$  y  $(H_c)$ .

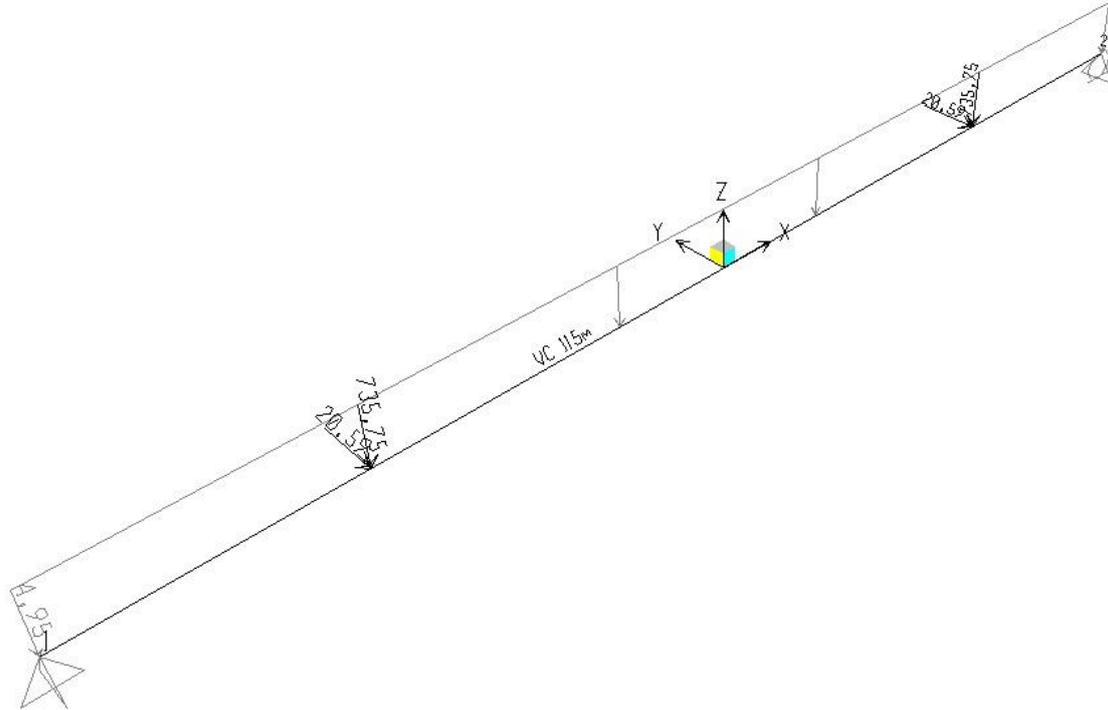


Imagen 20. Disposición de cargas sobre la viga carril.

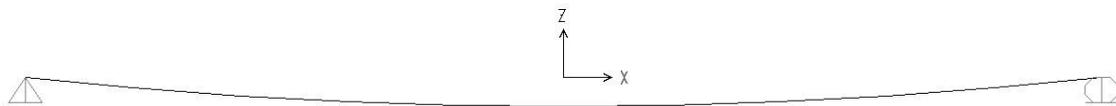


Imagen 21. Deformada de la viga carril en el plano XZ

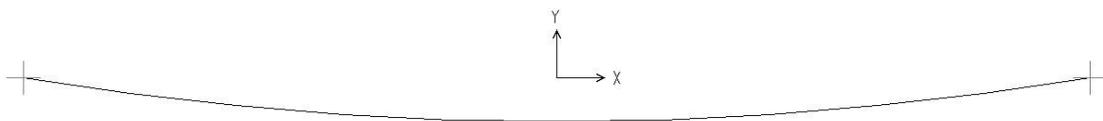


Imagen 22. Deformada de la viga carril en el plano XY

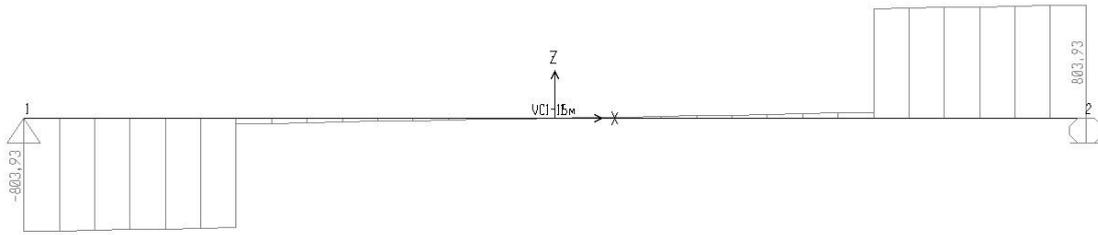


Imagen 23. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XZ

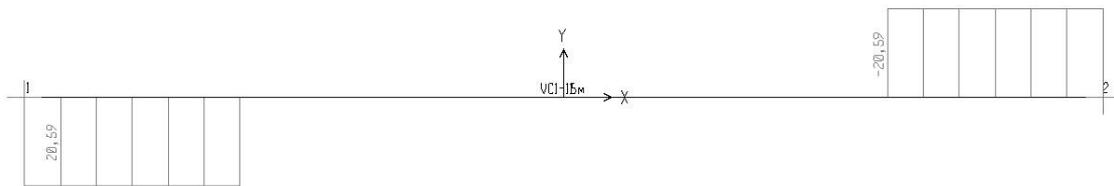


Imagen 24. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XY

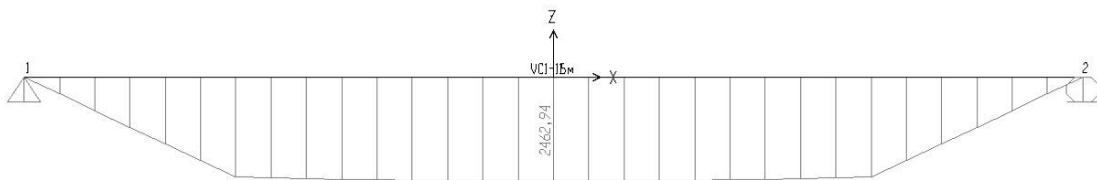


Imagen 25. Diagrama de esfuerzos flectores verticales

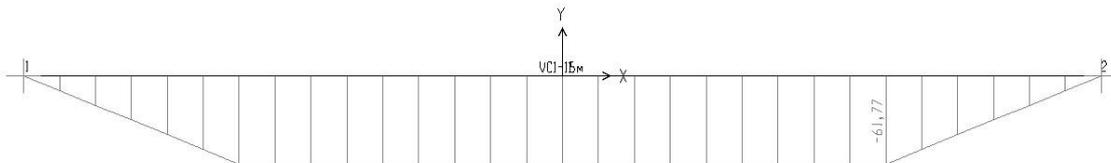


Imagen 26. Diagrama de esfuerzos flectores horizontales

Tabla resumen	
Cortante vertical máximo	803.93 kN
Cortante vertical mínimo	-803.93 kN
Cortante horizontal máximo	20.59 kN
Cortante horizontal mínimo	-20.59 kN
Momento vertical máximo	2462.94 kN·m
Momento horizontal máximo	-61.77 kN·m

Tabla 11. Esfuerzos máximos y mínimos en la viga

Table: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m
1	HIPOTESIS 2	LinStatic	0,000	<b>20,590</b>	<b>803,934</b>	0,0000	0,0000	0,0000
2	HIPOTESIS 2	LinStatic	0,000	<b>20,590</b>	<b>803,934</b>	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla: 12. Reacciones en los apoyos de la viga carrilera.

**CASO 3:**

Se analiza a continuación el caso 3 correspondiente al puente grúa cargado y en movimiento, donde intervienen ( $Q_{vc}$ ), ( $V_{max}$ ), ( $H_p$ ) y ( $HL$ ).

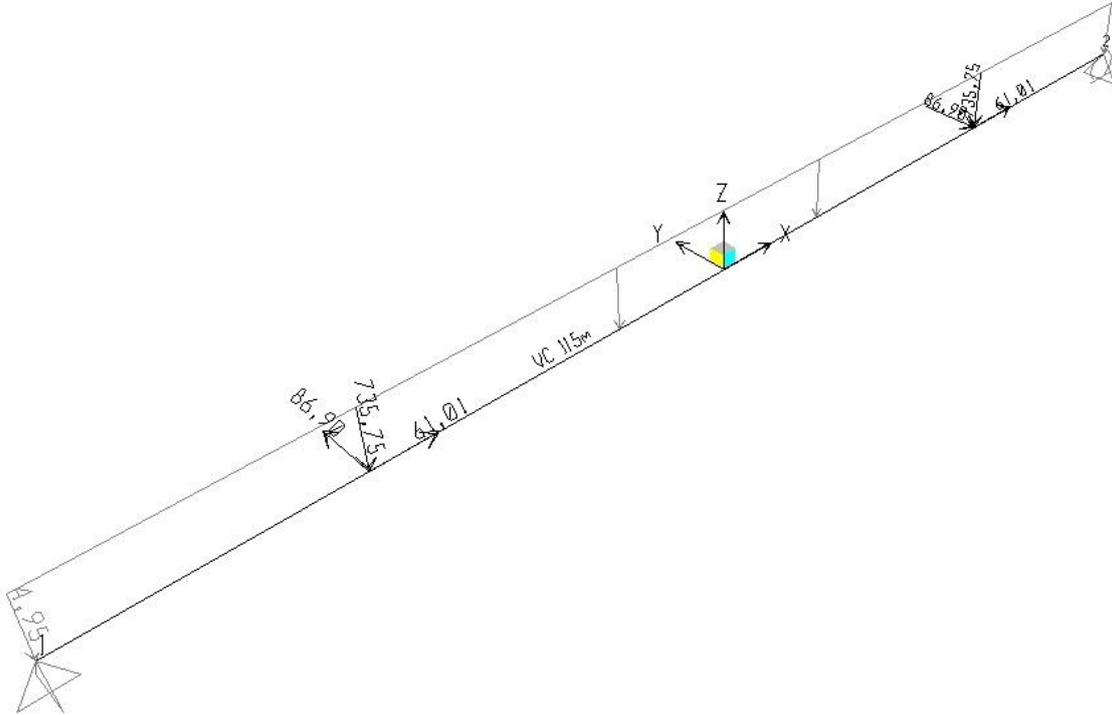


Imagen 27. Disposición de cargas sobre la viga carril.

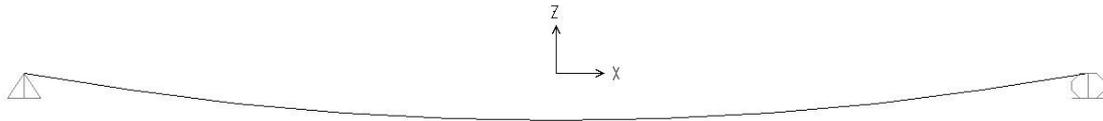


Imagen 28. Deformada de la viga carril en el plano XZ.

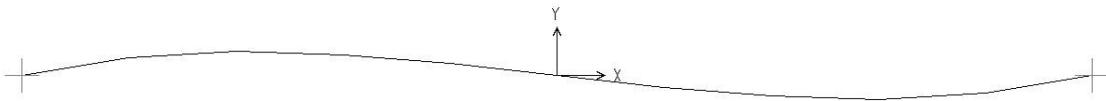


Imagen 29. Deformada de la viga carril en el plano XY.

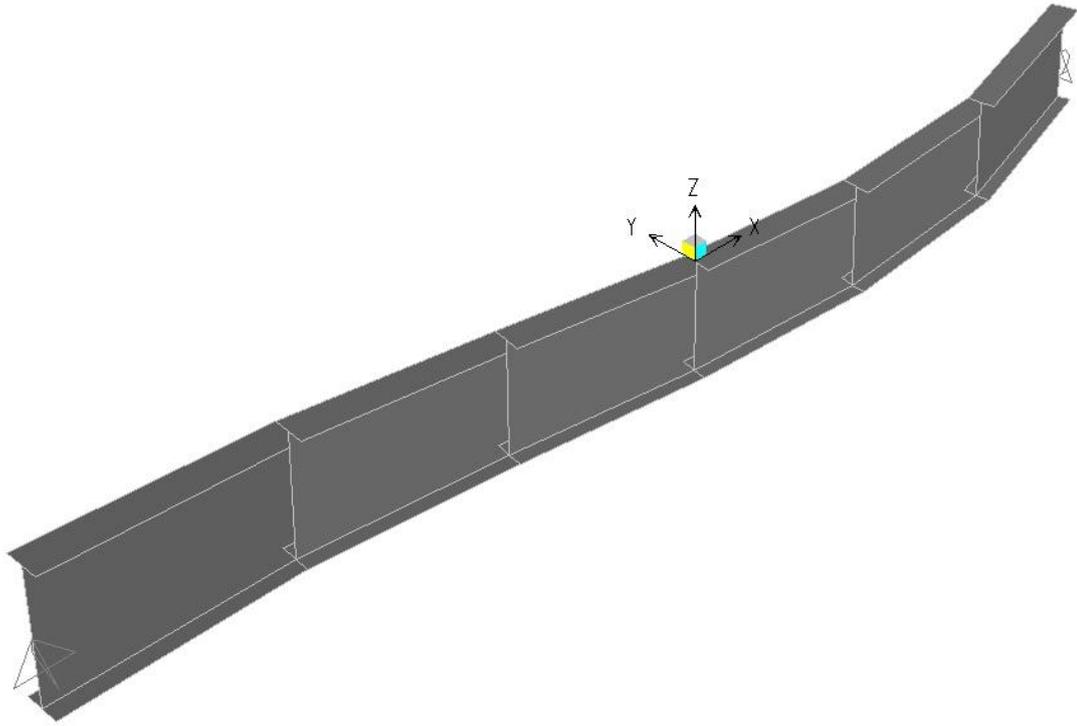


Imagen 30. Deformada real de la viga carril

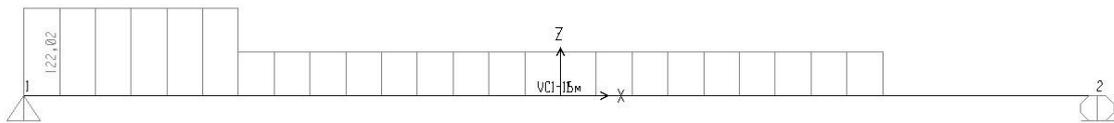


Imagen 31. Diagrama de esfuerzos axiales

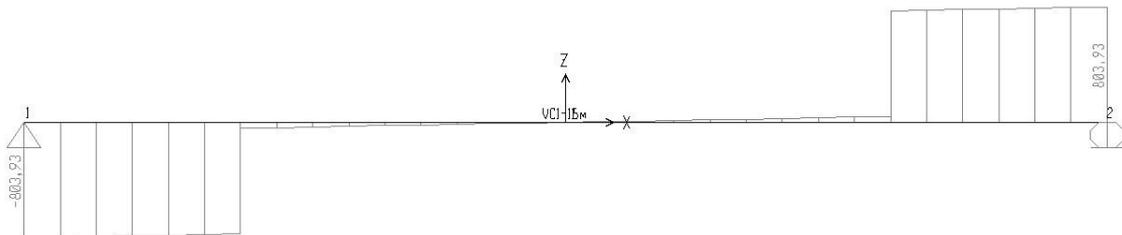


Imagen 32. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XZ

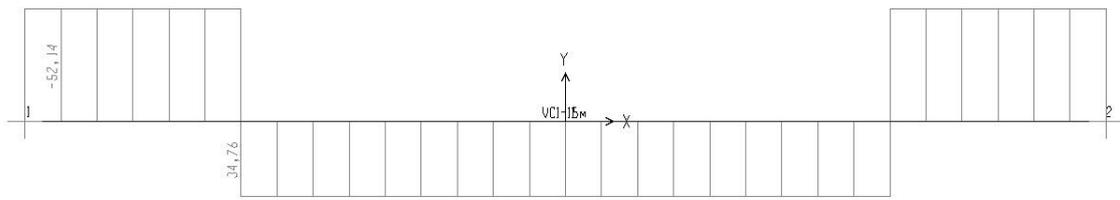


Imagen 33. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XY

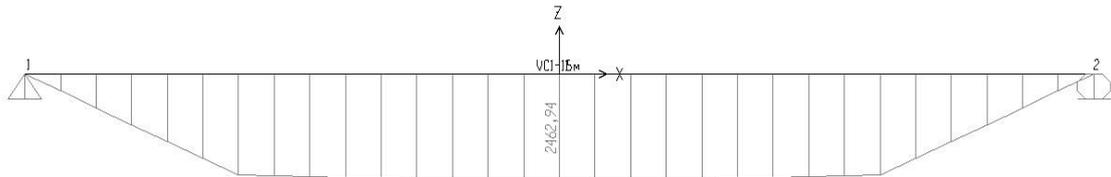


Imagen 34. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XZ

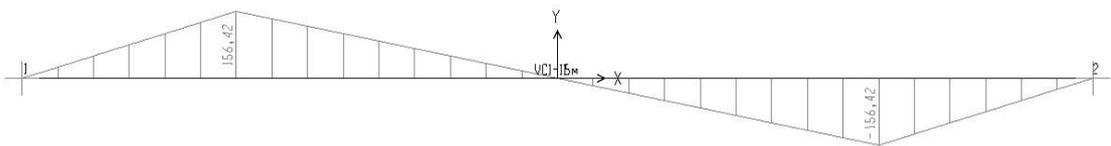


Imagen 35. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XY

Tabla resumen	
Axil máximo	122.02 kN
Axil mínimo	61.01 kN
Cortante vertical máximo	803.93 kN
Cortante vertical mínimo	-803.93 kN
Cortante horizontal máximo	34.76 kN
Cortante horizontal mínimo	-52.14 kN
Momento vertical máximo	2462.94 kN·m
Momento horizontal máximo	156.42 kN·m
Momento horizontal mínimo	-156.42 kN·m

Tabla 13. Esfuerzos máximos y mínimos en la viga

Table: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m
1	HIPOTESIS 3	LinStatic	<b>-122,020</b>	<b>-52,140</b>	<b>803,934</b>	0,0000	0,0000	0,0000
2	HIPOTESIS 3	LinStatic	0,000	<b>52,140</b>	<b>803,934</b>	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla: 14. Reacciones en los apoyos de la viga carrilera.

**CASO 4:**

Se analiza a continuación el caso 4 correspondiente a la marcha oblicua del puente grúa cargado, donde intervienen ( $Q_{vc}$ ), ( $V_{max}$ ) y ( $H_o$ ).

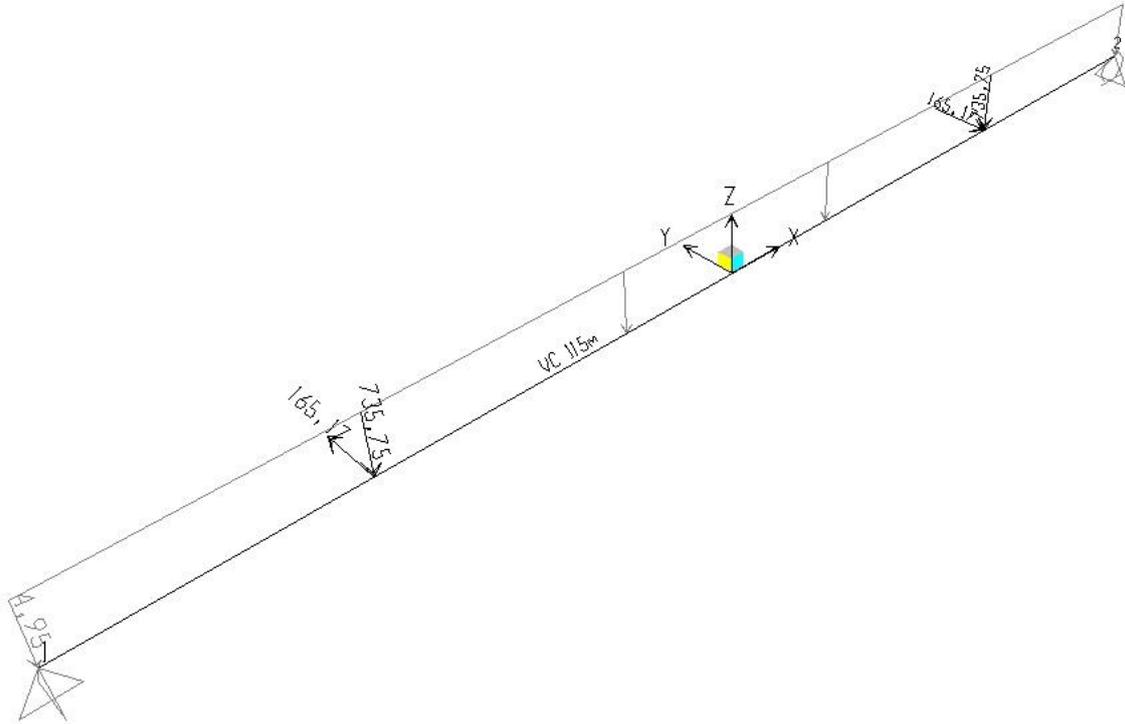


Imagen 36. Disposición de cargas sobre la viga carril.

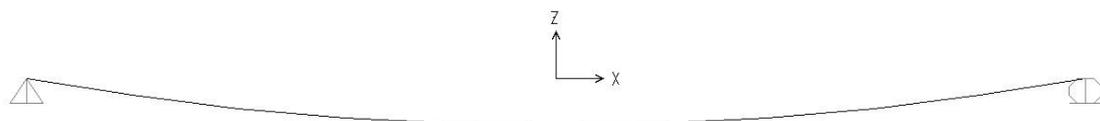


Imagen 37. Deformada de la viga carril en el plano XZ.

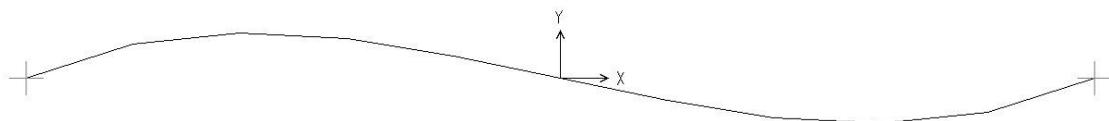


Imagen 38. Deformada de la viga carril en el plano XY.

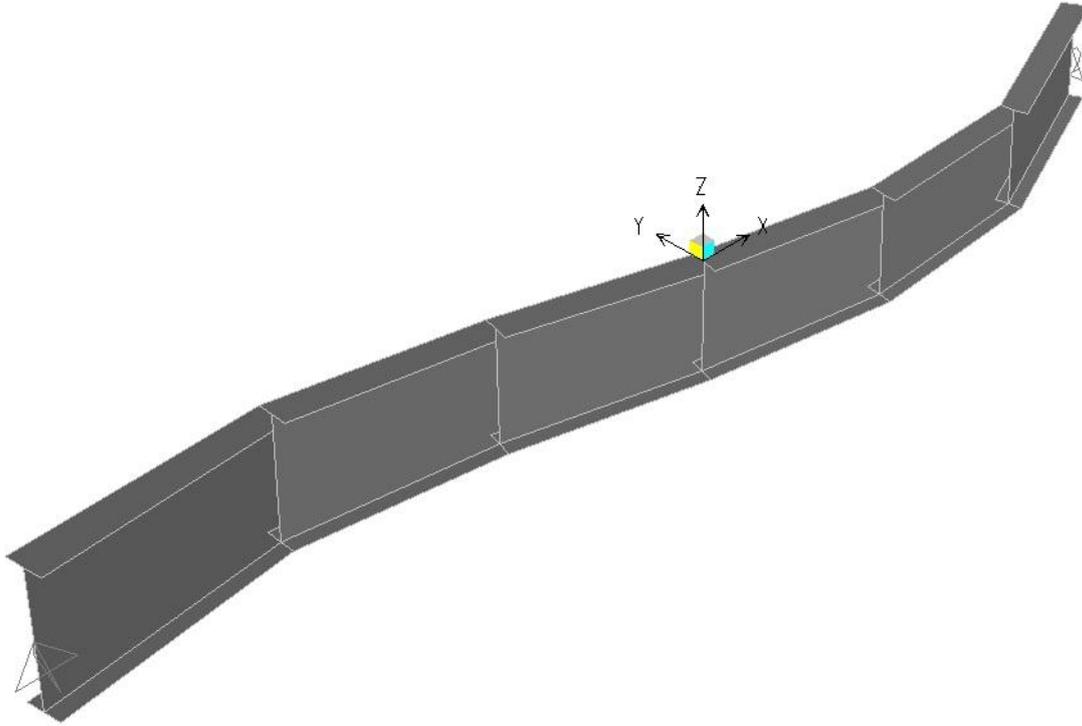


Imagen 39. Deformada real de la viga carril

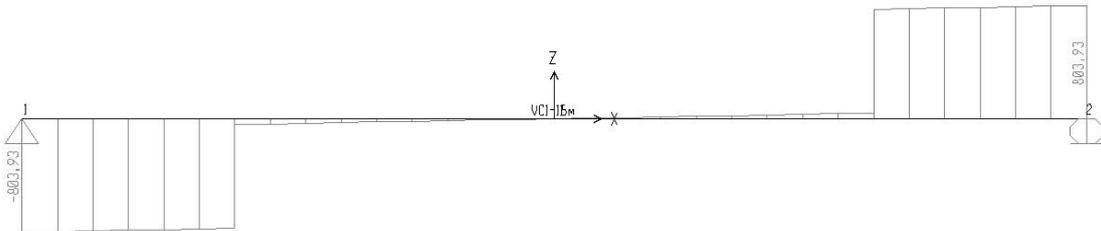


Imagen 40. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XZ

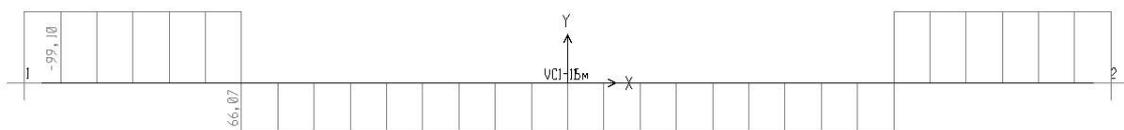


Imagen 41. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XY

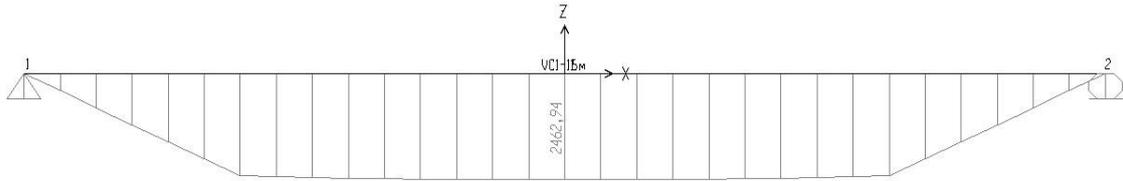


Imagen 42. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XZ

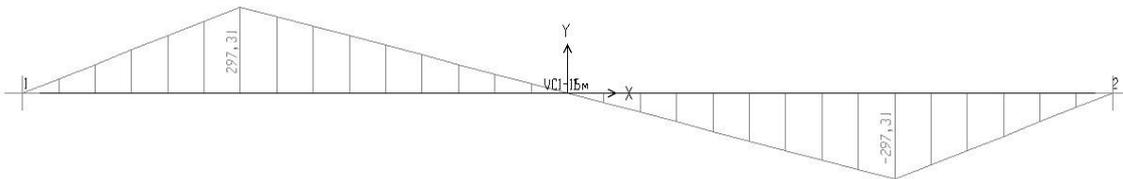


Imagen 43. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XY

Tabla resumen	
Cortante vertical máximo	803.93 kN
Cortante vertical mínimo	-803.93 kN
Cortante horizontal máximo	66.07 kN
Cortante horizontal mínimo	-66.07 kN
Momento vertical máximo	2462.94 kN·m
Momento horizontal máximo	297.31 kN·m
Momento horizontal mínimo	-297.31 kN·m

Tabla 15. Esfuerzos máximos y mínimos en la viga

Table: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m	
1	HIPOTESIS 4	LinStatic	0,000	<b>-99,102</b>	<b>803,934</b>	0,0000	0,0000	0,0000	
2	HIPOTESIS 4	LinStatic	0,000	<b>99,102</b>	<b>803,934</b>	0,0000	0,0000	0,0000	

Tabla: 16. Reacciones en los apoyos de la viga carrilera.

### 3.4.2. DOS PUENTES GRÚA SOBRE VIGA CARRIL DE 15 METROS

Se han tenido en cuenta cuatro posibles casos para esta hipótesis:

5. Solo se considera el peso propio de la viga ( $Q_{vc}$ ), de un puente y de la mitad del otro ( $V_{max}$ ) parados sobre ella.
6. Se consideran el peso propio de la viga ( $Q_{vc}$ ), las cargas verticales de un puente y de la mitad del otro ( $V_{max}$ ) y las horizontales introducidas por el movimiento de los carros ( $H_c$ ).
7. Se consideran los pesos propios de la viga ( $Q_{vc}$ ), las cargas verticales ( $V_{max}$ ), las cargas longitudinales horizontales ( $H_L$ ) y las cargas horizontales transversales ( $H_p$ ) introducidos estas dos últimas por el movimiento de los puentes grúa.
8. Se consideran el peso propio de la viga ( $Q_{vc}$ ), las cargas verticales ( $V_{max}$ ) y las cargas horizontales debidas a las machas oblicuas de los puentes ( $H_o$ ).

En todos los casos anteriores se ha considerado que un puente se encuentra completamente dentro de la viga carrilera, y que el otro está parcialmente dentro de la misma, las cargas se han considerado lo mas centradas posible dentro del vano de las vigas de 15 metros por considerarse la situación más desfavorable, los cálculos y comprobaciones se han realizado utilizando el software SAP200 V14.

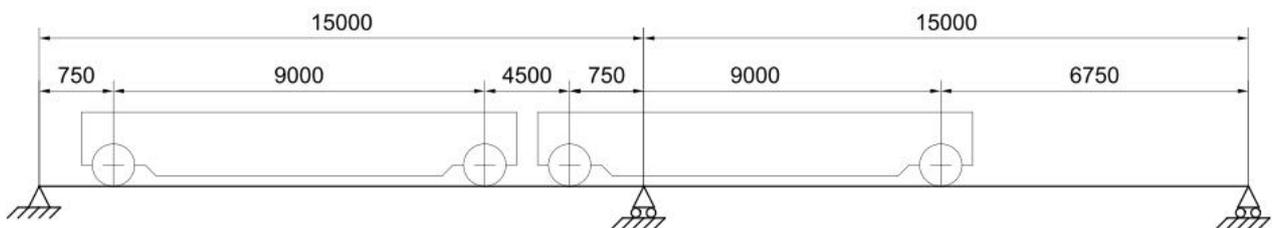


Figura 5. Ubicación de los puentes grúa para los cálculos de los casos anteriormente descritos.

**CASO 1:**

Se analiza a continuación el caso 1 correspondiente a los puentes grúa parados donde solo actúan las cargas debidas al peso propio de la viga carril ( $Q_{vc}$ ) y de los puentes con su carga ( $V_{max}$ ).

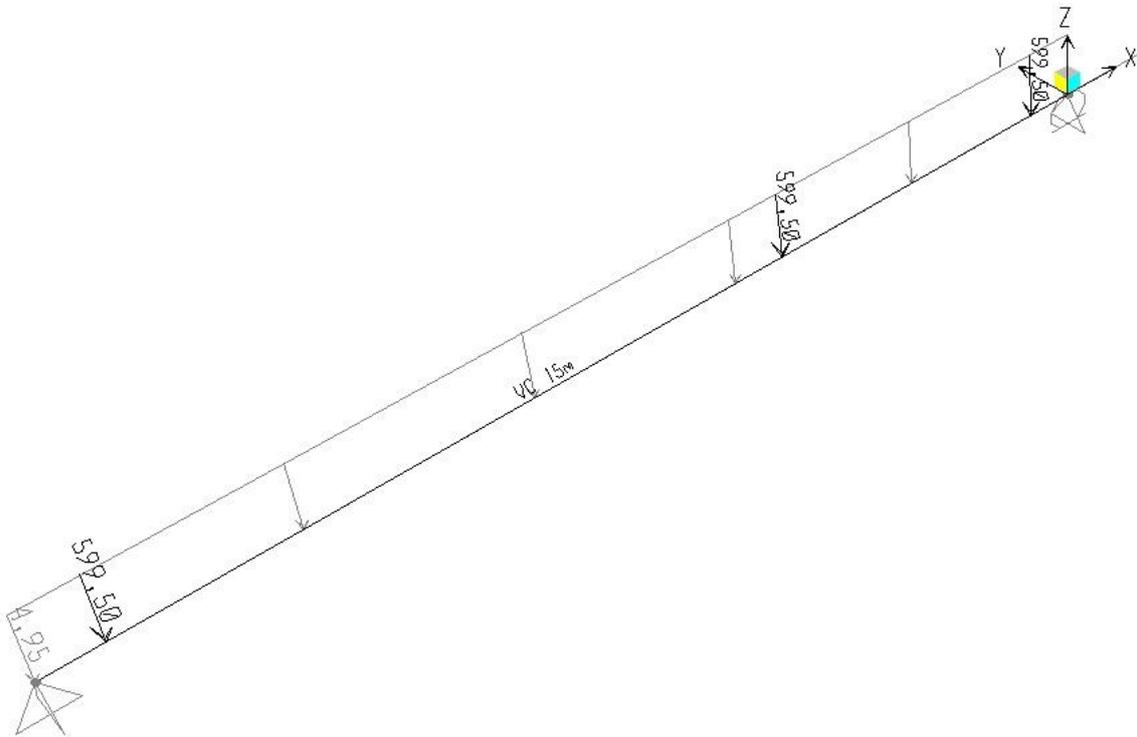


Imagen 44. Disposición de cargas sobre la viga carril.



Imagen 45. Deformada de la viga carril en el plano XZ.

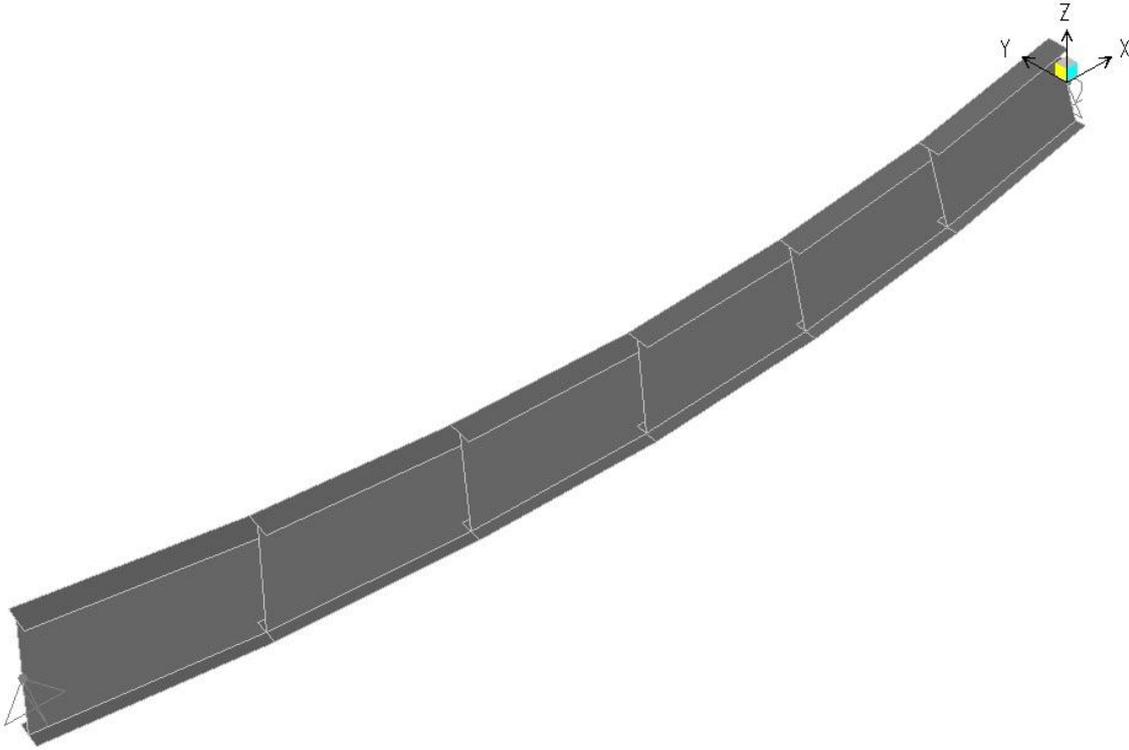


Imagen 46. Deformada real de la viga carril.

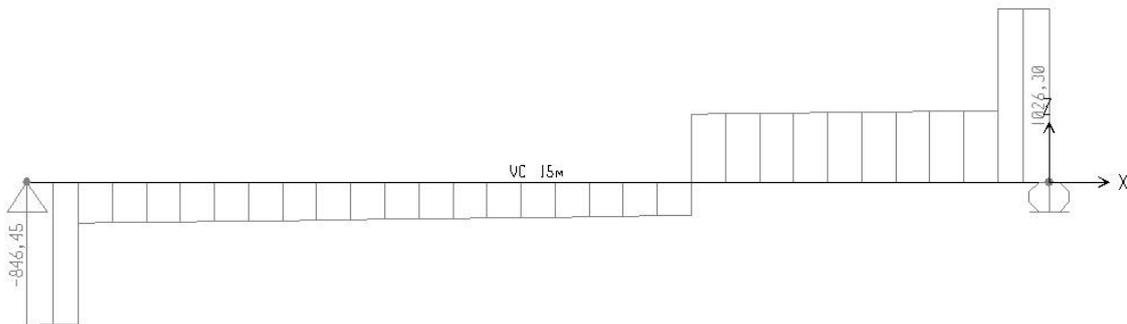


Imagen 47. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XZ.

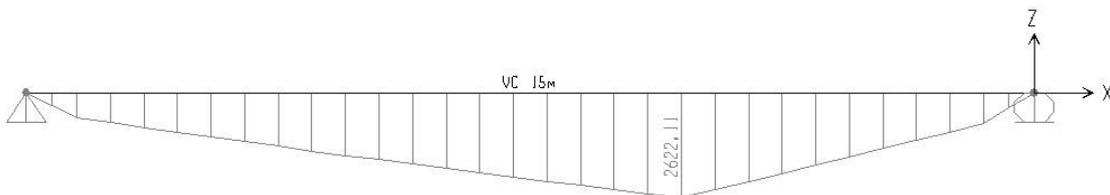


Imagen 48. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XZ.

Tabla resumen	
Cortante máximo	1026.30 kN
Cortante mínimo	-846.45 kN
Momento máximo	2622.11 kN·m

Tabla 17. Esfuerzos máximos y mínimos en la viga

**Table: Joint Reactions**

Joint	OutputCase	CaseType	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m
1	CASO 1	LinStatic	0,000	0,000	<b>846,450</b>	0,0000	0,0000	0,0000
2	CASO 1	LinStatic	0,000	0,000	<b>1026,300</b>	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla: 18. Reacciones en los apoyos de la viga carrilera.

**CASO 2:**

Se analiza a continuación el caso 2 correspondiente a los puentes grúa parados pero con movimiento de sus carros cargados, donde intervienen ( $Q_{vc}$ ), ( $V_{max}$ ) y ( $H_c$ ).

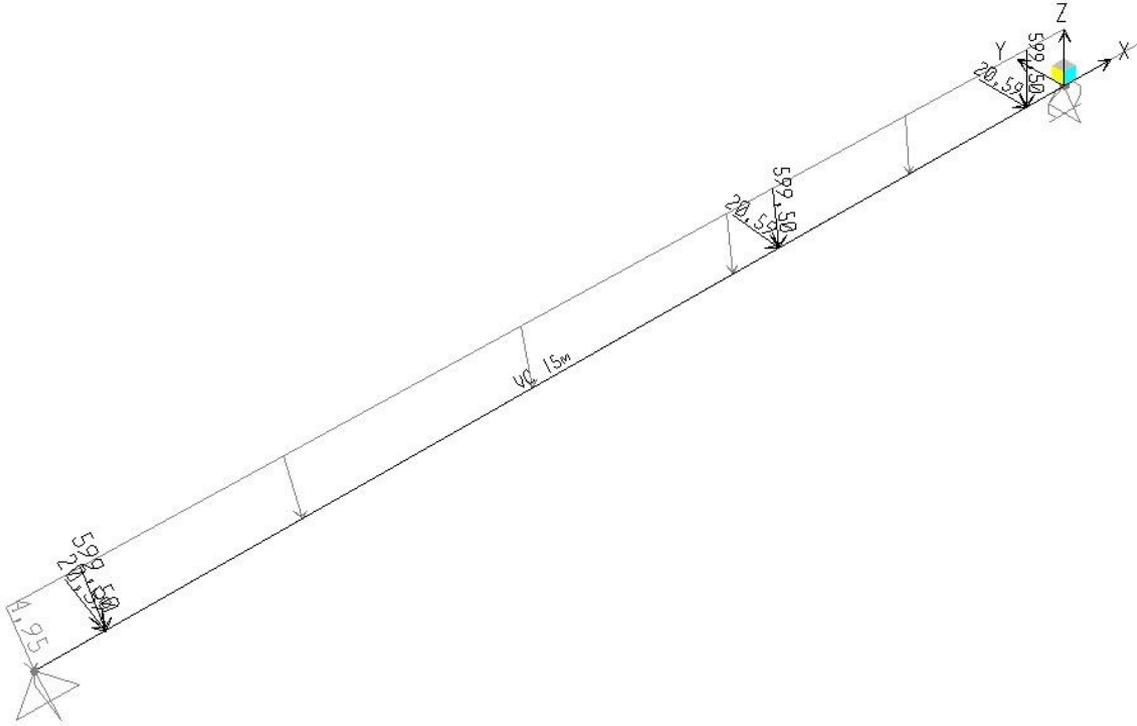


Imagen 49. Disposición de cargas sobre la viga carril.



Imagen 50. Deformada de la viga carril en el plano XZ.



Imagen 51. Deformada de la viga carril en el plano XY.

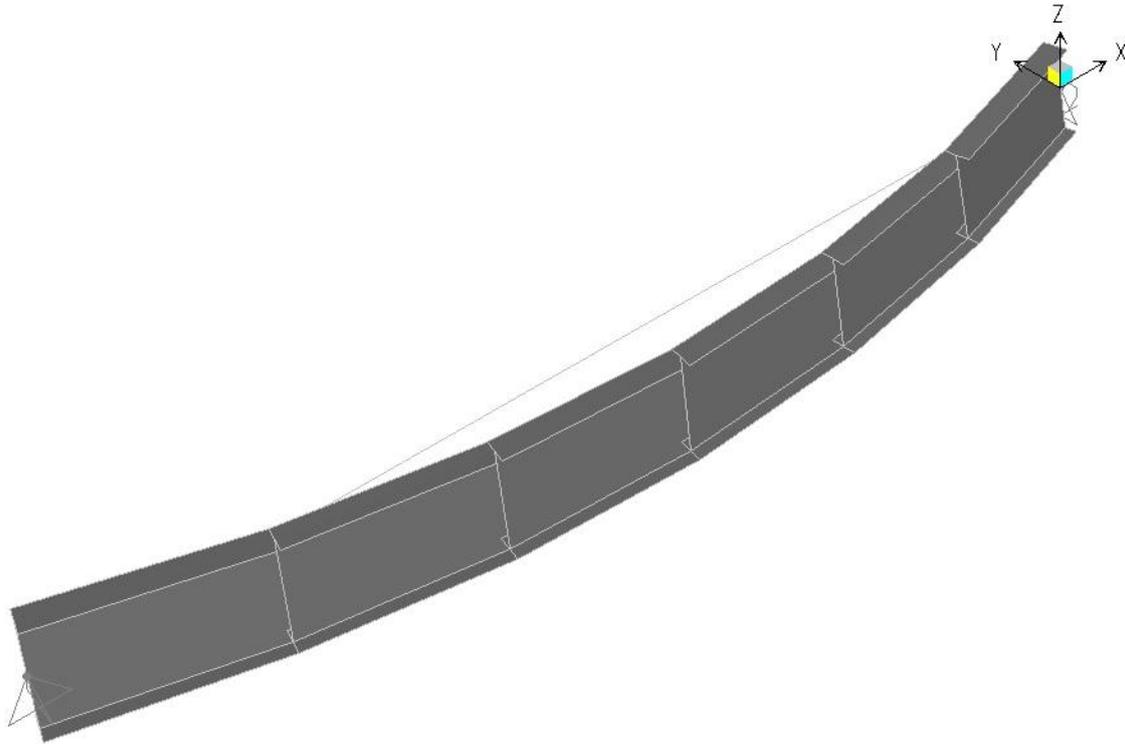


Imagen 52. Deformada real de la viga carril.

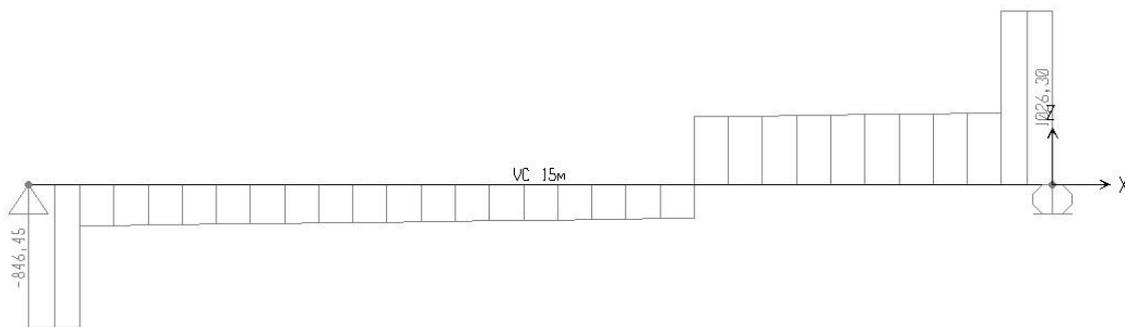


Imagen 53 Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XZ.

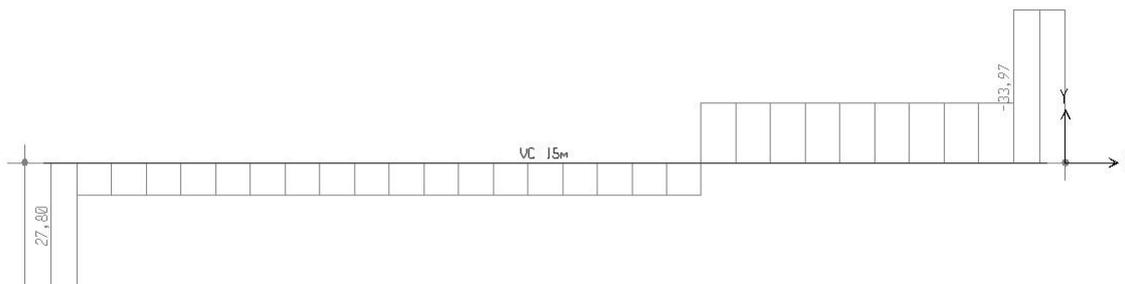


Imagen 54. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XY.

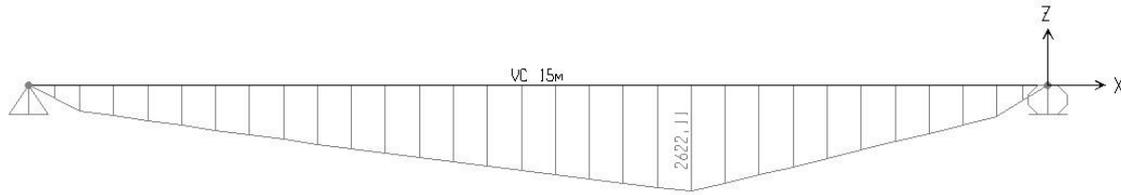


Imagen 55. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XZ.

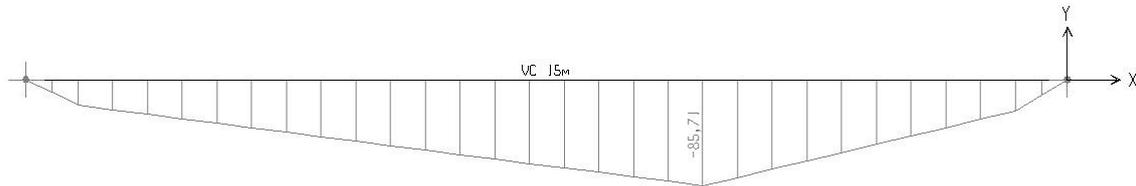


Imagen 56. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XY.

Tabla resumen	
Cortante vertical máximo	1026.30 kN
Cortante vertical mínimo	-846.45 kN
Cortante horizontal máximo	27.80 kN
Cortante horizontal mínimo	-33.97 kN
Momento vertical máximo	2622.11 kN·m
Momento horizontal máximo	-85.71 kN·m

Tabla 19. Esfuerzos máximos y mínimos en la viga

Table: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m
1	CASO 2	LinStatic	0,000	<b>27,797</b>	<b>846,450</b>	0,0000	0,0000	0,0000
2	CASO 2	LinStatic	0,000	<b>33,974</b>	<b>1026,300</b>	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla: 20. Reacciones en los apoyos de la viga carrilera.

**CASO 3:**

Se analiza a continuació el caso 3 correspondiente a los puentes grúa cargados y en movimiento, donde intervienen ( $Q_{vc}$ ), ( $V_{max}$ ), ( $H_p$ ) y ( $HL$ ).

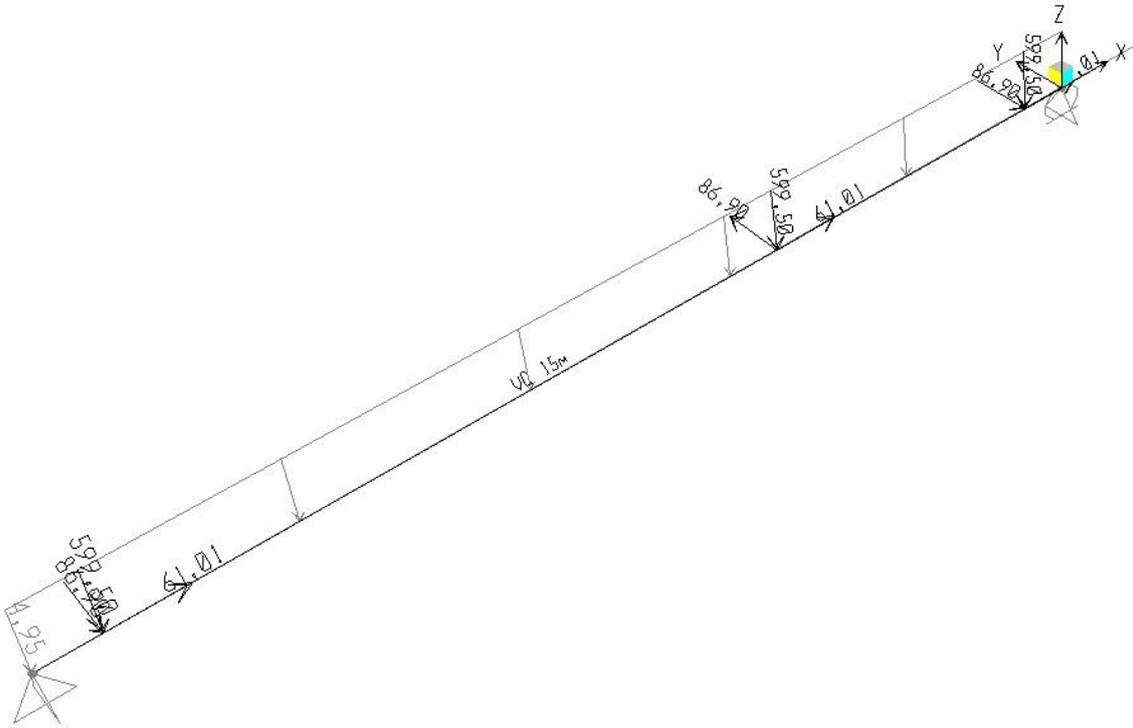


Imagen 57. Disposición de cargas sobre la viga carril.



Imagen 58. Deformada de la viga carril en el plano XZ.



Imagen 59. Deformada de la viga carril en el plano XY.

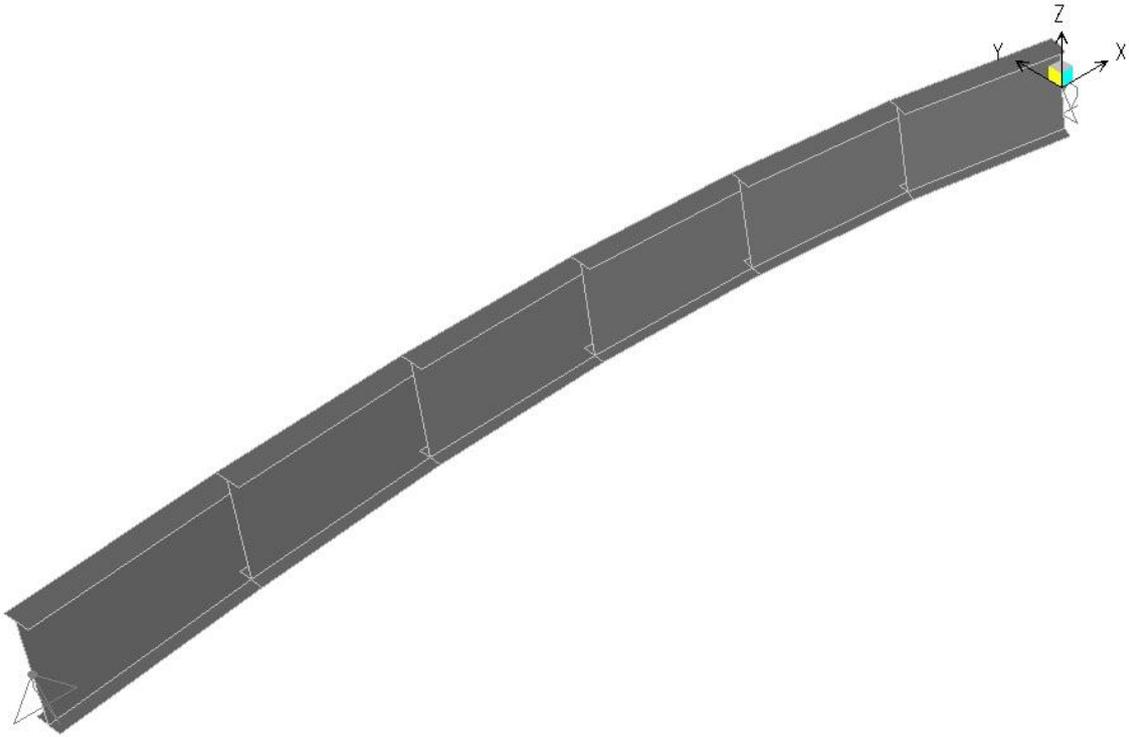


Imagen 60. Deformada real de la viga carril.

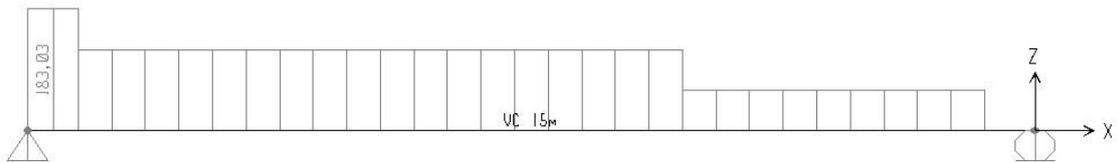


Imagen 61. Diagrama de esfuerzos axiles.

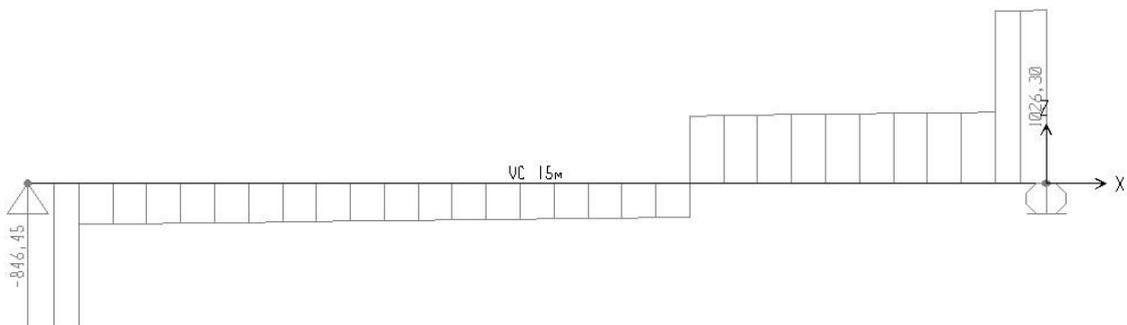


Imagen 62. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XZ.

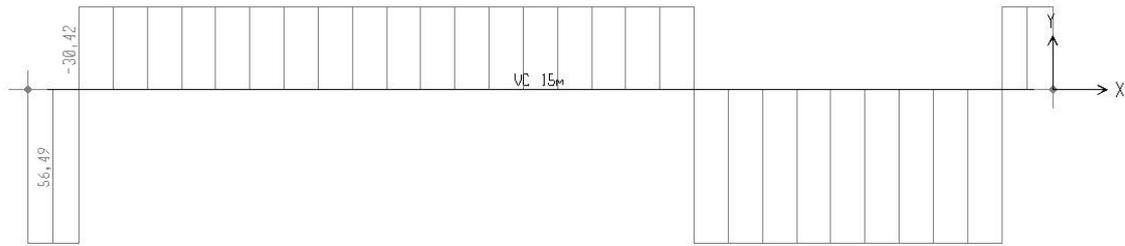


Imagen 63. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XY.

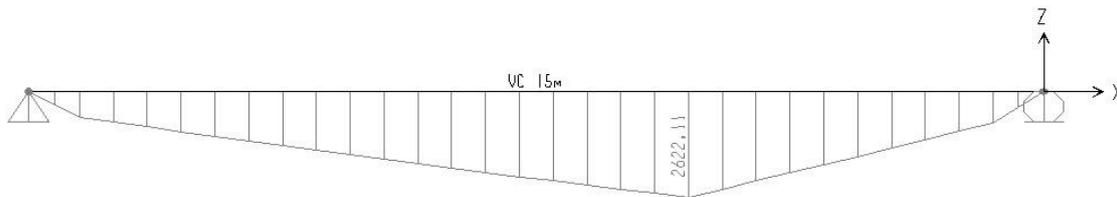


Imagen 64. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XZ.

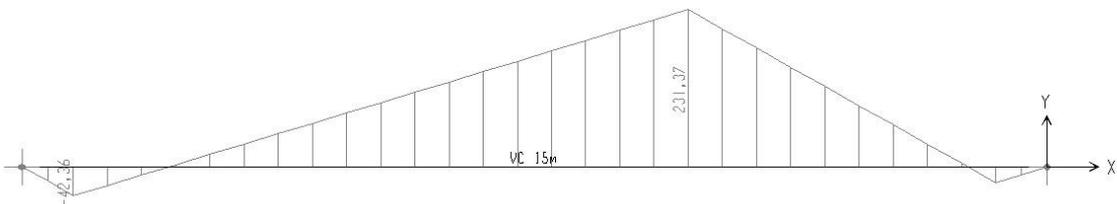


Imagen 65. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XY.

Tabla resumen	
Axil máximo	183.03 kN
Axil mínimo	61.01 kN
Cortante vertical máximo	1026.30 kN
Cortante vertical mínimo	-846.45 kN
Cortante horizontal máximo	54.49 kN
Cortante horizontal mínimo	-30.42 kN
Momento vertical máximo	2622.11 kN·m
Momento horizontal máximo	321.37 kN·m
Momento horizontal mínimo	-42.36 kN·m

Tabla 21. Esfuerzos máximos y mínimos en la viga

**Table: Joint Reactions**

Joint	OutputCase	CaseType	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m
1	CASO 3	LinStatic	<b>-183,030</b>	<b>56,485</b>	<b>846,450</b>	0,0000	0,0000	0,0000
2	CASO 3	LinStatic	0,000	<b>30,415</b>	<b>1026,300</b>	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla: 22. Reacciones en los apoyos de la viga carrilera.



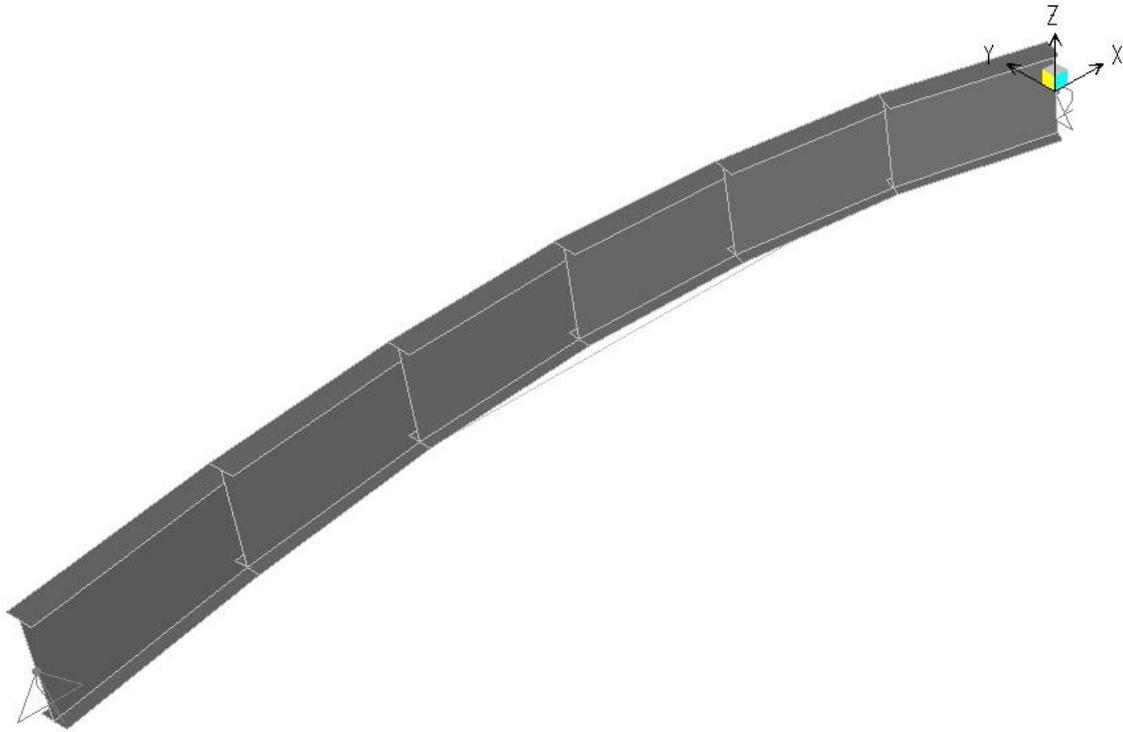


Imagen 69. Deformada real de la viga carril.

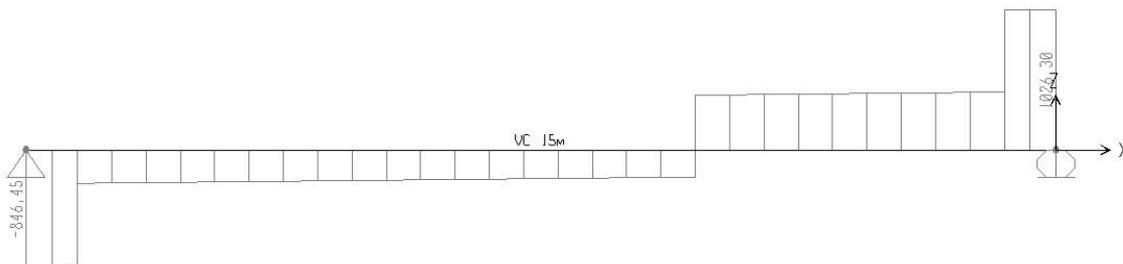


Imagen 70. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XZ.

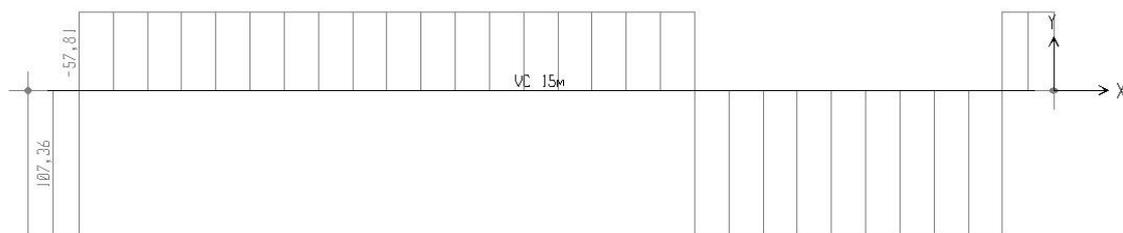


Imagen 71. Diagrama de esfuerzos cortantes en el plano XY.

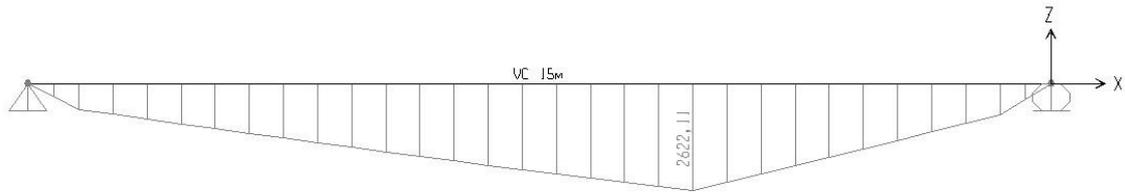


Imagen 72. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XZ.

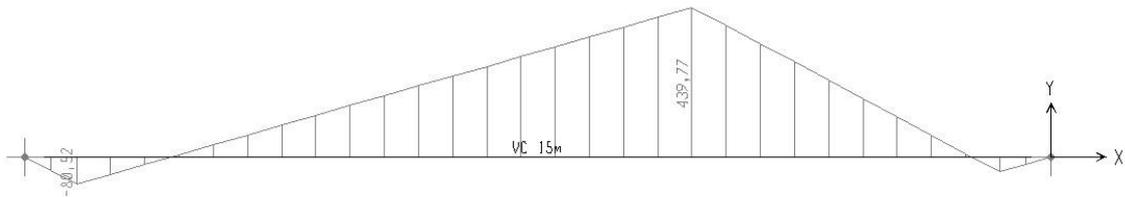


Imagen 73. Diagrama de esfuerzos flectores en el plano XY.

Tabla resumen	
Cortante vertical máximo	1026.30 kN
Cortante vertical mínimo	-846.45 kN
Cortante horizontal máximo	107.36 kN
Cortante horizontal mínimo	-57.81 kN
Momento vertical máximo	2622.11 kN·m
Momento horizontal máximo	439.77 kN·m
Momento horizontal mínimo	-80.52 kN·m

Tabla 23. Esfuerzos máximos y mínimos en la viga

Table: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m	
1	CASO 4	LinStatic	0,000	<b>107,361</b>	<b>846,450</b>	0,0000	0,0000	0,0000	
2	CASO 4	LinStatic	0,000	<b>57,810</b>	<b>1026,300</b>	0,0000	0,0000	0,0000	

Tabla: 24. Reacciones en los apoyos de la viga carrilera.

### 3.5. TABLA RESUMEN DE LAS CARGAS MÁS DESFAVORABLES QUE LLEGAN A LOS SOPORTES

A continuación se muestra una tabla con el resumen de los esfuerzos que llegan a los soportes de las vigas carrileras:

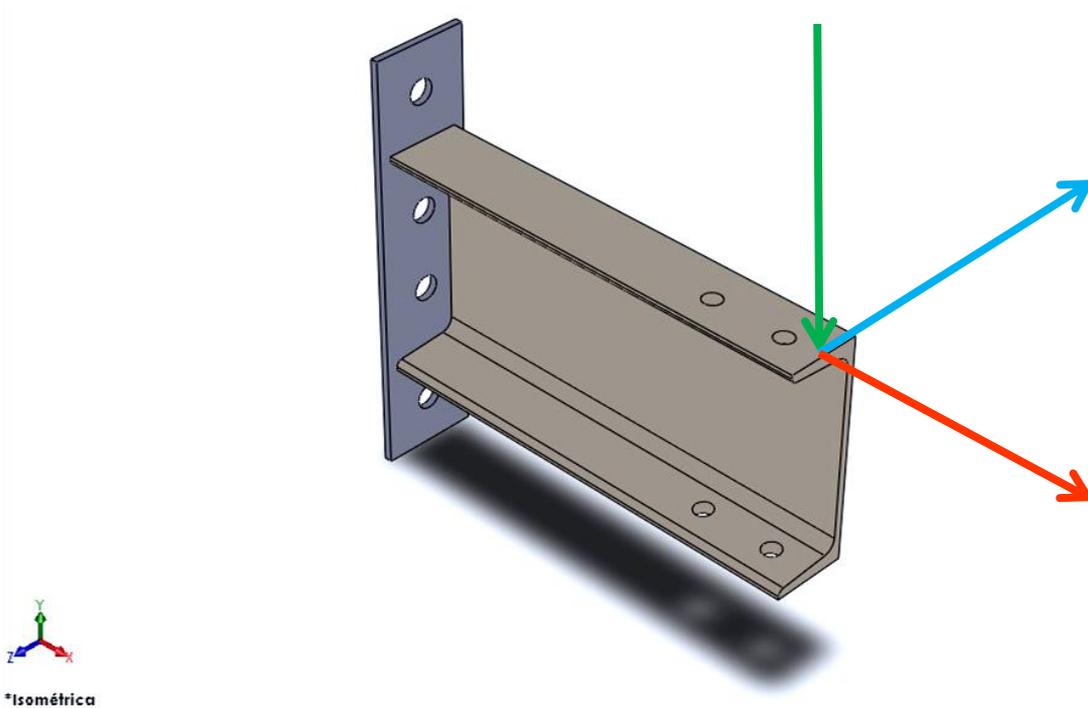


Imagen 74. Disposición de cargas sobre el soporte.

<b>HIPÓTESIS 1: UN PUENTE GRÚA SOBRE VIGA CARRIL DE 15 m</b>			
	<b>AXIL</b>	<b>GRAVITACIONAL</b>	<b>PERPENDICULAR</b>
<b>CASO 1</b>	-	803.93 kN	-
<b>CASO 2</b>	20.59 kN	803.93 kN	-
<b>CASO 3</b>	52.14 kN	803.93 kN	122.02 kN
<b>CASO 4</b>	99.10 kN	803.93 kN	-
<b>HIPÓTESIS 2: DOS PUENTES GRÚA SOBRE VIGA CARRIL DE 15 m</b>			
	<b>AXIL</b>	<b>GRAVITACIONAL</b>	<b>PERPENDICULAR</b>
<b>CASO 1</b>	-	1026.30 kN	-
<b>CASO 2</b>	33.97 kN	1026.30 kN	-
<b>CASO 3</b>	54.49 kN	846.45 kN	183.03 kN
<b>CASO 4</b>	107.36 kN	846.45 kN	-

Tabla 25. Resumen de las cargas más desfavorables que llegan a los puntos de apoyo de la viga carrilera.

**NOTA:**

Cabe mencionar que, de las anteriores cargas, las únicas que afectan directamente a la problemática del soporte son las de tipo axial, ya que las gravitacionales se transmiten directamente al pilar por estar los extremos de las vigas apoyadas en sus zócalos, y las de tipo perpendicular no inducen ningún tipo de problemática en los soportes. Por lo tanto el caso más desfavorable para las placas de unión entre el soporte y la bayoneta del pilar principal vendrá dado por la Hipótesis 2, Caso 4 donde el extremo superior de la UPN-300 se lleva unas cargas de tracción/compresión de 107.36 kN.

### 3.6. COMPROBACIÓN DE LA PLACA A FLEXIÓN Y CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO NECESARIO.

A continuación se muestra la disposición de cargas en el soporte de la viga.

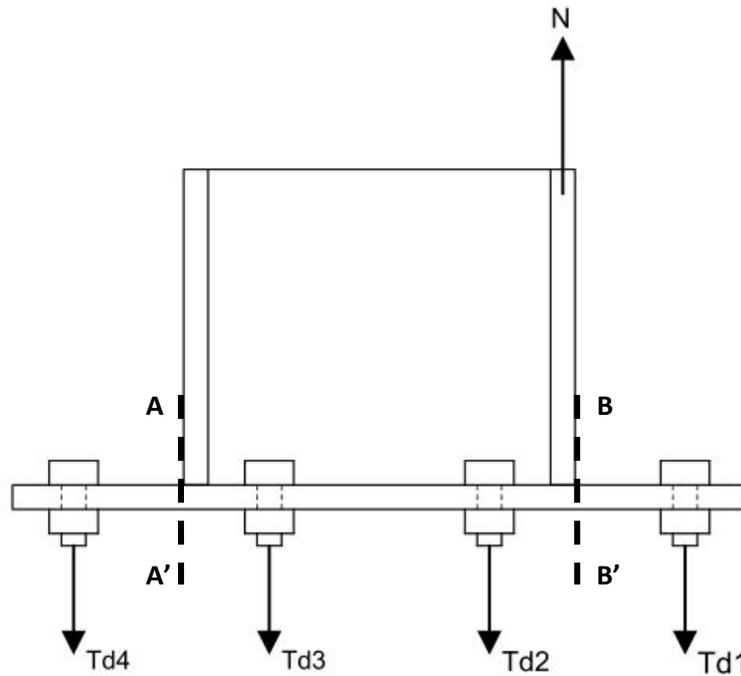


Imagen 75. Disposición de cargas en el soporte.

Con esta disposición de cargas se ha modelado el soporte en SAP2000 y se han obtenido los esfuerzos que soportan los pernos dispuestos en la placa de anclaje. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.



Imagen 76. Esfuerzos en los pernos del soporte.

Table: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN-mm	M2 kN-mm	M3 kN-mm
Td1	CARGAS	LinStatic	0,000	0,000	<b>-62,792</b>	0,00	0,00	0,00
Td2	CARGAS	LinStatic	0,000	0,000	<b>-45,202</b>	0,00	0,00	0,00
Td3	CARGAS	LinStatic	0,000	0,000	<b>0,116</b>	0,00	0,00	0,00
Td4	CARGAS	LinStatic	0,000	0,000	<b>0,518</b>	0,00	0,00	0,00

Tabla 26. Reacciones en los pernos.

Para la comprobación del ELU de Agotamiento de la placa a flexión se ha procedido del siguiente modo:

$$e \geq \sqrt{\frac{6 \cdot Med}{b \cdot f_{yd}}} \quad (15)$$

$$Med = \max(M_{AA'} ; M_{BB'}) \quad (16)$$

Por los resultados obtenidos en SAP2000 se sabe que el  $Med$  máximo se dará en la sección (BB') por lo que no es necesario comprobar el de la sección (AA').

$$Med = 62.792 \cdot (0.13 - 0.065)$$

$$\mathbf{Med = 4.08 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

A continuación se obtiene  $f_{yd}$ , sabiendo que se cuenta para la construcción de estos soportes con un acero estructural S275JR

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_n} \quad (17)$$

$$f_{yd} = \frac{275}{1.05}$$

$$\mathbf{f_{yd} = 261.90 \text{ N/mm}^2}$$

Se procede a continuación a la comprobación del ELU de agotamiento de la placa a flexión y al cálculo del espesor mínimo necesario siguiendo la expresión (15).

$$e \geq \sqrt{\frac{6 \cdot 4.08 \cdot 10^6}{130 \cdot 261.9}}$$

$$e \geq \mathbf{26.81 \text{ mm}}$$

$$e_{actual} = 10 \text{ mm} < e_{requerida} = 26.81 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{NO CUMPLE}$$

Se observa que el espesor actual de los soportes montados en las naves de APA no cumple con el mínimo requerido de cálculo, por lo que estos deben sustituirse por unos cuya placa de anclaje sea del espesor comercial inmediatamente superior al calculado, esto es: **30 mm**.

Se comprueba el aprovechamiento sustituyendo las placas actuales por unas de espesor 30 mm

$$30 = \sqrt{\frac{6 \cdot M \cdot 10^6}{130 \cdot 261.9}} \rightarrow \mathbf{M = 5.11 \text{ kN}}$$

$$\frac{4.08}{5.11} \cdot 100 = \mathbf{79.83\%}$$



### 3.7. COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN DE LOS PERNOS

Se procede en este punto a la comprobación de la resistencia a tracción de los pernos del soporte. Para ello se sabe que dichos pernos cumplen las siguientes características:

MÉTRICA	CALIDAD	FUERZA MAXIMA EN PERNO
M30	8.8	62.79 kN

La comprobación de resistencia se realiza siguiendo la siguiente expresión

$$F_{t,rd} = \frac{K_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (18)$$

Donde:  $K_2 = 0.9$  al no tratarse de un tornillo de cabeza avellanada

$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$  (por tratarse de pernos de calidad 8.8 y diámetro superior a 16 mm)

$A_s = \text{Área resistente del tornillo que en este caso es de } 560.91 \text{ mm}^2$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

Sustituyendo los valores en la expresión (18) se tiene que:

$$F_{t,rd} = \frac{0.9 \cdot 800 \cdot 560.91}{1.25}$$

$$F_{t,rd} = 323.08 \text{ kN} \gg 62.79 \text{ kN} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

Se comprueba el aprovechamiento de los pernos:

$$\frac{62.79}{323.08} \cdot 100 = \mathbf{19.43\%}$$



### 3.8. TABLAS DE REFERENCIA

#### 3.8.1. TABLAS LIBRO ESTRUCTURAS DE ACERO 1

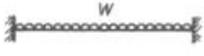
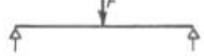
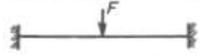
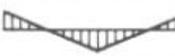
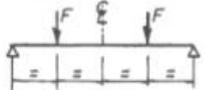
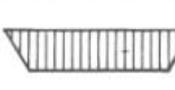
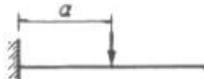
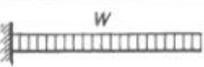
Tipo de carga y condiciones de apoyo	Diagrama de momentos flectores	Valor de $k_{\phi}$	Valores de coeficientes		
			$c_1$	$c_2$	$c_3$
	$\psi = +1$ 	1,0 0,7 0,5	1,000 1,000 1,000	-	1,000 1,113 1,114
	$\psi = +3/4$ 	1,0 0,7 0,5	1,141 1,270 1,305	-	0,998 1,565 2,283
	$\psi = +1/2$ 	1,0 0,7 0,5	1,323 1,473 1,514	-	0,992 1,566 2,271
	$\psi = +1/4$ 	1,0 0,7 0,5	1,563 1,739 1,788	-	0,977 1,531 2,235
	$\psi = 0$ 	1,0 0,7 0,5	1,879 2,092 2,150	-	0,939 1,473 2,150
	$\psi = -1/4$ 	1,0 0,7 0,5	2,281 2,538 2,609	-	0,855 1,340 1,957
	$\psi = -1/2$ 	1,0 0,7 0,5	2,704 3,009 3,093	-	0,676 1,059 1,546
	$\psi = -3/4$ 	1,0 0,7 0,5	2,927 3,009 3,093	-	0,366 0,575 0,837
	$\psi = -1$ 	1,0 0,7 0,5	2,752 3,063 3,149	-	0,000 0,000 0,000
		1,0 0,5	1,132 0,972	0,459 0,304	0,525 0,980
		1,0 0,5	1,285 0,712	1,562 0,652	0,753 1,070
		1,0 0,5	1,365 1,070	0,553 0,432	1,730 3,050
		1,0 0,5	1,565 0,938	1,257 0,715	2,540 4,800
		1,0 0,5	1,046 1,010	0,430 0,410	1,120 1,890
		1,0 $k_w=2$	$1,28/\alpha$	0,64	
		1,0 $k_w=2$	2,05		

Tabla 8.2. Valores de los coeficientes  $c_1$ ,  $c_2$  y  $c_3$  correspondientes a los valores del factor  $k_{\phi}$  con  $k_w=1$

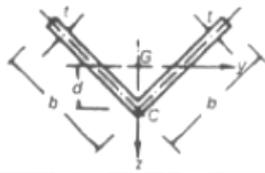
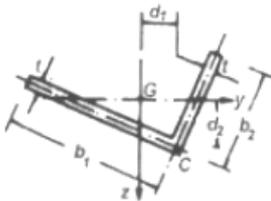
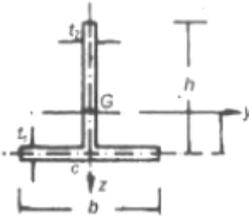
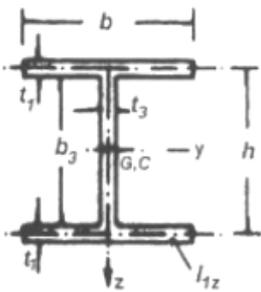
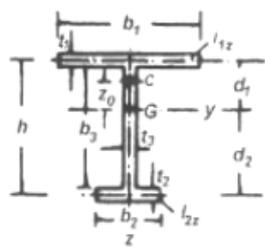
Sección	Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes	Módulo de torsión $I_T$	Módulo de alabeo $I_w$
<b>1 ANGULAR DE LADOS IGUALES</b> 	$z_c = d$ $y_c = 0$	$\frac{2}{3} \cdot bt^3$	$I_w = 0$
<b>2 ANGULAR DE LADOS DESIGUALES</b> 	$z_c = d_2$ $y_c = d_1$	$\frac{(b_1 + b_2) \cdot t^3}{3}$	$I_w = 0$
<b>3 SIMPLE T</b> 	$z_c = d$ $y_c = 0$	$\frac{bt_1^3 + ht_2^3}{3}$	$I_w = 0$
<b>4 DOBLE T SIMÉTRICA</b> 	$z_c = 0$ $y_c = 0$	$\frac{2bt_1^3 + b_3t_3^3}{3}$	$I_{1x} \cdot \frac{h^2}{2} - I_x \cdot \frac{h^2}{4}$
<b>4 DOBLE T ASIMÉTRICA</b> 	$z_c = \frac{d_2 I_{2z} - d_1 I_{1z}}{I_{1z} + I_{2z}} = \frac{d_2 I_{2z} - d_1 I_{1z}}{I_z}$ $y_c = 0$	$\frac{b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + b_3 t_3^3}{3}$	$\frac{h^2 \cdot I_{1z} \cdot I_{2z}}{I_{1z} + I_{2z}} = \frac{h^2 \cdot I_{1z} \cdot I_{2z}}{I_z}$

Tabla 8.4. Características de torsión de algunas secciones

### 3.8.2. TABLAS UNE-76201:1988

**Tabla 2**  
Condiciones de utilización

Condiciones de utilización	Número convencional de ciclos de maniobra, Nm	Observaciones
U <sub>0</sub>	1,6 × 10 <sup>4</sup>	Utilización ocasional
U <sub>1</sub>	3,2 × 10 <sup>4</sup>	
U <sub>2</sub>	6,3 × 10 <sup>4</sup>	
U <sub>3</sub>	1,25 × 10 <sup>5</sup>	
U <sub>4</sub>	2,5 × 10 <sup>5</sup>	Utilización regular en servicio ligero
U <sub>5</sub>	5 × 10 <sup>5</sup>	Utilización regular en servicio intermitente
U <sub>6</sub>	1 × 10 <sup>6</sup>	Utilización regular en servicio intensivo
U <sub>7</sub>	2 × 10 <sup>6</sup>	Utilización intensiva
U <sub>8</sub>	4 × 10 <sup>6</sup>	
U <sub>9</sub>	Más de 4 × 10 <sup>6</sup>	

**Tabla 3**  
Condiciones de carga

Condiciones de carga	Parámetro del espectro, K <sub>Q</sub>	Observaciones
Q1 – Ligero	0,125	Aparato que levanta raramente la carga útil y corrientemente cargas muy pequeñas.
Q2 – Moderado	0,25	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga útil y corrientemente cargas pequeñas.
Q3 – Pesado	0,50	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga útil y corrientemente cargas medianas.
Q4 – Muy pesado	1,00	Aparato que corrientemente maneja cargas próximas a la carga útil

**Tabla 4**  
Clasificación de los puentes grúa

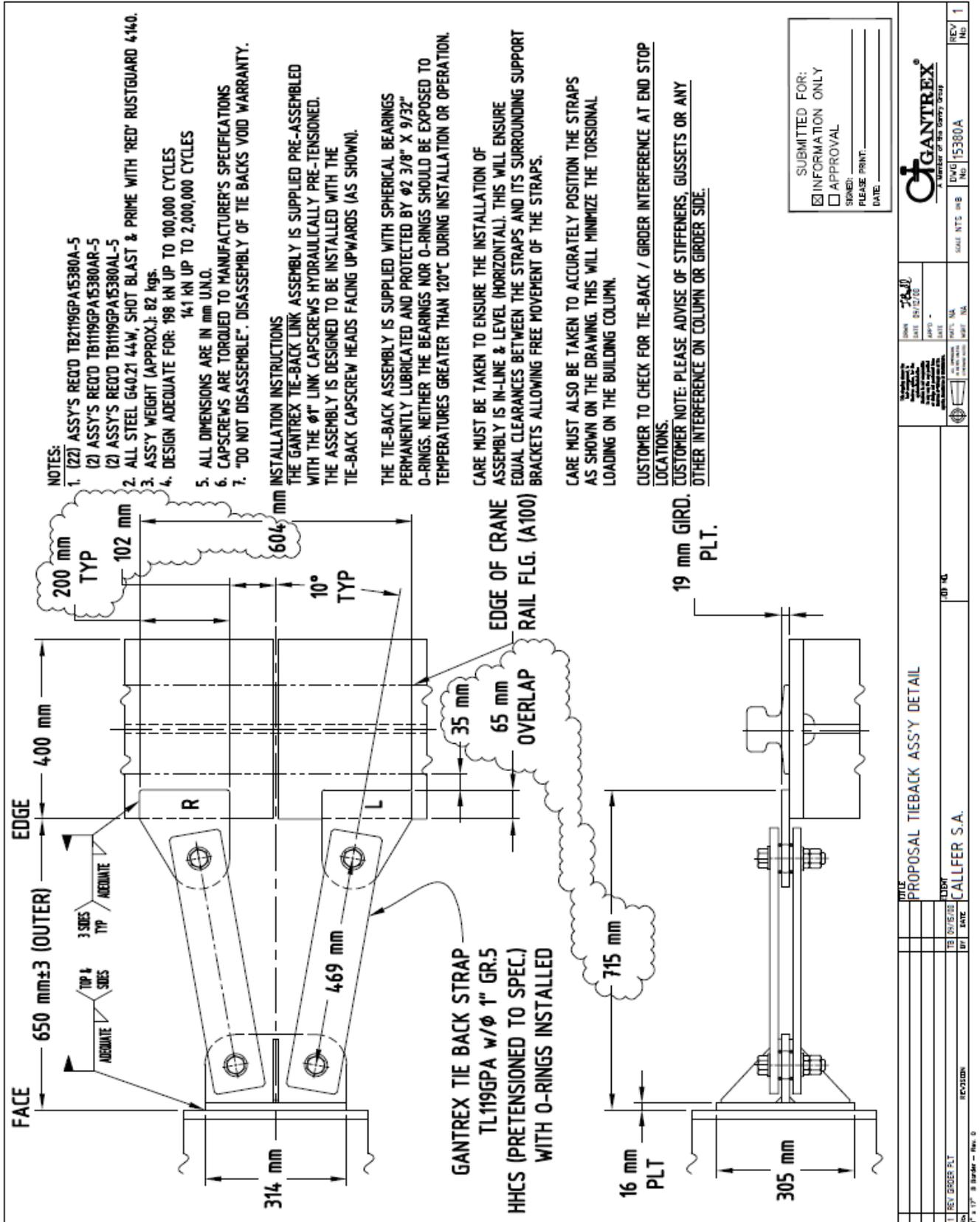
Condiciones de carga	Condiciones de utilización									
	U <sub>0</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>6</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>8</sub>	U <sub>9</sub>
Q1 – Ligero	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8
Q2 – Moderado	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8
Q3 – Pesado	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8
Q4 – Muy Pesado	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8

**Tabla 5**  
Valor del coeficiente de efectos dinámicos vertical

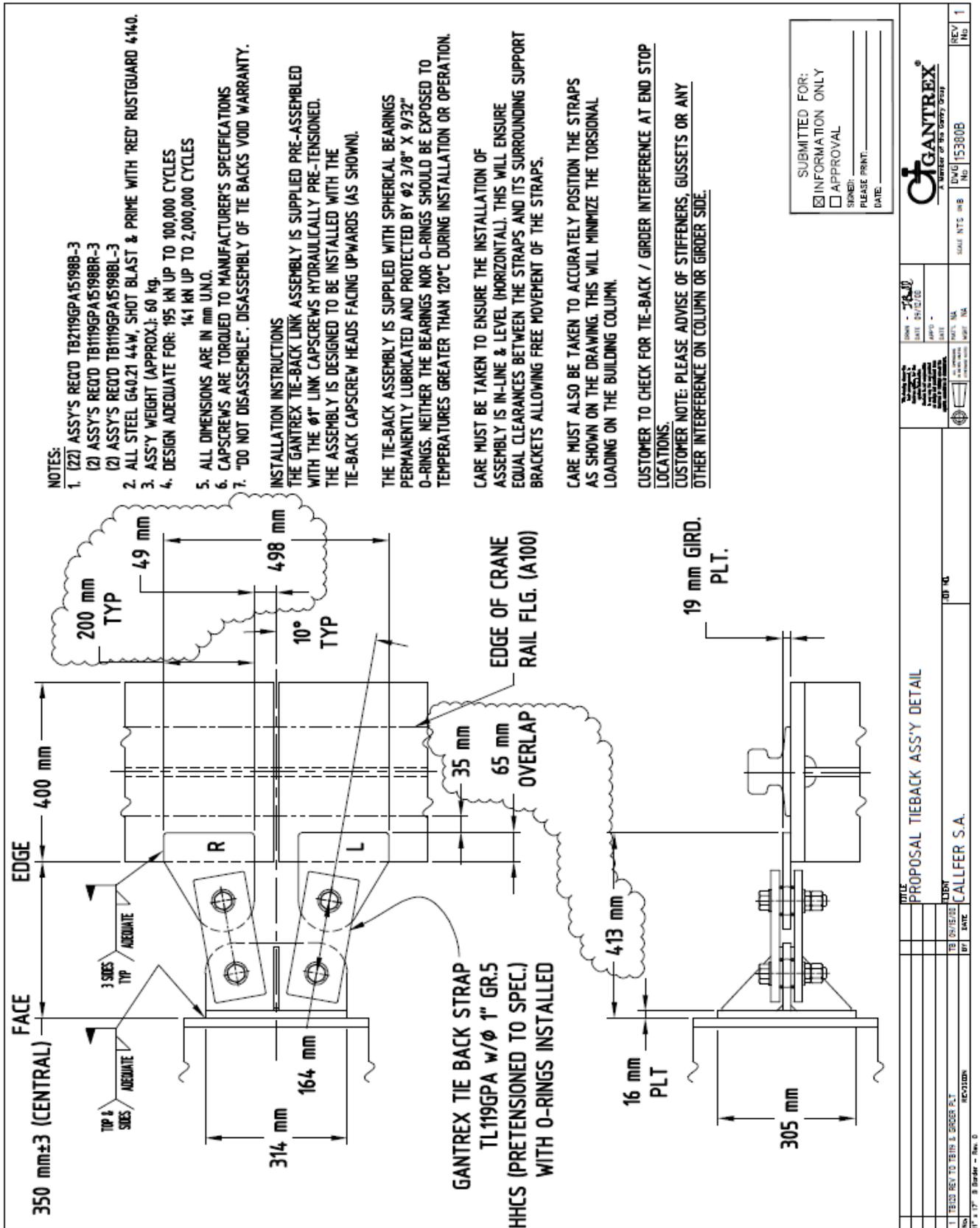
Grupo	Viga carrilera		Soportes	
	máx	red	máx	red
1 y 2	1,1	1,1	1,0	1,0
3 y 4	1,15	1,1	1,0	1,0
5 y 6	1,25	1,1	1,1	1,0
7 y 8	1,35	1,1	1,2	1,0

### 3.9. SOPORTES TIPO GANTREX

Soportes tipo GANTREX alineación FK



Soportes tipo GANTREX alineación FL



## **4. PLANOS**

---

Planos de los soportes objeto de este proyecto:

Plano 1: Soporte corto alineación FK de la Nave 11 (estado actual)

Plano 2: Soporte largo alineación FL de la Nave 11 (estado actual)

Plano 3: Soporte corto alineación FK de la Nave 11 (Modificado)

Plano 4: Soporte largo alineación FL de la Nave 11 (Modificado)

Planos suministrados por la empresa:

Plano 0001: Factoría planta general

Plano 0002: Naves de expedición, planta general vigas carril

Plano 0003: Naves de expedición, sección transversal.



## **5. PLIEGO DE CONDICIONES**

---

### **DISPOSICIONES GENERALES.**

#### **OBJETO DEL PLIEGO.**

El presente pliego de condiciones tiene por objeto la ordenación de las condiciones técnicas que han de regir en la ejecución de las obras de refuerzo/sustitución de los soportes anti vuelco de las vigas carril de las naves de expediciones y (APA) en la factoría de Sagunto, propiedad de ARCELORMITTAL.

El pliego de condiciones tiene por finalidad regular la ejecución de las obras, precisando las intervenciones que corresponden, según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al promotor de la obra, al contratista o constructor de la misma, a sus técnicos y encargados, y a la dirección facultativa, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones.

Asimismo, en el pliego de condiciones se fijan las condiciones que han de cumplir los materiales, los niveles técnicos y de calidad exigibles a las unidades de obra, y las instrucciones para su ejecución, medición y abono.

#### **NORMATIVA.**

De acuerdo con el Decreto 462/1.971, de 11 de marzo, en la ejecución de las obras deberán observarse las normas vigentes aplicables sobre construcción.

En caso de discrepancia con alguna norma vigente, prevalecerá la norma con criterios más restrictivos.

Salvo indicación en contrario, será de aplicación la edición con revisiones, cambios y suplementos, vigente durante el periodo de ejecución de las obras, de la siguiente normativa:

#### **Código Técnico de la Edificación (CTE)**

El Código Técnico de la Edificación es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas que deben cumplir los edificios y sus instalaciones, para satisfacer los requisitos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1.999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.

El Código Técnico de la Edificación se aprobó por el Real Decreto 314/2.006, de 17 de marzo, y se ordena en dos partes:

Parte I. Disposiciones y condiciones generales de aplicación del Código Técnico de la Edificación y exigencias básicas que deben cumplir los edificios.

Parte II. Documentos Básicos que regulan el cumplimiento de esas exigencias, basados en el conocimiento consolidado de las distintas técnicas constructivas.

#### **Normas UNE Asociación Española de Normalización**

Las normas UNE son documentos de aplicación voluntaria que contienen especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico. Son fruto del consenso entre todas las partes interesadas e involucradas en la actividad objeto de la misma.

La actividad de AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación comenzó en el año 1.986 cuando, mediante una Orden Ministerial que desarrollaba el Real Decreto 1.614/1.985, fue reconocida como la única entidad aprobada para desarrollar las tareas de normalización y certificación en España. Posteriormente, el Real Decreto 2.200/1.995 de 28 de diciembre, que aprobaba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial en España, ratificó el nombramiento de AENOR como responsable de la elaboración de las normas españolas UNE.

Las normas son una herramienta fundamental para el desarrollo industrial y comercial, ya que sirven como base para mejorar la calidad en la gestión de las empresas, en el diseño y fabricación de los productos, en la prestación de servicios, etc., aumentando la competitividad.

### ***DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS.***

Las obras objeto de este proyecto de ejecución, y a que se refiere el presente pliego de condiciones comprenden los elementos de refuerzo estructural que se describen y definen en la memoria, planos mediciones y presupuesto del proyecto.

### ***CONTRADICCIONES Y OMISIONES EN LA DOCUMENTACIÓN.***

El presente pliego, conjuntamente con los planos, la memoria y las mediciones y presupuesto, forma parte del proyecto de ejecución que servirá de base para la ejecución de las obras. El pliego de condiciones técnicas particulares establece la definición de las obras en cuanto a su naturaleza intrínseca. Los planos junto con la memoria, las mediciones y el presupuesto, constituyen los documentos que definen la obra en forma geométrica y cuantitativa.

Lo mencionado en el pliego de condiciones y omitido en los planos o viceversa habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de incompatibilidad o contradicción entre los planos y el pliego de condiciones, prevalecerá el pliego de condiciones.

Las cotas numéricas de los planos se considerarán preferentes en relación con las deducidas por apreciación gráfica de los mismos.

Las omisiones en planos y pliego de condiciones que sean manifiestamente indispensables para llevar a cabo el espíritu o intención expuestos en los planos y el pliego de condiciones, o que por uso y costumbre deban ser realizados, no eximen a la empresa constructora de la obligación de ejecutar los detalles de obra, omitidos o erróneamente descritos. Por el contrario, deberán ser ejecutados como si hubieran sido correctamente especificados en los planos y el pliego de condiciones.

---

### ***PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES***

#### ***PRESCRIPCIONES RELATIVAS A LOS MATERIALES, INSTALACIONES Y APARATOS***

Todos los materiales, elementos de instalaciones y aparatos se ajustarán, en calidad y procedencia, a los tipos reseñados en la correspondiente memoria de acabados y en los artículos que siguen, desechándose los que, a juicio de la dirección de obra no los reúnan. Los materiales que no estuvieran específicamente reseñados

Los materiales que no se hubiesen consignado en este pliego de condiciones y fuese menester emplear, reunirán las condiciones de bondad exigidas por la dirección de obra, y deberán ajustarse a lo indicado en el Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura y a la normativa vigente. La empresa constructora no tendrá derecho a reclamación de ningún género por las condiciones que se exijan a estos materiales.

En cualquier caso, todos los materiales, instalaciones y apartados cumplirán lo establecido en las normas UNE, EN e ISO vigentes o ratificadas por AENOR. Una lista no exhaustiva de la normativa aplicable se establece en el capítulo 1.

Los productos de construcción que se incorporen con carácter permanente a los edificios, en función de su uso previsto, llevarán el marcado CE, de conformidad con la Directiva 89/106/CEE de productos de construcción, transpuesta por el Real Decreto 1630/1992, de 29 de diciembre, modificado por el Real Decreto 1329/1995, de 28 de julio, y disposiciones de desarrollo, u otras Directivas Europeas que les sean de aplicación.

#### ***PROCEDENCIA DE MATERIALES, ELEMENTOS DE INSTALACIONES Y APARATOS.***

La empresa constructora tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el pliego de condiciones técnicas particulares preceptúe una procedencia determinada.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo o acopio, la empresa constructora deberá presentar a la dirección facultativa una lista completa de los materiales y aparatos que vaya a utilizar en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

Si por alguna circunstancia la procedencia de los materiales no pudiera ser la prevista por la empresa constructora en su oferta o las estudiadas en el proyecto de ejecución, lo notificará con suficiente antelación a la dirección de obra para su aprobación. La empresa constructora deberá suministrarlos de la calidad requerida y reunirán las condiciones de bondad exigidas por la dirección de obra. Los materiales obtenidos de procedencias distintas de las especificadas en el proyecto se abonarán a los precios originales.

La empresa constructora no tendrá derecho a reclamación de ningún género por las condiciones que se exijan a estos materiales.

#### ***RECONOCIMIENTO DE MATERIALES, ELEMENTOS DE INSTALACIONES Y APARATOS.***

Se presentarán a la dirección de obra muestras de todos los materiales que exija con tiempo suficiente para que puedan ser aprobados antes de su empleo en las obras. Sin la aprobación de la dirección de obra no podrá procederse a su colocación, siendo retirados de las mismas los que sean desechados y las unidades en que hubiesen sido utilizados, demolidas.

Este reconocimiento previo no constituye la aprobación definitiva y la dirección de obra podrá hacer quitar, aún después de colocados, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en dicho primer reconocimiento. Los gastos que se originen en estos casos serán todos de cuenta de la empresa constructora.

Cuando los materiales, elementos de instalaciones y aparatos, no fuesen de la calidad prescrita en este pliego, o no tuvieran la preparación en él exigida, o cuando a falta de prescripciones formales de aquél, se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, la dirección de obra dará orden a la empresa constructora para que los reemplace a su costa por otros que satisfagan las condiciones o cumplan el objeto a que se destinen.

Si a los 15 días de recibir la empresa constructora orden de la dirección de obra para que retire de las obras los materiales que no estén en condiciones, no ha sido cumplida, podrá el promotor ejecutarlos con personal ajeno a la contrata y cuyos gastos deberán ser abonados por la empresa constructora, deduciéndolos de las certificaciones pendientes o de la fianza.

Si los materiales, elementos de instalaciones y aparatos fueran defectuosos pero aceptables, a juicio de la dirección de obra se recibirán pero con la rebaja de precio que la misma determine a no ser que la empresa constructora prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

Si la dirección de obra lo solicitase, la empresa constructora presentará oportunamente muestras de cada clase de material para su aprobación, las cuales se conservarán juntamente con los certificados de los análisis, para su posterior comparación y contraste.

#### **ALMACENAMIENTO Y ACOPIO DE MATERIALES.**

La empresa constructora queda obligada a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el promotor ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el promotor son, de la exclusiva propiedad de éste; de su guarda y conservación será responsable la empresa constructora.

Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en la obra. Las superficies empleadas como zonas de acopios deberán reacondicionarse una vez terminada la utilización de los materiales acumulados en ellas, de forma que puedan recuperar su aspecto original.

#### **ENSAYOS Y ANÁLISIS.**

Siempre que la dirección facultativa lo estime necesario, serán efectuados los ensayos, pruebas, análisis y extracción de muestras de obra realizada que permitan comprobar que tanto los materiales como las unidades de obra están en perfectas condiciones y cumplen lo establecido en este pliego. Los ensayos podrán realizarse en la misma obra pero, en caso de duda para la dirección de obra, se realizarán unos ensayos en un laboratorio homologado y oficial, y los resultados obtenidos en éstos serán decisivos.

La dirección de obra podrá, por sí o por delegación, elegir materiales que han de ensayarse así como presenciar su preparación y ensayo. La dirección de obra determinará el tipo de prueba necesaria para la recepción o ensayo en obra de las estructuras o elementos terminados.

Todos los materiales podrán ser sometidos a los análisis o pruebas por cuenta de la empresa constructora, que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro que haya sido especificado y sea necesario emplear deberá ser aprobado por la dirección de obra, bien entendido que será rechazado el que no reúna las condiciones exigidas por la buena práctica de la construcción.

El abono de todas las pruebas y ensayos será de cuenta de la empresa constructora.

Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las suficientes garantías podrá comenzarse de nuevo a cargo de la misma.

---

## **PRESCRIPCIONES RELATIVAS A LA EJECUCIÓN POR UNIDADES DE OBRA**

### **ESTRUCTURA METÁLICA. FABRICACIÓN.**

La forma y dimensiones de la estructura serán las señaladas en los planos del proyecto de ejecución, no permitiéndose a la empresa constructora modificaciones de las mismas sin previa autorización por escrito de la dirección de obra.

La empresa constructora estará obligada a:

- Suministrar todos los materiales y elementos de unión necesarios para la fabricación y montaje de la estructura de acero
- Ejecutar la fabricación de la estructura de acero en taller
- Ejecutar la protección anticorrosiva de la estructura de acero de acuerdo con las especificaciones del presente pliego de condiciones
- Expedir y transportar la estructura de acero hasta la obra
- Ejecutar el montaje de la estructura en obra
- Suministrar y montar todos los andamios y elementos de elevación y auxiliares que sean necesarios, tanto para el montaje como para la realización de la función inspectora
- Realizar el control de calidad de fabricación y montaje de la estructura de acero y suministrar a la dirección de obra los resultados del mismo
- Permitir la realización del control de calidad en los talleres por el personal inspector del promotor y de la dirección de obra

En el caso de que la empresa constructora solicite aprobación para subcontratar parte o la totalidad de estos trabajos, deberá demostrar, a satisfacción de la dirección de obra, que la empresa propuesta para la subcontrata posee personal técnico experimentado en esta clase de obras y, además, los elementos materiales necesarios para realizarlas.

Tanto durante el proceso de ejecución en taller, como durante el montaje en obra, la empresa constructora estará obligada a mantener permanentemente en el mismo, durante la jornada de trabajo, un técnico responsable. Dentro de la jornada laboral y durante el periodo de construcción de la estructura, la empresa constructora deberá permitir, sin limitaciones, al objeto de la función inspectora, la entrada en su taller a la dirección de obra o a sus representantes, a los que dará toda clase de facilidades para el cumplimiento de su misión.

### **Material es.**

La empresa constructora suministrará todos los materiales y elementos de unión necesarios para la fabricación de la estructura.

El acero estructural empleado corresponderá a las calidades S275JR y S355JR en chapas y perfiles laminados, según se indica en los planos del proyecto de ejecución.

### **Composición química y características mecánicas.**

La composición química y las características mecánicas serán las correspondientes a los tipos y grados de aceros especificados en los planos del proyecto y en este pliego de condiciones, según las normas vigentes.

Los productos facilitados por el suministrador del acero se acreditarán, antes de comenzar su elaboración en taller, mediante certificados de siderurgia. En caso de no disponerse de estos certificados se recibirán los productos mediante toma de muestras, análisis químicos y ensayos realizados según la normativa citada en el apartado 1.2.

Las chapas hasta 20 mm de espesor se suministrarán con aptitud para la conformación en frío por plegado. Esta aptitud implica que no se produzcan grietas durante las operaciones mecánicas de conformado siempre que se respeten los diámetros mínimos de doblado indicados para cada espesor. Los ensayos de doblado y tracción se harán de acuerdo con la normativa citada en el apartado 1.2.

### ***Productos laminados.***

Todas las chapas de acero de espesor igual o superior a 6 mm serán objeto de un control ultrasónico por el método de las cuadrículas, realizado de acuerdo con la norma EN 10160.

Los perfiles laminados en caliente serán objeto de inspección técnica de acuerdo con la normativa citada en el apartado 1.2. La toma de muestras, la unidad de inspección, el número de ensayos y su realización y los criterios de conformidad y rechazo se ajustarán a lo especificado a tal fin en la normativa citada en el apartado 1.2.

Los perfiles llevarán grabados en el alma o en un lugar idóneo del perfil, el nombre del fabricante y el tipo y grado de acero.

Las chapas y pletinas estarán identificadas mediante un código de colores adecuados, o por cualquier procedimiento que permita distinguir el número de colada y el nombre del fabricante.

Los productos laminados se ajustarán, en lo que se refiere a dimensiones y tolerancias a la normativa citada en el apartado 1.2.

Los productos deberán tener una superficie técnicamente lisa de laminación. No presentarán defectos que sean perjudiciales para la puesta en obra de los productos o la utilización final de los mismos. La superficie deberá estar exenta de aceite, grasa o pintura que no pueda eliminarse mediante un decapado normal.

Para los perfiles y flejes, el fabricante podrá eliminar por amolado los defectos de menor entidad con la condición de que el espesor local resultante no difiera del valor nominal en más de un 4%. No se autoriza la eliminación de defectos de mayor magnitud por amolado y posterior acondicionamiento por soldeo.

Las chapas podrán ser suministradas al taller de fabricación con los bordes bien en bruto de laminación o bien cizallados. En cualquier caso, el estado de los bordes no debe perjudicar posteriores operaciones de fabricación o montaje.

### ***Consumibles.***

Se elegirán los consumibles con una composición química y unas características mecánicas adaptadas a las características del material de base que se vaya a soldar.

Los materiales de aportación deberán estar garantizados con el correspondiente certificado del fabricante, que indique la composición química y las características mecánicas del metal depositado. Según el procedimiento de soldeo que se emplee, los consumibles serán:

- En soldadura manual al arco, con electrodos revestidos con bajo contenido en hidrógeno, los consumibles estarán de acuerdo con las especificaciones AWS 5.1 y AWS 5.5.
- En soldadura automática con arco sumergido, los consumibles estarán de acuerdo con las especificaciones AWS 5.17 y AWS 5.23.
- En soldadura semiautomática con protección gaseosa tipo MIG, TIG, MAG o similar, los consumibles estarán de acuerdo con las especificaciones AWS 5.18 y AWS 5.28.

En caso de que la especificación AWS D1.1 no contemple alguno de los tipos de acero que se suelden, la empresa fabricante de la estructura metálica preparará un procedimiento específico de soldadura para cada tipo de unión que deberá ser sometido a la aprobación de la dirección de obra antes de su uso. Queda expresamente prohibida la utilización de electrodos de gran penetración en la ejecución de uniones de fuerza.

En las uniones realizadas en montaje no se permitirá el uso de electrodos cuyo rendimiento nominal sea superior a 120. La determinación de la humedad total, del rendimiento y del coeficiente de depósito de electrodos revestidos se realizará de acuerdo con la norma EN 22401.

En cualquier caso, el material de aportación tendrá características resistentes (incluso resiliencia) superiores a las del metal base.

#### ***Operaciones previas.***

Antes de comenzar las operaciones de fabricación, la oficina técnica de la empresa fabricante de la estructura de acero realizará una serie de tareas recogidas bajo la denominación de ingeniería de taller.

#### ***Análisis de la documentación de proyecto.***

Antes del comienzo de la fabricación, la empresa constructora deberá realizar un análisis detallado de la documentación del proyecto de ejecución con objeto de detectar posibles errores e indefiniciones y solicitar por escrito las aclaraciones pertinentes. El análisis verificará la viabilidad geométrica de las disposiciones constructivas adoptadas y la coherencia entre los distintos documentos.

No se admitirán reclamaciones por errores u omisiones en la documentación del proyecto de ejecución, posteriores al comienzo de la fabricación de la estructura de acero.

En esta fase, la empresa fabricante de la estructura de acero podrá proponer modificaciones en el diseño y disposición de algunos elementos estructurales o de sus uniones con objeto de adaptar el proyecto de la estructura o su despiece a las características e instalaciones del taller. Antes de realizar cualquier modificación se deberá contar con la autorización expresa del director de obra.

#### ***Documentación de taller.***

A partir de la documentación de proyecto, la oficina técnica del taller de construcciones metálicas preparará la documentación de taller, que al menos contará con los siguientes elementos:

- Programa de fabricación
- Planos de taller
- lista de materiales

### ***Programa de fabricación***

La empresa fabricante de la estructura de acero elaborará un programa de fabricación en taller a partir de los plazos y prioridades acordados para el montaje, teniendo en cuenta los plazos de las operaciones intermedias de transporte y protección anticorrosiva.

### ***Planos de fabricación***

Los planos de fabricación -también denominados planos de taller o de despiece- son documentos técnicos complementarios a la documentación de proyecto, elaborados en la oficina técnica antes de la fabricación, para definir el despiece de una estructura de acero. El despiece tiene por objeto diferenciar y delimitar las unidades de montaje o de expedición a obra, integradas por diversas piezas semielaboradas mediante ensamblaje con uniones atornilladas o, más normalmente, mediante procesos de soldadura realizados en taller.

La empresa fabricante de la estructura de acero preparará, a partir de los planos del proyecto de ejecución, la siguiente documentación de taller:

a. Planos generales de despiece.

Los planos de despiece de la estructura general mostrarán la situación de todos los componentes de la estructura con sus marcas identificativas.

b. Planos de despiece de componentes.

Los planos de despiece presentan los diferentes componentes en que se divide la estructura de acero. Sirven como guión para las operaciones de soldadura o armado de los elementos estructurales.

Las tolerancias de fabricación estarán de acuerdo con lo indicado en este pliego de condiciones y en los planos del proyecto de ejecución, y en su defecto, en la norma EN1090.

### ***Lista de materiales***

La empresa fabricante de la estructura de acero elaborará una lista de materiales donde se relacionarán todos y cada uno de los elementos de los componentes de la estructura, ordenados por tipos, plantas, áreas, etc. Se especificará su marca o identificación, denominación, número de unidades, dimensiones y pesos unitarios y totales, y la referencia a los planos generales de despiece en los que aparece.

### ***Preparación de los materiales.***

Los elementos de chapa (platabandas para el armado de vigas y pilares, cartelas, rigidizadores, placas base, etc.) se deberán obtener de chapas de las que se cortará el borde en una anchura igual al espesor de la chapa en cuestión. No se admitirán elementos de chapa con bordes brutos de laminación.

Las operaciones de preparación de materiales incluirán la eliminación manual mediante desbarbadora de pequeñas imperfecciones, como defectos y marcas de laminación, impurezas adheridas,...

El aplanado y el enderezado de chapas y perfiles se realizará con prensa o con máquinas de rodillos. Nunca se utilizarán la maza o el martillo, que podrían producir un endurecimiento excesivo del material.

Los empalmes deberán ejecutarse según las especificaciones y prescripciones del proyecto, siempre bajo la autorización expresa de la dirección de obra.

No se admitirán más empalmes que los indicados en los planos, y únicamente en las secciones indicadas. En el caso de que no se indicara nada en los planos, se consultará con la dirección de obra la posibilidad de realizar otros empalmes.

### ***Trazado y corte.***

El trazado agrupa un conjunto de operaciones diversas cuyo objetivo es asegurar que las desviaciones en la posición y en las dimensiones de los cortes y los taladros cumplen con un determinado sistema de tolerancias.

Antes de las operaciones de trazado y corte, se deberá comprobar que los distintos perfiles y chapas no presentan deformaciones; y se realizará una preparación de superficies, con objeto de eliminar la cascarilla de laminación y los restos de herrumbre de mayor escala.

El trazado será realizado por personal especializado, respetándose escrupulosamente las cotas de los planos de taller y las tolerancias máximas permitidas de acuerdo con lo establecido en este pliego de condiciones, y en su defecto en la norma EN1090.

Aunque en los planos no pueda apreciarse el detalle correspondiente, los ángulos entrantes y las entallas, cuya abertura angular sea menor de 180º, deberán ser redondeados con un radio mínimo de 10 mm.

En cualquier caso, las superficies obtenidas serán uniformes y suaves, y quedarán exentas de rebabas e irregularidades

### ***Corte con cizalla.***

El corte con cizalla o guillotina se podrá emplear en los cortes rectos de productos planos hasta 15 mm de espesor, especialmente en elementos de dimensiones reducidas: cartelas, presillas,...

El corte con cizalla produce un endurecimiento por deformación del material, y puede requerir un mecanizado posterior de los bordes mediante esmerilado o cepillado, para eliminar la zona afectada. Este mecanizado se deberá ejecutar cuando así se indique en este pliego de condiciones o en los planos del proyecto de ejecución, y cuando lo estime oportuno el director de obra.

En cualquier caso, la rebaba resultante se eliminará con máquina desbarbadora.

### ***Corte con sierra.***

El corte con sierra o aserrado se podrá emplear en los cortes transversales de productos largos -perfiles laminados y conformados-:

- En el corte de perfiles comerciales, perfiles tubulares y perfiles laminados de dimensiones pequeñas y medias se podrán emplear sierras de cinta o sierras circulares de alta velocidad.

Con estos procedimientos la sección de corte es defectuosa y presenta una rebaba importante que requiere un repaso con máquina desbarbadora.

- En el corte de perfiles laminados de grandes dimensiones, cuyo sea canto igual o superior a 400 mm, se emplearán únicamente sierras circulares de baja velocidad.

#### ***Oxicorte.***

El oxicorte se podrá emplear en el corte de productos planos y largos con espesores muy variados, de hasta 150 ó 200 mm. Además, se utilizará en el corte de productos planos y largos con formas singulares -despalmillados de las alas, aberturas del alma,...-.

No se admitirá el corte por arco eléctrico o por oxicorte de forma manual, sino solamente el oxicorte automático.

Los bordes de corte que, sin ser fundidos durante el soldeo, queden a distancias inferiores a 30 mm de una unión soldada, serán mecanizados en una profundidad no inferior a 2 mm.

#### ***Otros procedimientos de corte.***

Se emplearán otros procedimientos de corte (corte con plasma, láser o agua a presión) cuando así se indique en este pliego de condiciones o en los planos del proyecto de ejecución, y cuando así lo autorice el director de obra.

#### ***Perforación de agujeros.***

Las operaciones de perforación de agujeros se realizan generalmente para permitir la colocación de los medios de fijación en uniones atornilladas o bulonadas.

Las operaciones de perforación de agujeros deberán ejecutarse lo más tarde posible en el proceso de fabricación de los componentes estructurales, de manera que las deformaciones y desviaciones dimensionales de procesos posteriores no repercutan en las dimensiones definitivas ni en el estado de las superficies de contacto.

La perforación de agujeros se realizará preferentemente mediante taladrado. Solamente se admitirá la ejecución de se agujeros mediante punzonado cuando se consideren las siguientes restricciones:

- No se ejecutarán agujeros mediante punzonado en elementos de espesor superior a 15 mm.
- El punzonado provoca un endurecimiento del material en los bordes del agujero; en consecuencia, no se ejecutarán agujeros mediante punzonado a diámetro definitivo en los siguientes casos:
  - elementos estructurales dimensionados mediante análisis plástico, en los puntos donde se prevé la formación de rótulas plásticas
  - elementos estructurales sometidos a esfuerzos de fatiga
  - elementos estructurales sometidos a acciones sísmicas o a otras acciones dinámicas

En estos casos solamente se admitirá la perforación de agujeros por punzonado a diámetro reducido, 3 mm menor al nominal, que se complementará con un mecanizado final mediante taladrado o escariado.

Los agujeros rasgados podrán ejecutarse por punzonado de una sola vez, o por taladrado de dos agujeros circulares unidos entre sí mediante oxicorte, con un mecanizado posterior mediante esmerilado o cepillado, para eliminar la zona de material alterado y asegurar la libertad de desplazamientos del tornillo.

Se deberán tomar las medidas adecuadas para garantizar que los agujeros sean cilíndricos, sin grietas ni fisuras, y para garantizar la coincidencia de los mismos.

Siempre que sea posible, se taladrarán de una sola vez los agujeros que atraviesen dos o más piezas, después de armadas, engrapándolas o atornillándolas fuertemente. Después de taladradas las piezas, se repasarán para eliminar las rebabas.

Cuando haya de rectificarse la coincidencia de agujeros, la operación se ejecutará mediante escariado o taladrado.

No se admitirá en ningún caso la perforación o rectificación de agujeros mediante soplete o arco eléctrico.

#### ***Armado de componentes.***

El armado o ensamblado agrupa las operaciones de preparación, presentación y fijación entre sí de las distintas piezas o posiciones que constituyen un componente para su unión definitiva en taller, generalmente mediante soldadura.

El armado se realizará por medio de puntos de soldadura depositados entre los bordes de las piezas a unir, de forma que sean los mínimos posibles que garanticen la rigidez del conjunto y permitan su manipulación y transporte a los puestos de soldadura. La longitud de los puntos de soldadura será superior a 50 mm y a 4 veces el mayor espesor de las piezas a unir.

La soldadura provisional para el armado (punteado) se minimizará tanto como sea posible, y se evitará en aquellos lugares donde pueda originar concentraciones de tensiones residuales. Estos puntos de soldadura serán eliminados totalmente antes de la ejecución de las soldaduras definitivas.

Asimismo, los elementos provisionales de fijación (casquillos, tacos, pletinas, etc.) que para el armado o montaje se suelden a los distintos componentes de la estructura se desprenderán cuidadosamente con soplete y sin ocasionar daño alguno a éstos, nunca a golpes. Los restos de soldadura se eliminarán totalmente mediante esmerilado.

En el armado de series de componentes iguales o muy similares se planteará la ejecución de plantillas. Una plantilla es un conjunto armado y comprobado, al que se colocan topes y referencias, que sirve como base para el armado del resto de los componentes de la serie sin necesidad de posteriores trazados o comprobaciones.

El armado de conjuntos de grandes dimensiones, como por ejemplo vigas de celosía, se realizará sobre mesas o caballetes que formen una superficie plana, sobre la que se irán colocando y fijando entre sí las distintas posiciones, mientras se referencian continuamente a los puntos que aseguran las dimensiones críticas dentro de las tolerancias establecidas: dimensiones generales, uniones a ejes, posición de placas de unión,...

La preparación de bordes de las piezas para la soldadura definitiva del conjunto se realizará durante el armado, a no ser que se haya realizado previamente mediante oxicorte. Se realizará mediante dos procedimientos en función del espesor del borde:

- La preparación de bordes en chapas con espesores de hasta 25 mm se podrá realizar mediante achaflanadoras portátiles.
- La preparación de bordes en chapas de mayores espesores se realizará mediante oxicorte.

El borde resultante de cualquier tipo de preparación será uniforme y liso, y estará exento de cualquier tipo de oxidación. Cuando el procedimiento base utilizado produzca estos resultados, se repasarán los bordes mediante desbarbadora hasta conseguirlo. Se considera admisible una ligera coloración azulada producida por el oxicorte.

### ***Soldadura.***

#### ***Procedimientos de soldadura.***

Antes de comenzar ninguna operación de soldadura se definirán detalladamente en los correspondientes procedimientos de soldadura las técnicas operativas que serán empleadas en las diversas uniones soldadas que se realicen, que se ajustarán a la norma AWS D1.1. Estos

La empresa constructora homologará los procedimientos de soldadura correspondientes en condiciones similares a las condiciones reales de ejecución de acuerdo con la norma AWS D1.1. Podrá obviarse este requisito si se acude a juntas precualificadas.

Las técnicas de soldadura más comunes en estructuras de acero utilizan como fuente de calor un arco eléctrico que se mantiene entre el electrodo y las piezas a unir. Las soldaduras podrán ejecutarse mediante las siguientes técnicas:

- Soldadura manual por arco metálico, con electrodo fusible revestido
- Soldadura automática por arco sumergido, con alambre-electrodo fusible desnudo
- Soldadura automática o semiautomática por arco protegido en atmósfera gaseosa, con alambre tubular
- Soldadura semiautomática o automática por arco protegido en atmósfera gaseosa, con alambre-electrodo fusible

Siempre que sea físicamente posible, se empleará la soldadura automática por arco sumergido, reservándose la semiautomática o manual para el resto de los casos. En obra se utilizará preferentemente la soldadura manual.

No se utilizará la soldadura por arco protegido en atmósfera de gas en cordones de soldadura con penetración, admitiéndose su uso para las soldaduras en ángulo, después de la correspondiente homologación del procedimiento.

#### ***Cualificación de los soldadores.***

Todos los soldadores de taller y de obra, tanto de soldaduras provisionales como definitivas, deberán estar homologados según EN 287.

Para la realización de las soldaduras de fabricación y montaje serán admitidos los certificados que posean los soldadores, siempre que éstos sean fijos del taller y en los límites

establecidos por el código citado o equivalente, salvo mejor decisión por parte de la supervisión o de la dirección de obra.

No obstante, para aquellos trabajos de soldadura que se consideren muy importantes, la dirección de obra podrá exigir a la empresa constructora que realice a su cargo las pruebas de cualificación necesarias para la homologación de los soldadores que hayan de intervenir en la realización de aquellos trabajos. La dirección de obra o sus representantes podrán presenciar y dirigir la cualificación de los soldadores, sea en el taller, en obra, o en cualquier otro lugar.

La empresa constructora mantendrá al día los correspondientes registros de identificación de sus soldadores de forma satisfactoria, en los que figurarán: número de ficha, copia de homologación y marca personal. Esta documentación estará en todo momento a disposición de la dirección de obra y sus representantes.

El inspector de calidad podrá retirar la cualificación a cualquier soldador por baja calidad de su trabajo o incumplimiento de alguno de los requisitos establecidos en este pliego de condiciones.

Cada soldador identificará su propio trabajo, con marcas personales que no serán transferibles.

#### ***Clases de soldaduras.***

Las soldaduras en estructuras de acero son básicamente de tres tipos: soldaduras en ángulo, soldaduras a tope y soldaduras especiales.

#### ***Soldaduras en ángulo***

Las soldaduras en ángulo, de sección aproximadamente triangular, se localizan entre paramentos dispuestos en esquina o ángulo. El material de aportación no penetra prácticamente en la sección de los elementos a unir.

El espesor mínimo de garganta de los cordones de soldadura de ángulo será de 3 mm. El espesor máximo de garganta será igual a 0,7 veces el menor de los espesores de los elementos a unir, si los cordones se ejecutan por un lado; y 0,4 veces, si los cordones se ejecutan por ambos lados.

Cuando no se especifique otra cosa en los planos del proyecto de ejecución, el espesor de garganta de las soldaduras en ángulo será igual al máximo indicado.

Todas las partes que hayan de soldarse en ángulo habrán de acercarse hasta donde sea factible y, de ningún modo, la separación entre dichas partes será mayor de lo indicado en el código AWS D1.1.

Los cordones laterales de soldadura de ángulo que transmiten esfuerzos axiales de barras, tendrán una longitud no inferior a 15 veces su espesor de garganta, ni al ancho del perfil unido.

En los cordones discontinuos, la longitud eficaz de cada uno de los tramos no será inferior a cinco veces su espesor de garganta, ni a 40 mm. La distancia libre entre cada dos tramos consecutivos de cordón, no excederá 15 veces el espesor del elemento unido más delgado; y en ningún caso excederá de 300 mm.

Para evitar concentraciones de esfuerzos y conseguir la máxima penetración, los cordones de las soldaduras en ángulo serán cóncavos respecto al eje de intersección de las chapas a unir. Como máximo podrá ser plana la superficie exterior de la soldadura. No se admitirán depósitos que produzcan mordeduras.

Las chapas que hayan de unirse mediante soldadura en ángulo en sus bordes longitudinales a otro elemento no tendrán una anchura superior a 30 veces su espesor.

En el caso de soldaduras a solape, la longitud de éste debe ser, como mínimo, 3 veces el menor de los espesores de las piezas a soldar, y nunca menor de 30 mm.

### ***Soldaduras con penetración***

En la soldadura con penetración el material de aportación se localiza mayoritariamente entre las superficies exteriores de los elementos a unir, es decir, en continuidad con sus secciones.

Para ejecutar soldaduras a tope entre dos elementos de distinta sección, con el espesor de uno de ellos mayor en más de un 20% al del otro, la sección mayor se adelgazará en la zona de contacto mediante mecanizado, con pendientes no superiores al 25% para obtener una transición suave de la sección.

Cuando el espesor de las piezas que se vayan a unir sea igual o menor que 6 mm, se permitirá la soldadura a tope por un lado sin necesidad de preparación de los bordes, siempre que se utilice un electrodo que asegure una penetración completa. La separación entre bordes en este caso, deberá ser inferior a la mitad del espesor de la pieza más delgada.

Cuando el espesor de las piezas que se vayan a unir sea superior a 6mm, se deberán preparar los bordes para junta en V o en X, según sean o no accesibles ambos lados. En cualquiera de los dos casos, la separación entre bordes no será mayor de 3 mm.

Cuando no se especifique otra cosa en los planos del proyecto de ejecución, las soldaduras a tope serán de penetración total. En las soldaduras que por su responsabilidad lo requieran, a juicio del director de obra o del inspector de calidad, se verificará la penetración del cordón.

Cuando no se especifique otra cosa en los planos del proyecto de ejecución, todas las uniones en las que uno de los espesores sea de 30 mm o superior se realizarán con soldaduras de penetración total.

No ejecutarán soldaduras de penetración discontinuas.

En el inicio de las soldaduras con penetración, el cebado del arco deberá realizarse en un elemento adicional dispuesto en prolongación de los elementos a unir, para evitar la formación de cráteres iniciales; asimismo, deberá soldarse otro suplemento al final del cordón de soldadura, para evitar la formación de cráteres finales. Estos elementos se podrán utilizar posteriormente para realizar ensayos destructivos, cuando así lo ordene el director de obra o el inspector de calidad.

En los cordones de soldadura con penetración total se realizará un saneo o ranurado del cordón de raíz por su reverso, antes de depositar el cordón de cierre o la primera pasada por la parte posterior del cordón.

El saneo del cordón de raíz o toma de raíz consiste en la eliminación de la escoria superficial en la parte posterior de la primera pasada de soldaduras con penetración total,

hasta dejar al descubierto completamente el material sano del cordón. El saneo producirá una acanaladura de sección en V, con sus caras de fusión fácilmente accesibles.

El saneo del cordón de raíz se realizará hasta una profundidad suficiente para garantizar la penetración completa en el material aportado; se podrá realizar por varios métodos en función de su accesibilidad:

- En cordones accesibles por detrás se utilizará una máquina esmeriladora o desbarbadora.
- En cordones de difícil acceso se requerirá el empleo de cortafríos y martillo o pistoletes de aire comprimido.
- En cordones de gran longitud se pueden practicar acanaladuras longitudinales con un equipo arco-aire: un electrodo de carbón produce la fusión del material, que se elimina por medio de un chorro de aire a gran velocidad.

En ocasiones, será necesario un repaso de la acanaladura con máquina desbarbadora.

- En cordones inaccesibles se deberá disponer por la parte posterior una chapa de respaldo o dorsal para evitar el saneo. La chapa de respaldo deberá ser continua a lo largo del cordón de soldadura.

En caso de que la chapa dorsal sea de cobre, deberá eliminarse al final de la soldadura, con cuidado de no cebar el arco sobre ella para evitar inclusiones de cobre que pueden inducir fisuras.

Las soldaduras sobre chapa dorsal pueden presentar entalladuras en la zona de raíz, y por tanto, no son adecuadas ante situaciones de fatiga.

Una vez ejecutado el saneo, se realizará un ensayo con líquidos penetrantes sobre el cordón de raíz, antes de proceder con la ejecución de las restantes pasadas del cordón, ya que su rápido enfriamiento puede producir fisuraciones o provocar que queden escorias atrapadas.

### ***Ejecución de soldaduras.***

Las soldaduras deberán ejecutarse preferentemente en posición horizontal o vertical; en estas posiciones se consiguen soldaduras de mayor calidad y mejores rendimientos de taller. En consecuencia, las soldaduras de techo y cornisa deberán evitarse volteando las piezas o elementos sobre las bancadas y mesas de soldadura.

Los cordones de soldadura de grandes dimensiones, que requieren una gran cantidad de material de aportación, y las soldaduras con penetración, deberán ejecutarse en posición horizontal.

No se ejecutarán cordones discontinuos cuando el elemento estructural haya de estar en un ambiente exterior.

Inmediatamente antes de iniciar cualquier soldadura, la superficie de la zona que se vaya a soldar se limpiará perfectamente eliminando el óxido, cascarilla, polvo, pintura, agua, aceites o grasas y en general cualquier otra impureza, mediante la utilización de calor, cepillos de alambre, disolventes, etc.

No se realizarán trabajos de soldadura a la intemperie en condiciones atmosféricas desfavorables, tales como excesiva humedad, lluvia o viento. En tales circunstancias se deberá

proteger la zona de trabajo antes del comienzo de cualquier operación de soldadura, siguiendo los criterios de la dirección de obra.

Cuando se emplee soldadura por arco protegido en atmósfera gaseosa se debe proteger la zona de soldeo del viento mediante los oportunos apantallamientos, de forma que, en ningún caso, la velocidad del viento sea superior a 7 km/h.

Los amperímetros, voltímetros y velocímetros utilizados en los equipos de soldadura deberán disponer de certificados de calibración con fecha no superior a los nueve meses anteriores.

Los soldadores estarán provistos de piquetas manuales, cepillos y esmeriladoras, bien ellos o sus ayudantes. Con estas herramientas se limpiará la escoria y todo defecto que se aprecie: porosidad, fisuración, proyecciones, irregularidades y zonas deficientes de penetración.

### **Consumibles**

La calidad del metal de aportación y las características del recubrimiento del electrodo serán las indicadas en el procedimiento de soldadura homologado, en función de la calidad del acero, la posición de soldadura, el tipo de equipo y las condiciones ambientales.

Los electrodos y el fundente se guardarán en sus recipientes de origen, de acuerdo con las instrucciones de la empresa fabricante, para permitir su identificación en todo momento; cualquier defecto o deterioro en forma de fisuración o descamación del revestimiento de oxidación supondrá su rechazo.

Los electrodos se almacenarán a salvo de humedades, en un local cerrado y seco y a una temperatura tal que se eviten condensaciones.

El revestimiento deberá ser concéntrico con la varilla de material de aportación para garantizar una protección constante del baño de fusión.

Las condiciones de mantenimiento serán establecidas para cada tipo de electrodo por el inspector de control de la dirección de obra de acuerdo con la normativa aplicable.

Los electrodos con revestimiento de bajo contenido en hidrógeno se utilizarán después de pasar por un horno de secado para eliminar la humedad del revestimiento, que podría provocar porosidades en el cordón de soldadura. En consecuencia, la empresa fabricante de la estructura de acero dispondrá de hornos para el mantenimiento de los electrodos, en los que serán introducidos en el momento en que los paquetes sean abiertos para su utilización. En aquellos casos en los que las envolturas exteriores de los paquetes hayan sufrido daños, el inspector de control de la dirección de obra decidirá si los electrodos deben ser rechazados, desecados o introducidos directamente en los hornos de mantenimiento. Habrá de tenerse en cuenta a tal efecto que la misión exclusiva de los hornos de mantenimiento será tener en buenas condiciones de utilización aquellos electrodos que inicialmente lo estén y que por haber perdido su aislamiento de la atmósfera lo requieran.

Con independencia de los hornos que pudiera disponer en el almacén, la empresa constructora situará hornos de mantenimiento en las proximidades de la zona de trabajo de los soldadores. El soldador dispondrá de un recipiente cerrado en el cual colocará los electrodos que vaya retirando en pequeñas cantidades del horno de mantenimiento más cercano. Estos electrodos deberán ser utilizados en un plazo inferior a una hora.

En casos especiales en que los soldadores trabajen en condiciones ambientales de gran humedad, se podrá exigir que se provea a los soldadores de hornos de mantenimiento individuales, de los cuales extraerán los electrodos uno a uno conforme vayan a ser utilizados.

Se emplearán electrodos de revestimiento básico en soldadura manual tipos E432, 433 ó 434 para aceros S275 y E512, 513 ó 514 para aceros S355, según la normativa citada en el apartado 1.2. Los electrodos cuyos embalajes no presenten una estanquidad garantizada y se decida desecarlos, lo serán durante 2 horas, como mínimo, a una temperatura entre 200 y 250 °C, o tal como indique el fabricante. Estos valores podrán modificarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

No está permitido desecar más de una vez los electrodos. Los electrodos humedecidos o mojados no serán utilizados en ningún caso.

Los inspectores de control de la dirección de obra podrán ordenar la retirada o destrucción de cualquier electrodo que a pesar de las precauciones tomadas por la empresa constructora haya resultado contaminado, en su opinión.

El fundente que haya estado a temperatura ambiente durante más de dos horas no se utilizará a menos que sea secado de acuerdo con lo descrito en el párrafo anterior. El fundente seco puede mantenerse en una estufa a una temperatura no inferior a 50 °C hasta su utilización. Bajo ninguna circunstancia se permitirá el reciclaje de la escoria del fundente.

En la ejecución del montaje en obra el retorno de la corriente de la soldadura en ningún caso se efectuará por la estructura de los edificios, ni por partes metálicas de las instalaciones. A tal fin, el conductor de retorno deberá estar conectado directamente a la pieza que se esté soldando. Por otra parte, su sección deberá ser la misma que la del conductor de la pinza.

### ***Precaentamiento***

El precalentamiento se utiliza para atenuar la velocidad de enfriamiento de elementos de espesores grandes, superiores a 40 mm, especialmente cuando están sometidos a baja temperatura ambiente, y con aceros con un contenido de carbono equivalente (CEV) superior a 0,20%.

La temperatura de precalentamiento se establecerá en función de la composición química del acero, según los criterios adoptados en la norma AWS D1.1 y se efectuará su control mediante el uso de tizas termométricas. Esta temperatura deberá mantenerse durante toda la operación con medios adecuados, como mecheros de gas natural o propano, o calentadores de resistencia eléctrica. La extensión del precalentamiento deberá alcanzar como mínimo 75 mm a cada lado de las piezas a unir.

No se realizarán nunca calentamientos de alta intensidad como los producidos por oxiacetileno.

### ***Criterios y secuencias de ejecución***

La aportación de calor en la ejecución de cualquier soldadura provoca en los elementos a unir fuertes sobrecalentamientos y enfriamientos que conducen a la aparición de tensiones residuales y distorsiones geométricas.

Las secuencias adoptadas en la ejecución de los cordones de soldadura y de las pasadas de cada cordón, si se estudia detalladamente considerando los siguientes criterios,

contribuye sustancialmente a aminorar las tensiones residuales. En consecuencia, en la ejecución de las soldaduras se respetarán los criterios siguientes:

- Criterio de cantidad

La aportación de material, y por tanto de calor, en la ejecución de la soldadura deberá ser la mínima imprescindible.

La energía aportada en la realización de la soldadura no será superior a 30 kJ/cm.

- Criterio de simetría

La aportación de material en la ejecución de la soldadura deberá ser simétrica respecto de un eje neutro de la unión.

En las soldaduras con penetración y preparación de bordes en X ó K, las pasadas se realizarán alternativamente en cada lado de los elementos.

- Criterio de libertad

Los cordones de soldadura deberán ejecutarse desde el centro hacia el exterior de la unión, para favorecer la liberación de tensiones residuales hacia los contornos libres de las piezas.

Se deberán ejecutar primero los cordones susceptibles de provocar una mayor contracción, para soldar a continuación los que producen una contracción más pequeña.

En general, se deberán ejecutar primero los cordones transversales y posteriormente, los longitudinales.

Las distorsiones y tensiones residuales aumentan notablemente cuando se dejan enfriar los elementos antes de dar la siguiente pasada o cordón. Se evitará un enfriamiento anormal o excesivamente rápido de los cordones de soldadura, para lo cual deberán de tomarse las precauciones necesarias. En ningún caso se acelerará el enfriamiento de las soldaduras por métodos artificiales.

Cuando sea imposible evitar las distorsiones geométricas y dimensionales ocasionadas por la soldadura, se restringirán por medio de elementos auxiliares (presillas, gatos...) de manera que las piezas a unir asuman las variaciones de temperatura en forma de tensiones internas. No se corregirán nunca las distorsiones mediante golpes de maza o martillo.

El número de pasadas de un cordón de soldadura se establecerá en función del equipo de soldadura, el espesor de garganta y su accesibilidad.

Después de cada pasada, y antes de ejecutar la siguiente, se limpiará su superficie cuidadosamente por medios mecánicos, hasta eliminar completamente cualquier resto de escoria e irregularidades como porosidades, fisuras, proyecciones, etc. En el caso de utilizarse esmeriladores neumáticos, éstos irán provistos de filtros individuales de aceite y agua con el fin de evitar la contaminación de la soldadura.

Los cordones de soldadura que presenten grietas serán saneados totalmente, procediéndose al levantamiento de los mismos mediante arco-aire en la profundidad necesaria hasta alcanzar una zona sana y sin agrietar. Una vez que se haya limpiado y esmerilado perfectamente esta nueva zona de arranque, se reconstruirá enteramente el cordón.

No se harán coincidir en una misma sección los finales de varios cordones.

A menos que se prevean los tratamientos térmicos adecuados, no se ejecutarán soldaduras en las zonas en que el material haya sufrido una fuerte deformación en frío.

El acabado de las soldaduras presentará un aspecto uniforme, libre de mordeduras, cráteres y solapes. El material de aportación surgirá del material base con ángulo suave, estando el sobreespesor de acuerdo con lo establecido en las especificaciones y normas aplicables, para evitar que un reforzamiento excesivo del cordón pueda originar una concentración de tensiones excesivas. El sobreespesor del cordón estará comprendido entre 10% y 20% del espesor de la chapa.

Los esmerilados de acabado no se extenderán a los extremos exteriores de las barras a fin de no enmarcar y profundizar posibles mordeduras.

#### ***Criterios específicos para la soldadura en vigas carril***

Los sobreespesores de los cordones a tope en las platabandas, correspondientes a las caras exteriores, deben ser eliminados por procedimientos mecánicos, como disco abrasivo, cincel, esmeril o fresa, consiguiendo de esta manera planos rectos en dichas caras o superficies.

No deben emplearse cordones de soldadura discontinuos en ningún elemento de las vigas carril.

#### ***Montajes en blanco.***

La dirección de obra podrá solicitar que se realicen los montajes parciales de la estructura en taller (montajes en blanco) que sean necesarios para asegurar la absoluta coherencia y compatibilidad dimensional de los elementos concurrentes.

---

### ***ESTRUCTURA METÁLICA. MONTAJE.***

Los trabajos de montaje de la estructura de acero se realizarán de acuerdo con las más modernas técnicas en la materia, conforme a lo que se especifique en los planos, instrucciones, marcas de coincidencia y demás documentos de montaje, manteniendo siempre la precisión exigida.

Con objeto de asegurar la correcta ejecución de los distintos trabajos, y en orden a conseguir la precisión establecida, se utilizarán las herramientas y los instrumentos de medida y verificación más adecuados para cada caso.

Los daños causados por la empresa constructora a equipos existentes en la instalación o instalados por ella misma u otros, deberán ser reparados o repuestos a su cargo. En todo caso, la dirección de obra se reserva el derecho a su reparación o reposición, pasando cargo al responsable del daño, incluyendo los perjuicios derivados del mismo, ya sean retrasos en la ejecución, lucro cesante, etc.

#### ***Operaciones previas.***

Antes de comenzar las operaciones de montaje, la empresa constructora realizará una serie de tareas que se recogen en los apartados siguientes.

### ***Documentación de montaje.***

A partir de la documentación de proyecto, la oficina técnica del taller de construcciones metálicas preparará la documentación de montaje, que al menos contará con los siguientes elementos:

- Programa de montaje
- Memoria y planos de montaje

### ***Programa de montaje***

La empresa fabricante de la estructura de acero elaborará un programa de montaje a partir de los plazos y prioridades estipulados por la dirección de obra

Las vías de acceso y circulación de la obra deberán estar adecuadamente consolidadas y ser practicables para los vehículos de transporte y elevación del material.

La empresa constructora deberá informar quincenalmente a la dirección de obra del avance del montaje de los componentes.

A petición de la dirección de obra, y para las estructuras que ésta determine, se realizarán protocolos, informes, croquis, etc., del montaje en obra, donde se reflejen fielmente las condiciones de situación, nivelación, alineación, ajuste, etc., que en cada caso se exijan.

### ***Memoria y planos de montaje***

La empresa constructora elaborará una memoria y unos planos de montaje, que deberán ser revisados y aprobados por la dirección de obra.

Los planos de montaje recogen la información necesaria para el montaje de los componentes, que forman la estructura de acero. En la mayoría de los casos, podrán coincidir básicamente con los planos generales de despiece.

La memoria recogerá un estudio completo con planos y gráficos de las principales operaciones del montaje, donde se haga figurar una descripción detallada de las distintas fases de la operación, medios asignados a la misma, etc.

### ***Almacenamiento y acopio de materiales.***

La empresa constructora realizará en los almacenes o parques que a tal fin le sean indicados por la dirección de obra, un almacenamiento exhaustivo y cuidadoso de todos los materiales que se vayan a montar.

El área de acopio se dividirá en subáreas con acceso fácil e independiente en las que se organicen los elementos estructurales agrupados en función de su tipo y de la secuencia de montaje. Los materiales recibidos en mal estado que deban ser reparados o sustituidos se acopiarán en una zona bien diferenciada.

El acopio se realizará sobre traviesas o durmientes de madera que protejan los elementos estructurales de la humedad del suelo, hasta una altura no superior a 1,50 m. Los durmientes deben colocarse entre los elementos apilados, de manera que no se produzcan contactos entre ellos.

Los elementos de pequeño tamaño -casquillos, cartelas, forros, cubrejuntas,...- se acopiarán empaquetados en cajas en las que conste la identificación de su contenido.

La empresa constructora se responsabilizará de la conservación y protección de los materiales y equipos que se vayan a montar.

En los lugares donde la posible caída de materiales pueda ocasionar daños a los elementos montados o en fase de montaje, éstos se protegerán mediante la colocación de cubiertas provisionales de chapa fina de acero, madera, redes protectoras, etc.

Los materiales menudos y las herramientas ligeras que deban permanecer en los andamios o plataformas de obra, serán depositados en cajas o recipientes firmemente sujetos a aquéllos, y deberán ser retirados al almacén en cuanto termine su utilización.

Las herramientas manuales pesadas, tales como taladradoras, máquinas de impacto, llaves dinamométricas, etc., situadas en zonas desde donde pudieran desprenderse fácilmente, se colgarán con cuerdas de puntos fijos de la estructura.

En cualquier caso, y además de las precauciones anteriores, deberán establecerse en las cotas inferiores situadas en la vertical del posible desprendimiento de materiales, protecciones, señalización y acotamiento adecuados para la seguridad de las personas.

#### ***Medios auxiliares para el montaje.***

#### ***Andamios y plataformas provisionales.***

La empresa constructora, antes de iniciar los trabajos de montaje, estudiará exhaustivamente las distintas operaciones a realizar, con objeto de diseñar, construir y colocar los andamios y plataformas provisionales de obra de la forma más adecuada, a fin de evitar todo riesgo de accidente para el personal de montaje.

Los andamios serán contruidos con los materiales más adecuados según la finalidad para la que han sido previstos, y serán comprobados antes de ser utilizados por el personal.

Los pisos de los mismos serán antideslizantes y se mantendrán libres de obstáculos o productos resbaladizos.

Serán utilizados exclusivamente para la finalidad para la que han sido diseñados, y en ningún caso serán sobrecargados con materiales, equipos o herramientas por encima de su capacidad de carga.

Todos los andamios que ofrezcan peligro de caída estarán provistos de barandillas y rodapiés contruidos con materiales rígidos y resistentes.

Los andamios o plataformas que sea necesario desmontar parcialmente para permitir el paso o colocación de estructuras o equipos, serán restaurados a la mayor brevedad posible.

Cuando sea necesario usar andamios móviles, se dispondrán los necesarios dispositivos de seguridad de forma que se evite su desplazamiento o caída.

### ***Herramientas y útiles.***

La empresa constructora deberá realizar con antelación suficiente, tanto antes de iniciar las labores de montaje como durante la ejecución de las mismas, una adecuada previsión del herramental y utillaje que se vaya a emplear en los distintos trabajos que le hayan sido contratados, teniendo muy en cuenta las siguientes consideraciones.

Los útiles y herramientas serán los más adecuados al trabajo que se vaya a realizar, y de la mejor calidad y garantía entre los disponibles en el mercado.

Estos medios serán revisados periódicamente para comprobar su estado de conservación y serán retirados inmediatamente de la obra todos aquéllos que se encuentren en tales condiciones de deterioro que se consideren inservibles. Especial cuidado deberá observarse con aquel herramental que se utilice en movimiento de cargas, oxicorte, soldadura, esmerilado y taladrado.

Deberán preverse los correspondientes bancos de trabajo, con herramental fijo a los mismos, a fin de realizar adecuadamente los trabajos de cortado, taladrado, mecanizado, etc. En ningún caso se permitirá realizar estos trabajos en el suelo o en condiciones inseguras por falta de bancos adecuados.

### ***Grúas y aparatos de elevación.***

La empresa constructora determinará para cada una de las operaciones que se vayan a realizar y que así lo requieran, el tipo y ubicación más adecuado de las grúas de montaje, teniendo en cuenta el peso y tamaño de la carga que se vaya a elevar, la altura de elevación, el radio de giro de la grúa, etc.

Para la colocación de las grúas en el lugar de trabajo deberá realizarse un estudio detallado de los accesos al mismo, de los equipos e instalaciones que estén situadas dentro del radio de acción de la grúa, de canalizaciones subterráneas (tuberías, conductos eléctricos, colectores de drenaje, etc.) que existan en la zona, de la configuración y la resistencia del terreno, etc., para en cada caso tomar las medidas de protección más adecuadas.

Cuando las grúas deban trabajar en los lugares estrechos o de frecuente paso de personal, se dispondrán vigías, o bien se acotará la zona mediante vallas, acordonamientos, etc., que impidan el paso de personal a los mismos y se colocarán carteles de peligro.

Para el izado o descenso de elementos de estructura o equipos, se utilizará preferentemente una sola grúa con capacidad de carga suficiente. Cuando necesariamente deban emplearse dos o más grúas para una misma maniobra, se establecerá previamente con la mayor exactitud posible qué parte de la carga deberá soportar cada una, para evitar que ninguna de ellas trabaje sobrecargada.

Se evitará en lo posible el desplazamiento de las cargas por encima de las zonas donde se encuentre el personal trabajando. En cualquier caso, el guiado y desplazamiento de las cargas suspendidas se realizará utilizando cuerdas de longitud suficiente.

Se dispondrán operarios responsables para dirigir mediante señales las maniobras de las grúas. Los gruístas encargados de operar dichas máquinas obedecerán en todo momento las señales recibidas de aquellos operarios.

Antes de realizar cualquier operación importante con grúas u otros mecanismos de elevación, se llevará a cabo una completa inspección de los mecanismos de seguridad de las

mismas (frenos de cabrestantes, gatos, etc.). Asimismo, periódicamente se revisará el estado de todos los elementos de la grúa, prestando especial atención al estado de los cables de acero para el movimiento de la pluma y de las cargas. Para el examen y eventual sustitución de estos cables se seguirán las recomendaciones de la norma UNE 58111.

En lo que se refiere a los elementos auxiliares para el movimiento de cargas (estrobos, grilletes, grapas, etc.), se utilizarán los de mejor calidad entre los existentes en el mercado y deberán estar en todo caso debidamente homologados.

### **Montaje.**

El montaje incluirá la colocación y fijación de todos los elementos de la estructura de acero representados en los planos del proyecto de ejecución.

La empresa constructora podrá montar previamente a nivel del suelo partes de la estructura para su posterior izado y montaje en su posición final. Los elementos auxiliares añadidos por la empresa constructora para facilitar el montaje serán retirados sin que quede huella de ellos.

Los detalles correspondientes a soldaduras de elementos temporales que se hayan de instalar sobre la estructura, estarán de acuerdo con lo especificado en este pliego de condiciones y deberán ser sometidos a la correspondiente aprobación de la dirección de obra.

Será deber de la empresa constructora, coordinar el trabajo de la empresa subcontratista del montaje de la estructura metálica con el resto de los subcontratistas de la obra, en caso de ser empresas distintas, y de esta manera realizar los trabajos sin ninguna clase de perturbación.

Será deber de la empresa constructora preocuparse por la perfecta colocación de aquellos elementos que, aun en el caso de no corresponderle su ejecución, estén directamente relacionados con el montaje de la estructura.

No se comenzará el soldeo definitivo de las uniones de montaje hasta que no se haya comprobado que la posición de las piezas a que afecta cada unión coincida exactamente con la definitiva, o si se han previsto elementos de corrección, que su posición relativa es la debida, y que la posible separación de la forma actual, respecto de la definitiva, podrá ser anulada con los medios de corrección disponibles.

Se procurará ejecutar las uniones de montaje de forma tal que todos sus elementos sean accesibles a una inspección posterior. En los casos en que sea forzoso que queden algunos ocultos, no podrá procederse a la colocación de los elementos que los cubren hasta que no hayan sido inspeccionados cuidadosamente los primeros por la dirección de obra.

### **Fijación de componentes con tornillos.**

Para la ejecución de todas las uniones atornilladas se tendrá en cuenta lo estipulado en el Código Técnico de la Edificación y en la Instrucción de Acero Estructural EAE.

Antes de realizar cualquier unión atornillada se comprobará que los tornillos, tuercas y arandelas que se vayan a colocar en una misma unión son de idéntica clase y calidad, y se corresponden con las indicaciones del plano constructivo correspondiente.

Antes de comenzar las operaciones de atornillado se deberá comprobar que las superficies de contacto y los elementos de unión no presentan óxido, aceite, suciedad,

humedad,... Todos los tornillos que presenten una severa oxidación, defectos en el roscado o adherencias de polvo, arena, cemento, etc. serán rechazados.

Los tornillos se colocarán con la cabeza hacia arriba, siempre que no existan interferencias con otros elementos. La herramienta de apriete se aplicará preferentemente en el lado de la tuerca.

Los agujeros no coincidentes, que impidan la inserción de algún tornillo, pueden corregirse ligeramente mediante escariado, jamás con soplete; en caso de desviaciones superiores a las admitidas en este pliego de condiciones o en la norma EN 1090, se desecharán los elementos defectuosos.

#### ***Apriete de tornillos no pretensados.***

Los tornillos no pretensados, ya sean ordinarios o de alta resistencia, se deberán apretar hasta lograr un buen contacto entre las superficies de los elementos a unir. No es necesario alcanzar un momento de apriete determinado; y por tanto, sirve como referencia el momento que se consigue con una llave manual sin brazo de prolongación, o con una llave neumática cuando ésta comienza a impactar (condición de apretado a tope).

Los elementos unidos deberán alcanzar un contacto firme, aunque pueden tolerarse separaciones residuales de 2 mm como máximo.

En los tornillos no pretensados, deberá permanecer despejado un filete de rosca completo entre la superficie de apoyo de la tuerca y la parte no roscada de la espiga, para garantizar completamente el apriete.

La longitud no roscada de la espiga, medida después del apriete, no será inferior al espesor de los elementos unidos más 1 mm, ni sobrepasará la superficie exterior de la arandela, quedando dentro de ésta al menos un filete de rosca.

#### ***Secuencia de ejecución.***

Como regla general, las operaciones de apriete se ejecutarán progresiva y simétricamente desde el centro del grupo hacia los extremos. Se adoptará la siguiente secuencia de ejecución en el apriete de tornillos no pretensados:

1. Colocación y apriete de un número suficiente de tornillos hasta asegurar un perfecto contacto de las superficies de unión
2. Colocación de los tornillos restantes y apriete de todos los tornillos hasta conseguir el momento de apriete de referencia aplicado para tornillos no pretensados

#### ***Colocación de tuercas.***

Las tuercas se colocarán de manera que su marca de designación de calidad permanezca visible. Antes de su colocación, deberá comprobarse que la tuerca se desliza libremente por la parte roscada de la espiga de su tornillo.

Las tuercas no se soldarán nunca a la espiga del tornillo para asegurar su apriete; en situaciones que requieran medidas excepcionales de fijación -estructuras sometidas a acciones dinámicas o vibraciones,...- podrán utilizarse contratuerca en caso de tornillos no pretensados.

#### ***Colocación de arandelas.***

Se colocarán arandelas bajo la cabeza del tornillo y bajo la tuerca en todos los casos, para evitar daños locales a los recubrimientos de protección anticorrosiva.

En uniones con tornillos colocados en agujeros rasgados o sobredimensionados, aunque se especifiquen tornillos no pretensados, se deben dispondrán arandelas de alta resistencia o chapas de ajuste, con las siguientes características:

- En uniones con agujeros rasgados cortos o sobredimensionados, con tornillos de calidad inferior a 10.9 y métrica no superior a M24, se dispondrán arandelas de alta resistencia
- En uniones con agujeros rasgados cortos o sobredimensionados, con tornillos de calidad 10.9 o métrica superior a M24, se emplearán arandelas de alta resistencia de espesor superior a 8 mm en ambos extremos, bajo la cabeza del tornillo y bajo la tuerca
- en uniones con agujeros rasgados largos, cualquiera que sea su calidad y métrica, se deben dispondrán arandelas o chapas de ajuste de espesor superior a 8 mm de dimensiones suficientes para cubrir completamente el agujero

Las arandelas colocadas bajo la cabeza del tornillo serán achaflanadas, con el chaflán hacia la cabeza del tornillo.

Cuando las superficies exteriores de los elementos estructurales a unir presentan una falta de paralelismo superior a 1:20, se dispondrán arandelas especiales de nivelación en forma de cuña.

---

### ***ESTRUCTURA METÁLICA. CONTROL DE CALIDAD.***

La empresa constructora someterá a la aprobación de la dirección de obra, y del inspector de calidad de la misma, su manual de control de calidad, en el cual deberán recogerse las técnicas que se utilizarán en esta materia.

El control de calidad se ajustará al programa de puntos de inspección PPI que la empresa constructora está obligada a presentar antes del comienzo de los trabajos en taller para ser aprobado por el inspector de calidad de la dirección de obra. Asimismo, la inspección de calidad de la propiedad podrá modificar dicho PPI en la medida que considere oportuno y de acuerdo con las necesidades que puedan ir surgiendo durante la realización de la obra. La empresa constructora estará obligada al desarrollo de dicho PPI, salvo que por necesidades de ejecución o por causa justificada y tras consulta por escrito al inspector de calidad de la dirección de obra, éste estimase oportuno modificar dicho desarrollo.

Una vez desarrollados los planos de taller y aprobados por la dirección de obra, ésta confeccionará las hojas de control que se deban realizar, donde detalladamente se especificarán los puntos que se controlarán, en función de los criterios que a continuación se exponen.

#### ***Control de calidad de materiales.***

##### ***Materiales base.***

Los certificados y las marcas de calidad de la empresa fabricante troqueladas en caliente sobre perfiles y chapas garantizan su composición química y sus características mecánicas. Así, en el caso de materiales cubiertos por algún certificado reconocido oficialmente, el control de calidad se limitará a verificar su trazabilidad a lo largo del proceso de fabricación de los componentes de la estructura de acero.

En caso contrario, se realizarán los ensayos químicos y mecánicos especificados en la normativa, con cargo a la empresa constructora.

La toma de muestras se extenderá al 5% de los elementos a examinar. En caso de que no se encuentre defecto inadmisibles según las normas reseñadas, se dará el lote por bueno. Si se hallase un defecto, la revisión se extenderá a otro 10% dándose por bueno el lote si no se encontrase defecto inadmisibles. En caso de hallarse un nuevo defecto, la toma de muestras podría extenderse al total de los materiales. Todos los lotes defectuosos deberán ser sustituidos a cargo de la empresa constructora.

Los ensayos a realizar para la recepción de los materiales acopiados serán:

- ultrasonidos para chapa
- tracción
- plegado
- resistencia

Las chapas serán verificadas por ultrasonidos y el resultado de esta inspección figurará en el certificado correspondiente.

#### ***Consumibles.***

Los diferentes materiales de aportación serán de las calidades requeridas en este pliego de condiciones. Se requerirán de los fabricantes los correspondientes certificados de calidad.

En cuanto al almacenamiento y utilización de los mismos, se seguirán las indicaciones de los fabricantes, así como lo exigido en el código AWS D1.1 y en este pliego de condiciones.

#### ***Control de calidad de las soldaduras.***

Se realizará un control visual de todas las soldaduras con objeto de detectar defectos superficiales de las mismas, tales como cráteres producidos por el cebado y corte del arco en los extremos de la soldadura, mordeduras de borde, desbordamientos, solapes, picaduras, etc.

Como complemento de la inspección visual se realizarán ensayos no destructivos por los procedimientos que se describen más adelante. Los ensayos no destructivos permiten comprobar la existencia de defectos superficiales e internos en los cordones de soldadura: poros o inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria u otros cuerpos extraños en el cordón, falta de fusión, falta de penetración, etc.

La inspección mediante ensayos no destructivos deberá realizarse una vez transcurridas 16 horas desde la ejecución de las soldaduras; o 40 horas.

Cualquier cordón de soldadura que vaya a quedar inaccesible debido a una operación de fabricación o montaje posterior, se ensayará antes de comenzar esa operación. En caso contrario, el director de obra podrá desechar el elemento o componente afectado.

Los cordones a ensayar deberán seleccionarse de forma aleatoria intentando cubrir de la forma más amplia posible las variables siguientes: material, equipo de soldadura y soldador.

Las frecuencias de ensayos que se establecen más adelante, se aplicarán sobre conjuntos de uniones del mismo tipo, es decir, uniones con idénticas geometría y dimensiones básicas, calidades de material base y material de aportación, tipo y procedimiento de soldadura. Estos tipos de uniones soldadas serán definidos por la dirección de obra.

En caso de detectarse defectos en alguna soldadura, se repetirá el ensayo en la soldadura corregida, y se doblará la frecuencia de ensayos en el resto de soldaduras.

### **Control mediante líquidos penetrantes.**

Las inspecciones por líquidos penetrantes solamente dan indicaciones de tipo superficial: porosidades, fisuras y mordeduras. Se podrán aplicar en el control de soldaduras en ángulo y soldaduras con penetración parcial o total, en elementos de cualquier espesor.

Las soldaduras ejecutadas en taller se ensayarán mediante líquidos penetrantes con la siguiente frecuencia:

- En uniones primarias con soldaduras transversales respecto de la directriz del elemento estructural:
  - soldaduras de penetración total trabajando a tracción 50%
  - soldaduras de penetración total trabajando a compresión 20%
  - soldaduras de penetración parcial 20%
  - soldaduras en ángulo 20%

Además, se soldarán las 5 primeras uniones de cada uno de los tipos definidos por la dirección de obra.

- En uniones primarias con soldaduras longitudinales respecto de la directriz del elemento estructural:
  - soldaduras de penetración total 50%
  - soldaduras de penetración parcial 5%
  - soldaduras en ángulo 5%

En las soldaduras primarias longitudinales se ensayarán tramos de 500 mm (a no ser que la longitud del cordón sea menor); y en todas las uniones se ensayará un tramo como mínimo. Al menos un 25% de los tramos ensayados se localizarán en los extremos de los cordones de soldadura.

- En uniones secundarias (rigidizadores, cartelas secundarias, correas,...) 5%

Las soldaduras ejecutadas en obra se ensayarán mediante líquidos penetrantes con la siguiente frecuencia:

- En uniones primarias con soldaduras transversales respecto de la directriz del elemento estructural:
    - soldaduras de cualquier tipo 100%
  - En uniones primarias con soldaduras longitudinales respecto de la directriz del elemento estructural:
    - soldaduras de penetración total 100%
    - soldaduras de penetración parcial 10%
    - soldaduras en ángulo 10%
  - En uniones secundarias (rigidizadores, cartelas secundarias, correas,...) 5%
- Asimismo se inspeccionarán por este método el 100% de la longitud de todas las pasadas de raíz en soldaduras de penetración total.

***Control mediante partículas magnéticas.***

Las inspecciones por partículas magnéticas solamente dan indicaciones de tipo superficial: porosidades, fisuras y mordeduras. Se podrán aplicar en el control de soldaduras en ángulo y soldaduras con penetración parcial o total, en elementos de cualquier espesor.

Las inspecciones por partículas magnéticas se aplicarán en sustitución de las inspecciones mediante líquidos penetrantes, siempre que lo autorice expresamente la dirección de obra.

***Control mediante ultrasonidos.***

Las inspecciones por ultrasonidos se podrán aplicar en el control de soldaduras en ángulo y soldaduras con penetración parcial o total, en elementos de espesor superior a 10 mm. Serán realizadas por operadores cualificados.

Las soldaduras ejecutadas en taller se ensayarán mediante ultrasonidos con la siguiente frecuencia:

- En uniones primarias con soldaduras transversales respecto de la directriz del elemento estructural:
  - soldaduras de penetración total trabajando a tracción 50%
  - soldaduras de penetración total trabajando a compresión 20%
  - soldaduras en ángulo con una dimensión de garganta igual o superior a 15 mm 20%

Además, se soldarán las 5 primeras uniones de cada uno de los tipos definidos por la dirección de obra.
- En uniones primarias con soldaduras longitudinales respecto de la directriz del elemento estructural:
  - soldaduras de penetración total 50%

- soldaduras en ángulo con una dimensión de garganta igual o superior a 15 mm  
5%

En las soldaduras primarias longitudinales se ensayarán tramos de 500 mm (a no ser que la longitud del cordón sea menor); y en todas las uniones se ensayará un tramo como mínimo. Al menos un 25% de los tramos ensayados se localizarán en los extremos de los cordones de soldadura.

Las soldaduras ejecutadas en obra se ensayarán mediante líquidos penetrantes con la siguiente frecuencia:

- En uniones primarias con soldaduras transversales respecto de la directriz del elemento estructural:
  - soldaduras de penetración total o parcial 100%
  - soldaduras en ángulo con una dimensión de garganta igual o superior a 15 mm  
100%
- En uniones primarias con soldaduras longitudinales respecto de la directriz del elemento estructural:
  - soldaduras de penetración total 100%
  - soldaduras en ángulo con una dimensión de garganta igual o superior a 15 mm  
10%

En uniones con elementos de espesor superior a 25 mm sometidos a esfuerzos de tracción en dirección perpendicular a su superficie se realizarán ensayos de ultrasonidos para detectar posibles defectos de hoja, que pudieran originar fenómenos de desgarro laminar en las zonas afectadas por el calor de la soldadura.

#### ***Control mediante radiografías.***

Las inspecciones por radiografías se podrán aplicar sobre soldaduras con penetración parcial o total en elementos de espesor inferior a 30 mm. Serán realizadas por operadores cualificados.

Se aplicarán, de forma adicional a los ensayos anteriores, en todas aquellas soldaduras en las que se detecten defectos en los ensayos con ultrasonidos, y en los puntos de uniones primarias donde se crucen cordones.

En uniones primarias a tracción solicitadas por encima de un 75% del límite elástico se admitirán únicamente las soldaduras con calificación 1 de acuerdo con la norma EN 12517.

En uniones primarias a tracción solicitadas por debajo de un 75% del límite elástico, y en uniones primarias a compresión, se admitirán las soldaduras con calificación 2 de acuerdo con la norma EN 12517.

En uniones secundarias se admitirán las soldaduras con calificación 3 de acuerdo con la norma EN 12517, aunque para ello deberá tenerse en cuenta el tipo, situación y grado de importancia del defecto observado. Las calificadas con 4 y 5 se considerarán rechazables y se procederá a su levantamiento.

#### ***Reparaciones.***

Cuando se obtenga el resultado de los ensayos que se realicen, y se reciban instrucciones para realizar reparaciones de la soldadura, se procederá a sanear el defecto con una esmeriladora, comprobando que el defecto ha sido eliminado mediante ensayos con líquidos penetrantes o partículas magnéticas. Previa conformidad con el inspector de control de la dirección de obra, se procederá a rellenar la zona saneada. Finalizada la reparación, se volverá a inspeccionar con el fin de determinar si esta reparación se ha efectuado correctamente.

Las reparaciones se volverán a controlar, y en función del defecto detectado, la inspección de calidad de la dirección de obra decidirá el número de controles necesarios que se deban realizar a cada lado del tramo reparado con el objeto de asegurarse de la eliminación completa de dicho defecto.

Si se observara un nivel de calidad que se aparte del nivel normal en un porcentaje elevado, se incrementarán los niveles de control a juicio de la dirección de obra, pudiendo obligar a la empresa constructora al empleo de procedimientos de control no considerados en este pliego de condiciones, como medida complementaria de los aquí señalados, hasta que se alcance un nivel de calidad aceptable, según el criterio de dicha dirección.

#### ***Ensayos destructivos de las soldaduras.***

En el caso de soldaduras de gran responsabilidad, además de los ensayos no destructivos mencionados anteriormente, podrán realizarse ensayos destructivos sobre probetas obtenidas de placas testigo colocadas en la prolongación de las soldaduras de penetración. Su longitud mínima deberá ser de 60 mm y serán realizadas por los mismos soldadores, empleando el mismo procedimiento de soldeo y material de aportación que la soldadura principal.

Estos ensayos destructivos serán efectuados para la homologación de los procesos de soldeo en obra, y en aquellos casos en que los ensayos no destructivos no presenten una fiabilidad suficiente.

#### ***Procedimientos.***

La empresa constructora someterá a aprobación de la dirección de obra aquellos procedimientos de fabricación e inspecciones que vayan a utilizar.

#### ***Control dimensional.***

La dirección de obra comprobará, por sí misma o por el representante en quien delegue que, en cada fase de la fabricación y el montaje, las disposiciones, cotas y distancias de la obra se ajustan a lo indicado en el proyecto de ejecución, dentro de las tolerancias admitidas en los planos y en el presente capítulo. Esta comprobación deberá efectuarse según progresa el montaje de una parte de la estructura, no debiendo autorizarse el montaje hasta haber inspeccionado y corregido los posibles errores de las previamente montadas a las que la nueva parte inmovilice o impida su inspección o corrección.

La empresa constructora no procederá a efectuar las soldaduras de montaje hasta que esta inspección haya sido efectuada y corregidos los posibles errores encontrados.

#### ***Tolerancias en la fabricación.***

Las tolerancias máximas que se admitirán respecto de las cotas de los planos en la fabricación de las estructuras de acero son las establecidas en la norma EN 1090, y las incluidas

en el presente pliego de condiciones y en los planos del proyecto cuando modifiquen a aquéllas.

### ***Tolerancias en el montaje.***

Las tolerancias máximas que se admitirán respecto de las cotas de los planos en el montaje de las estructuras de acero son las establecidas en la norma EN1090, y las incluidas en el presente pliego de condiciones y en los planos del proyecto cuando modifiquen a aquéllas.

En caso de disparidad entre dos exigencias de tolerancia prevalecerá la más exigente. Todas las mediciones anteriores se efectuarán con cinta o regla metálica o con aparatos de igual o superior precisión, recomendándose el uso del taquímetro en donde sea de aplicación. En la medición de flechas se materializará la cuerda mediante un alambre tensado o un hilo de nylon.

### ***Inspección, recepción y pruebas.***

Para comprobar que las labores de montaje de las estructuras correspondientes a las diferentes instalaciones han sido ejecutadas correctamente, se realizarán todas las inspecciones, recepciones y pruebas que se estimen oportunas, para lo cual se tendrán en cuenta las siguientes instrucciones generales.

La empresa constructora realizará durante las diferentes fases del montaje y bajo la supervisión de la propiedad, inspecciones parciales de las diferentes estructuras, orientadas fundamentalmente a comprobar la correcta ejecución del montaje de aquellos elementos que el posterior desarrollo de las obras pudiera dejar inaccesibles u ocultos y sin posibilidad de comprobación final.

Una vez realizado el montaje, se llevará a cabo conjuntamente por parte de la supervisión de calidad y de la empresa constructora, una inspección final de todas las estructuras, para verificar que el montaje de las mismas se ha realizado con absoluta fidelidad a lo especificado en los planos e instrucciones correspondientes. Deberá prestarse especial atención al apretado de los tornillos que aseguran la unión de las distintas partes de las estructuras, y especialmente de aquéllos que estén sujetos a vibraciones.

Tanto en la fase de montaje como a la finalización de la obra, la empresa constructora dispondrá del personal y medios suficientes para que dichas comprobaciones puedan llevarse a cabo con la rapidez necesaria. Asimismo, subsanará todos los defectos encontrados en el menor tiempo posible, de tal modo que no sean afectadas o retrasadas las operaciones subsiguientes, fundamentalmente las correspondientes a la puesta en servicio de la obra.

La propiedad se reserva el derecho a realizar una prueba de carga como comprobación total de un elemento repetitivo. La prueba de carga no será en principio destructiva y se realizará con una carga igual a 1,5 veces la nominal si se ha dimensionado el elemento para acciones principales o bien con 1,35 si fuese dimensionado para la actuación de cargas principales y secundarias.

---

## ***ESTRUCTURA METÁLICA. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN: GRANALLADO Y PINTURA.***

Este capítulo tiene por objeto definir los requisitos técnicos que debe cumplir la protección contra la corrosión mediante la aplicación de un sistema de pintado de la estructura metálica.

Los trabajos que abarca este capítulo incluyen, además de la preparación de las superficies y el pintado de las mismas de acuerdo con el sistema que se indica más adelante, el suministro de los materiales, mano de obra, medios auxiliares (andamios fijos y móviles, madera, lonas, etc.), maquinaria, herramientas, equipos, etc., en las cantidades necesarias para el cumplimiento de los plazos establecidos.

El tratamiento se aplicará en taller una vez soldada la estructura, debiendo repararse en obra aquellos desperfectos que se produzcan con motivo del transporte y montaje de la estructura, especialmente en las zonas afectadas por las soldaduras ejecutadas en obra.

### ***Ejecución del sistema de pintura de protección anticorrosiva.***

#### ***Procedimiento del suministrador.***

El suministrador presentará los procedimientos de pintura de acuerdo a los sistemas especificados, donde recoja las circunstancias de aplicación y sus propios criterios de aceptación o rechazo.

#### ***Características de los productos.***

Todas las pinturas que se utilicen serán del mismo fabricante o suministrador, que será una primera firma del mercado, tal como AMERCOAT, HEMPEL, INTERNACIONAL, GLASURIT, SIGMA COATING,...

El suministrador facilitará, incluidas en su procedimiento, las hojas de características técnicas de los productos concretos que se vayan a aplicar según los sistemas especificados, y deberá garantizar la compatibilidad de las capas con los espesores requeridos.

Si algún apartado de este capítulo se contradice con dichas hojas técnicas, el suministrador aclarará por escrito ese punto.

Asimismo deberán seguirse dichas hojas en todos los puntos no indicados en este pliego de condiciones, tales como proporciones de mezcla, intervalos de repintado, etc.

Todas las pinturas que se utilicen se entregarán en sus envases originales, precintados, sin muestra de deterioro y acompañados de los certificados de fábrica y las instrucciones de almacenamiento y aplicación. Los envases deberán llevar claramente la firma del fabricante, la designación del producto, el color, el número de lote y la fecha de fabricación.

Se inspeccionarán los envases de los materiales comprobando que llegan precintados y sin deterioros y que cada envío de pinturas va acompañado de los correspondientes certificados de control de calidad del suministrador.

El almacenamiento se realizará conforme a las instrucciones del suministrador, conservándose los envases bajo techo, en lugar ventilado y protegido contra el fuego.

Las pinturas se prepararán y aplicarán de acuerdo con las instrucciones del suministrador, debiendo estar perfectamente mezcladas y manteniendo consistencia uniforme durante la aplicación. Solamente se utilizarán disolventes, espesantes o estabilizadores suministrados y recomendados por el suministrador y siempre siguiendo sus instrucciones.

### ***Preparación de las superficies.***

En todo caso, antes de proceder al chorreado, se limpiarán las manchas de aceite o grasa de las superficies mediante la aplicación de disolventes, emulsión de disolventes o lejías alcalinas, según la norma ISO 8501.

Asimismo, se eliminarán previamente las costras gruesas de óxido, hojas de laminación del acero y, en su caso, las proyecciones de soldadura con cincel.

Las zonas próximas a las soldaduras deberán ser observadas para proceder, si es necesario, a la eliminación de escorias de soldadura y salpicaduras.

El aplicador dispondrá en el lugar de trabajo, en correcto uso, de:

- termómetro de ambiente
- termómetro de contacto
- higrómetro de lectura continua o psicrómetro giratorio
- visuales Sa 2½ de la norma ISO 8501

No se podrá chorrear si:

- La humedad relativa es superior al 85%.
- La condensación es inminente, esto es, si la temperatura superficial del acero no supera en 3°C, al menos, a la temperatura del punto de rocío para las condiciones ambientales.
- El equipo de chorreado no está con sus respectivos filtros de agua y aceite correctamente purgados.
- Llueve o se teme que vaya a llover en las próximas cuatro horas, si se está trabajando a la intemperie.
- El abrasivo está húmedo o contaminado.

Las superficies se chorrearán al grado Sa 2½ de la norma ISO 8501-1, lo que supone eliminar de forma cuidadosa la cascarilla de laminación, óxido, recubrimientos de pintura y películas extrañas.

El aspecto de la superficie del acero, una vez limpia, deberá presentar un color grisáceo metálico de aspecto ligeramente rugoso, ausente de costras de óxido o calamina, pintura, etc., excepto ligeras manchas o rayas. Como mínimo, el 95% de la superficie quedará libre de todo residuo visible, observándose en el resto sólo ligeras decoloraciones.

Para la comprobación de esta limpieza se utilizarán los estándares fotográficos de la norma antes citada.

El abrasivo empleado habrá de ser granalla de acero o arena de sílice pura. En el segundo caso, estará exenta de arcillas, humedad o cualquier materia extraña; su granulometría estará comprendida entre 0,3 y 1,2 mm. No se podrá reutilizar la arena.

La rugosidad obtenida con la arena estará comprendida entre 30 y 50  $\mu\text{m}$ , sin que, en ningún caso, sea obstáculo para que los espesores se consideren eficaces, es decir, sobre las crestas, de acuerdo con la norma ISO 8503-2. La rugosidad deberá ser comprobada por:

- examen visual y táctil por comparación con comparadores especificados en la norma ISO 8503-1
- rugosímetro con indicador magnético o trazador de perfil

Si después del chorreado y de la limpieza se observaran hojas de laminación o defectos en la consecución del grado de limpieza solicitado, se eliminarán los defectos y se volverá a chorrear hasta conseguir que el aspecto coincida con la visual anteriormente citada.

Una vez comprobado que el aspecto es el solicitado, se comprobará también la ausencia de contaminantes como polvo, grasa, humedad, etc.

Estas operaciones, que se consideran muy importantes, serán controladas minuciosamente, no pudiéndose aplicar la capa de imprimación hasta que el inspector de calidad de la dirección de obra no haya dado el visto bueno a las mismas.

El equipo necesario para suministrar el aire a presión necesario para el chorreado, deberá ser un compresor equipado con sus correspondientes filtros, separadores de aceite y aire, y con caudal efectivo de aire de 6 a 9  $\text{m}^3$  por minuto. La presión del aire comprimido en la boquilla será de 6 a 7  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

El equipo de chorro llevará igualmente sus correspondientes filtros de aire y aceite, sus mangueras en perfecto estado y boquillas de tungsteno de 8 a 10 mm de diámetro.

Para verificar el contenido de humedad del aire se utilizarán telas de algodón o papel blanco absorbente, proyectando el aire sobre los mismos por espacio de 30 a 60 segundos, al menos dos veces durante cada turno de trabajo. Cualquier indicio de aceite o humedad que aparezca en el papel o en la tela obligará a la paralización del trabajo, que no se reanudará hasta que se hayan adoptado medidas correctoras en los equipos o la sustitución de los mismos.

Si hay interferencias entre las operaciones de limpieza y pintura, realizándose las dos en la misma zona, se cuidará el no realizarlas al mismo tiempo. También en zonas donde las pinturas estuvieran todavía en fase de curado no se realizarán operaciones de chorro, a no ser que estas zonas estén debidamente protegidas.

La iluminación será suficiente para permitir el contraste visual que garantice una evaluación continua de la calidad del trabajo realizado.

Cada día, antes del comienzo de los trabajos y cuando las circunstancias lo aconsejen a juicio de la dirección facultativa, se comprobará que las condiciones ambientales son adecuadas para los trabajos de preparación de superficies y pintado.

#### ***Aplicación de las pinturas.***

La imprimación se aplicará tan pronto como sea posible y siempre antes de que pasen 4 horas después del chorreado o de que aparezca huella alguna visible de oxidación, en cuyo caso la superficie volvería a ser chorreada.

Los equipos de proyección serán de las características recomendadas por el suministrador de las pinturas, en cada caso, no permitiéndose el empleo de rodillos ni brochas en ningún caso.

Las pinturas serán bien mezcladas y adelgazadas o filtradas, si en principio fuera necesario conforme a las indicaciones del fabricante y siendo frecuentemente agitadas durante su utilización. La posterior adición de adelgazantes por parte del aplicador está totalmente prohibida.

Toda la pintura se aplicará uniformemente de forma que se produzca una película homogénea y tersa, sin que se formen chorretones, corrimientos de la película, grietas, etc., y se prestará especial atención a los bordes, esquinas, tornillos, superficies irregulares, etc.

En cada mano de pintura se debe conseguir el espesor especificado, y en particular, en la imprimación, si se detecta falta sustancial de espesor, será necesario volver a chorrear si ha transcurrido al menos un día desde la primera mano.

Cada mano de pintura deberá curar en las condiciones y circunstancias recomendadas por el suministrador o fabricante.

Para aplicar una mano, además de haber curado la mano anterior, ésta ha de estar perfectamente limpia y exenta de polvo, grasa o contaminantes. Además, deberá estar libre de humedad y condensación, y si por necesidades de trabajo fuera necesario pintar, estas superficies se soplarán con aire hasta la total eliminación del agua, dejando un espacio de 20 ó 30 minutos después de la operación de soplado y antes del comienzo del pintado.

Cada capa de pintura que se aplique deberá tener distinto color o tonalidad a la anterior, con el fin de que exista contraste entre las mismas y poder saber en cada zona en qué fase del trabajo se encuentra.

Para la aplicación de una capa de pintura sobre otra ya dada será necesario el visto bueno de la inspección de calidad después de que se haya comprobado el espesor de la capa anterior y el perfecto estado de limpieza y ausencia de humedad de las superficies que se vayan a pintar.

Las superficies que resulten inaccesibles serán anteriormente pintadas conforme a las especificaciones cuando el espacio libre sea suficiente antes de formar el conjunto.

Ninguna superficie después de pintada y antes de que haya secado totalmente, podrá ser manejada o tocada, salvo lo estrictamente necesario y siempre que no se afecte a la pintura aplicada.

Todos los defectos detectados en la primera capa de pintura, como rayaduras, herrumbre, etc., serán reparados como se indica a continuación:

- Será totalmente limpiada la zona defectuosa con telas empapadas en disolventes, por granallado o máquinas herramientas.
- Será chorreada o limpiada profundamente con cepillo la superficie donde se haya producido una interrupción de la película de pintura de la primera capa y donde vayan a existir soldaduras de montaje o salpicaduras no eliminadas.
- Todas las zonas limpiadas serán repintadas con la misma marca, tipo y espesor de película de la pintura especificada.

La alternativa de dar otra capa adicional requerirá previa aprobación de la inspección de calidad de la dirección de obra.

Las galgas usadas para la medida de los espesores estarán calibradas conforme a un procedimiento conforme con la inspección de calidad y el aplicador de la pintura.

La medición de espesores en película húmeda solamente será admitida como una alternativa y previa autorización por escrito de la inspección de calidad.

Se verificará el contenido de humedad del aire de los equipos de proyección, de la misma manera que ya se ha indicado anteriormente para los equipos de chorreado.

No se podrá pintar si:

- La humedad relativa supera los límites fijados por el fabricante.
- La temperatura de la superficie está fuera del intervalo fijado por el fabricante.
- La condensación es inminente.
- Llueve o se prevé lluvia en las próximas cinco horas.
- Hay viento.
- No hay suficiente luz.
- La mezcla ha superado su periodo de vida útil, según las instrucciones del fabricante.

#### ***Duración y garantía del sistema de pintura de protección anticorrosiva.***

A la empresa constructora se le exige una garantía expresa de dos años a partir de la recepción definitiva de la obra. Esta garantía se extiende, aun cuando la empresa constructora omitiera expresarlo en su oferta, a la totalidad de la superficie, incluyendo en particular aristas y soldaduras.

La garantía lo será en referencia al grado Ri 0 según la norma ISO 4628, es decir, con deterioros nulos. De la garantía sólo pueden excluirse los daños causados por fuerza mayor o terceros, pero no ninguno de los achacables a la calidad de las pinturas o a su correcta ejecución. Cualquier defecto de esta índole como cuarteado, enyesado, formación de ampollas, desconchados o corrosión, deben estar ausentes en toda la superficie pintada.

#### ***Control de calidad del sistema de pintura de protección anticorrosiva.***

##### ***Preparación de probetas.***

Con el fin de que se puedan realizar pruebas de adherencia destructivas, la empresa constructora preparará un mínimo de seis probetas con el sistema completo, realizadas en los mismos plazos y circunstancias que la obra real, bajo la supervisión de la inspección de calidad, de dimensiones 150 mm x 75 mm x 3 mm aproximadamente.

##### ***Instrumentos de medición y control.***

Para la eficaz realización de su control de calidad, el aplicador dispondrá y usará, al menos, los siguientes instrumentos:

- Termómetro de ambiente

- Termómetro de contacto
- Higrómetro de lectura continua
- Visuales Sa 2½ de la norma ISO 8501-1
- Medidor de espesores en húmedo
- Medidor de espesores en seco
- Medidores de adherencia
- Rugosímetro TATOR
- Papel blanco absorbente o tela de algodón
- Lupas
- Linternas

***Criterios de aceptación y rechazo.***

No podrá haber en cualquier cuadrado que se elija, de 25 por 25cm, más de un 5% de puntos oscuros con rastro de oxidación, líneas, etc., según las visuales Sa 2½ de la SIS 05.59.00.

***Espesores eficaces de la película seca.***

Los espesores eficaces sobre crestas del perfil del chorro se medirán según la norma ISO 2808, descontando la influencia de la rugosidad, y las manos anteriores, cuando las hubiera. Sus valores serán los siguientes:

- a. Imprimación miscelánea de pigmentos anticorrosivos ricos en zinc con ligante epoxídico

Mínimo	60µm
--------	------

- b. Capa intermedia epoxídica

Mínimo	160µm
--------	-------

Máximo	180µm
--------	-------

- c. Acabado epoxídico

Mínimo	60µm
--------	------

***Adherencia del sistema completo.***

Método A (X-cut) de ASTM D 3.359

Recomendable	5A
--------------	----

Mínimo	4A
--------	----

Adhesión téster ELCOMETER

Recomendable	> 40kg/cm <sup>2</sup>
--------------	------------------------

Mínimo

30kg/cm<sup>2</sup>

En todos los casos, los valores extremos sólo se permitirán en un máximo del 20% de las mediciones.

## 6. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

### Actuaciones previas

#### 0XP010 Ud Alquiler de plataforma elevadora/día

Alquiler diario de **cesta elevadora de brazo telescópico, motor diesel**, de **20** m de altura máxima de trabajo.

Código	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b> mq07ple010di	Equipo y maquinaria Alquiler diario de cesta elevadora de brazo telescópico, motor diesel, de 20 m de altura máxima de trabajo, incluso mantenimiento y seguro de responsabilidad civil.	9	1.008	173.18	1571.09
<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>					<b>1571.09</b>
<b>2</b>	Costes directos complementarios Costes directos complementarios		2.000	1571.09	31.42
<b>Costes directos (1+2):</b>					<b>1602.51</b>

#### 0XP020 Ud Transporte de plataforma elevadora.

Transporte a obra de **cesta elevadora de brazo telescópico, motor diesel**, de **20** m de altura máxima de trabajo.

Código	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b> mq07ple020di	<b>Equipo y maquinaria</b> Transporte a obra y retirada de cesta elevadora de brazo telescópico, motor diesel, de 20 m de altura máxima de trabajo.	1	1.008	129.69	130.73
<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>					<b>130.73</b>
<b>2</b>	<b>Costes directos complementarios</b> Costes directos complementarios		2.000	130.73	2.61
<b>Costes directos (1+2):</b>					<b>133.34</b>

#### 0AE010 Ud Desconexión de acometida eléctrica.

Desconexión de acometida **aérea** de la instalación eléctrica del edificio.

Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b> mo003	h	Mano de obra Oficial 1ª electricista.	1	9.542	18.13	173.00
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>173.00</b>	

2		Costes directos complementarios		2.000	173.00	3.46
	%	Costes directos complementarios				
				<b>Costes directos (1+2):</b>		<b>176.46</b>

**Ud Desmontaje de rejilla metálica electrosoldada**

Desmontaje de rejilla metálica electrosoldada

Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Mano de obra</b>				
	m2	Colocación de rejillas metálicas electrosoldadas de la pasarela de mantenimiento de las vigas carrileras para la sustitución de los soportes	92	1.000	6.00	552.00
<b>Subtotal mano de obra:</b>						<b>552.00</b>
<b>Costes directos (1+2):</b>						<b>552.00</b>

**DEA050 m Desmontaje estructura metálica**

Desmontaje de **viga metálica apoyada, formada por** perfil de acero laminado **UPN 300 o similar**, de **hasta 4 m** de longitud media, con **medios manuales**, y carga **manual** sobre camión o contenedor.

Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Mano de obra</b>				
mo113	h	Peón ordinario construcción.	138	0.715	16.16	1594.51
<b>Subtotal mano de obra:</b>						<b>1594.51</b>
<b>2</b>		<b>Costes directos complementarios</b>				
	%	Costes directos complementarios		2.000	1594.51	31.89
<b>Costes directos (1+2):</b>						<b>1626.40</b>

**TOTAL PARTIDA ACTUACIONES PREVIAS**

**4090.71**

## Ejecución

**0XP010 Ud Alquiler de plataforma elevadora.**

Alquiler diario de **cesta elevadora de brazo telescópico, motor diesel**, de **20 m** de altura máxima de trabajo.

Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Equipo y maquinaria</b>				
mq07ple010di	Ud	Alquiler diario de cesta elevadora de brazo telescópico, motor diesel, de 20 m de altura máxima de trabajo, incluso mantenimiento y seguro de responsabilidad civil.	9	1.008	173.18	1571.09
<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>						<b>1571.09</b>
<b>2</b>		<b>Costes directos complementarios</b>				
	%	Costes directos complementarios		2.000	1571.09	31.42
<b>Costes directos (1+2):</b>						<b>1602.51</b>

**EAV010 kg Acero en vigas.**

Acero **S275JR** en vigas, con piezas **simples de** perfiles laminados en caliente de las series UPN con uniones soldadas.

Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Materiales</b>				
mt07ala010h	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales.	991.24	1.050	0.99	1030.39
mt27pfi010	l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	5	0.050	4.80	1.20
<b>Subtotal materiales:</b>						<b>1031.59</b>
<b>2</b>		<b>Equipo y maquinaria</b>				
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	138	0.015	3.09	6.40
<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>						<b>6.40</b>
<b>3</b>		<b>Mano de obra</b>				
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	138	0.020	18.42	50.84
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	138	0.020	17.25	47.61
<b>Subtotal mano de obra:</b>						<b>98.45</b>
<b>4</b>		<b>Costes directos complementarios</b>				
	%	Costes directos complementarios		2.000	1136.44	22.73
Coste de mantenimiento decenal: 0,06€ en los primeros 10 años.						<b>Costes directos (1+2+3+4): 1159.17</b>

**EAV010 kg Acero en platabandas.**

Acero **S275JR** en platabandas

Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Materiales</b>				
mt07ala010h	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales.	812	1.050	0.99	844.07
mt27pfi010	l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	5	0.050	4.80	1.20

				Subtotal materiales:	845.27	
<b>2</b>		<b>Equipo y maquinaria</b>				
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	138	0.015	3.09	6.40
				<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>	<b>6.40</b>	
<b>3</b>		<b>Mano de obra</b>				
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	138	0.020	18.42	50.84
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	138	0.020	17.25	47.61
				<b>Subtotal mano de obra:</b>	<b>98.45</b>	
<b>4</b>		<b>Costes directos complementarios</b>				
	%	Costes directos complementarios		2.000	950.12	19.00
Coste de mantenimiento decenal: 0,06€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>	<b>969.12</b>	

**Ud Tornillería**

Pernos de acero rosca Metrica 30 calidad 8.8						
Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Materiales</b>				
	Ud	Pernos de acero M-30 Calidad 8.8	184	1.000	20.54	377
						9.36
						<b>Subtotal material: 3779.36</b>
<b>2</b>		<b>Materiales complementarios</b>				
	Ud	Tuerca M-30	184	1.000	0.72	13.48
						<b>Subtotal material: 132.48</b>
<b>3</b>		<b>Materiales complementarios</b>				
		Arandela grower	184	1.000	0.29	53.36
						<b>Subtotal material: 53.36</b>
						<b>Costes directos (1+2+3): 3965.20</b>

**0AE010 Ud Conexión de acometida eléctrica.**

Conexión de acometida aérea de la instalación eléctrica del edificio.						
Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Mano de obra</b>				
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	1	9.542	18.13	173.00
						<b>Subtotal mano de obra: 173.00</b>
<b>2</b>		<b>Costes directos complementarios</b>				
	%	Costes directos complementarios		2.000	173.00	3.46
						<b>Costes directos (1+2): 176.46</b>

**Ud Colocación rejilla metálica electrosoldada**

Colocación rejilla metálica electrosoldada						
Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Mano de obra</b>				
	m2	Colocación de rejillas metálicas electrosoldadas de la pasarela de mantenimiento de las vigas carrileras	92	1.000	6.00	552
						.00
						<b>Subtotal mano de obra: 552.00</b>
						<b>Costes directos (1+2): 552.00</b>

**0XP020 Ud Transporte de plataforma elevadora.**

Transporte retirada de **cesta elevadora de brazo telescópico, motor diesel**, de 20 m de altura máxima de trabajo.

Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Equipo y maquinaria</b>				
mq07ple020di	Ud	Retirada de obra de cesta elevadora de brazo telescópico, motor diesel, de 20 m de altura máxima de trabajo.	1	1.008	129.69	130.73
<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>						<b>130.73</b>
<b>2</b>		<b>Costes directos complementarios</b>				
	%	Costes directos complementarios		2.000	130.73	2.61
<b>Costes directos (1+2):</b>						<b>133.34</b>

**GRA020 m<sup>3</sup> Transporte de residuos inertes con camión.**

Transporte con camión de **residuos inertes metálicos** producidos en obras de construcción y/o demolición, a **vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos**, situado a 5 km de distancia.

Código	Unidad	Descripción	Unidades	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Equipo y maquinaria</b>				
mq04cap020aa	h	Camión de transporte de 10 t con una capacidad de 8 m <sup>3</sup> y 2 ejes.	8	0.228	24.92	45.45
<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>						<b>45.45</b>
<b>2</b>		<b>Costes directos complementarios</b>				
	%	Costes directos complementarios		2.000	45.45	0.91
<b>Costes directos (1+2):</b>						<b>46.36</b>

<b>TOTAL PARTIDA EJECUCIÓN</b>	<b>8604.16</b>
--------------------------------	----------------

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	<b>12694.87</b>
--	-----------------

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **DOCE MIL SEISCIENTOS NOVENTA Y CUATRO EUROS CON OCHENTA Y SIETE CENTIMOS.**

Firmado, el ingeniero:

Aaron Hortelano Boix

Puerto de Sagunto 31 de mayo de 2018



## **6.1. RESUMEN DEL PRESUPUESTO**

<b>TOTAL PARTIDA ACTUACIONES PREVIAS</b>	<b>4090.71</b>
<b>TOTAL PARTIDA EJECUCIÓN</b>	<b>8604.16</b>
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	<b>12694.87</b>
<b>GASTOS GENERALES (12%)</b>	<b>1523.38</b>
<b>SUMA</b>	<b>14218.25</b>
<b>BENEFICIO INDUSTRIAL (6%)</b>	<b>853.10</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	<b>15071.35</b>
<b>PROYECTO Y DIRECCIÓN DE OBRA (7%)</b>	<b>1054.99</b>
<b>TOTAL</b>	<b>16126.34</b>
<b>TOTAL +21% IVA</b>	<b>19512.88</b>

El presupuesto total asciende a la expresada cantidad de **Diecinueve mil quinientos doce euros con ochenta y ocho centimos.**

Firmado, el ingeniero:

Aaron Hortelano Boix

Puerto de Sagunto 31 de mayo de 2018

## 6.2. COMPARATIVA Y VIABILIDAD

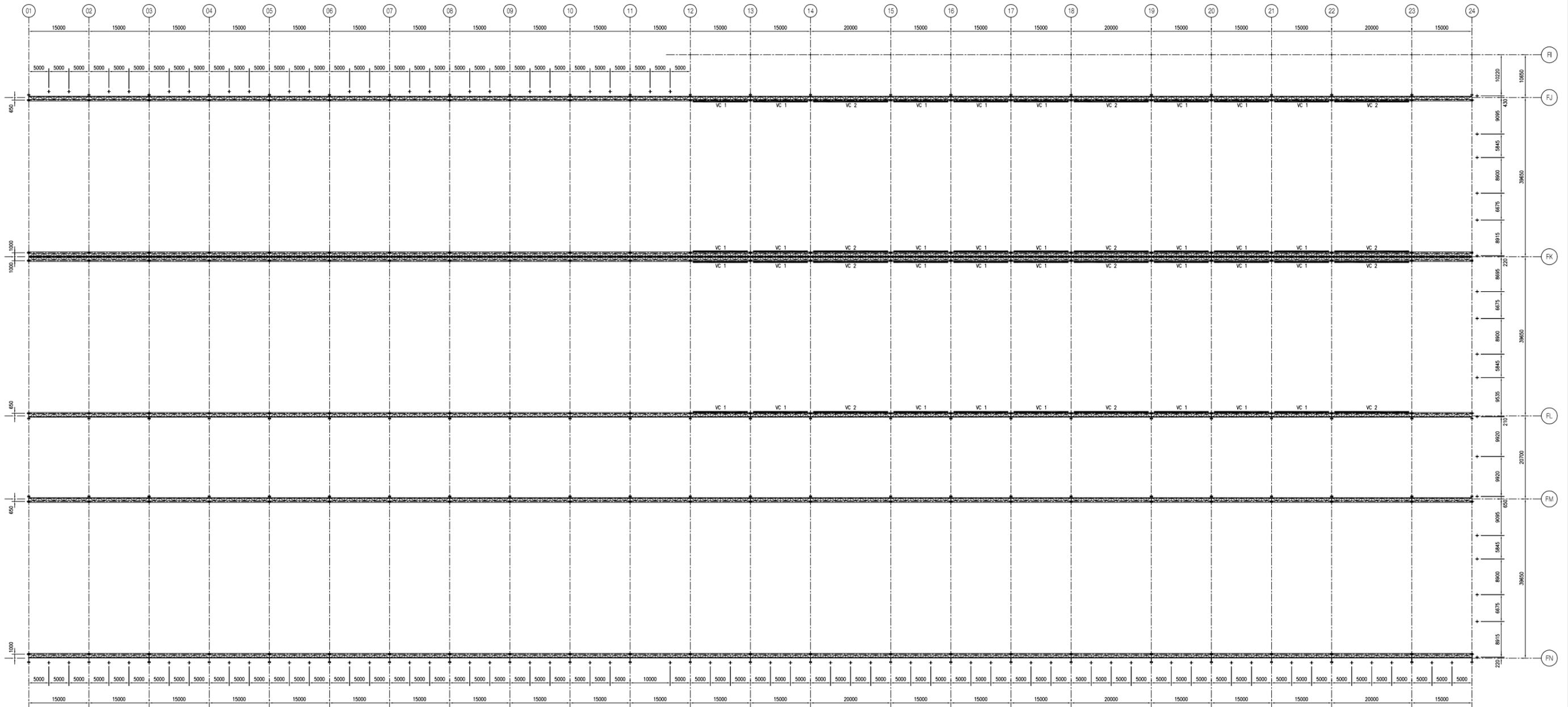
Cabe mencionar que la solución propuesta en este proyecto presenta una buena viabilidad para la empresa ARCELORMITTAL Sagunto, ya que el desembolso de 19512.88€ no supone un gasto significativo para la planta.

A continuación se muestra una tabla resumen con las posibles alternativas que ARCELORMITTAL puede barajar junto a sus ventajas e inconvenientes para facilitar la elección final de la solución.

<b>SOLUCIÓN ADOPTADA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>INCONVENIENTES</b>
<b><i>Soportes no modificados</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No necesita inversión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crea problemas frecuentes de mantenimiento y seguridad</li> </ul>
<b><i>Soportes modificados</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión requerida solo en la modificación de los soportes</li> <li>• Reducción del coste de mantenimiento</li> <li>• Incremento de la seguridad</li> <li>• Facilidad de montaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor precio unitario por soporte que con el sistema Gantrex</li> </ul>
<b><i>Sistema Gantrex</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor precio unitario que los soportes originales</li> <li>• Incremento de la seguridad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión requerida tanto en la modificación de los soportes y anclajes como en la modificación de las vigas carrileras</li> <li>• Facilidad de montaje</li> <li>• Mayor coste de mantenimiento al tratarse de un soporte articulado más complejo</li> </ul>

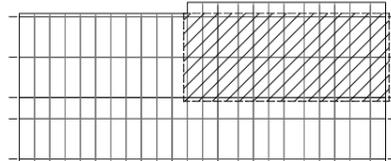
Tabla 26. Comparativa de las diversas soluciones



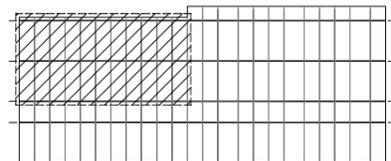


— VIGAS CARRIL SUSTITUIDAS

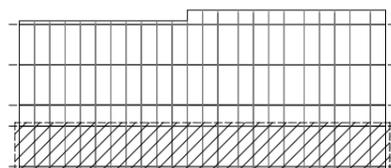
SUSTITUCION VIGAS CARRIL



FASE I



FASE II



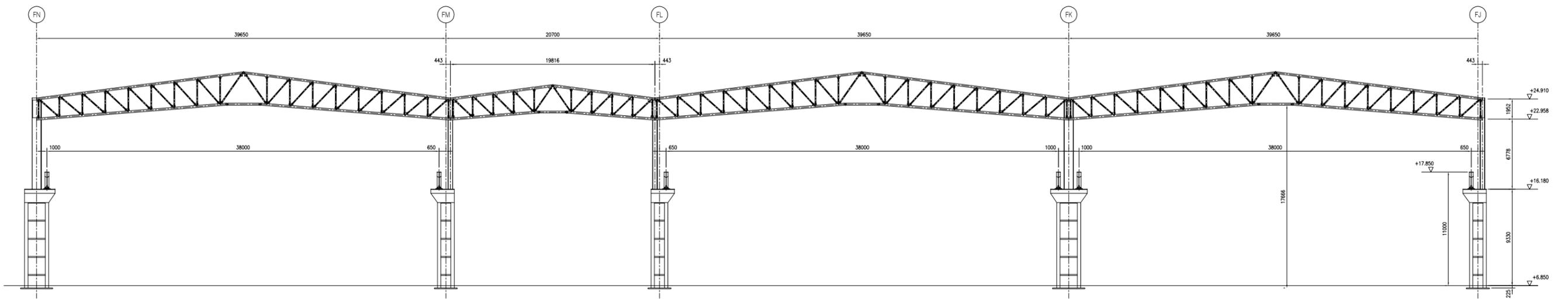
FASE III

REV	FECHA	MODIFICACION	DIBUJADO	COMPROBADO
01	28.06.10	INFORMATIVO	AFC	CHM
02	21.07.10	SALIDA	AFC	CHM

  
**ArcelorMittal**


**SUSTITUCION Y REFUERZO VIGAS CARRIL NAVES DE EXPEDICION**  
FACTORIA DE SAGUNTO (VALENCIA)

ESCALA A1 1:500	PROYECTO 1410	ESTADO ACTUAL NAVES DE EXPEDICION	
	PLANO 0002	PLANTA GENERAL VIGAS CARRIL	

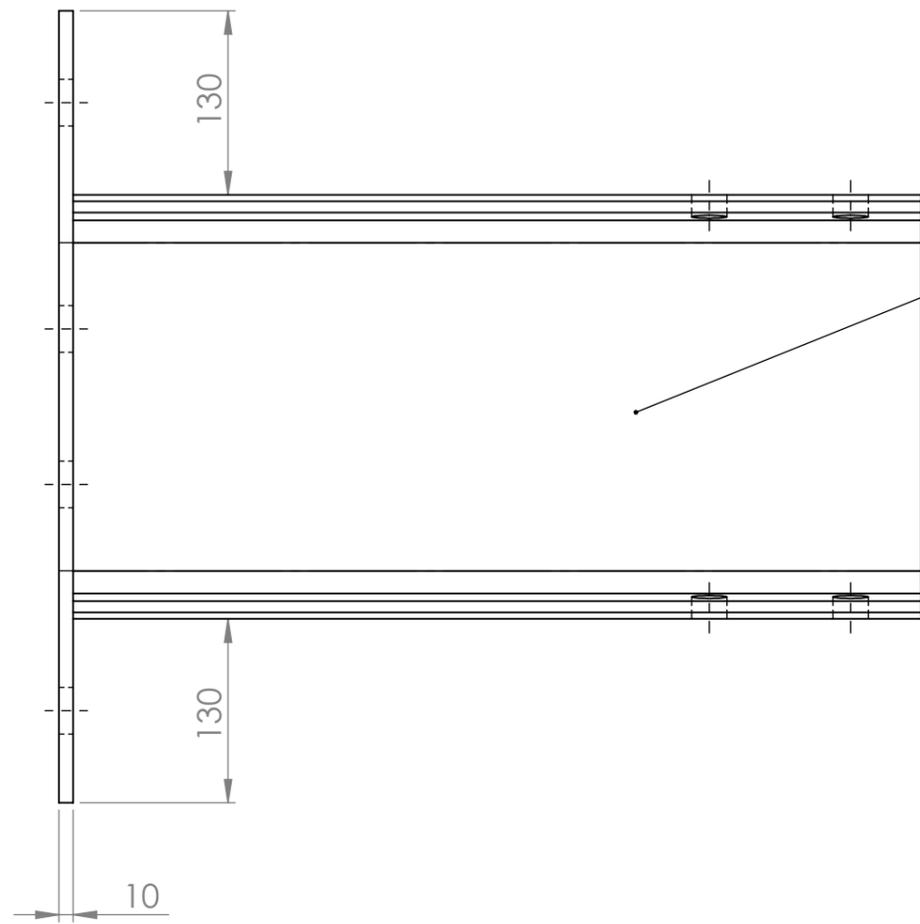


REV	FECHA	MODIFICACION	DIBUJADO	COMPROBADO
01	24.06.10	INFORMATIVO	AFC	CHM
02	21.07.10	SALIDA	AFC	CHM

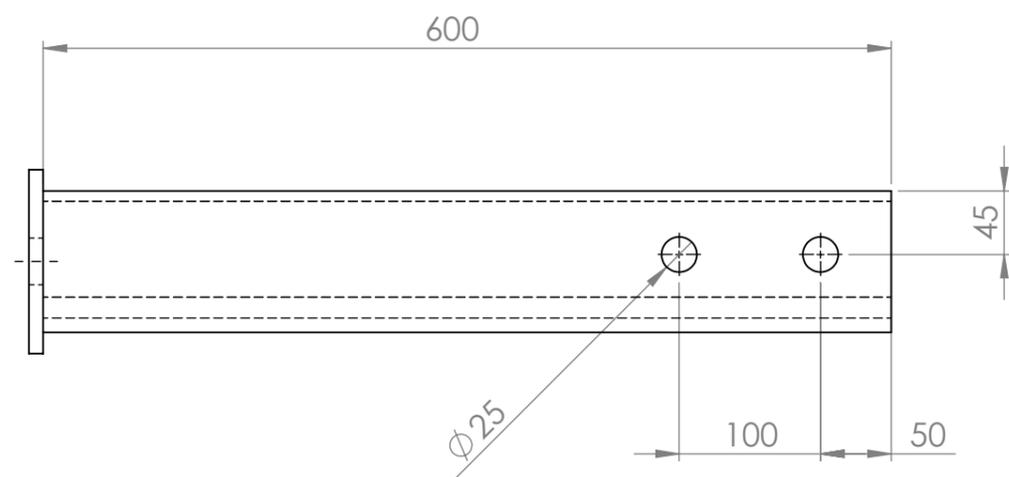
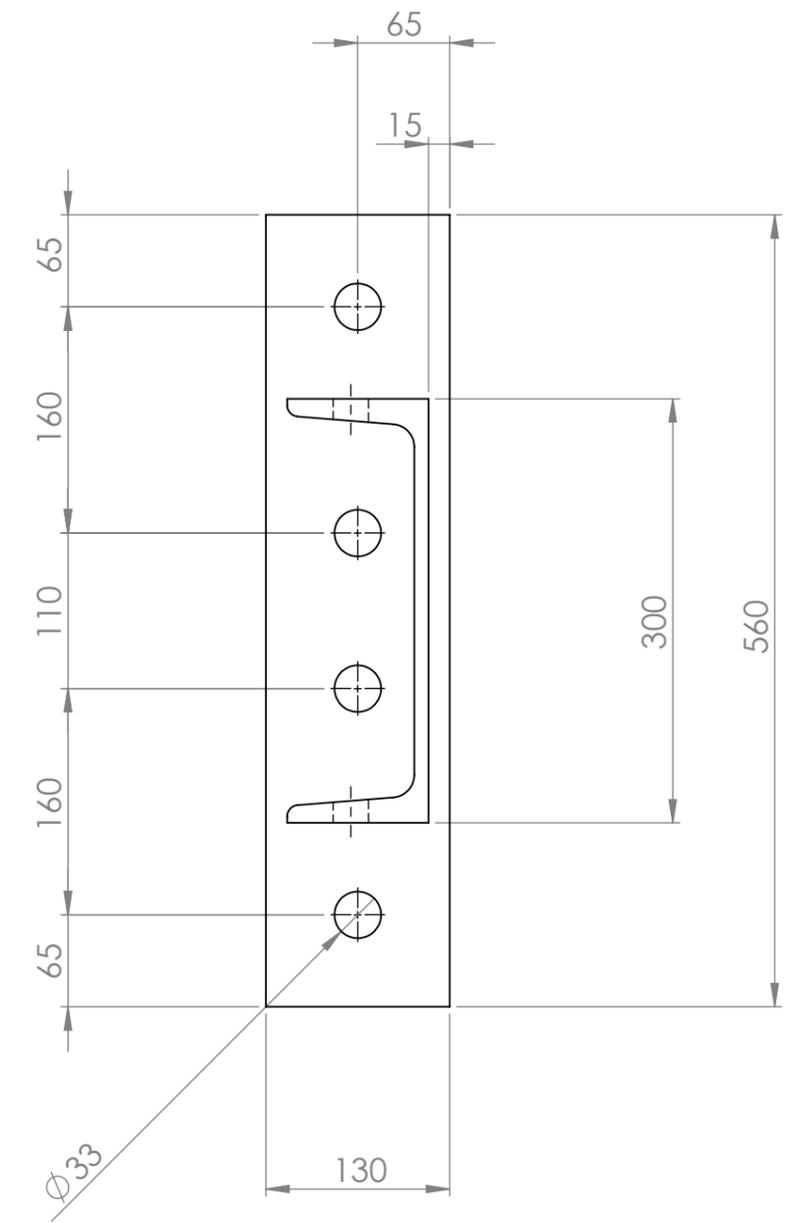
  
**ArcelorMittal**


**SUSTITUCION Y REFUERZO VIGAS CARRIL NAVES DE EXPEDICION**  
 FACTORIA DE SAGUNTO (VALENCIA)

ESCALA A1 1:200	PROYECTO 1410 PLANO 0003	ESTADO ACTUAL NAVES DE EXPEDICION SECCION TRANSVERSAL
--------------------	-----------------------------------	---

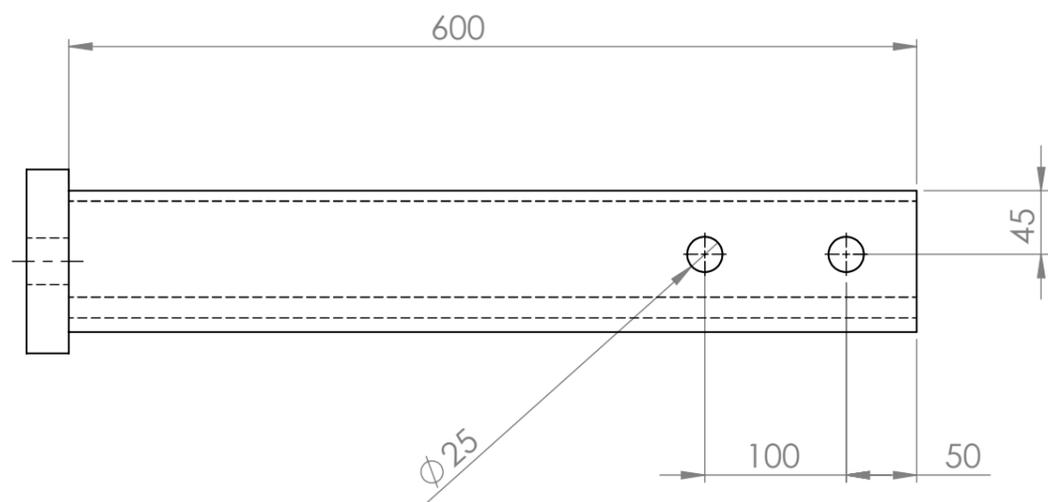
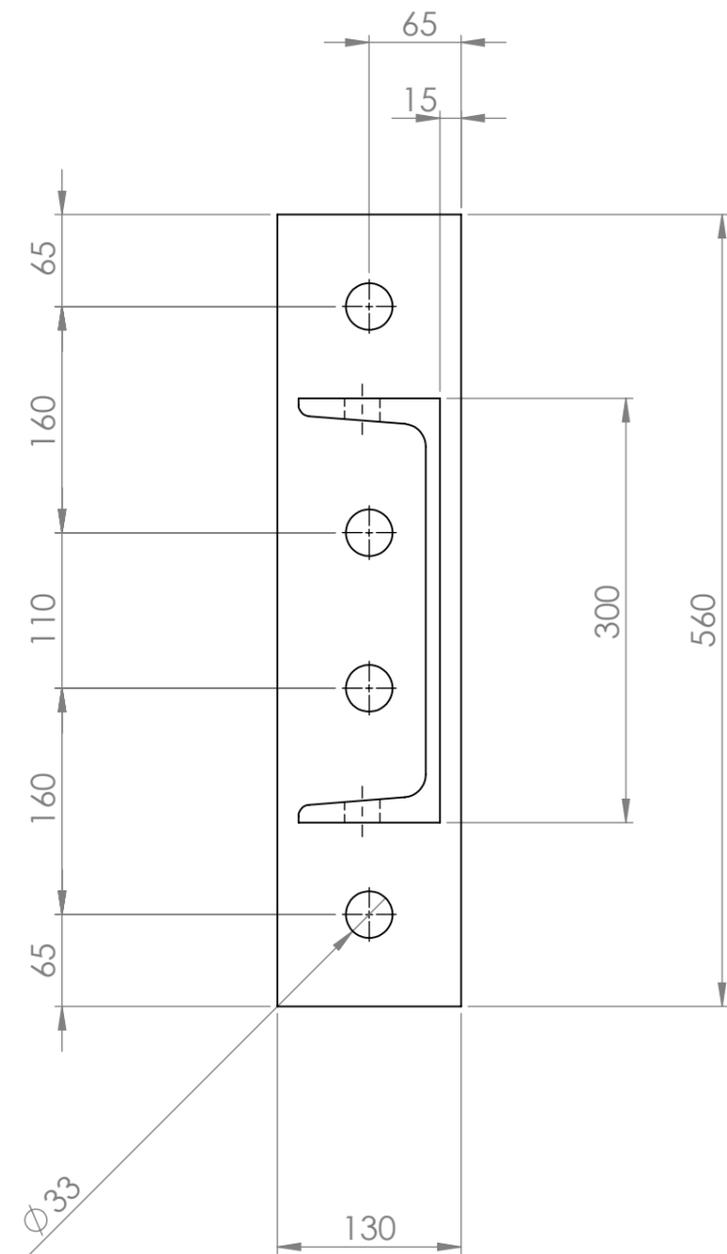
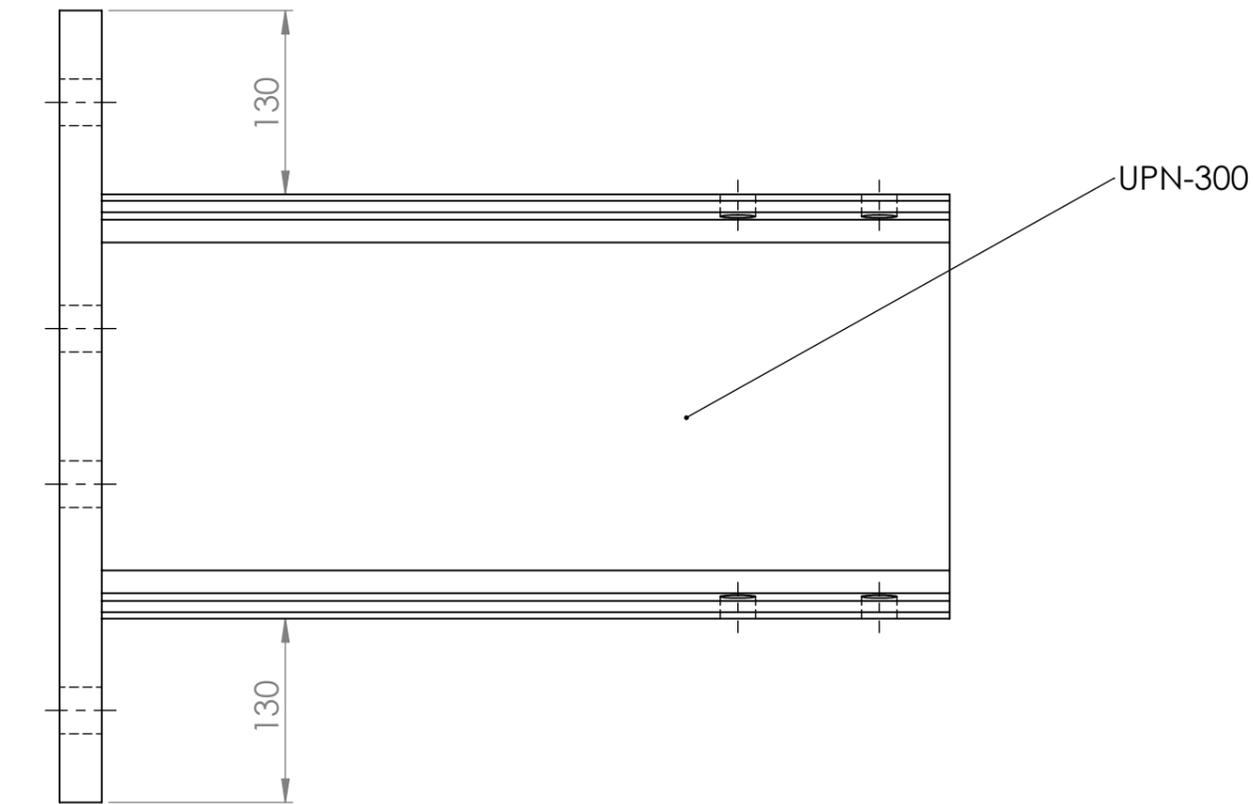


UPN-300



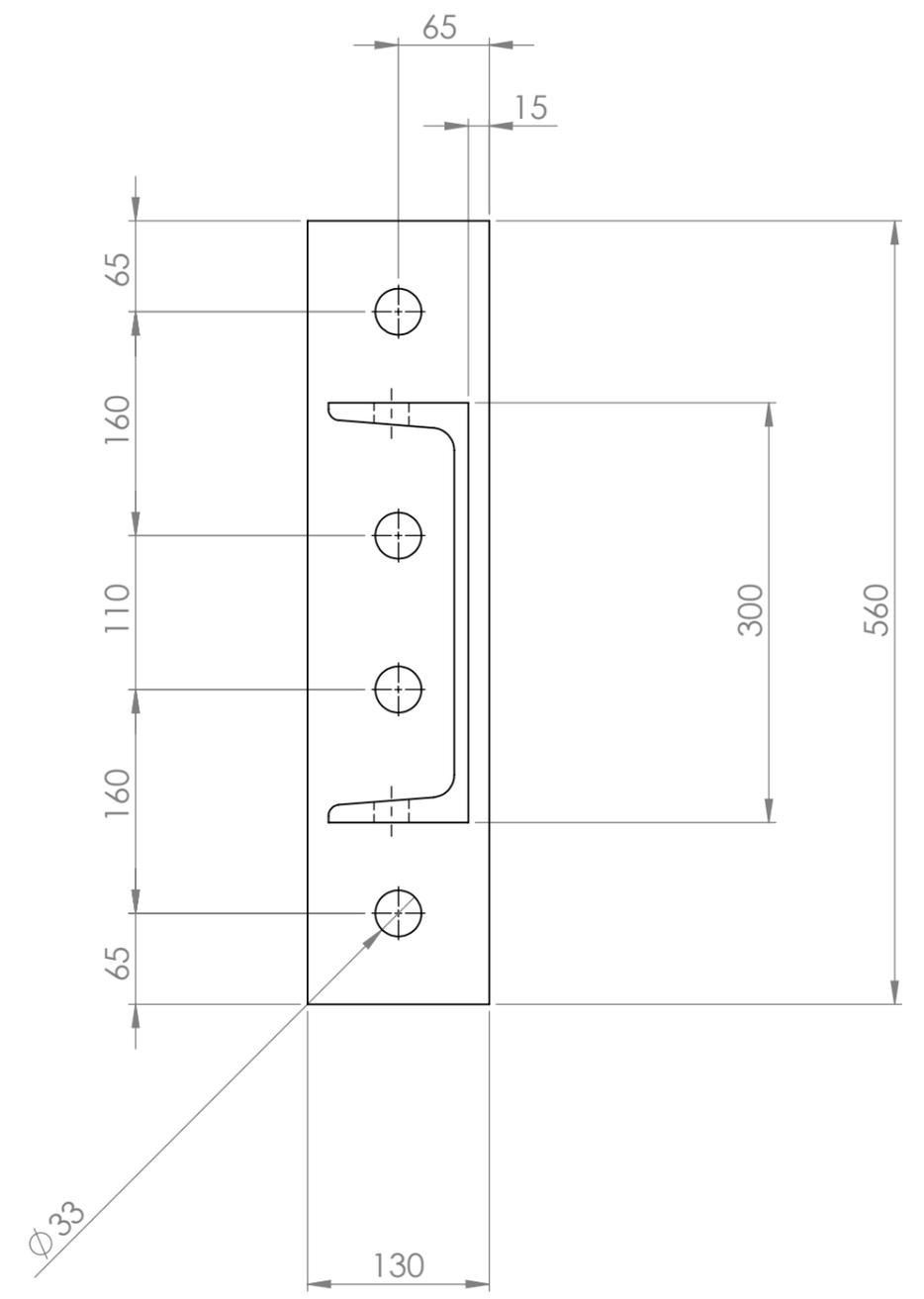
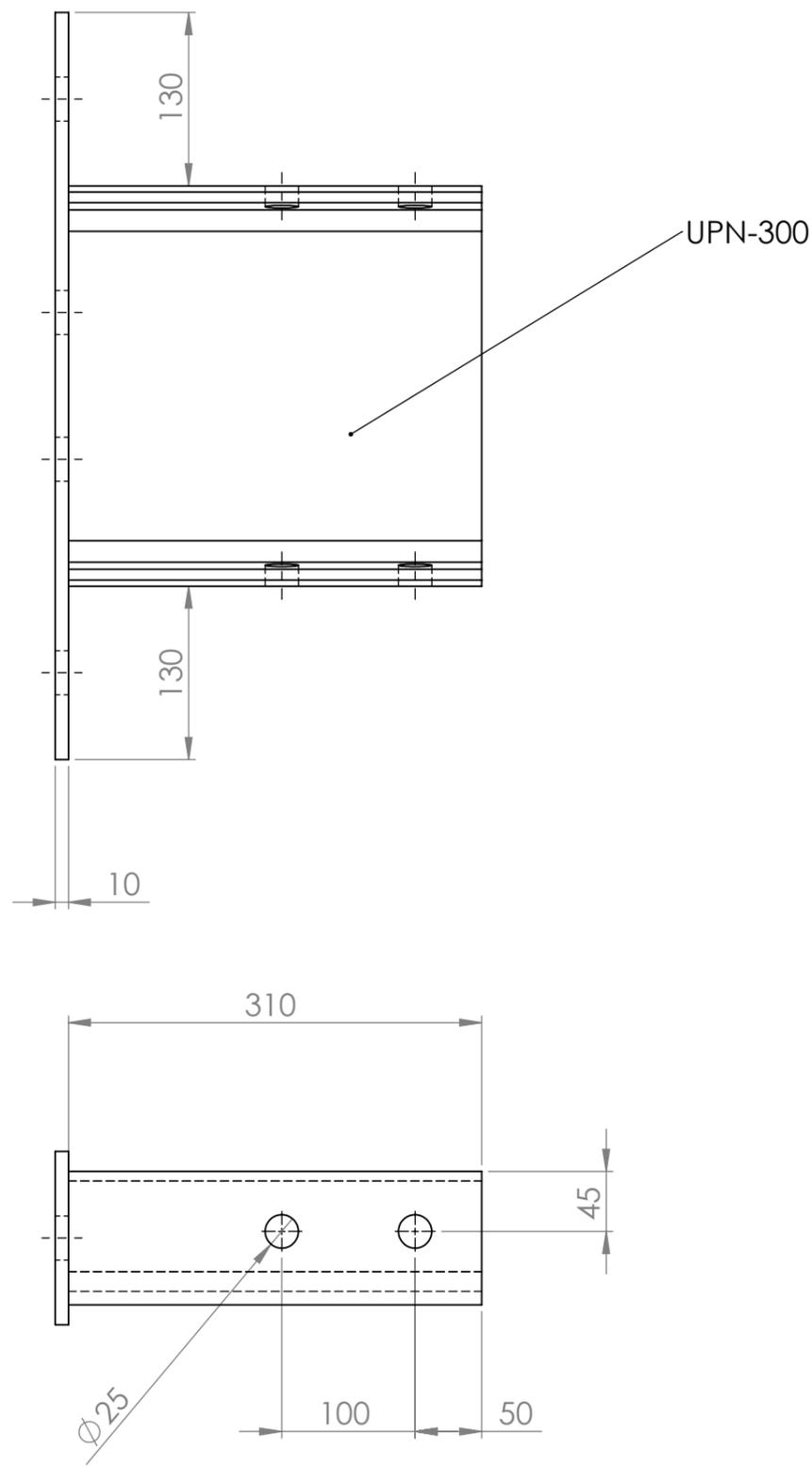
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

		PROMOTOR:		NO CAMBIE LA ESCALA			
				TÍTULO: Soporte largo alineación FL de la Nave 11 (estado actual)			
NOMBRE AUTOR: Aaron Hartelano Boix		FIRMA 		FECHA 04/06/2018		Proyecto: Estudio y propuesta de mejoras para soportes de vigas carrileras en las naves de expedición de ArcelorMittal Sagunto.	
DIREC.: David Hernandez Figueirido		APROB.:		MATERIAL: S275JR		N.º DE DIBUJO 2	
REV.:				ESCALA: 1:5		A3 mm	
				PLANO 2 DE 4			



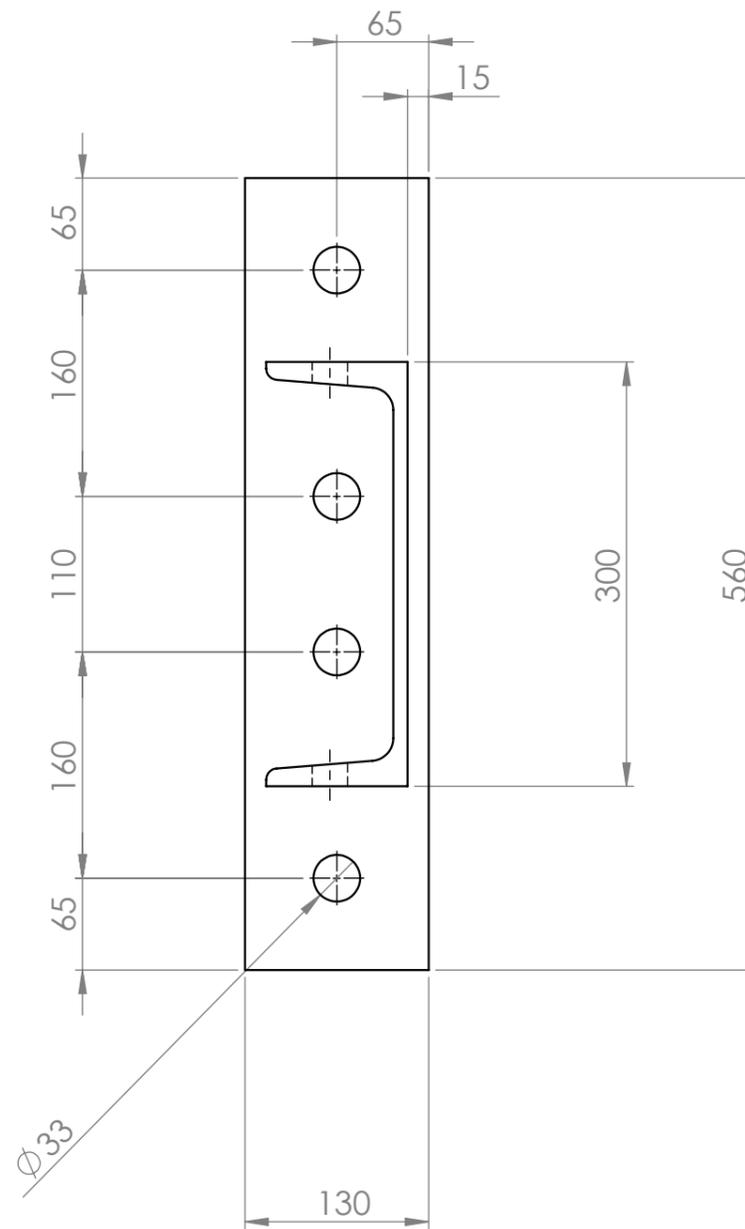
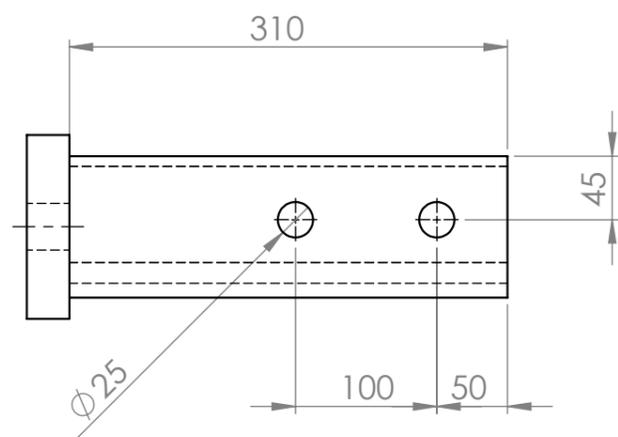
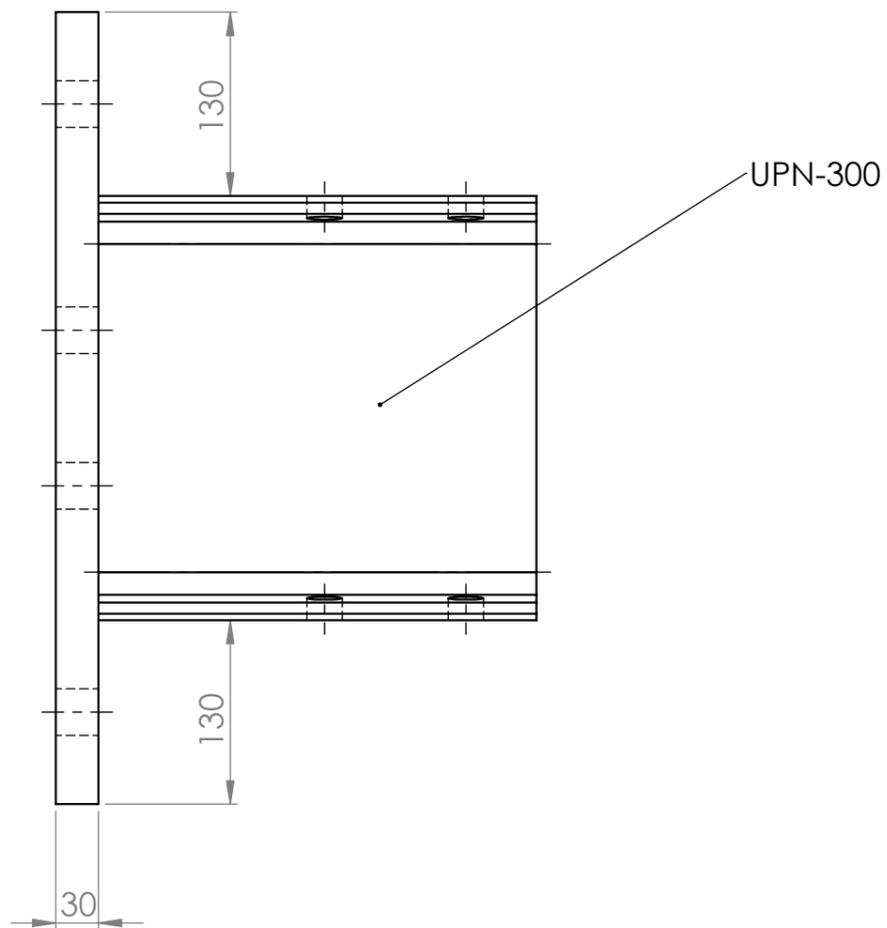
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

		PROMOTOR: 		NO CAMBIE LA ESCALA			
				TÍTULO: Soporte largo alineación FL de la Nave 11 (Modificado)			
NOMBRE AUTOR: Aaron Hartelano Boix		FIRMA		FECHA 04/07/2018		Proyecto: Estudio y propuesta de mejoras para soportes de vigas carrileras en las naves de expedición de ArcelorMittal Sagunto.	
DIREC.: David Hernandez Figueirido							
APROB.:							
REV.:							
				MATERIAL: S275JR		N.º DE DIBUJO 4	
						A3 mm	
				ESCALA: 1:5		PLANO 4 DE 4	



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

		PROMOTOR: 		NO CAMBIE LA ESCALA			
				TÍTULO: Soporte corto alineación FK de la Nave 11 (estado actual)			
NOMBRE AUTOR: Aaron Hartelano Boix		FIRMA 		FECHA 05/06/2018		Proyecto: Estudio y propuesta de mejoras para soportes de vigas carrileras en las naves de expedición de ArcelorMittal Sagunto.	
DIREC.: David Hernandez Figueirido							
APROB.:							
REV.:							
				MATERIAL: S275JR		N.º DE DIBUJO 1	
						A3 mm	
				ESCALA: 1:5		PLANO 1 DE 4	



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

		PROMOTOR: 		NO CAMBIE LA ESCALA			
				TÍTULO: Soporte corto alineación FK de la Nave 11 (Modificado)			
				Proyecto: Estudio y propuesta de mejoras para soportes de vigas carrileras en las naves de expedición de ArcelorMittal Sagunto.			
				MATERIAL: S275JR		N.º DE DIBUJO 3	
				ESCALA: 1:5		A3 mm	
				ESCALA: 1:5		PLANO 3 DE 4	