



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DEL DISEÑO

PROYECTO FINAL DE MÁSTER

Estudio para la seguridad en operaciones de mantenimiento de puentes de lavado de Automóviles

Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador
CAD/CAM/CIM

TUTOR: Dr. CARLOS VILA PASTOR

ALUMNO: ADRIÁN CÓRCOLES LÓPEZ

Valencia, a 1 de septiembre de 2017

A mi familia y compañeros de
trabajo y clase.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Preámbulo	16
1.2. Presentación de la problemática existente.	17
1.3. Objeto del proyecto.	17
1.4. Desarrollo del proyecto.	18
2. MARCO TEÓRICO.	24
2.1. Introducción a los puentes de lavado	24
2.1.1. Descripción	24
Gama Básica	26
Gama Media	27
Gama alta	28
2.1.2. Puente de lavado M12+	31
2.1.3. Procesos de Fabricación	33
Preparación de la chapa	34
Corte por láser	34
Plegado	36
Soldadura	37
Preparación previa al galvanizado	39
• Desengrase/lavado	40
• Decapado/lavado	40
• Mordentado/secado	41
Galvanizado en caliente	41
Repasado	43
Pintado	43
Ensamblado	45
2.2. Normativas y referencias	47
2.2.1. Normas de seguridad.	47
Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.	47
UNE-EN 614-1:2006	47

Directiva 2006/42/CE	47
UNE-EN 614-2:2001	47
UNE-EN 811:1997	48
UNE-EN 294:1993	48
UNE-EN 349:1994	48
DIN 24446:1998	48
UNE-EN 1299:1997	48
2.2.2. Normas de calidad de los materiales empleados.	49
UNE-EN 10204:2006	49
2.2.3. Normas de calidad de los procesos de fabricación.	50
UNE-EN ISO 5817:2004	50
UNE-EN ISO 4063:2011	50
UNE-EN ISO 15607:2004	50
UNE-EN ISO 7438:2006	50
UNE-EN ISO 7799:2000	50
2.3. Elección del método de cálculo para el análisis.	50
Métodos matriciales	50
Método de compatibilidad	50
Método de la Rigidez	51
Método de los elementos finitos	52
2.4. Descripción del método de cálculo por elementos finitos.	53
2.5. El método de los elementos finitos en medios continuos	54
2.5.1. Elemento	54
2.5.2. Campo de desplazamientos del elemento	54
2.5.3. Campo de deformaciones del elemento	56
2.5.4. Campo de esfuerzos del elemento	56
2.5.5. Equilibrio del elemento	56
2.5.6. Integración del sistema de ecuaciones para el medio continuo	58

2.6. Proceso para el análisis por elementos finitos.	58
Definición de materiales	59
Diseño	59
Mallado	59
Condiciones de contorno	59
Resolución	59
Representación de resultados	59
3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.	64
3.1. Descripción de los elementos de la estructura	64
3.1.1. Conjuntos ensamblados	65
Conjunto techo	65
Columnas	66
Patines	68
Grupo secado horizontal gran caudal	68
3.2. Materiales	70
3.2.1. Propiedades mecánicas de los materiales empleados	70
3.2.2. Definición de materiales	70
3.3. CASO DE ESTUDIO 1: SECADO SOPORTADO POR CORREA.	71
3.3.1. Introducción.	71
3.3.2. Simplificación del modelo	72
3.3.3. Mallado	73
Mallado de superficies	73
Parámetros de calidad	77
Uniones entre mallas	79
3.3.4. Condiciones de contorno.	80
Análisis conjunto 1	81
Análisis conjunto 2	83
3.3.5. Resolución.	86

3.3.6. Post-procesado	86
Resultados Análisis conjunto 1	87
Resultados Análisis conjunto 2	98
3.3.7. Conclusiones. Caso 1.	105
3.4. CASO DE ESTUDIO 2: SECADO SOPORTADO POR SISTEMA DE ENCLAVAMIENTO.	105
3.4.1. Introducción.	105
3.4.2. Simplificación del modelo.	107
3.4.3. Mallado.	108
3.4.4. Condiciones de contorno.	109
3.4.5. Resolución.	110
3.4.6. Post-procesado.	111
3.4.7. Conclusiones. Caso 2.	113
4. DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN UTILLAJE.	118
4.1. Introducción.	118
4.2. Requisitos de diseño.	118
4.3. Diseño.	118
4.4. Análisis estructural.	123
4.4.1. Simplificación del modelo.	123
4.4.2. Mallado.	123
4.4.3. Condiciones de contorno.	125
4.4.4. Resolución.	127
4.4.5. Post-procesado	127
4.4.6. Conclusiones.	133
5. PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD	138
5.1. Introducción.	138
5.2. Objeto.	138
5.3. Alcance.	138

5.4. Implicaciones.	138
5.5. Materiales requeridos.	139
5.6. Procedimiento.	140
6. CONCLUSIONES.	146
1. PRESUPUESTO.	152
1.1. Consideraciones previas	152
1.2. Costes directos	153
1.2.1. Definición del coste/hora de trabajo	153
1.2.2. Tiempo empleado por fases. Mano de obra.	153
Análisis preliminar	153
Elaboración y mallado del modelo a estudio	153
Estudio de resultados	153
Documentación y redacción del proyecto.	154
1.2.3. Costes de material	154
1.3. Costes indirectos	155
1.4. Resumen de totales	156
ANEXO I	160
1. Índice de imágenes	160
2. Índice de tablas	162
3. Bibliografía	162
ANEXO II	163
ANEXO III	165



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DEL DISEÑO

PROYECTO FINAL DE MÁSTER

DOCUMENTO 1: MEMORIA

DOCUMENTO 2: PRESUPUESTO

DOCUMENTO 3: ANEXOS

Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador
CAD/CAM/CIM

TUTOR: Dr. CARLOS VILA PASTOR

ALUMNO: ADRIÁN CÓRCOLES LÓPEZ

Valencia, a 1 de septiembre de 2017



DOCUMENTO 1

MEMORIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Preámbulo	16
1.2. Presentación de la problemática existente.	17
1.3. Objeto del proyecto.	17
1.4. Desarrollo del proyecto.	18

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Preámbulo

Este proyecto se ha llevado a cabo durante la realización por parte del alumno de las prácticas en empresa correspondientes al Master en diseño y fabricación integrada asistidos por computador CAD/CAM/CIM.

Estas prácticas se realizaron en la empresa ISTOBAL S.A. sita en L'Alcudia (Valencia).

ISTOBAL es una empresa española líder en el diseño, fabricación y comercialización de soluciones de lavado y cuidado para la automoción.

Fundada en 1950 por Ismael Tomás Alacreu, ISTOBAL mantiene su esencia de empresa familiar, y es hoy la tercera generación la que dirige un grupo multinacional con 10 filiales y tres plantas de fabricación y ensamblaje en Europa y América.

Actualmente, el 80% de su facturación, que en el último ejercicio consolidado alcanzó los 124 millones de euros, corresponde a ventas internacionales.

El grupo cuenta con una plantilla superior a 800 profesionales además de una amplia red de distribuidores por todo el mundo que consolida la presencia exterior de la compañía. La orientación al servicio permite a ISTOBAL proveer de soluciones integrales que abarcan el diseño, desde un departamento de I+D en constante generación de ideas, prototipos y patentes; la fabricación e ingeniería de procesos de gran flexibilidad operativa y con los últimos logros tecnológicos; así como la comercialización y asistencia técnica de los equipos, gracias a una red consolidada de comerciales y técnicos preparados y en constante actualización.



Ilustración 1. Sede central de ISTOBAL en L'Alcudia (Valencia)

1.2. Presentación de la problemática existente.

ISTOBAL S.A. comercializa en la actualidad máquinas de lavado tanto nuevas, como de segundo uso (reacondicionadas).

Entre otros, dispone de un servicio de asistencia técnica (SAT) que se encarga del mantenimiento y reparación de todo tipo de maquinaria de la marca.

Por parte del SAT se transmite al departamento de I+D+I una problemática existente en la actualidad que condiciona en ciertos casos el correcto ejercicio de su actividad.

Esta problemática viene dada por la ejecución de trabajos sobre puentes de lavado antiguos en los que las válvulas de alta presión se localizaban en la parte superior de la estructura de los mismos, cuestión ya resuelta para los modelos de gamas actuales.

Al ser este elemento uno de los más proclives a ser sustituido o reparado y a las continuas incidencias sobre esta zona de la máquina, los operarios deben ser capaces de acceder allí de forma cómoda y segura.

En la actualidad, el procedimiento para acceder a esta zona pasaba por hacer descender el secado de la máquina hasta una altura óptima, de forma que el operario pudiese subirse al mismo y, sobre él, realizar las acciones pertinentes.

Debido a las cada vez más restrictivas normativas de seguridad en el trabajo, ciertos clientes, en su mayoría cadenas de gasolineras, se quejan de la falta de seguridad en este tipo de actuaciones y de los posibles perjuicios frente a las inspecciones de trabajo.

1.3. Objeto del proyecto.

El objeto del presente proyecto es ofrecer un estudio estructural que valide, en la medida de lo posible, los sistemas de sujeción del secado superior horizontal en puentes de lavado de la gama M12+, frente a condiciones de carga dadas durante la realización de las operaciones de mantenimiento comentadas en el anterior apartado.

Asimismo, se planteará el diseño y análisis de un utillaje que nos permita realizar estas operaciones en condiciones de seguridad óptimas.

Finalmente se detallará un procedimiento operativo para seguir al realizar cualquiera de estas tareas.

1.4. Desarrollo del proyecto.

El desarrollo del proyecto pasara por las siguientes fases:

- **Marco teórico:** en el que se hará una breve introducción a los productos comercializados por ISTOBAL (centrándonos en los puentes de lavado automático), se hará un repaso a los procesos de fabricación empleados para la obtención de sus piezas y se comentarán las bases teóricas del análisis mediante elementos finitos.
- **Análisis estructural:** dónde presentaremos los dos casos objeto del estudio, cómo se ha realizado el cálculo y los resultados del mismo.
- **Diseño y análisis de un utillaje:** dónde se mostrará una propuesta de diseño de un útil para su utilización en las operaciones de mantenimiento citadas y se ensayará su comportamiento simulando un caso real de carga.
- **Procedimiento de seguridad:** dónde se detallarán los materiales utilizados y pasos a seguir para realizar tareas de mantenimiento en la zona de interés de forma segura.
- **Conclusiones:** dónde se recogerán las principales conclusiones generales extraídas del proyecto.
- **Presupuesto:** en el que estimaremos los costes relativos a la elaboración del proyecto.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO.	24
2.1. Introducción a los puentes de lavado	24
2.1.1. Descripción	24
Gama Básica	26
Gama Media	27
Gama alta	28
2.1.2. Puente de lavado M12+	31
2.1.3. Procesos de Fabricación	33
Preparación de la chapa	34
Corte por láser	34
Plegado	36
Soldadura	37
Preparación previa al galvanizado	39
• Desengrase/lavado	40
• Decapado/lavado	40
• Mordentado/secado	41
Galvanizado en caliente	41
Repasado	43
Pintado	43
Ensamblado	45
2.2. Normativas y referencias	47
2.2.1. Normas de seguridad.	47
Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.	47
UNE-EN 614-1:2006	47
Directiva 2006/42/CE	47
UNE-EN 614-2:2001	47
UNE-EN 811:1997	48
UNE-EN 294:1993	48
UNE-EN 349:1994	48
DIN 24446:1998	48
UNE-EN 1299:1997	48

2.2.2. Normas de calidad de los materiales empleados.	49
UNE-EN 10204:2006	49
2.2.3. Normas de calidad de los procesos de fabricación.	50
UNE-EN ISO 5817:2004	50
UNE-EN ISO 4063:2011	50
UNE-EN ISO 15607:2004	50
UNE-EN ISO 7438:2006	50
UNE-EN ISO 7799:2000	50
2.3. Elección del método de cálculo para el análisis.	50
Métodos matriciales	50
Método de compatibilidad	50
Método de la Rigidez	51
Método de los elementos finitos	52
2.4. Descripción del método de cálculo por elementos finitos.	53
2.5. El método de los elementos finitos en medios continuos	54
2.5.1. Elemento	54
2.5.2. Campo de desplazamientos del elemento	54
2.5.3. Campo de deformaciones del elemento	56
2.5.4. Campo de esfuerzos del elemento	56
2.5.5. Equilibrio del elemento	56
2.5.6. Integración del sistema de ecuaciones para el medio continuo	58
2.6. Proceso para el análisis por elementos finitos.	58
Definición de materiales	59
Diseño	59
Mallado	59
Condiciones de contorno	59
Resolución	59
Representación de resultados	59

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Introducción a los puentes de lavado

2.1.1. Descripción

Los puentes de lavado son máquinas móviles que se trasladan sobre dos raíles de forma automática. El vehículo se posiciona fijo sobre la pista de lavado, y la máquina se desplaza realizando movimientos secuenciales de vaivén a lo largo de ésta.

Durante estos desplazamientos se proyecta sobre el vehículo, agua y productos químicos; y con la ayuda de sistemas de agua a presión o de fregado mecánico mediante rodillos-cepillos se consigue el lavado completo del vehículo.

Posteriormente, mediante la proyección de aire a gran velocidad por medio de toberas se procede al secado del mismo.

De este modo, se obtiene un lavado-secado completo en tiempo reducido y de forma automática.

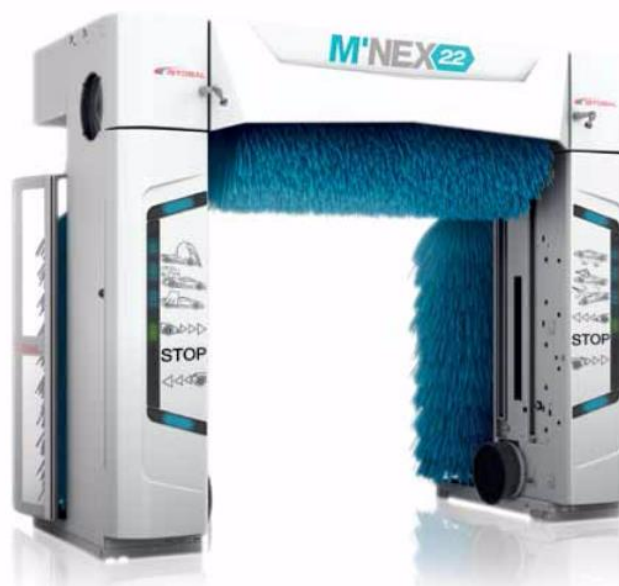


Ilustración 2. Puente de lavado M22

En general, las partes principales de las que está compuesto un puente de lavado son:

- A. Cepillos.** Son los encargados de frotar el vehículo previamente rociado con jabón para conseguir un lavado efectivo. Generalmente las máquinas disponen de tres cepillos: dos verticales y uno horizontal. También existen máquinas con 5 cepillos y, por otra parte, puentes sin cepillos (touch-less) que lavan únicamente mediante agua a presión. Existen diferentes tipos de cepillos: de polietileno, de espuma o textiles.

- B. Secado.** Es el conjunto de elementos que permiten secar el vehículo una vez terminado el lavado y el encerado. Se compone de una tobera central horizontal que se mueve en sentido vertical copiando el perfil del vehículo, y dos toberas laterales fijas.
- C. Patines.** Son la base del puente de lavado. En ellos están situados los motorreductores que permiten el movimiento longitudinal del puente a través de los raíles.
- D. Columnas.** Situadas encima de los patines, constituyen la estructura principal de la máquina y alojan en su interior el cuadro eléctrico principal (lado izquierdo), la distribución neumática e hidráulica, así como los diferentes productos químicos utilizados en el lavado (lado derecho).
- E. Carenado.** Constituyen el recubrimiento exterior de la estructura y sirven de soporte para los diferentes luminosos y señalizaciones, así como de los protectores de seguridad ambas columnas.
- F. Arco de productos químicos.** Tuberías ubicadas sobre la zona interior del puente que se sirven para rociar los diferentes productos químicos que se utilizan en el proceso de lavado.
- G. Raíles.** Elementos por los que se desplaza el puente de lavado en su movimiento para abarcar la longitud del vehículo.
- H. Guías de centrado.** Se trata de un sistema que ayuda al conductor a introducir el vehículo centrado al puente de lavado.
- I. Opcionales de posicionamiento.** Dispositivos luminosos que avisan al conductor para que detenga el vehículo en la posición adecuada.
- J. Arco de enjuague, media o alta presión.** Son arcos distribuidos por el interior del puente que ayudan a la limpieza mediante el rociado de agua a diferentes presiones.
- K. Pantallas anti salpicadura.** Son unas barreras fabricadas en policarbonato que, situadas en los laterales del puente, evitan que las salpicaduras producidas por los cepillos escapen a zonas aledañas.
- L. Sistema anti congelamiento.** Sistema automático para el vaciado de tuberías. Útil para evitar los daños por congelación, principalmente en instalaciones de países nórdicos.
- M. Puesto de mando.** Puesto electrónico de control mediante el que cada cliente puede configurar y gestionar el puente de lavado.
- N. Autoservicio.** Dispositivo que permite a los clientes, entre otras funciones, configurar el tipo de lavado y efectuar el pago.
- O. Lavado de bajos.** Sistema de rociado de agua a alta presión para la limpieza de la parte inferior del chasis de los vehículos.
- P. Cepillos lava ruedas.** Mecanismo complejo que mediante unos cepillos circulares permite el lavado del conjunto llantas-ruedas.
- Q. Sistema de seguridad anti aplastamiento.** Dispositivo de seguridad que previene situaciones peligrosas y el posible aplastamiento de cualquier elemento ante el movimiento del puente por sus guías. Es de especial interés en instalaciones ubicadas en lugares de tamaño reducido en los que la distancia entre la máquina y la pared (o cerramiento) que aloja el puente es muy pequeña.

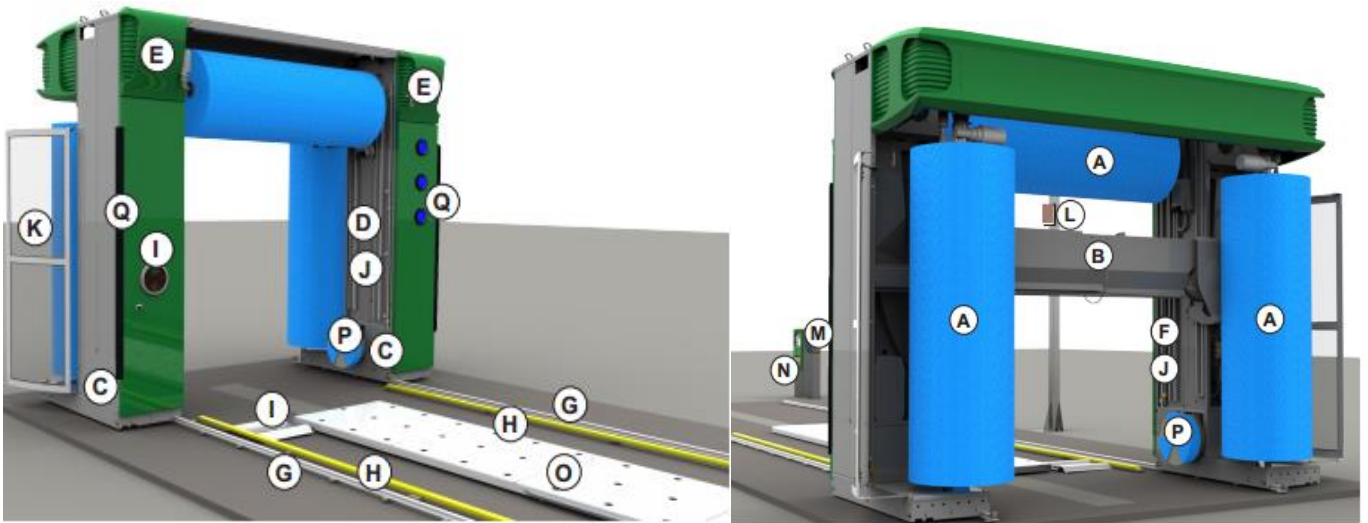


Ilustración 3. Partes principales de un puente de lavado

La familia actual de puentes de lavado automático de ISTOBAL, S.A. está compuesta por una serie de máquinas que lavan el automóvil ya sea por fricción (con cepillos), o sin contacto (con chorros de agua a alta presión).

Según su configuración y su velocidad de funcionamiento podemos distinguir:

Gama Básica

- **M1:** Se trata del puente de lavado más sencillo y asequible entre los comercializados por ISTOBAL. Esto es debido a su básico chasis unido mediante uniones atornilladas y a las limitadas opcionales de equipamiento. Está orientado para su venta en mercados emergentes como Brasil y México.



Ilustración 4. Puente de lavado M1

- **M'Start:** Puente de lavado versátil con gran cantidad de opcionales y configuraciones. Pensado para clientes y empresarios que se inician en el sector. Su estructura se encuentra construida también mediante uniones atornilladas principalmente.



Ilustración 5. Puente de lavado M'START

Gama Media

Compuesta, como la gama alta, por las Istobal M'NEX. Difieren en la distribución de sus componentes.

- **M22:** Puente referencia que da origen a la gama M'NEX. Se trata de un puente de lavado con una estructura soldada y gran variedad de opcionales y configuraciones.

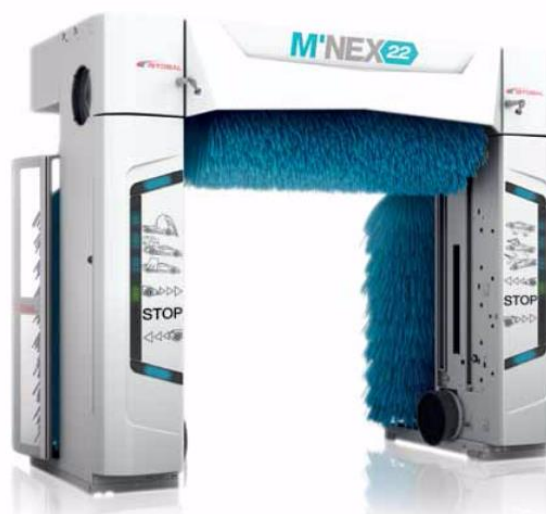


Ilustración 6. Puente de lavado M22

- FLEX5:** Puente similar al M22 pero que no forma parte de la gama M'NEX. Dispone de dos configuraciones de cepillos, pudiendo añadir o quitar estos sobre la misma usando la misma base estructural. Para configuraciones con 5 cepillos conseguimos unos aumentos de velocidad del 30%.



Ilustración 7. Puente de lavado FLEX5 con cinco (izq.) y tres cepillos (der.)

Gama alta

- M25:** Puente basado en la M22 pero que dispone de módulos de lavado y secado separados en una misma pista, permitiendo un acabado final más eficiente.

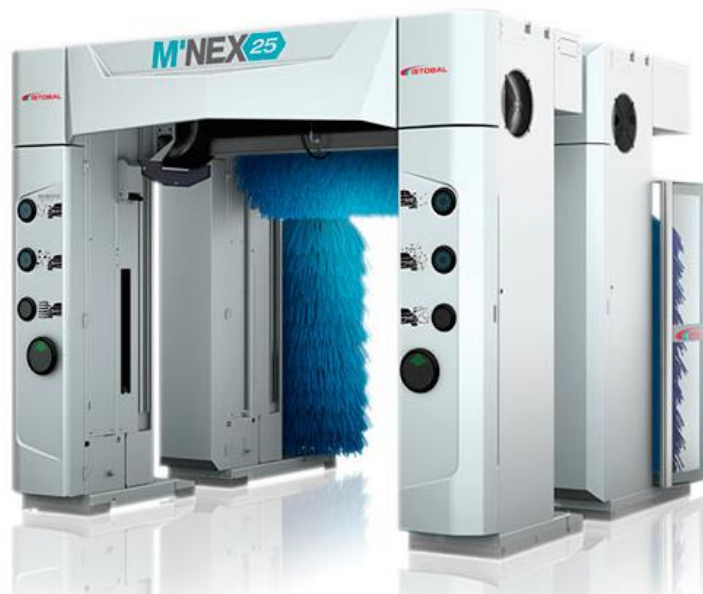


Ilustración 8. Puente de lavado M25

- **M27:** Variante M25 en la que los módulos de lavado y secado se encuentran en pistas diferentes y que además incluye una pantalla para evitar salpicaduras de agua entre ambos.



Ilustración 9. Puente de lavado M27

- **M28:** Es el puente más equipado y rápido de la Gama Istobal. Puede equipar hasta cinco cepillos (cuatro verticales y uno horizontal) en la parte de lavado y hasta dos módulos completos de secado (cuatro toberas laterales y dos verticales).



Ilustración 10. Puente de lavado M28

- **M32:** Nuevo puente ISTOBAL para 2017. Consiste en una evolución de la famosa M22, en la que se introducen nuevas mejoras como el nuevo sistema lava ruedas multidisk

(opcional), el uso de variadores de frecuencia para el manejo de los motores o los nuevos luminosos LED.



Ilustración 11. Puente de lavado M32

Además de estos productos Istobal dispone de otros equipos de lavado, como:

- Túneles de lavado.
- Centros de lavado a presión.
- Puentes y túneles para el lavado de vehículos industriales.
- Puentes y túneles para el lavado de trenes y tranvías.

Al exceder estos productos el alcance de este proyecto, no se entrará en detalle respecto a ellos.

2.1.2. Puente de lavado M12+

El puente de lavado objeto de este proyecto es el ISTOBAL M12+, perteneciente a una generación anterior a la actual gama M'NEX.

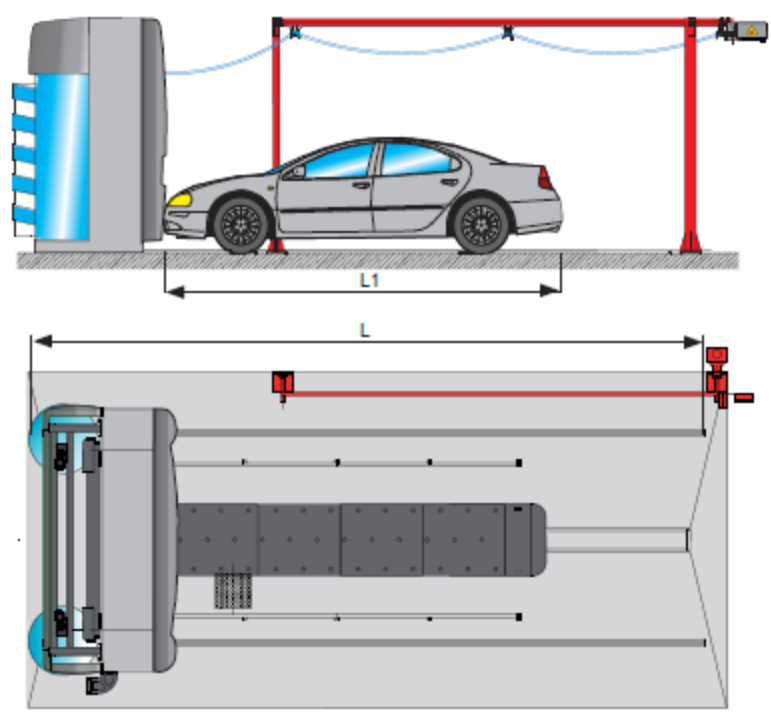


Ilustración 12. Puente de lavado M12+

Sobre este modelo se fundamenta la actual M'NEX M22 y, por tanto, comparte con ella la práctica totalidad de sus funcionalidades y características estructurales.

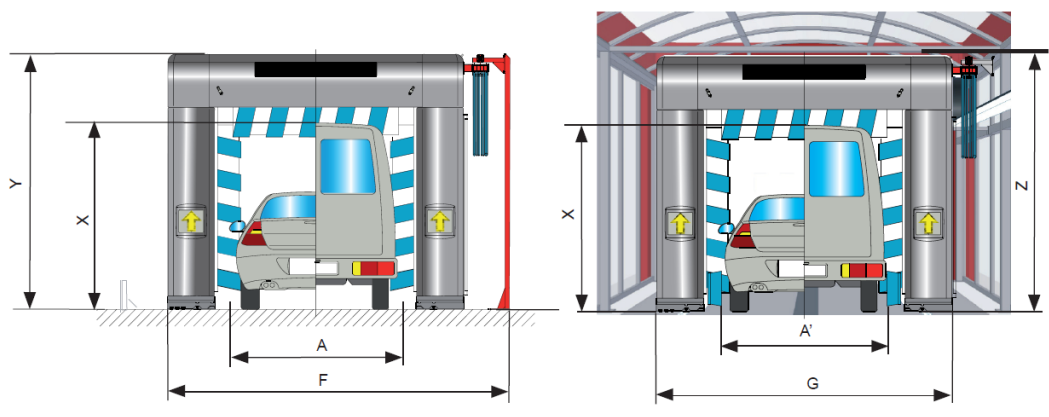
En cuanto a dimensiones, la M12+ difiere de las actuales M'NEX, al estar disponible en una única anchura, pero pudiendo, asimismo, elegir entre cuatro alturas:

- 2,1m – Modelo 4PE5200
- 2,3m – Modelo 4PE5300
- 2,5m – Modelo 4PE5400
- 2,7m – Modelo 4PE5500



MODELO	LONGITUD DE PISTA (L)		LONGITUD DEL VEHÍCULO	
	RECOMEN-DADA	MÍNIMA	CON FREGADO POSTERIOR CEPILLOS VERT. Y HTAL.	CON FREGADO POSTERIOR SOLO CEPILLO HTAL.
4PE1200 / 4PE5200	9.500	8.000	5.250	6.200
4PE1300 / 4PE5300				
4PE1400 / 4PE5400				
4PE1500 / 4PE5500	10.000	8.700	6.100	6.900

Ilustración 13. Medidas generales instalación M12+.



MEDIDAS SEGÚN MODELO DE MÁQUINAS									
MODELO	X	Y	G	A	A'	F		Z	
						RECOMEN-DADO	MÍNIMO	RECOMEN-DADO	MÍNIMO
4PE1200 / 4PE5200	2.100	2.881	3.582	2.150	2.350	4.570	4.000	3.300	2.900
4PE1300 / 4PE5300	2.300	3.081	3.582	2.150	2.350	4.570	4.000	3.500	3.100
4PE1400 / 4PE5400	2.500	3.281	3.582	2.150	2.350	4.570	4.000	3.700	3.300
4PE1500 / 4PE5500	2.700	3.481	3.582	2.150	2.350	4.570	4.000	3.900	3.500

Ilustración 14. Medidas generales Puente M12+.

2.1.3. Procesos de Fabricación

La estructura de los puentes para el lavado automático ISTOBAL, está formada en su práctica totalidad por la unión de piezas de chapa de diferentes dimensiones y geometrías.

En este apartado se dará cuenta de los diferentes procesos de fabricación empleados para obtener estas piezas de chapa en las mejores condiciones.

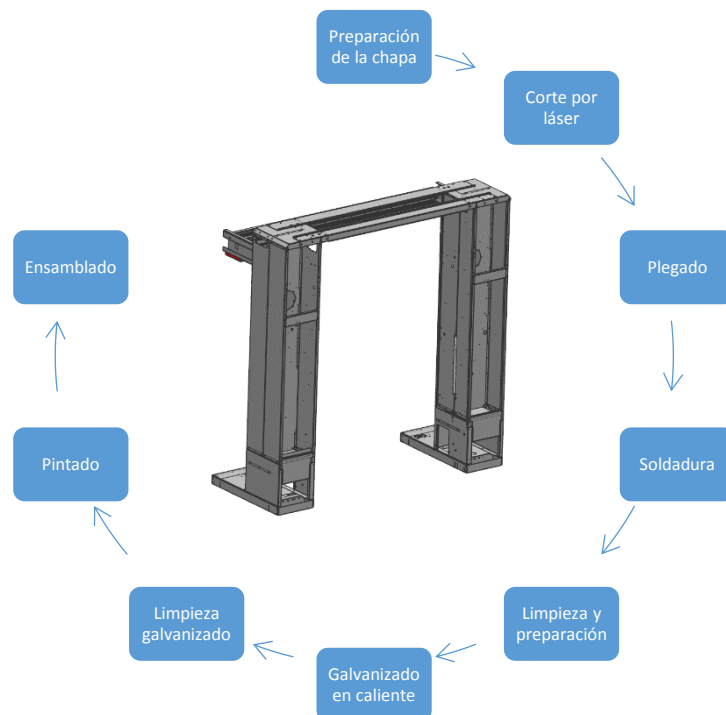


Ilustración 15. Esquema de procesos

Preparación de la chapa

La preparación de la chapa se realiza en máquinas cortadoras tipo cizalla para ajustar los grandes formatos de chapa a un tamaño similar al de las piezas.

El corte de la chapa se produce al ejercer mediante una prensa una fuerza sobre la matriz de corte. Esta fuerza genera la separación de una porción de material de la pieza de chapa produciendo su corte.

Conseguimos reducir dicha fuerza a ejercer colocando la matriz de corte con cierta inclinación, de forma que penetra lenta y progresivamente en el material a cortar, a modo de cizalla.



Ilustración 16. Cizalladora.

Corte por láser

El corte por láser de metales es un proceso por el cuál la energía de un haz de luz se focaliza sobre un elemento, produciendo su corte debido a la absorción de la misma y la evaporación del material del que está formado.

El corte se ejerce mediante la extracción del material (evaporado) a lo largo de toda la zona de corte. La energía necesaria para conseguir esta evaporación viene dada por un sistema compuesto por una fuente de luz láser y una boquilla, que incorpora la óptica de focalización y permite el flujo del gas de aporte, acoplado todo ello a un conjunto mecánico de mesa cartesiana permitiendo el movimiento relativo entre el haz de luz y la pieza a cortar.



Ilustración 17. Cortadora laser

Las máquinas de corte por láser nos permiten realizar el corte de chapa y recorte de agujeros y aperturas de forma rápida y sencilla.



Ilustración 18. Piezas sin acabar cortadas por láser

Plegado

Por plegado entendemos la deformación plástica de piezas metálicas alrededor de un eje recto, siendo nulo o escaso el cambio del área de su superficie

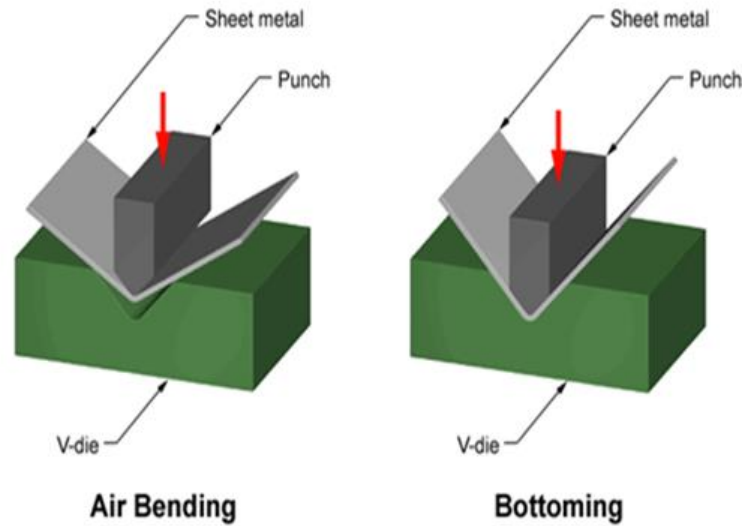


Ilustración 19. Plegado de chapa

El plegado de chapas se efectúa en plegadoras como la mostrada a continuación. Estas máquinas son prensas de accionamiento hidráulico dotadas de una bancada larga y estrecha, y cuyas carreras son relativamente lentas, cortas y regulares. El metal se dobla entre matrices intercambiables y fijas a la bancada y al pistón. Pueden emplearse matrices diferentes para producir muchos tipos de curvaturas



Ilustración 20. Plegadora industrial de gran tonelaje

Soldadura

Para la fabricación de los diferentes elementos que componen la estructura de las maquinas se utiliza la soldadura como medio de unión de las chapas para formar piezas más complejas.

Uno de los sistemas de soldadura más empleados es el de tipo MIG con robots y utillajes que garantizan la posición de las piezas durante el proceso de soldadura.



Ilustración 21. Robot de soldadura

La estación de soldadura se complementa con un utillaje para soldadura robotizada montado sobre una bancada que permite su giro y su adaptación a la posición idónea de soldado.



Ilustración 22. Estación de soldadura robotizada

Ventajas de la soldadura robotizada:

- Soldaduras homogéneas y de calidad.
- Rapidez de ejecución.
- Repetitividad.

En la fabricación de prototipos se utiliza también soldadura MIG y TIG manual, debido al reducido volumen de piezas.

En la soldadura con electrodo consumible metálico y gas de protección inerte (MIG), el electrodo es un hilo continuo alimentado automáticamente a través de una pistola de soldadura o antorcha, que se mantiene a una distancia de 10mm aproximadamente de la pieza a soldar.

Las gotas de metal fundido son transferidas a través del arco, desde el alambre-electrodo a la zona de soldadura, todo ello sumergido en una protección gaseosa.

La cantidad de corriente aplicada determina el tamaño y número de gotas de material fundido que parten del electrodo por unidad de tiempo.

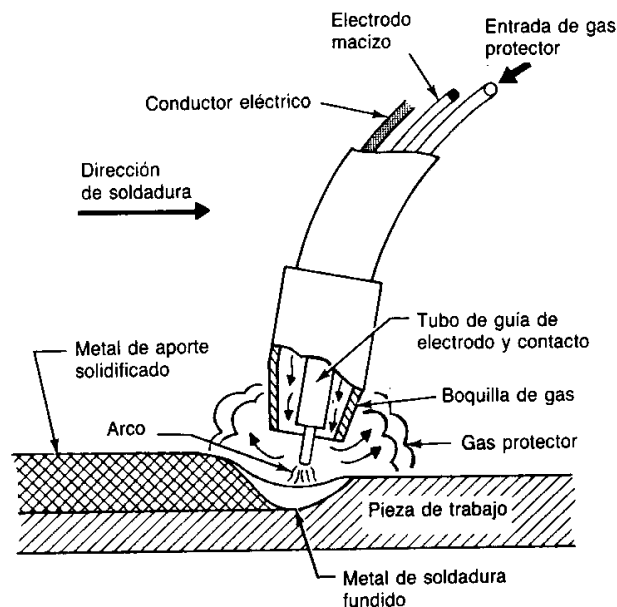


Ilustración 23. Soldadura MIG

La soldadura MIG posee, entre otras, las siguientes ventajas.

- Rapidez de deposición.
- Alto rendimiento.
- El arco siempre es visible para el operador.
- La antorcha y cables del equipo de soldadura son ligeros, haciendo factible su adaptación para el uso mediante robots.
- Es uno de los sistemas de soldadura más versátiles.

También se utiliza TIG para determinadas aplicaciones donde las soldaduras MIG no son las más adecuadas.

La soldadura por gas inherente de tungsteno o TIG, también conocida como soldadura por arco por gas de tungsteno, es un proceso de soldadura por arco que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible.

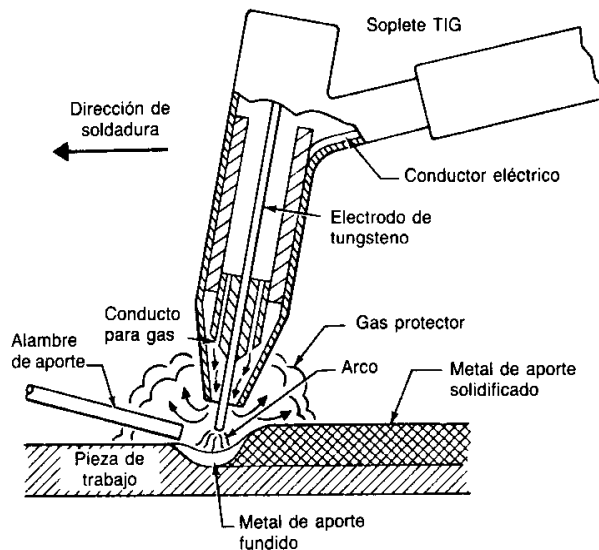


Ilustración 24. Soldadura TIG

Principales Ventajas:

- Cordones de soldadura de altísima calidad.
- Fácil aplicación en cualquier posición.
- No deja escoria, por lo que no requiere de limpieza posterior.
- No hay proyecciones.
- El área de soldadura queda claramente visible.
- Permite su automatización mediante robots.

Pueden realizarse uniones mediante soldadura TIG entre casi cualquier tipo de metal, como Acero Inoxidable, Hierro Fundido, Aluminio, Níquel, Acero al Carbono, Cobre, etc.

Se utiliza, en general, cuando se quiere lograr calidad y buena terminación en las soldaduras y es muy recomendable para la unión de piezas de espesores reducidos, a partir de medio milímetro, gracias al preciso control del calor aportado y la facilidad de aplicación.

Preparación previa al galvanizado

Antes de proceder al proceso de galvanizado en caliente, es necesario eliminar cualquier impureza depositada en las piezas. Para ello, se utiliza una planta de preparación para el galvanizado en régimen discontinuo como la que se muestra a continuación.

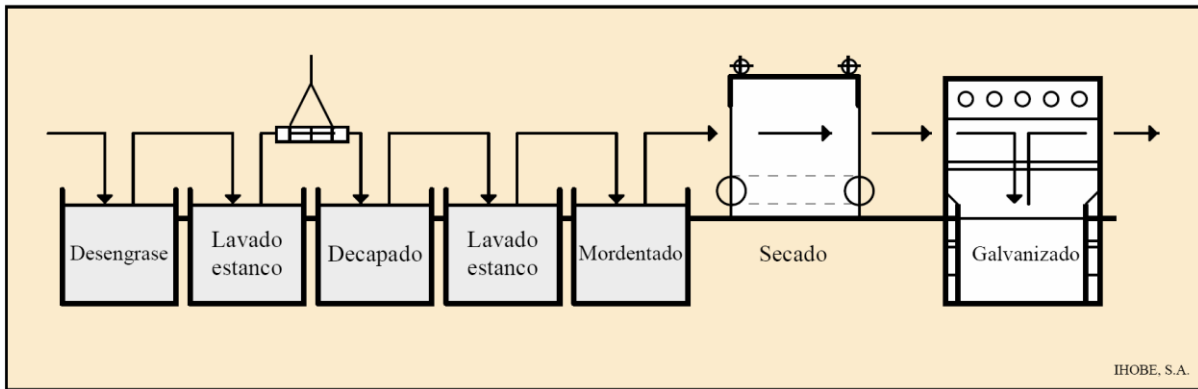


Ilustración 25. Etapas de un proceso de preparación para el galvanizado en régimen discontinuo

- **Desengrase/lavado**

Es necesario realizar un tratamiento de desengrase (alcalino) para eliminar residuos de aceites y grasas, procedentes en gran medida de los aceites de corte (taladrinas) aplicados en procesos de fabricación anteriores.

Se evita en este punto el desengrase con disolventes, ya que produce la deposición del contaminante como una fina película de grasa sobre la pieza.

Los baños de desengrase contienen agentes tensoactivos que emulsionan los aceites y las grasas adheridos a la superficie de las piezas. La efectividad del baño de desengrase depende en gran medida de la concentración de dichos agentes, de la temperatura del propio baño y de la duración del tratamiento.

Después del desengrase, las piezas se sumergen para su lavado en un baño de agua, evitando el arrastre de los desengrasantes a las etapas siguientes.

- **Decapado/lavado**

El proceso de decapado consiste en la aplicación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido, con inhibidores para evitar un sobre decapado.

Es imprescindible controlar periódicamente la concentración de ácido en la bañera, ya que según aumenta la concentración de hierro Fe^{2+} , el baño pierde efectividad y es necesario su reposición o sustitución.

Al igual que en el desengrase, tras el decapado es necesario realizar un enjuague de las piezas.

- **Mordentado/secado**

El mordentado se aplica para disolver y absorber cualquier resto de impurezas que pudiera quedar sobre la superficie metálica, asegurando que la superficie limpia de hierro o acero se pone en contacto con el cinc fundido.

Los mordientes, que contienen cloruro de amonio, ejercen también un efecto de decapado adicional sobre la superficie de la pieza.

Suelen utilizarse mordientes a base de cloruro de cinc ($ZnCl_2$) y cloruro de amonio (NH_4C), con una proporción del 60% de $ZnCl_2$ y el 40% de NH_4C , siendo el contenido en sales de unos 400 g/l.



Ilustración 26. Instalación de preparación para el galvanizado

Galvanizado en caliente

El galvanizado es un proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro, en nuestro caso acero con cinc.

Las principales ventajas a la hora de utilizar el cinc para el galvanizado son su bajo punto de fusión (sobre los $420^{\circ}C$) y el hecho de sea anódico respecto al acero, es decir, el cinc se corroe con preferencia frente al hierro o el acero, cuando se pone en contacto con ellos en presencia de un electrolito.

El cinc y sus aleaciones disponen de una excelente resistencia a corrosión en la atmósfera. Esta propiedad deriva de su habilidad para formar una capa protectora compuesta por una mezcla de óxido de cinc, hidróxido de cinc y varias sales básicas, dependiendo de la naturaleza del medio.

Una vez formadas las capas protectoras y cubierta por completo la superficie del metal, la velocidad a la que se produce la corrosión se reduce considerablemente.

En aire seco, se forma inicialmente una película de óxido de cinc por su exposición al oxígeno atmosférico, convirtiéndose en hidróxido de cinc, carbonato básico de cinc y otras sales básicas de cinc, dióxido de carbono e impurezas químicas presentes en la atmósfera.

Como la solubilidad en agua de los óxidos y carbonatos de cinc es muy baja, la superficie de cinc continúa corroyéndose con el tiempo, pero muy lentamente.

Los recubrimientos galvanizados protegen el acero dulce frente a la corrosión indefinidamente en ciertas atmósferas secas.

El espesor de la capa de galvanizado determina el efecto anticorrosivo y la vida útil de la pieza galvanizada. Éste se indica en μm o en g/m^2 de superficie. El factor de conversión entre el espesor de la capa (μm) y el peso por m^2 (g/m^2) es 7. Un recubrimiento de cinc con un espesor de capa de $20 \mu\text{m}$ equivale a un peso de $140 \text{g}/\text{m}^2$.



Ilustración 27. Bañera para el galvanizado en caliente

Durante el proceso de galvanizado del acero se forman en la interfase acero-cinc diferentes capas de aleación Zn-Fe. Esto se debe a la difusión bidireccional del cinc líquido con la superficie del acero, que conforma la estructura estratificada del recubrimiento garantizando su adherencia.

Un adecuado tratamiento previo permite que el cinc fundido reaccione químicamente con la superficie de acero de las piezas, produciendo capas de Zn-Fe de distinta composición y espesor en la interfase. Si la reacción ha sido adecuadamente controlada, en la superficie externa de la pieza habrá una capa de cinc de la misma composición que la del baño de cinc fundido.

El espesor total y la calidad de un recubrimiento depende de:

- La calidad del cinc aplicado.
- La temperatura del baño.
- El tiempo de inmersión.
- Velocidad de extracción de la pieza del baño de cinc.

Repasado

Posterior al galvanizado en caliente, se debe realizar el repasado de las piezas para eliminar los restos de cinc en agujeros, roscas y otras zonas donde tiende a acumularse el material.

Para ello, se realiza una inspección visual y se procede a la limpieza de estos restos mediante escariadores, machos de roscar, discos abrasivos, etc.



Ilustración 28. Estación de repasado.

Pintado

Una vez galvanizadas y repasadas, las piezas se introducen en una cadena automatizada donde reciben, a través de un túnel de 38 metros de longitud, un tratamiento de preparación previo al pintado que consiste en las siguientes etapas:

- 1) Desengrase alcalino.
- 2) Enjuague.
- 3) Fosfatado.
- 4) Enjuague.
- 5) Pasivado ecológico.

- 6) Enjuague.
- 7) Agua desmineralizada.

Estos tratamientos garantizan la correcta adhesión de la pintura sobre cada sustrato, sea férrico o no férrico.

El pintado se realiza en dos etapas:

- 1) La primera consiste en la aplicación de una capa de imprimación en polvo electrostático por medio de un sistema de boquillas robotizadas. Esta capa mejora la resistencia frente a la oxidación y aumenta la adherencia de las posteriores capas de pintura.

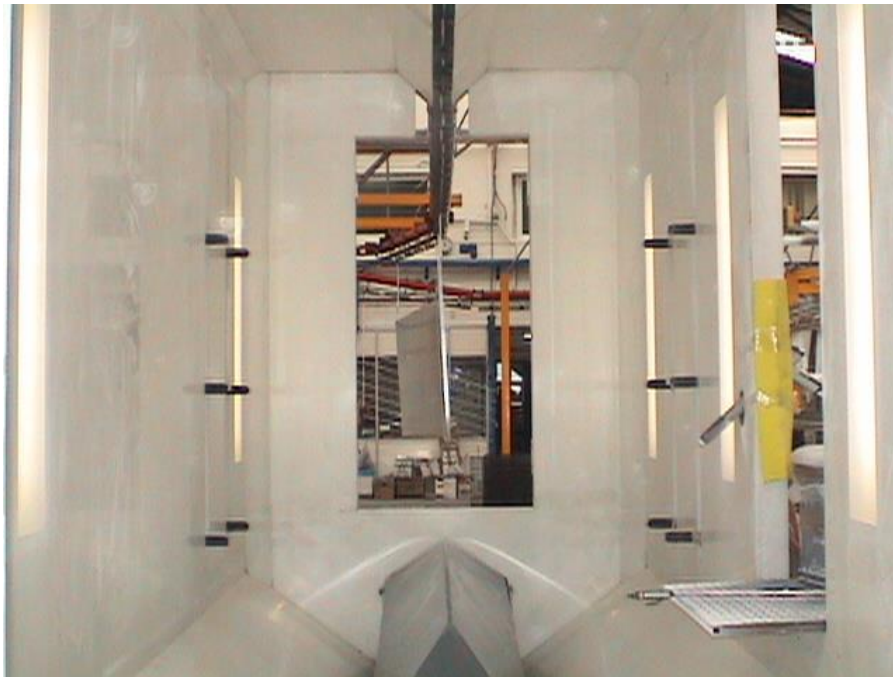


Ilustración 29. Cabina de pintura robotizada

- 2) La segunda consiste en la aplicación de una capa de pintura epoxi con el color final de la pieza.

La pintura epoxi es un esmalte de resinas de epoxi indicado para la protección de materiales metálicos. Sus principales características son:

- Evita la oxidación.
- Elevada dureza.
- Alta resistencia frente a agentes químicos.
- No es contaminante.
- Mejora la adherencia de posteriores capas de pintura.



Ilustración 30. Instalación de pintura automatizada

Ensamblado

Tras el proceso de fabricación de las piezas, pasamos al ensamblado de las mismas por medio de tornillos, arandelas y tuercas.

Las piezas se diseñan con chapas de mayor espesor en las zonas donde se realizan uniones, debido a la merma de sección resistente que supone el taladrado de las mismas.

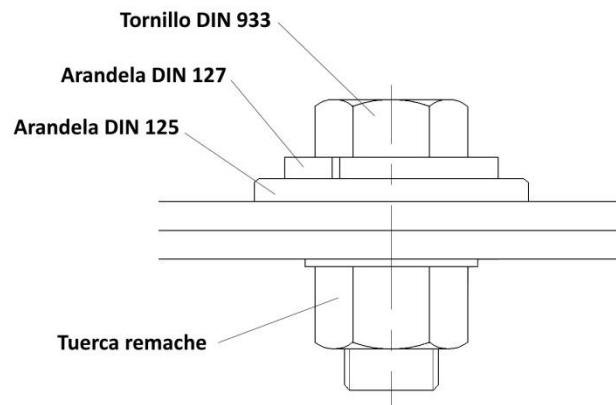


Ilustración 31. Esquema de unión atornillada

Utilizando un sistema de doble arandela DIN 125 – DIN 127 se evitan aflojamientos en las uniones y los daños en la pintura (posterior oxidación) que la arandela DIN 127 pueda provocar en la pieza.



Ilustración 32. Ejemplo de unión atornillada entre columna y patín

Para garantizar la calidad, los tornillos se fijan mediante atornilladores con control de par y se marcan para identificar que han sido verificados.

Las pruebas prácticas en situaciones reales han demostrado que las uniones atornilladas son adecuadas, ya que no se observan aflojamientos ni roturas en los tornillos, ni daños apreciables en las chapas.

2.2. Normativas y referencias

2.2.1. Normas de seguridad.

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.

Esta Ley tiene como finalidad promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.

Para ello, esta Ley establece principios generales relativos a la prevención de los riesgos profesionales para la protección de la seguridad y de la salud, la eliminación o disminución de los riesgos derivados del trabajo, la información, la consulta, la participación equilibrada y la formación de los trabajadores en materia preventiva.

UNE-EN 614-1:2006

Seguridad de las máquinas. Principio de diseño ergonómico. Terminología y principios generales.

Esta norma europea establece los principios ergonómicos a tener en cuenta durante el proceso de diseño de las máquinas. Esta norma europea se refiere a las interacciones entre los operadores y las máquinas durante la instalación, operación, preparación, mantenimiento, limpieza, desmontaje, reparación y transporte del equipo y resume los principios a considerar para tener en cuenta la salud la seguridad y el bienestar del operador. Esta norma europea proporciona un marco que abarca una gama de normas sobre ergonomía más específicas, así como otras normas también aplicables al diseño de máquinas.

Directiva 2006/42/CE

Relativa a seguridad de las máquinas. Esta directiva se aplica a las máquinas en general y fija los requisitos esenciales de seguridad y de salud correspondientes. Esta directiva sirve como referencia para realizar la declaración «CE» de la máquina.

UNE-EN 614-2:2001

Seguridad de las máquinas. Principio de diseño ergonómico. Interacciones entre el diseño de las máquinas y las tareas de trabajo.

Esta norma europea ayuda al proyectista en la aplicación de los principios ergonómicos al diseño de máquinas y se centra especialmente en la interacción entre el diseño de las máquinas y tareas. Esta interacción es esencial ya que la calidad del diseño y la seguridad de las máquinas dependen de que los potenciales operadores sean capaces de desarrollar sus tareas con las máquinas de un modo seguro y eficaz. La aplicación de los principios ergonómicos al diseño de las máquinas y tareas tiene como objetivo minimizar la incomodidad, la fatiga y otros efectos perjudiciales a los que el operador está sujeto y, de este modo, contribuir al funcionamiento óptimo del sistema de trabajo (EN 292-2: 1991, anexo A. 1, 1.1.2 [d]) reduciendo, con ello, los riesgos de efectos negativos para la salud. Por tanto, un diseño correcto sigue los principios

ergonómicos, comenzando con la especificación de las funciones del sistema y anticipa cómo se producirá la interacción entre el operador potencial y las máquinas y otros equipos de trabajo.

UNE-EN 811:1997

Seguridad de las máquinas. Distancia de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros inferiores.

Esta norma europea establece valores de las distancias de seguridad para impedir el acceso y distancias para dificultar el libre acceso de los miembros inferiores de personas de 14 años en adelante. Los valores están basados en la experiencia práctica que se ha demostrado ser adecuada para este grupo de personas. Las distancias se aplican cuando se puede conseguir un nivel de seguridad adecuado solamente por alejamiento y cuando no es previsible el acceso de los miembros superiores, de acuerdo con la evaluación del riesgo.

UNE-EN 294:1993

Seguridad de las máquinas. Distancia de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores.

Esta norma establece valores de las distancias de seguridad que impiden alcanzar zonas peligrosas con los miembros superiores, para personas de 3 años en adelante. Las distancias se aplican cuando se puede conseguir un nivel de seguridad adecuado solamente por alejamiento.

UNE-EN 349:1994

Seguridad de las máquinas. Distancias mínimas para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano.

El objetivo de esta norma es permitir evitar los riesgos generados por zonas de aplastamiento. Establece los espacios mínimos con relación a las partes del cuerpo humano y es aplicable cuando se puede conseguir un nivel de seguridad adecuado por este método.

Esta norma solamente es aplicable a riesgos derivados del peligro de aplastamiento y no es aplicable a otros posibles peligros, por ejemplo: de impacto, de cizallamiento, de arrastre o atrapamiento.

DIN 24446:1998

Seguridad de las máquinas. Sistemas de lavado de vehículos. Requisitos técnicos de seguridad, verificación.

Esta norma contiene los requisitos técnicos de seguridad establecidos para la construcción, el equipamiento y la verificación de sistemas de lavado de vehículos que se explotan bien en edificios, bien al aire libre, como por ejemplo puentes de lavado, trenes de lavado, sistemas de lavado manuales o sin cepillos. Se aplicará también a las instalaciones de pulido de vehículos que formen parte de un sistema de lavado, o se construyan como instalaciones independientes.

UNE-EN 1299:1997

Vibraciones y choques mecánicos. Aislamiento de las vibraciones de las máquinas. Información para la aplicación del aislamiento en la fuente.

El aislamiento de las vibraciones es una medida que permite bien reducir significativamente cualquier transmisión de fuerzas periódicas, aleatorias o de choques entre una máquina y las estructuras de su alrededor (aislamiento de la fuente, protección contra la emisión), o bien proteger a las personas y máquinas, instrumentos, edificios sensibles a las vibraciones transmitidas por sus alrededores (aislamiento del receptor, protección contra la inmisión). En ambos casos, el uso de aisladores de las vibraciones crea un sistema masa-muelle cuya respuesta dinámica está influenciada considerablemente por las características de la fuente de vibraciones, las características dinámicas de la máquina, la estructura en la que está montada y las características de los elementos elásticos y de amortiguamiento. Con objeto de responder a los requisitos de protección contra vibraciones, la optimización del sistema requiere un conocimiento detallado de todos los factores que influyen en el diseño y en la aplicación eficaz del aislamiento de las vibraciones para una máquina o instalación determinada. Dentro de este contexto, es de primordial importancia el intercambio de información entre el fabricante de la máquina, el suministrador del aislamiento y el usuario.

2.2.2. Normas de calidad de los materiales empleados.

UNE-EN 10204:2006

Productos metálicos. Tipos de documentos de inspección.

Esta norma clasifica los requisitos sobre los certificados de los materiales base, en función de las condiciones de suministro y las especificaciones técnicas del material.

El certificado 3.1 es específico, debiendo mencionar tanto las propiedades mecánicas como la carga de rotura, el límite elástico, la resiliencia y la composición química del material. Estos deben estar en concordancia con las normas de clasificación de los materiales metálicos, las especificaciones técnicas de suministro, los reglamentos oficiales y las Normas técnicas correspondientes.

El certificado 3.1 deberá ser emitido exclusivamente por el fabricante de los materiales, o por una Entidad Autorizada Independiente que pueda emitir los informes correspondientes a los ensayos necesarios que demuestren las propiedades del material. Esta norma es muy importante para establecer los requisitos de los certificados de material.

En el Anexo II se incluyen los certificados de calidad 3.1 según EN 10204 de los materiales empleados.

2.2.3. Normas de calidad de los procesos de fabricación.

UNE-EN ISO 5817:2004

Soldeo. Uniones soldadas por fusión de acero, níquel, titanio y sus aleaciones. Niveles de calidad para las imperfecciones.

UNE-EN ISO 4063:2011

Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia.

UNE-EN ISO 15607:2004

Especificaciones y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Especificación del procedimiento de soldeo.

UNE-EN ISO 7438:2006

Materiales metálicos. Ensayo de doblado.

UNE-EN ISO 7799:2000

Materiales metálicos. Bandas y flejes de espesor inferior o igual a 3mm. Ensayo de plegado alternativo.

2.3. Elección del método de cálculo para el análisis.

La elección del método de cálculo es una de las decisiones más importantes a tomar antes del comienzo del análisis estructural.

Para escoger que método emplear en este proyecto se tuvieron en cuenta los sistemas siguientes:

Métodos matriciales

Los métodos matriciales de análisis son de una gran simplicidad y resultan de una evolución de las ideas de Maxwell y Mohr a finales de siglo XIX. Para su comprensión son necesarios unos mínimos conocimientos de álgebra de matrices y vectores, así como de los teoremas fundamentales de cálculo clásico de estructuras.

Método de compatibilidad

El método de compatibilidad es un procedimiento muy laborioso de resolución de estructuras hiperestáticas y no permite, en general, un planteamiento sistemático del problema, por lo que lo hace poco adecuado para su implementación en programas de cálculo automático.

Su planteamiento es intuitivo y se muestra de forma esquemática en la siguiente imagen. Consiste básicamente en transformar la estructura hiperestática en otra isostática suprimiendo los apoyos redundantes sustituyéndolos por fuerzas o incógnitas.

El número de incógnitas del problema será entonces, igual al grado de hiperestatismo del problema.

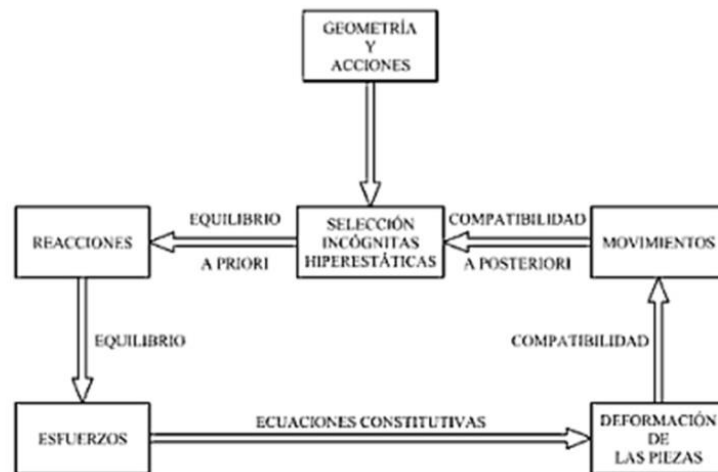


Ilustración 33. Método de compatibilidad

Como se puede ver, el proceso secuencial consiste en:

- 1º. Definir la estructura isostática base seleccionando las incógnitas hiperestáticas y liberar las correspondientes condiciones de compatibilidad.
- 2º. Resolver la estructura isostática base, en función de las incógnitas hiperestáticas, satisfaciendo las condiciones de equilibrio.
- 3º. Determinar las incógnitas hiperestáticas, imponiendo las necesarias condiciones de compatibilidad.
- 4º. Determinar las reacciones, esfuerzos y movimientos de la estructura hiperestática original.

Método de la Rigidez

El método de rigidez consiste en una formulación sistemática del método de equilibrio, y como tal se basa en los tres principios fundamentales de la mecánica de estructuras:

- **Compatibilidad.** La deformación es una función continua y tiene valor único en cada punto. En consecuencia, los movimientos también lo son, por lo que los movimientos en los extremos de las piezas que concurren en un mismo nudo son idénticos para todas las piezas.
- **Equilibrio.** Tanto la estructura globalmente como cada parte de la misma (cada nudo y pieza de la misma) están en equilibrio estático bajo la acción de las fuerzas exteriores y de los esfuerzos internos.
- **Linealidad y principio de superposición.** La estructura se comporta linealmente tanto a nivel local (relaciones tensión-deformación, según la ley de Hooke), como a nivel global

(relaciones desplazamiento-deformación y fuerzas-tensiones, según la hipótesis de pequeños movimientos). En virtud de esta linealidad, es válido el principio de superposición.

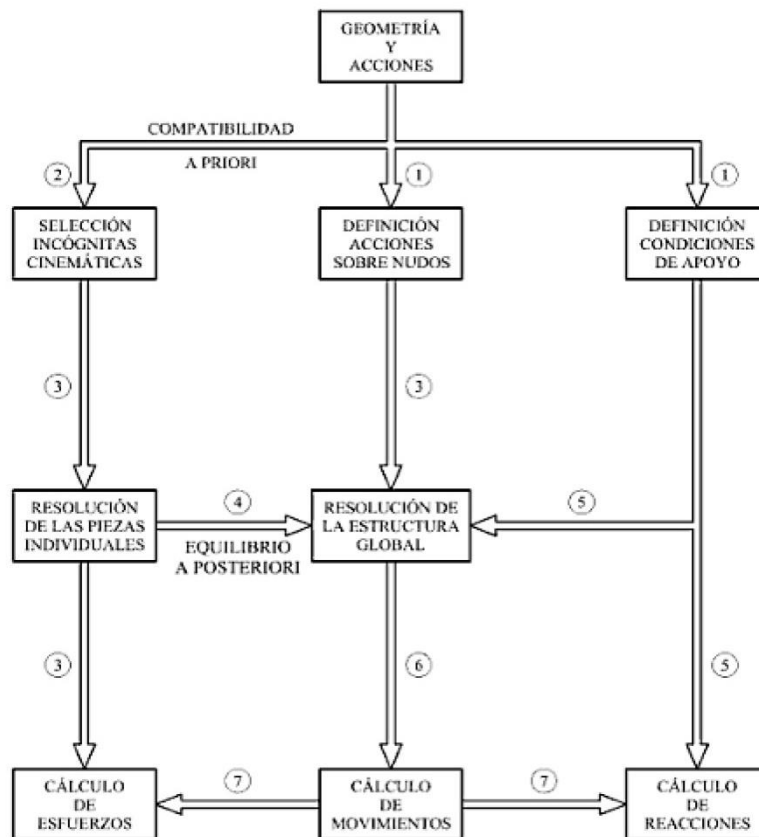


Ilustración 34. Método de rigidez

Hipótesis: Estructura lineal. Todos los movimientos y esfuerzos son funciones lineales de las cargas- Pequeñas deformaciones (ecuaciones de equilibrio en la estructura no distorsionada).

Las barras son rectas y de sección constante.

Para estudiar una estructura por el método de la rigidez, al igual que en cualquier otro problema elástico, disponemos de tres conjuntos de ecuaciones que deben cumplirse.

- Ecuaciones de compatibilidad.
- Ecuaciones constitutivas.
- Ecuaciones de equilibrio.

Método de los elementos finitos

El MEF es un método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales. Para su aplicación se trabaja discretizando la estructura en pequeños elementos de forma variada (superficies, volúmenes, barras, etc.), que se conectan entre sí mediante “nodos”. La solución, por tanto, es sólo aproximada en función de los resultados obtenidos en los nodos.

El MEF parte del cálculo matricial mediante el planteamiento del equilibrio en los nodos a través de un sistema de ecuaciones resultado de la contribución de los elementos.

Tras analizar todos los métodos de cálculo disponibles, se ha optado por utilizar en este estudio el método de los elementos finitos.

Esta elección se debe a que permite observar el comportamiento de la estructura con todo detalle y es el que mejor se adapta al tipo de estructura en la que no se utilizan vigas ni perfiles normalizados. También conviene recordar que es un método ampliamente utilizado en proyectos similares, en los que se ha podido constatar la precisión de los resultados obtenidos.

Para realizar el cálculo por medio de elementos finitos se va a utilizar el módulo de cálculo del programa Nx Unigraphics. Este programa posee un Solver avanzado de simulación y análisis que permite en un mismo entorno realizar todo el proceso, desde el diseño de las piezas 3D, el mallado, la aplicación de condiciones de contorno, la resolución, el post-procesado y análisis de resultados.

2.4. Descripción del método de cálculo por elementos finitos.

El Método de los Elementos Finitos es el método numérico más potente aplicable al análisis de estructuras de cualquier tipo, sometidas a solicitaciones mecánicas y térmicas tanto estacionarias como transitorias.

La Teoría de la Elasticidad establece para un problema dado las relaciones matemáticas exactas en forma diferencial, y plantea su integración cerrando el problema con condiciones iniciales y de contorno para obtener las funciones que definen las variables representativas del comportamiento de la estructura.

El Método de los Elemento Finitos se trata de una simplificación de dichas ecuaciones, puesto que su forma diferencial se sustituye por un conjunto discreto de ecuaciones y sus respectivas condiciones de contorno para su posterior resolución. En función del número de estas ecuaciones será necesario (como en el presente caso) o no implementar el problema para su resolución computerizada.

2.5. El método de los elementos finitos en medios continuos

La discretización del problema en el caso de un medio continuo se lleva a cabo mediante un proceso de modelización para convertirlo en un número finito de elementos unidos entre sí en puntos llamados nodos, el planteamiento de las ecuaciones de desplazamientos para dichos nodos y la imposición de las condiciones de contorno apropiadas en términos de compatibilidad de desplazamiento nodal.

De la resolución del mismo como un todo, se obtendrá el campo de desplazamientos para cada uno de los nodos y, a partir de él y si fuera necesario, el campo de tensiones.

El comportamiento en el interior del elemento se interpolará a partir de los desplazamientos nodales mediante las llamadas funciones de forma.

Según este planteamiento, los errores se deberán principalmente a la aproximación del dominio, la aproximación del comportamiento en el interior de cada elemento y la precisión aritmética usada en la resolución del sistema de ecuaciones mediante métodos numéricos.

2.5.1. Elemento

El subsiguiente desarrollo matemático considerará un elemento genérico e de nodos (i, j, \dots) de superficie S^e y de volumen V^e .

2.5.2. Campo de desplazamientos del elemento

$$\{a^e\} = \begin{Bmatrix} \{a_i\} \\ \{a_j\} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{Bmatrix}$$

Donde $\{a_i\}$ es el vector columna de desplazamientos de cada nodo en coordenadas locales, que será de la forma:

$$\{a_i\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{Bmatrix}$$

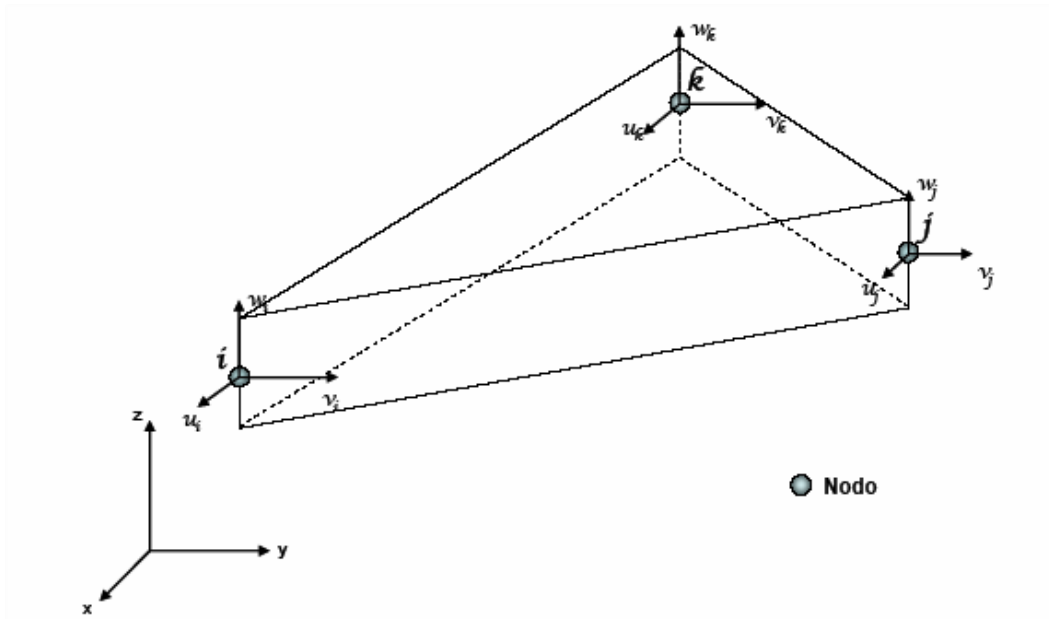


Ilustración 35. Vectores de desplazamiento del elemento

El campo de desplazamientos del elemento quedará definido por tanto por la relación:

$$\{u(x \ y \ z)\} = [N(x \ y \ z)] \cdot \{a^e\} = \left[[N_i(x \ y \ z)] \ [N_j(x \ y \ z), \dots] \right] \cdot \begin{Bmatrix} \{a_i\} \\ \{a_j\} \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

Donde $[N_i(x, y, z)], [N_j(x, y, z)] \dots$ son las denominadas matrices de forma, que se caracterizan por las siguientes propiedades:

- Son cuadradas, ya que el número de componentes del vector columna $\{u(x, y, z)\}$ es igual al número de componentes en $\{a_i\}, \{a_j\}, \dots$
- Cumplen $[N_i(x_i, y_i, z_i)] = [I] [N_j(x_j, y_j, z_j)] [0]$ si $i \neq j$ puesto que las funciones de interpolación toman los valores de los desplazamientos nodales en los mismos.
- Por lo tanto, si se considerasen las mismas funciones de forma en todas las componentes de $\{u(x, y, z)\}$ se deduce que $[N_i(x_i, y_i, z_i)] = N_i(x, y, z) \cdot [I]$ donde $N_i(x, y, z)$ función escalar de forma.

2.5.3. Campo de deformaciones del elemento

Las deformaciones se obtienen mediante derivadas parciales de las componentes del corrimiento y en general se escriben de la forma:

$$\{\gamma\} = [S] \cdot \{u\} = [S] \cdot [N] \cdot \{a^e\} = [B] \cdot \{a^e\} \text{ con } [B] = [S] \cdot [N]$$

Donde [S] es una matriz operacional que incluye las derivaciones parciales adecuadas, como se verá más abajo.

Teniendo en cuenta que [N]= [[Ni], [Nj...]] se tendrá:

$$[B] = [S] \cdot [N] = \left[[S] \cdot [N_i], [S] \cdot [N_j] \dots \right] = \left[[B_i], [B_j], \dots \right]$$

Donde $[B_i] = [S] \cdot [N_i]$

2.5.4. Campo de esfuerzos del elemento

El campo de esfuerzos $\{\sigma\}$, que contendrá el mismo número de elementos que el campo de deformaciones $\{\gamma\}$, vendrá dado por:

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\} = [D] \cdot \{\gamma\} - [D]\{\eta\}$$

Donde [D] es la matriz de rigidez del material y $\{\eta\}$ son las deformaciones térmicas.

2.5.5. Equilibrio del elemento

Suponiendo que existe una distribución de fuerzas volumétricas por unidad de volumen $\{FV\}$ y que en sus bordes libres (si los tuviese) pueden actuar además fuerzas superficiales por unidad de superficie $\{\varphi\}$, se trata de calcular el conjunto de fuerzas nodales $\{S\}$ que permite el equilibrio del elemento

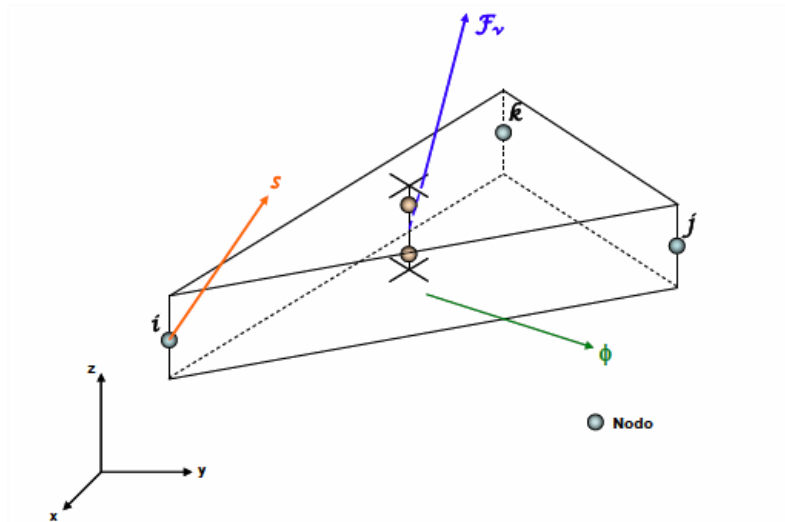


Ilustración 36. Fuerzas que intervienen en el equilibrio de un elemento

Aplicando el principio de los desplazamientos virtuales en correspondencia a un desplazamiento virtual del elemento arbitrario $\{\delta a^e\}$, el campo de desplazamientos de dicho elemento vendrá dado por:

$$\{\delta u\} = [N] \cdot \{\delta a^e\}$$

Mientras que el campo de deformaciones virtuales cinemáticamente consistente con $\{\delta a^e\}$ será:

$$\{\delta \gamma\} = [B] \cdot \{\delta a^e\}$$

De acuerdo con el principio de los desplazamientos virtuales resultará:

$$\{\delta a^e\} \cdot \{s\} + \int_V \{\delta u\}^T \cdot \{F_v\} \cdot dV + \int_S \{\delta u\}^T \cdot \{\phi\} \cdot dS = \int_V \{\delta \gamma\}^T \cdot \{\sigma\} \cdot dV$$

Sustituyendo los valores de $\{\delta u\}$, $\{\delta \gamma\}$ y $\{\sigma\}$ quedará:

$$\{\delta a^e\} \cdot \left[\{s\} + \int_V [N]^T \cdot \{F_v\} \cdot dV + \int_S [N]^T \cdot \{\phi\} \cdot dS - \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot [B] \cdot dV \cdot \{a^e\} + \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot \{\eta\} \cdot dV \right] = 0$$

Como la expresión anterior debe verificarse para cualquiera que sea el valor del desplazamiento virtual $\{\delta a^e\}$ que se considere, deberá ser:

$$\begin{aligned} \{s\} &= \left[\int_V [B]^T \cdot [D] \cdot [B] \cdot dV^e \right] \cdot \{a^e\} - \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot \{\eta\} \cdot dV^e - \int_V [N]^T \cdot \{W\} \cdot dV^e - \int_S [N]^T \cdot \{\phi\} \cdot dS^e = \\ &= [k^e] \cdot \{a^e\} + \{s_0\} - \{p^e\} \end{aligned}$$

Donde $[k^e]$ es la matriz de rigidez del elemento, $\{s_0\}$ son las fuerzas térmicas y $\{p^e\}$ la resultante de fuerzas volumétricas y superficiales en el elemento.

2.5.6. Integración del sistema de ecuaciones para el medio continuo

Una vez calculadas las matrices de rigidez de cada uno de los elementos y las resultantes de fuerzas equivalentes en los mismos, es necesario generar las matrices de transformación de coordenadas locales del elemento a coordenadas globales del medio continuo.

Se obtienen así las matrices de rigidez y los vectores de fuerzas equivalentes en ejes globales. Mediante un proceso de ensamblado, se constituirá el sistema completo de ecuaciones con los desplazamientos en los nodos como incógnitas, que se resolverá eliminando los grados de libertad dependientes como consecuencia de las diferentes ligaduras (i.e. los nodos comunes a uno y otro elemento tendrán los mismos desplazamientos).

A partir de sus soluciones y mediante la ecuación $\{\sigma\} = [D] * \{\varepsilon\} = [D] * \{\gamma\} - [D]\{\eta\}$ se recuperará el campo de esfuerzos en cada elemento.

2.6. Proceso para el análisis por elementos finitos.

El proceso de cálculo por elementos finitos consta de los siguientes pasos:

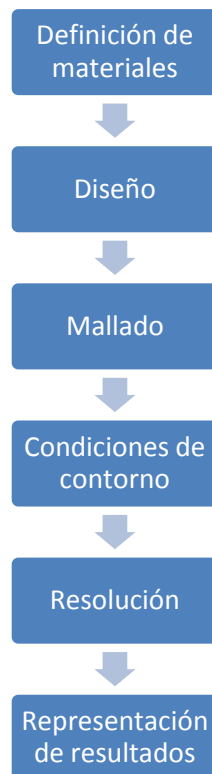


Ilustración 37. Fases del proceso de cálculo

Definición de materiales

En esta fase se definen las propiedades de los materiales empleados en cada una de las piezas de la estructura a analizar.

Diseño

En esta fase se define la geometría de las piezas. En este caso, se utiliza el módulo de diseño y Simulación Avanzada del programa NX.

Mallado

En esta fase se generan los elementos que componen la pieza a raíz de la geometría de las mismas. También se realizan los elementos de unión entre las diferentes piezas simulando uniones soldadas o atornilladas.

Condiciones de contorno

En esta fase definiremos las cargas, restricciones, contactos.

Resolución

Para resolver el modelo creado, primero se elige el tipo de cálculo, en este caso es un cálculo estático de resistencia.

Para este proyecto, se han representado los relativos a desplazamientos y tensiones de Von Mises.

Representación de resultados

Para la visualización de resultados, NX dispone de un módulo denominado Resultados que permite visualizar gráficamente los resultados sobre el modelo según escalas de colores.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.	64
3.1. Descripción de los elementos de la estructura	64
3.1.1. Conjuntos ensamblados	65
Conjunto techo	65
Columnas	66
Patines	68
Grupo secado horizontal gran caudal	68
3.2. Materiales	70
3.2.1. Propiedades mecánicas de los materiales empleados	70
3.2.2. Definición de materiales	70
3.3. CASO DE ESTUDIO 1: SECADO SOPORTADO POR CORREA.	71
3.3.1. Introducción.	71
3.3.2. Simplificación del modelo	72
3.3.3. Mallado	73
Mallado de superficies	73
Parámetros de calidad	77
Uniones entre mallas	79
3.3.4. Condiciones de contorno.	80
Análisis conjunto 1	81
Análisis conjunto 2	83
3.3.5. Resolución.	86
3.3.6. Post-procesado	86
Resultados Análisis conjunto 1	87
Resultados Análisis conjunto 2	98
3.3.7. Conclusiones. Caso 1.	105
3.4. CASO DE ESTUDIO 2: SECADO SOPORTADO POR SISTEMA DE ENCLAVAMIENTO.	105

3.4.1.	<i>Introducción.</i> _____	105
3.4.2.	<i>Simplificación del modelo.</i> _____	107
3.4.3.	<i>Mallado.</i> _____	108
3.4.4.	<i>Condiciones de contorno.</i> _____	109
3.4.5.	<i>Resolución.</i> _____	110
3.4.6.	<i>Post-procesado.</i> _____	111
3.4.7.	<i>Conclusiones. Caso 2.</i> _____	113

3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

3.1. Descripción de los elementos de la estructura

La estructura de la máquina está formada por diferentes conjuntos de chapa unidos por uniones atornilladas, soldadas y remachadas.

Para aumentar la rigidez de esta, las zonas de unión que soportan más cargas están formadas por placas de mayor espesor denominadas bridas de unión.

En este apartado se presenta la estructura de interés en este estudio de forma desglosada, profundizando en cada una de sus partes.

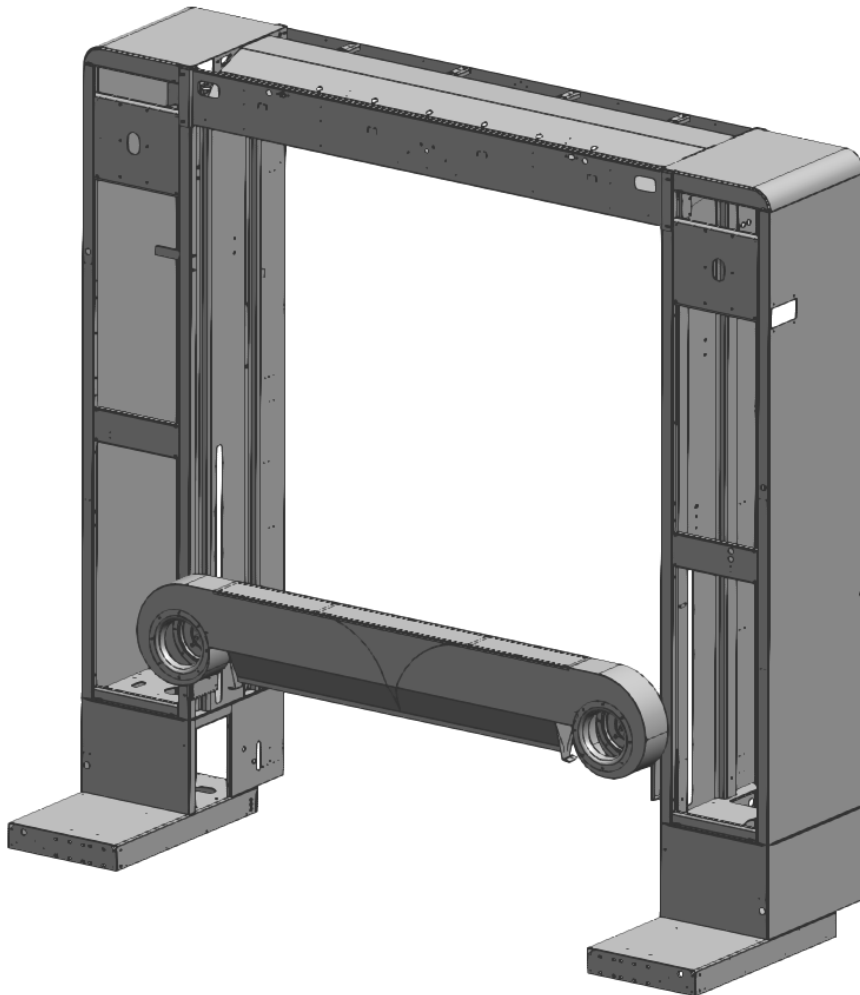


Ilustración 38. Estructura de estudio M12+

Para conocer más a fondo el montaje de la estructura se puede consultar los planos del anexo III donde se muestran todas las piezas y el montaje de la estructura completa.

3.1.1. Conjuntos ensamblados

Las diferentes piezas que forman la estructura están compuestas de chapas plegadas y soldadas que se ensamblan entre ellas por medio de tornillos y soldadura. A continuación, se describen y desglosan las partes principales de la estructura:

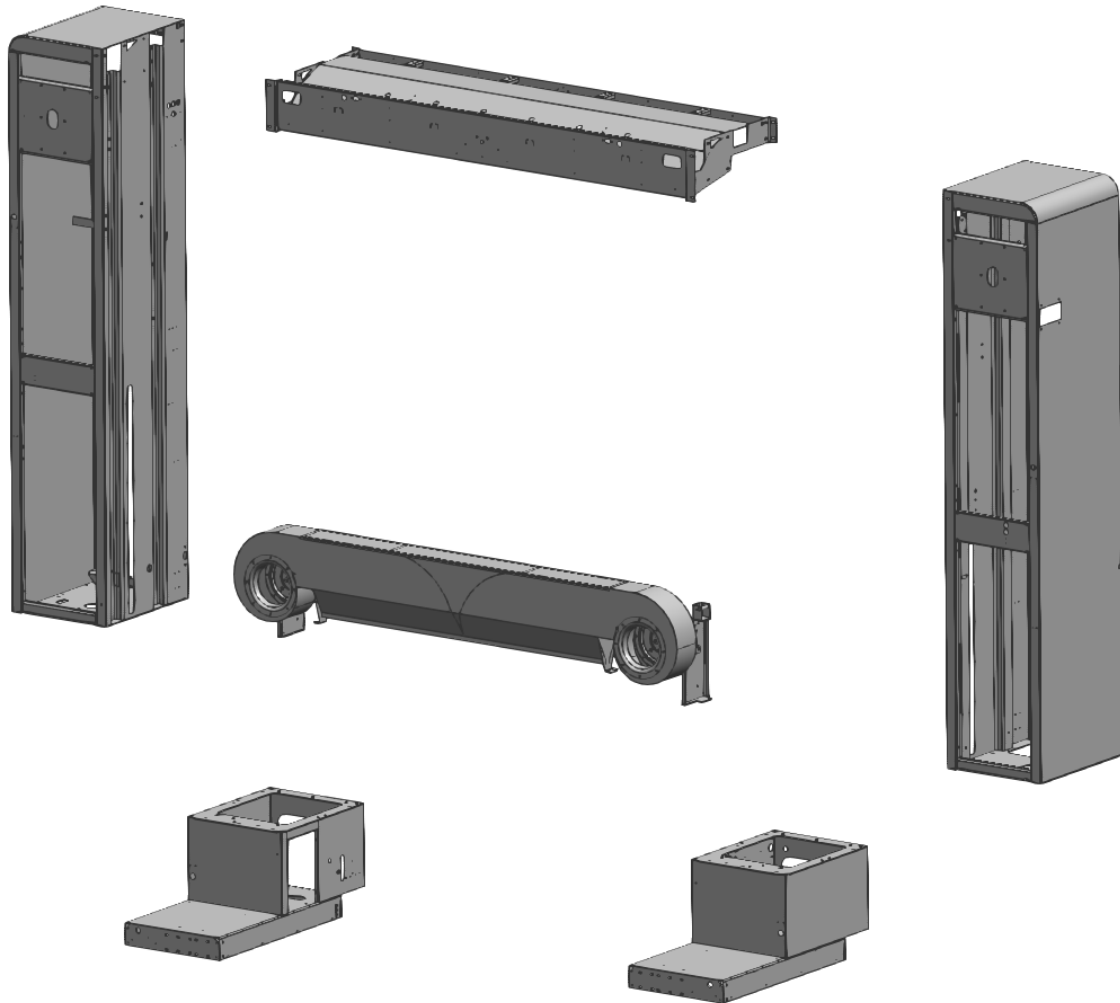


Ilustración 39. Desglose de las partes principales objeto del estudio

Conjunto techo

El techo está formado por dos partes principales independientes, las bridas de unión y el perfil superior. Este perfil está compuesto por una chapa plegada y reforzada mediante pequeños elementos para darle rigidez a la estructura.

Sobre este conjunto pasan las tomas de alta presión y en su parte central se encuentra anclado el grupo de válvulas cuyo mantenimiento genera la problemática que da pie a este proyecto.

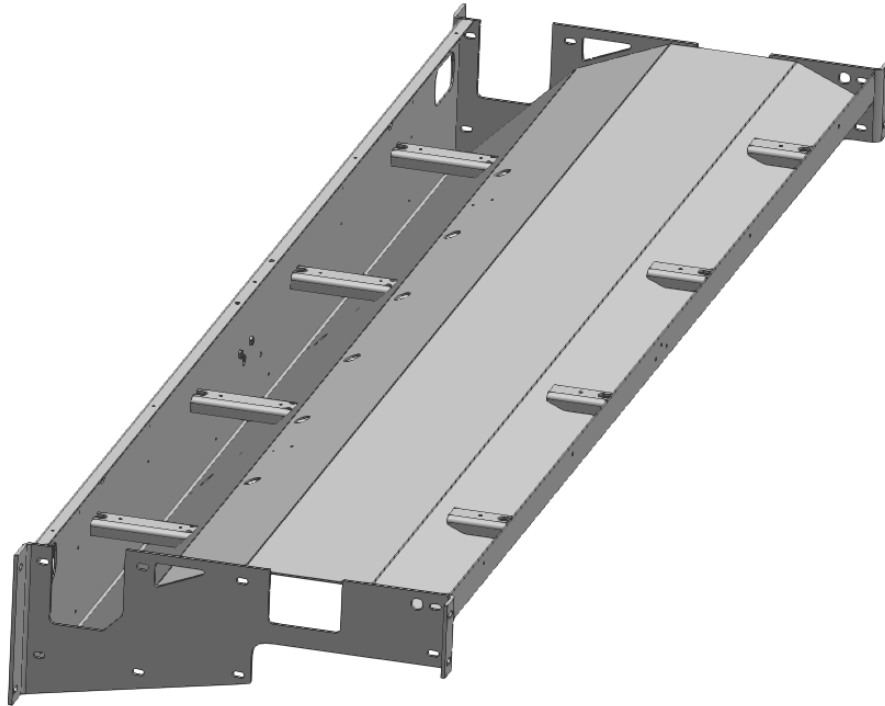


Ilustración 40. Conjunto techo.

Columnas

La máquina está formada por dos columnas. En una se sitúa la maniobra eléctrica que está protegida por un armario eléctrico y encapsulada con una doble puerta y en la otra la maniobra hidráulica y neumática. Además, en la parte inferior se colocan las botellas de los diferentes productos que rocían el vehículo.

En la parte trasera de ambas columnas se sitúan también las toberas laterales del secado, una en cada columna.

La parte estructural de ambas columnas está formada por las mismas piezas, mostradas a continuación.

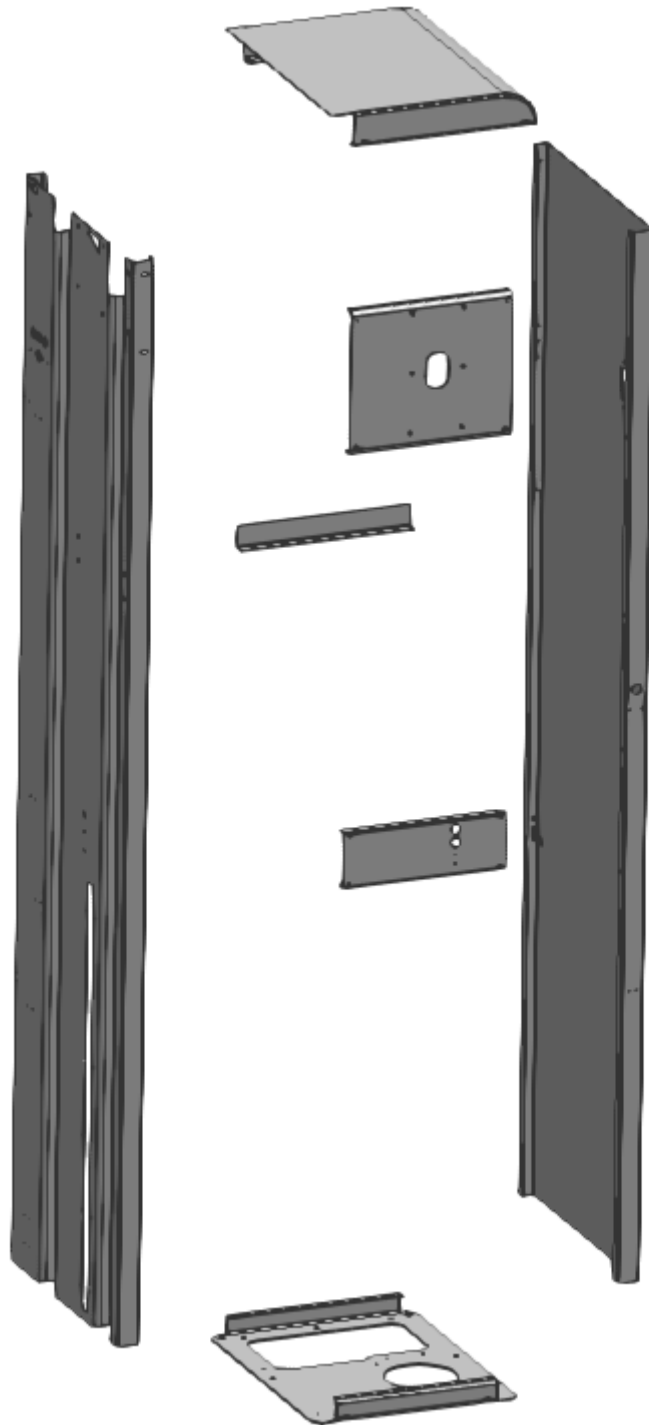


Ilustración 41. Despiece de la columna izquierda

La columna está formada por diferentes subpiezas. Todas unidas mediante uniones soldadas.

Este conjunto de subpiezas forma una estructura con doble cajón. Además, tiene situados a diferentes alturas chapas plegadas que hacen de bastidor dándole rigidez a la viga.

La chapa inferior, de mayor espesor, permite la unión entre columna y patín.

Patines

Los patines son los elementos que soportan la carga de toda la estructura. En ellos se sitúan los dispositivos lavaruedas, en caso de contar la máquina con este opcional. En caso de no llevarlos, el interior del patín queda vacío.

En la base del patín se sitúan las ruedas motrices con sus motorreductores y las ruedas libres, que son las que permiten el movimiento de la máquina por los raíles.

Al igual que las columnas, los dos patines que soportan la máquina son prácticamente iguales, por lo que se muestra únicamente uno de ellos.

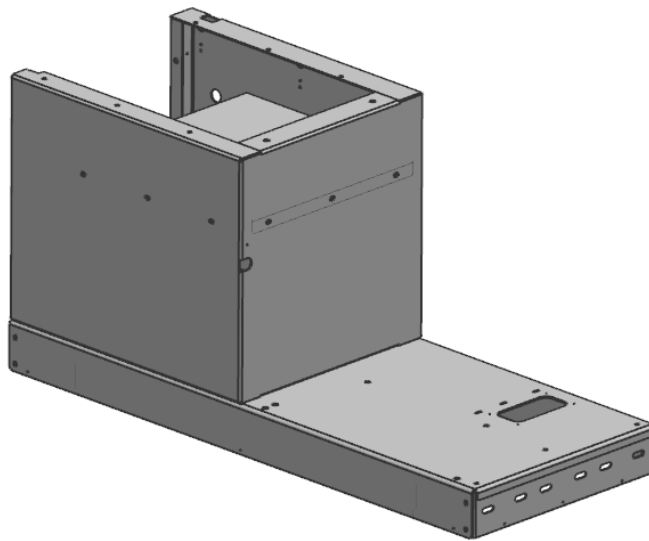


Ilustración 42. Patín derecho ensamblado

En el caso de nuestro estudio, no se tendrán en cuenta los patines, por lo que no nos extenderemos en su descripción.

Grupo secado horizontal gran caudal

Este conjunto de elementos será de especial atención para este proyecto, ya que, sobre él, será donde se aplique la carga que dará pie al estudio.

El grupo secado horizontal está formado por una tobera y dos carros de desplazamiento.

La tobera a su vez está compuesta por la unión de una serie de chapas plegadas, y va anclada a los carros a través de los motores del secado, mediante bridas de unión.

Los carros permiten el deslizamiento del grupo secado horizontal a través de las guías presentes en las columnas, mediante unas ruedas ensambladas en los mismos.

En la imagen siguiente se muestran los principales elementos de interés de éste conjunto.

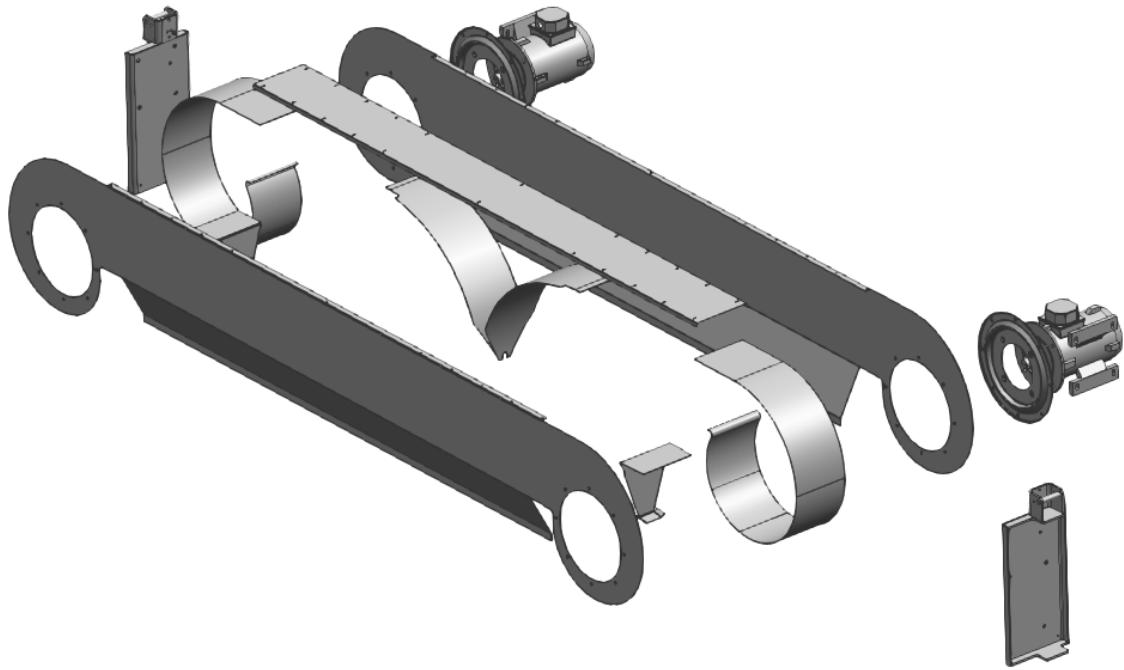


Ilustración 43. Elementos del grupo secado horizontal gran caudal

El desplazamiento en sentido vertical del conjunto viene dado por medio de un pistón hidráulico, que mediante un mecanismo de poleas, genera el desplazamiento de una correa dentada, unida a los extremos de cada carro.

El paso de la citada correa por la parte superior de la estructura se produce a través de dos soportes con polea situados uno en cada extremo superior de las columnas.



Ilustración 44. Soportes polea para el paso de la correa dentada

3.2. Materiales

3.2.1. Propiedades mecánicas de los materiales empleados

Las chapas DD11 y DD12 empleadas en la fabricación de la mayor parte de la estructura del puente en estudio se caracterizan por ser chapas de acero laminadas en frío con protección por capa de aceite en ambas caras.

Este tipo de chapas está indicado para su paso por operaciones de plegado y embutición ligera, así como para la realización de piezas más complejas y delicadas por embutición profunda.

	Re(N/mm ²) 1,5<=d<2,00	Re(N/mm ²) 2<=d<3,00	Rm(N/mm ²)	A80(%) 1,5<=d<2,00	A80(%) 2<=d<3,00	A5(%) 3,00<=d<8,0 0
DD11	170-360	170-340	<=440	>=23	>=24	>=28
DD12	170-340	170-320	<=420	>=25	>=26	>=30
DD13	170-330	170-310	<=400	>=28	>=29	>=33
DD14	170-310	170-290	<=380	>=31	>=32	>=36

Tabla 1. Propiedades mecánicas aceros DD11 y DD12

En cuanto a la tobera del secado horizontal, prácticamente la totalidad de sus piezas de chapa están fabricadas en aleación de aluminio (aluminio-magnesio 5754 H22).

Estado	-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
0	230	100	24	220	100	24	220	100	26
H24	270	215	11	270	215	11	270	210	12

Tabla 2. Propiedades mecánicas aluminio 5754 H22

3.2.2. Definición de materiales

Para realizar el cálculo mediante NX Nastran, es necesario suministrar al programa las propiedades físicas de los materiales a emplear. En nuestro caso, caracterizaremos los materiales de la siguiente forma:

Para piezas de acero, utilizaremos el material "Steel-Rolled", de propiedades similares a nuestros aceros DD11 y DD12:

- Módulo de Elasticidad: E 206.000 N/mm²
- Coeficiente de Poisson: ν 0,3
- Densidad: ρ 7.850 kg/m³
- Límite elástico: 235 N/mm² (kPa)
- Tensión de rotura: 340 N/mm² (kPa)

Para piezas de aluminio, utilizaremos el material Aluminium A_356:

- Módulo de Elasticidad: $E 70.000 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson: $\nu 0,3$
- Densidad: $\rho 2670 \text{ kg/m}^3$
- Límite elástico: $229 \text{ N/mm}^2 \text{ (kPa)}$
- Tensión de rotura: $263 \text{ N/mm}^2 \text{ (kPa)}$

3.3. CASO DE ESTUDIO 1: SECADO SOPORTADO POR CORREA.

3.3.1. Introducción.

El primer caso de estudio consiste en simular como se comportaría la estructura de la máquina al ejercer una fuerza de 150 kg (1470 N) sobre la parte central de la cara superior de la tobera del secado horizontal. Esta fuerza simularía el peso de un operario que realiza tareas de mantenimiento subido en esta zona.

El peso del grupo secado, medido en taller, asciende a 156 kg (1528,8 N).

Como comentamos en puntos anteriores, el grupo secado horizontal se encuentra sujeto mediante las correas dentadas que sirven a su vez para generar el movimiento de traslación vertical.

Estas correas están fabricadas por un material compuesto formado por un núcleo de Poliuretano termoplástico 92 ShA y cables de Kevlar. Atendiendo a la hoja de características de la correa suministrada por el fabricante, correas MEGADYNE T10 de anchura 25 mm, obtenemos el valor de la carga máxima de rotura de las mismas, 11285 N.

Debido a la alta tensión de rotura de las correas y a la carga total a soportar estimada, 2998,8 N (de la suma del peso del operario, 1470 N; mas el peso del secado, 1528,8 N); consideramos que las correas no romperán, de ningún modo, en condiciones normales de funcionamiento.

De este modo, de aquí en adelante obviaremos la acción de las correas en este estudio, considerando como si existiese una unión fija entre los elementos a enlazar por esta.

Por lo tanto, para llevar a cabo el análisis y, con el objetivo de simplificar y facilitar el cálculo, estudiaremos para este caso dos conjuntos, por separado:

- Conjunto 1: formado por columnas, conjunto techo y los soportes con polea que guían la correa a lo largo de la estructura.
- Conjunto 2: formado por el grupo secado horizontal, comprendiendo lo que es en sí la tobera y los carros que permiten su desplazamiento.

3.3.2. Simplificación del modelo

Para realizar el mallado es necesaria la simplificación del modelo generado en la fase de diseño.

Con esta simplificación eliminaremos todos los pequeños elementos que no sean relevantes para el estudio (pequeños agujeros, redondeos, etc.), ya que de lo contrario nos veríamos obligados a utilizar un tamaño de malla muy pequeño y se dificultaría enormemente el proceso de cálculo.

Otra parte de la simplificación comprende la identificación de los espesores y materiales de chapa de cada pieza por colores. De esta forma conseguimos distinguir y reconocer fácilmente cada uno de los tipos de chapa que se van a mallar.

La simplificación del modelo original (cedido por ISTOBAL S.A.) se ha llevado a cabo con NX Nastran, que dispone de las herramientas para preparar el modelo para el mallado.

Los resultados finales de los modelos simplificados son los que se muestran en las imágenes inferiores, a partir de los cuales se puede proceder a mallar.

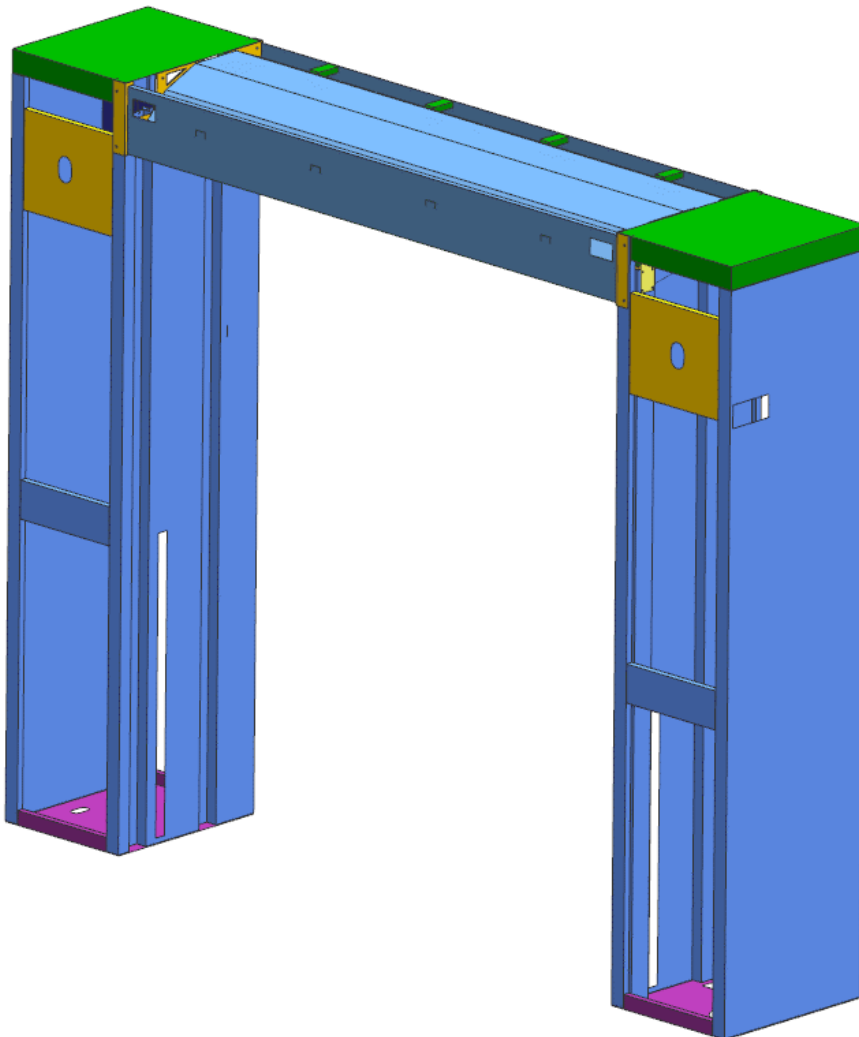


Ilustración 45. Estructura simplificada del conjunto 1

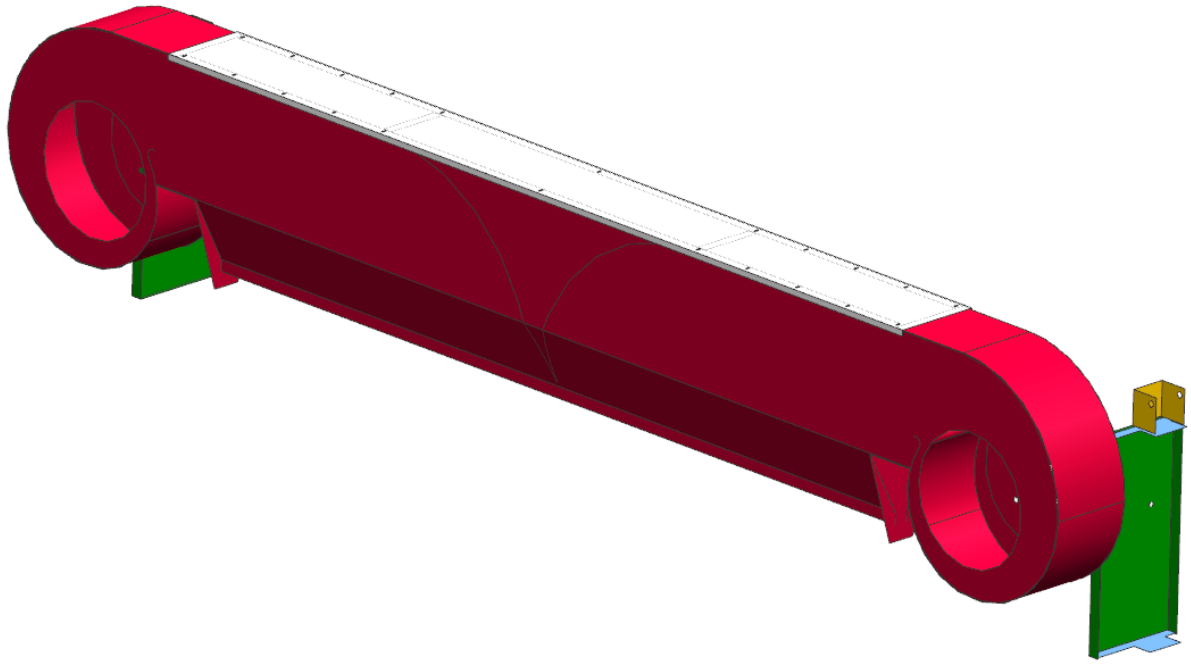


Ilustración 46. Estructura simplificada del conjunto 2

3.3.3. Mallado

Mallado de superficies

El mallado es uno de los pasos más importantes y laboriosos en la elaboración de un cálculo con elementos finitos.

El proceso comienza por la determinación de los tipos de elementos empleados en cada parte del modelo. En nuestro caso, al tratarse de una estructura de chapa en su totalidad, utilizaremos elementos del tipo Thin-Shell (sólidos de pared delgada).

Este tipo de elementos son los más empleados en la simulación de estructuras 3D formadas por piezas de chapa y se caracterizan por tener pequeño espesor respecto a su área.

Además, admiten tensión y deformación en las tres direcciones, utilizando la formulación de Kirchhoff que no considera la deformación por cortante.

Existen varias modalidades dependiendo de su forma (triangular o cuadrada) y del número de nodos que intervienen. Con un mayor número de nodos se obtiene una mayor discretización del problema y, en consecuencia, mayor precisión de cálculo. Sin embargo, un alto número de nodos puede ralentizar excesivamente dicho cálculo.

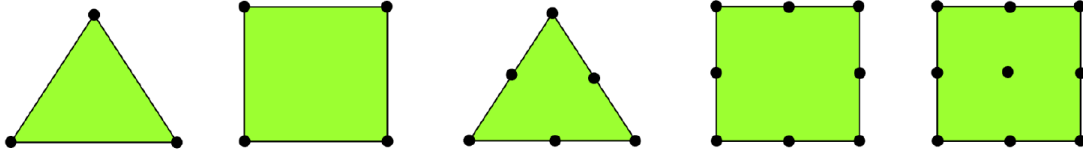


Ilustración 47. Elementos tipo Thin-Shell

Debido a la gran envergadura del modelo y a que es un ensayo de una estructura generalizada sin entrar en detalles, el modelo CQUAD4 es el más idóneo para el mallado de la misma.

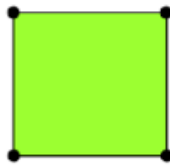


Ilustración 48. Elemento CQUAD4

Con un elemento más complejo se podrían agotar los recursos del procesador o tardar demasiado tiempo realizar los cálculos.

Aparte de los elementos CQUAD4, también usaremos elementos CTRIA3 en algunas piezas. Éstos son elementos Thin-Shell triangulares formados por tres nodos que se utilizan principalmente para que la malla pueda adaptarse a zonas con radios de curvatura.

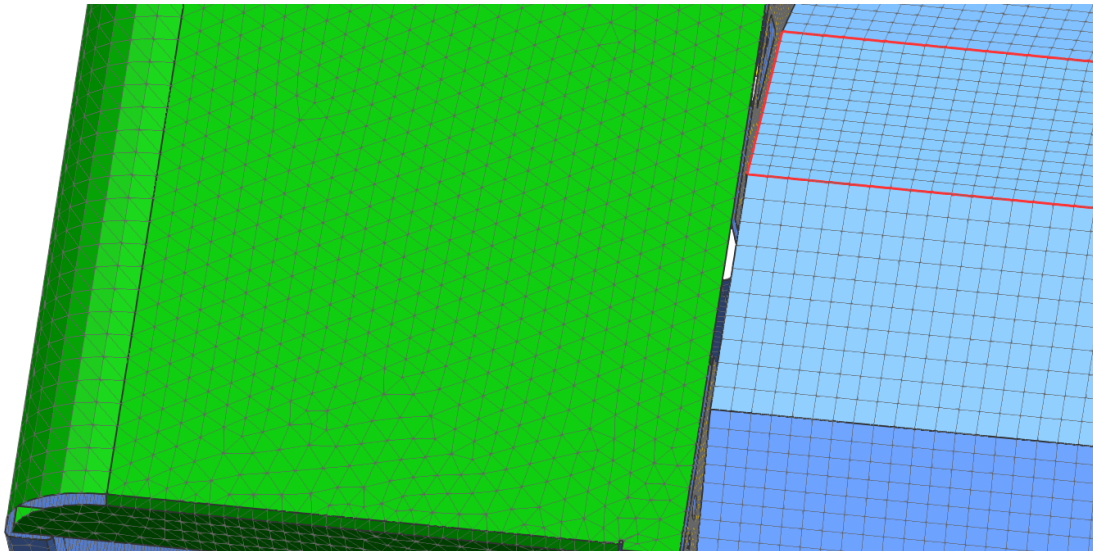


Ilustración 49. Parte de la estructura con ambos tipos de elementos

El programa nos permite que el mallado se encuentre totalmente relacionado con la geometría.

Variando los valores de tamaño de malla ajustamos los elementos a la geometría sin que se produzca una gran distorsión en ellos. Esto es muy importante ya que, como veremos más adelante, de ello dependen los parámetros de calidad de la malla.

El aspecto final de la estructura mallada es el siguiente:

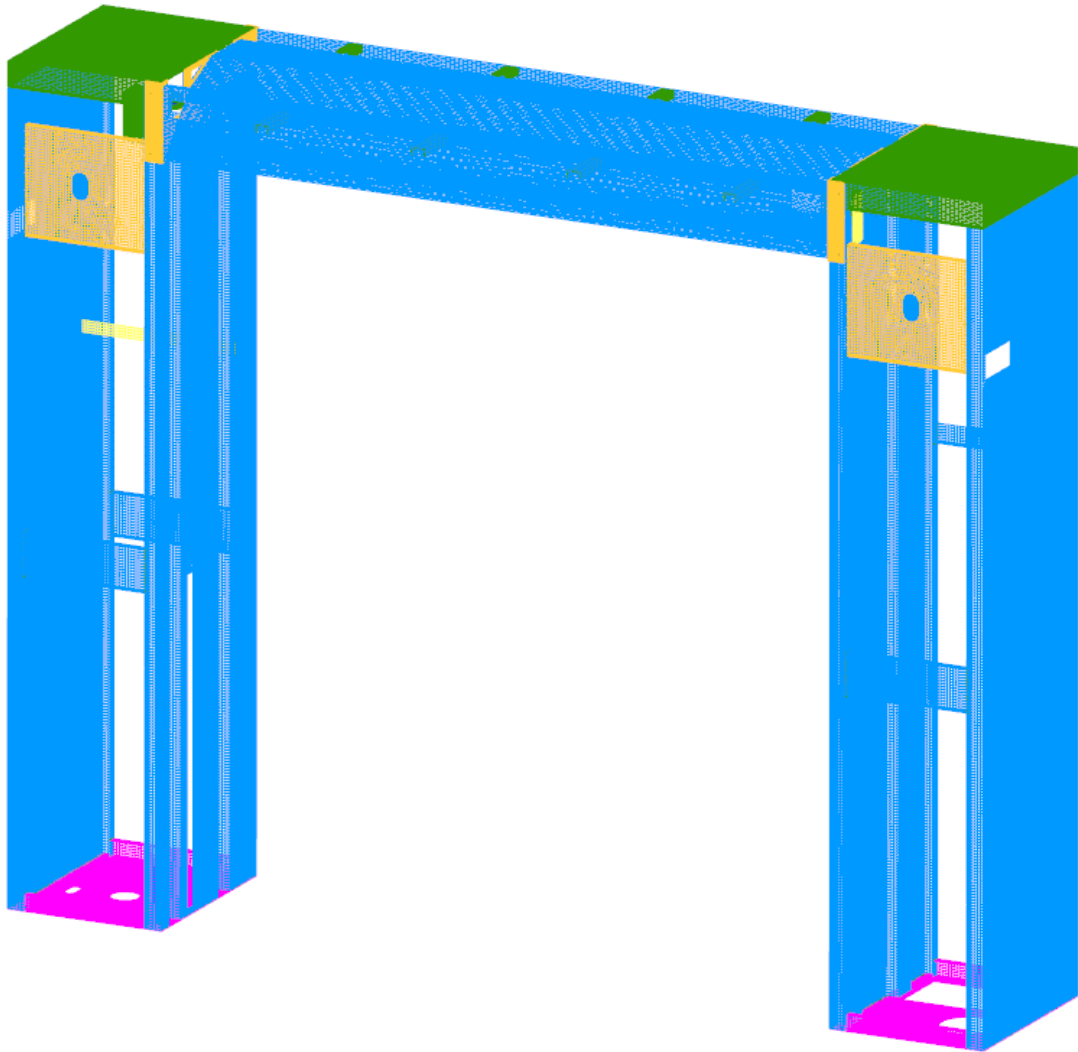


Ilustración 50. Conjunto 1 completamente mallado

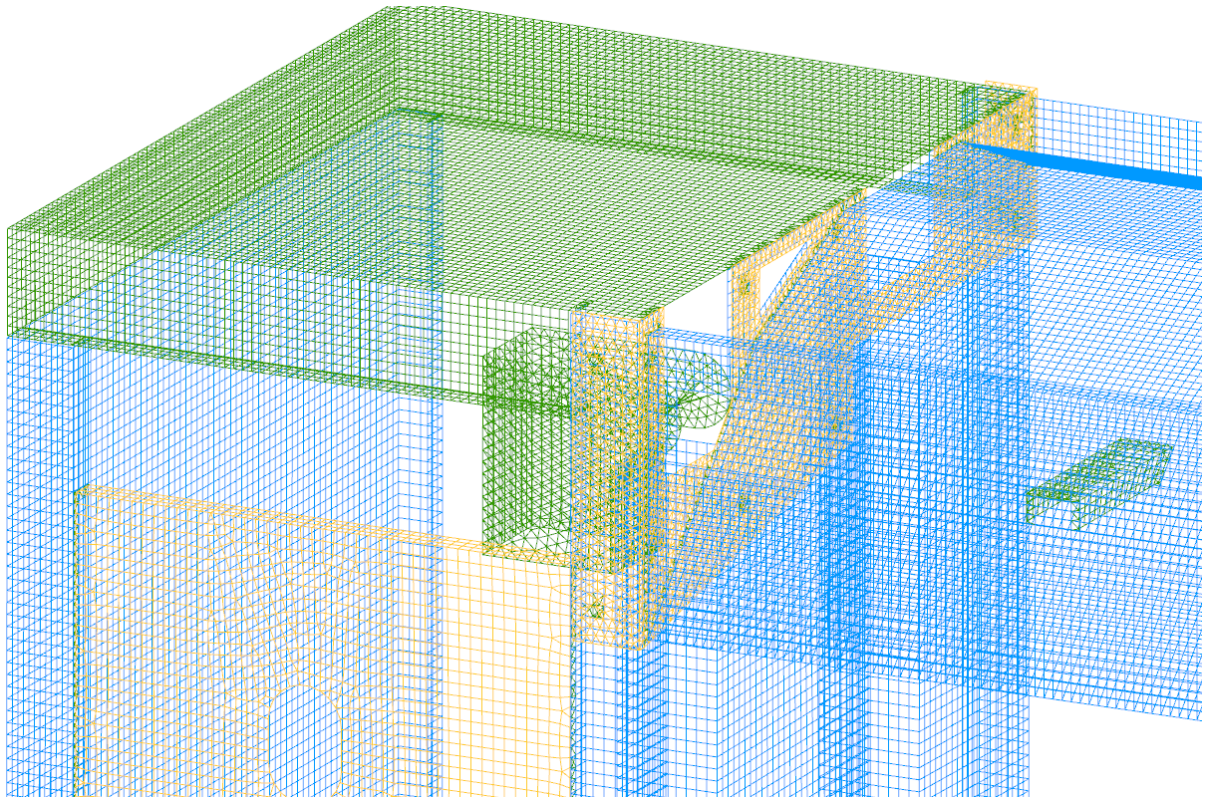


Ilustración 51. Detalle estructura mallada

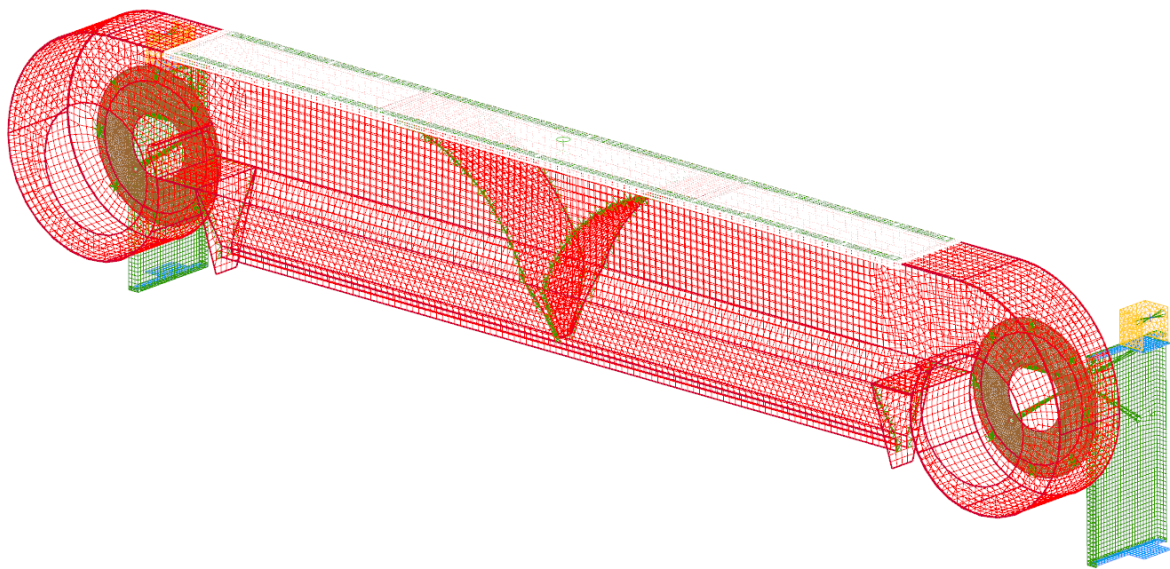


Ilustración 52. Conjunto 2 completamente mallado

Parámetros de calidad

A cada una de las mallas generadas se le asignan los valores de material y espesor propios de la pieza y se realiza una comprobación de sus parámetros de calidad en base a valores establecidos.

Los principales criterios que determinan la calidad de una malla son:

- **Jacobianos:** En ocasiones puede ocurrir que se generen elementos invertidos, es decir, elementos cuyos vértices están cruzados y, por tanto, el determinante de la matriz o jacobiano es negativo. Por tanto, se verifica que no existan elementos cuyo jacobiano sea negativo.
- **Skew:** Mide la variación entre los ángulos de los elementos respecto al elemento base. En cuadriláteros es la suma de todas las diferencias entre 90° (ángulo ideal) y el ángulo de cada uno de los vértices.
- **Taper:** Se utiliza con elementos cuadrangulares. Se obtiene al dividir los elementos por una diagonal obteniendo dos áreas triangulares y posteriormente por la otra diagonal obteniendo otras dos áreas. Haciendo la media de estas cuatro áreas y calculando el error relativo de cada una de las áreas con el área media calculada, se obtiene el valor buscado. Se suele pedir que el valor del Taper no sea superior a 0,5.
- **Warp:** Mide el alabeo de cada elemento. Suele tener interés en elementos con nodos intermedios. Se suele pedir que este ángulo de alabeo no supere los 30° .
- **Aspect Ratio:** consiste en la relación entre el lado mayor y menor del elemento.
- **Distorsión:** consiste en la relación entre el volumen o área ideal y la real. Es el factor más importante. Se suele forzar a que la distorsión como mínimo sea superior a 0,7.
- **Stretch:** El estrechamiento es un parámetro íntimamente relacionado con la distorsión. En elementos cuadrangulares, es la relación del cociente entre la diagonal mayor y el lado mínimo del elemento distorsionado, frente al cociente del elemento ideal. Se recomienda que sea superior a 0,7.

```

=====
Results of Element Shape Check
=====

Overview

Elements                Number Failed  Number Checked
                        0              200604

Check                   Number Failed  Worst Value
Jacobian Sign           0              -N/A-
Jacobian Zero           0              4.05366
Volume                  0              -N/A-
Axisymmetric            0              -N/A-
Consistent Y            0
Axisymmetric +X        0              -N/A-
Aspect Ratio            0              2.13148
Skew Angle              0              31.69676
Maximum Interior       0              141.77872
Angle
Minimum Interior       0              44.44815
Angle
Taper                  0              0.46278
Warp Factor             0              0.00001
Face Warp              0              -N/A-
Coefficient
Edge Point Length     0              -N/A-
Ratio
Element Offset        0              -N/A-
Length Ratio
    
```

Ilustración 53. Tabla de parámetros de calidad de mallado para el conjunto 1

```

=====
Results of Element Shape Check
=====

Overview

Elements                Number Failed  Number Checked
                        0              44077

Check                   Number Failed  Worst Value
Jacobian Sign           0              -N/A-
Jacobian Zero           0              2.48570
Volume                  0              -N/A-
Axisymmetric            0              -N/A-
Consistent Y            0
Axisymmetric +X        0              -N/A-
Aspect Ratio            0              2.04060
Skew Angle              0              30.18399
Maximum Interior       0              142.17096
Angle
Minimum Interior       0              49.37774
Angle
Taper                  0              0.46890
Warp Factor             0              0.00223
Face Warp              0              -N/A-
Coefficient
Edge Point Length     0              -N/A-
Ratio
Element Offset        0              -N/A-
Length Ratio
    
```

Ilustración 54. Tabla de parámetros de calidad de mallado para el conjunto 2

Con los parámetros de calidad obtenidos para todas las mallas de la estructura, resumidos en la tabla de la imagen anterior para los dos conjuntos, podemos afirmar la buena calidad de la malla, ya que la mayor parte de los elementos son casi elementos patrón y los elementos con peor calidad no exceden los márgenes indicados.

Uniones entre mallas

Una vez tenemos las piezas mallas, debemos realizar las uniones entre las piezas tal y como se realiza en el modelo real. Para ello se emplean elementos que simulan el comportamiento de las soldaduras y de los tornillos, en concreto los del tipo RBE2 y RBE3:

Los elementos RBE2, son elementos 1D que se caracterizan por ser completamente rígidos sin posibilidad de deformarse.

Para simular la unión entre dos chapas con un tornillo utilizamos estos elementos, ya que una unión atornillada es completamente rígida y no se deforma. En la siguiente imagen vemos un ejemplo de este tipo de unión.

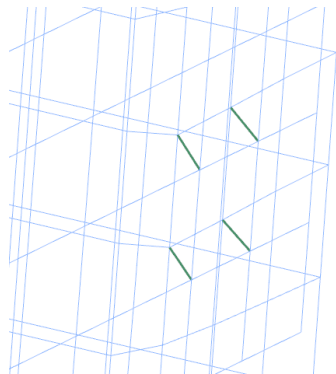


Ilustración 55. Cuatro elementos RB2 simulando una unión rígida

Los elementos RBE3 son también elementos 1D, pero si permiten la deformación y no son completamente rígidos.

Las uniones soldadas se pueden representar como una combinación de elementos RBE2 y RBE3 debido a que no tienen un comportamiento rígido, pero tampoco completamente elástico.

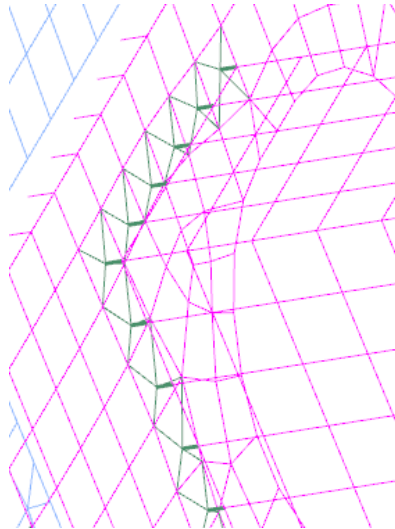


Ilustración 56. Detalle de unión soldada con combinación de elementos RBE2 y RBE3

3.3.4. Condiciones de contorno.

La determinación de las condiciones de contorno en elementos finitos es seguramente la fase más compleja del estudio, no tanto por la complejidad del programa sino por el intento de asemejar la simulación al caso real.

En esta fase la experiencia y el conocimiento de la estructura a analizar es primordial. Hasta el momento, el diseño de la geometría del modelo y el mallado del mismo atienden a razones objetivas, pudiéndose ajustar este último mejorando los parámetros de calidad de la malla.

Sin embargo, la incorrecta imposición de las condiciones de contorno nos llevará, con toda seguridad, a la obtención de resultados totalmente equívocos y erróneos ya que, aunque los resultados sean correctos y el programa no presente ningún error, el comportamiento del modelo no se ajustará con la realidad.

Por todo ello, siempre deberemos de intentar colocar las cargas, restricciones y el resto condiciones, de la forma más real posible.

Para todos aquellos casos en que no podamos simular con exactitud estas condiciones de contorno, los resultados obtenidos los deberemos manejar con el debido escepticismo.

Por último, destacar que el programa basa el modelo de elementos finitos en la geometría. Por tanto, las condiciones de contorno pueden ser introducidas sobre elementos de la misma (vértices, aristas, superficies...) o bien sobre los propios elementos finitos (nodos, elementos...).

A continuación, se detallarán las condiciones de contorno asumidas para el análisis de cada uno de los conjuntos estudiados en este caso:

Análisis conjunto 1

- **Restricciones:**

Para el análisis del conjunto 1 consideramos que la máquina se encuentra fija al suelo.

Como las columnas de la máquina apoyan uniformemente sobre los patines, (y estos a su vez con el suelo, a través de sus ruedas), hemos añadido restricciones fijas o empotramientos en las caras de apoyo de las bases de las columnas, que corresponde a la zona donde apoyan sobre los mismos. De este modo, podemos obviar la influencia de los patines en este estudio.

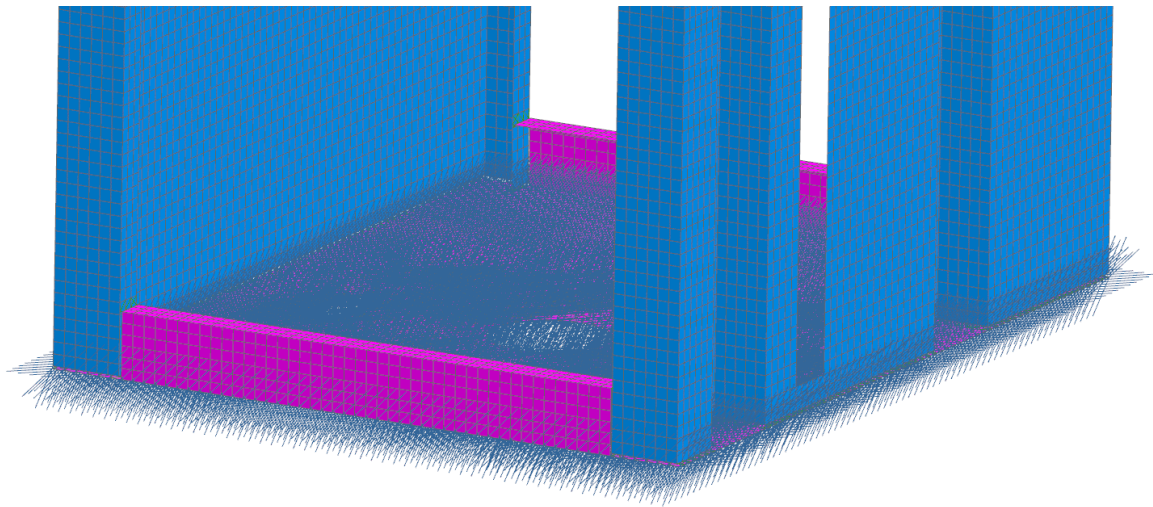


Ilustración 57. Detalle de empotramiento en la base de las columnas. Conjunto 1. Caso 1.

- **Cargas**

En este supuesto, se le aplica a la estructura la carga que corresponde al peso en suspensión que se transmite a través de la correa, es decir, el relativo a la suma del peso del propio grupo secado horizontal, y el peso del operario (estimado en 150 kg).

El peso del grupo secado, medido en taller, asciende a 156 kg.

Por lo tanto, el peso total a soportar será de 306 kg, o lo que es igual, 2998,8 N.

En lo relativo a este conjunto, las cargas se aplicarán sobre los soportes con polea que guían la correa a lo largo de la máquina.

Para simular la aplicación de esta fuerza, se considerará como punto de aplicación de la misma el punto medio entre los orificios que alojan la guía sobre la que giran las poleas.

Se unirá con elementos rígidos (RB2) este punto, con el contorno de los orificios, simulando una unión fija.

La carga a aplicar en cada punto corresponde a la mitad de la carga total, unos 1499,4 N.

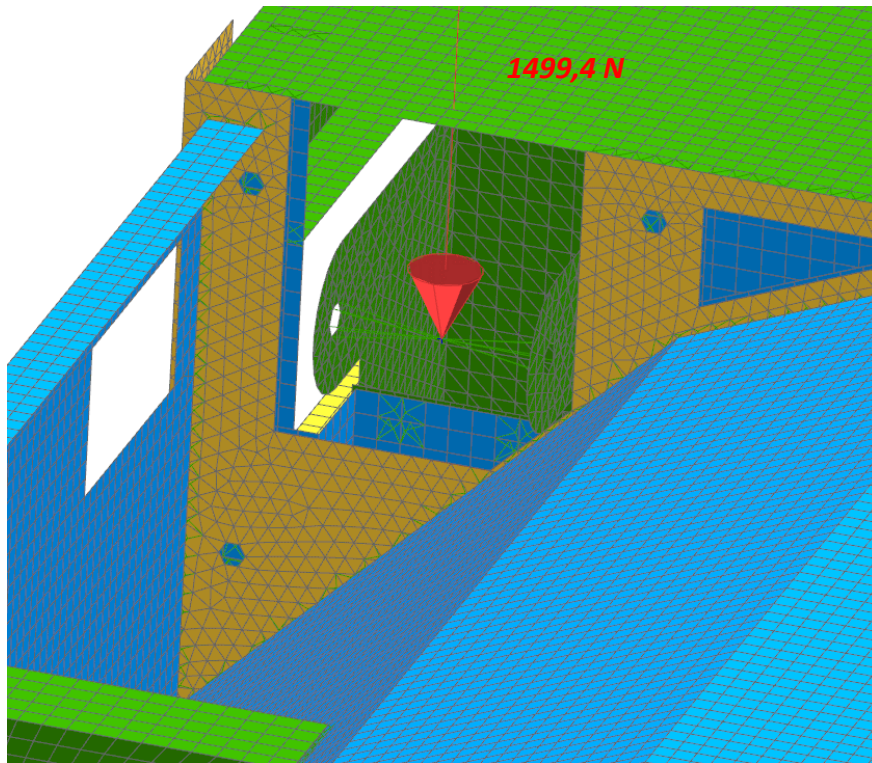


Ilustración 58. Detalle de fuerza aplicada y punto de aplicación. Conjunto 1. Caso 1.

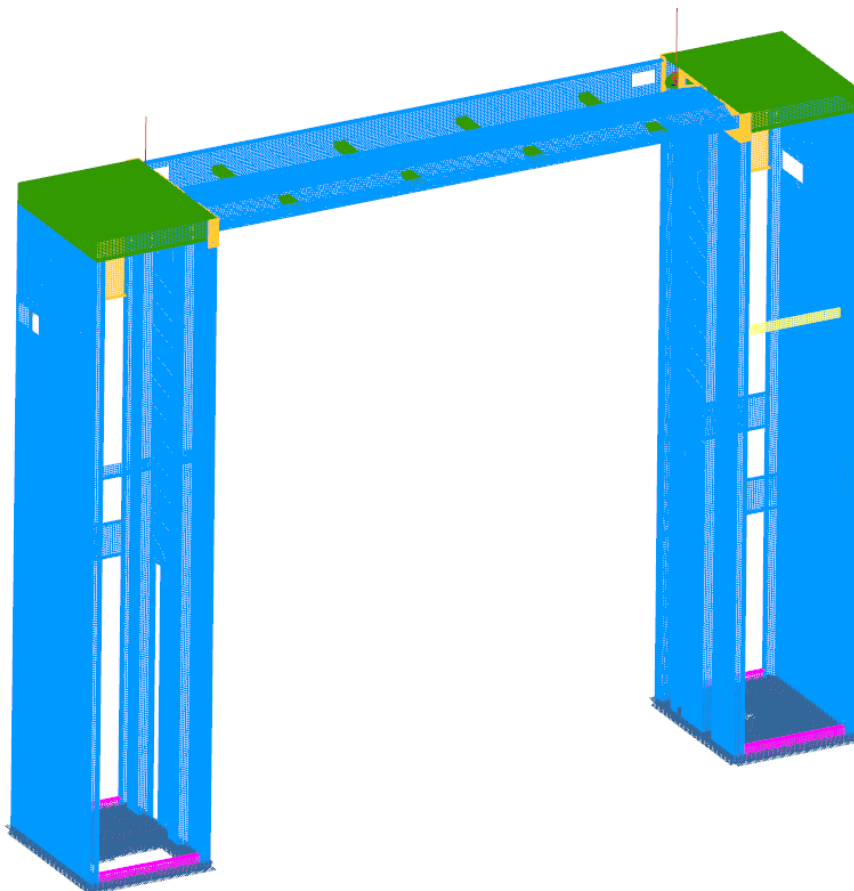


Ilustración 59. Condiciones de contorno sobre conjunto 1. Caso 1.

Análisis conjunto 2

- **Restricciones:**

Para el análisis del conjunto 2 consideramos que el grupo secado horizontal se encuentra suspendido sobre el resto de la estructura a través del enganche (sobre el que va anclada la correa) en cada uno de sus carros.

Para simular la unión entre correa y carros, restringiremos el punto medio entre los orificios que alojan la guía sobre la que apoya la correa. En ese punto, y para cada carro, estableceremos una restricción de cilíndrica, permitiendo únicamente el giro sobre el mismo.

A su vez, para simular el único movimiento permitido de los carros (sentido vertical), debido al ajuste que ejercen sus ruedas interiores sobre la guía de desplazamiento de la columna, restringiremos el movimiento de los mismos únicamente permitiendo su desplazamiento vertical.

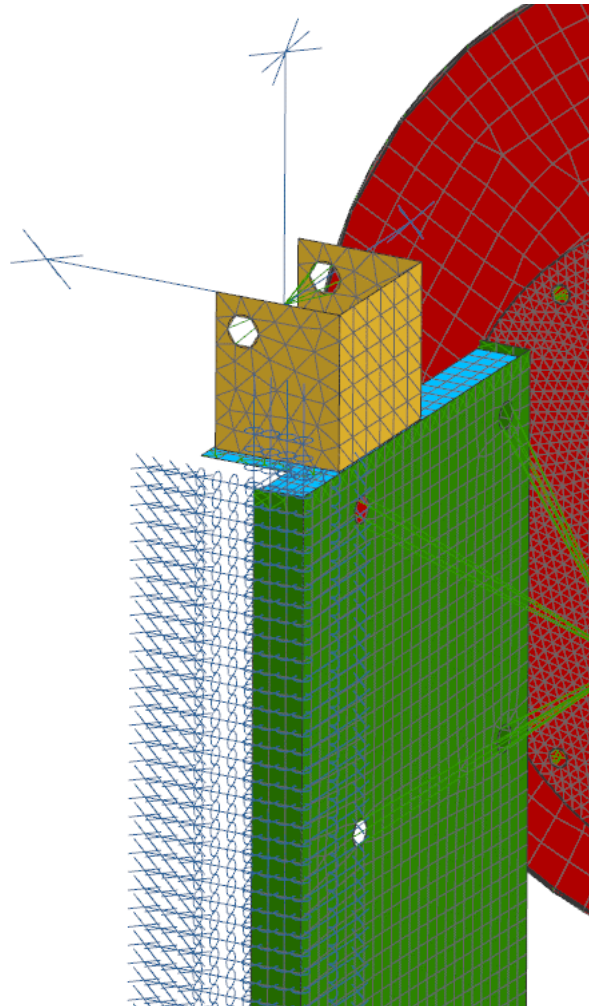


Ilustración 60. Detalle de restricciones en carros. Conjunto 2. Caso 1.

- **Cargas**

En este supuesto, se pretende simular la carga que corresponde al peso en suspensión que representa todo el grupo secado horizontal más el operario que se encuentra subido al mismo.

Para ello, se procede, en primer lugar, a aplicar la carga relativa al operario. Esta carga corresponde a 150 kg, lo que es igual a aplicar una fuerza en sentido vertical hacia abajo de 1470 N sobre la parte central de la cara superior de la tobera, como se muestra en la siguiente imagen.

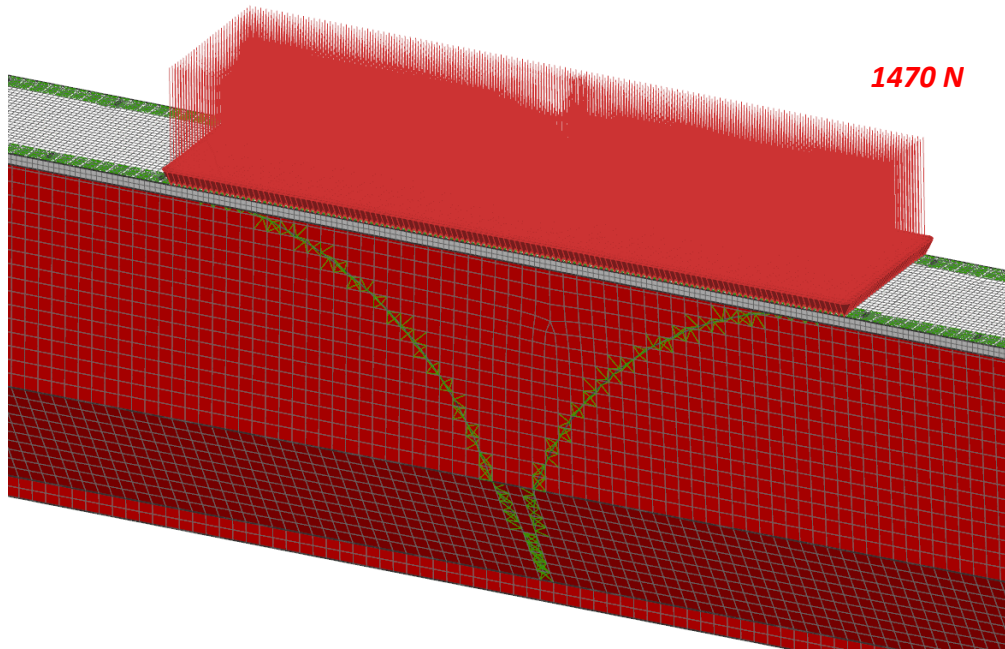


Ilustración 61. Detalle de fuerza aplicada y punto de aplicación relativa al operario. Conjunto 2. Caso 1

Para simular el resto de peso en suspensión, relativo a los elementos del grupo secado horizontal que no están incluidos en el modelo (motores, anillo de seguridad, sensores, cableado, ruedas, enclavamiento de seguridad, etc.), determinamos el mismo de la siguiente forma.

Por un lado, obtuvimos la medida real del peso del secado que, como se comentó anteriormente, es de 156 kg (1528,8 N).

A este peso se le resta el que corresponde a los elementos modelados en este estudio. Para ello, determinamos su valor a través de su volumen y la densidad del material.

Material	Volumen total (mm ³)	Densidad del material (kg/mm ³)	Masa (Kg)	Peso (N)
Piezas en aluminio	5602620,90	2,66E-06	14,90	146,05
Piezas en acero	1377664,75	7,85E-06	10,81	105,98
		total	25,72	252,03

Tabla 3. Peso de los elementos modelados.

De este modo, el peso de los elementos no comprendidos en el modelado es igual a 130,28 kg (1276,77 N).

Como este peso corresponde en su mayor medida a los motores de las turbinas de la tobera, consideramos el punto de aplicación de esta fuerza en el cdg de los mismos.

Por lo tanto en estos puntos, a ambos extremos de la tobera, aplicaremos una fuerza hacia abajo en sentido vertical de 638,38 N.

Para simular la unión entre la tobera y los carros, que en la realidad se realiza directamente a través de los motores, realizaremos sendas uniones rígidas con elementos RB2 entre el punto de aplicación de las fuerzas y los orificios sobre los que se anclan los motores, que corresponden tanto a los carros como a las bridas de las toberas.

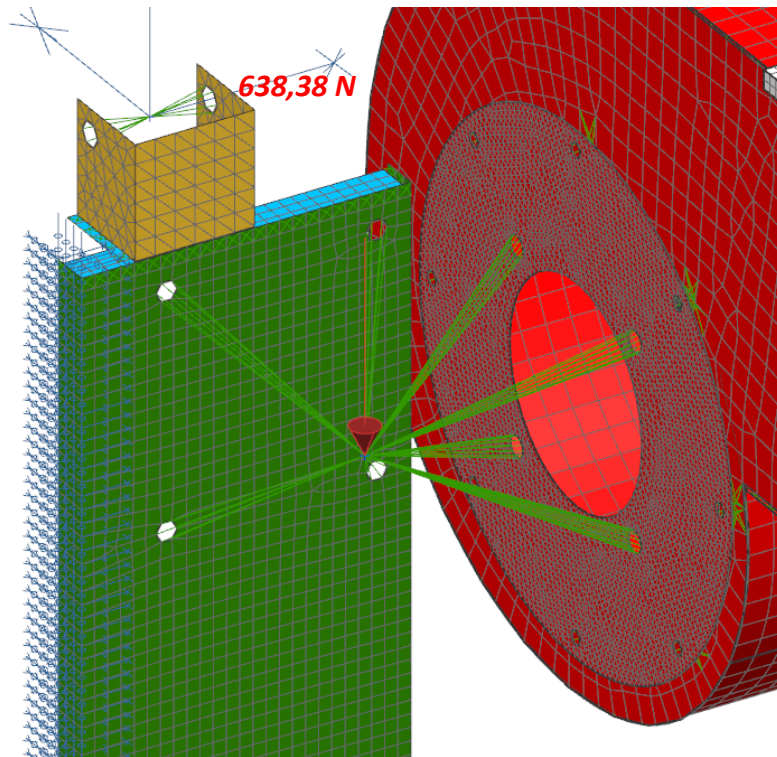


Ilustración 62. Detalle de fuerza aplicada y punto de aplicación. Conjunto 2. Caso 1.

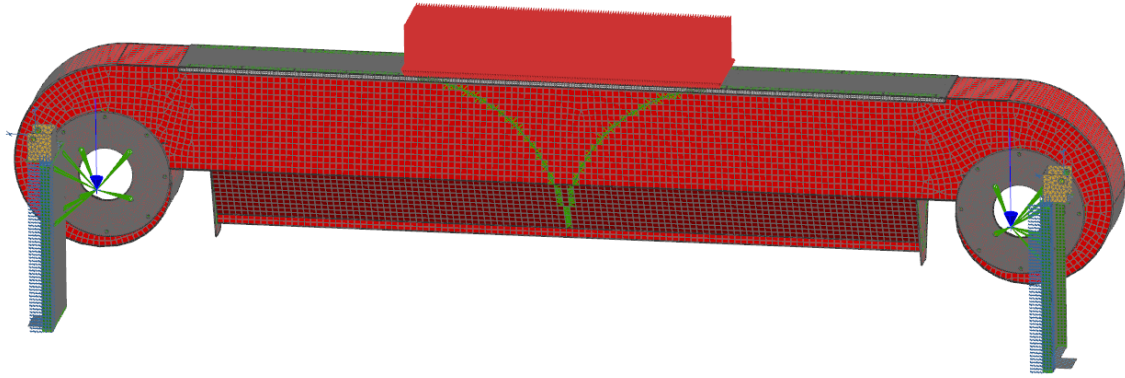


Ilustración 63. Condiciones de contorno sobre conjunto 2. Caso 1

3.3.5. Resolución.

A lo largo de este apartado se procede a la resolución de los cálculos planteados. La geometría mallada y restringida con las condiciones de contorno asumidas anteriormente se procesa para obtener los resultados.

Para ello se cuenta con el módulo Solution del programa Nx-Nastran, en el que previamente debemos indicar el tipo de cálculo a realizar.

En nuestro caso será un cálculo estático de resistencia para cada caso de carga y, para la determinación de los modos de vibración, un cálculo de respuesta libre.

Los resultados más interesantes para el desarrollo del presente proyecto son los que tienen que ver con desplazamientos y tensiones de Von Mises.

3.3.6. Post-procesado

Una vez realizado el cálculo, podemos visualizar los resultados de forma gráfica, a través del módulo de post-procesado del programa.

Este módulo nos permite la visualización combinada de tensiones en los resultados y desplazamientos en la deformada, pero también es posible a su vez, visualizar los resultados de forma independiente.

Otra opción que permite el programa es la representación de los resultados por elemento o por nodos, pudiendo obtener información más precisa de las zonas críticas de interés.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los dos conjuntos estudiados en este caso:

Resultados Análisis conjunto 1

- **Modos de vibración**

El estudio de los modos de vibración se realiza como paso previo al cálculo estático de resistencia, a modo de chequeo.

Con él, se pretende confirmar que nuestro modelo es adecuado y que cada una de las mallas que lo componen están unidas entre sí, comportándose como un todo.

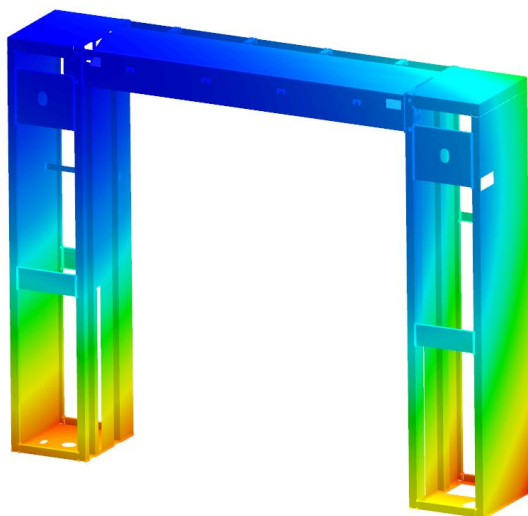
Para el cálculo de los modos de vibración no se tienen en cuenta las condiciones de contorno (cargas aplicadas, momentos, restricciones, etc.).

A continuación, podemos ver los resultados, tanto analíticos como gráficos para los 10 primeros nodos de vibración.

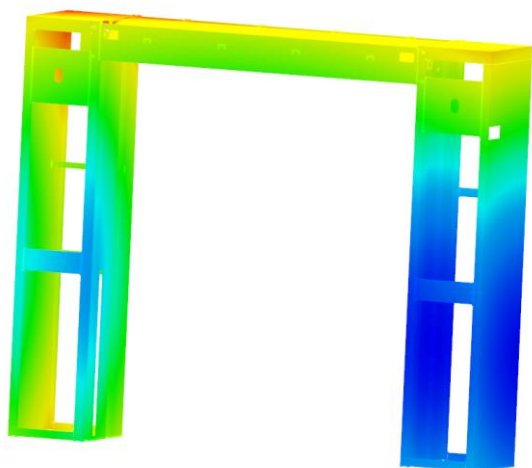
Los datos representados gráficamente corresponden a desplazamientos nodales, en escala 10:1.

MODE NO.	EXTRACTION ORDER	EIGENVALUE	R E A L E I G E N V A L U E S	
			RADIANS	CYCLES
1	1	-6.378407E-06	2.525551E-03	4.019539E-04
2	2	-2.863346E-06	1.692142E-03	2.693128E-04
3	3	-1.184614E-06	1.088400E-03	1.732242E-04
4	4	-2.944605E-07	5.426422E-04	8.636418E-05
5	5	8.123921E-07	9.013280E-04	1.434508E-04
6	6	1.933965E-06	1.390671E-03	2.213321E-04
7	7	1.618023E+02	1.272015E+01	2.024475E+00
8	8	1.139890E+03	3.376226E+01	5.373430E+00
9	9	5.480786E+03	7.403233E+01	1.178261E+01
10	10	1.330689E+04	1.153555E+02	1.835940E+01

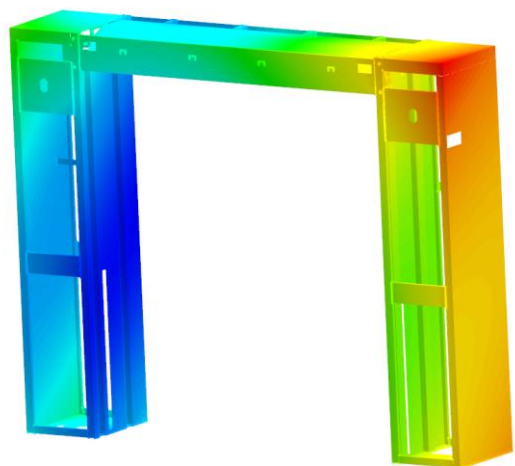
Ilustración 64. Resultados analíticos para modos de vibración. Conjunto 1. Caso 1.



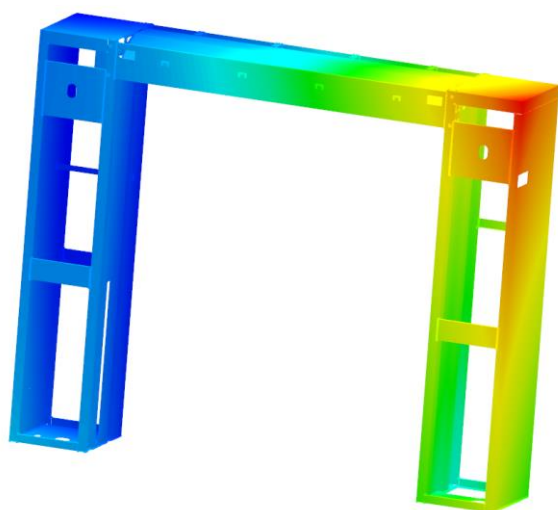
Modo 1: 0,0004 HZ



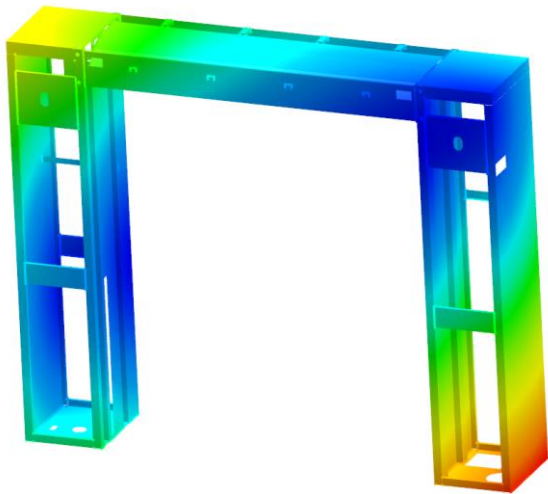
Modo 2: 0,0003 HZ



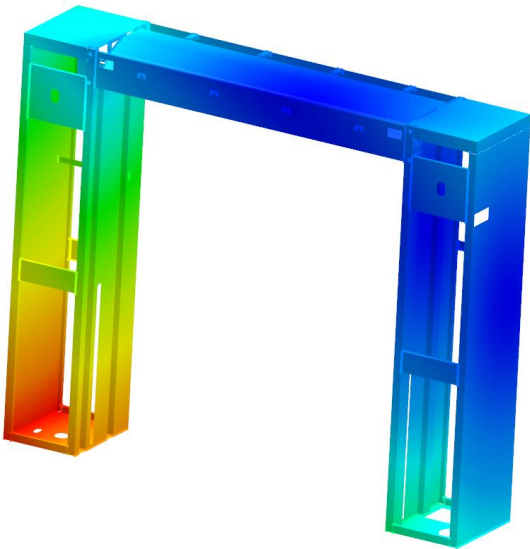
Modo 3: 0,0002 HZ



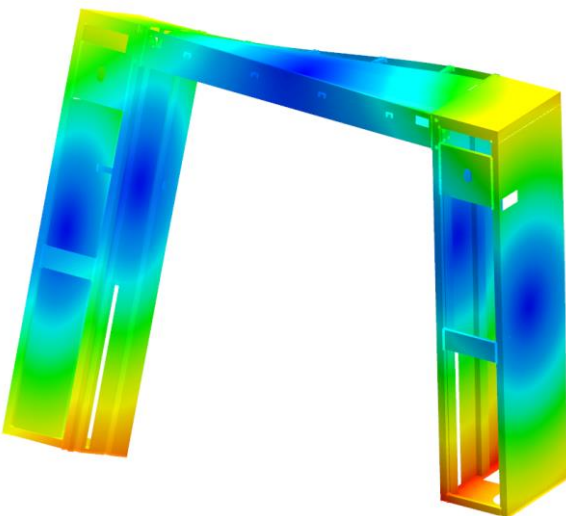
Modo 4: 0,00009 HZ



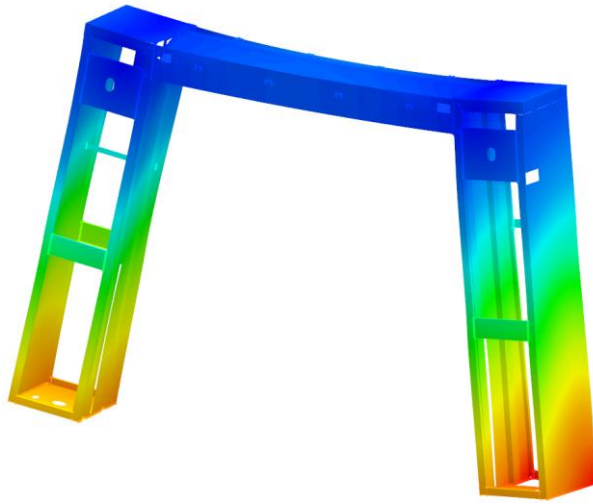
Modo 5: 0,0001 HZ



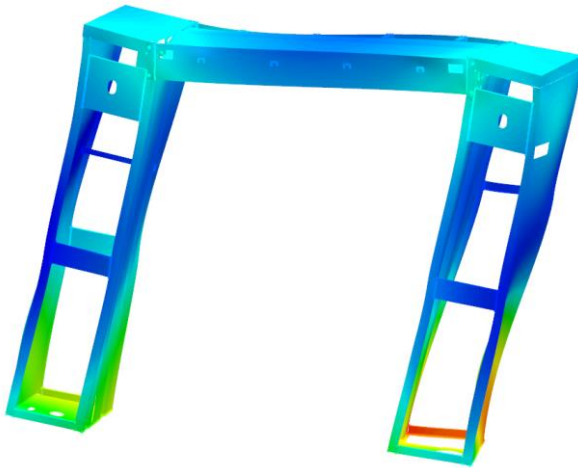
Modo 6: 0,0002 HZ



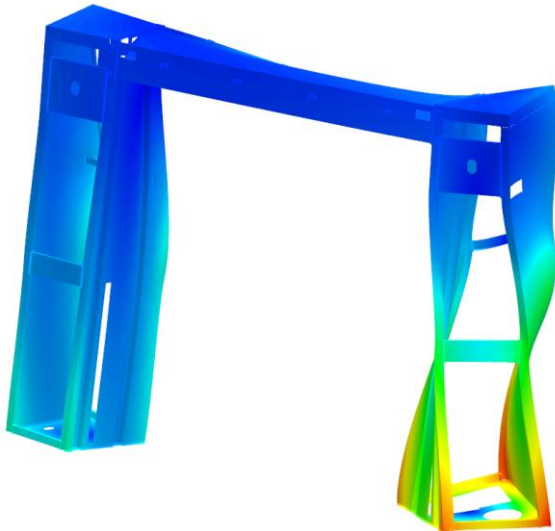
Modo 7: 2,024 HZ



Modo 8: 5,373 HZ



Modo 9: 11,783 HZ



Modo 10: 18,359 HZ

Ilustración 65. Resultados gráficos para modos de vibración. Conjunto 1. Caso 1.

Podemos apreciar cómo el modelo se comporta para los 6 primeros modos como sólido rígido (frecuencias muy bajas), siendo a partir del séptimo modo cuando pasa a comportarse de forma elástica (aumento de la frecuencia).

Mediante estos resultados podemos concluir, por tanto, que el modelo de estudio está correctamente mallado, pudiendo pasar al estudio del análisis estático.

- **Caso de carga.**

Para el caso de carga comentado con anterioridad, en el que teníamos la estructura restringida mediante empotramientos en las caras de las bases de las columnas y unas cargas de 1499,4 N aplicadas a cada soporte de poleas, obtenemos los siguientes resultados.

Desplazamientos

172233_01_sim1 : Solution 1 resultado
Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
Desplazamiento - Nodal, Magnitud
Mín : 0.000, Máx : 0.329, Unidades = mm
Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud

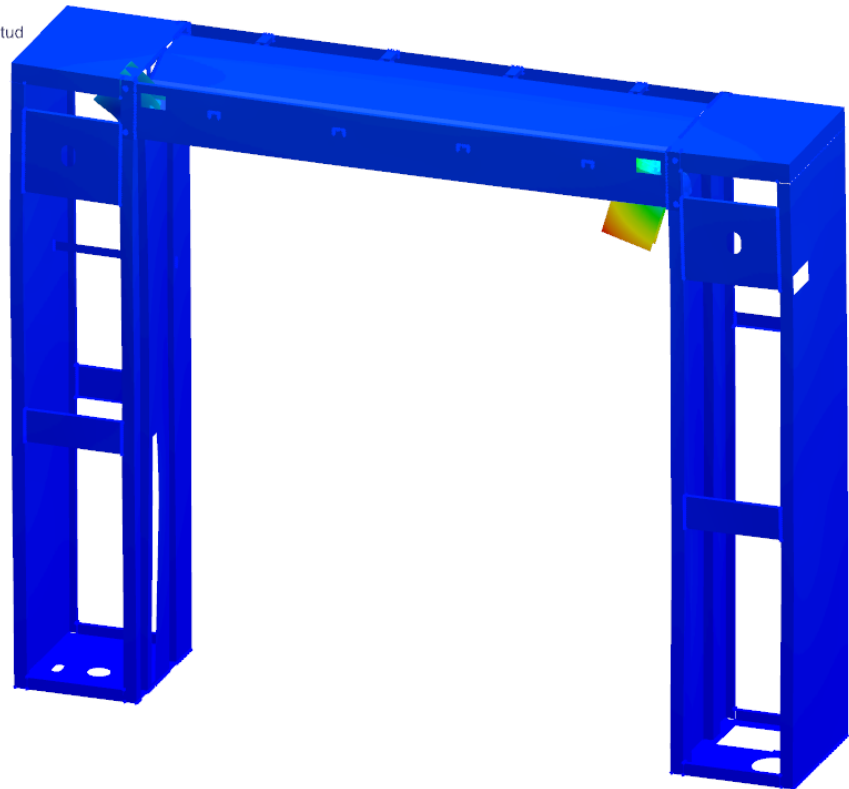
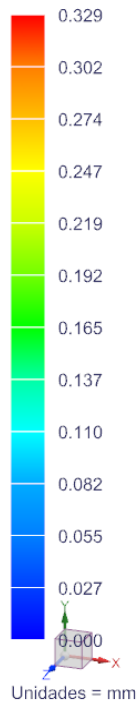


Ilustración 66. Desplazamientos 10:1. Conjunto 1. Caso 1.

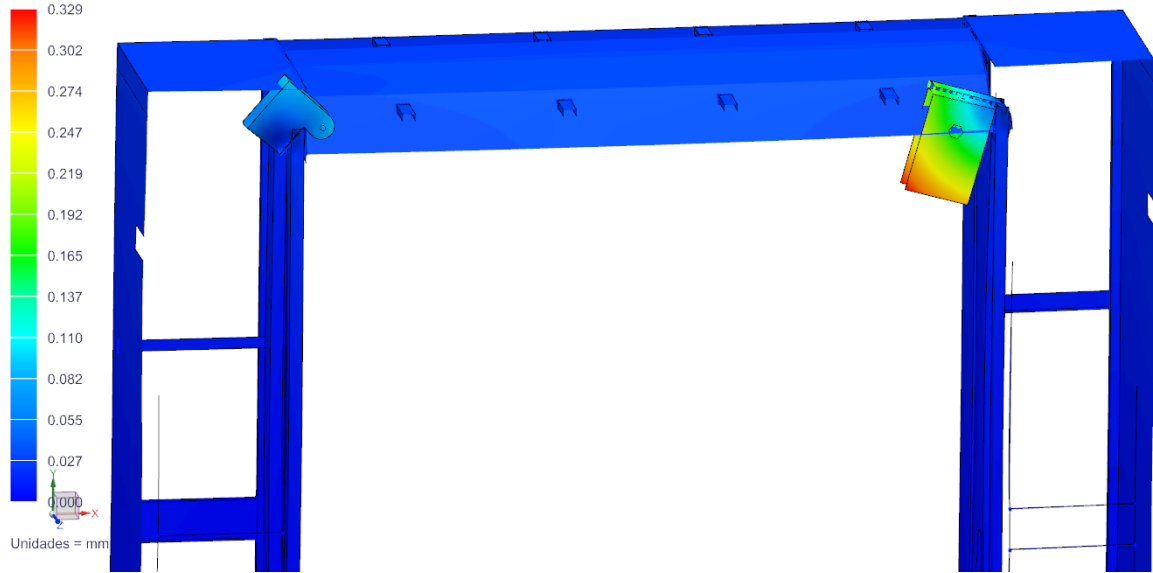
En la anterior imagen podemos apreciar de forma gráfica en escala 10:1 los desplazamientos nodales en la estructura.

Apreciamos que estos se producen en mayor medida en los soportes con poleas sobre los que esta aplicada la carga (correa), siendo el desplazamiento máximo de 0,329 mm.

Notamos que es un desplazamiento mínimo, teniendo en cuenta las dimensiones de la máquina.

A continuación, podemos ver imágenes comparativas en escala 10:1 y 1:1 de los resultados a nivel global y de detalle en las zonas de interés.

172233_01_sim1 : Solution 1 resultado
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
 Desplazamiento - Nodal, Magnitud
 Min : 0.000, Máx : 0.329, Unidades = mm
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



172233_01_sim1 : Solution 1 resultado
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
 Desplazamiento - Nodal, Magnitud
 Min : 0.000, Máx : 0.329, Unidades = mm
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud

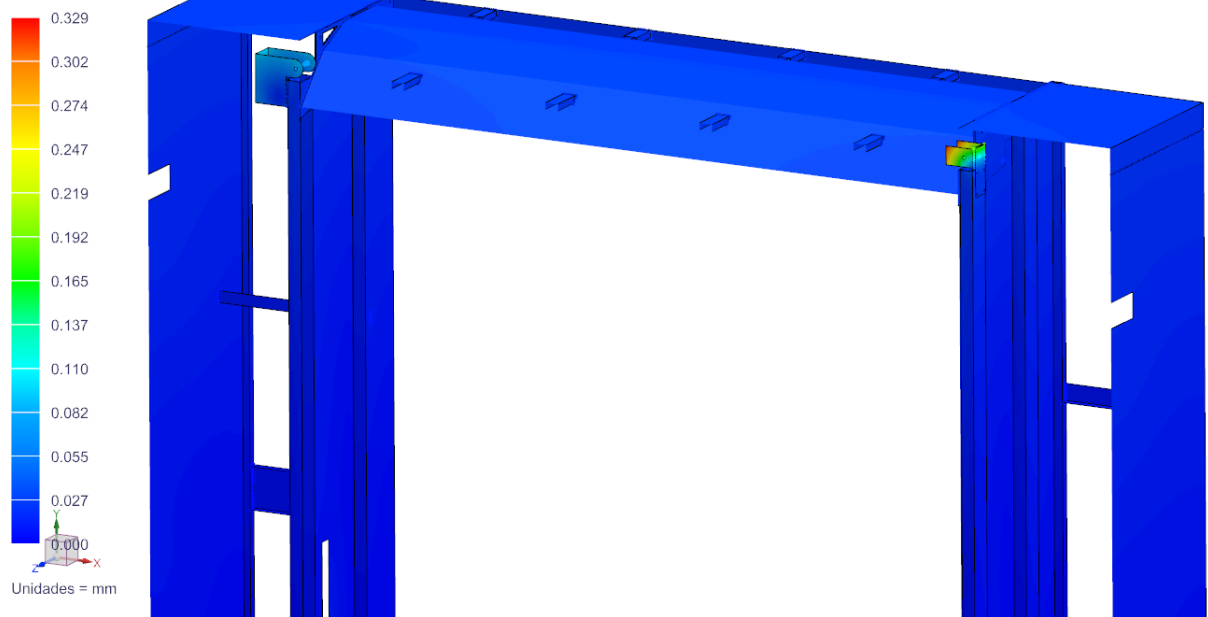


Ilustración 67. Desplazamientos. Vista general comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 1. Caso 1.

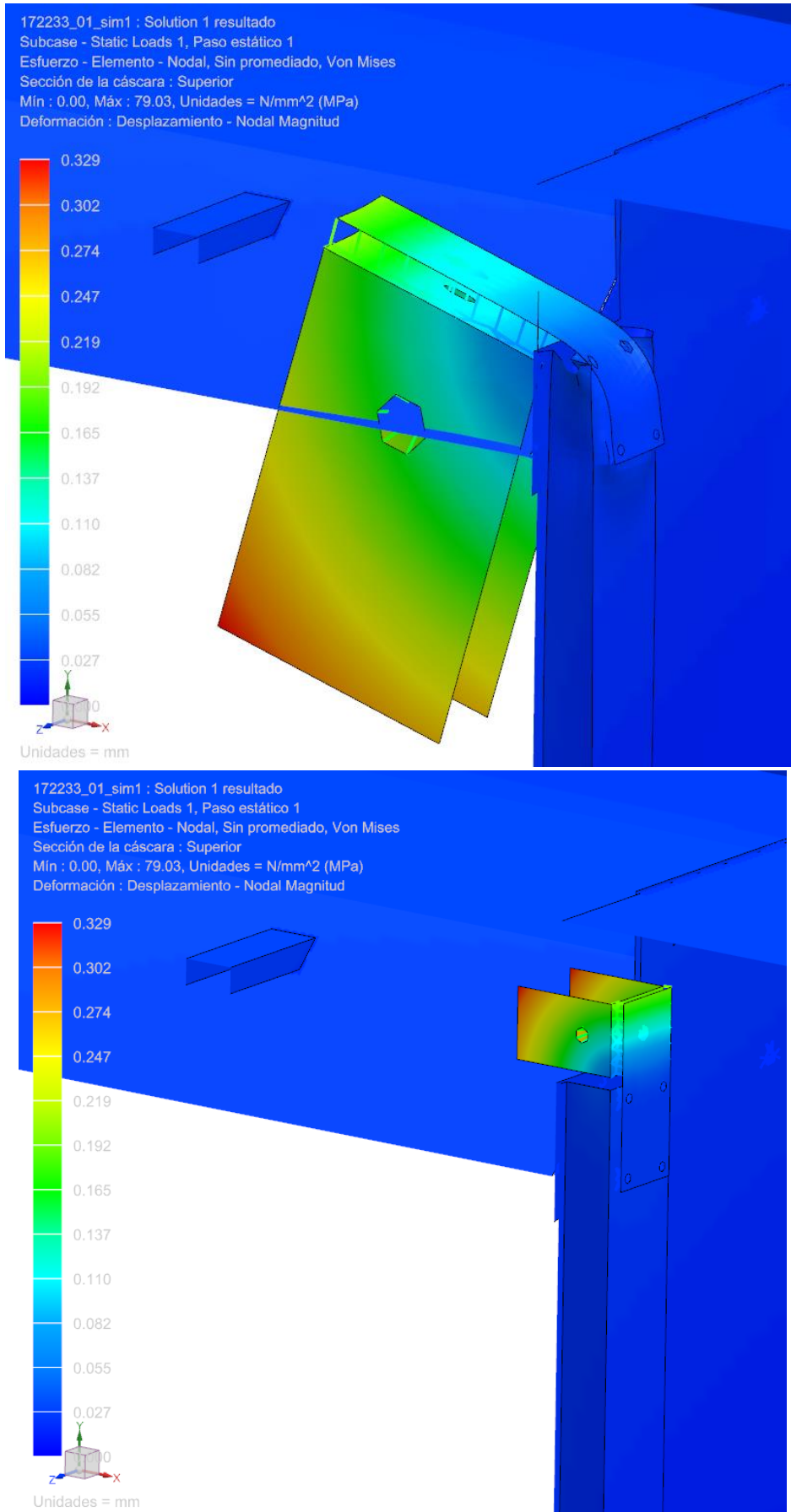


Ilustración 68. Desplazamientos apoyo izq. Vista detalle comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 1. Caso 1.

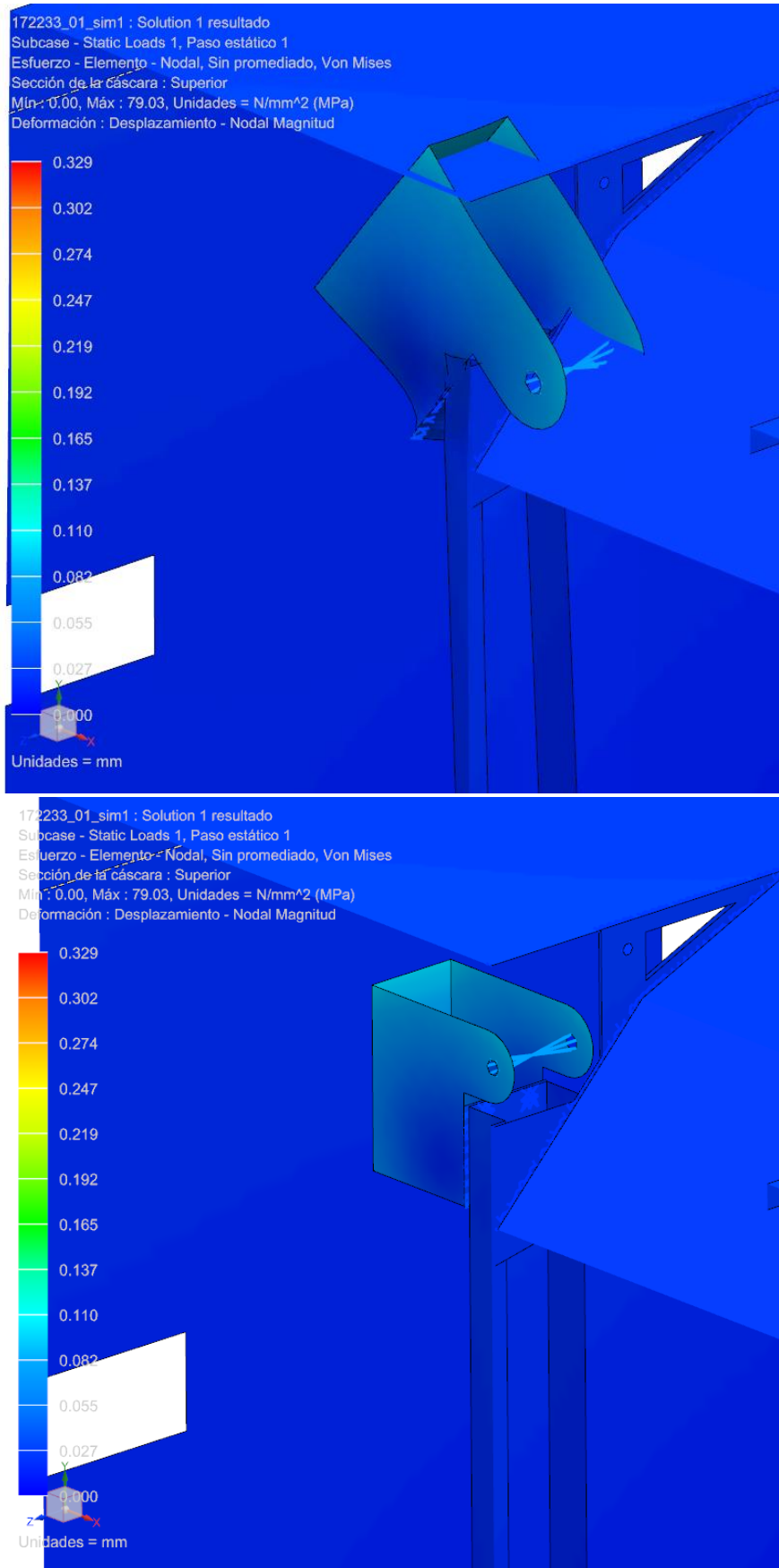
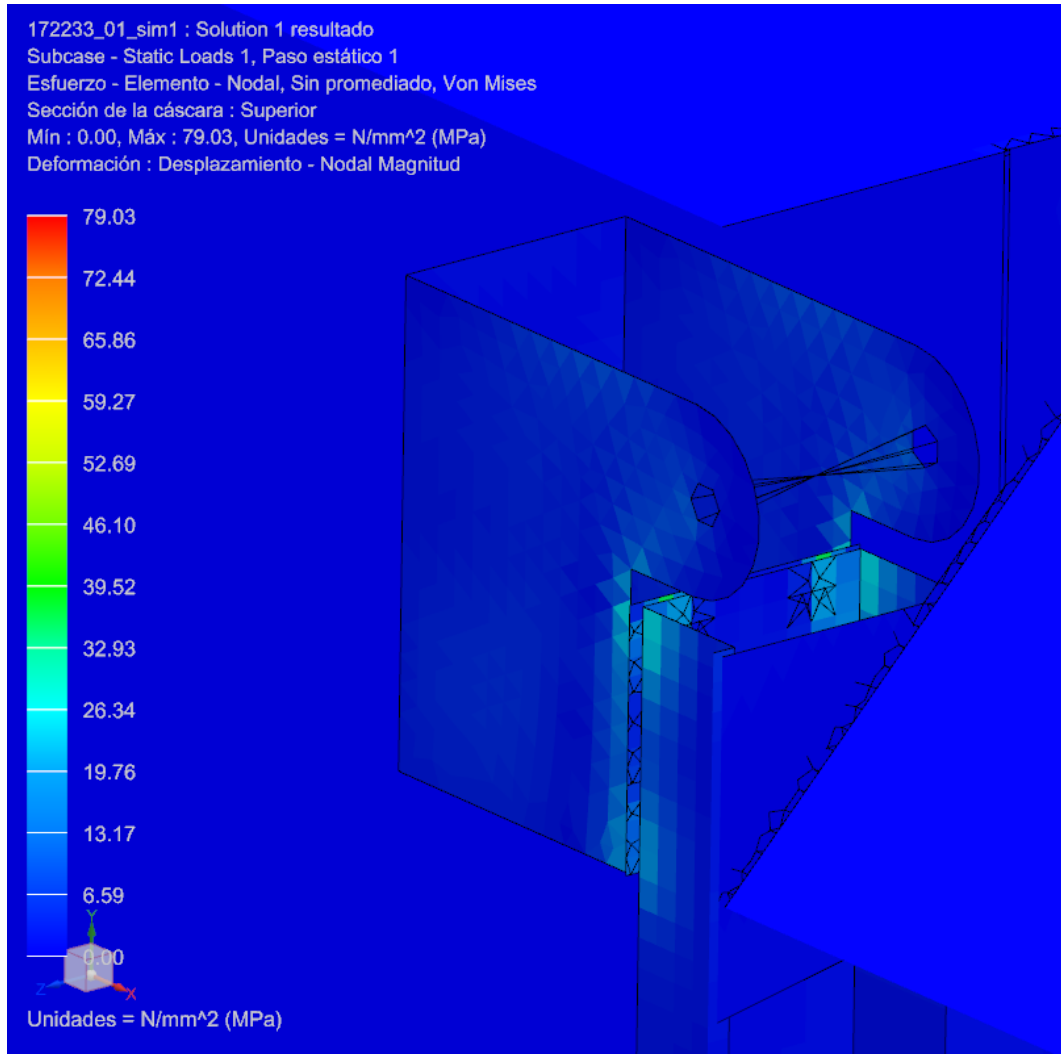


Ilustración 69. Desplazamientos apoyo der. Vista detalle comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 1. Caso 1.

Tensiones de Von Mises

Al igual que para el caso de los desplazamientos, las máximas tensiones recaen sobre zonas cercanas a los soportes con poleas, por lo cual las imágenes presentadas a continuación se centrarán en estas zonas.

La escala mostrada es 1:1.



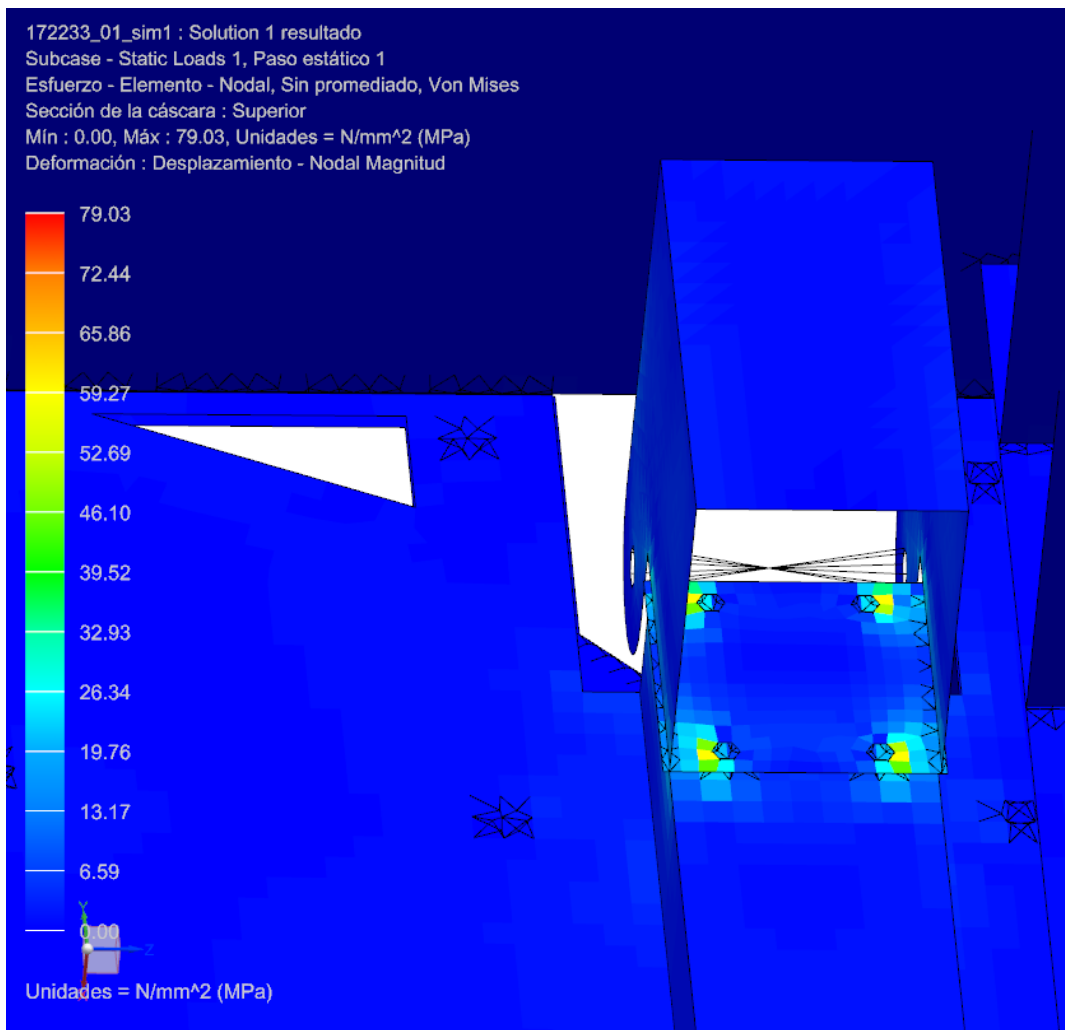


Ilustración 70. Tensiones apoyo der. Vista detalle. Conjunto 1. Caso 1.

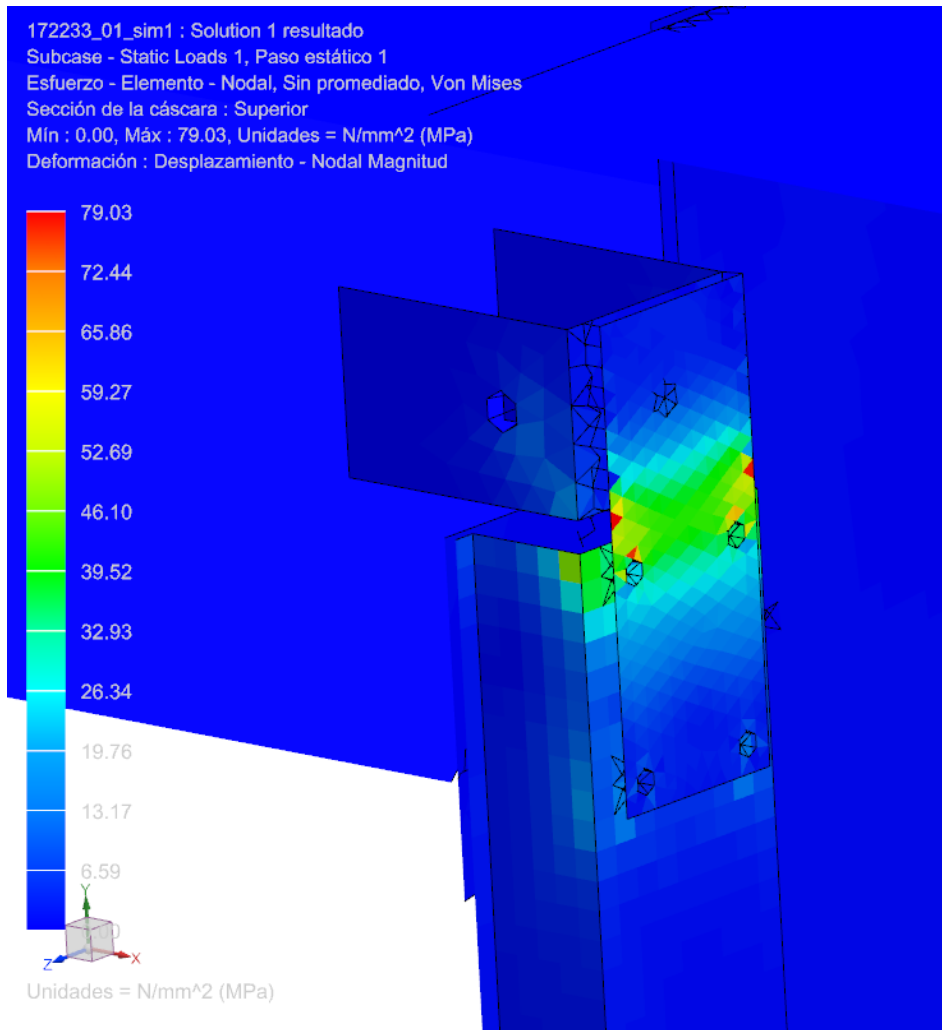


Ilustración 71. Tensiones apoyo izq. Vista detalle. Conjunto 1. Caso 1.

Como vemos en las anteriores imágenes, las zonas sobre las que recaen las mayores tensiones se refieren principalmente a los orificios a través de los que se realizan las uniones atornilladas entre los propios soportes y el perfil interior de las columnas, al comportarse como concentradores de tensiones.

Podemos ver una gran diferencia, al igual que en el caso de los desplazamientos, entre los dos soportes, debido principalmente a su diseño.

En el caso del apoyo derecho, su diseño en forma de perfil cuadrado lo hace más resistente a la flexión producida por la carga, no presentando apenas deformación y encontrándose los puntos de mayor tensión en las uniones a la columna, como se comentaba anteriormente.

En el caso del apoyo izquierdo, su diseño hace que, frente a la carga aplicada, una de las placas pivote sobre la otra haciéndola flexionar, provocando su deformación y desplazamiento. Por ello, las mayores tensiones se producen sobre la zona central de esta placa en la que se produce dicha flexión.

Sin embargo, la tensión máxima calculada es de 79,03 MPa, muy inferior al límite elástico del material, por lo que no se producirán deformaciones permanentes sobre las piezas.

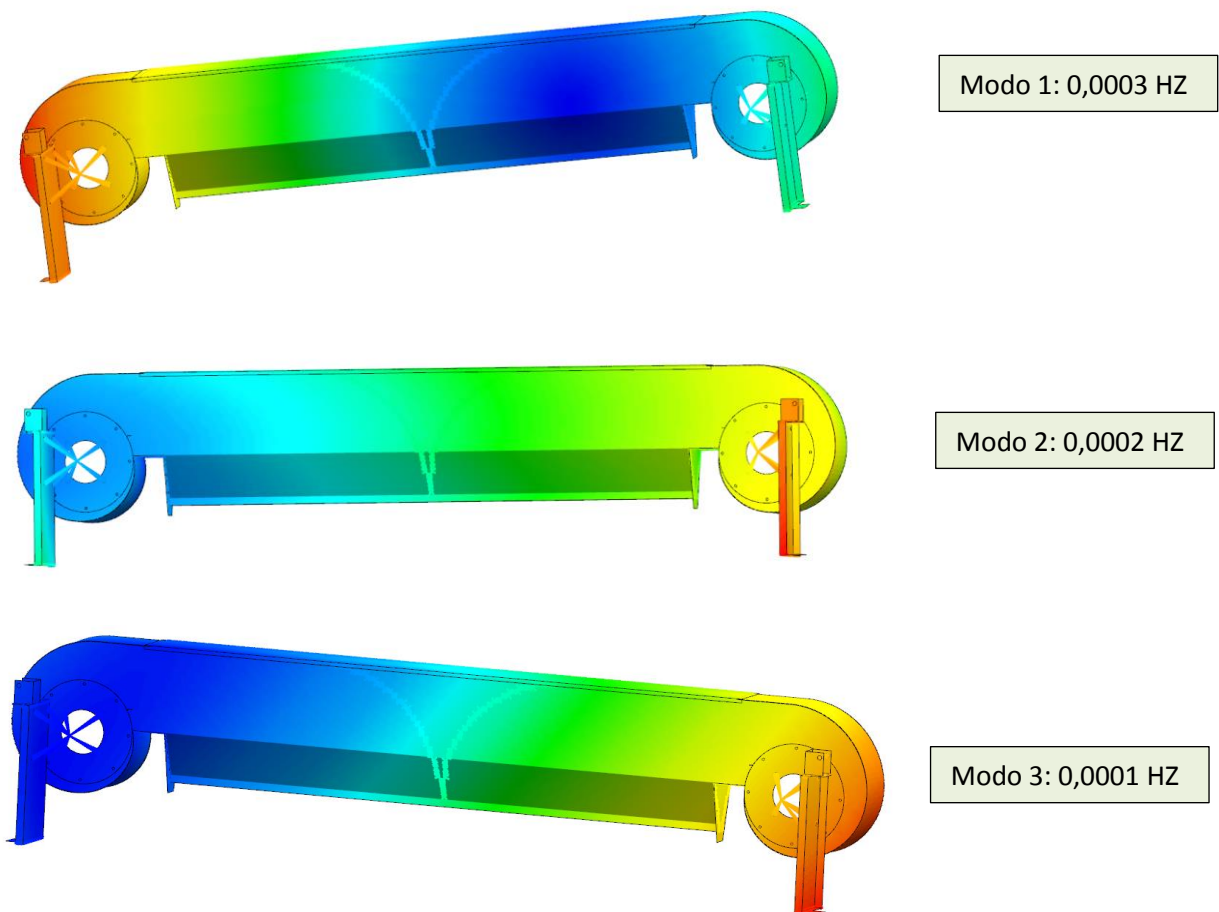
Resultados Análisis conjunto 2

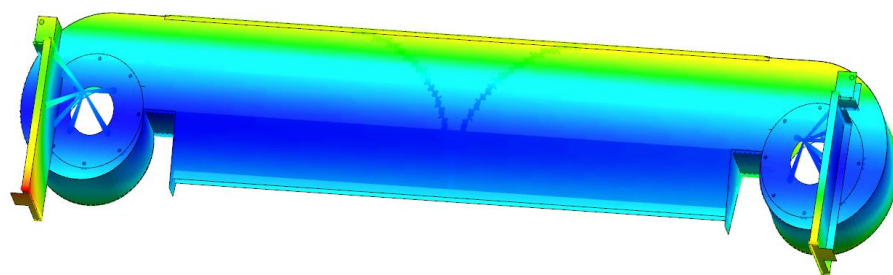
- Modos de vibración

A continuación, se muestran los resultados analíticos y gráficos para los 10 primeros nodos de vibración.

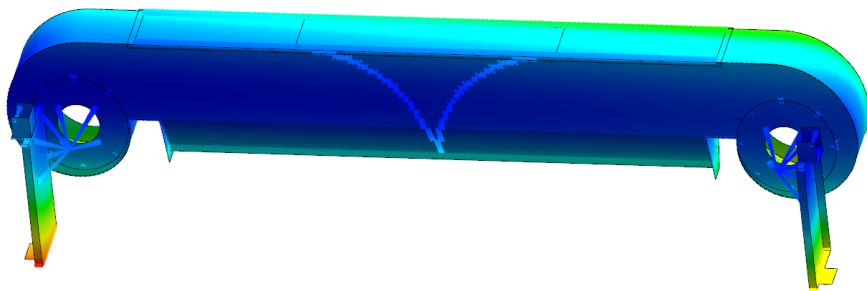
MODE NO.	EXTRACTION ORDER	EIGENVALUE	R E A L E I G E N V A L U E S	
			RADIANS	CYCLES
1	1	-3.919067E-06	1.979663E-03	3.150732E-04
2	2	-1.977899E-06	1.406378E-03	2.238320E-04
3	3	-4.726621E-07	6.875043E-04	1.094197E-04
4	4	4.953758E-07	7.038294E-04	1.120179E-04
5	5	1.221266E-06	1.105109E-03	1.758836E-04
6	6	2.747057E-06	1.657425E-03	2.637873E-04
7	7	3.450908E+04	1.857662E+02	2.956561E+01
8	8	4.915930E+04	2.217190E+02	3.528767E+01
9	9	6.617066E+04	2.572366E+02	4.094047E+01
10	10	7.957431E+04	2.820892E+02	4.489589E+01

Ilustración 72. Resultados analíticos para modos de vibración. Conjunto 2. Caso 1.

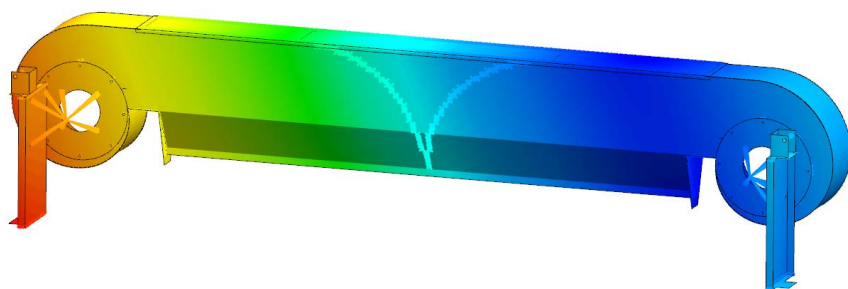




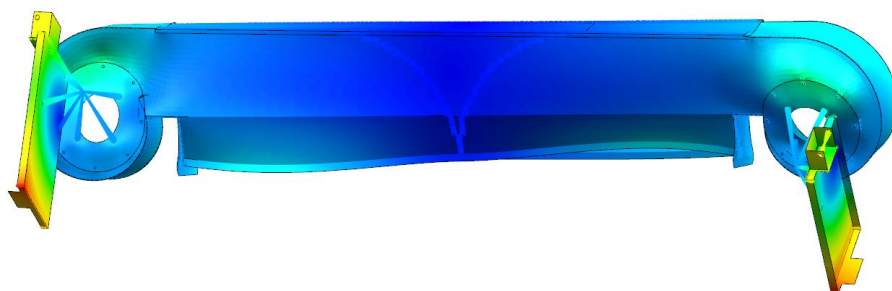
Modo 4: 0,0001 HZ



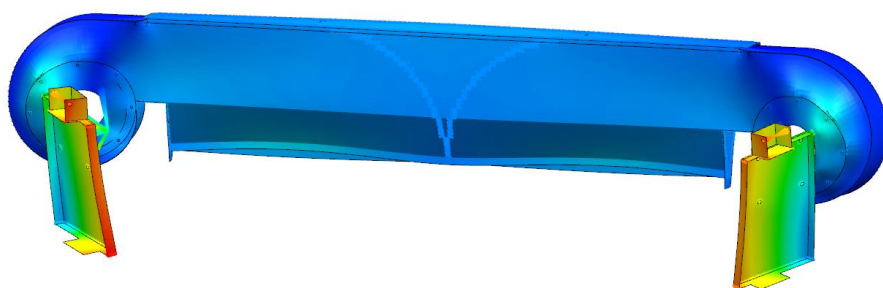
Modo 5: 0,0002 HZ



Modo 6: 0,0003 HZ



Modo 7: 29,566 HZ



Modo 8: 35,288 HZ

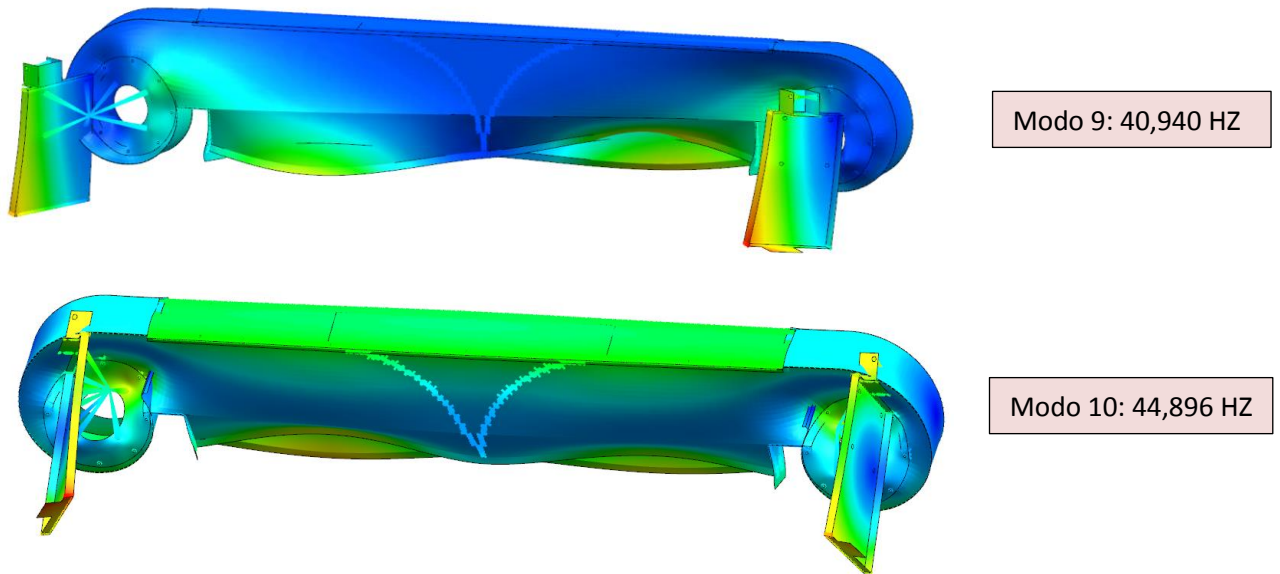


Ilustración 73. Resultados gráficos para modos de vibración. Conjunto 2. Caso 1.

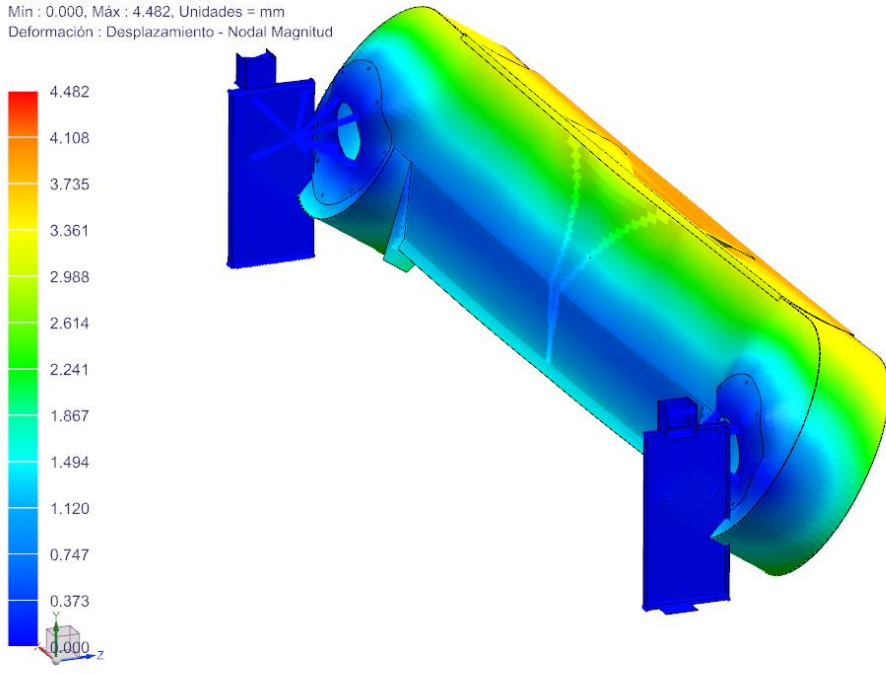
Del mismo modo que para el conjunto 1, nos encontramos con que el modelo se comporta como sólido rígido para los 6 primeros modos y de forma elástica a partir del séptimo, indicando que el conjunto está bien mallado y restringido.

- **Caso de carga.**

A continuación se muestran los resultados para el caso de carga correspondiente al conjunto 2, que pretende simular el peso que ejerce el operario sobre la parte central de la cara superior de la tobera, y que corresponde a la aplicación de una fuerza distribuida de 1470 N sobre esta zona.

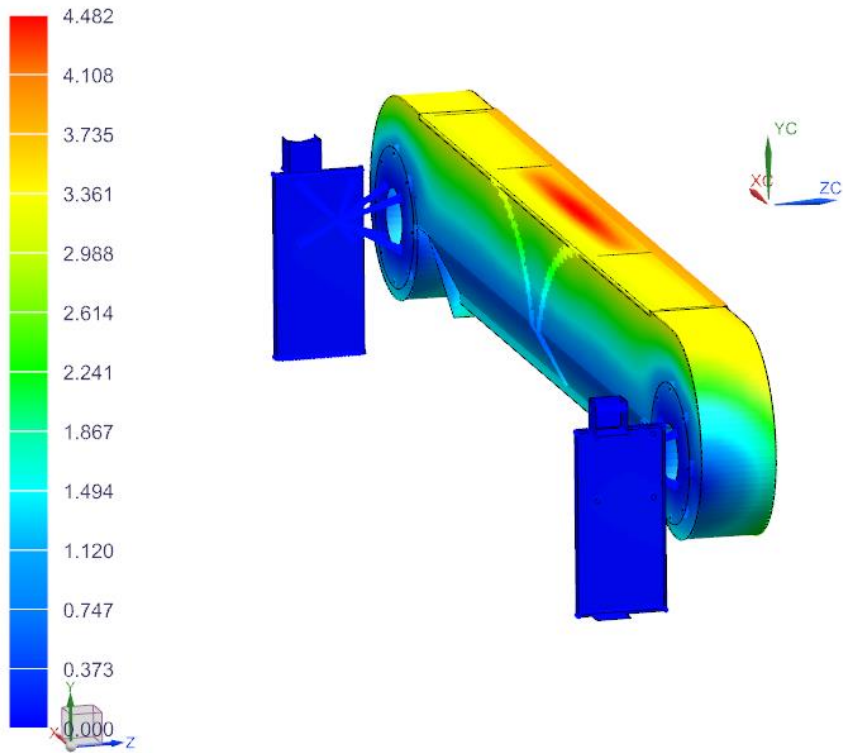
Desplazamientos

172233_01_sim1 : Cargas aplicadas resultado
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
 Desplazamiento - Nodal, Magnitud
 Min : 0.000, Máx : 4.482, Unidades = mm
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



Unidades = mm

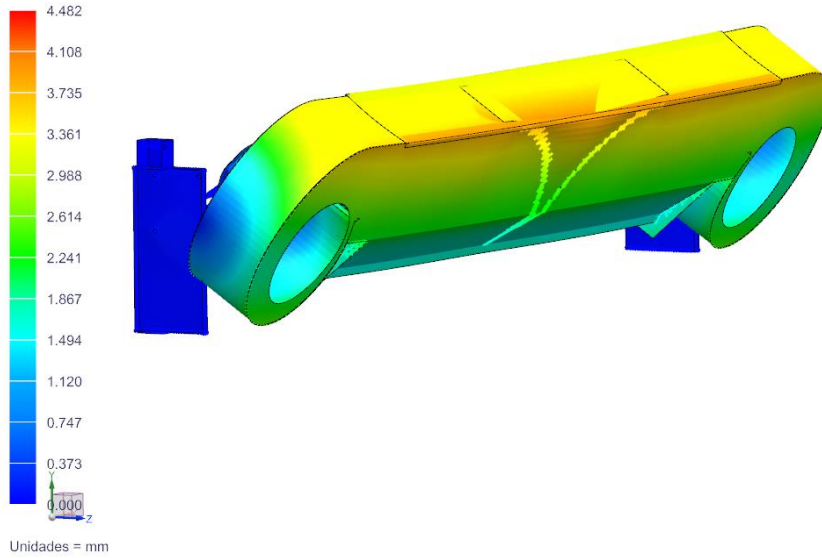
172233_01_sim1 : Cargas aplicadas resultado
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
 Desplazamiento - Nodal, Magnitud
 Min : 0.000, Máx : 4.482, Unidades = mm
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



Unidades = mm

Ilustración 74. Desplazamientos. Vista general comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 2. Caso 1.

172233_01_sim1 : Cargas aplicadas resultado
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
 Desplazamiento - Nodal, Magnitud
 Min : 0.000, Máx : 4.482, Unidades = mm
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



172233_01_sim1 : Cargas aplicadas resultado
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
 Desplazamiento - Nodal, Magnitud
 Min : 0.000, Máx : 4.482, Unidades = mm
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud

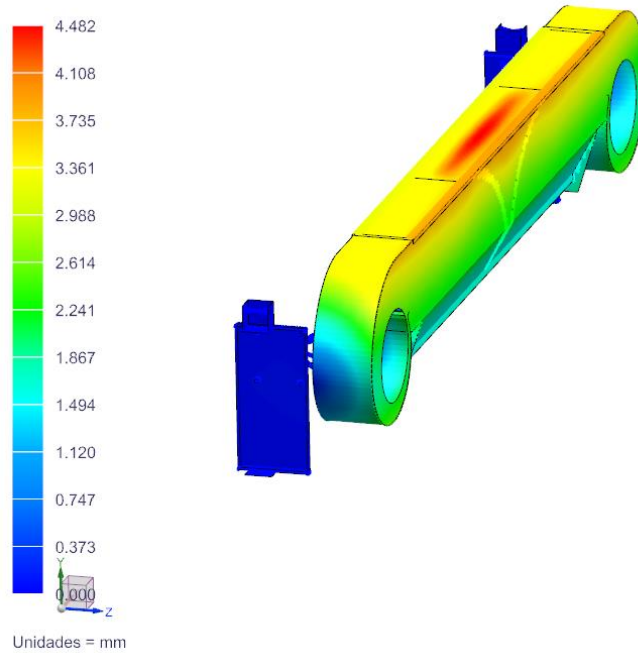


Ilustración 75. Desplazamientos. Vista general comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 2. Caso 1.

Como apreciamos en las imágenes anteriores, la tobera tiende a deformarse inclinándose hacia la zona sobre la que se aplica la carga (dónde está subido el operario), produciéndose el desplazamiento máximo en ese lugar.

Como se puede ver y apreciar mejor en las imágenes en escala 1:1, el desplazamiento máximo es de 4,482 mm en esa pequeña zona, y mucho menor en el resto de la estructura.

Podemos decir que es un desplazamiento bastante reducido, casi despreciable, teniendo en cuenta que la zona en la que más se manifiesta es una chapa de aluminio de 1 mm de espesor.

Tensiones de Von Mises

En las imágenes siguientes se muestran los resultados para tensiones de Von Mises en la estructura.

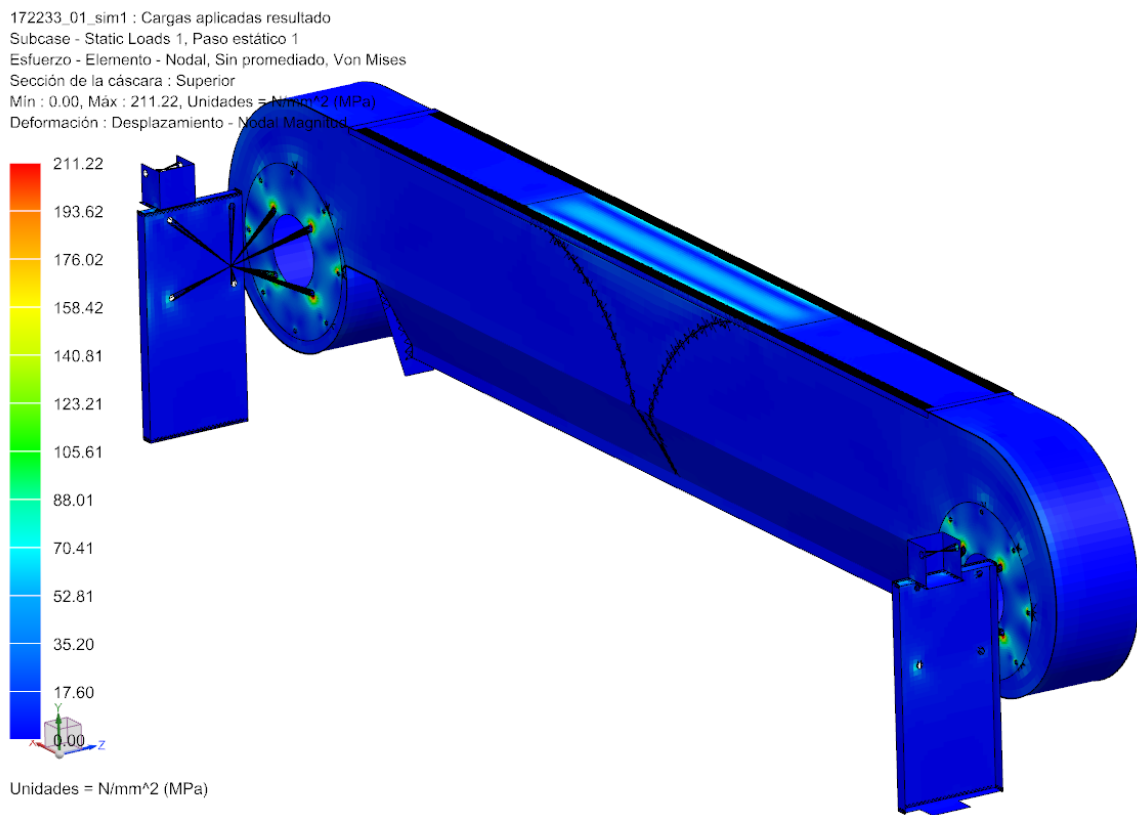


Ilustración 76. Tensiones en seco. Vista general. Conjunto 2. Caso 1.

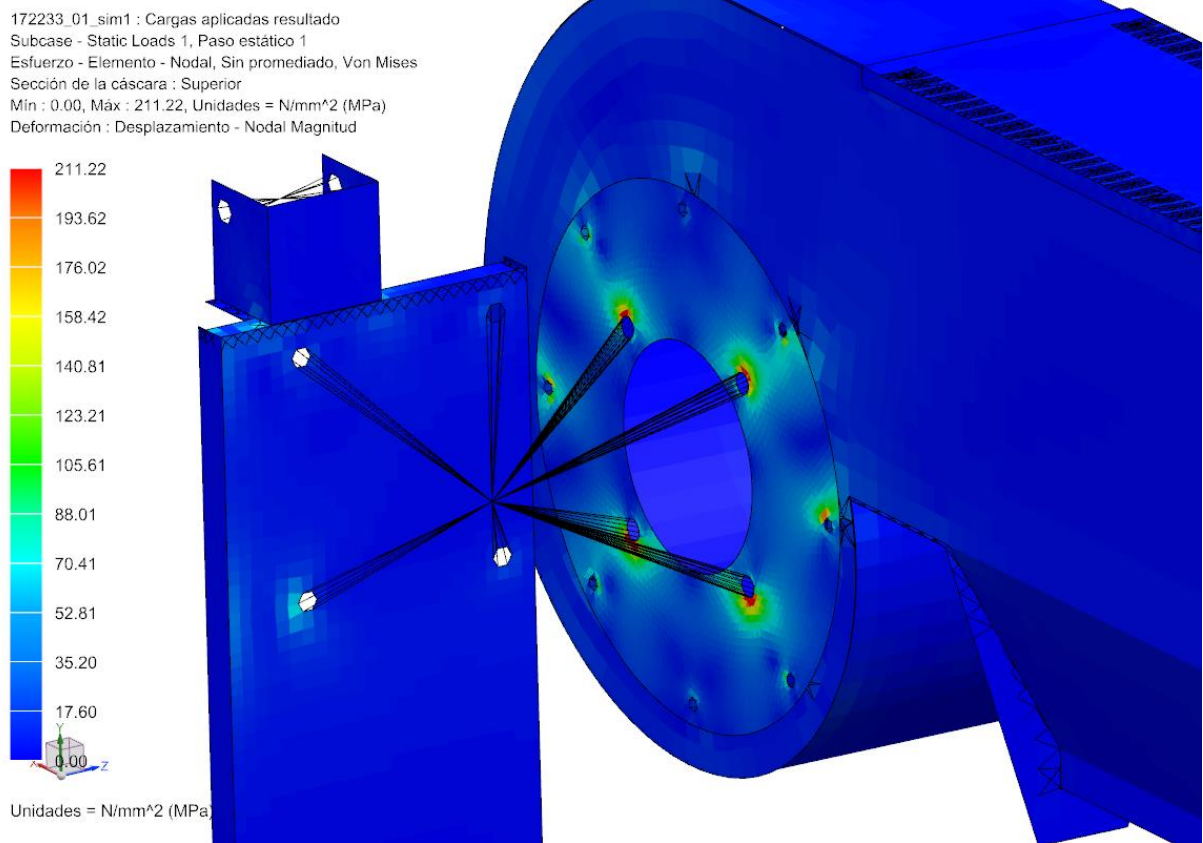


Ilustración 77. Tensiones en secado. Vista detalle. Conjunto 2. Caso 1.

Como se puede apreciar, los valores máximos están presentes principalmente en los orificios que corresponden a la unión entre la tobera y los motores a través de las bridas (concentrador de tensiones). También se aprecia el efecto de las tensiones en la zona de apoyo del operario y algunos puntos de los carros de desplazamiento, siendo estas insignificantes.

La tensión máxima calculada es de 211,22 MPa, inferior al límite de deformación plástica del material, por lo que no habrá problemas de deformaciones permanentes en la estructura.

3.3.7. Conclusiones. Caso 1.

En vista de los resultados obtenidos en el análisis de los dos conjuntos en los que se ha dividido el caso 1, podemos concluir que:

- Los modelos mallados son completamente válidos y cumplen con el chequeo de modos de vibración.
- La estructura del puente (conjunto 1) es capaz de soportar sin problemas las cargas estimadas para este caso, siendo los desplazamientos máximos reducidos y las tensiones máximas menores al límite elástico de los materiales.
- La estructura del grupo secado horizontal (conjunto 2) es igualmente capaz de soportar las cargas estimadas, por los mismos motivos citados anteriormente.
- Las partes más críticas de la estructura coinciden de forma lógica con los desplazamientos producidos y los puntos de aplicación de las cargas que los provocan.
- En las zonas en que se sospecha que los valores obtenidos corresponden a concentradores de tensiones, se habría de realizar un análisis más específico y detallado.
- A la vista de los resultados obtenidos para el conjunto 1, convendría reforzar o rediseñar el soporte más perjudicado (izquierdo) con el objetivo de hacerlo más resistente.

3.4. CASO DE ESTUDIO 2: SECADO SOPORTADO POR SISTEMA DE ENCLAVAMIENTO.

3.4.1. Introducción.

En el siguiente apartado se tratará en profundidad el caso del secado soportado por el sistema de enclavamiento de seguridad de la máquina.

Como seguridad ante la rotura o descuelgue de la correa que permite el desplazamiento vertical del grupo secado horizontal, la máquina dispone en sus carros y columnas de un sistema de anclaje. Éste permite que el conjunto se enclave, mediante el acoplamiento de una cuña de seguridad (pieza 2430700 de la siguiente imagen) sobre una serie de dientes labrados sobre la parte interior de la guía sobre la que se desplazan los carros sobre las columnas.

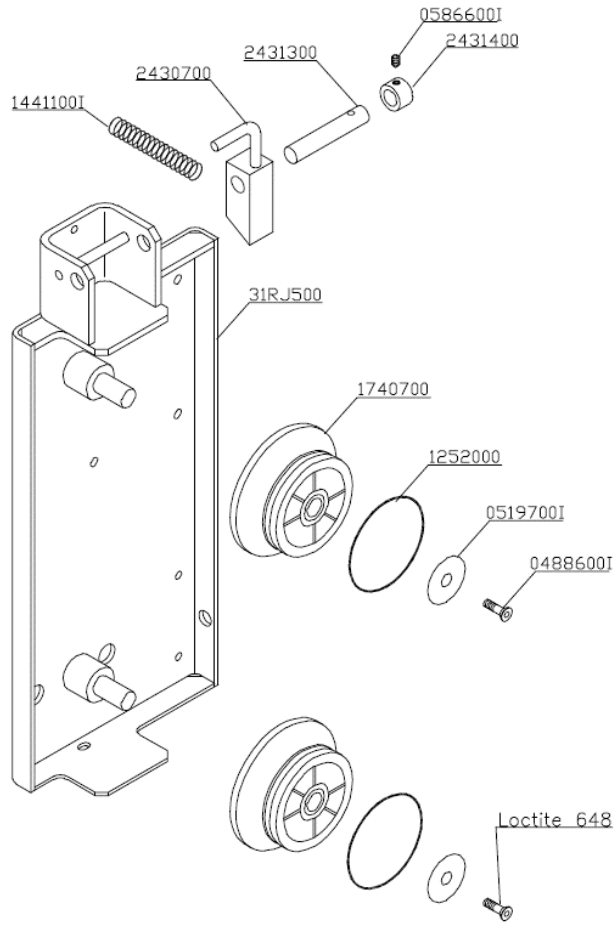


Ilustración 78. Despiece carro.



Ilustración 79. Dientes de enclavamiento sobre guía de las columnas.

Como resultado de este enclavamiento y, de darse el caso, el grupo secado horizontal queda biapoyado de forma inclinada apoyando en cada columna por un diente.



Ilustración 80. Grupo secado sujeto por sistema enclavamiento.

Como se puede deducir, estamos ante un caso muy complejo de simular para el análisis.

Por un lado, la geometría de los dientes, embutidos sobre la chapa de las columnas, presenta gran dificultad para su modelado y mallado.

Por otro lado, el reparto de esfuerzos y aplicación de la carga es bastante complejo, al quedar la estructura bi-apoyada de forma inclinada, y siendo el apoyo entre diente y cuña de seguridad desconocido y asimétrico.

Teniendo presentes estos problemas y siendo conscientes de la dificultad del análisis, en los siguientes puntos se dará constancia de las simplificaciones y preceptos asumidos, para atajar de la mejor forma la resolución del mismo.

Se tratará de determinar el efecto de la carga en suspensión sobre la estructura de la máquina y los dientes de enclavamiento, dejando de lado la estructura propia del grupo secado horizontal, al haber sido estudiada en el caso anterior.

3.4.2. Simplificación del modelo.

Se procederá a simplificar la geometría de la estructura a estudio, coincidiendo esta con la presentada en el caso 1 para el conjunto 1 (Ilustración 45).

El único cambio presente será la introducción en el modelo de los dientes de enclavamiento. Solo se modelará un diente por columna, situándose estos a diferente altura (determinada por

la inclinación medida en casos reales). El enclavamiento se realizará existiendo una diferencia en altura de un diente entre una y otra columna.

Los dientes elegidos para el estudio serán los situados a una altura intermedia en cuanto a la longitud vertical de las columnas. Esto se debe a que se estima como la posición más desfavorable, al existir más distancia entre esas zonas y los lugares de apoyo del perfil (parte superior e inferior, obviando refuerzos).

3.4.3. Mallado.

Para el mallado de la estructura se procederá de forma análoga al conjunto 1 del caso de estudio 1, con la única excepción de los dientes de enclavamiento.

Debido a la complejidad de su geometría, optamos por considerarlos como piezas solidas (macizas). Para su mallado, haremos uso de mallado 3D mediante elementos CTETRA (10), utilizando un tamaño de elemento de 0,7 mm.

Para simular que forman un todo con el resto del perfil de la columna, se realizaran acoplamientos de malla, uniendo la estructura mallada del perfil interior de la columna y el diente por sus caras de contacto.

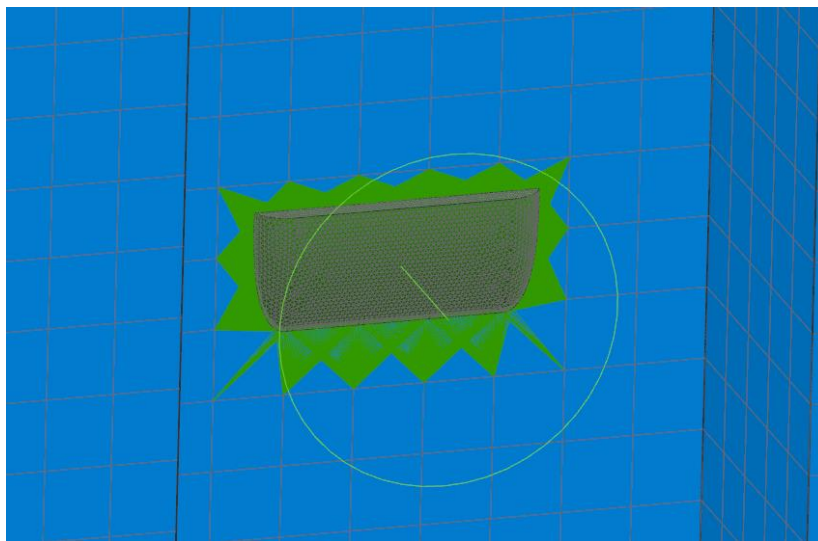


Ilustración 81. Diente y perfil interior de columna mallados y acoplados.

El resto del mallado y uniones entre elementos se realizará igual que en el caso 1 detallado con anterioridad.

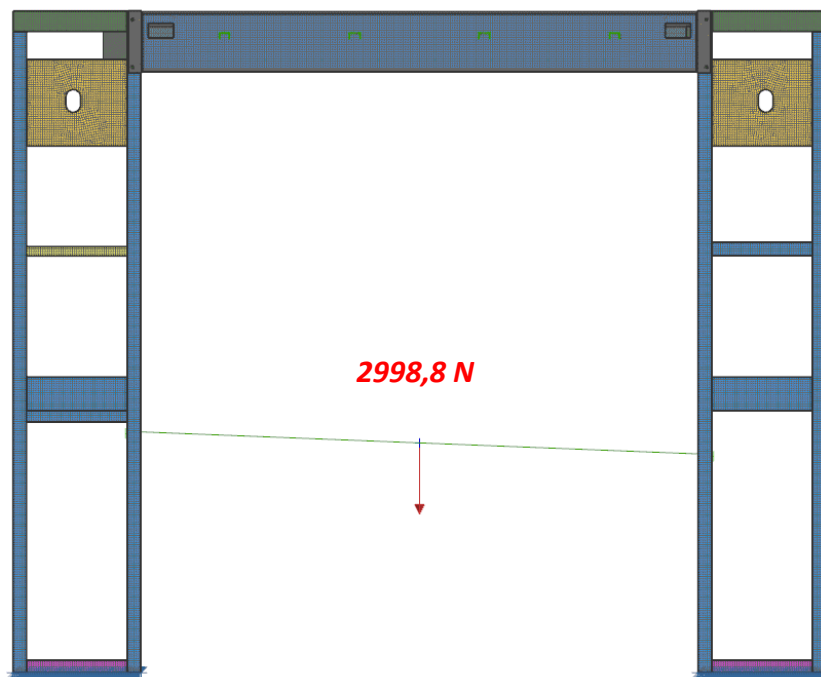
3.4.4. Condiciones de contorno.

- **Restricciones:**

La estructura quedará restringida por la cara base de las bridas de unión entre columna y patín, de igual forma que en el conjunto 1 del caso de estudio 1.

- **Cargas:**

Para simular la carga que recibirá cada diente y dado que los elementos en suspensión (grupo secado horizontal) se encuentran en posición inclinada, nos acogeremos al supuesto de que la carga total relativa al secado más el operario (2998,8 N, calculada con anterioridad: puntos 3.3.1 y 3.3.4) se aplica en el punto medio entre ambos dientes, siendo la cara superior de los mismos unida a este punto central mediante elementos rígidos RB2.



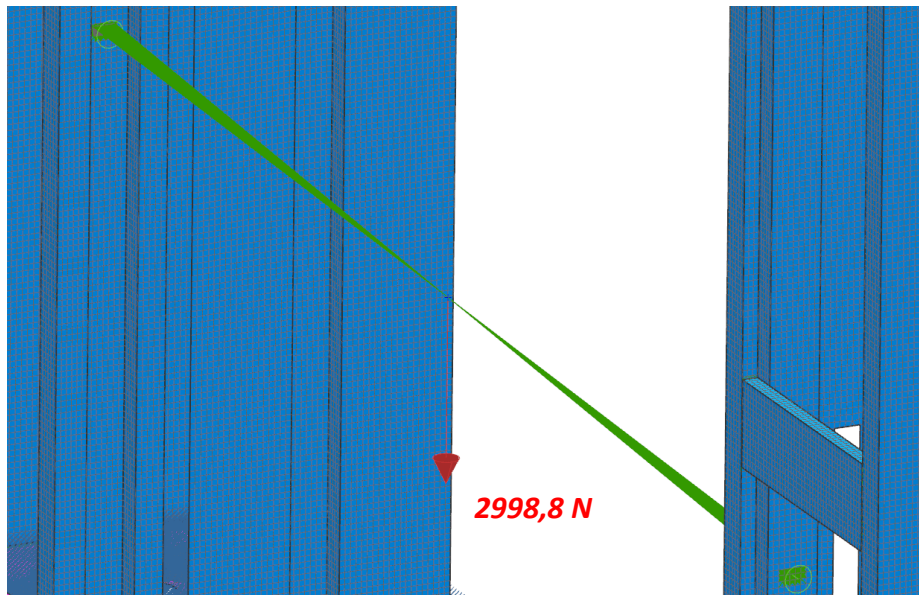


Ilustración 82. Detalle de fuerza aplicada y punto de aplicación. Caso 2.

De esta forma conseguimos representar la fuerza ejercida sobre los dientes y la inclinación del grupo secado horizontal.

3.4.5. Resolución.

Se procederá a realizar un cálculo estático de resistencia para el caso de carga citado.

En este caso no se realizará un estudio de los modos de vibración, al ser la estructura de estudio igual en su práctica totalidad a la analizada en el conjunto 1 del caso 1.

3.4.6. Post-procesado.

Desplazamientos

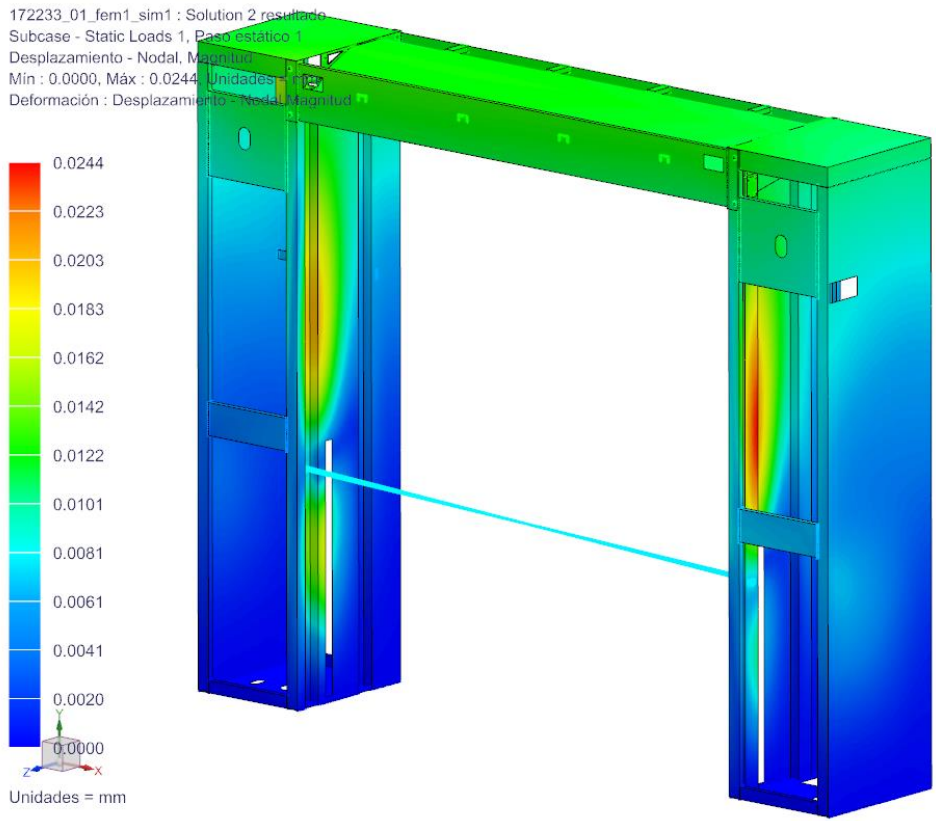
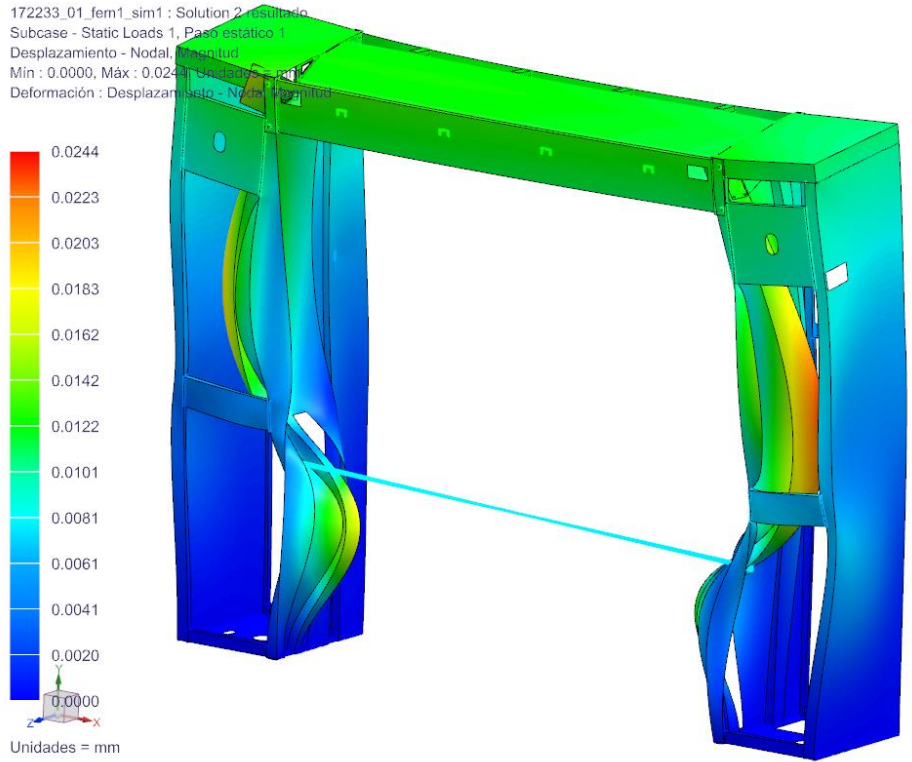


Ilustración 83. Desplazamientos. Vista general comparativa 10:1 y 1:1. Caso 2

En vista de los resultados obtenidos, la deformación vemos que afecta en mayor medida a los perfiles interiores de las columnas, manifestándose este desplazamiento del material con más intensidad a ambos lados de la posición del diente.

Vemos como ese desplazamiento es mayor en la parte superior (entre diente y la zona superior de la máquina) al haber en este tramo mayor distancia.

También apreciamos como el desplazamiento máximo es de un valor muy reducido, 0,0244 mm, debido al diseño reforzado de la estructura y a los materiales empleados.

Este valor se aprecia más alto en la columna que corresponde al diente situado a menor altura, dando a entender que el peso de los elementos en suspensión afectan más a ésta al inclinarse el secado hacia ese lado.

Tensiones de Von Mises

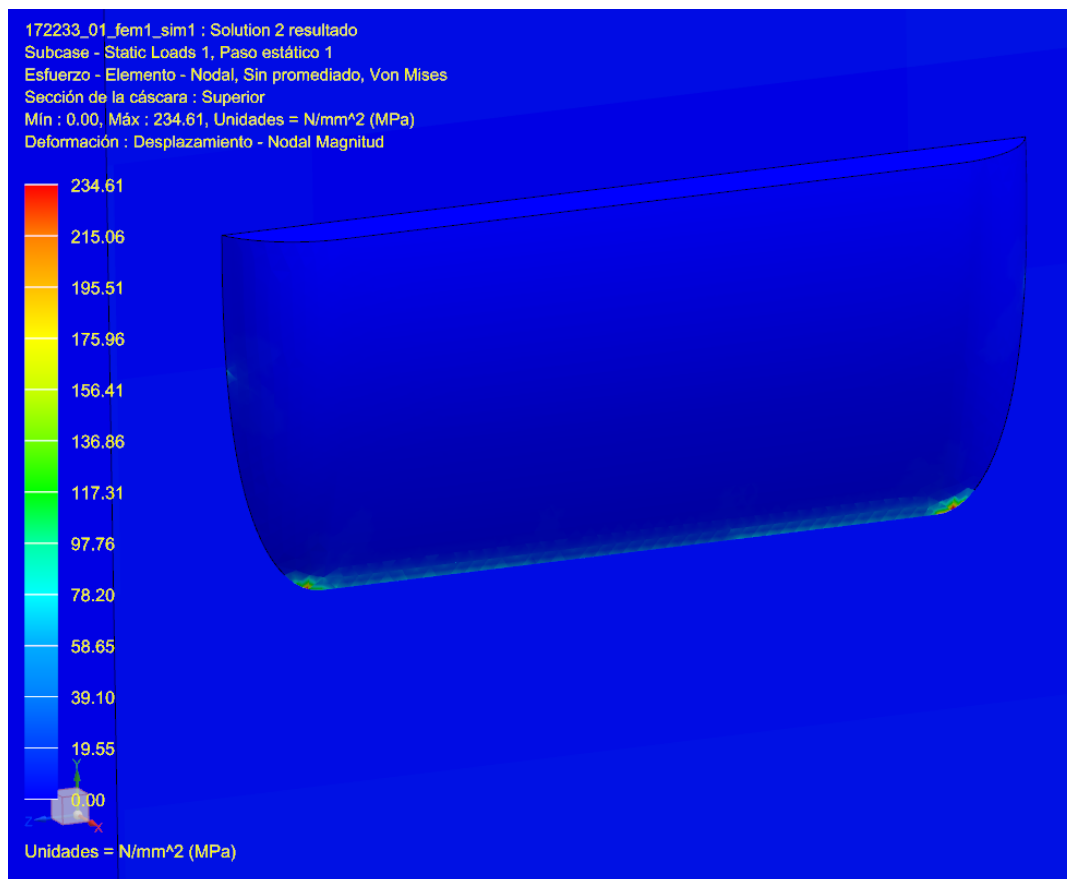


Ilustración 84. Tensiones en dientes. Vista detalle. Caso 2.

En este caso los resultados obtenidos para tensiones no son para nada esclarecedores, al no apreciarse prácticamente tensiones algunas derivadas del peso de la carga.

Los únicos valores presentes se concentran en las aristas inferiores del diente en su zona de unión con las columnas, siendo la tensión máxima (234,61 MPa) inferior al límite elástico del material.

Sin embargo, este comportamiento se aleja de lo esperado en la realidad, en la que debería existir una distribución más progresiva de tensiones a lo largo de la geometría del diente y su unión con la columna.

3.4.7. Conclusiones. Caso 2.

En vista de los resultados obtenidos para desplazamientos y tensiones en este caso de carga, podemos extraer las siguientes conclusiones.

- El caso de carga que nos ocupa, como sabíamos de partida, es realmente complejo, con multitud de factores que condicionan su estudio.
- Mediante los preceptos asumidos hemos conseguido reducir la problemática y simplificar el caso, siendo aún insuficiente para determinar con exactitud el comportamiento real de la estructura de forma óptima.
- La solución al problema pasaría por estudiar en detalle ambos dientes, teniendo en cuenta todos los parámetros y condiciones del apoyo, hasta ahora desconocidos y de dudosa repetitividad en casos reales.
- A pesar de todo, mediante el estudio de desplazamientos, podemos dar cuenta, a grosso modo, de cómo se deformará la estructura, asumiendo como innecesario cualquier refuerzo o rediseño de la misma, debido al pequeño valor de las deformaciones.
- Finalmente, decir que este caso de estudio es el más extremo de todos y sirve como último recurso. Se debe evitar a toda costa llegar al descuelgue del grupo secado horizontal mediante la aplicación de un correcto mantenimiento preventivo.

CAPÍTULO 4

Diseño y análisis de un utillaje

4. DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN UTILLAJE.	118
4.1. Introducción.	118
4.2. Requisitos de diseño.	118
4.3. Diseño.	118
4.4. Análisis estructural.	123
4.4.1. Simplificación del modelo.	123
4.4.2. Mallado.	123
4.4.3. Condiciones de contorno.	125
4.4.4. Resolución.	127
4.4.5. Post-procesado	127
4.4.6. Conclusiones.	133

4. DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN UTILLAJE.

4.1. Introducción.

En el presente capítulo se llevará a cabo el desarrollo de un utillaje que nos sirva de ayuda en las tareas de mantenimiento sobre las que trata el proyecto.

A través del empleo de este utillaje se busca aumentar la seguridad para el operario en este tipo de operaciones, evitando de forma conjunta posibles perjuicios para su integridad física y sobre la máquina.

A lo largo del capítulo se tratará su diseño y análisis estructural, con el objetivo de validar su correcta adecuación para su uso en condiciones de carga reales.

4.2. Requisitos de diseño.

A la hora de abordar el diseño del utillaje, se establecen una serie de requerimientos a cumplir para la materialización de la idea:

- Diseño simple y sencillo, formado por pocas piezas.
- Fácil de fabricar y de bajo coste.
- Tamaño compacto.
- Posibilidad de instalar sobre la maquina sin necesidad de modificar ningún elemento de la misma. Evitar remecanizados.
- Facilidad para su montaje y desmontaje.
- Viable desde el punto de vista estructural. Deberá ser capaz de soportar grandes cargas.
- Adaptable y ajustable a la variedad de alturas de máquina.

4.3. Diseño.

Atendiendo a los requisitos de diseño establecidos en el punto anterior y a las características de la propia máquina, se pensó que la idea más viable era realizar un útil en forma de perfil soporte, que incidiese por la parte inferior del grupo secado horizontal, para asegurar su posición a la altura más oportuna.

Al haber demostrado en capítulos anteriores de este proyecto la resistencia de la estructura de la propia tobera del secado, si conseguimos con un utillaje fijar esta estructura a la altura

deseada, se puede garantizar con total seguridad que el operario pueda subirse a la misma para realizar las acciones oportunas durante su actividad.

Al considerar como la parte más resistente del grupo secado horizontal aquella que ocupa a los carros de desplazamiento, se plantea la posibilidad de incidir con estos útiles sobre la parte baja de estos elementos.

Debido a las reducidas condiciones de espacio, se plantea diseñar el útil de forma que quede instalado en el interior de las guías labradas sobre las caras interiores de las columnas para el desplazamiento de los carros, incidiendo este sobre la base de los mismos.

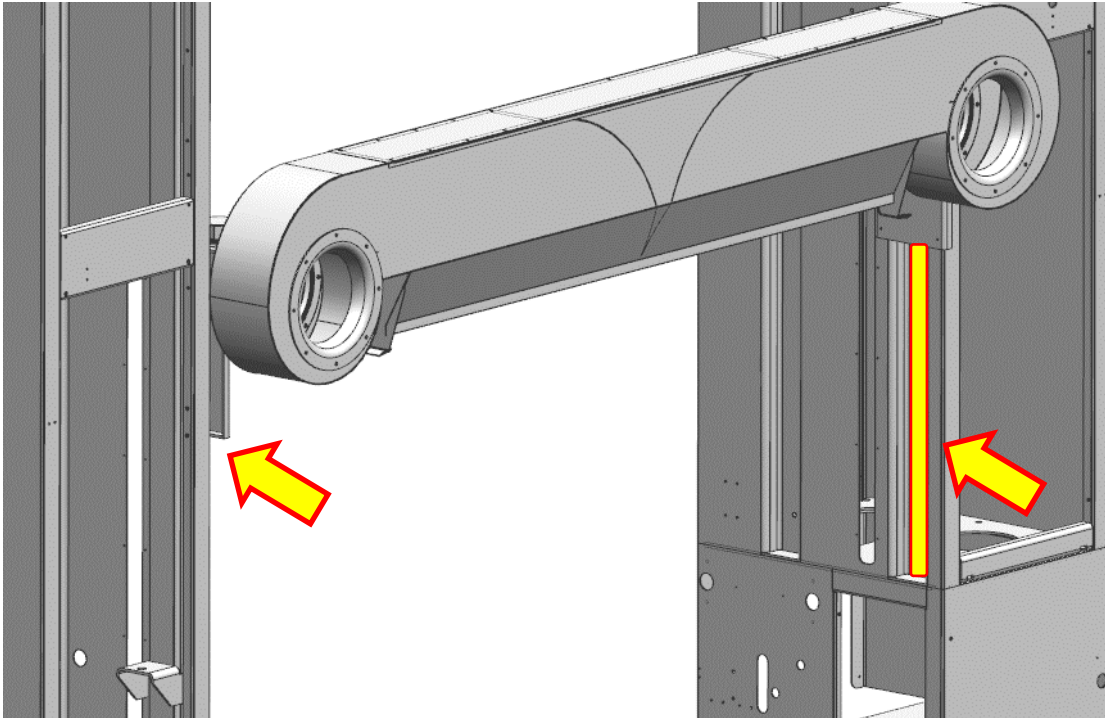


Ilustración 85. Ubicación del utilaje

A continuación, se muestran imágenes del diseño real del útil instalado en la máquina y de forma individual con las partes que lo forman.



Ilustración 86. Diseño final del utillaje

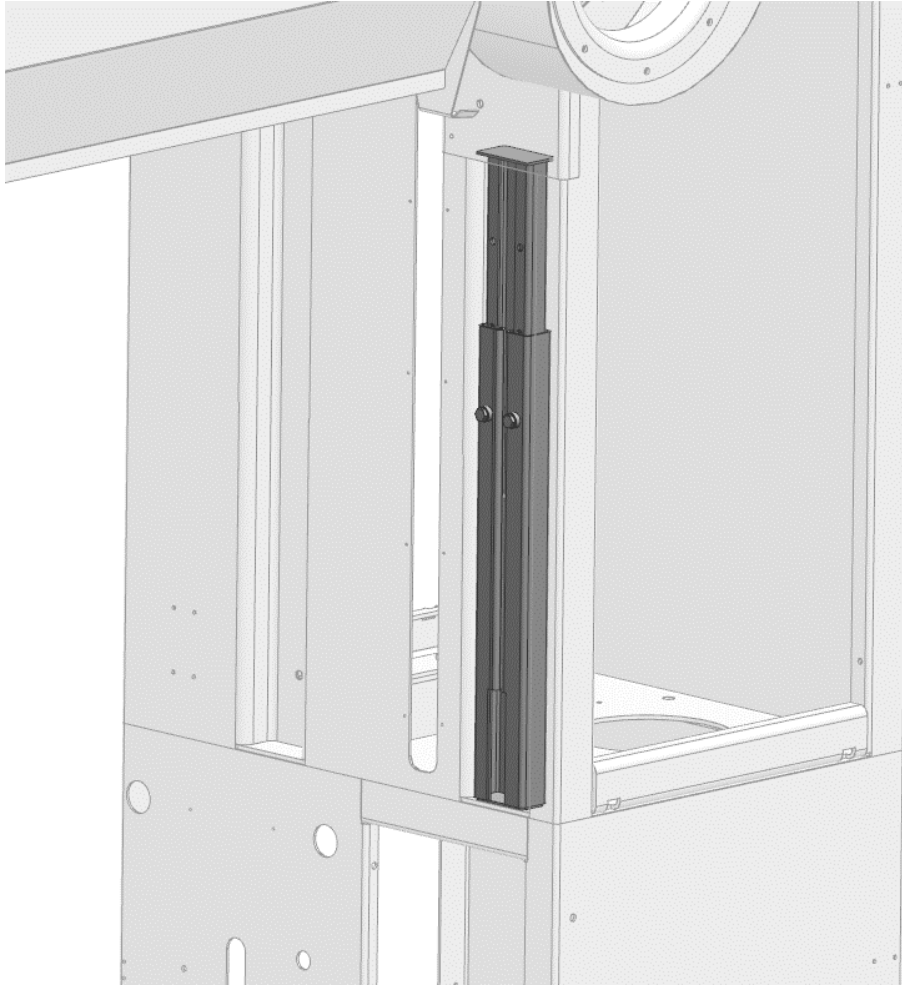


Ilustración 87. Utillaje instalado en la maquina

Como se puede apreciar, el útil está formado por dos partes:

- Una pieza inferior, instalada sobre la columna de forma fija a través de una unión atornillada, haciendo uso de uno de los orificios con los que cuenta la columna en estas máquinas. A su vez, apoya y transmite la carga sobre la superficie de unión entre la brida de las columnas y el patín.
- Una pieza superior que, introducida en el interior de la anterior, permite su desplazamiento. Se busca con esto poder variar la longitud del utillaje, y del mismo modo regular la altura del mismo para hacerlo adaptable a máquinas con diversas alturas.
- Tornillería. A través de tuercas soldadas a la pieza inferior y mediante el conjunto de orificios realizados sobre la pieza superior, podemos ajustar el utillaje en tres alturas: 750 mm, 650 mm o 550 mm; acortando la distancia entre el operario y la zona donde efectúa la reparación.

Una vez el operario se encuentre sobre la tobera, la altura de esta zona se encontrará sobre los 1,40 m, idónea el desarrollo sus tareas.



Ilustración 88. Pieza inferior y superior del utillaje



Ilustración 89. Tornillería del utillaje.

4.4. Análisis estructural.

Se procederá en este apartado de forma análoga a lo visto en el capítulo anterior para los diferentes casos de estudio.

4.4.1. Simplificación del modelo.

En el caso que nos ocupa y con el objetivo de que el análisis sea lo más fiel a la realidad posible, las simplificaciones del modelo se intentaran reducir al mismo.

De este modo, únicamente sustuiremos los tornillos por piezas cilíndricas, resultando el resto del modelo igual al mostrado en el apartado de diseño.

Se estudiará el utillaje para la configuración que proporciona mayor longitud, 750 mm, al ser considerarse esta como la más crítica.

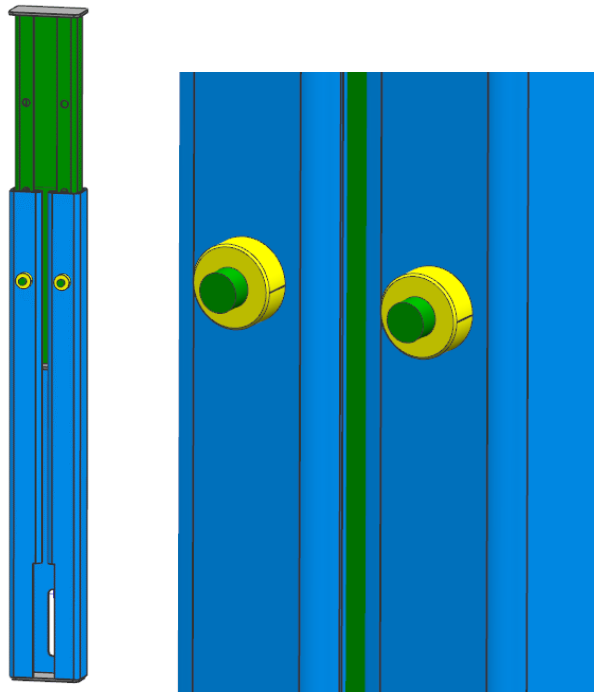


Ilustración 90. Modelo del útil simplificado.

4.4.2. Mallado.

Debido al reducido número de elementos y al tamaño de los mismo, se creyó conveniente mallar todas las piezas en tres dimensiones, valiéndonos de elementos CTETRA (10) con elementos de tamaño reducido.

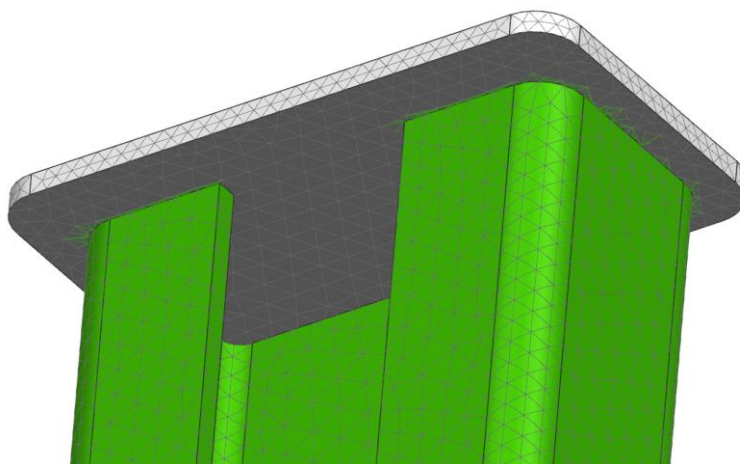
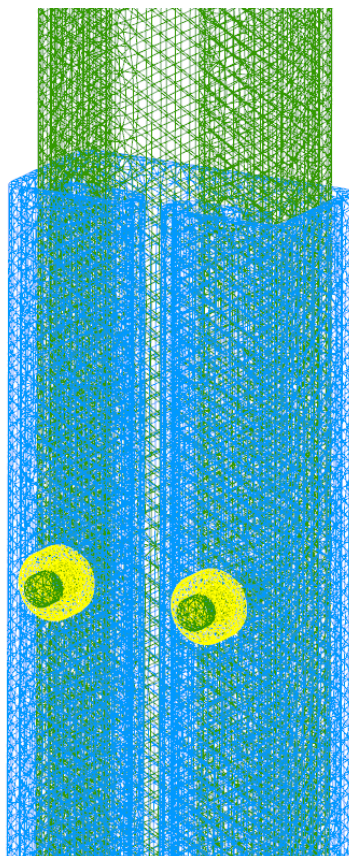


Ilustración 91. Detalle mallado del utillaje y elementos de unión.

La unión entre las piezas superior e inferior con las diferentes piezas base y con las tuercas soldadas se simuló con la combinación de elementos RB2 y RB3, para reproducir el efecto de las soldaduras.

Para simular la unión atornillada, realizamos sendos acoplamientos de maya entre el tornillo, la pieza superior, la pieza inferior y las tuercas soldadas.

Finalmente, comprobamos los parámetros de calidad de la malla, para determinar que no existan errores.

```

=====
Results of Element Shape Check
=====

Overview

Elements                Number Failed  Number Checked
                        0              115325

Check                   Number Failed  Worst Value
Jacobian Sign           0              1.00000
Jacobian Zero           0              0.39106
Volume                  0              0.07159
Axisymmetric            0              -N/A-
Consistent Y
Axisymmetric +X         0              -N/A-
Aspect Ratio            0              11.34183
Skew Angle              0              -N/A-
Maximum Interior
Angle                   0              -N/A-
Minimum Interior
Angle                   0              -N/A-
Taper                   0              -N/A-
Warp Factor             0              -N/A-
Face Warp               0              -N/A-
Coefficient
Edge Point Length
Ratio                   0              0.92384
Element Offset          0              -N/A-
Length Ratio
    
```

Ilustración 92. Parámetros de calidad de mallado del utillaje

4.4.3. Condiciones de contorno.

- **Restricciones:**

Para reproducir las restricciones que presenta el útil instalado en la máquina en una situación real, aplicamos:

- Una restricción de su movimiento en sentido vertical sobre la cara inferior de apoyo.
- Una restricción de todos sus movimientos y giros salvo el movimiento en sentido vertical sobre una de las caras de la pieza superior. Con esto simulamos su desplazamiento en vertical sobre el interior de la pieza inferior.
- Una restricción fija sobre un punto que representa la unión atornillada entre la columna y el útil.

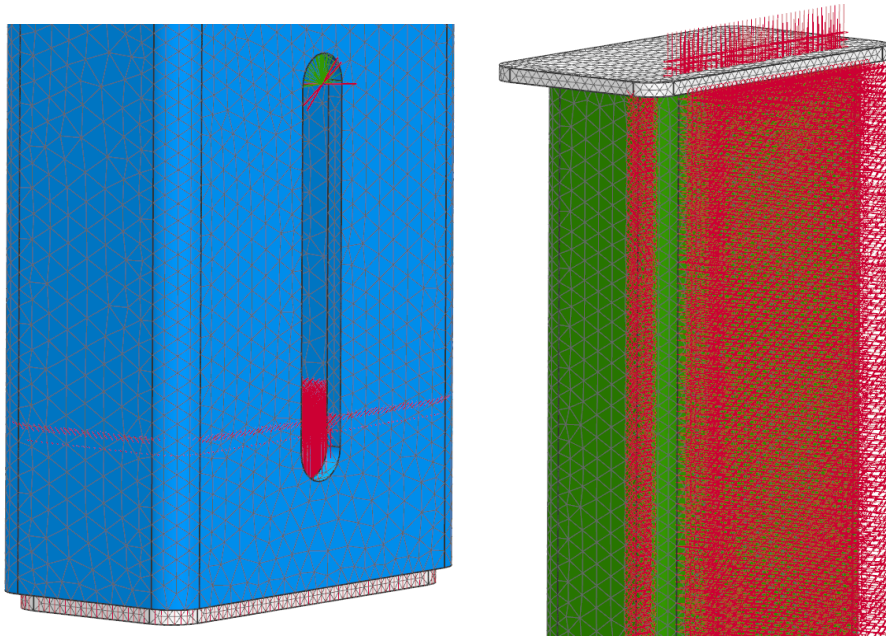


Ilustración 93. Modelo de utillaje restringido.

- **Cargas:**

La carga a aplicar corresponde a la mitad de la suma del peso del secado más el operario, cantidad que asciende a 1499,4 N, y que se aplicara de forma íntegra y distribuida sobre la base superior de apoyo del útil.

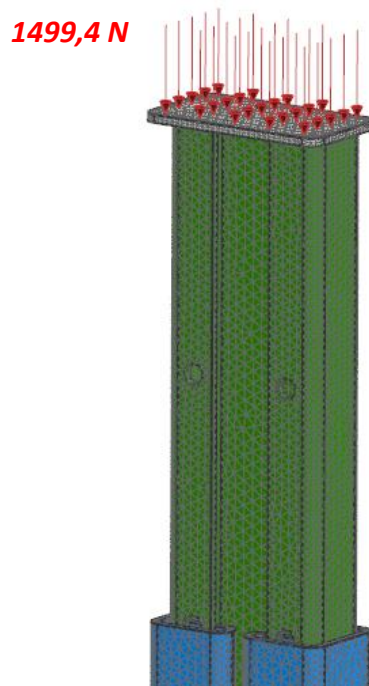


Ilustración 94. Carga aplicada sobre el utillaje.

4.4.4. Resolución.

Se procederá a realizar un cálculo estático de resistencia para el caso de carga citado y un cálculo de respuesta libre para determinar los modos de vibración de la estructura modelada.

4.4.5. Post-procesado

- **Modos de vibración.**

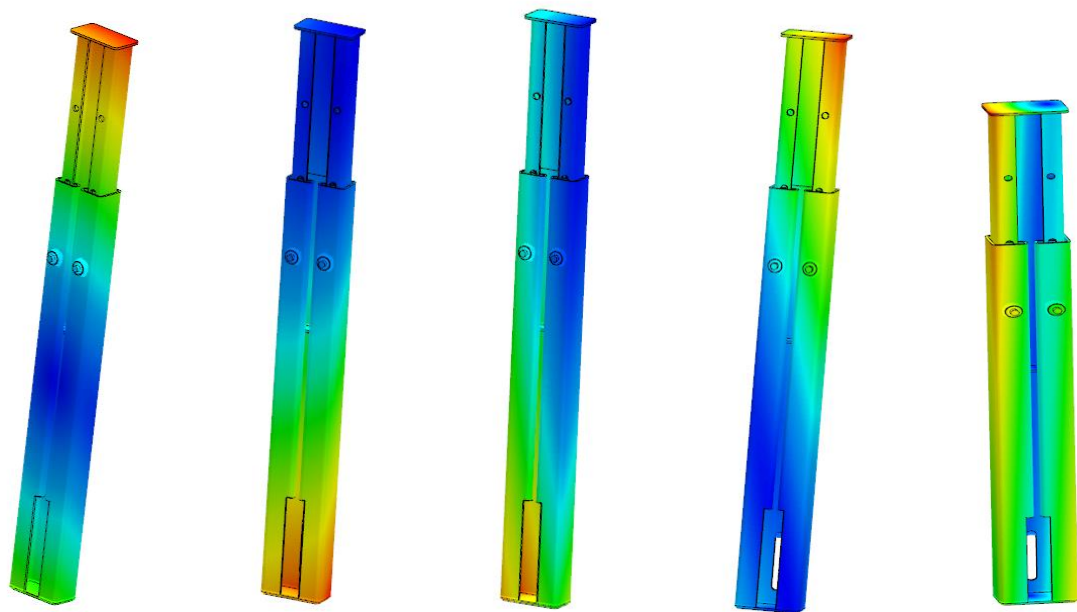
A continuación, se muestran los resultados gráficos y analíticos para los 10 primeros modos de vibración en la estructura modelada.

El chequeo es satisfactorio, encontrándose 6 modos en los que el modelo se comporta como solido rígido y a partir del séptimo de modo elástico.

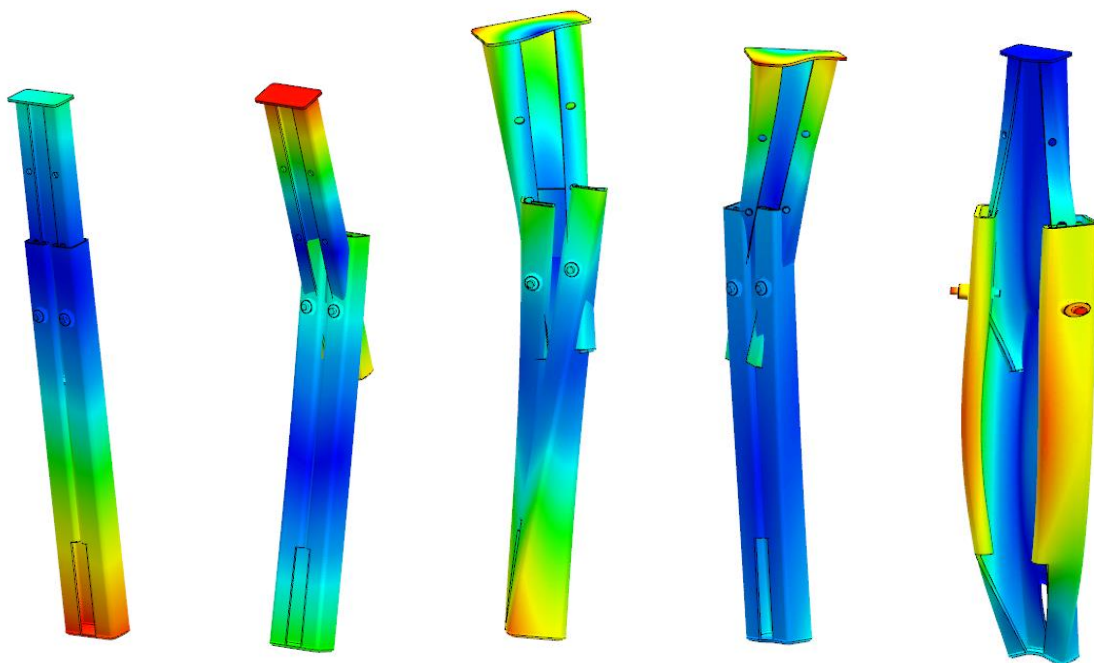
El mallado y las uniones son adecuadas.

MODE NO.	EXTRACTION ORDER	EIGENVALUE	R E A L E I G E N V A L U E S	
			RADIANS	CYCLES
1	1	-8.665441E-05	9.308835E-03	1.481547E-03
2	2	-5.799210E-05	7.615255E-03	1.212005E-03
3	3	-3.406090E-05	5.836171E-03	9.288555E-04
4	4	-1.366429E-05	3.696524E-03	5.883201E-04
5	5	4.329864E-06	2.080833E-03	3.311748E-04
6	6	4.664678E-05	6.829844E-03	1.087004E-03
7	7	3.067708E+05	5.538689E+02	8.815098E+01
8	8	1.046063E+06	1.022772E+03	1.627793E+02
9	9	1.799489E+06	1.341450E+03	2.134985E+02
10	10	7.145200E+06	2.673051E+03	4.254292E+02

Ilustración 95. Resultados analíticos para modos de vibración en utillaje.



Modo 1: 0,001 HZ	Modo 2: 0,001 HZ	Modo 3: 0,0009 HZ	Modo 4: 0,0006 HZ	Modo 5: 0,0003 HZ
------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------



Modo 6: 0,001 HZ	Modo 7: 88,151 HZ	Modo 8: 162,779 HZ	Modo 7: 213,498 HZ	Modo 7: 425,429 HZ
------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Ilustración 96. Resultados gráficos para modos de vibración en utillaje.

- Caso de carga.

Desplazamientos

174447_01_sim1 : Solution 2 resultado
Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
Desplazamiento - Nodal, Magnitud
Mín : 0.0000, Máx : 0.0243, Unidades = mm
Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud

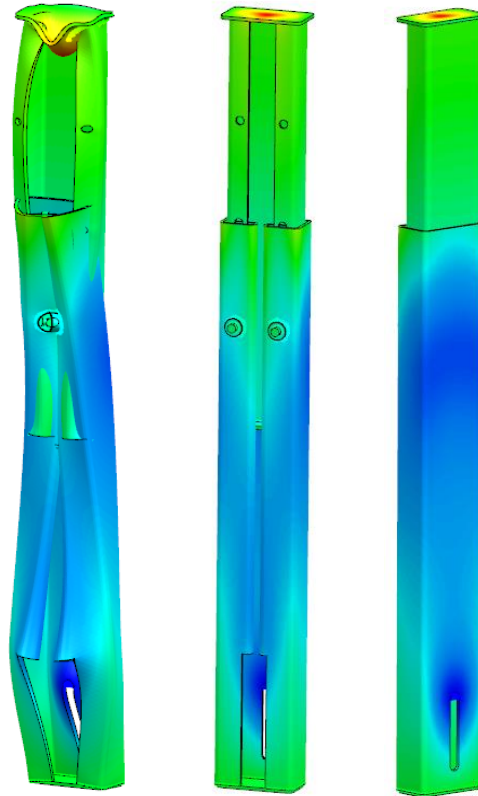
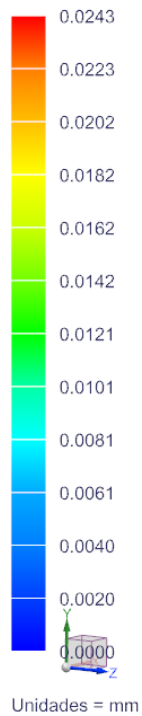


Ilustración 97. Desplazamientos en utillaje. Comparativas escalas 10:1 y 1:1.

En la imagen posterior podemos apreciar como es el desplazamiento de los elementos del modelo en este caso de carga.

La zona más afectada sería la superficie superior sobre la que se ejerce la carga, siendo el valor de desplazamiento máximo prácticamente inapreciable, 0,0243 mm.

Tensiones de Von Mises

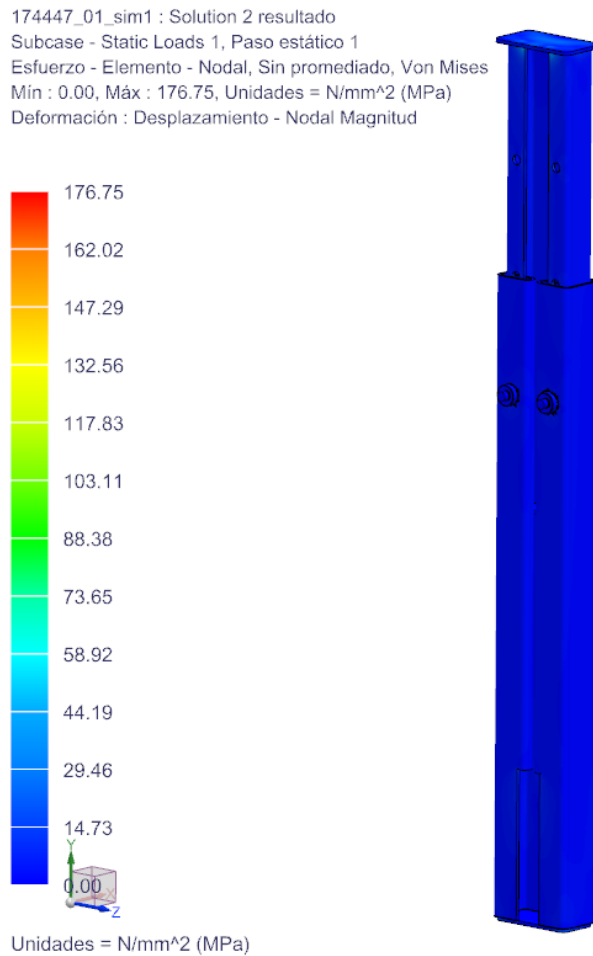


Ilustración 98. Tensiones en utillaje. Vista general.

A la vista de los resultados, podemos ver que las tensiones generadas sobre el modelo son, en términos generales, de valor bastante reducido.

Como se ve reflejado en las siguientes imágenes, la zona en la que se concentran los valores más altos corresponde con la unión entre la base de apoyo superior y la pieza superior, ya que esta última tiende a abrirse al aplicar la fuerza.

El valor máximo de esta tensión, de 176,75 N, es claramente inferior al límite elástico del material, por lo que no se producirán deformaciones permanentes en la pieza.

A continuación, aparecen el resto de puntos en los que las tensiones aumentan, como son la zona de unión entre los elementos que intervienen en la unión atornillada, así como la fijación inferior a la columna y la unión entre pieza inferior y la base de apoyo.

174447_01_sim1 : Solution 2 resultado
Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
Esfuerzo - Elemento - Nodal, Sin promediado, Von Mises
Min : 0.00, Máx : 176.75, Unidades = N/mm² (MPa)
Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud

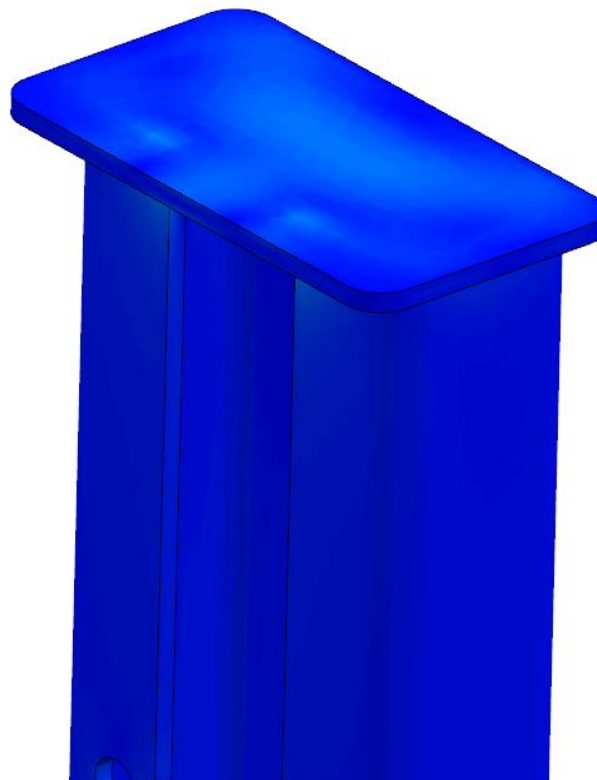
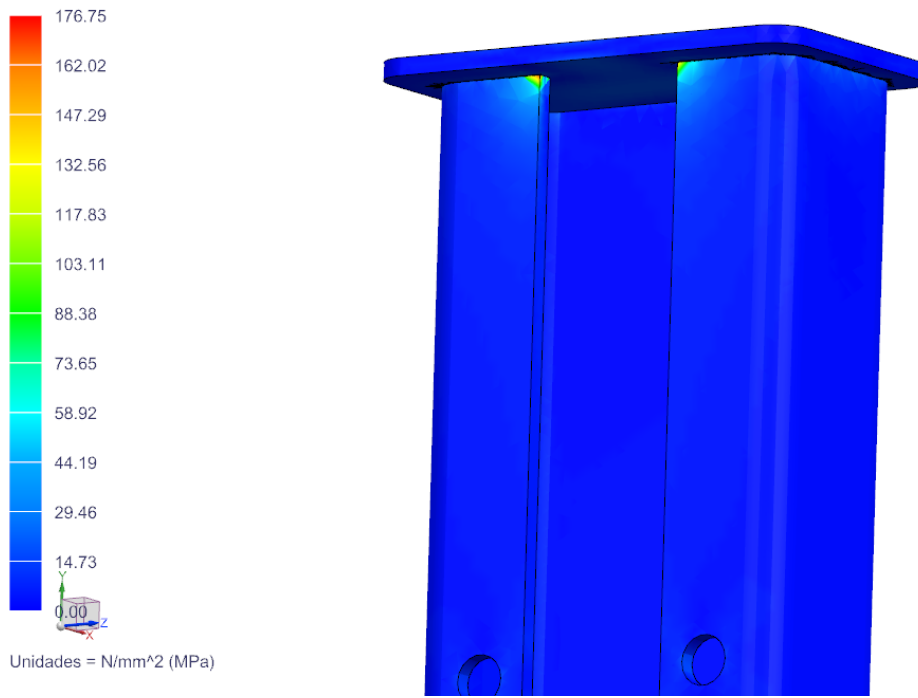


Ilustración 99. Tensiones en utillaje. Vista detalle superior.

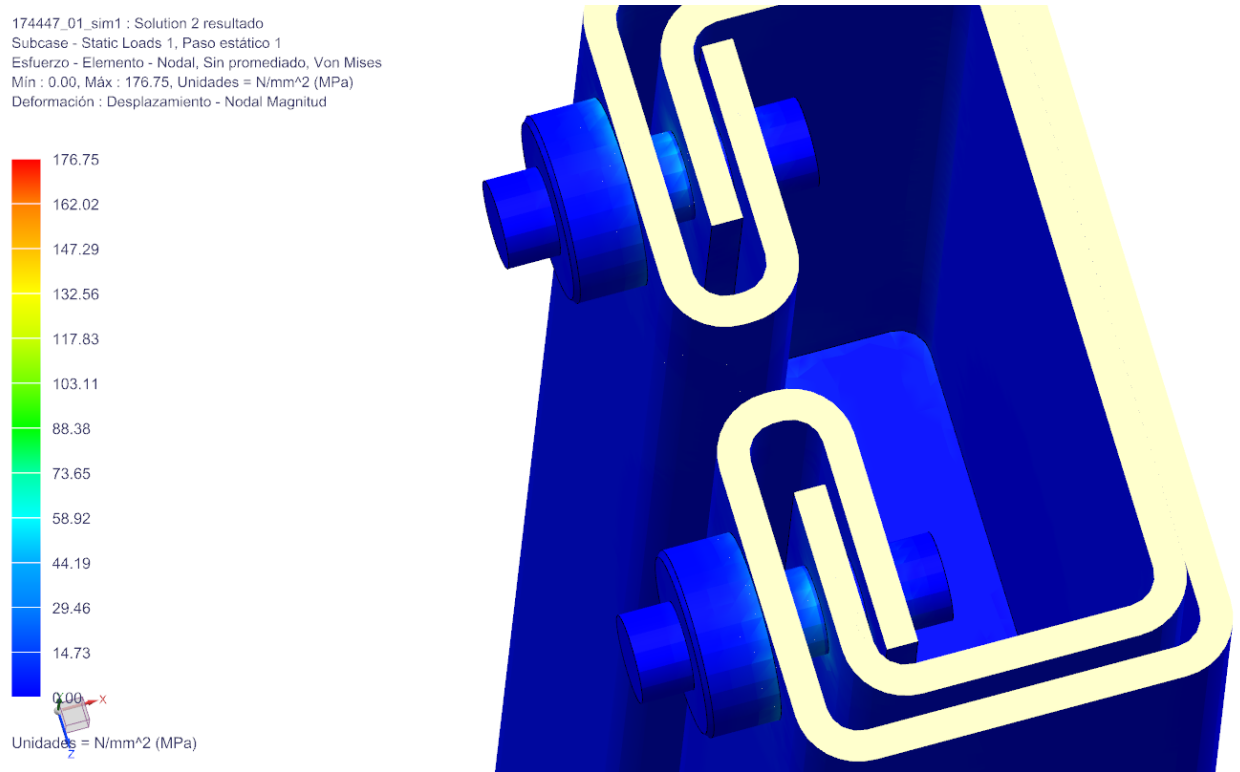
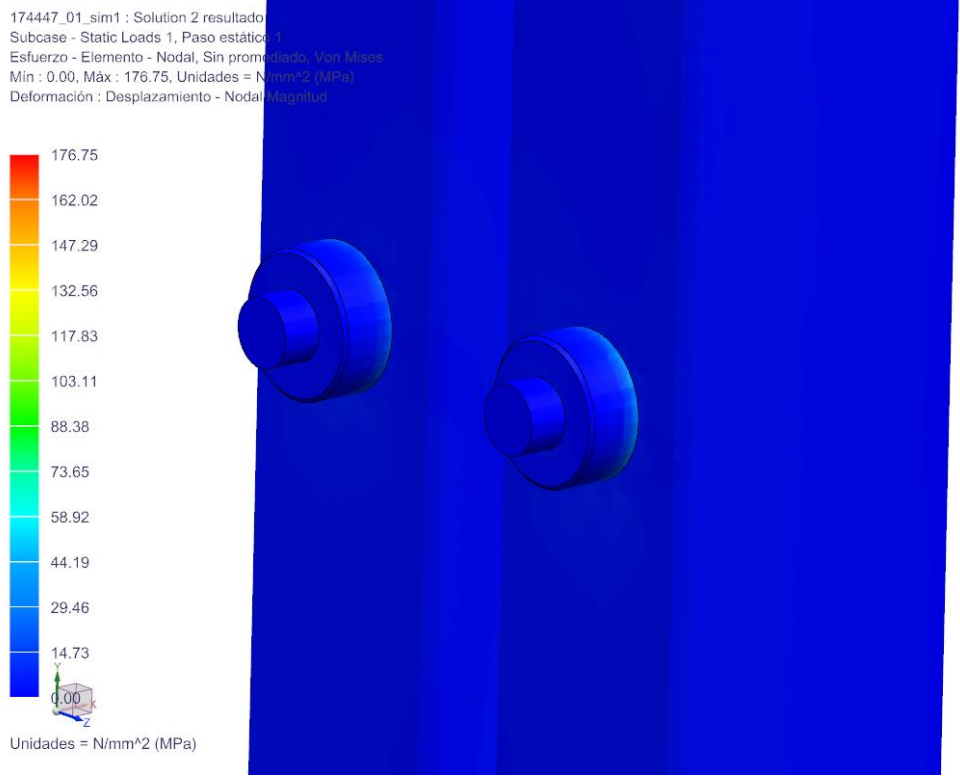
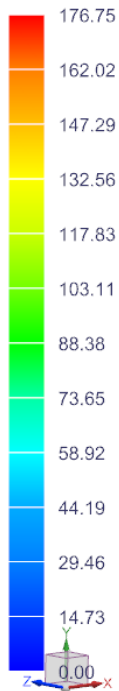


Ilustración 100. Tensiones en utillaje. Vista detalle unión atornillada.

174447_01_sim1 : Solution 2 resultado
Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
Esfuerzo - Elemento - Nodal, Sin promediado, Von Mises
Min : 0.00, Máx : 176.75, Unidades = N/mm² (MPa)
Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



Unidades = N/mm² (MPa)

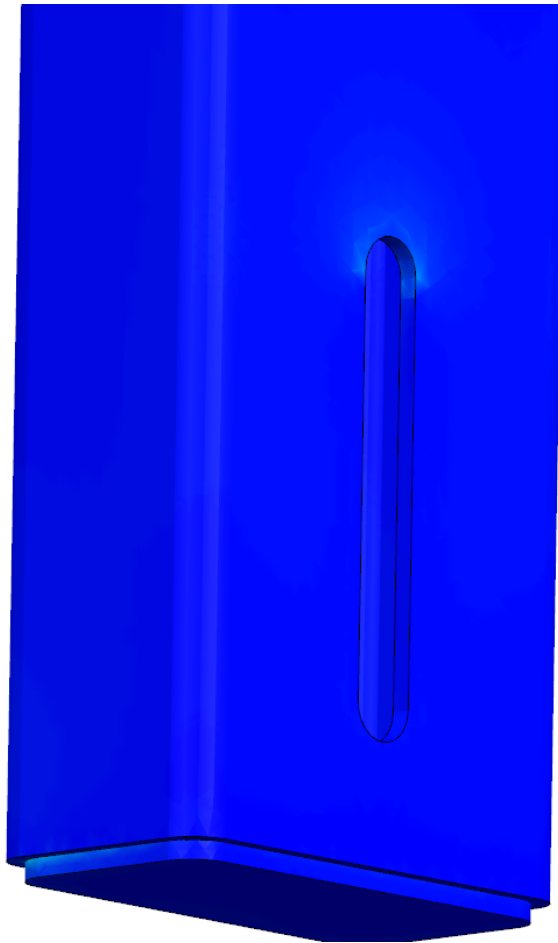


Ilustración 101. Tensiones en utillaje. Vista detalle unión y apoyo inferior.

4.4.6. Conclusiones.

Del análisis anterior podemos concluir que:

- El diseño es válido desde el punto de vista estructural, pudiéndose reforzar en la parte superior para evitar la concentración de tensiones presente.
- El diseño cumple con los requisitos previos. Disponemos de un útil funcional, regulable y de fácil construcción y uso, sin ser necesario realizar modificaciones en la máquina para su fijación.

CAPÍTULO 5

PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD

5. PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD	138
5.1. Introducción.	138
5.2. Objeto.	138
5.3. Alcance.	138
5.4. Implicaciones.	138
5.5. Materiales requeridos.	139
5.6. Procedimiento.	140

5. PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD

5.1. Introducción.

Este breve capítulo tendrá como objetivo sentar las bases para la definición de un procedimiento en el que se detallaran todas las pautas a seguir para realizar cualquier operación de mantenimiento sobre la zona de interés en este proyecto dentro de unos márgenes de seguridad.

Para ello, se determinarán los materiales y pasos a seguir en este tipo de operaciones y que serán de recomendado seguimiento por parte del operario.

Este procedimiento se redacta en el marco de un trabajo académico y no tendrá ninguna validez legal, siendo necesaria su supervisión por un técnico de prevención de riesgos laborales.

5.2. Objeto.

El presente procedimiento tiene por objeto fijar las directrices necesarias que deberán seguir los trabajadores que realicen tareas de mantenimiento en puentes de lavado de las gamas M12, M15, M12+ y M15+.

5.3. Alcance.

Estará sujeto a este procedimiento toda operación de mantenimiento que se realice sobre las máquinas citadas en el anterior apartado, cuando la zona de intervención se refiera a la ubicación de las válvulas de alta presión de la misma, en la zona central del perfil superior horizontal de la máquina (parte posterior).

5.4. Implicaciones.

El responsable de la empresa deberá dotar a los trabajadores de equipos de protección individual necesarios para el desarrollo de su trabajo.

Además, deberá velar porque los trabajadores estén debidamente informados sobre el contenido de este procedimiento y se cumplan las instrucciones establecidas en el.

El responsable de la empresa facilitará formación e información a los trabajadores sobre los riesgos derivados de su uso.

Los trabajadores serán responsables de usar adecuadamente los equipos de protección individual, así como de mantenerlo en buenas condiciones.

También deberán informar a su superior inmediato de cualquier situación que, a su juicio, entrañe riesgo o presente dudas sobre la aplicación de este procedimiento.

5.5. Materiales requeridos.

Para el correcto seguimiento de este procedimiento, los trabajadores deberán contar con el siguiente equipamiento mínimo:

- Un casco de seguridad para trabajos en altura.



Ilustración 102. Casco de seguridad.

- Un arnés anticaídas fabricado según norma EN 361.



Ilustración 103. Arnés anticaídas.

- Dos cabos de seguridad anticaída regulables. Longitud aproximada 3.5m.



Ilustración 104. Cabos de seguridad anticaída.

- Un cabo de amarre doble.



Ilustración 105. Cabo de amarre doble.

5.6. Procedimiento.

Para la realización de las tareas, se llevará a cabo el presente procedimiento, siguiendo de forma ordenada los siguientes pasos:

1. El operario regulará el utillaje de seguridad objeto de este proyecto a la posición conveniente, basándose en su propia altura y en las dimensiones de la máquina.
2. Con la maquina totalmente parada (aplicar seta de seguridad) y, estando el secado de la misma en su posición más alta, se anclará el utillaje en su ubicación, haciendo uso de la tornillería de fijación.



Ilustración 106. Fijación de útil.

3. Se hará descender el secado de forma manual a través del puesto de mando de la máquina, hasta que los carros del secado apoyen totalmente su peso sobre los útiles.

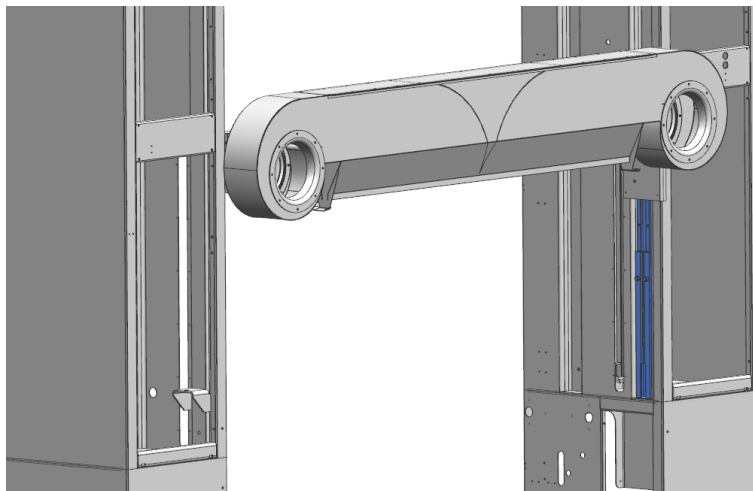


Ilustración 107. Descenso del secado.

4. Con ayuda de una escalera, accederemos a la parte superior de ambas columnas y anclaremos en cada una de las anillas para el transporte de la máquina, uno de los extremos de cada cabo de seguridad anticaída.
5. Repetiremos este paso con la columna opuesta, anclando los otros extremos de los cabos a las otras anillas. Se regulará la longitud de los cabos, de contar con esta opción, para tensarlos lo máximo posible, haciendo la función de línea de vida en este procedimiento.

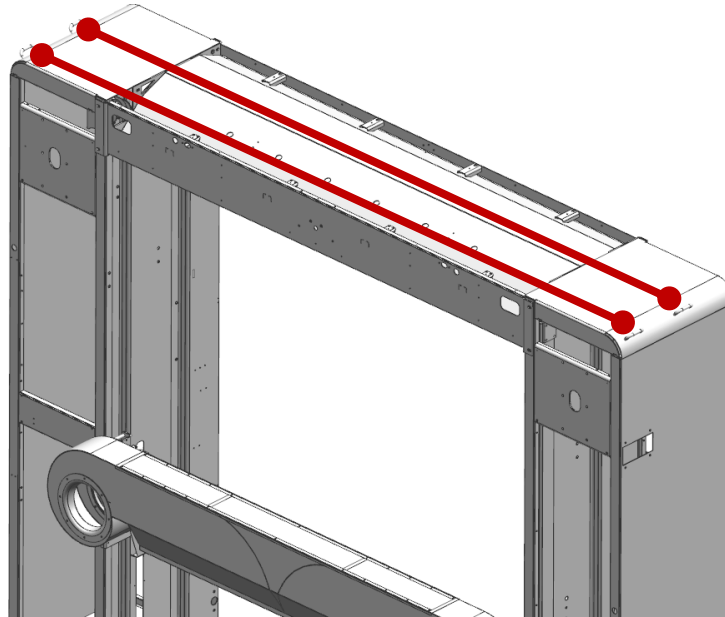


Ilustración 108. Líneas de vida.

6. Con ayuda de una escalera, el operario, equipado con su arnés de seguridad y casco, accederá a subirse a la tobera del secado por la parte posterior de la máquina.
7. Una vez arriba, el operario anclará su cabo de amarre doble, uniendo el arnés a cada uno de los cabos que actuarán como línea de vida.

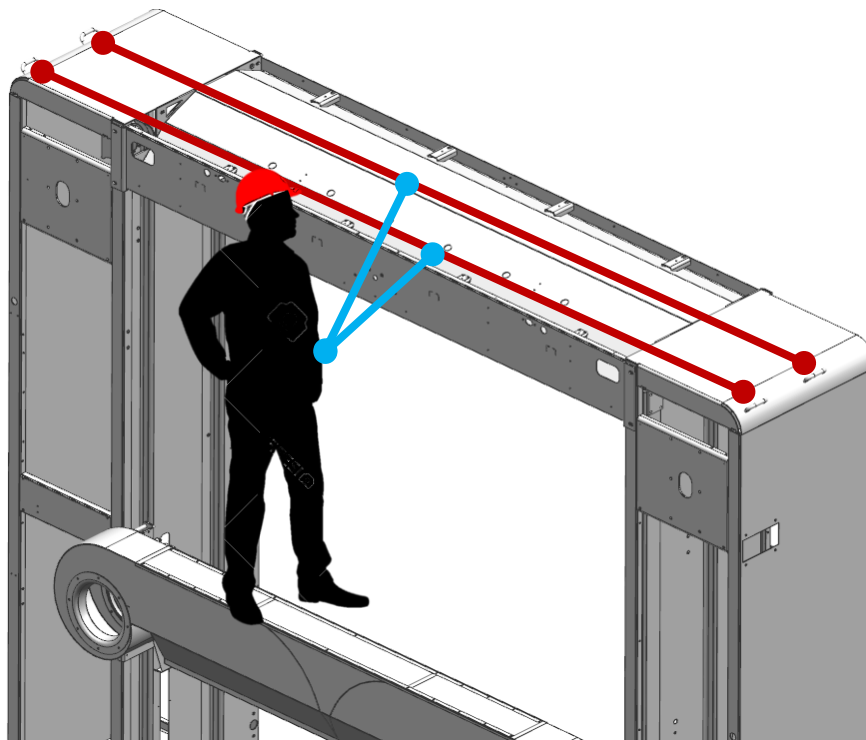


Ilustración 109. Anclaje de seguridad.

8. A continuación, realizar las tareas pertinentes.
9. Una vez acabado, repetir los pasos en orden inverso y despejar la zona de obstáculos.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES.

A continuación, se comentan, a modo de resumen, las conclusiones más importantes que podemos extraer a partir de la realización de este proyecto:

- Los modelos de elementos finitos son útiles para resolver una gran cantidad de problemas de ingeniería independientemente de su carácter. En este caso nos hemos centrado en la resolución de simulaciones estáticas de partes de una estructura, mediante los que hemos sido capaces de realizar un acercamiento al que sería el comportamiento real de la misma.
- Es indispensable en la realización de este tipo de estudios dedicar la mayor parte del tiempo a la correcta construcción geométrica de los modelos, así como a una buena elección de la estrategia de mallado y tipo de elementos a utilizar.
- Basándonos en el anterior punto y en vista de los resultados obtenidos, podemos afirmar que el comportamiento de la estructura en los diferentes casos de estudio es cercano a la realidad y conforme a lo esperado.
- Como comentamos en el punto 3.4.7, para el caso de estudio 2, sería conveniente realizar un análisis en profundidad que sobrepasa las pretensiones del presente proyecto.
- En términos generales, hemos sido capaces de simular la problemática existente y validar, desde el punto de vista estructural, la capacidad del puente de lavado Istobal M12+ para soportar los esfuerzos estimados.
- Se ha diseñado y validado un utillaje de seguridad capaz de servir de apoyo en las operaciones de mantenimiento que dan origen a la problemática comentada.
- Se ha presentado un procedimiento de seguridad en el que se detalla punto por punto las acciones a seguir para desarrollar estas tareas de mantenimiento en condiciones óptimas de seguridad.
- En definitiva, se ha conseguido poner solución a la problemática presente, permitiendo a Istobal s.a. el cumplimiento de la normativa en materia de seguridad y mejorar la calidad de sus servicios.
- Desde el punto de vista personal, a través de la realización de este proyecto he sido capaz de mejorar mi formación en múltiples aspectos:
 - He conseguido ampliar mis conocimientos en el manejo del software Siemens NX.
 - He mejorado mi capacidad para sintetizar y simplificar problemáticas complejas en la resolución de análisis de elementos finitos.
 - He aprendido a comprender la importancia de cada uno de los factores que intervienen a la hora de realizar un análisis por elementos finitos y como estos afectan a los resultados obtenidos.
 - He progresado en cuanto a mi capacidad para la redacción de proyectos de tipo académico/profesional.

En vista de lo comentado anteriormente, solo queda concluir el resultado satisfactorio obtenido con el presente proyecto.



DOCUMENTO 2

PRESUPUESTO



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

1. PRESUPUESTO.	152
1.1. Consideraciones previas	152
1.2. Costes directos	153
1.2.1. Definición del coste/hora de trabajo	153
1.2.2. Tiempo empleado por fases. Mano de obra.	153
Análisis preliminar	153
Elaboración y mallado del modelo a estudio	153
Estudio de resultados	153
Documentación y redacción del proyecto.	154
1.2.3. Costes de material	154
1.3. Costes indirectos	155
1.4. Resumen de totales	156

1. PRESUPUESTO.

1.1. Consideraciones previas

Este presupuesto hace referencia a un proyecto compuesto principalmente por dos etapas: el análisis del comportamiento de la estructura de una máquina de lavado frente a esfuerzos derivados de una tarea de mantenimiento específica, y el diseño y análisis de un utillaje para su uso en dichas operaciones.

Para la primera etapa no es necesaria la utilización de materiales, únicamente se tienen en cuenta las horas de personal y los costes indirectos de los programas informáticos, equipos, puesto de trabajo, etc. El material de oficina se considera dentro de los costes indirectos ya que su importe no es significativo frente al resto de partidas.

Para la segunda etapa tendremos en cuenta los costes estimados de las piezas diseñadas. Estos costes vienen dados por los proveedores habituales de la empresa Istobal en función del tipo de material empleado y la complejidad de las piezas.

El presupuesto se divide en costes directos e indirectos, desglosándose estos a su vez en otras partidas.

En la realización de este presupuesto, se ha usado como referencia las tablas de personal de la empresa ISTOBAL S.A. y, dado que el proyecto se ha desarrollado con fines académicos, no se han considerado porcentajes de beneficio industrial.

Además, se han tenido en cuenta las horas dedicadas por el profesor tutor del proyecto de la Universidad Politécnica de Valencia, para el que se ha asumido que su trabajo tiene el mismo coste por hora que un ingeniero de la empresa Istobal S.A.

El presente proyecto no ha tenido como objetivo fines comerciales de ningún tipo. Se trata de un proyecto académico que ha servido para realizar el Trabajo de Fin de Máster de la titulación “Master en diseño y fabricación asistidos por computador CAD/CAM/CIM” de la Universidad Politécnica de Valencia y, al mismo tiempo, sirve de proyecto interno de la empresa ISTOBAL S.A.

1.2. Costes directos

1.2.1. Definición del coste/hora de trabajo

Para establecer el coste por hora de las diferentes fases del proyecto tendremos en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para las fases de análisis y desarrollo del cálculo es necesaria la ayuda un Ingeniero con experiencia en cálculo de estructuras.
- Para el seguimiento y apoyo en la ejecución del proyecto es necesaria la ayuda del profesor tutor de la UPV (lo consideraremos Ingeniero/proyectista)

Por tanto, los costes directos se determinarán exclusivamente a partir de las horas empleadas en el desarrollo de las diferentes fases del proyecto.

Según las tablas salariales de la empresa ISTOBAL, S.A., el coste de mano de obra del personal que participa en el proyecto es:

Categoría 31 (Proyectistas/ingenieros)	23 €/Hora
Categoría 70 (Alumno en prácticas)	5€/Hora

1.2.2. Tiempo empleado por fases. Mano de obra.

A continuación, se plasma una relación de las fases sobre las que se estiman las horas de trabajo tenidas en cuenta en este presupuesto:

Análisis preliminar

Para el análisis preliminar del proyecto se estima el empleo de 10 horas de ingeniero (se considerarán juntas las referentes al tutor e ingeniero para todos los apartados) y 15 horas del alumno con relación al estudio de la estructura objeto del proyecto, método e hipótesis de cálculo y a la distribución y organización del trabajo.

Elaboración y mallado del modelo a estudio

Para elaborar el modelo se calcula que se emplean 50 horas de ingeniero y 150 horas del alumno dedicadas al modelado 3D de los objetos a estudio, su mallado y cálculo.

Estudio de resultados

Para el estudio de los resultados, se estima el empleo de 5 horas de ingeniero y 15 horas del alumno, dedicadas a considerar e interpretar la validez de los resultados del cálculo.

Documentación y redacción del proyecto.

En este punto se estiman empleadas 25 horas de ingeniero y 100 horas del alumno para plasmar todo lo obtenido en la documentación necesaria a entregar. También se consideran en este punto las horas necesarias para la redacción del procedimiento de seguridad.

De este modo, a modo de resumen:

Fases	Coste Ingeniero/tutor (€/h)	Coste Alumno (€/h)	Horas ingeniero/tutor	Horas Alumno	Total ingeniero/tutor	Total Alumno	Coste total
Analisis preliminar	23	5	10	15	230,00 €	75,00 €	305,00 €
Elaboracion y mallado			50	150	1.150,0 €	750,00 €	1.900,0 €
Estudio de resultados			5	15	115,00 €	75,00 €	190,00 €
Documentación y redacción			25	100	575,00 €	500,00 €	1.075,0 €
				Total	2.070,0 €	1.400,00 €	3.470,0 €

Tabla 4. Resumen de costes directos de mano de obra por fases

1.2.3. Costes de material

En la fabricación del útil empleado se han tenido en cuenta los costes de cada una de las piezas por las que está compuesto.

PIEZA	Coste total
Pieza inferior	15,50 €
Pieza superior	14,80 €
Subtotal	30,30 €
Montaje (10% del subtotal)	3,03 €
Total por unidad	33,33 €
TOTAL 2 uds	66,66 €

Tabla 5. Resumen costes de material.

Los costes por pieza son suministrados por los proveedores habituales de Istobal.

Para tener en cuenta el valor del montaje de dicho conjunto se ha asumido un importe del 5% sobre el total de las piezas.

El coste referente a la tornillería (tornillos, arandelas y tuercas) no se ha tenido en cuenta al considerarse ínfimo para cantidades tan pequeñas.

1.3. Costes indirectos

Para determinar los costes indirectos, se ha tenido en cuenta el software empleado para realizar el cálculo, los equipos informáticos y los costes de instalaciones y material de oficina.

Número de activo fijo	Descripción	Valor adquisición	Fecha de adquisición	Modelo de valor	Amortización 2016
206-000030	MOBILIARIO DE OFICINA	15.344,70 €	22/01/2014	LINEAL_10%	1.534,47 €
206-000032	ESTACION DE TRABAJO HP Z640	2.730,00 €	04/08/2014	PC_50%	1.365,00 €
206-000038	MODULO DE CALCULO NX-NASTRAN	14.650,00 €	25/10/2014	LINEAL_25%	3.662,50 €
214-000164	LICENCIAS WINDOWS	450,00 €	01/02/2010	LINEAL_25%	112,50 €
214-000165	LICENCIAS OFFICE	620,00 €	01/02/2014	LINEAL_25%	155,00 €
				TOTAL	6.829,47 €

Tabla 6. Costes indirectos

La estimación de costes se realiza a partir de las amortizaciones planificadas para cada uno de los activos reflejados en la contabilidad de la empresa. El coste deducido para cada jornada de trabajo se calcula dividiendo el coste anual por el número de jornadas.

$$\text{Coste por jornada} = \frac{6829,47}{227} = 30,08 \text{ €/dia}$$

Considerando que se han empleado 90 días para la realización del proyecto:

$$\text{Coste indirecto} = 30,08 \times 90 = 2707,2\text{€}$$

Para el cálculo total de los costes indirectos consideraremos un porcentaje estimado del 5% de los costes directos para tener en cuenta una estimación de gastos varios como electricidad, material de oficina, gestión administrativa, etc.

1.4. Resumen de totales

COSTES	Descripción	TOTAL
Directos	Mano de obra	3.470,00 €
	Material (piezas)	66,66 €
	Subtotal	3.536,66 €
Indirectos	5% Costes directos (5055.00)	176,83 €
	Activos materiales	2.707,20 €
	Subtotal	2.884,03 €
	TOTAL	6.420,69 €

Tabla 7. Resumen de costes

Como se puede observar en la tabla resumen anterior, el coste global asociado a la realización de este proyecto asciende a una cifra total de *“seis mil cuatrocientos veinte euros y sesenta y nueve céntimos”*.



DOCUMENTO 3

ANEXOS



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ANEXO I

1. Índice de imágenes

<i>Ilustración 1. Sede central de ISTOBAL en L'Alcudia (Valencia)</i>	16
<i>Ilustración 2. Puente de lavado M22</i>	24
<i>Ilustración 3. Partes principales de un puente de lavado</i>	26
<i>Ilustración 4. Puente de lavado M1</i>	26
<i>Ilustración 5. Puente de lavado M'START</i>	27
<i>Ilustración 6. Puente de lavado M22</i>	27
<i>Ilustración 7. Puente de lavado FLEX5 con cinco (izq.) y tres cepillos (der.)</i>	28
<i>Ilustración 8. Puente de lavado M25</i>	28
<i>Ilustración 9. Puente de lavado M27</i>	29
<i>Ilustración 10. Puente de lavado M28</i>	29
<i>Ilustración 11. Puente de lavado M32</i>	30
<i>Ilustración 12. Puente de lavado M12+</i>	31
<i>Ilustración 13. Medidas generales instalación M12+.</i>	32
<i>Ilustración 14. Medidas generales Puente M12+.</i>	33
<i>Ilustración 15. Esquema de procesos</i>	33
<i>Ilustración 16. Cizalladora.</i>	34
<i>Ilustración 17. Cortadora laser</i>	35
<i>Ilustración 18. Piezas sin acabar cortadas por láser</i>	35
<i>Ilustración 19. Plegado de chapa</i>	36
<i>Ilustración 20. Plegadora industrial de gran tonelaje</i>	36
<i>Ilustración 21. Robot de soldadura</i>	37
<i>Ilustración 22. Estación de soldadura robotizada</i>	37
<i>Ilustración 23. Soldadura MIG</i>	38
<i>Ilustración 24. Soldadura TIG</i>	39
<i>Ilustración 25. Etapas de un proceso de preparación para el galvanizado en régimen discontinuo</i>	40
<i>Ilustración 26. Instalación de preparación para el galvanizado</i>	41
<i>Ilustración 27. Bañera para el galvanizado en caliente</i>	42
<i>Ilustración 28. Estación de repasado.</i>	43
<i>Ilustración 29. Cabina de pintura robotizada</i>	44
<i>Ilustración 30. Instalación de pintura automatizada</i>	45
<i>Ilustración 31. Esquema de unión atornillada</i>	45
<i>Ilustración 32. Ejemplo de unión atornillada entre columna y patín</i>	46
<i>Ilustración 33. Método de compatibilidad</i>	51
<i>Ilustración 34. Método de rigidez</i>	52
<i>Ilustración 35. Vectores de desplazamiento del elemento</i>	55
<i>Ilustración 36. Fuerzas que intervienen en el equilibrio de un elemento</i>	57
<i>Ilustración 37. Fases del proceso de cálculo</i>	58
<i>Ilustración 38. Estructura de estudio M12+</i>	64
<i>Ilustración 39. Desglose de las partes principales objeto del estudio</i>	65
<i>Ilustración 40. Conjunto techo.</i>	66
<i>Ilustración 41. Despiece de la columna izquierda</i>	67
<i>Ilustración 42. Patín derecho ensamblado</i>	68
<i>Ilustración 43. Elementos del grupo secado horizontal gran caudal</i>	69

<i>Ilustración 44. Soportes polea para el paso de la correa dentada</i>	69
<i>Ilustración 45. Estructura simplificada del conjunto 1</i>	72
<i>Ilustración 46. Estructura simplificada del conjunto 2</i>	73
<i>Ilustración 47. Elementos tipo Thin-Shell</i>	74
<i>Ilustración 48. Elemento CQUAD4</i>	74
<i>Ilustración 49. Parte de la estructura con ambos tipos de elementos</i>	74
<i>Ilustración 50. Conjunto 1 completamente mallado</i>	75
<i>Ilustración 51. Detalle estructura mallada</i>	76
<i>Ilustración 52. Conjunto 2 completamente mallado</i>	76
<i>Ilustración 53. Tabla de parámetros de calidad de mallado para el conjunto 1</i>	78
<i>Ilustración 54. Tabla de parámetros de calidad de mallado para el conjunto 2</i>	78
<i>Ilustración 55. Cuatro elementos RB2 simulando una unión rígida</i>	79
<i>Ilustración 56. Detalle de unión soldada con combinación de elementos RBE2 y RBE3</i>	80
<i>Ilustración 57. Detalle de empotramiento en la base de las columnas. Conjunto 1. Caso 1.</i>	81
<i>Ilustración 58. Detalle de fuerza aplicada y punto de aplicación. Conjunto 1. Caso 1.</i>	82
<i>Ilustración 59. Condiciones de contorno sobre conjunto 1. Caso 1.</i>	82
<i>Ilustración 60. Detalle de restricciones en carros. Conjunto 2. Caso 1.</i>	83
<i>Ilustración 61. Detalle de fuerza aplicada y punto de aplicación relativa al operario. Conjunto 2. Caso 1</i>	84
<i>Ilustración 62. Detalle de fuerza aplicada y punto de aplicación. Conjunto 2. Caso 1.</i>	85
<i>Ilustración 63. Condiciones de contorno sobre conjunto 2. Caso 1</i>	86
<i>Ilustración 64. Resultados analíticos para modos de vibración. Conjunto 1. Caso 1.</i>	87
<i>Ilustración 65. Resultados gráficos para modos de vibración. Conjunto 1. Caso 1.</i>	90
<i>Ilustración 66. Desplazamientos 10:1. Conjunto 1. Caso 1.</i>	91
<i>Ilustración 67. Desplazamientos. Vista general comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 1. Caso 1.</i>	92
<i>Ilustración 68. Desplazamientos apoyo izq. Vista detalle comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 1. Caso 1.</i>	93
<i>Ilustración 69. Desplazamientos apoyo der. Vista detalle comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 1. Caso 1.</i>	94
<i>Ilustración 70. Tensiones apoyo der. Vista detalle. Conjunto 1. Caso 1.</i>	96
<i>Ilustración 71. Tensiones apoyo izq. Vista detalle. Conjunto 1. Caso 1.</i>	97
<i>Ilustración 72. Resultados analíticos para modos de vibración. Conjunto 2. Caso 1.</i>	98
<i>Ilustración 73. Resultados gráficos para modos de vibración. Conjunto 2. Caso 1.</i>	100
<i>Ilustración 74. Desplazamientos. Vista general comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 2. Caso 1.</i>	101
<i>Ilustración 75. Desplazamientos. Vista general comparativa 10:1 y 1:1. Conjunto 2. Caso 1.</i>	102
<i>Ilustración 76. Tensiones en secado. Vista general. Conjunto 2. Caso 1.</i>	103
<i>Ilustración 77. Tensiones en secado. Vista detalle. Conjunto 2. Caso 1.</i>	104
<i>Ilustración 78. Despiece carro.</i>	106
<i>Ilustración 79. Dientes de enclavamiento sobre guía de las columnas.</i>	106
<i>Ilustración 80. Grupo secado sujeto por sistema enclavamiento.</i>	107
<i>Ilustración 81. Diente y perfil interior de columna mallados y acoplados.</i>	108
<i>Ilustración 82. Detalle de fuerza aplicada y punto de aplicación. Caso 2.</i>	110
<i>Ilustración 83. Desplazamientos. Vista general comparativa 10:1 y 1:1. Caso 2</i>	111
<i>Ilustración 84. Tensiones en dientes. Vista detalle. Caso 2.</i>	112
<i>Ilustración 85. Ubicación del utillaje</i>	119
<i>Ilustración 86. Diseño final del utillaje</i>	120
<i>Ilustración 87. Utillaje instalado en la maquina</i>	121
<i>Ilustración 88. Pieza inferior y superior del utillaje</i>	122
<i>Ilustración 89. Tornillería del utillaje.</i>	122
<i>Ilustración 90. Modelo del útil simplificado.</i>	123
<i>Ilustración 91. Detalle mallado del utillaje y elementos de unión.</i>	124
<i>Ilustración 92. Parametros de calidad de mallado del utillaje</i>	125

<i>Ilustración 93. Modelo de utillaje restringido.</i>	126
<i>Ilustración 94. Carga aplicada sobre el utillaje.</i>	126
<i>Ilustración 95. Resultados analíticos para modos de vibración en utillaje.</i>	127
<i>Ilustración 96. Resultados gráficos para modos de vibración en utillaje.</i>	128
<i>Ilustración 97. Desplazamientos en utillaje. Comparativa escalas 10:1 y 1:1.</i>	129
<i>Ilustración 98. Tensiones en utillaje. Vista general.</i>	130
<i>Ilustración 99. Tensiones en utillaje. Vista detalle superior.</i>	131
<i>Ilustración 100. Tensiones en utillaje. Vista detalle unión atornillada.</i>	132
<i>Ilustración 101. Tensiones en utillaje. Vista detalle unión y apoyo inferior.</i>	133
<i>Ilustración 102. Casco de seguridad.</i>	139
<i>Ilustración 103. Arnés anticaídas.</i>	139
<i>Ilustración 104. Cabos de seguridad anticaída.</i>	140
<i>Ilustración 105. Cabo de amarre doble.</i>	140
<i>Ilustración 106. Fijación de útil.</i>	141
<i>Ilustración 107. Descenso del secado.</i>	141
<i>Ilustración 108. Líneas de vida.</i>	142
<i>Ilustración 109. Anclaje de seguridad.</i>	142

2. Índice de tablas

<i>Tabla 1. Propiedades mecánicas aceros DD11 y DD12</i>	70
<i>Tabla 2. Propiedades mecánicas aluminio 5754 H22</i>	70
<i>Tabla 3. Peso de los elementos modelados.</i>	84
<i>Tabla 4. Resumen de costes directos de mano de obra por fases</i>	154
<i>Tabla 5. Resumen costes de material.</i>	154
<i>Tabla 6. Costes indirectos</i>	155
<i>Tabla 7. Resumen de costes</i>	156

3. Bibliografía

- “Manuales técnicos Puentes M9+, M12+, M15+”. Documentación Istobal s,a.
- “El Método de los Elementos Finitos en el Análisis Estructural”, C. Martínez Arnaiz / Publicaciones de la E.T.S.I.A (Escuela Superior de Ingenieros Aeronáuticos), 1998.
- “Oficina técnica y proyectos”, Fernando Brusola Simón /Ed. Universidad Politécnica de Valencia.
- “Cálculo matricial de estructuras” Federico París Carballo/ Ediciones Universidad de Oviedo, 2006
- “Cálculo estructural” Manuel Gasch Salvador, Isabel Gasch Molina/ Ed. Universidad Politécnica de Valencia.
- “Materiales y procesos de fabricación”, E. Paul DeGarmo, J. Temple Black, Ronald A. Kohser / Editorial Reverté, 2ª Ed. 1994.



CERTIFICADO DE CALIDAD 3.1- EN 10204

Página: 1

A02

A10

A03 N° CERTIFICADO: 000303081028001
 A06 N° ALERMAN: 000303081028
 A07 PEDIDO CLIENTE: P063511
 B01 REFERENCIA CLIENTE: 7259200
 B02 GRADO DE ACERO Y ESPECIFICACION TECNICA:
 DECAPADO DD11
 ESPESOR ANCHO LARGO
 4,00 mm 1.500,00 mm 3.000,00 mm
 DIMENSIONES(mm):

A01
 Certificamos que el suministro citado ha sido fabricado CONFORME A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONTRATO y que, una vez efectuadas todas las operaciones de control y ensayo, responde bajo todos sus aspectos a las especificaciones particulares, así como a las NORMAS EN VIGOR antes referidas.

BOBINA N°	DUR			TRACCION			F	n	REVESTIMIENTO		RUGOSIDAD		EMB.	COMPOSICION QUIMICA %												
	HRB	(1)	(2)	S	Re	Rm			A _k	1	(3)	CARAL		CARA2	Ra	Ocr. Med.	C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	Ti	V	Ni
807	C02	C01	C02	C02	C11	C12	C13	C14	C15	C60	C60	C61	C62	C63	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C80	C81	C82	C83
4208437	57,5	P	F	F	240,00	330,00	39,0								0,0132	0,237	0,0238	0,0079	0,0070	0,0059	0,0005	0,0008		0,0085	0,0165	0,0197
4208441	51,0	P	F	F	250,00	320,00	45,2								0,0160	0,242	0,0237	0,0084	0,0074	0,0064	0,0003	0,0008		0,0082	0,0179	0,0184
4208434	62,0	P	F	F	260,00	350,00	38,4								0,0174	0,235	0,0255	0,0138	0,0122	0,0277	0,0023	0,0010		0,0061	0,0139	0,0202

(1) POSICION	(2) SENTIDO	(3) ALARGAMIENTO	(4) REVEST	(5) RUGOS.	OBSERVACIONES	Organismo y/o Servicio de Control
P: Principio M: Mitad F: Fin	L: Longitud T: Transv.	1: Lo=80m/m 2: Lo=5,65 So% 3: Lo=50mm 4: Otras Medidas	G: gr/m2 μ: μm	1: NPics 2: Rmax 3: Rt (μm) 4: Rz (μm)		SERVICIO LABORATORIO
C01	C02					A05
						FECHA: 13.03.2011 FIRMADO:
						ANTONIO GONVARRI

ANEXO III

Planos de fabricación y montaje. Documentos adjuntos.