



INGENIERÍA FERROVIARIA
ESTRUCTURAS FERROVIARIAS I
TRABAJO PRÁCTICO ANUAL

***“Ejes tractivos y remolcados
coche motor Materfer CMM400”***

Integrantes:

<i>Buccino, Matías</i>	<i>15-17944</i>
<i>Lobos, Gerardo Nicolás</i>	<i>15-26444</i>

Docentes:

Ing. Fabián Pégola

Ing. Agustín Sirolli

Curso: 2° 9° AÑO: 2021

Introducción del informe general

El presente trabajo fue realizado con el objeto de integrar los conocimientos desarrollados en la asignatura “estructuras ferroviarias I”, vinculando dichos conocimientos con las áreas técnicas del ámbito ferroviario.

Como consignas propuestas por la asignatura para el desarrollo de este informe, fue la de presentar una investigación acerca de una aplicación ferroviaria, en donde puedan verse aplicados los conocimientos de cálculo de estructuras, solicitaciones, esfuerzos, tensiones y deformaciones, etc.

Nuestro grupo de trabajo, luego de haber investigado, decidió realizar un informe acerca del coche motor Materfer CMM400, el cual se trata de un material rodante ferroviario de pasajeros, del tipo DMU Unidad Múltiple Diésel (del inglés: Diésel Multiple Unit), de producción nacional⁽¹⁾, que se fabrica en distintas configuraciones como pueden ser Duplas, Triplas o Cuádruplas, donde cada coche puede ser motor o remolcado según la configuración de fábrica. (Ver Anexo-1)



Ilustración 1 Coche Motor Materfer CMM 400, del tren patagónico.

Respecto al trabajo práctico, nosotros nos vamos a dedicar a analizar y estudiar los ejes tractivos y remolcados del material rodante de dichos coches.

El informe constara de distintas temáticas, las cuales serán desarrolladas de manera secuenciada, teniendo en cuenta la profundidad que cada una requiera.

Objetivos del estudio

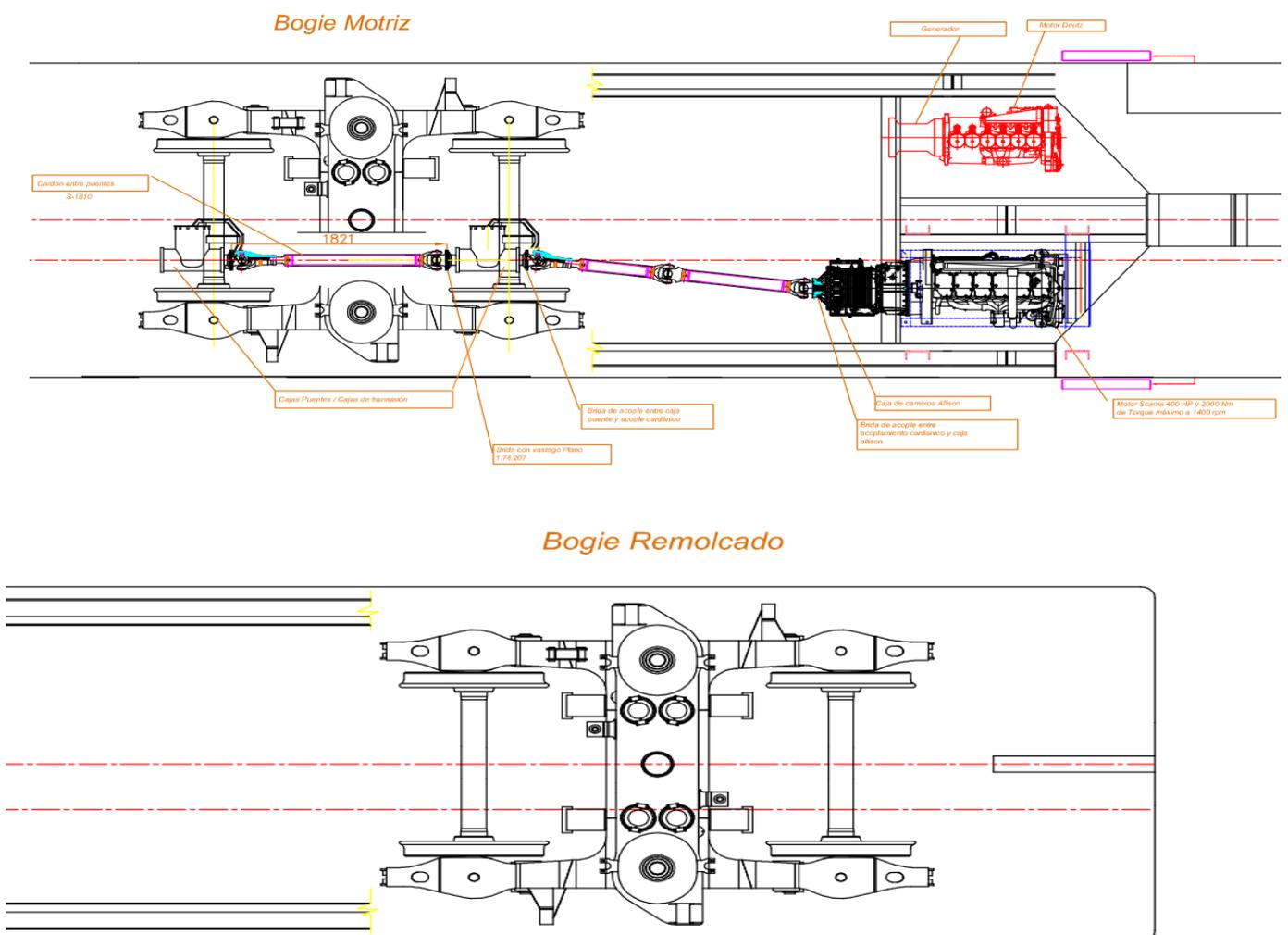
Respecto de la estructura del informe, el siguiente trabajo se organizó de una manera didáctica, clara y concisa con el objeto de que todos los temas puedan ser abordados y comprendidos.

En base a los conocimientos adquiridos en la asignatura (Estructuras Ferroviarias I), buscamos analizar cuáles son las cargas que influyen en el diseño y el trabajo de los ejes, ya sean tractivos o remolcados, como deben calcularse y como se ponen en manifiesto estas solicitaciones en la estructura del material rodante, para ello nos proponemos:

- *Estudiar los esfuerzos y solicitaciones en los distintos ejes de dicho material rodante.*
- *Poder diferenciar claramente lo que es un eje tractivo y uno remolcada, como también las cualidades y solicitaciones de cada uno.*
- *Conocer los distintos tipos de materiales que pueden emplearse, haciendo uso de la composición de cada uno y los beneficios que pueden traer.*
- *Introducir al uso de las especificaciones técnicas para cada uno de los elementos.*
- *Utilización de planos a escala para poder discernir de manera clara la geometría de las piezas*
- *Estudiar las tensiones y las deformaciones que se presentan en los ejes.*
- *Introducir al cálculo de estructuras y diseño de ejes, mediante el uso de las normativas vigentes.*
- *Realizar los diagramas de esfuerzos características para poder visualizar claramente cuales los requerimientos de los ejes ferroviarios.*
- *Destacar la importancia de los ejes y la necesidad de ser diseñados bajo normativas actuales y estándares de calidad.*

Alcance del estudio

- Se tomará la configuración DMU de Dupla (coche motriz cabina + Coche remolcado cabina) para analizar, ya que es la configuración de uso más extendido.
- El análisis de los ejes se hará en base a los ejes en estado estático (sin movimiento).
- Se diferenciará tanto el estado sin carga (solo peso de los coches vacíos), como el de carga máxima (Sumando entre 68 y 72 pasajeros sentados, más 165 de pie (asumiendo ocupación crítica de 8 personas/m²) (Ver Anexo-2), y un peso promedio de 78 kg por persona).
- Se diferenciará la forma geométrica del par de ejes del bogie motriz (en el coche motriz), con respecto a la forma de los 6 restantes pares montados libres, que están presentes tanto en el bogie remolcado del coche motriz, como en ambos bogies presentes en el coche remolcado (que son todos bogies remolcados).



Características generales de los coches motores Materfer CMM400

Descripción general

Unidades automotoras diésel hidráulicas de conducción bidireccional, compuestas por dos coches acoplados entre sí, de trocha internacional (1435 mm.), uno de ellos motriz y el otro remolcado, con cabinas de conducción en ambos extremos, sistema de tracción con motor diésel y transmisión hidrodinámica ubicados bajo piso, que accionan mediante eje cardánico el movimiento de ambos ejes de uno de los bogies.

El espacio interior de cada coche, motor o remolcado consta de una cabina de conducción, dos salones para pasajeros en ambos extremos y un vestíbulo central, separando ambos salones y en correspondencia con las puertas laterales de ascenso y descenso.

Datos generales

- *Longitud de la unidad entre cabezales: 45.464 mm.*
- *Longitud de cada unidad entre cabezal y centro de acoplamiento: 22.732 mm.*
- *Longitud entre centros de bogies: 15.220 mm.*
- *Longitud entre centros de ejes de cada bogie: 2.500 mm.*
- *Altura máxima sobre nivel del riel: Según gálibo de material rodante para la trocha media.*
- *Ancho máximo: 3.140 mm.*
- *Velocidad máxima: 120 Km/h.*
- *Capacidad del tanque de combustible: 700 litros.*
- *Sistema de accionamiento de puertas: Automático, de apertura y cierre neumático.*
- *Iluminación: Fluorescente, con convertidores electrónicos.*

Motor

- *Marca Scania*
- *Potencia: 294 KW-400 HP*
- *Turbo sobrealimentado*

Transmisión hidrodinámica

- *Marca Allison*
- *Hidrodinámica*
- *Potencia: 500 HP*
- *Con convertidor de cupla*
- *6 velocidades de avance*
- *1 velocidad de retroceso*

Caja puente

- Marca Materfer
- Con reducción de 3,2 a 1
- Inversor de marcha y desbloqueo para 600 H

Bogies

- Marca Materfer
- 2 bogies, uno motriz y uno remolcado para el coche motor y dos bogies remolcados para el coche remolcado, contruidos con chapa de acero soldada.
- Suspensiones primaria y secundaria con resortes helicoidales y amortiguadores hidráulicos de control, rodamientos en extremos de ejes.

Frenos

- De discos ventilados a aire comprimido
- Con compresor directamente acoplado al motor
- Equipo de filtro y secado
- Depósitos de aire
- Equipo de freno Knorr Bremse
- Sistema de freno: Neumático, con zapatas de composición aplicadas sobre las bandas de rodadura.

Vista general del tablero de control

En la siguiente figura, podemos observar el tablero de control y comando del coche motor perteneciente tanto a la cabina del lado remolcado como del lado motriz.

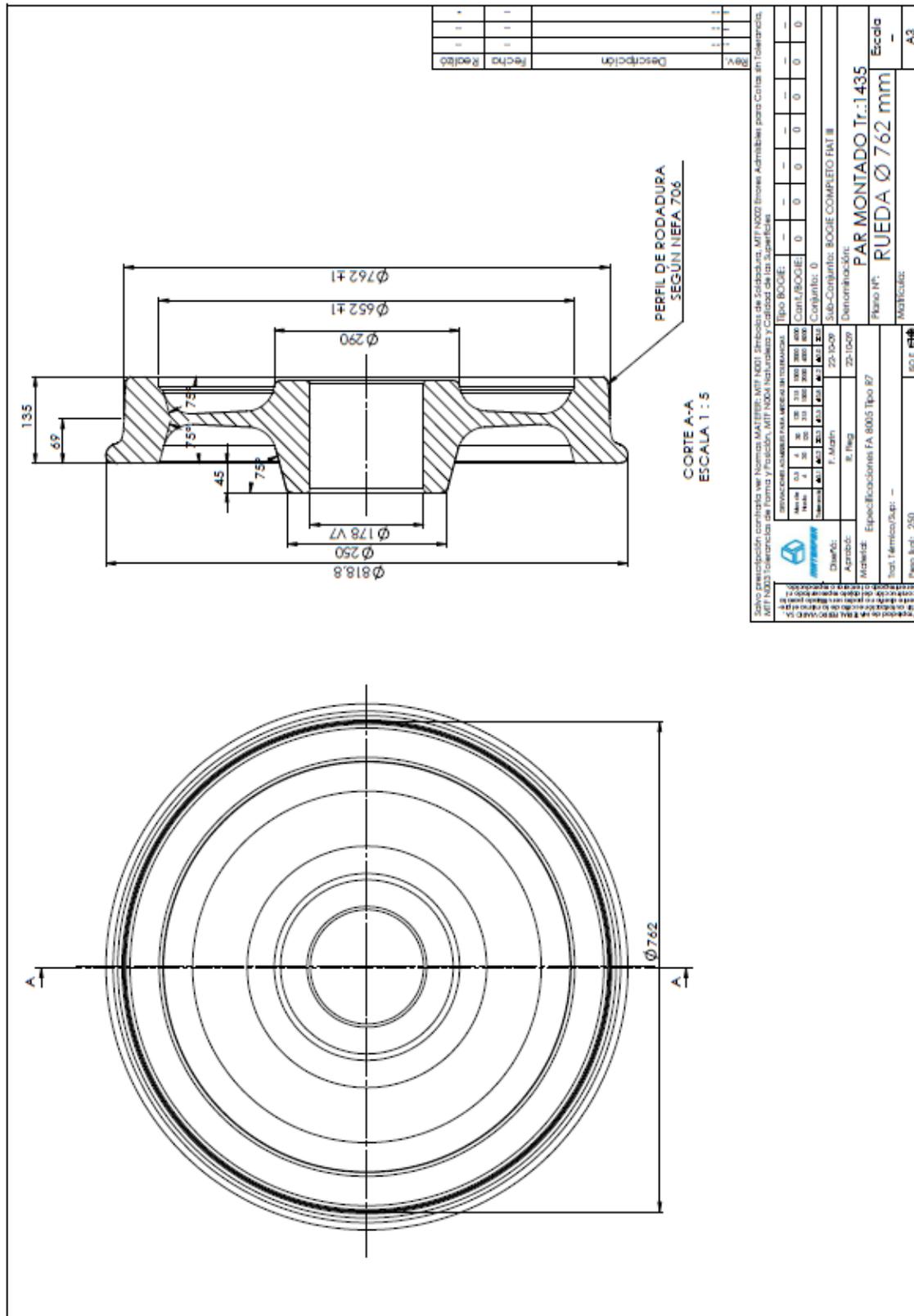


DESCRIPCIÓN:

- 1- Pulsador de arranque y parada motor de tracción.
- 2- Llave habilitación de cabina.
- 3- Palanca aceleradora (acelerador).
- 4- Pulsador "HOMBRE MUERTO".
- 5- Llave habilitación freno.
- 6- Bocina.
- 7- Pulsador apertura y cierre de puerta flanco derecho.
- 8- Palanca de freno.
- 9- Aire acondicionado.
- 10- Grupo generador.
- 11- Buzzer (alarma sonora).
- 12- Arenero.
- 13- Media luz salón.
- 14- Plena luz salón.
- 15- Pulsador apertura y cierre de puerta flanco izquierdo.
- 16- Freno de emergencia (golpe de puño).
- 17- Selectora de caja de velocidades.
- 18- Pantalla retrovisora.
- 19- Panel de alarmas.
- 20- Pantalla principal.
- 21- Manómetro.
- 22- Panel de llaves.

Figura Nº: 001

Vista frontal y de perfil "rueda Ø762 mm."



Rev.	Descripción	Fecha	Realizó
1			
2			
3			
4			

Dentro de la especificación contratada ver Normas MATER: MTF N001 Símbolos de Soldadura, MTF N002 Brotes Admisibles para Costas en Tolerancia, MTF N003 Tolerancias de Forma y Posición, MTF N004 Tolerancias y Calidad de las Superficies.	
Tipo BOGIE:	Tipo BOGIE:
Caril/BOGIE:	Caril/BOGIE:
Cantidad:	Cantidad:
Sub-Componente:	Sub-Componente:
Denominación:	Denominación:
Dibujo:	Dibujo:
Autor:	Autor:
Material:	Material:
Trat. Térmico/Sup:	Trat. Térmico/Sup:
Peso Eje:	Peso Eje:
T.M.B.	T.M.B.
Escala	Escala
A3	A3

Especificaciones técnicas

Eje portante coche motor Materfer CMM400 – trocha 1435 mm.

Objeto

Determinar las condiciones técnicas que deben reunir los ejes portantes utilizados en los coches motores Materfer CMM400 de la Línea Urquiza, trocha 1435 mm. para su fabricación y compra.

Alcance

La presente especificación es aplicable a los ejes nuevos a utilizar en los pares montados portantes de los coches motores Materfer CMM400, que prestan servicios regionales en la línea Urquiza.

Referencias normativas

- *EN 13103 – Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes portadores. Método de diseño*
- *EN 13260 – Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes montados. Requisitos de producto.*
- *EN 13261 – Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes. Requisitos de producto.*
- *FAT MR-500 – Calado de ruedas en ejes del material rodante.*

Características técnicas

Las condiciones técnicas se ajustarán a los requisitos establecidos en la norma EN 13261, bajo los siguientes parámetros:

- *Material: Acero grado EA1N*
- *Categoría: 2 (Velocidades menores a 200 km/h)*
- *Estado de entrega: listo para montaje.*

Protocolos de ensayo

El control se realizará por lotes donde cada uno contendrá ejes de la misma colada y con un tratamiento térmico bajo las mismas condiciones. Se exigirá con el lote solicitado (de manera excluyente), la entrega de los protocolos de ensayos y determinaciones definidos según la norma EN 13261:

- *Dimensional y geométrico: 100% del lote*
- *Composición química: Según inciso 3.1*
- *Características de tracción: Según inciso 3.2.1*
- *Resistencia al choque longitudinal: Según inciso 3.2.2*
- *Resistencia al choque transversal: Según inciso 3.2.2*
- *Limpieza micrográfica: Según inciso 3.4.1*
- *Permeabilidad a ultrasonidos: 100% del lote (según inciso 3.5)*
- *Integridad interna: 100% del lote (según inciso 3.4.2)*
- *Integridad superficial: 100% del lote (según inciso 3.7.2)*
- *Aspecto superficial: 100% del lote (según inciso 3.7.1)*
- *Protección final (espesor de película): 10% del lote*

Condiciones de entrega

Los ejes serán entregados debidamente protegidos contra la herrumbre y contra golpes que eventualmente pudieran sufrir durante su traslado u operación. Dicha protección corresponderá a la clase 1 de inciso 3.9 de la norma EN 13261, con un espesor de revestimiento comprendido entre 200-250 μm . El estado de los ejes al momento de la entrega se corresponderá al definido en la normativa como “listo para montaje”.

Inspección y recepción de partidas

Las condiciones de inspección y recepción se adecuarán a lo establecido en el Anexo J, Tabla J.1, de la norma EN 13261.

Eje motriz coche motor Materfer CMM400 – trocha 1435 mm.

Objeto

Determinar las condiciones técnicas que deben reunir los ejes motrices utilizados en los coches motores Materfer CMM400 de la línea Urquiza, trocha 1435 mm. para su fabricación y compra.

Alcance

La presente especificación es aplicable a los ejes nuevos a utilizar en los pares montados motrices de los coches motores Materfer CMM400, que prestan servicios regionales en la línea Urquiza.

Referencias normativas

- *EN 13104 – Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes motores. Método de diseño*
- *EN 13260 – Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes montados. Requisitos de producto.*
- *EN 13261 – Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes. Requisitos de producto.*
- *FAT MR-500 – Calado de ruedas en ejes del material rodante.*

Características técnicas

Las condiciones técnicas se ajustarán a los requisitos establecidos en la norma EN 13261, bajo los siguientes parámetros:

- *Material: Acero grado EA4T.*
- *Categoría: 2 (Velocidades menores a 200 km/h)*
- *Estado de entrega: listo para montaje.*

Protocolos de ensayo

El control se realizará por lotes donde cada uno contendrá ejes de la misma colada y con un tratamiento térmico bajo las mismas condiciones. Se exigirá con el lote solicitado (de manera excluyente), la entrega de los protocolos de ensayos y determinaciones definidos en el Anexo J de la norma EN 13261:

- *Dimensional y geométrico: 100% del lote.*
- *Composición química: Según inciso 3.1 – Valores según Anexo A.*
- *Características tracción: Según inciso 3.2.1 – Valores según Anexo A.*
- *Resistencia al choque longitudinal: Según inciso 3.2.2 – Valores según Anexo A.*
- *Resistencia al choque transversal: Según inciso 3.2.2 – Valores según Anexo A.*
- *Limpieza micrográfica: Según inciso 3.4.1.*
- *Permeabilidad a ultrasonidos: 100% del lote (según inciso 3.5).*
- *Integridad interna: 100% del lote (según inciso 3.4.2).*
- *Integridad superficial: 100% del lote (según inciso 3.7.2).*
- *Aspecto superficial: 100% del lote (según inciso 3.7.1).*
- *Protección final (espesor de película): 10% del lote.*

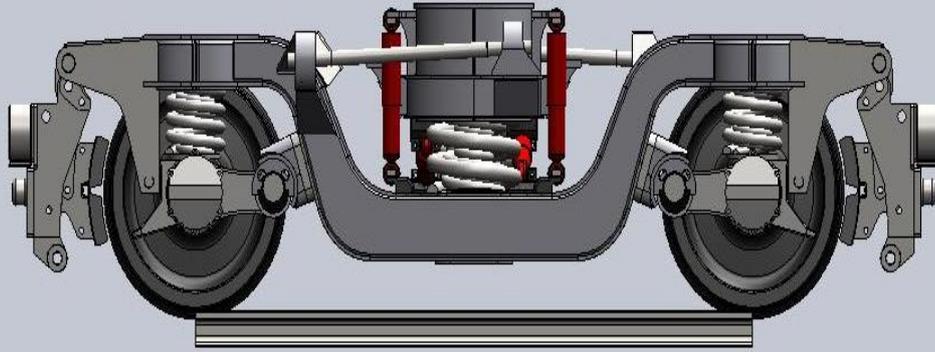
Condiciones de entrega

Los ejes serán entregados debidamente protegidos contra la herrumbre y contra golpes que eventualmente pudieran sufrir durante su traslado u operación. Dicha protección corresponderá a la clase 1 de inciso 3.9 de la norma EN 13261, con un espesor de revestimiento comprendido entre 200-250 μm . El estado de los ejes al momento de la entrega se corresponderá al definido en la normativa como “listo para montaje”.

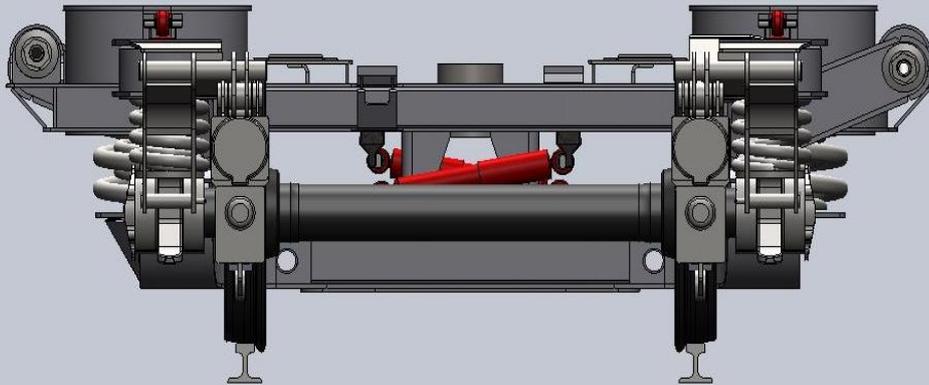
Inspección y recepción de partidas

Las condiciones de inspección y recepción se adecuarán a lo establecido en el Anexo J, Tabla J.1, de la norma EN 13261.

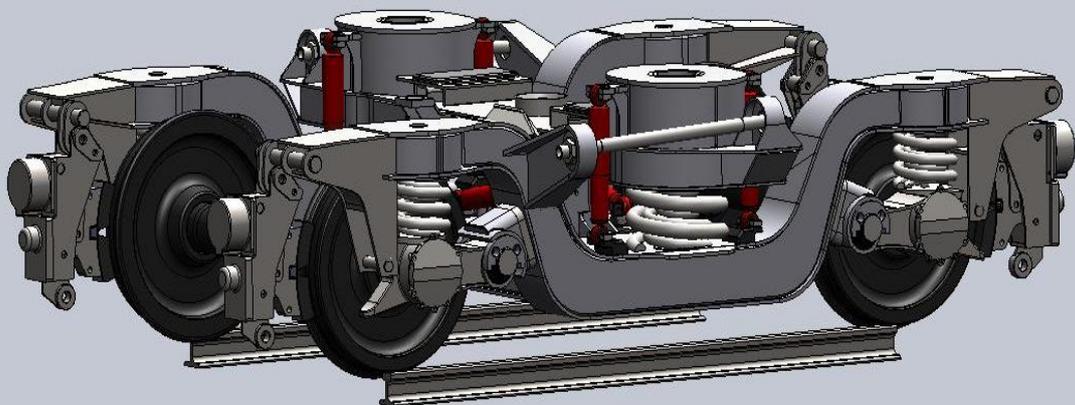
Renderizado 3D bogies Materfer



Vista lateral



Vista frontal



Vista en perspectiva axonométrica

Normativas de aplicaciones practicas

UNE-EN 13103:2010+A2 - UNE-EN 13104+A2

- *Aplicaciones ferroviarias*
- *Ejes montados y bogies*
- *Ejes portadores*
- *Método de diseño*

Generalidades

Las fases principales para el diseño de un eje son las siguientes:

- A) Definición de las fuerzas que tienen que tenerse en cuenta y cálculo de los momentos en las diferentes secciones del eje.*
- B) Selección de los diámetros para el cuerpo del eje y las manguetas y, sobre la base de estos diámetros, cálculo de los diámetros de otras secciones.*
- C) Verificación de las opciones tomadas de la siguiente manera:*
 - *Cálculo del esfuerzo para cada sección.*
 - *Comparación de estos esfuerzos con los esfuerzos máximos permitidos.*

Los esfuerzos máximos permitidos se definen principalmente por:

- *La calidad del acero.*
- *Si el eje es macizo o hueco.*
- *El tipo de transmisión de la fuerza motriz.*

Fuerzas y momentos a tener en cuenta

Tipos de fuerzas

Se van a tratar dos tipos de fuerzas en función de:

- *El sistema de frenado.*
- *Las masas en movimiento.*
- *La tracción.*

Efectos debidos a masas en movimiento

Las fuerzas producidas por las masas en movimiento están situadas en el plano vertical de simetría (Y, Z) que corta la línea central del eje (ver figura n°1).

A menos que el cliente defina lo contrario, las masas ($m_1 + m_2$) que tienen que tenerse en cuenta para las aplicaciones principales del material rodante se definen en la tabla n°2.

Para aplicaciones específicas como, por ejemplo, los vehículos de cercanías, se necesitan otras definiciones para las masas, de acuerdo con los requisitos específicos de explotación.

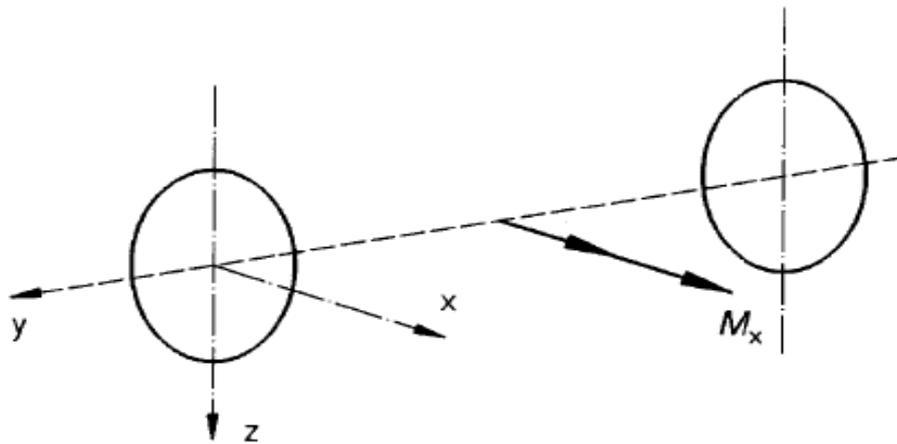
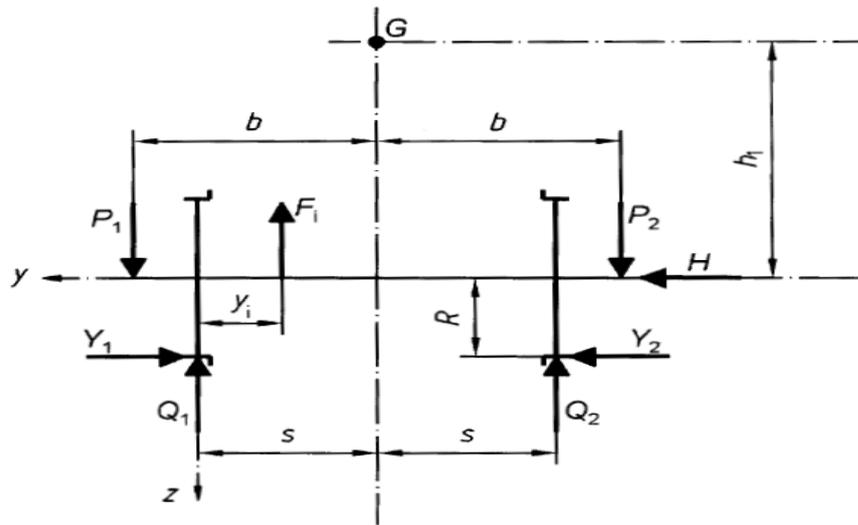


Figura 1

Tabla 2

Tipos de unidades de material rodante	Masa ($m_1 + m_2$)
Vagones de carga	Para el eje considerado, fracción de la masa del vagón en el caso de carga máxima prevista en servicio.
Coche que incluye plazas para viajeros, zonas de equipaje y furgones 1 Vehículos de grandes líneas ^a	Masa en servicio + 1,2 × carga neta, la "masa en servicio" se define como la masa del vehículo sin viajeros, con los depósitos llenos (de agua, arena, combustible, etc.); la "carga neta" se define como la masa de un viajero, la cual se estima en 80 kg, incluyendo equipaje de mano; - 1 viajero por asiento; - 2 viajeros por m ² en pasillos y plataformas de intercomunicación; - 2 viajeros por compartimento para personal de asistencia en viaje; - 300 kg por m ² en compartimentos de equipaje.
2 Vehículos de cercanías ^{a,b}	Masa en servicio + 1,2 × carga neta, la "masa en servicio" se define como la masa del vehículo sin viajeros, con los depósitos llenos (de agua, arena, combustible, etc.); la "carga neta" se define como la masa de un viajero, la cual se estima en 70 kg (con poco o nada de equipaje); - 1 viajero por asiento; - 3 viajeros por m ² en zonas de pasillos; - 4 o 5 viajeros por m ² en zonas de plataformas de intercomunicación ^b ; - 300 kg por m ² en compartimentos de equipaje.
^a Las cargas netas que tienen que tenerse en cuenta para determinar los vehículos de grandes líneas y vehículos de cercanías reflejan ampliamente las condiciones normales de explotación de la red ferroviaria de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC). Si las condiciones de funcionamiento difieren significativamente, las masas pueden modificarse, por ejemplo, aumentando o disminuyendo el número de viajeros por m ² en pasillos y plataformas de intercomunicación. ^b En algunas ocasiones, estos vehículos están relacionados con las clases de compartimentos del viajero, es decir, primera o segunda clase.	



Leyenda
G Centro de gravedad del vehículo

Figura 2

La tabla n°3 muestra los valores de las fuerzas calculadas a partir de m1:

Tabla 3

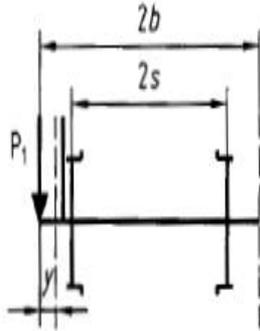
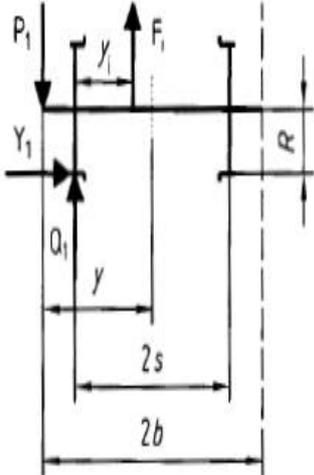
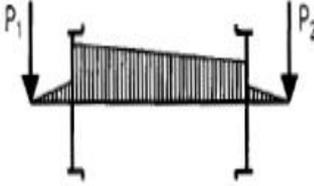
Todos los ejes excepto el eje guía ^a	$P_1 = (0,625 + 0,075h_1 / b) m_1 g$ $P_2 = (0,625 - 0,075h_1 / b) m_1 g$ $Y_1 = 0,30 m_1 g$ $Y_2 = 0,15 m_1 g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,15 m_1 g$
Eje guía ^a	$P_1 = (0,625 + 0,0875h_1 / b) m_1 g$ $P_2 = (0,625 - 0,0875h_1 / b) m_1 g$ $Y_1 = 0,35 m_1 g$ $Y_2 = 0,175 m_1 g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,175 m_1 g$
Para todos los ejes	$Q_1 = \frac{1}{2s} [P_1(b+s) - P_2(b-s) + (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i(2s - y_i)]$ $Q_2 = \frac{1}{2s} [P_2(b+s) - P_1(b-s) - (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i y_i]$
^a El eje guía es el eje del primer bogie (es decir, el conductor) de un coche utilizado en cabeza de una unidad de tren reversible. Si un eje puede utilizarse en ambas posiciones (guía o no guía), se considera que es un eje guía.	

Tabla 3

Para todos los ejes definidos en el campo de aplicación de esta norma	$P_1 = (0,625 + 0,0875 h_1/b) m_1 g$ $P_2 = (0,625 - 0,0875 h_1/b) m_1 g$ $Y_1 = 0,35 m_1 g$ $Y_2 = 0,175 m_1 g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,175 m_1 g$
Para todos los ejes	$Q_1 = \frac{1}{2s} [P_1(b+s) - P_2(b-s) + (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i(2s - y_i)]$ $Q_2 = \frac{1}{2s} [P_2(b+s) - P_1(b-s) - (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i y_i]$

La tabla n°4 muestra las fórmulas para calcular M_x , para cada zona del eje y el esquema general de las variaciones de M_x , a lo largo del eje.

Tabla 4

Zona del eje	M_x^a
Entre el plano de carga y el plano de rodadura	$M_x = P_1 y$ 
Entre los planos de rodadura	$M_x = P_1 y - Q_1(y - b + s) + Y_1 R - \sum_i F_i(y - b + s - y_i)$  <p>F_i: fuerza(s) situada(s) a la izquierda de la sección considerada</p>
Esquema general de las variaciones de M_x	
<p>^a En caso de un eje asimétrico, los cálculos deben llevarse a cabo alternativamente después de aplicar la carga a las dos manguetas con el fin de determinar el peor de los casos.</p>	

Efectos debidos al frenado

El frenado produce momentos que pueden representarse por tres componentes: M'_x , M'_y , M'_z , (véase la figura n°3).

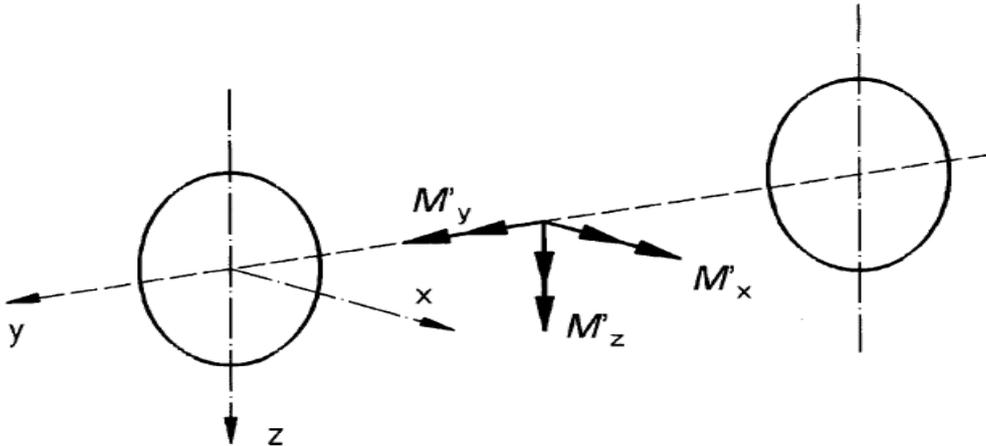


Figura 3

- La componente de flexión M'_x se debe a las fuerzas verticales paralelas al eje z.
- La componente de flexión M'_z se debe a las fuerzas horizontales paralelas al eje x.
- La componente de torsión M'_y se dirige conforme a la línea central del eje (eje y) debido a las fuerzas tangenciales aplicadas a las ruedas.

La tabla n°5 muestra las componentes M'_x , M'_y y M'_z , para cada modalidad de frenado.

En caso de superposición de varias modalidades de frenado, se deben sumar los valores correspondientes de cada modalidad,

Efectos debidos a la curvatura y geometría de la rueda

Para un eje no frenado, el momento de torsión M'_y es igual a $0,2 PR$, teniendo en cuenta posibles diferencias de diámetro de las ruedas y el efecto de circulación en curva.

Para un eje frenado, estas influencias están incluidas en las influencias producidas por el frenado.

Efectos debidos a la tracción

Por lo general, las fuerzas producidas en el eje por la transmisión del par motor, en condiciones de adherencia constantes, son despreciables. El cálculo y la experiencia demuestran que los momentos de flexión M'_x ; y M'_z ; y el momento de torsión M'_y ; producido por estas fuerzas de tracción son menores que los producidos por el frenado. Los momentos de tracción y de frenado no se producen de manera simultánea.

En el diseño del eje también se debería tener en cuenta la pérdida instantánea de la tracción, por ejemplo, un cortocircuito por sobrecarga.

Cuando los sistemas de control de la tracción adoptan la técnica de mantener el esfuerzo de tracción al límite de adherencia, toda oscilación resultante controlada alrededor del par motor medio debe tomarse en consideración para determinar la magnitud del momento de torsión M'_y .

Para determinadas aplicaciones, cuando el par de arranque es muy elevado y cuando los arranques se producen con mucha frecuencia, el cálculo se debe llevar a cabo de la siguiente manera:

- A) En las condiciones normales descritas en los apartados anteriores.
 B) En las condiciones iniciales siguientes:

- Efectos debidos a masas en movimiento.
- Efectos debidos al par de arranque.

Fuerzas en el arranque	$P_1 = 0,55 \text{ m}_1\text{g}$ $P_2 = 0,55 \text{ m}_1\text{g}$ $Y_1 = 0,10 \text{ m}_1\text{g}$ $Y_2 = 0,05 \text{ m}_1\text{g}$ $H = 0,05 \text{ m}_1\text{g}$
------------------------	--

Cálculo del momento resultante

En todas las secciones, los esfuerzos máximos se calculan a partir del momento resultante MR (véase la nota siguiente), que es igual a:

$$MR = \sqrt{MX^2 + MY^2 + MZ^2}$$

donde MX , MY y MZ son la suma de las diferentes componentes producidas por las masas en movimiento y el frenado:

$$MX = M_x + \sum M'_x$$

$$MY = \sum M'_y$$

$$MZ = \sum M'_z$$

NOTA En un punto de la superficie exterior de un cilindro macizo de diámetro d (demostración análoga en el caso de uno hueco), las componentes MX , MY y MZ producen:

- un esfuerzo normal para MX y MZ ,
- un esfuerzo tangencial para MY .

El esfuerzo normal tiene el siguiente valor (flexión de las vigas de sección circular):

$$\sigma_n = \frac{32\sqrt{MX^2 + MZ^2}}{\pi d^3}$$

El esfuerzo tangencial tiene el siguiente valor (torsión de las vigas de sección circular):

$$\sigma_t = \frac{16MY}{\pi d^3}$$

Y de ello resultan dos esfuerzos principales σ_1 y σ_2 iguales a:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_n + \sqrt{\sigma_n^2 + 4\sigma_t^2}}{2} \quad \sigma_2 = \frac{\sigma_n - \sqrt{\sigma_n^2 + 4\sigma_t^2}}{2}$$

Puesto que el esfuerzo normal tiene un valor absoluto mucho mayor que el esfuerzo tangencial (de 10 a 20 veces), se selecciona el diámetro más grande del círculo de Mohr (en este caso, $\sigma_1 - \sigma_2$) para verificar el valor elegido para d .

$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 = \sqrt{\sigma_n^2 + 4\sigma_t^2} = \frac{32}{\pi d^3} \sqrt{MX^2 + MZ^2 + MY^2}$$

Y de ello resulta la definición del momento resultante:

$$MR = \sqrt{MX^2 + MY^2 + MZ^2}$$

Tabla 5

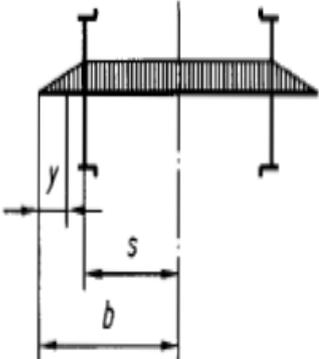
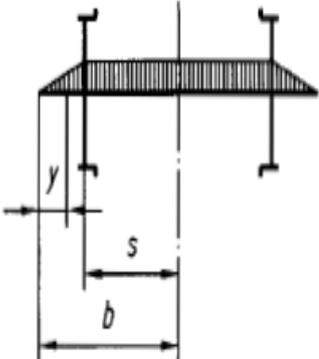
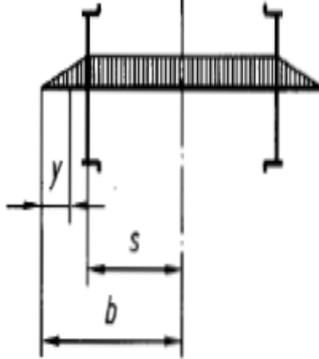
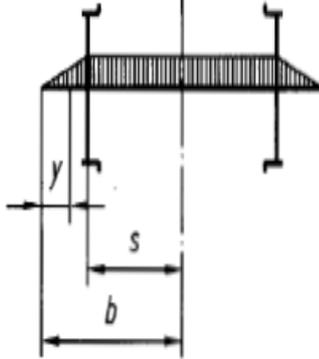
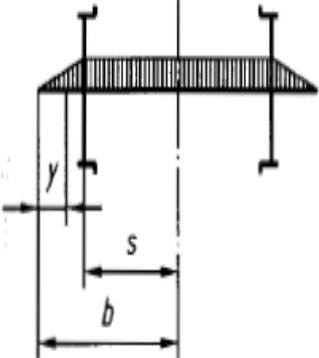
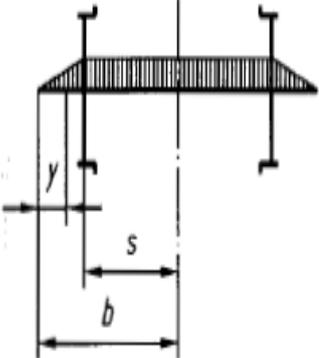
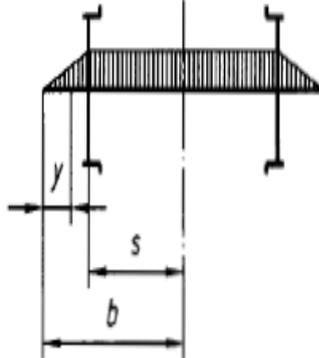
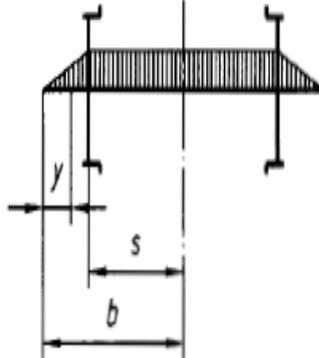
Componentes M'_x, M'_z, M'_y	Modalidad de frenado utilizada			
	Zapatras de freno en los dos lados de cada rueda		Zapatras de freno sólo en un lado de cada rueda	
	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = 0,3 F_f \Gamma y$ <small>a, b</small>	$M'_x = 0,3 F_f \Gamma (b - s)$ <small>a, b</small>	$M'_x = F_f \Gamma y$ <small>b</small>	$M'_x = F_f \Gamma (b - s)$ <small>b</small>
				
M'_z	$M'_z = F_f (0,3 + \Gamma) y$ <small>a</small>	$M'_z = F_f (0,3 + \Gamma) (b - s)$ <small>a</small>	$M'_z = F_f (1 + \Gamma) y$	$M'_z = F_f (1 + \Gamma) (b - s)$
				
M'_y	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ <small>c, d</small>	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ <small>c, d</small>

Tabla 5 (Continúa)

Componentes M'_x, M'_z, M'_y	Modalidad de frenado utilizada				
	Dos frenos de disco calados sobre el eje			Dos frenos de disco montados sobre el cubo de la rueda ^f	
	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre el plano de rodadura y el disco	Entre los discos	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = F_f \Gamma y$ b	$M'_x = F_f \Gamma (b - s + y)$ b		$M'_x = F_f \Gamma y$ b	$M'_x = F_f \Gamma (b - s + y)$ b
M'_z	$M'_z = F_f \Gamma \frac{R_b}{R} y$ b	$M'_z = F_f \Gamma \frac{R_b}{R} (b - s)$ b		$M'_z = F_f \Gamma \frac{R_b}{R} y$ b	$M'_z = F_f \Gamma (b - s) \frac{R_b}{R}$ b
M'_y	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e

Tabla 5

Componentes M'_x, M'_z, M'_y	Modalidad de frenado utilizada			
	Un freno de disco calado sobre el eje		Un freno de disco montado sobre el cubo de la rueda ^f	
	Entre el primer plano de carga y el disco	Entre el disco y el segundo plano de carga	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = F_f \Gamma \frac{(b+s-y_1)}{2b} y$ $M'_x = F_f \Gamma \frac{(b-s+y_1)}{2b} (2b-y)$		$M'_x = \frac{1}{2} F_f \Gamma y (b+s-y_1)$ $M'_x = F_f \Gamma \frac{(b-s+y_1)}{2b} (2b-y)$	
M'_z	$M'_z = \frac{1}{2} F_f \Gamma \frac{R_b}{R} y$	$M'_z = \frac{1}{2} F_f \Gamma \frac{R_b}{R} (b-s)$	$M'_z = \frac{1}{2} F_f \Gamma \frac{R_b}{R} y$ $M'_z = \frac{1}{2} F_f \Gamma (b-s) \frac{R_b}{R}$	
M'_y	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$

^a El coeficiente 0,3 se obtiene de experimentos que establecieron las posibles diferencias entre las fuerzas aplicadas de dos zapatas de freno sobre cada rueda.

^b Mientras no se justifique lo contrario:
 - Para zapatas de freno:
 $\Gamma = 0,1$ para zapatas de freno de hierro fundido,
 $\Gamma = 0,17$ para todas las zapatas de freno con bajo coeficiente de fricción, excluyendo las de hierro fundido,
 $\Gamma = 0,25$ para todas las zapatas de freno con alto coeficiente de fricción, excluyendo las de hierro fundido.
 - Para pastillas de freno:
 $\Gamma = 0,35$

^c Este valor se obtuvo a partir de ensayos experimentales y corresponde a una fuerza de frenado distinta entre las dos ruedas que causa una diferencia de fuerza tangencial en las ruedas igual a $0,3 P'$. Incluye el momento de torsión definido en el apartado 5.3.

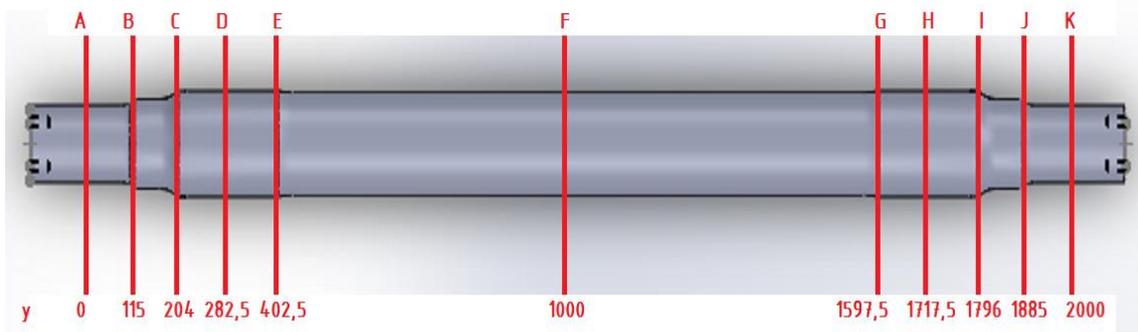
^d P' es la parte de P frenada con la modalidad de frenado considerada.

^e Por convenio, el momento de torsión entre los planos de rodadura se considera igual a $0,3 P'R$. Incluye el momento de torsión debido al frenado y el momento de torsión especificado en el apartado 5.4.

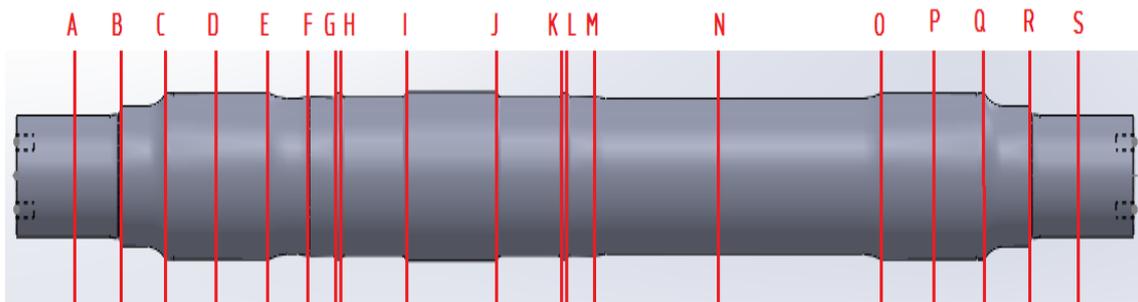
^f Cuando el disco está montado sobre el plato de la rueda, entonces $y_1 = 0$.

Cálculo de esfuerzos sobre los ejes

Eje libre T1435



Eje motriz T1435



Fuerzas tractivas

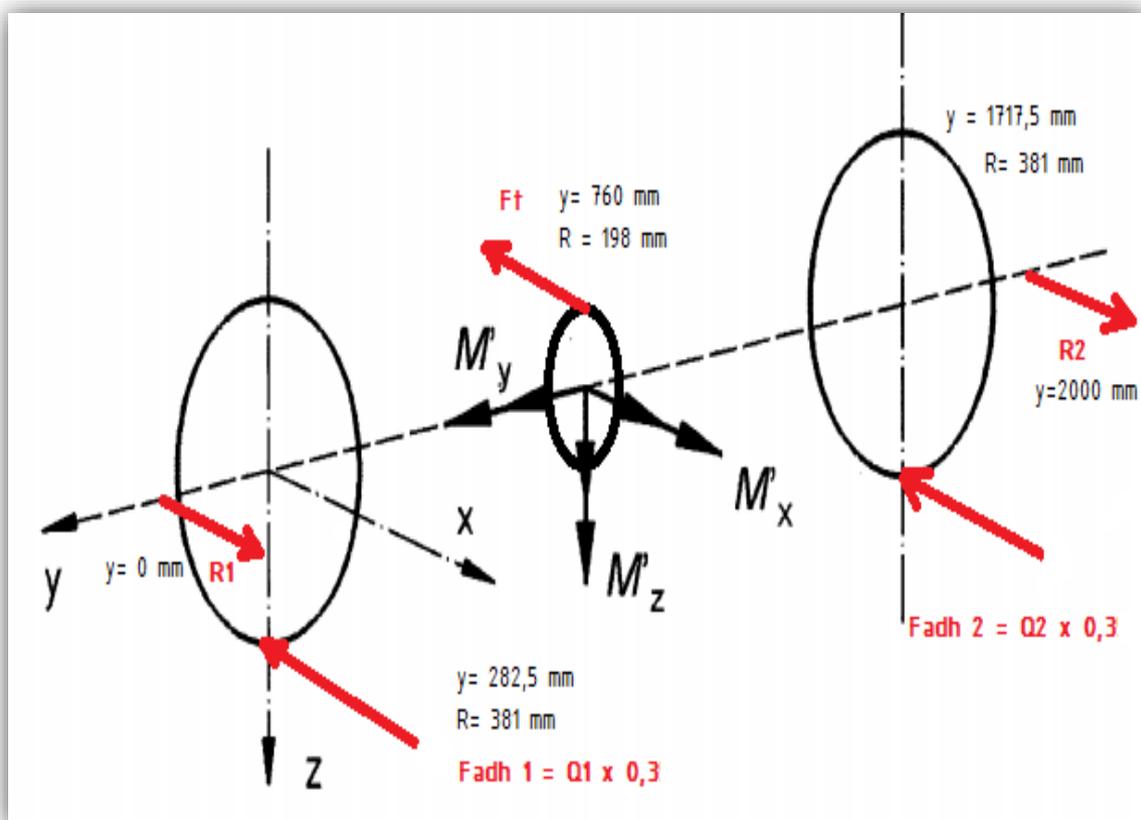
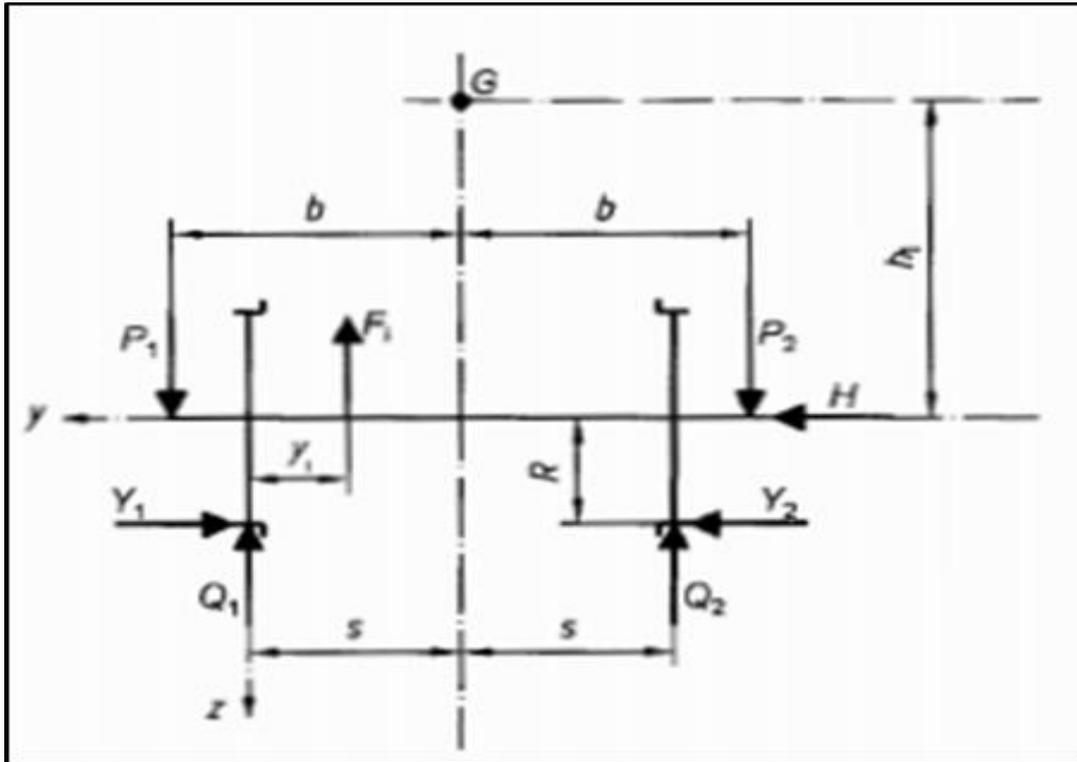


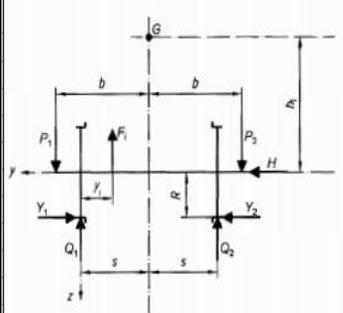
Diagrama de esfuerzos y reacciones



Cuadro comparativo de características del material

Característica	Eje motor CMM400	Eje libre CMM400	UNE EN 13261	UNE EN 13261	UNE EN 13261
	30 NiCrMoV 12 UNI6787	SAE1050	EA1N	EA1T	EA4T
Carbono	0,27 - 0,34%	0,48 - 0,55%	0,4% máx	0,4% máx	0,22 - 0,29%
Silicio	0,15 - 0,40%	0,10 - 0,30%	0,5% máx	0,5% máx	0,15 - 0,40%
Manganeso	0,50 - 0,80%	0,60 - 0,90%	1,2% máx	1,2% máx	0,50 - 0,80%
Fósforo	0,035% máx	0,04% máx	0,02% máx	0,02% máx	0,02% máx
Azufre	0,035% máx	0,05% máx	0,02% máx	0,02% máx	0,015% máx
Cromo	0,60 - 1,00%	----	0,3% máx	0,3% máx	0,90 - 1,20%
Cobre	0,20% máx	----	0,3% máx	0,3% máx	0,3% máx
Molibdeno	0,50%	----	0,08% máx	0,08% máx	0,15 - 0,30%
Níquel	2,6 - 3,2%	----	0,3% máx	0,3% máx	0,30% máx
Vanadio	0,08 - 0,15%	----	0,06% máx	0,06% máx	0,06% máx
Lím elástico (N/mm ²)	≥ 833	420 - 490	≥ 320	≥ 350	≥ 420
Lím rotura (N/mm ²)	932 - 1079	700 - 820	550 - 650	550 - 700	650 - 800
Alargamiento porcentual	≥ 15	15 - 22	≥ 22	≥ 24	≥ 18
Resiliencia long (J)			≥ 30	≥ 40	≥ 40
Resiliencia transv (J)			≥ 20	≥ 25	≥ 25

Cálculos sobre eje motriz T1435 – eje libre según norma EN 13103

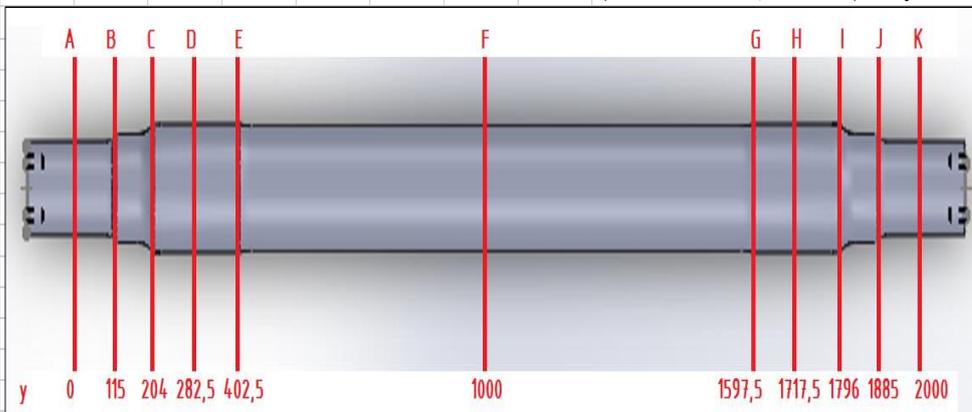
Tipo	Eje libre		
Plano del eje	3.20.1.01.0112		
Plano de la rueda	----		
Aplicación	Coche motor Materfer CMM400 - Trocha 1435 mm.		
Material	EA1N		
Masa del eje montado (Kg)	862		
Eje (Kg)	362		
Ruedas (Kg)	250		
Discos (En este caso, frenado por zapata)	0		
Motor	0		
Varios	0		
Total (m2) kg	862		
Masa suspendida sobre el eje m1 (Kg)	15700		Según dato de condición "sobrecarga" para la suspensión, la masa del coche es 62.800 kg.
Masa sobre el riel por eje (m1+m2) kg	16562		
Altura al centro de gravedad (h1) mm	1100		Dato faltante, mayorada la altura (Versión de trocha angosta: 976 mm (M) - 847 mm (R) - 922 mm (Rc)).
Semitrocha s (mm)	717,5		
Radio ruedas R (mm)	381		
Media distancia entre apoyo cojinetes b (mm)	1000		
Carga sobre caja 1 (P1, N)	110971,525	Considerando eje punta, peor condición	
Carga sobre caja 2 (P2, N)	81353,475	Considerando eje punta, peor condición	
Fuerza lateral Y1 (N)	53851		
Fuerza lateral Y2 (N)	26925,5		
Diferencia de fuerza lateral H = Y1-Y2 (N)	26925,5		
Otras masas no suspendidas F	0	No tiene discos de freno ni componentes montados	
Reacción de la vía en la rueda 1 (Q1, N)	123951,1171		
Reacción de la vía en la rueda 2 (Q2, N)	82671,60488		
Coefficiente de fricción medio entre zapata y rueda	0,25	Si fueran de bajo coeficiente, 0,17	
Fuerza de frenado estimada (N)	24525		

Sección	y [mm]	d [mm]	d' [mm]	D [mm]	r [mm]	r/d	D/d	K	Mx [Nmm]	M'x [Nmm]	MX [Nmm]	Mz [Nmm]	M'y [Nmm]	MR [Nmm]	σ [N/mm ²]	σ_{max} [N/mm ²]	σ_{max} [N/mm ²]
A	0	130	0	130	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	100	180
B	115	130	0	150	4	0,03076923	1,15384615	1,3	12761725,4	705093,75	13466819,13	3525468,75	0	13920637,46	83,9021116	166	180
C	204	150	0	177,3	50	0,33333333	1,182	1,03	22638191,1	1250775	23888966,1	6253875	0	24694000,36	76,7636064	166	180
D	282,5	177,8	0	177,8	0	0	1	1	31349455,8	1732078,125	33081533,94	8660390,625	0	34196348,54	61,970491	100	110
D	282,5	177,8	0	177,8	0	0	1	1	51866686,8	1732078,125	53598764,94	8660390,625	2803207,5	54366238,98	98,5222888	100	110
E	402,5	171,4	0	177,8	115	0,67094516	1,03733956	1,01	50309135,8	1732078,125	52041213,89	8660390,625	2803207,5	52831319,13	107,939611	166	180
F	1000	171,4	0	171,4	0	0	1	1	42553829,5	1732078,125	44285907,63	8660390,625	2803207,5	45211745,73	91,4574938	166	180
G	1597,5	171,4	0	177,8	115	0,67094516	1,03733956	1,01	34798523,2	1732078,125	36530601,36	8660390,625	2803207,5	37647645	76,9178627	166	180
H	1717,5	177,8	0	177,8	0	0	1	1	33240972,2	1732078,125	34973050,31	8660390,625	2803207,5	36138270,38	65,4896343	100	110
H	1717,5	177,8	0	177,8	0	0	1	1	22982356,7	1732078,125	24714434,81	8660390,625	0	26187891,36	47,4575958	100	110
I	1796	150	0	177,3	50	0,33333333	1,182	1,03	16596108,9	1250775	17846883,9	6253875	0	18910902,08	58,7863053	166	180
J	1885	130	0	150	4	0,03076923	1,15384615	1,3	9355649,63	705093,75	10060743,38	3525468,75	0	10660557,54	64,2530409	166	180
K	2000	130	0	130	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	100	180

Agujero eje hueco

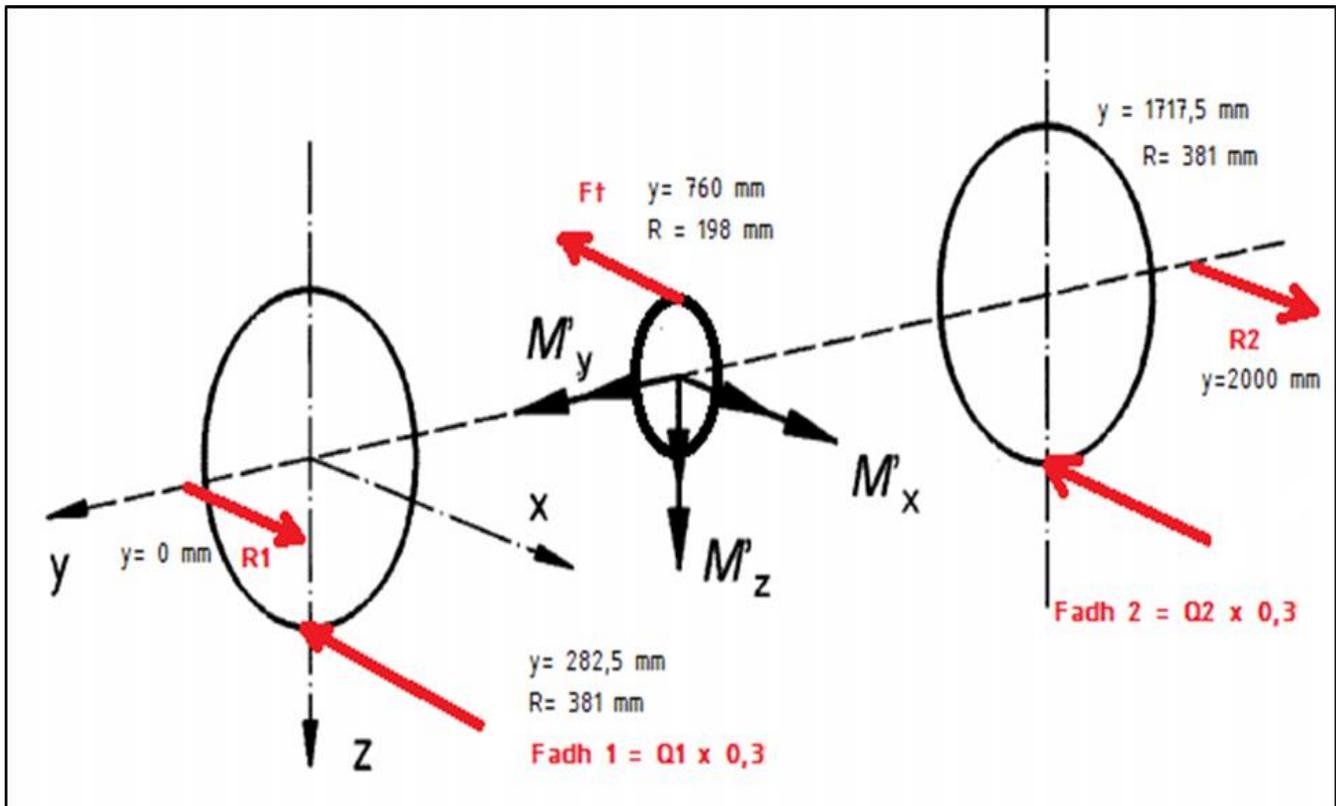
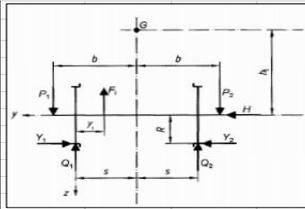
Zapatas de freno a un lado de la rueda, considerando Ff de aprox 2500 KgF = 24525 N

Acero EA1N EA4T



Cálculos sobre eje motriz T1435 – eje motriz según norma EN 13104

	Eje motriz	
Tipo	3.20.1.01.0110	
Plano del eje	----	
Plano de la rueda	----	
Aplicación	Coche motor Materfer CMM400 - Trocha 1435 mm.	
Material	E44T	
Masa del eje montado (Kg)	922	
Eje (Kg)	367	
Ruedas (Kg)	250	
Piñón	55	
Motor (Caja puente, calculado (Pmot-Prem)/2). Sin piñón.	245	
Varios (Corona de tracción, aprox 55 kg, ya incluida en el peso	0	
Total (m2) kg	1167	
Masa suspendida sobre el eje m1 (Kg)	14563	
Masa sobre el riel por eje (m1+m2) kg	15730	
Altura al centro de gravedad (h1) mm	1100	
Semitrocha s (mm)	717,5	
Radio ruedas R (mm)	381	
Media distancia entre apoyos cojinetes b (mm)	1000	
Carga sobre caja 1 (P1, N)	102934,9248	Según dato de condición "sobrecarga" para la suspensión, la masa del coche es 62.800 kg, menos 4 pares montados y caja
Carga sobre caja 2 (P2, N)	75461,82525	Dato faltante, mayorada la altura (Versión de trocha angosta: 976 mm (M) - 847 mm (R) - 922 mm (Rc)).
Fuerza lateral Y1 (N)	49951,09	Considerando eje punta, peor condición
Fuerza lateral Y2 (N)	24975,545	Considerando eje punta, peor condición
Diferencia de fuerza lateral H = Y1-Y2 (N)	24975,545	
Otras masas no suspendidas F1 - Corona (N)	539	
Otras masas no suspendidas F2/2 - Caja puente (N)	1200,5	Peso de toda la caja puente, repartida en los dos apoyos
Reacción de la vía en la rueda 1 (Q1, N)	113591,603	
Reacción de la vía en la rueda 2 (Q2, N)	61865,14702	
Coefficiente de fricción medio entre zapata y rueda	0,25	Si fueran de bajo coeficiente, 0,17
Fuerza de frenado estimada (N)	24525	
Transmisión de torque neta del convertidor (Nmm)	3300000	
Carga sobre caja 1 (P1, N)	78494,57	
Carga sobre caja 2 (P2, N)	78494,57	
Fuerza lateral Y1 (N)	14271,74	
Fuerza lateral Y2 (N)	7135,87	
Diferencia de fuerza lateral H = Y1-Y2 (N)	7135,87	
Otras masas no suspendidas F1 - Corona	539	
Otras masas no suspendidas F2/2 - Caja puente	1200,5	Peso de toda la caja puente, repartida en los dos apoyos
Reacción de la vía en la rueda 1 (Q1, N)	83742,7809	
Reacción de la vía en la rueda 2 (Q2, N)	70306,3591	
Fuerza de tracción con torque máximo en el piñón (N)	88928,36718	
Fuerza de adherencia en rueda 1 (N)	25122,83427	Considerando adherencia 0,3.
Fuerza de adherencia en rueda 2 (N)	21091,90773	Considerando adherencia 0,3.
Radio del piñón (mm)	198	
Reacción R1 (N)	79689,05355	
Reacción R2 (N)	55454,05563	

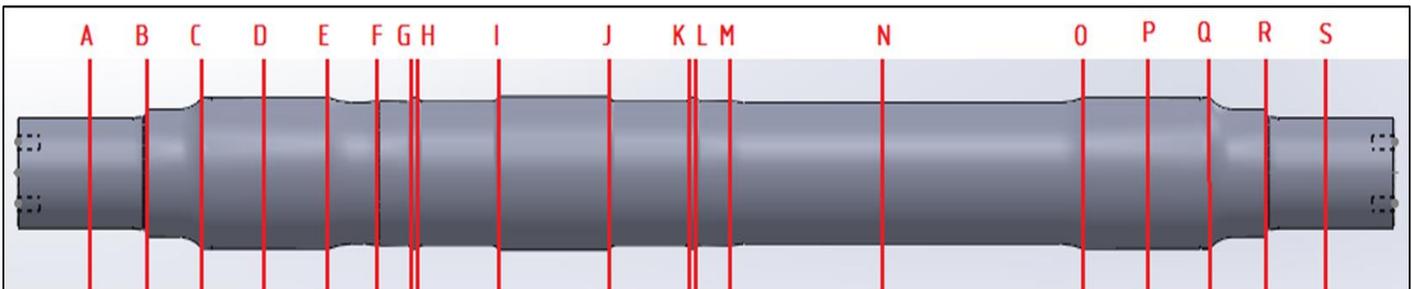


CONSIDERANDO FUERZAS DE TRACCIÓN - Punto b - Inciso 5.5 - Norma EN13104.

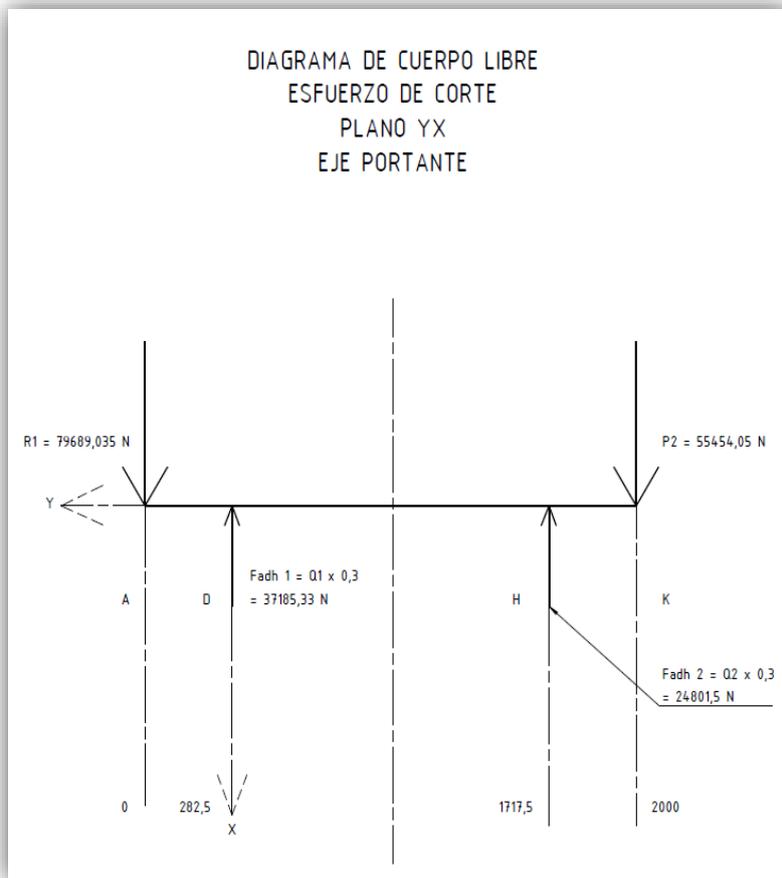
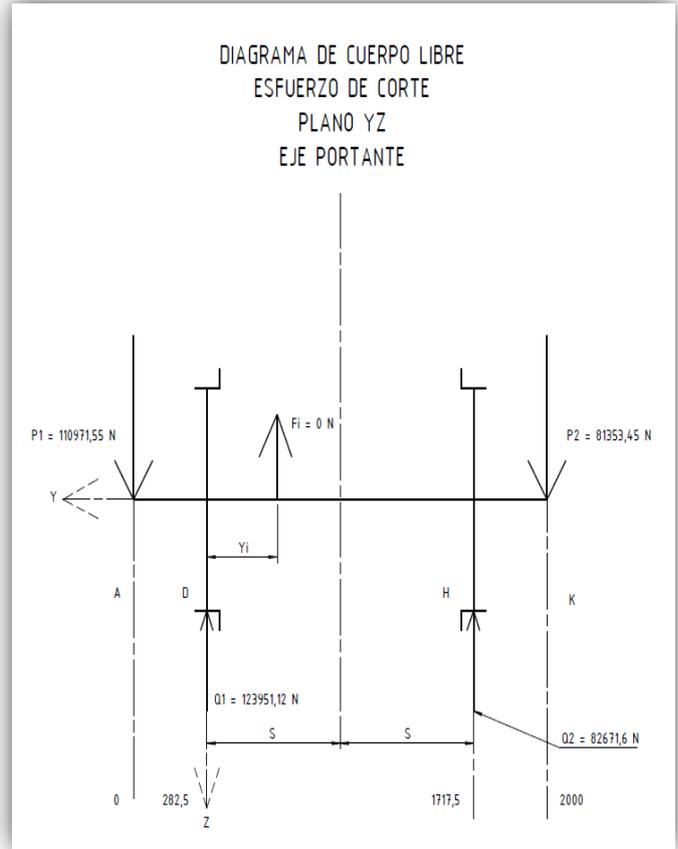
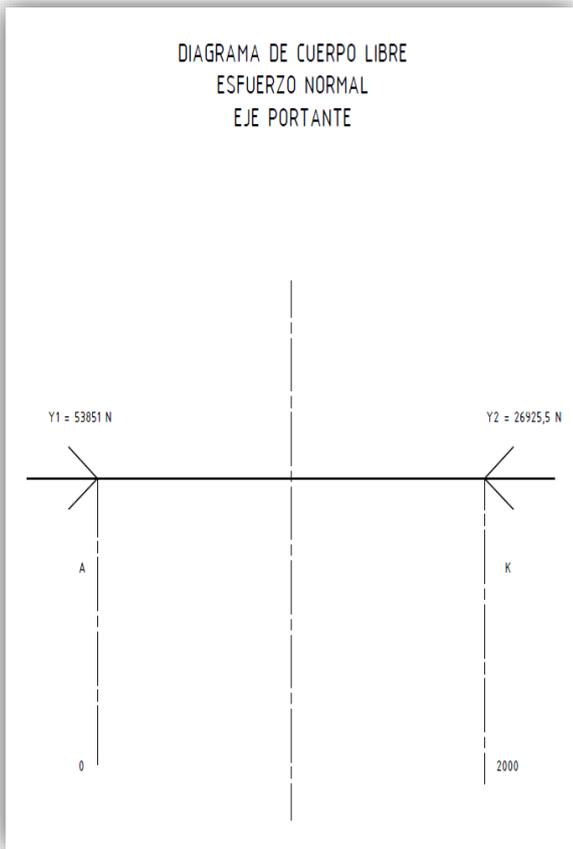
Sección	y [mm]	d [mm]	d' [mm]	D [mm]	r [mm]	r/d	D/d	K	Mx [Nmm]	M'y [Nmm]	Mx [Nmm]	M'z [Nmm]	M'y [Nmm]	MR [Nmm]	σ [N/mm ²]	σ_{max} [N/mm ²]	σ_{max} [N/mm ²]
A	0	130	0	130	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	80	87
B	115	130	0	150	4	0,03076923	1,15384615	1,28461538	9026875,55	0	9026875,55	-9164241,16	0	12863428,71	49,871974	130	145
C	204	150	0	177,3	50	0,33333333	1,182	1,01258964	16012892,3	0	16012892,28	-16256566,9	0	22818603,97	42,2276406	80	87
D	282,5	177,8	0	177,8	0	0	1	1	22174716	0	22174716,03	-22512157,6	0	31599292,27	57,2641157	80	87
D	282,5	177,8	0	177,8	0	0	1	1	23489632,5	0	23489632,5	-22512157,6	9571799,857	33914295,34	61,4593553	80	87
E	402,5	166	0	177,8	115	0,69277108	1,07108434	1,0002254	23212647,2	0	23212647,19	-29060103,9	9571799,857	38404895,3	69,6128906	80	87
F	483	166	0	170	115	0,69277108	1,02409639	1,00007418	23026836,2	0	23026836,21	-33452684,6	9571799,857	41724532,89	86,5122102	130	145
G	535	170	0	179	8	0,04705882	1,05294118	1,07102623	22906809,2	0	22906809,24	-36290128	9571799,857	43969474,09	83,6359043	130	145
H	545	170	0	179	8	0,04705882	1,05294118	1,07102623	22883727,1	0	22883727,13	-36835790,2	9571799,857	44409005,38	84,4719525	130	145
I	671	170	0	196	8	0,04705882	1,15294118	1,19089268	22592892,6	0	22592892,56	-43711133,8	9571799,857	50127052,24	80,7564188	80	87
J	849	170	0	196	8	0,04705882	1,15294118	1,19089268	22182031	0	22182031,02	-45509296,2	-8036016,84	51261253,44	82,5836563	80	87
K	975	170	0	179	8	0,04705882	1,05294118	1,07102623	21891196,4	0	21891196,45	-41179665,5	-8036016,84	47324062,61	90,0167868	130	145
L	985	170	0	179	8	0,04705882	1,05294118	1,07102623	21868114,3	0	21868114,34	-40836044,1	-8036016,84	47014619,91	89,4281848	130	145
M	1037	166	0	170	115	0,69277108	1,02409639	1,00007418	21748087,4	0	21748087,37	-39049212,4	-8036016,84	45413630,74	94,1612355	130	145
N	1291,25	166	0	166	0	0	1	1	21161224,7	0	21161224,75	-30312636,3	-8036016,84	37831612,66	84,2424644	130	145
O	1597,5	166	0	177,8	115	0,69277108	1,07108434	1,0002254	20454335,2	0	20454335,16	-19789228,5	-8036016,84	29573145,87	53,6044208	80	87
P	1717,5	177,8	0	177,8	0	0	1	1	20177349,9	0	20177349,85	-15665770,7	-8036016,84	26779084,86	48,5289544	80	87
P	1717,5	177,8	0	177,8	0	0	1	1	22174716	0	22174716,03	-15665770,7	0	27150219,21	49,2015226	80	87
Q	1796	150	0	177,3	50	0,33333333	1,182	1,01258964	16012892,3	0	16012892,28	-11312627,3	0	19605822,01	36,2821322	80	87
R	1885	130	0	150	4	0,03076923	1,15384615	1,28461538	9026875,55	0	9026875,55	-6377216,4	0	11052301,62	42,8501694	130	145
S	2000	130	0	130	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	80	87
															Acero	EAIN	EA4T

Agujero eje hueco

F1	yi	(y-b+s-yi)	F1.(y-b+s-yi)	F2/2	yi	(y-b+s-yi)	F2/2.(y-b+s-yi)	F2/2	yi	(y-b+s-yi)	F2/2.(y-b+s-yi)	Sumatoria
539	477,5	-477,5	-257372,5	1200,5	257,5	-257,5	-309128,75	1200,5	697,5	-697,5	-837348,75	-1403850
539	477,5	-357,5	-192692,5	1200,5	257,5	-137,5	-165068,75	1200,5	697,5	-577,5	-693288,75	-1051050
539	477,5	-277	-149303	1200,5	257,5	-57	-68428,5	1200,5	697,5	-497	-596648,5	-814380
539	477,5	-225	-121275	1200,5	257,5	-5	-6002,5	1200,5	697,5	-445	-534222,5	-661500
539	477,5	-215	-115885	1200,5	257,5	5	6002,5	1200,5	697,5	-435	-522217,5	-632100
539	477,5	-89	-47971	1200,5	257,5	131	157265,5	1200,5	697,5	-309	-370954,5	-261660
539	477,5	89	47971	1200,5	257,5	309	370954,5	1200,5	697,5	-131	-157265,5	261660
539	477,5	215	115885	1200,5	257,5	435	522217,5	1200,5	697,5	-5	-6002,5	632100
539	477,5	225	121275	1200,5	257,5	445	534222,5	1200,5	697,5	5	6002,5	661500
539	477,5	277	149303	1200,5	257,5	497	596648,5	1200,5	697,5	57	68428,5	814380
539	477,5	531,25	286343,75	1200,5	257,5	751,25	901875,625	1200,5	697,5	311,25	373655,625	1561875
539	477,5	837,5	451412,5	1200,5	257,5	1057,5	1269528,75	1200,5	697,5	617,5	741308,75	2462250
539	477,5	957,5	516092,5	1200,5	257,5	1177,5	1413588,75	1200,5	697,5	737,5	885368,75	2815050



Eje Portante - Diagramas de cuerpo libre



Eje Motriz - Diagramas de cuerpo libre

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE
ESFUERZO NORMAL
EJE MOTRIZ - FRENO

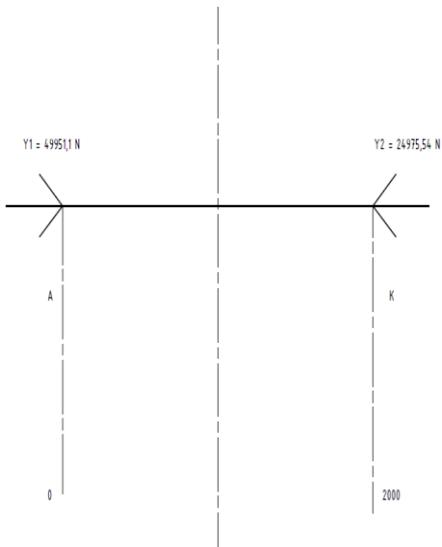


DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE
ESFUERZO DE CORTE
PLANO YZ
EJE MOTRIZ - FRENO

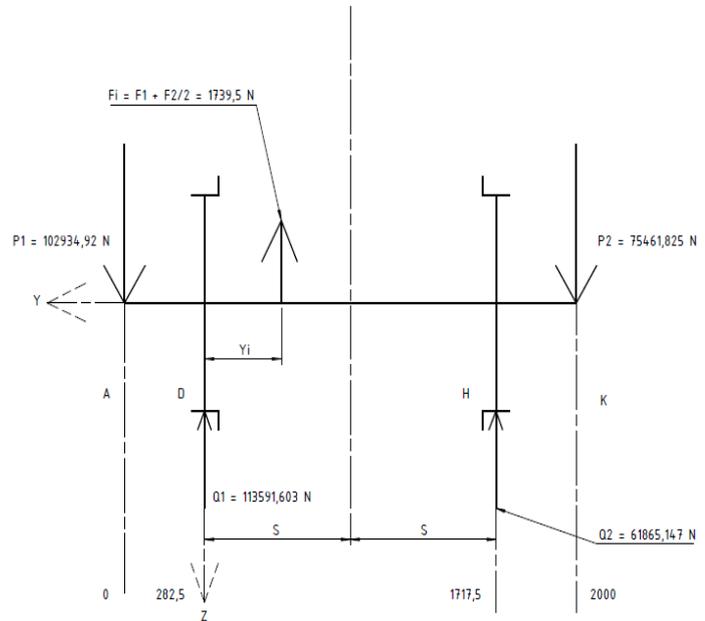


DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE
ESFUERZO DE CORTE
PLANO YX
EJE MOTRIZ - FRENO

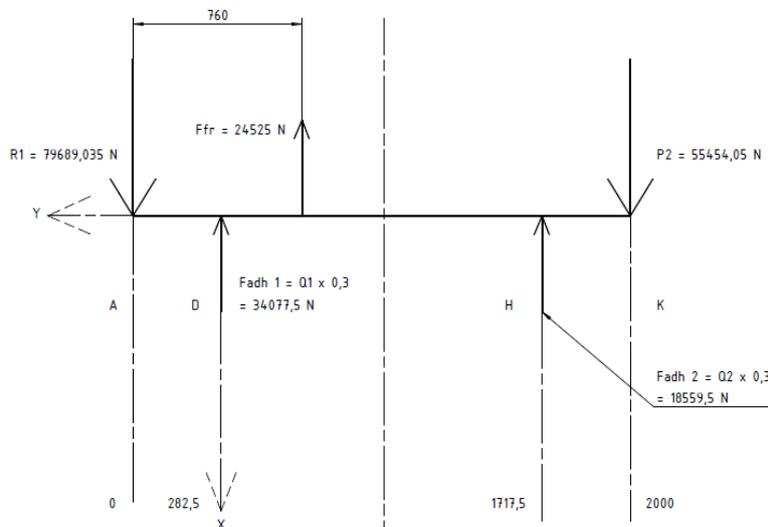


DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE
ESFUERZO NORMAL
EJE MOTRIZ - TRACCION

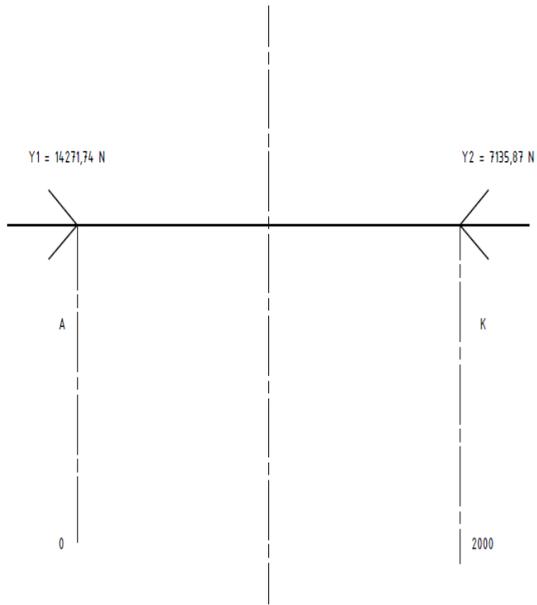


DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE
ESFUERZO DE CORTE
PLANO YZ
EJE MOTRIZ - TRACCION

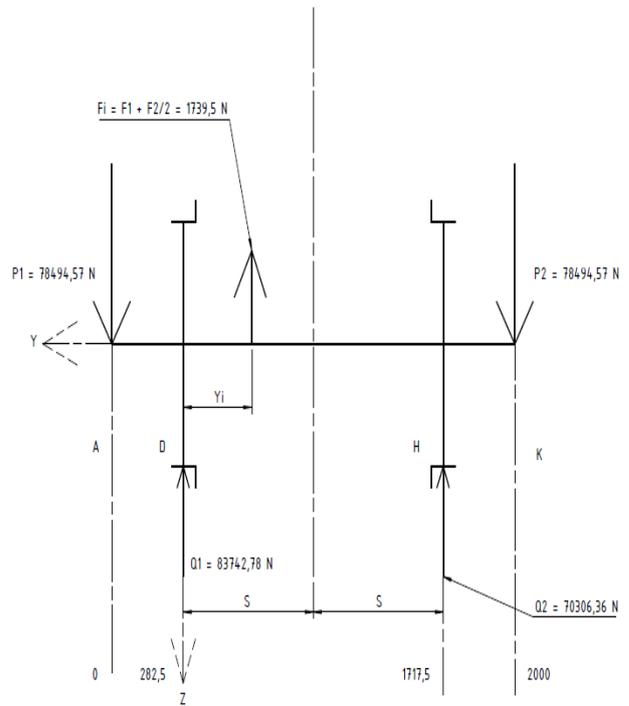
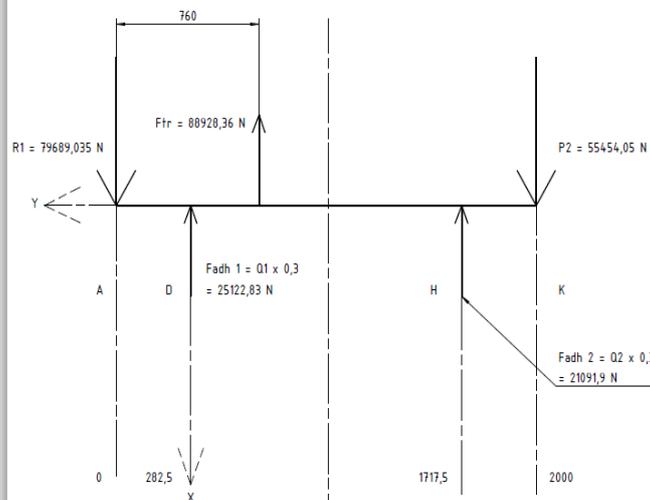
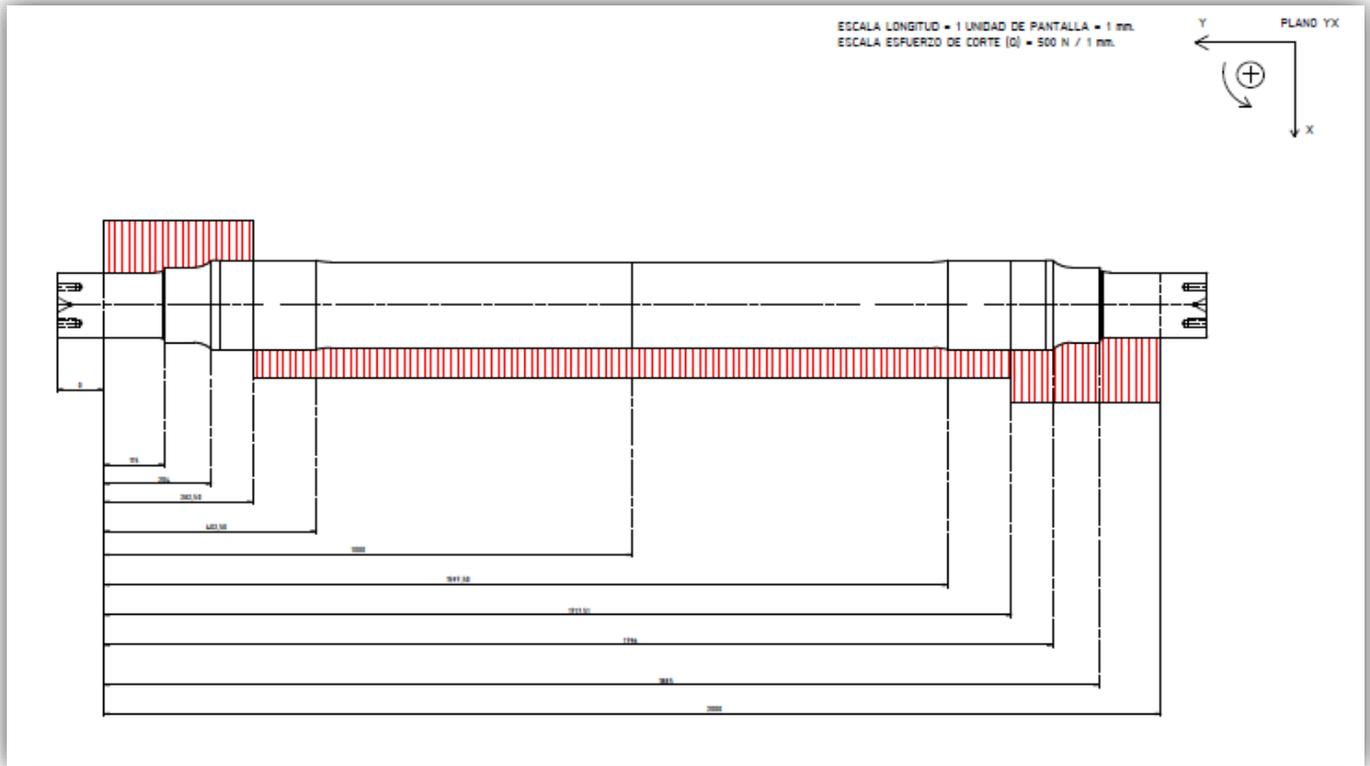
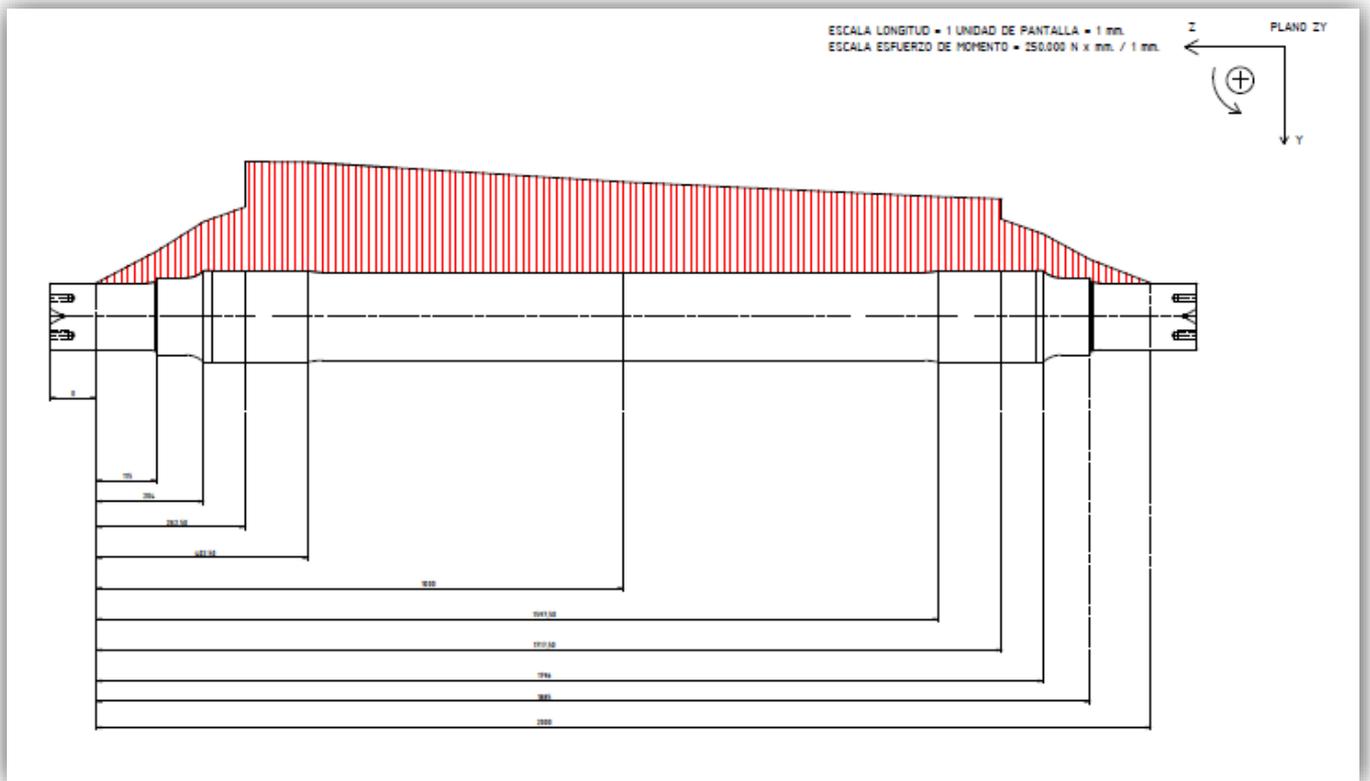


DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE
ESFUERZO DE CORTE
PLANO YX
EJE MOTRIZ - TRACCION

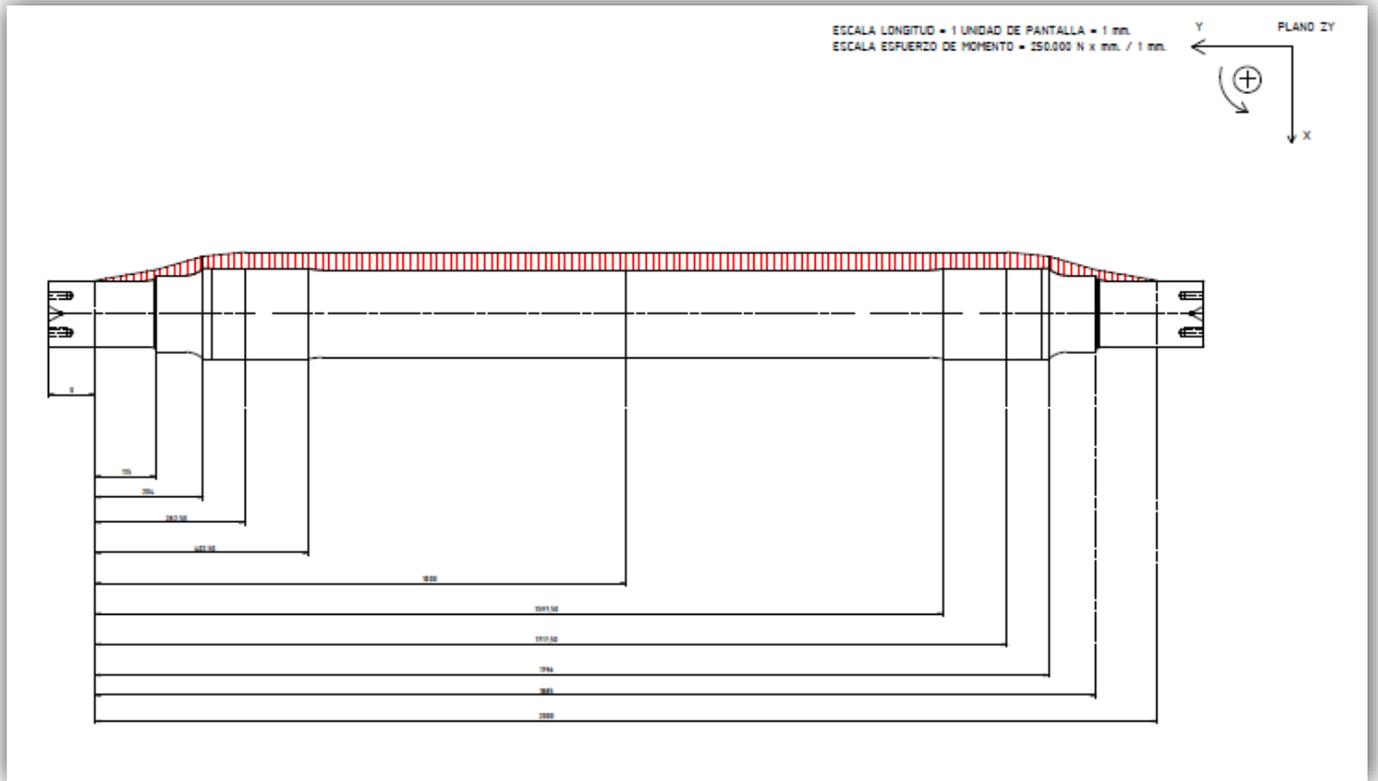




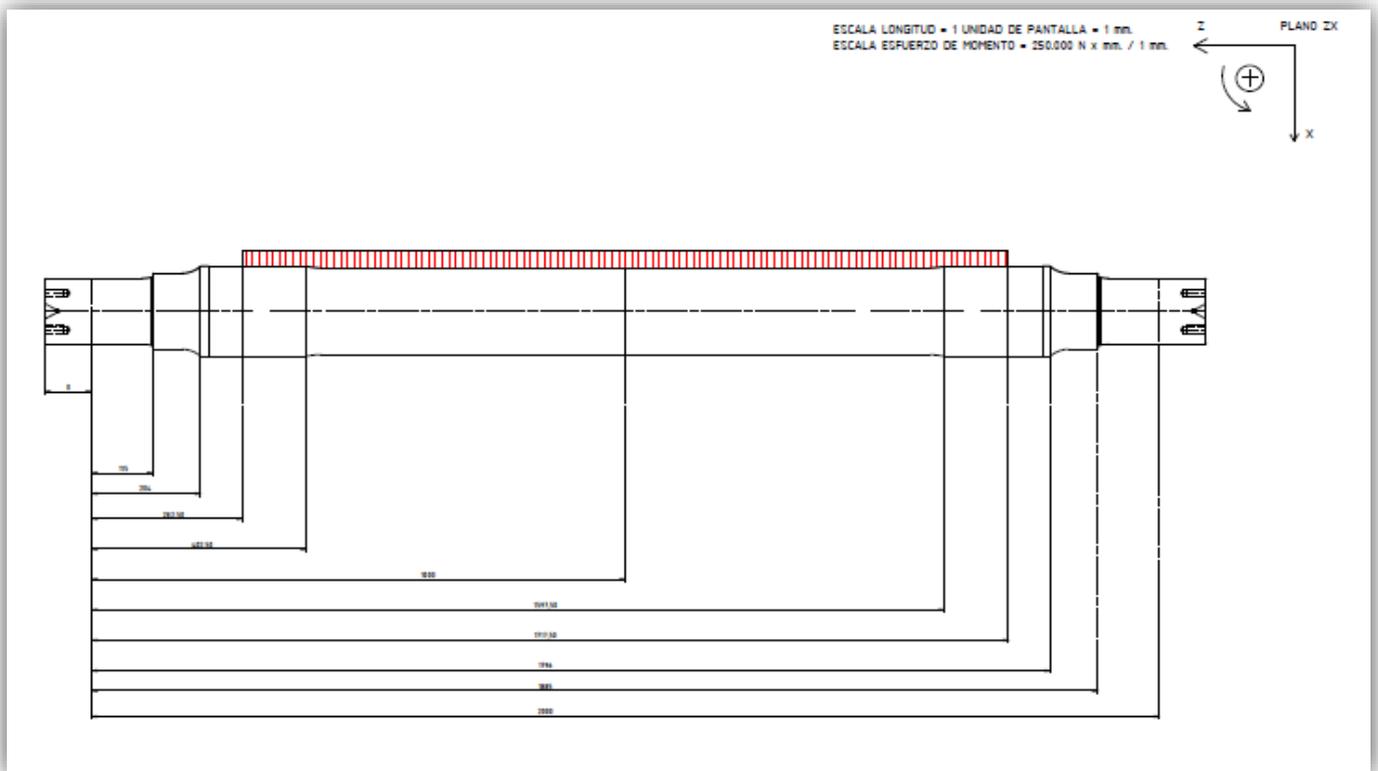
Esfuerzo cortante (Q) – plano YX – eje portante



Esfuerzo momento (Mx) – plano ZY – eje portante

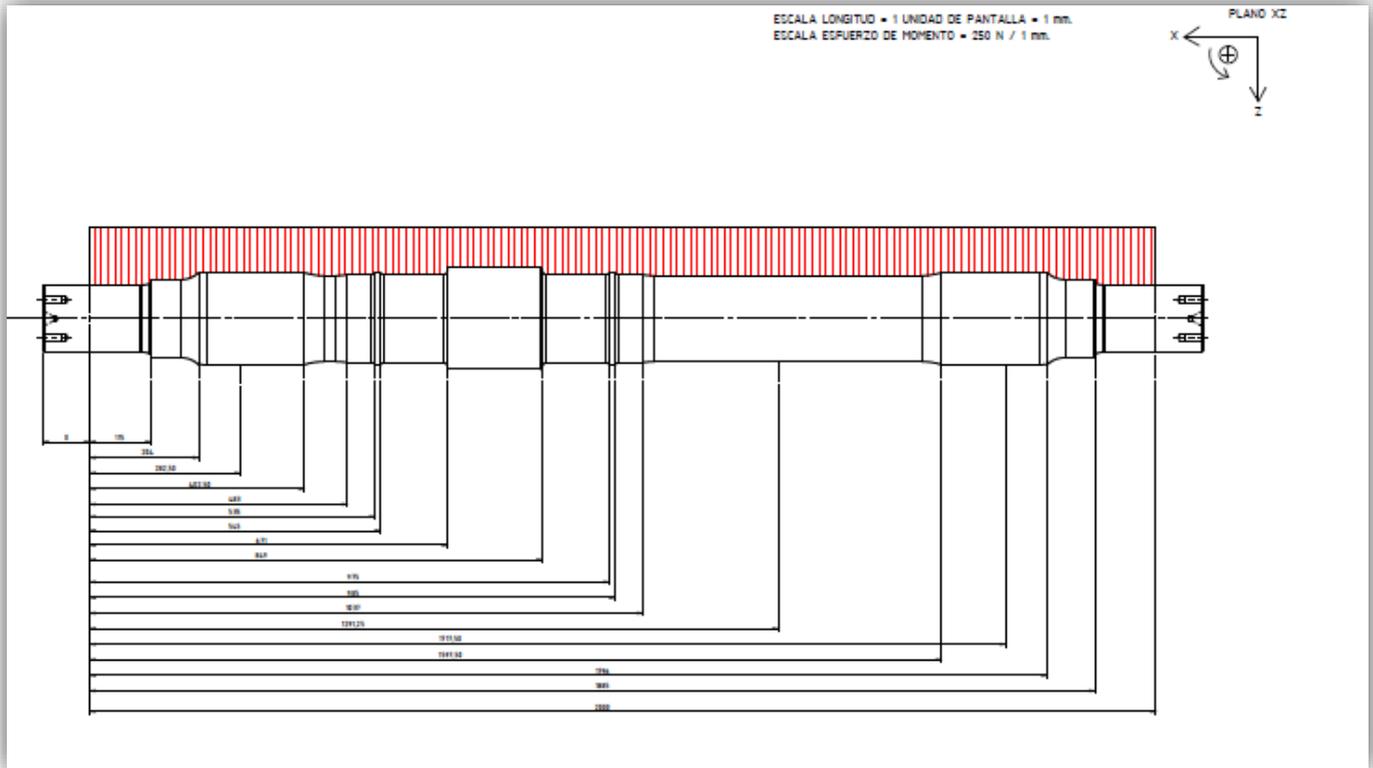


Esfuerzo momento (M_z) – plano YX – eje portante

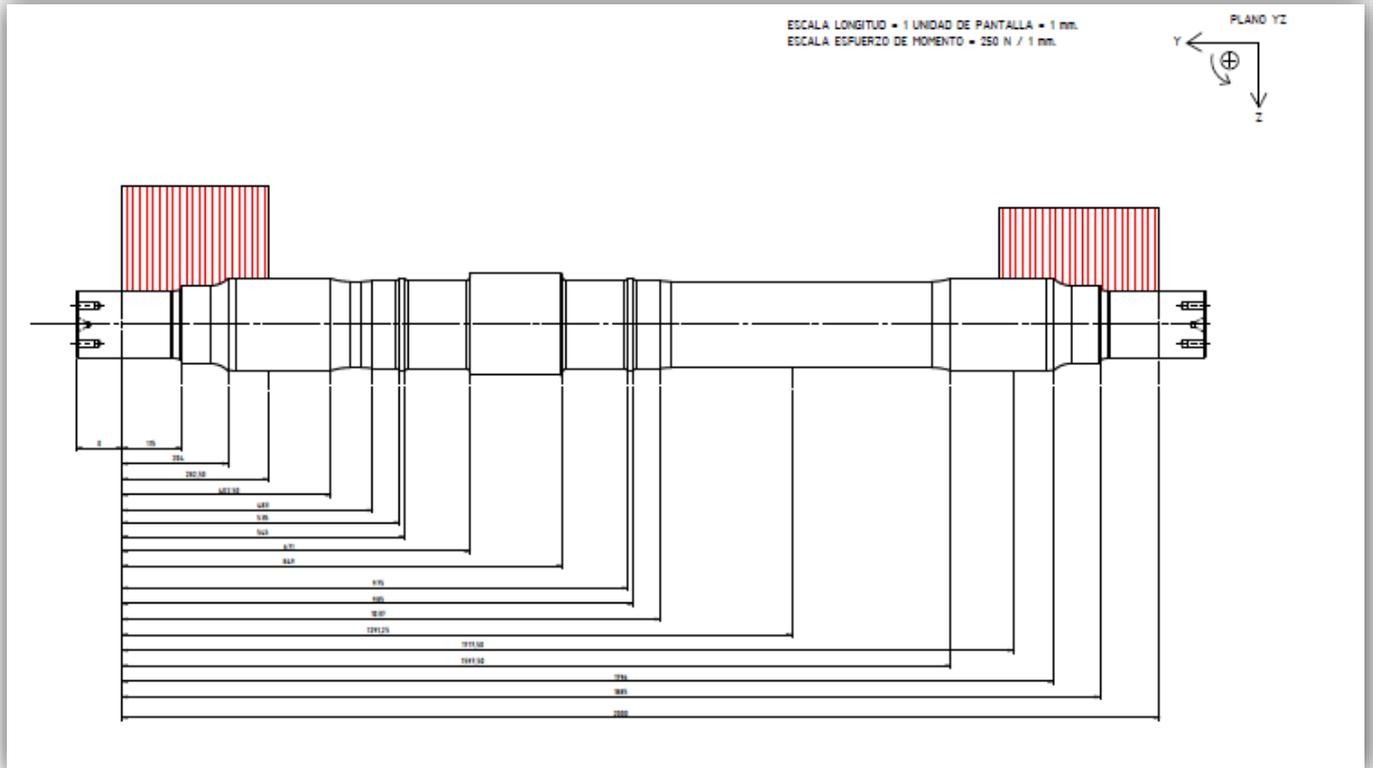


Esfuerzo momento (M_y) – eje portante

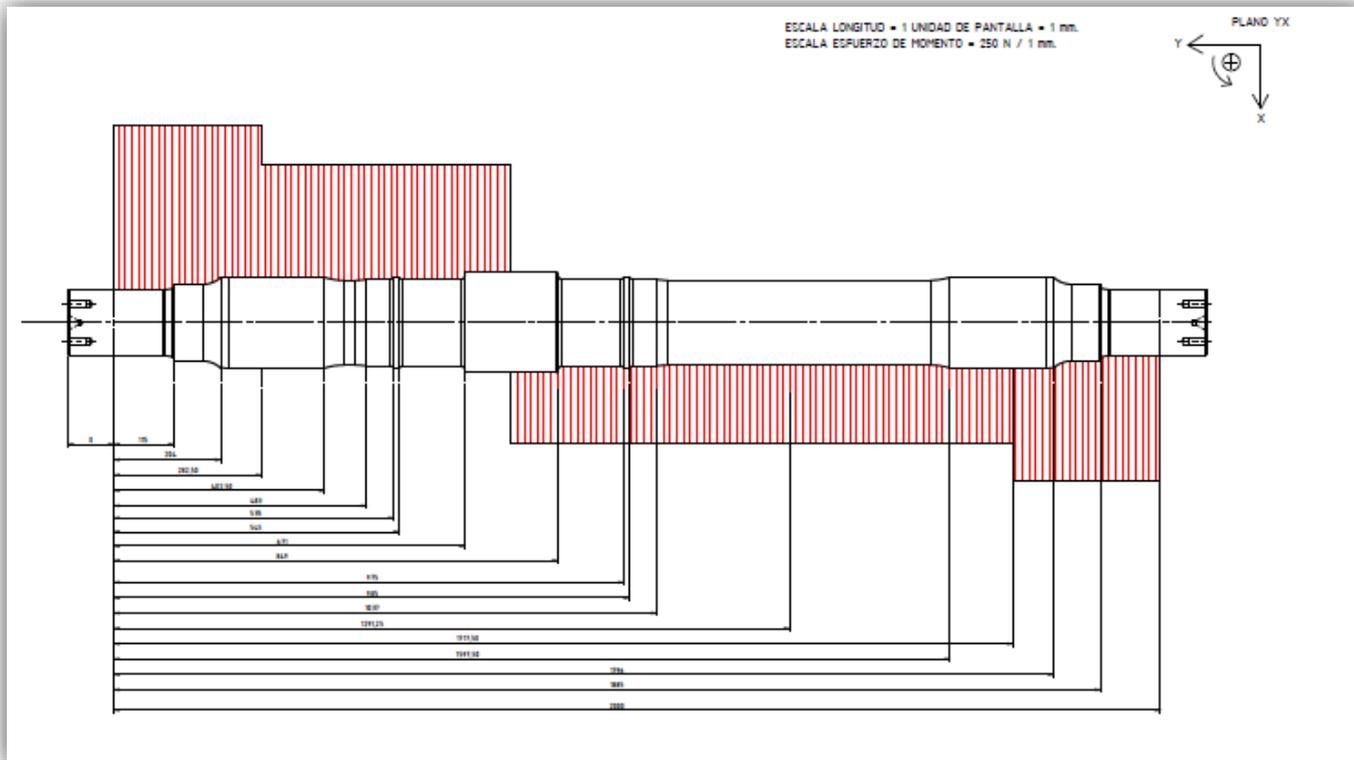
Eje Motriz - Diagramas de esfuerzos característicos



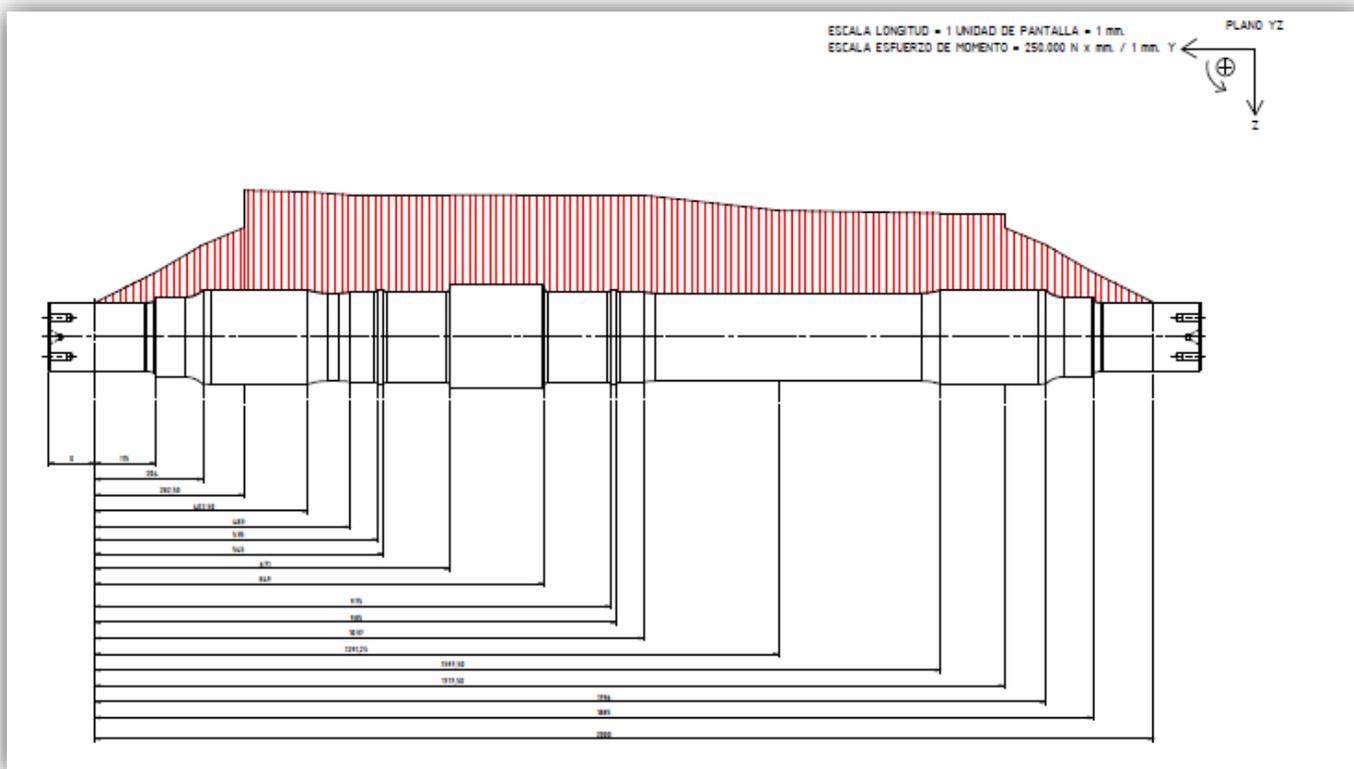
Esfuerzo normal (N) – eje motriz – freno



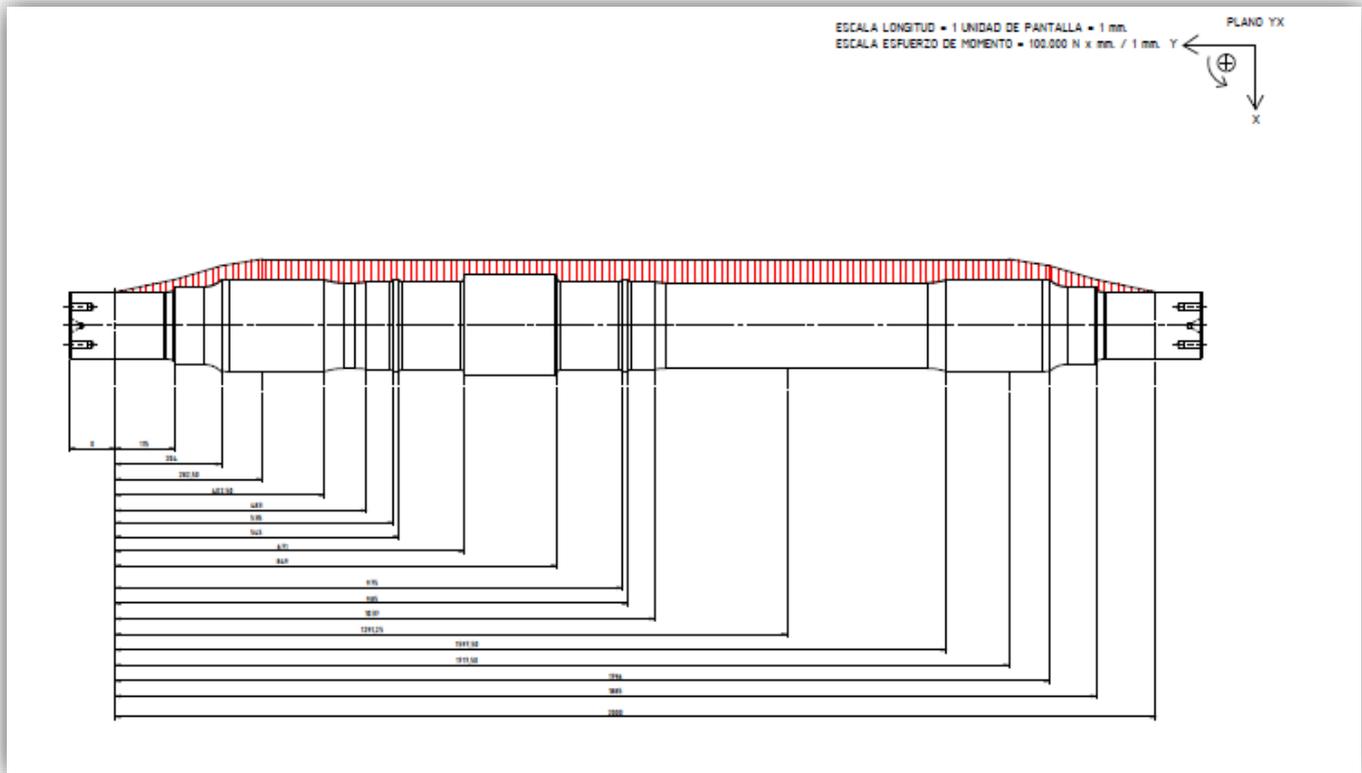
Esfuerzo cortante (Q) – plano YZ – eje motriz – freno



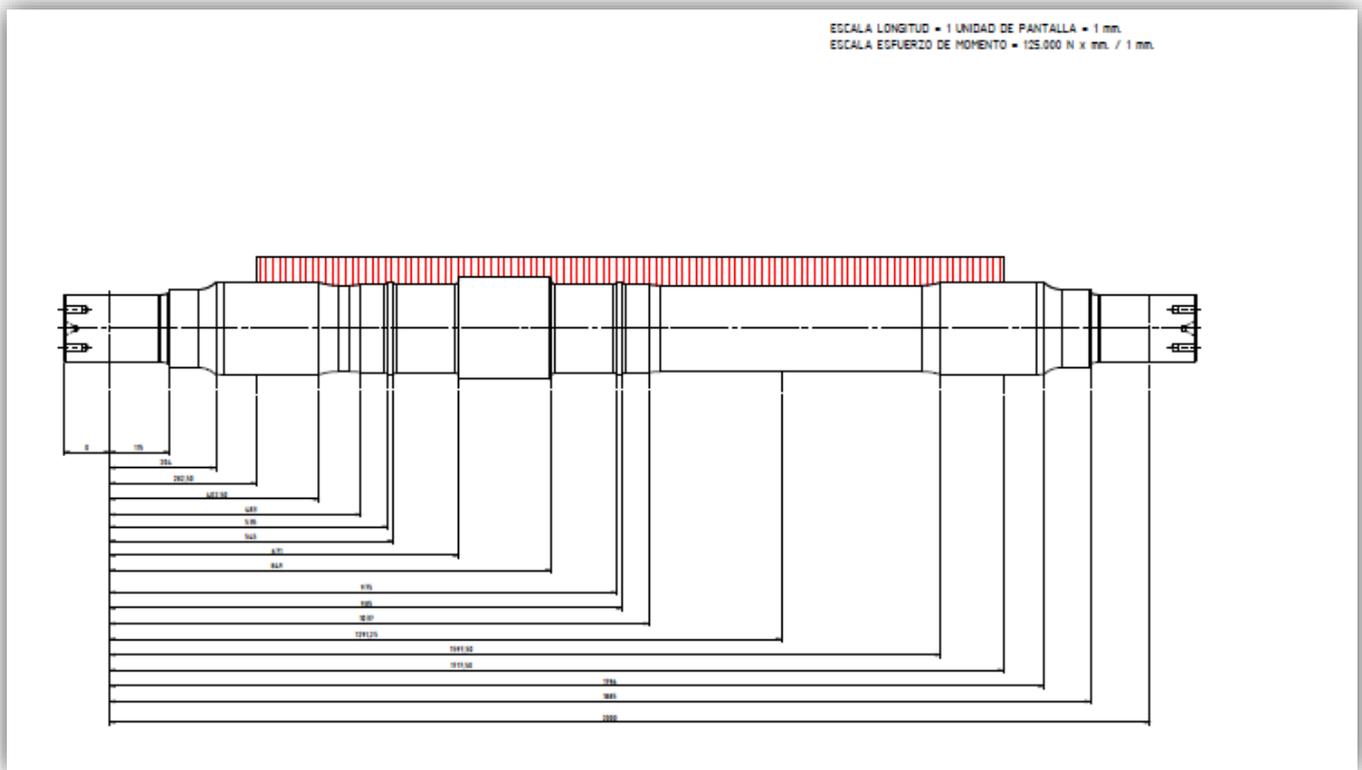
Esfuerzo cortante (Q) – plano YX – eje motriz – freno



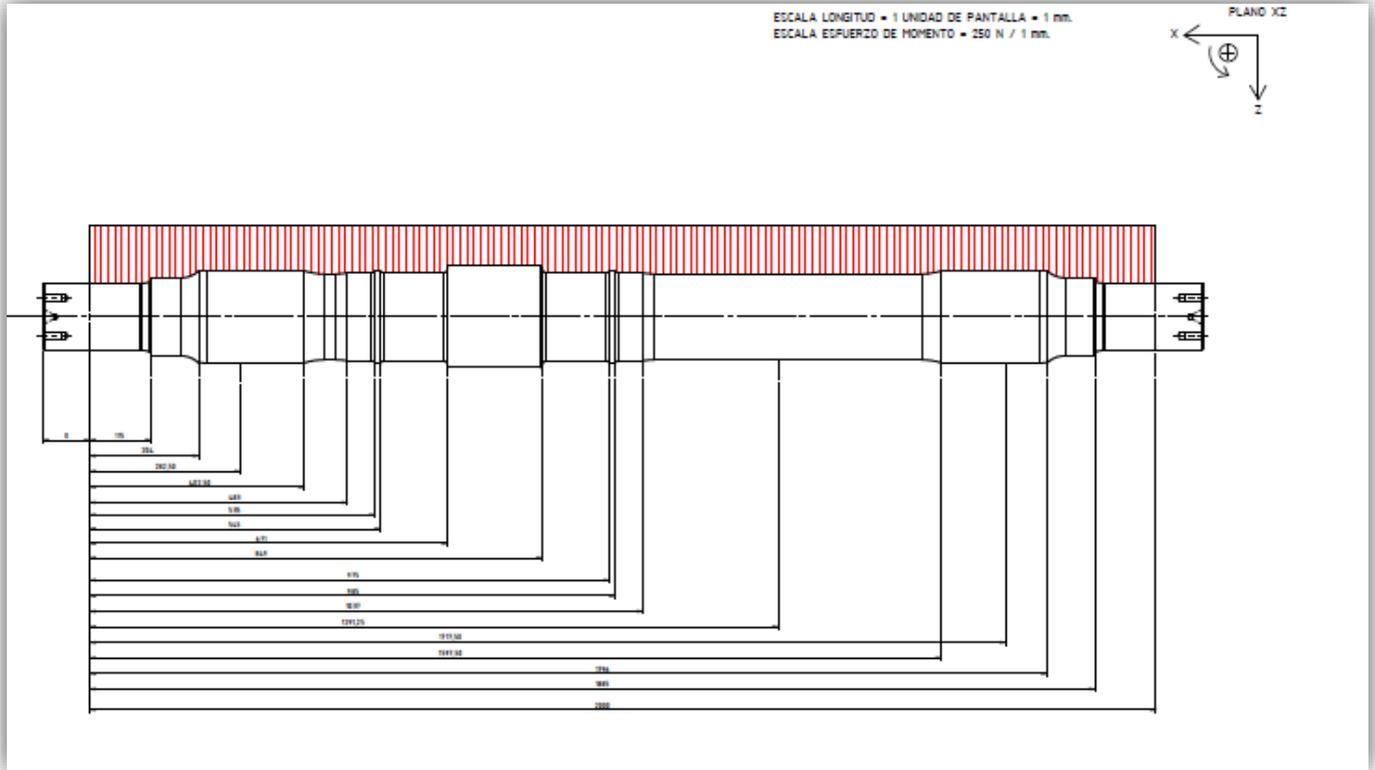
Esfuerzo momento (Mx) – plano YZ – eje motriz – frenado



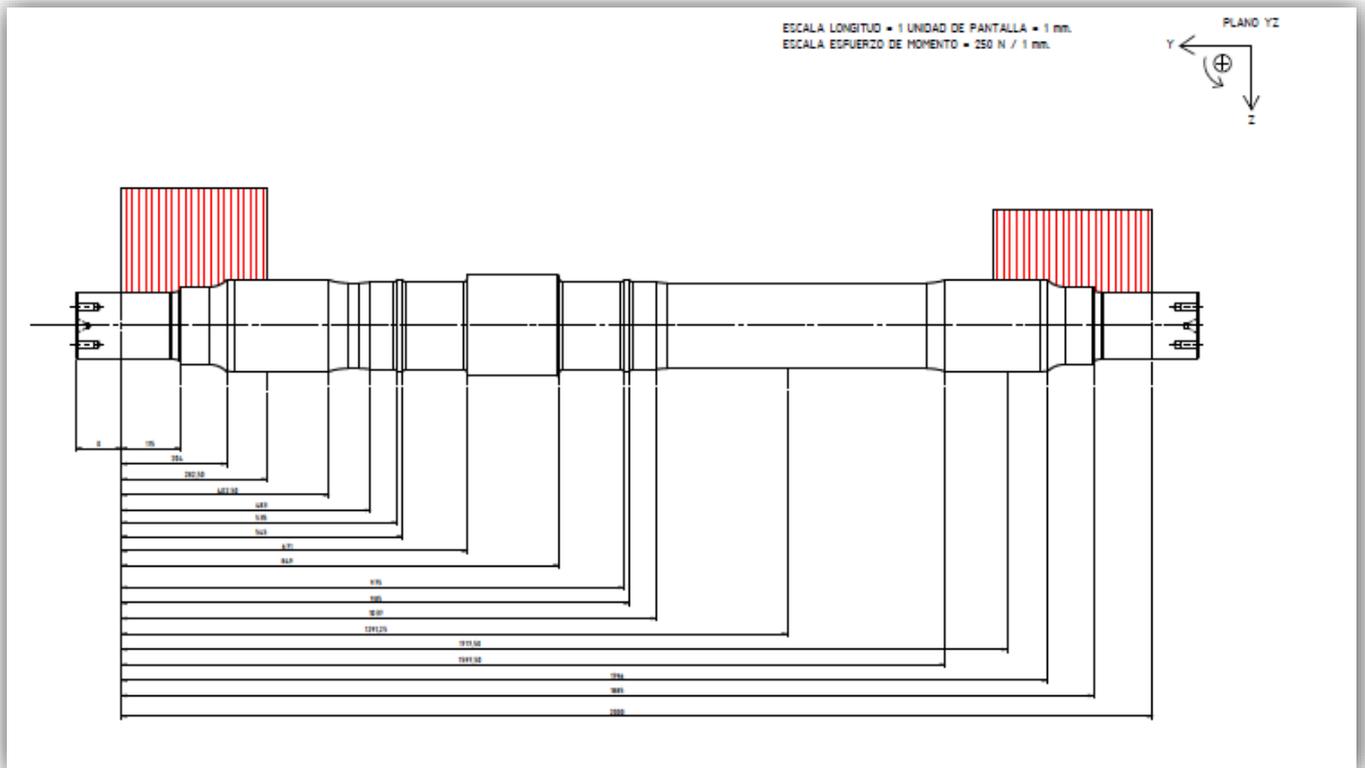
Esfuerzo momento (M_z) – plano YX – eje motriz – frenado



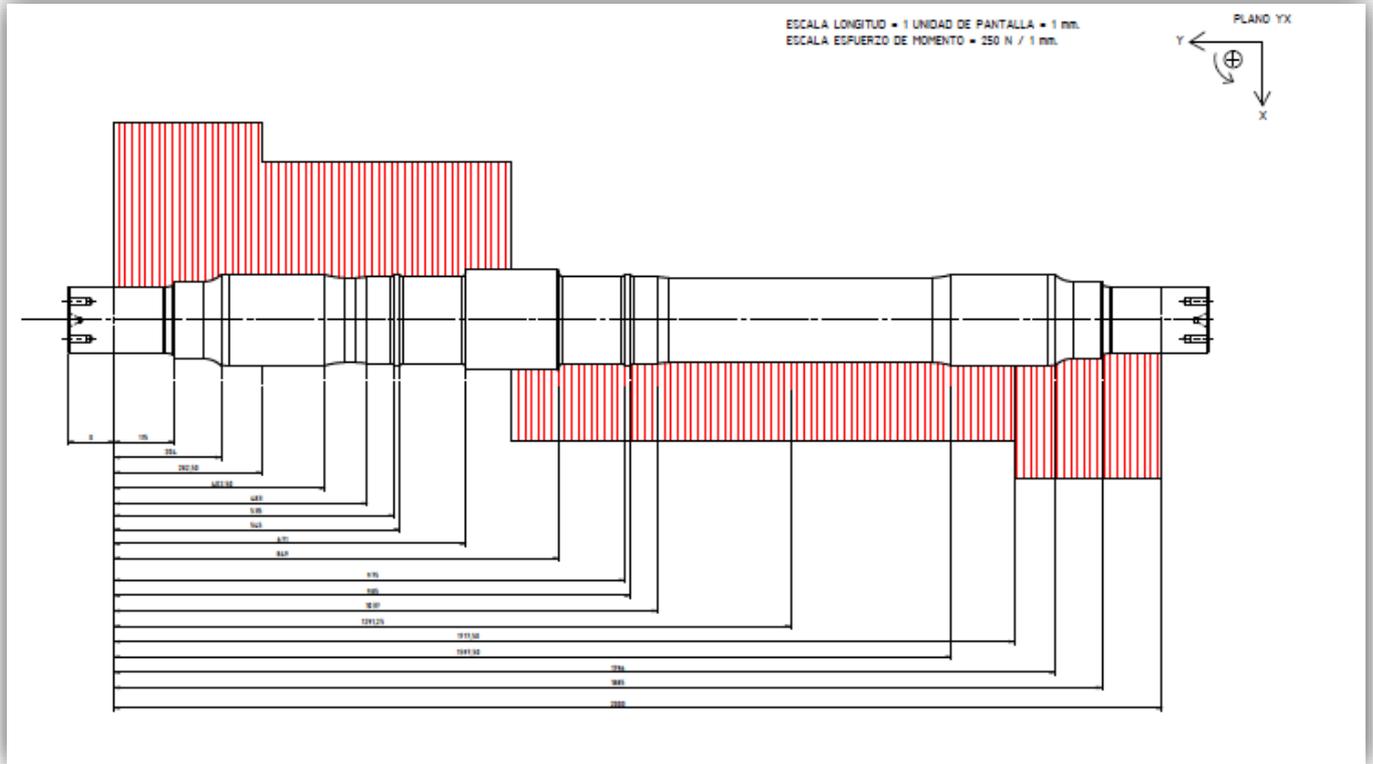
Esfuerzo momento (M_y) – eje motriz – frenado



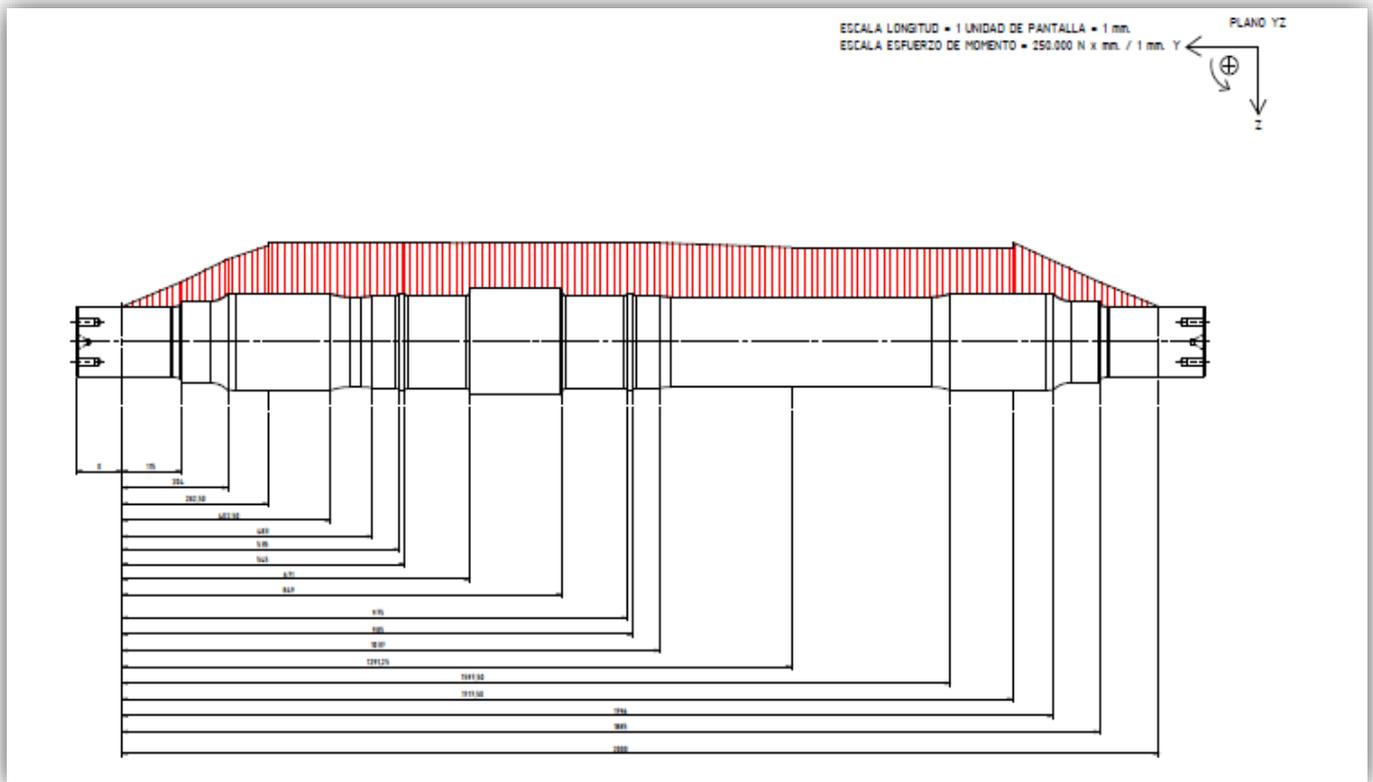
Esfuerzo normal (N) – eje motriz – tracción



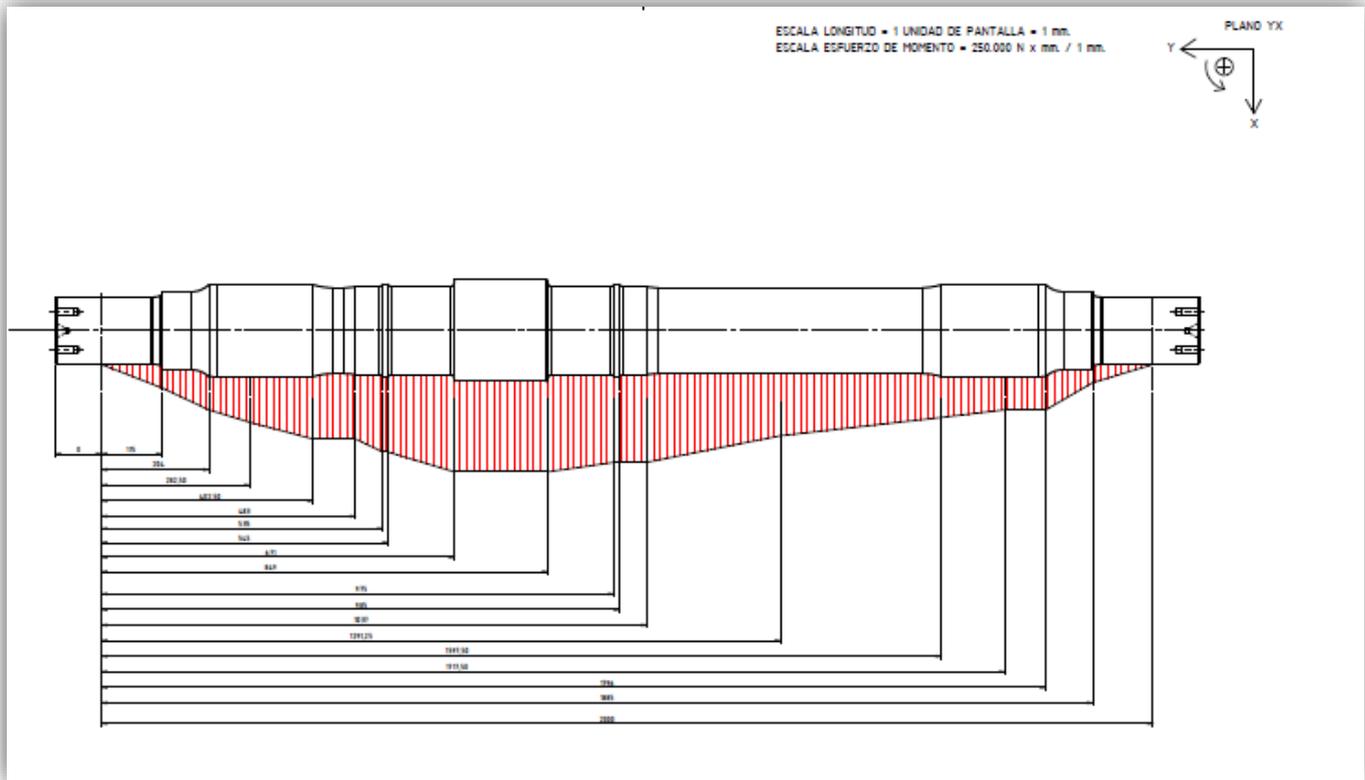
Esfuerzo cortante (Q) – plano YZ – eje motriz – tracción



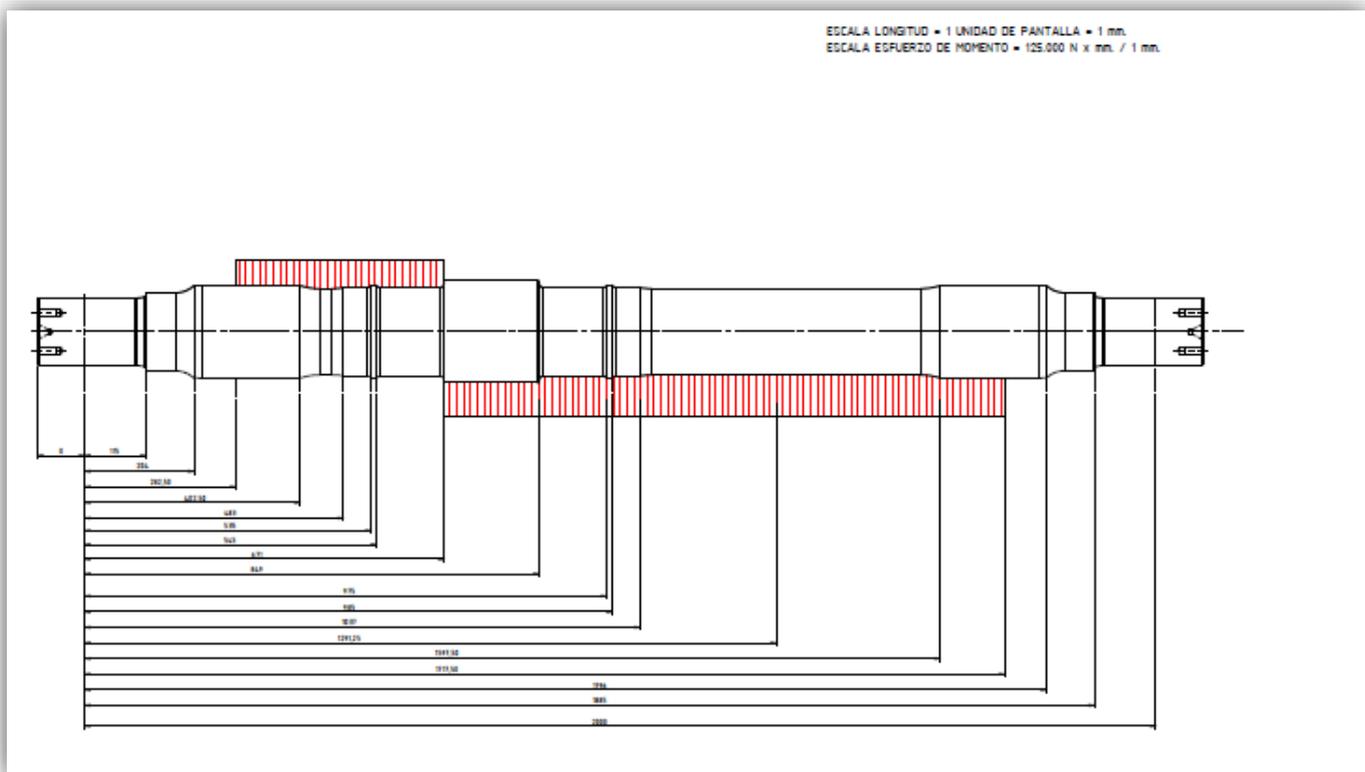
Esfuerzo cortante (Q) – plano YX – eje motriz – tracción



Esfuerzo momento (Mx) – plano YZ – eje motriz – tracción



Esfuerzo momento (M_z) – plano YX – eje motriz – tracción



Esfuerzo momento (M_y) – eje motriz – tracción

Conclusiones y reflexiones finales

Como conclusiones de este informe, vamos a centrarnos en las características y cualidades de los ejes, con sus respectivas normativas de uso y demás aplicaciones.

Resulta fundamental destacar la utilización de las norma UNE – EN para la determinación de las fuerzas y momentos actuantes, si bien para el caso del momento (M_x) y las fuerzas paralelas al eje al eje z, se nos presenta un modelo universal, para la determinación de las fuerzas paralelas al eje x y demás momentos, debe analizarse en profundidad el tipo de eje, ya que en este caso entran en juegos las fuerzas de aceleración y frenado, además de los componentes debido a las masas suspendidas y no suspendidas de dichos ejes.

Se debe distinguir, además del tipo de eje y sus fuerzas de frenado actuantes, de qué manera actúan dichas fuerzas y a través de qué elementos lo hacen, los cálculos de diseño se presentan de manera diferente si se utilizan zapatas o discos de frenado. Además de que la utilización de cada uno de ellos, trae aparejado una variación en los momentos y fuerzas actuantes.

La importancia de subdividir cada eje en secciones diferentes, para poder analizarlos en profundidad, distinguiendo las particularidades geométricas de cada uno, y las aplicaciones que viene con cada uno.

La utilización de un cuadro comparativo de características de materiales, de manera de poder apreciar los diferentes componentes utilizados en la aleación de acero.

Al presentarse los diagramas de cuerpo libre, en las sumatorias de fuerza, puede en algunos casos parecer que esta sumatoria “no cierra” o que el resultado no presenta un equilibrio en dichas fuerzas actuantes, esto se debe a las estructuras de punta de eje/caja de grasas, ubicadas al final de cada eje, las mismas están equipadas con cojinetes cónicos, que se encargan de absorber las fuerzas remanentes.

Cuando se presentan los diagramas de esfuerzos cortantes en el plano yz, se puede ver, que las fuerzas actuantes comienzan en la zona de la mangueta del eje, hasta llegar a la zona de rodadura, dicha zona en aquella en donde va calada la rueda y se constituye el par montado.

En el caso de los esfuerzos cortantes en el plano yx, vemos que, al aparecer las fuerzas de tracción y frenado a lo largo del eje, en el mismo se presenta una serie de fuerzas y magnitudes que van desde la zona de punta eje hasta la otra.

Para los diagramas de momentos, podemos apreciar una distribución irregular a lo largo de los ejes, donde aparecen distintos picos, en la zona de rodadura aparece un momento adicional debido una fuerza paralela al eje y, provocando que el momento se eleve. De igual manera sucede los mismo en la siguiente zona de rodadura.

Para el momento torsor M_y , vemos que la distribución de esfuerzos es uniforme, y de un valor menor a los momentos anteriores, además de que se presenta entre ambas zonas de rodadura.

Bibliografía utilizada

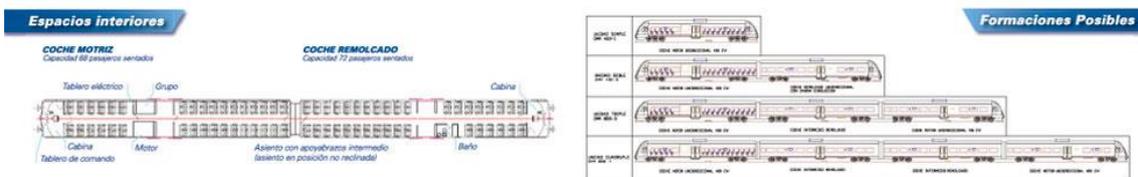
- *Norma técnica UNE-EN 13104-A2.*
- *Norma técnica UNE-EN 13103-A2.*
- *ET-DNT-1089-V1.0 - Eje portante coches motores CMM400 T1435.*
- *ET-DNT-1093-V1.0 - Eje motriz para coches motores CMM400 T1435.*
- *Hoja de datos técnicos Materfer CMM400*
- *Calculo estructural coche motor Materfer CMM 400*
- *Manual de usuario y operación coche motor Materfer CMM 400*
- *“Materfer” – Artículo de Wikipedia*
- *“Coche motor CMM 400-2” – Materfer*
- *<https://es.wikipedia.org/wiki/Materfer>*
- *<https://www.materfer.com/ferroviario-coche-motor-cmm4002.php>*
- *<https://www.datosmundial.com/estatura-promedio.php>*

Índice

<i>Introducción</i>	2
<i>Objetivos del estudio</i>	3
<i>Alcance del estudio</i>	4
<i>Características generales del CMM400</i>	5
<i>Planos de los pares montados</i>	7
<i>Especificaciones técnicas</i>	11
<i>Eje portante</i>	11
<i>Eje motriz</i>	13
<i>Renderizado 3D bogies Materfer</i>	15
<i>Normativas de aplicaciones prácticas</i>	16
<i>Cálculo de esfuerzos sobre los ejes</i>	27
<i>Eje portante Diagramas de cuerpo libre</i>	33
<i>Eje motriz Diagramas de cuerpo libre</i>	34
<i>Eje portante Esfuerzos característicos</i>	36
<i>Eje motriz Esfuerzos característicos</i>	39
<i>Conclusiones y reflexiones finales</i>	45
<i>Bibliografía utilizada</i>	46
<i>Índice</i>	47
<i>Anexos</i>	48

Anexos

1 - Distintas configuraciones posibles del DMU CMM 400



2 – Cálculos de carga máxima de pasajeros por coche.

Para realizar este cálculo, se tomó como datos las dimensiones de los pasillos y el espacio de las puertas, que tanto para el coche motriz, como en el remolcado son idénticos, solo variando la capacidad de pasajeros sentados. Además, se le adicionaron 2 pasajeros correspondientes al personal que opera el servicio, que normalmente viajaría en las cabinas.

Se tomó como capacidad máxima, todos los asientos ocupados, y una cantidad de 8 personas/m², y el peso promedio de 78 kg por persona.

Datos:

- Dimensión de los pasillos: 18,340 x 0,837 metros
- Dimensión del espacio de puertas: 03,140 x 1,600 metros
- Butacas Coche Motriz: 68 asientos
- Butacas Coche Remolcado: 72 asientos
- Operarios en cabina 2 operarios
- Densidad de pasajeros de pie $\delta_{pax} = 8pax/m^2$

$$A_{Total} = A_{Pasillos} + A_{Esp Puertas}$$

$$A_{Total} = 18,340m \times 0,837m + 3,140m \times 1,600m \cong 20,375 m^2$$

$$Num_{pax de pie} = A_{Total} \times \delta_{pax} = 20,375m^2 \times 8pax/m^2 = 163 pax$$

$$Carga coche Motriz = (163 + 68 + 2) pax \times 78 kg/pax = 18174 k$$

$$Carga de coche Remolcado = (163 + 72 + 2) pax \times 78 kg/pax = 18486$$