



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO**  
**BILBOKO INGENIEARITZA ESKOLA**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

2016 / 2017



***MESA ROTATIVA PARA ENSAMBLAJE DE PIEZAS DE CARROCERÍA  
POR ENGRAPADO***

**DOCUMENTO 2 - MEMORIA**

**TIPO DE DOCUMENTO:**

- ORIGINAL  
 COPIA

**DATOS DEL ALUMNO**

NOMBRE: ARATZ

APELLIDOS: FERNÁNDEZ DÍAZ

FDO.:

FECHA:

**DATOS DEL DIRECTOR**

NOMBRE: ANTON

APELLIDOS: GORRIÑO VICANDI

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA:



## ÍNDICE

---

Índice .....	1
1. Objeto .....	2
2. Alcance.....	4
3. Antecedentes .....	5
1. Líneas de ensamblaje y producción flexible.....	5
2. Técnicas de ensamblaje .....	9
2.1. Técnicas de engatillado.....	9
2.2. Técnicas de unión adhesivas .....	11
2.3. Técnicas de soldadura.....	15
4. Normativa y Referencias.....	17
1. Bibliografía.....	17
1.1. Bibliografía básica .....	17
1.2. Bibliografía específica .....	17
2. Normativa.....	18
2.1. Normativa de diseño.....	18
2.2. Normativa de seguridad.....	18
5. Definiciones y Abreviaturas .....	21
6. Requisitos de Diseño .....	24
1. Requisitos generales .....	24
2. Requisitos específicos .....	27
2.1. Requisitos técnicos .....	27
2.2. Requisitos operacionales .....	28
2.3. Materiales a emplear .....	30
7. Análisis de Soluciones.....	31
1. Estaciones simples .....	31
2. Estación doble .....	32
3. Estación múltiple .....	33
4. Dos robots con herramienta estática .....	35
8. Resultados finales.....	36
1. Estructura de ensamblaje .....	36
1.1. Sistemas de anclaje.....	37
1.2. Sistemas de guiado .....	40
1.3. Sistemas de centrado.....	41
1.4. Mesa giratoria.....	42
2. Bastidor .....	45
3. Bancada de cuna.....	48
9. Orden de Prioridad de Documentos .....	51

## 1. OBJETO

---

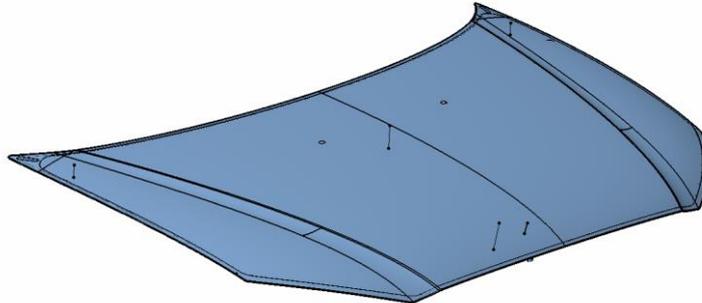
Habitualmente en líneas de ensamblado para piezas de carrocería de automóvil se emplean robots que trabajan sobre diferentes estaciones. Estas estaciones constan de una mesa sobre la que descansa un utillaje donde apoya la pieza a procesar. Los procesos usuales son varios robots trabajando simultáneamente sobre la misma estación a fin de reducir el tiempo de ciclo de fabricación de ese subconjunto de piezas. Por lo tanto el diseño del conjunto útil-mesa resulta sencillo, pues para cada estación se tienen en cuenta únicamente los procesos de unión que correspondan a esa fase del producto. Este tipo de procesos son, como se ha indicado, los más habituales, donde se premia el bajo tiempo de ciclo dado que se trata de producciones de grandes series.

Sin embargo, no siempre es posible favorecer el tiempo de ciclo frente a costos o la problemática de espacio ocupado en planta. Cuando se trata de vehículos de baja cadencia, es decir, fabricación de series cortas en vehículos de “super lujo”, la solución viene dada por el coste del utillaje y, fundamentalmente, la necesidad de optimizar el espacio disponible para la estación; siendo el tiempo de ciclo una variable menor a tener en cuenta.

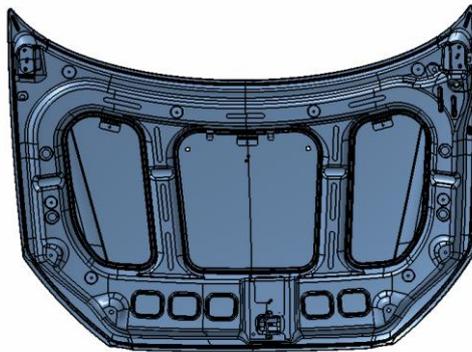
Así, el objeto del proyecto es el de conseguir una solución para, con un único utillaje y robot para una estación, tener la posibilidad de trabajar diferentes tipos de piezas y procesos para las mismas. Para lo cual se resuelve mediante una mesa rotativa que, de forma automática, oriente con un servomotor el utillaje de la operación hacia el robot, mientras que otro de los útiles queda disponible para que el operario pueda alimentar una nueva serie de piezas. Para añadir versatilidad a la mesa, se dispondrá de un sistema neumático que accione unas bridas para permitir el intercambio de las cunas de trabajo de forma sencilla y, de este modo, utilizar la misma mesa para otra familia de piezas.

El presente proyecto es promovido por el fabricante y ensamblador de piezas de carrocería. Engloba el conjunto de operaciones y justificaciones técnicas

necesarias para la adopción de una solución que permita el engrapado de piezas de carrocería tales como portón, capot, puertas y portalón.



**Imagen 1.1 – Producto tipo deseado por el cliente**



**Imagen 1.2 – Vista del producto tipo con los refuerzos**

## 2. ALCANCE

---

El proyecto abarca diferentes áreas de la ingeniería como pudiera ser la automática y la electrónica. No obstante, el presente documento pretende dar respuesta a la parte puramente mecánica del mismo.

La mesa rotativa consta de tres partes mecánicas fundamentales:

- Estructura principal
- Estructuras de utillaje
- Medios de anclaje y guiado

El diseño de la estructura principal viene determinado por la validación del bastidor desde el punto de vista de la seguridad estructural (por resistencia) y de funcionalidad (deformaciones en operación y en rotación por cambio de pieza).

Respecto al diseño de las estructuras de utillaje tendrán como objeto el soporte del utillaje necesario para el engrapado de cada pieza en particular. Dicho utillaje consta de cuna y pisador que serán únicos para cada pieza. Esta estructura deberá facilitar la accesibilidad del robot con su herramienta, presentando el utillaje en la mejor condición posible. Debiendo cumplir, fundamentalmente, la función de tener las dimensiones apropiadas para acoger la pieza con precisión suficiente para que el robot acceda a la estación de trabajo sin incurrir en errores de posicionado.

Los medios de anclaje y guiado deben garantizar la posición del conjunto del utillaje y permitir la funcionalidad del conjunto, sin menoscabar el trabajo del robot.

El proyecto no tiene la pretensión de estudiar el propio proceso de engrapado, ni determinar el proceso de fabricación de los elementos de que consta el utillaje a diseñar. No obstante, sí se partirá de los conocimientos existentes para la obtención de datos preliminares que servirán como punto de partida para el

dimensionado y cálculo de la estructura de la mesa rotativa y la aplicación de tecnologías relativas a utillajes y estructuras para los mismos.

Las piezas a procesar no serán objeto de diseño, siendo el cliente quién suministre los modelos sobre los cuales poder realizar los trabajos. Los estudios previos relativos al proceso de ensamblaje por engrapado tales como el estudio de pestaña y definición de herramienta y proceso, no formarán parte del presente proyecto.

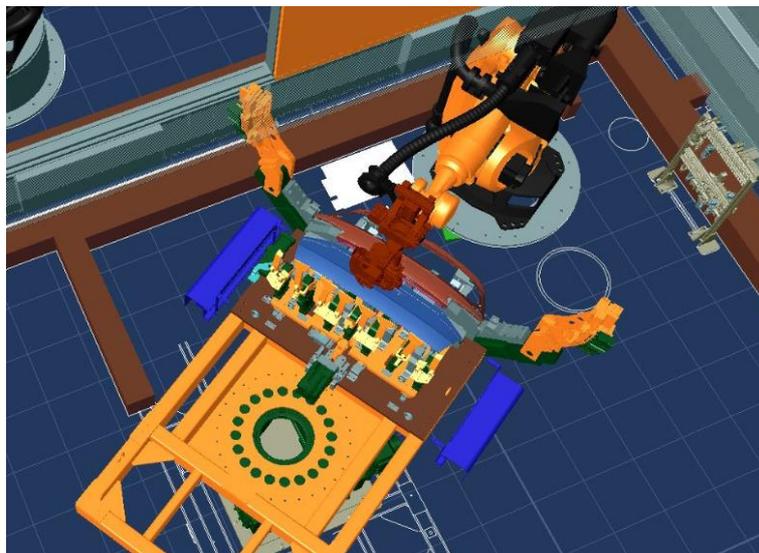
### 3. ANTECEDENTES

---

#### 1. Líneas de ensamblaje y producción flexible

Para poder garantizar una fabricación ininterrumpida, los sistemas de fabricación deben estar formados por componentes individuales de alta calidad y totalmente fiables.

El principal objetivo en el proyecto es proporcionar a la industria de automoción una nueva solución que permitan automatizar y facilitar los cambios necesarios para la producción de distintas piezas en la misma línea de ensamblaje optimizando recursos tales como tiempos de cambio, espacio disponible en fábrica y tiempos de ciclo globales.



**Imagen 3.1 – Vista de una estación multipuesto usual de ensamblaje en software ROBCAD (cortesía de INGEMAT SL)**

Por tanto la flexibilidad, reducción de tiempos y suelo ocupado ofrecida por este tipo de soluciones que se plantea, responde totalmente a las necesidades y exigencias del sector, optimizando precisamente el funcionamiento de las líneas de ensamblaje en general y engatillado en el caso particular que se trata mediante la flexibilización inteligente/automática de los cambios para adaptar una misma línea a diferentes piezas.

El reto principal de la producción flexible es el diseño y desarrollo de una estación que permita una mayor versatilidad en líneas de ensamblaje de piezas de carrocería de automoción. Con el resultado favorable se cumplirían los siguientes objetivos estratégicos:

- Aumentar de forma sustancial los productos y servicios ofrecidos por el fabricante al mercado.
- Desarrollar nuevas soluciones no existentes en el mercado, adelantándose a la competencia en la automatización de este tipo de operaciones manuales.
- Satisfacer mediante este tipo de estaciones las necesidades futuras detectadas en el mercado.
- Estaciones energéticamente más eficientes ya que consiguen optimizar los recursos disponibles por la planta productiva.



- Reducción del 25% en el uso de espacio en planta dedicado al ensamblaje de piezas de carrocería, debido al aumento del número de tipos de pieza a fabricar en una sola línea.
- Aumento hasta el 100% en el grado de ocupación de la instalación, al no ser necesaria la parada de línea por falta de piezas a fabricar.
- Aumento en un rango del 30-50% en la duración del ciclo de vida de la línea de ensamblaje, al poder ser reutilizada para la fabricación de diferentes modelos de pieza.
- Reducción de un 70% de las inversiones necesarias para la implantación de nuevas líneas, al flexibilizar el ensamblaje con una sola línea se fabricarán una media de 5 o 6 piezas diferentes.
- Aumento del 5-10% de la eficiencia y productividad global del proceso de fabricación, debido a la mejoría del rendimiento productivo y la gestión de recursos como el tiempo y el espacio de planta.

## 2. Técnicas de ensamblaje

### 2.1. Técnicas de engatillado

Las piezas exteriores de carrocería de vehículos automóviles se unen, habitualmente para formar un conjunto (por ejemplo puertas, portones, capots, etc.) mediante la técnica denominada engrapado o engatillado. De este modo, un panel exterior se une a otro panel interior mediante el plegado de la chapa exterior sobre la interior. Este proceso, de gran calidad estética asegura la unión entre los dos paneles de forma que las dos piezas ya no pueden volver a separarse (salvo, lógicamente, por destrucción de esta unión). La precisión de la operación afecta significativamente a la apariencia de las superficies exteriores del vehículo y es por tanto un factor crítico de la calidad final del vehículo terminado.

#### 2.1.1. Prensas de engatillado

Las prensas de engatillado están ampliamente extendidas en el sector de automoción para el engatillado de chapa metálica. El proceso usa las tradicionales prensas hidráulicas para plegar las piezas y siendo el último proceso de conformado, determina la calidad externa de las piezas de automóvil. Sus características y beneficios son:

- Sistemas de almacenamiento de cuna.
- Sistemas automáticos de cambio de cuna.
- Capacidad típica de 150 o 180 toneladas.
- Paneles de gran tamaño.
- Producir más de una pieza en la misma línea.

Sus limitaciones son el alto coste y que está limitada a chapas planas de perfiles sencillos.

### 2.1.2. Engatillado TableTop

Las máquinas de engatillado **TableTop** se utilizan para la fabricación de volumen de piezas medios a altos, con la posibilidad de ejecutar ciclos de incluso 15 segundos. Sus características y beneficios son:

- Calidad óptima garantizada por el principio de engatillado del *closed ring*.
- Hidráulica o electro-mecánica.
- Admite geometrías complicadas con ángulos de hasta 150° en algunas áreas.
- Fácil acceso para la carga y descarga.

Su limitación es que se dedica a un solo panel.

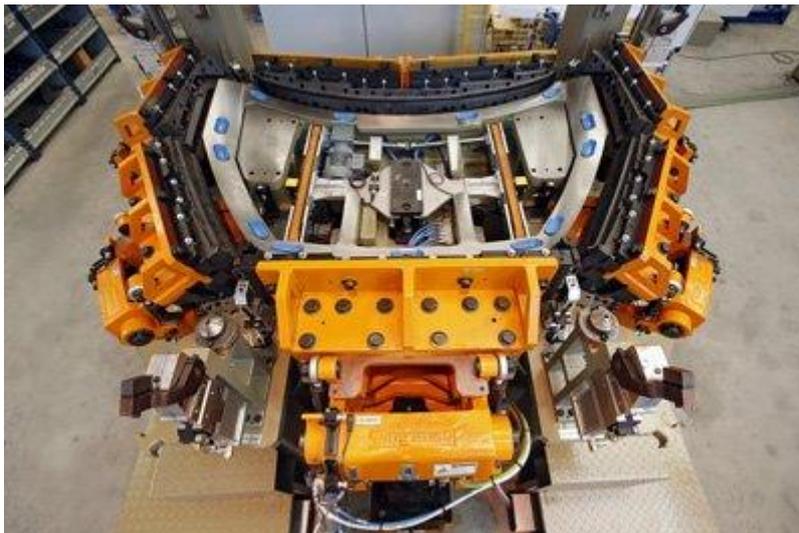


Imagen 3.3 – Ejemplo de engatillador TableTop (cortesía de INGEMAT SL)

### 2.1.3. Engatillado por roldana

El engatillado robotizado utiliza un robot industrial standard con un cabezal de **engatillado por roldana** integrado para proporcionar una solución flexible. El engatillado se produce en etapas sucesivas gracias al rodillo del cabezal. La ventaja de este proceso es poder engatillar varios componentes en una sola célula, y permite pequeños cambios y modificaciones en el proceso de una forma rápida y no costosa. Asimismo y mediante un sistema de cambio de

herramientas, el robot puede ser usado para otras tareas, como la aplicación de adhesivos y selladoras, o la manipulación de las piezas. Sus características y beneficios son:

- Ideal para volúmenes medios a bajos.
- Flexibilidad del robot que permite engatillar varias piezas y realizar otras tareas.
- Operación sencilla y silenciosa.
- Bajo coste del cabezal de roldana y del robot estándar.
- Esfuerzo mecánico reducido para las pruebas.
- Producción flexible de diferentes tipos y variantes.



Imagen 3.4 – Ejemplo de engatillador robotizado por roldana (cortesía de INGEMAT SL)

## 2.2. Técnicas de unión adhesivas

Aunque la presente mesa rotativa se proyecta para el proceso de engatillado o engrapado, uno de los procedimientos previos para asegurar la estanqueidad de la junta es la de aplicación de masilla, también conocido como “mástico”.

Muchos productos requieren el ensamblado de componentes fabricados por separado, ya que se simplifica la manufactura, resulta más económico y permite un simple mantenimiento. Los procesos de unión son diversos, citando rápidamente soldaduras, latonados, soldaduras suaves con estaño y fijaciones mecánicas.



Imagen 3.5 – Ejemplo de aplicación robotizada de masilla

Normalmente estos componentes poseen una moldeabilidad elevada que los hacen atractivos ya que se pueden aplicar en cualquier zona y adaptarse a cualquier volumen. Y sin embargo, en estas mismas capacidades reside su punto más débil ya que muchas veces resulta difícil comprobar, no tanto la aplicación en sí, sino la calidad de dicha aplicación.

La aplicación de estos componentes, no está exenta de dificultades, ya que se trata de fluidos de muy alta viscosidad y, muchas veces con un tiempo de secado reducido. Al ser adhesivos, el objetivo último es que estos fluidos, normalmente resinas, polimericen y endurezcan formando una unión sólida y compacta.

Las **operaciones de engatillado** de chapa para piezas de carrocería van acompañadas de la aplicación de sellantes y adhesivos que tienen la doble finalidad de unir las dos piezas engrapadas (además de la unión por engrapado en sí) y asegurar la estanqueidad del conjunto. Los adhesivos son básicamente de dos tipos. El primero es una cola cuya función primordial es la de unir piezas y el segundo tiene una función más estética y de estanqueidad. El primero se aplica entre el panel exterior y el panel interior a engrapar y el segundo se aplica en el borde engrapado del panel exterior.

El proceso global de encolado y sellado de piezas engrapadas se realiza básicamente en **4 fases**:



Imagen 3.6 – Aplicación de cordón de cola sobre el panel exterior a engrapar



Imagen 3.7 – Ensamblaje del conjunto panel exterior panel exterior

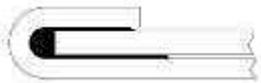


Imagen 3.8 – Engrapado de la chapa

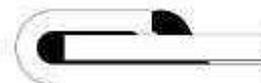


Imagen 3.9 – Aplicación de sellante en el borde de la pestaña engrapada

Durante el proceso de encolado y engatillado, el primer cordón de cola se aplica con una boquilla de sección cilíndrica sobre el panel exterior y al depositar el panel interior sobre el panel exterior y posterior engatillado, la cola se extiende por el espacio que queda entre las dos chapas pudiendo darse **3 casos diferentes** (imagen 3.10):



**Imagen 3.10 – Casos de difusión de la masilla en la sección de la unión de las chapas para engatillado**

Habitualmente se busca el caso FIL.2, con el mayor recubrimiento posible, sin llegar a aflorar la cola al exterior. El caso FIL.1 se utiliza cuando se necesita soldar la chapa plegada con puntos blandos. El caso FIL.3 habitualmente no se utiliza porque representa la aparición de la cola durante el proceso de engatillado. Sin embargo, en los últimos tiempos la necesidad de abaratar costes ha hecho que esa situación no deseada, sea vista como algo positivo. Si se consigue que la cola salga al exterior (FIL.3) significa que la siguiente operación de sellado no sería necesaria dado que la junta ya estaría perfectamente protegida con la cola de engatillar. Véase que la imagen de FIL.3 se corresponde con la Imagen 3.9 del proceso general de engatillado.

### 2.3. Técnicas de soldadura

Como adición, la estación podría llegar a ser empleada como estación para soldadura. A modo de resumen, se pueden citar dos tipos de soldadura:

- Soldadura por puntos

La soldadura por puntos es un método de soldadura por resistencia, útil en láminas metálicas, aplicable normalmente entre 0,5 y 3 mm de espesor y que se logra mediante el calentamiento de una pequeña zona al hacer circular una corriente eléctrica.

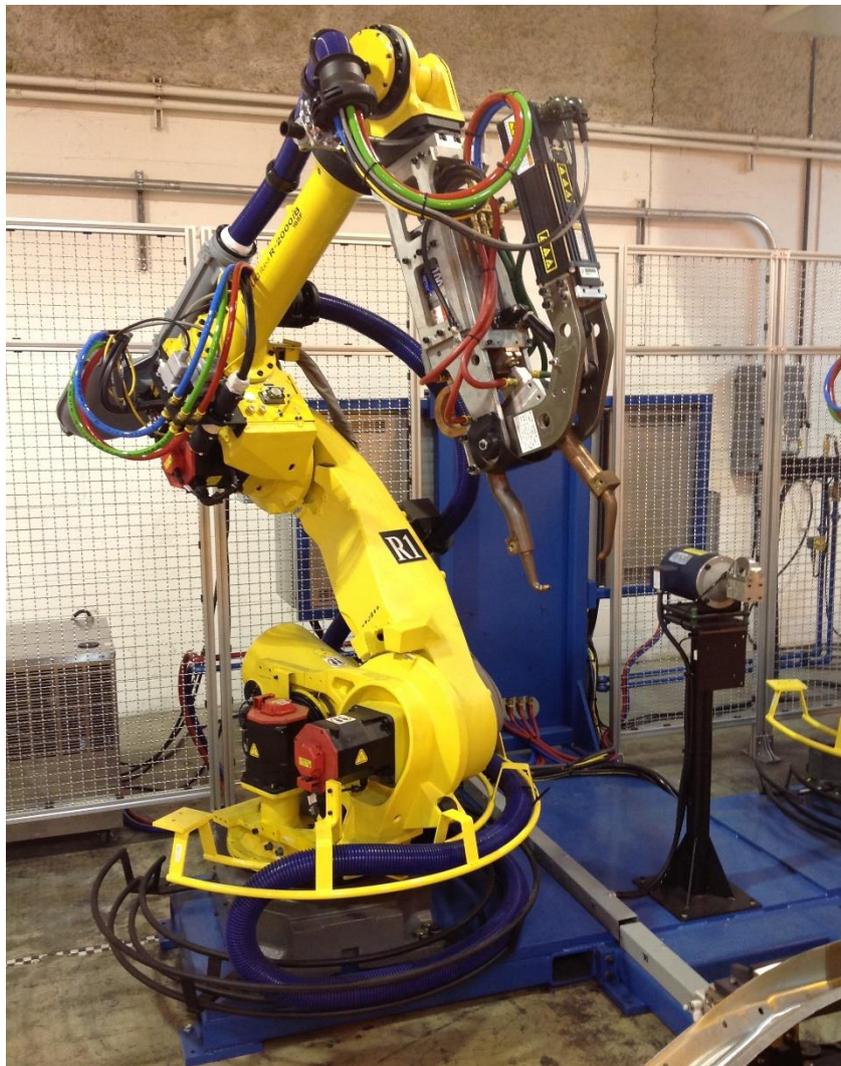


Imagen 3.11 – Robot de soldadura por puntos

- Soldadura continua (MIG)

La soldadura continua implica la generación de calor pasando corriente a través de la resistencia causada por el contacto entre dos o más superficies de metal. Se forman pequeños charcos de metal fundido en el área de soldadura a medida que la elevada corriente (1.000 a 100.000 A) pasa a través del metal. En general, los métodos de la soldadura por resistencia son eficientes y causan poca contaminación, pero sus aplicaciones son algo limitadas y el costo del equipo puede ser alto.

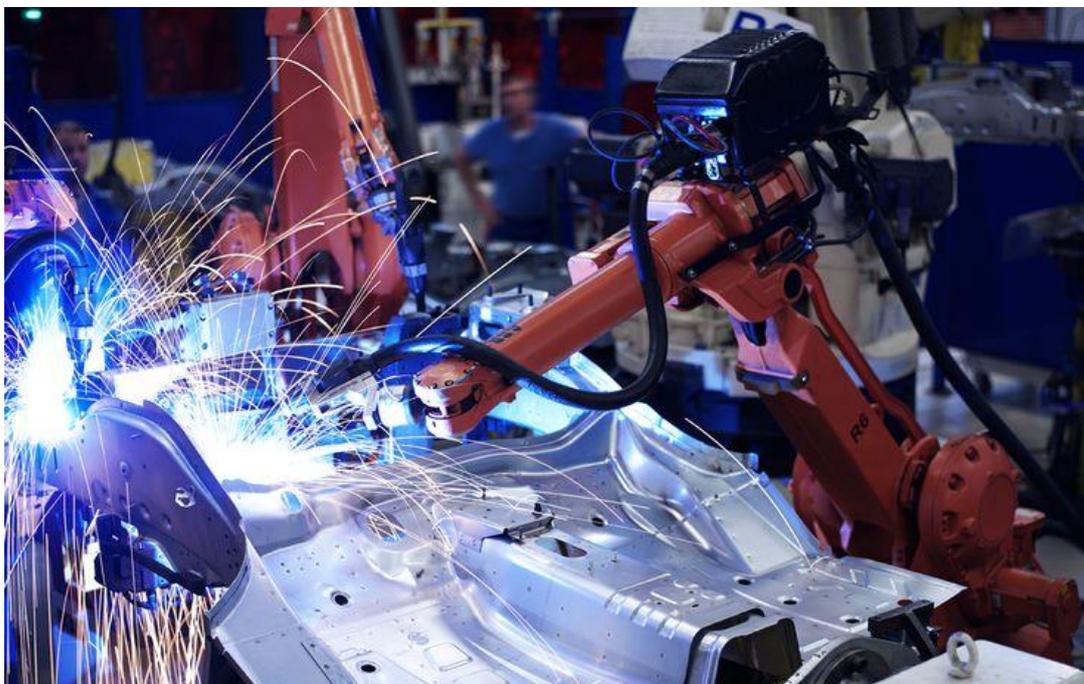


Imagen 3.12 – Robot de soldadura continua (MIG)

La soldadura continua no está aún demasiado extendida por los costes, no obstante, cualquier robot de trabajo que admita la carga de la herramienta es susceptible de emplear ambas técnicas de soldadura. El único requisito es que disponga de un cambio rápido de forma que pueda intercambiar las herramientas de forma automatizada. En todo caso, siempre es posible realizar un cambio de herramienta manual, aunque los tiempos de mantenimiento se dispararían, haciendo inviable esta solución. Por lo tanto, se recomendaría el empleo de la soldadura por puntos para este caso si se desea emplear la estación para soldadura.

## 4. **NORMATIVA Y REFERENCIAS**

---

### 1. Bibliografía

#### 1.1. Bibliografía básica

- Gere, James M. (2002). Timoshenko: Resistencia de Materiales. Ediciones Paraninfo
- Sánchez-Marín, José María (1973). Conocimiento de Materiales. Ediciones CEDEL.
- Hibbeler, R.C. (2012). Análisis Estructural (Octava Edición). Pearson.
- Serope Kalpakjian; Schmid, Steve R. (2014). Manufactura. Ingeniería y Tecnología (7ª Edición). Addison-Wesley.
- Domínguez Machuca, José A. (1995). Dirección de operaciones: Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. McGraw-Hill / Interamericana de España.
- Barrientos, Antonio; Peñín, Luis Felipe; Balaguer, Carlos; Aracil, Rafael (1997). Fundamentos de Robótica. McGraw Hill.
- Félez Mindán, Jesús; Martínez Muneta, Mª Luisa (2009). Ingeniería Gráfica y diseño. Editorial Síntesis.
- Craig, John J. (2006). Robótica (Tercera Edición). Prentice Hall.

#### 1.2. Bibliografía específica

- Keyvani, Ali (2008). *Modular Fixture Design for BIW*. University West.
- Del Río, María Gloria; Martínez, Juan; Martínez, María Eugenia; Pérez, Silvia (2007) *El libro de Catia*. Editorial Tébar.
- CADTECH (2008). *Manual de Catia v5: Wireframe and Surface Design*. CADTECH Ibérica S.A.

- García, José (2016). Seguridad en Ingeniería Mecánica. I9S S.A.

## 2. Normativa

### 2.1. Normativa de diseño

- UNE-EN ISO 22768-1 – Tolerancias generales. Parte 1: tolerancias para cotas dimensionales lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia.
- UNE-EN ISO 22768-2 – Tolerancias generales. Parte 2: tolerancias para cotas geométricas sin indicación individual de tolerancia.
- UNE-EN ISO 1101 – Especificaciones geométricas de producto (GPS). Acotado geométrico.
- UNE-EN ISO 13920-BF – Soldeo. Tolerancias generales en construcciones soldadas. Dimensiones de longitudes y ángulos. Forma y posición.
- UNE-EN ISO 1302 – Especificaciones geométricas de producto (GPS). Indicación de la calidad superficial en la documentación técnica de productos.
- UNE-EN ISO 5457 – Documentación técnica de productos. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.
- EN 1027:1995 – Plegado de planos
- UNE-EN 10027-1:2006 – Sistemas de designación de aceros. Parte 1: Designación simbólica
- UNE-EN 10027-2:2006 – Sistemas de designación de aceros. Parte 2: Designación numérica.

### 2.2. Normativa de seguridad

- EN ISO 12100:2010 – Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.

- EN 349:1994+A1:2008 – Seguridad de las máquinas. Distancias mínimas para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano.
- EN ISO 4414:2010 – Transmisiones neumáticas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes.
- EN ISO 10218-1/-2:2011 – Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales.
- EN ISO 13849-1:2015 – Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1 – principios generales para el diseño.
- EN ISO 13849-2:2012 – Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 2 – validación.
- EN ISO 13850:2015 – Parada de emergencia. Principios para el diseño.
- EN ISO 13855:2010 – Seguridad de las máquinas. Posicionamiento de los protectores con respecto a la velocidad de aproximación de partes del cuerpo humano.
- EN ISO 13857:2008 – Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores.
- EN 13861:2011 – Seguridad de las máquinas. Guía para la aplicación de las normas sobre ergonomía al diseño de máquinas.
- EN ISO 14119:2013 – Seguridad de las máquinas. Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos. Principios para el diseño y la selección.
- EN ISO 14120:2015 – Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.
- EN 60204-1:2006 – Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1 – requisitos generales.

- EN 61496-1:2013 – Seguridad de las máquinas. Equipos de protección electrosensibles. Parte 1: requisitos generales y ensayos.
- EN 61496-2:2013 – Seguridad de las máquinas. Equipos de protección electrosensibles. Parte 2: requisitos particulares para equipos que utilizan dispositivos de protección opto-electrónicos activos.

## 5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

---

- Lay-out / layout: Plano de la superficie de la fábrica o nave que muestra la disposición funcional de los elementos de la línea. La posición de los robots y todos los utillajes ha de ser la inicial.
- Trazado: Es el procedimiento de “puesta en obra” del lay-out. Es decir, el momento en el que se procede a marcar la posición real sobre la nave de los elementos del lay-out.
- Estación: Área de trabajo, carga o manipulación de piezas, pudiendo ser un utillaje completo o parte del mismo.
- Enclavamiento: Aseguración de la posición de trabajo o de acceso robot para garantizar la repetibilidad de la misma.
- Anclaje: Es la fijación del elemento del layout (siempre que se trate de un elemento de posición permanente) al pavimento de la nave.
- Mesa giratoria: Es el elemento comercial que se sitúa sobre una base rígida en el pavimento de la nave posibilitando mediante su servomotor el giro de los utillajes a la posición deseada con grandes valores de precisión.
- Bancada: Es la estructura metálica de utillaje destinada a servir de asiento a la herramienta de apoyo de la pieza producto.
- Cuna: Es la herramienta de apoyo donde descansará la pieza producto a ser procesada.
- Pisador: Es el elemento o conjunto de elementos destinados a fijar la posición y evitar el movimiento relativo entre la pieza y la cuna durante todo el proceso.
- Bastidor: Es la estructura metálica fundamental que habrá de resistir el conjunto de elementos de trabajo.

- Corona: Es la guía circular sobre la que apoyarán las ruedas que garanticen la rigidez de la estructura del utillaje.
- Sufridera: Es un poste destinado a recibir el esfuerzo a través de la corona y ruedas con el fin de poder transmitirlo al suelo sin que la estructura sufra una deformación excesiva.
- Cono de centraje: Es un elemento, parte del enclavamiento, que asegura la posición correcta del utillaje dentro del ángulo de giro de que conste el mismo.
- Docking: Es un poste vertical que sirve de depósito para elementos de uso del robot, habitualmente herramientas de trabajo o manipulación.
- Garra: Es una herramienta de manipulación que consta de una estructura tubular alrededor de la cual se disponen diferentes bridas y elementos de centraje cuya misión es sostener la pieza en una posición repetible.
- Roldana: Es una herramienta de trabajo de robot para engatillado que consta, en su configuración más básica, de un cilindro con un único grado de libertad (giro alrededor de su propio eje) que está destinada a plegar la chapa en ángulo predefinido durante la operación de engatillado o engrapado.
- Pinza: Es una herramienta de trabajo de robot para soldadura por puntos. Consta de una parte fija y una móvil. Se posiciona la parte fija en contacto con la pieza y posteriormente acciona el mecanismo que presiona la parte móvil sobre la fija con una fuerza determinada en función de los parámetros de soldadura, cerrando el circuito y uniendo los elementos de la pieza. Las formas más usuales son en "C" y en "X".
- Cap: Es un capuchón de cobre que se encuentra en las puntas de las pinzas y está en contacto con la pieza. Es un elemento de desgaste por lo que ha de ser cambiado frecuentemente, habitualmente de forma automatizada mediante un cambiador.

- Tiempo de ciclo: Es el tiempo que transcurre desde que sale una pieza de una serie, hasta que sale la inmediatamente consecutiva.
- Ergonomía: Es la adaptación al lugar de trabajo del operario atendiendo a criterios físicos estandarizados.
- Séptimo eje: Es una cinta transportadora encargada de desplazar el robot en un plano horizontal a fin de que éste pueda trabajar en varias estaciones simultáneamente.

## 6. REQUISITOS DE DISEÑO

---

### 1. Requisitos generales

Para estaciones de trabajo de robot será necesario cumplimentar las siguientes condiciones:

- Aseguración de la posición relativa de la pieza respecto del robot.

Dado que se trata de una instalación automatizada, el robot deberá hacer los trabajos para los que ha sido programado. Éste a través de la programación "off-line" recibe las instrucciones con las trayectorias que debe seguir. Esto es, acude a una serie de puntos con coordenadas en su sistema de referencia interno en (x, y, z). Si el sistema "físico" cambia, el modelo con el que ha sido programado le hará acudir a puntos indebidos. Esto provocará defectos en la pieza o colisiones entre la herramienta y el utillaje.

Se pueden dar circunstancias que alteren el posicionado adecuado de la pieza por motivos como:

- ✓ Deformación elástica del material durante la operación de trabajo del robot.
- ✓ Deformación plástica en un elemento estructural tras la entrada en servicio o por accidentes durante el transporte, montaje o una fabricación defectuosa.
- ✓ Vibraciones por una mala calibración del robot o defectos en la herramienta.
- ✓ Mala fabricación de la herramienta.
- ✓ Programación deficiente del PLC o del robot.

- ✓ Situación incorrecta en planta o diferente a la del lay-out. Mal trazado en obra.
  - ✓ Anclaje mediante pernos inadecuados, defectuosos o insuficientes.
  - ✓ Defectos, mala calibración o avería de la mesa giratoria.
  - ✓ Fallas en el sistema de guiado. Deformación de la guía o ruedas o mal montaje.
  - ✓ Enclavamiento inadecuado. Fallo al restringir el movimiento de la mesa durante las operaciones del robot.
- Facilitar la intercambiabilidad del utillaje

El fin principal del presente proyecto es dotar de flexibilidad la mesa rotativa con la idea de poder procesar diferentes piezas de una misma familia en ella. Para ello la bancada habrá de disponer de anclajes neumáticos sobre el bastidor que permitan su rápido desmontaje.

- Garantizar la durabilidad de la estructura principal

Al igual que en el punto anterior, una de las líneas maestras del proyecto consiste en facilitar la reutilización del utillaje. Con el fin de poder ensamblar con esta mesa rotativa otros modelos de dimensiones similares y familias de piezas de carrocería afines.

- Empleo de elementos estándar y/o comerciales

Con la idea de facilitar la sustitución de elementos susceptibles de sufrir rotura o desgaste, deberá de prevalecer el empleo de elementos estandarizados y comerciales sobre conjuntos o piezas de fabricación.

- Asegurar al operario que realizará operaciones manuales o de carga

Una parte fundamental es asegurar que el operario no pueda permanecer trabajando en la estación en una zona de interferencia o posible interferencia con el volumen de trabajo del robot. Para ello será necesario utilizar dispositivos que realicen un reconocimiento de la presencia del operario, aislar adecuadamente las tomas eléctricas y garantizar que los racores impiden el desenganche de las mangueras neumáticas.

Asimismo, se deberá tener en cuenta y cumplir los criterios de ergonomía para que el operario sea capaz de trabajar en unas condiciones aceptables. De igual modo que habrá de ser contemplado el comportamiento inadecuado razonablemente previsible a fin de evitar accidentes indeseables y posibles riesgos para su integridad física directa e indirectamente.

## 2. Requisitos específicos

### 2.1. Requisitos técnicos

- Material de la pieza de carrocería: Aluminio 6060
- Robot a emplear: KUKA Quantec KR 180 R2900 prime
- Mesa giratoria: EXPERT-TÜNKERS EDH1170/A7095
- Herramienta: Roldana estándar INGEMAT SL

Especificación Robot KUKA Quantec KR 180 R2900 prime



Imagen 6.1 – Robot KUKA Quantec KR 180 R2900 prime

- Categoría: Carga pesada (80-300 kg)
- Forma constructiva: Estándar
- Carga: 180 kg
- Carga total nominal: 230kg
- Alcance máximo: 2896 mm
- Número de ejes: 6
- Repetibilidad de posición:  $\pm 0,06$  mm
- Peso: 1106 kg
- Posición de montaje: Suelo

## 2.2. Requisitos operacionales

- I. El operario carga pieza de una familia en la Estructura A.
  - a. La pieza puede constar de piel y refuerzos
  - b. La pieza puede venir semi unida mediante puntos de soldadura o mástico.
- II. El operario carga otra familia en la Estructura A mirror.
  - a. La pieza puede constar de piel y refuerzos
  - b. La pieza puede venir semi unida mediante puntos de soldadura o mástico.
- III. El operario sale del área de giro de la mesa rotativa.
- IV. La mesa rotativa gira para dejar la zona A (Estructuras A y A mirror) en la posición de trabajo del robot.
- V. El operario accede a la zona B (Estructuras B y B mirror) para descargar las piezas elaboradas o semielaboradas.
- VI. El robot coge la pieza mediante garra y lleva la pieza la pistola de mástico, donde aplica masilla para asegurar la correcta unión y garantizar la estanqueidad de la misma.
- VII. El robot realiza cambio de herramienta, deposita la garra en el docking de garra y coge la herramienta de roldana.
- VIII. El robot realiza la operación de engatillado.
- IX. De forma simultánea al trabajo del robot, el operario carga pieza de una familia en la estructura B.
  - a. La pieza puede constar de piel y refuerzos
  - b. La pieza puede venir semi unida mediante puntos de soldadura o mástico.
- X. De forma simultánea al trabajo del robot, el operario carga pieza de una familia en la estructura B mirror.
  - a. La pieza puede constar de piel y refuerzos
  - b. La pieza puede venir semi unida mediante puntos de soldadura o mástico.

El operario podrá realizar labores de verificación, corrección, inspección, aplique de masilla, presentación de pieza sobre la propia estación, si y solo si se garantiza que el robot no podrá en ningún caso invadir siquiera parcialmente el área de trabajo del operario bien por limitación de alcance, limitación de ejes (física o por software) o mediante impedimentos físicos.

### 2.3. Materiales a emplear

Elemento	Material	Tratamiento
Estructura	Acero estructural S235 JR	-
Acero de construcción básico en perfilería a emplear, tanto perfiles IPN, como tubo estructural.		
Cuna	Acero de herramientas 1.2510	Templado 58+-2 HRC profundidad 0,5
Acero de uso universal, aleación mediana, templable en aceite y enfocado para trabajar en frío.		
Elementos de centraje	Acero aleado 1.7131 (16MnCr5)	Templado hasta 58+4 HRC profundidad 0,8+0,4
Excelente maquinabilidad, alta dureza de la capa superficial con un núcleo duro, estabilidad dimensional, se puede nitrurar, susceptible de pulido de alto brillo.		
Piezas de contacto	Acero al carbono 1.1730 (C45U)	Templado por plasma hasta 58+-2 HRC profundidad 0,5
Acero para herramientas no aleado, de excelente maquinabilidad, para piezas sin templar (por ejemplo: construcción de montajes). Por su contenido de carbono 0,45 % se puede templar también, pero con poca penetración del temple, por eso, de acuerdo a la aplicación, se puede usar como caparazón con una superficie dura y un núcleo resistente. Dureza de trabajo: aprox. 190 HB (dureza natural / recocido) hasta 54 HRC (dureza de la capa superficial).		

## 7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

---

### 1. Estaciones simples

Una posible solución a adoptar es el empleo –como suele ser más habitual en las líneas de ensamblaje tradicionales- de estaciones simples.



Imagen 7.1 – Estación simple de trabajo para engatillado por roldana (cortesía de INGEMAT SL)

Como se aprecia en la Imagen 7.1 se tiene una única zona de trabajo donde pueden trabajar simultáneamente varios robots dado, logrando unos tiempos de ciclo muy elevados. Sin embargo, esta solución pierde sentido para series cortas pues el fundamento de este planteamiento es el de “una estación, una operación”. Siendo una más que interesante opción para casos en que se requiera una alta producción y en el que exista un flujo de producto (flow shop).

En el caso que se estudia, esta opción pierde valor, pues se precisarían cuatro unidades y, con casi total seguridad, un robot adicional para poder manipular todas las piezas ya que exigiría una disposición en el lay-out que imposibilitaría la accesibilidad a las piezas por parte de un único robot. Además, habría una

dificultad añadida y es que el operario tendría más dificultades para poder trabajar (cargar pieza, operaciones manuales, etc.) sobre las estaciones ya que, en todo caso deberían ser accesibles por un robot. Esto implica que en todo momento en que el operario se encuentre a una distancia mínima de la estación, el robot deberá permanecer en parada garantizada. Por lo tanto, el tiempo de ciclo aumentaría de forma muy acusada.

## 2. Estación doble

Una opción que cada vez tiene una mayor implantación en las plantas de ensamblado es la de una estación doble.

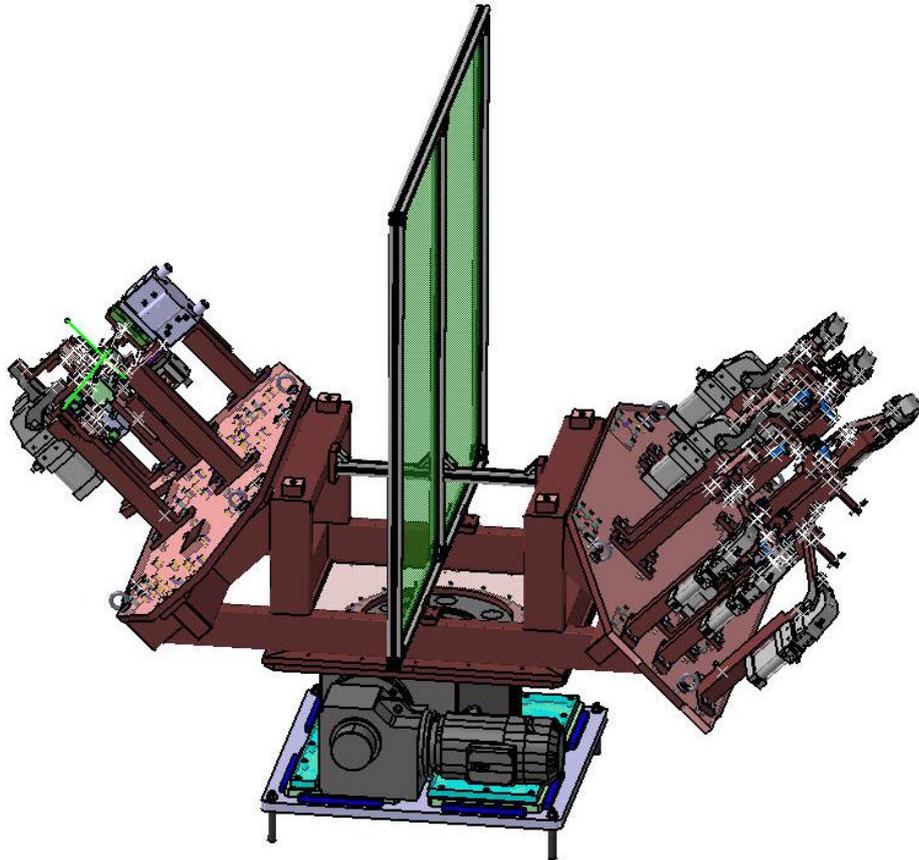


Imagen 7.2 – Estación doble de trabajo para soldadura por puntos (cortesía de INGEMAT SL)

Al igual que en el caso anterior, este tipo de estaciones son de uso frecuente en líneas de ensamblaje donde es necesaria la interacción del operario y robot de forma simultánea o no con la estación. Como se puede observar, se dispone de una protección en el eje de simetría de la estación, de forma que se impide al

operario acceder a la zona de trabajo del robot, preservando la seguridad. Pese a todo, ésta es una medida preventiva. El robot no podrá trabajar en la estación mientras el operario realiza la carga siempre que éste se encuentre dentro del radio de acción del robot con la herramienta más desfavorable en cuanto a alcance para la seguridad del operario.

Estas estaciones aportan una solución que permite una caída mínima del tiempo de ciclo en situaciones en que se requiere de operario para realizar la carga de piezas a procesar. Sin embargo, no permiten el trabajo simultáneo de operario y robot, como se pretende dado que probablemente la zona de trabajo del operario se encuentre dentro del alcance del robot.

No obstante, para el caso estudiado, a pesar de ser un recurso interesante, se desestima porque supone un hándicap ya que se quieren trabajar cuatro piezas. Esto implicaría la utilización de dos estaciones y probablemente dos robots o un robot desplazable sobre un séptimo eje. Por lo tanto el aprovechamiento de suelo en planta se vería comprometido.

### 3. Estación múltiple

Otra posible solución sería el diseño de una estación, con un concepto innovador, con múltiples puestos de trabajo. Con una filosofía similar a la mesa rotativa doble, salvo que en este caso se harían dos puestos dobles. Es decir, cuatro puestos en total, de forma que en una misma estación podrían trabajarse todas las piezas deseadas.

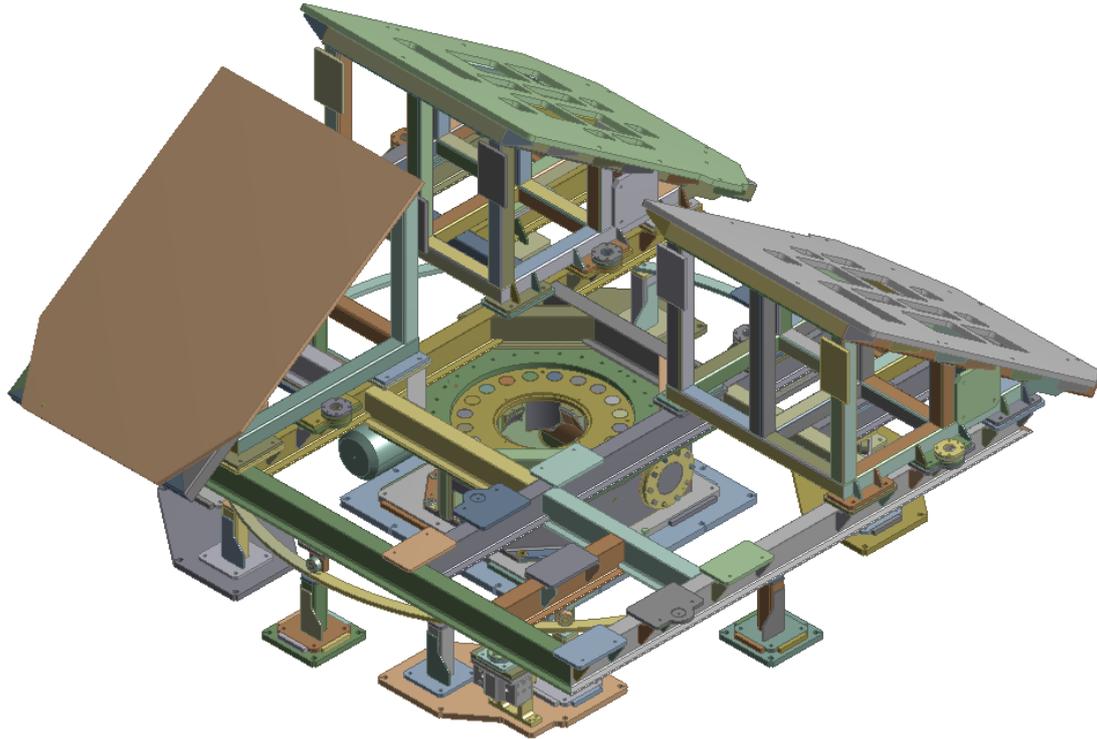


Imagen 7.3 – Diseño inicial en CATIA de la estación proyectada

Este caso permite la versatilidad buscada al tratarse de una estación que posibilita el trabajo en cuatro puestos y además, dadas las dimensiones permite que el operario pueda trabajar de forma simultánea con el robot, sin que la seguridad se vea comprometida.

Aunque es probable que el robot pueda trabajar las dos estaciones, se podría considerar la instalación de un séptimo eje para que el robot pueda acceder a más áreas sin que tenga que recurrir a posiciones forzadas o pudiera llegar a haber problemas de accesibilidad. Esto daría además la posibilidad de repartir un mayor número de herramientas en depósitos o que sea el propio robot quién recoja la pieza terminada mediante garra y la coloque en el contenedor o en la estación de medición, ajuste, etc. correspondiente.

#### 4. Dos robots con herramienta estática

Por último, una solución podría ser el empleo de dos robots que únicamente mediante garra pudieran manipular las piezas a trabajar e ir trasladándolas a las herramientas correspondientes que necesariamente serían estáticas.

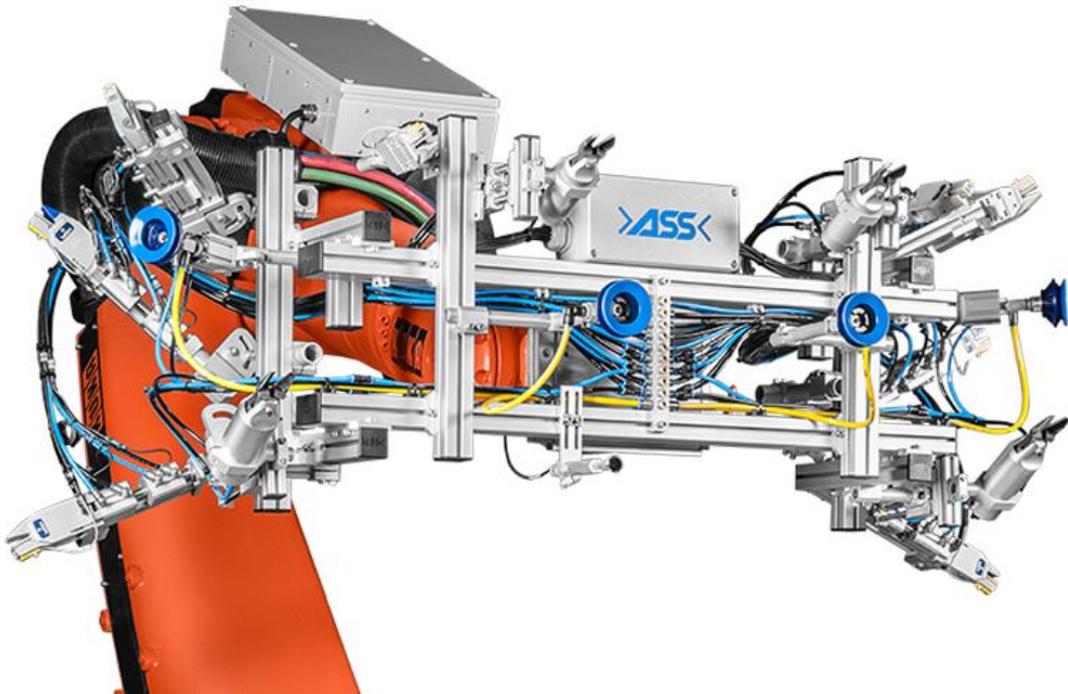


Imagen 7.4 – Garra embarcada en robot

Esta opción técnicamente posible, es realmente dificultosa, ya que requiere una precisión muy alta en la situación de la herramienta. Además, se precisará el empleo de diferentes garras para manipular las diferentes piezas y, aunque han existido casos de carga de operario directa sobre la garra robot, esta operación tiene unos requerimientos de seguridad muy elevados que hacen perder atractivo a esta solución. Habitualmente se suele emplear para soldadura por puntos con pinzas estáticas. Sin embargo, esta utilización suele darse en líneas de ensamblaje de flujo de trabajo en casos de alta congestión en las estaciones de paso y/o trabajo.

## **8. RESULTADOS FINALES**

---

A la vista de las alternativas planteadas, se determina que la opción que cumple con mejores prestaciones los requerimientos deseados es la estación múltiple, de tal forma que se ha optado por una mesa rotativa que consta de cuatro puestos de trabajo que podrán ser también de carga. La razón de esta elección es la de disponer de un utillaje que en una sola estación disponga de cuatro puestos de trabajo, maximizando el aprovechamiento del espacio ocupado en planta, entendiéndose que dota a la instalación de mayor versatilidad y, fundamentalmente, menores costes frente al resto de alternativas.

El conjunto se compone de un total de tres subconjuntos:

- Estructura de ensamblaje
- Bastidor
- Bancada de cuna

Cada parte se explicará de forma independiente en los apartados sucesivos.

### **1. Estructura de ensamblaje**

La estructura de ensamblaje es el conjunto de todos aquellos elementos destinados a dar soporte físico y a garantizar el posicionado de la mesa rotativa.

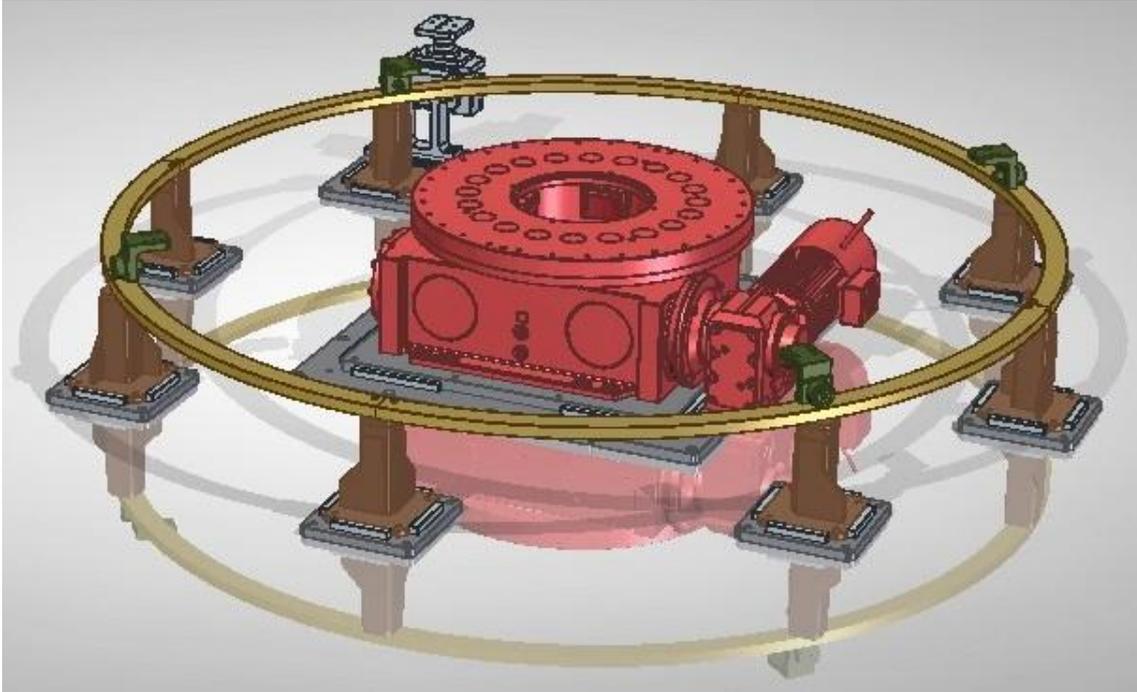


Imagen 8.1 – Diseño del conjunto “Estructura de montaje”

A continuación se desgranán las partes fundamentales de la estructura de ensamblaje.

### 1.1.Sistemas de anclaje

El anclaje se realizará mediante el atornillado al pavimento de las placas de anclaje de cada elemento. Este proceso se realiza con un primer marcado del layout que puede ser por láser o trazado convencional. Deberán quedar reflejadas con su codificación cada una de las placas de amarre con sus respectivas consolas y perfil marcados en el suelo de la nave. La posición de las pínulas debe quedar perfectamente marcada en el utillaje, de forma que su orientación quede definida de forma inequívoca.



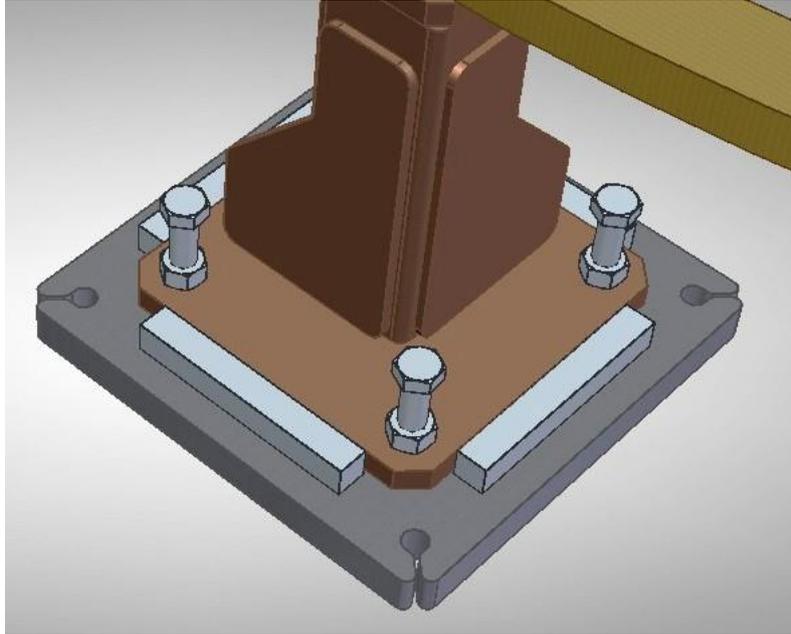


Imagen 8.3 – Detalle del anclaje de una sufridera

El anclaje al solar se realizará mediante spit mecánicos para las sufrideras ya que se espera que éstas –las sufrideras- únicamente reciban esfuerzos axiales (compresión y tracción) y no estén expuestas a vibraciones. En cambio, para el caso del anclaje de la mesa giratoria, se empleará spit químico para garantizar que la transmisión de las vibraciones al suelo de la nave no provoque el desplazamiento progresivo de la estación haciendo perder la necesaria precisión a las operaciones del robot.



Imagen 8.4 – A la izquierda Spit químico, a la derecha Spit mecánico

## 1.2.Sistemas de guiado

Dado que la estructura cuenta con un voladizo considerable y el peso propio de la estructura y el utillaje a albergar provocará una flexión en la misma, se ha decidido resolver mediante una corona circular situada en la periferia de la estructura que sirva de carril de rodadura en la trayectoria de giro de la mesa. Está sustentada sobre ocho sufrideras ancladas al suelo que repartirán uniformemente el esfuerzo del peso propio y la acción del robot. Dichos esfuerzos serán transmitidos por la estructura a través de las cuatro ruedas, dispuestas cada una bajo cada una de las cuatro bancadas de cuna.

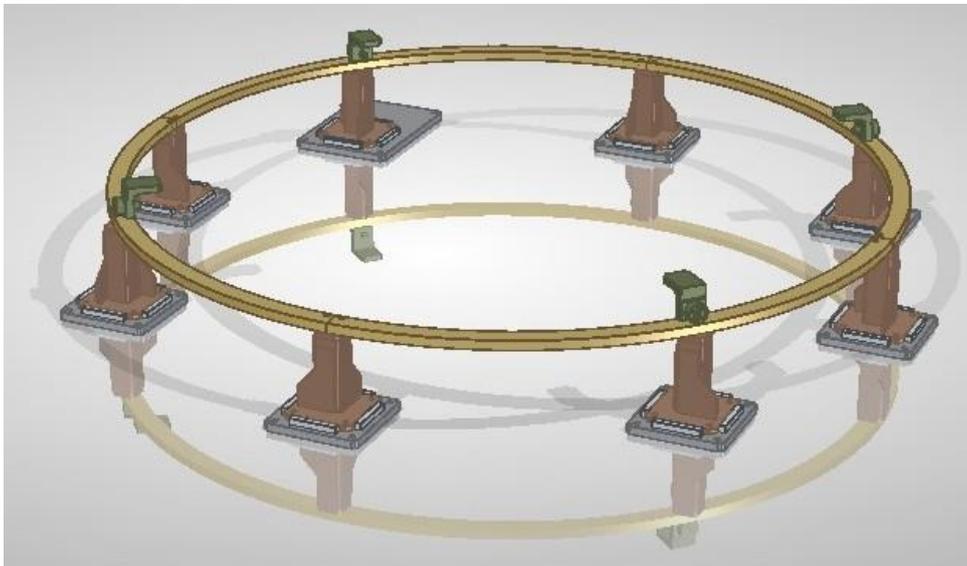


Imagen 8.5 – Corona de guiado y ruedas de apoyo.

La necesidad de incorporar este sistema viene impuesta por el cambio en las coordenadas que supondría una flexión de la estructura, ya que con este desplazamiento, la posición producto también se vería afectada, siendo que el robot acudiría a coordenadas equivocadas, provocando un mal procesado de la misma o colisiones siempre indeseables.

Las sufrideras estarán fabricadas con perfil tubular para aliviar peso y dispondrán de cartelas de refuerzo para resistir el esfuerzo cortante y posible flexión durante la fase de aceleración de la mesa giratoria.

### 1.3.Sistemas de centrado

Para asegurar la posición deseada en cada ciclo de giro de la mesa, se resuelve como sistema de centrado el empleo de un cono que tenga la doble función de asegurar la posición y, a su vez, enclavar la posición de la estación en todo momento.

El conjunto consta de un soporte al cual quedará amarrado el sistema del cono – fijo-, accionado mediante un cilindro neumático, permanecerá escamoteado durante el giro de la mesa para, en el momento de alcanzar la posición deseada salir (parte fija) y enclavar la posición contra el cono negativo –móvil- que estará unido a la estructura (bastidor).

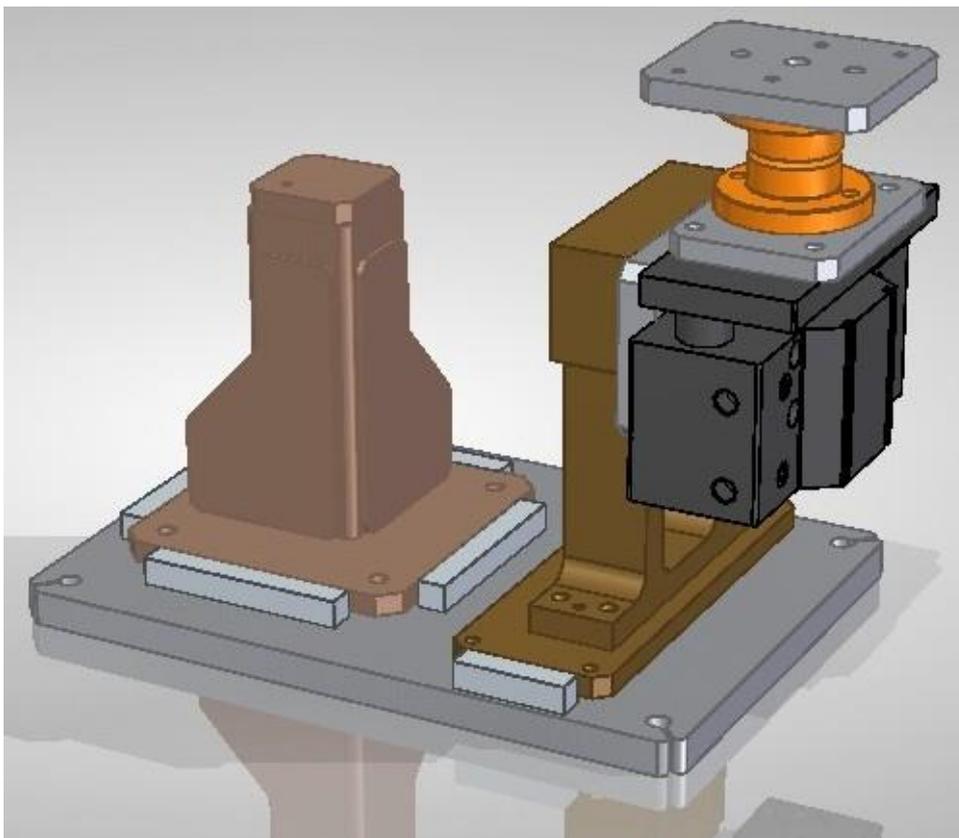


Imagen 8.6 – Corona de guiado y ruedas de apoyo

El conjunto irá amarrado al anclaje de una de las sufrideras. Sin embargo, la placa de amarre del soporte tendrá sus propios cuadradillos para fijación de posición con el fin de asegurar que cumple sus condiciones geométricas.

De esta forma queda perfectamente asegurada la posición de la estructura respecto con arreglo al lay-out con la precisión suficiente.

#### 1.4.Mesa giratoria

Como medio de acción se utiliza una mesa giratoria comercial del fabricante EXPERT-TÜNKERS. Concretamente el modelo EDH1170/A7095.

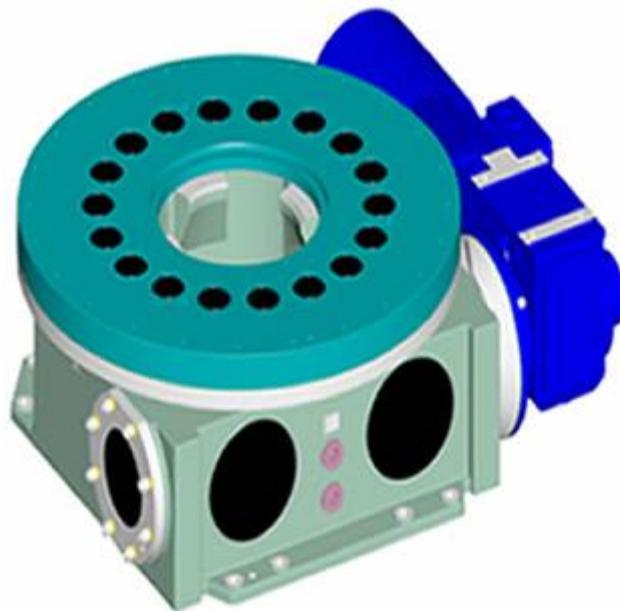


Imagen 8.7 –Mesa giratoria EXPERT-TÜNKERS EDH1170/A7095

Esta mesa permite rotar, mediante un servomotor calibrado de alta precisión, dos bloques de estaciones o dos estaciones simples de trabajo de hasta 3000 kg cada una en ángulos de 180°, 120° y 90°. El radio desde el eje de giro de la mesa giratoria hasta el centro de masa del utillaje no debe exceder los 800 mm para un correcto funcionamiento en carga máxima, pudiendo llegar hasta los 1800 mm en casos de carga mínima. El tiempo que precisa la mesa para girar los 180° será de tres segundos. Estos valores se dan para el giro deseado, es decir 180°. Para otros ángulos de giro, el fabricante suministra gráficos específicos.

En la imagen 8.7 se muestra el gráfico de la carga máxima (masa – kg) a soportar por la mesa giratoria en ordenadas frente a la distancia del centro de masas del utillaje respecto del eje de giro de la mesa (mm) en abscisas. Esto permite

seleccionar una mesa giratoria dada la masa y el radio del centro de masas o bien, como en este caso, comprobar que la mesa rotativa será suficiente contando con margen suficiente para albergar futuros utillajes.

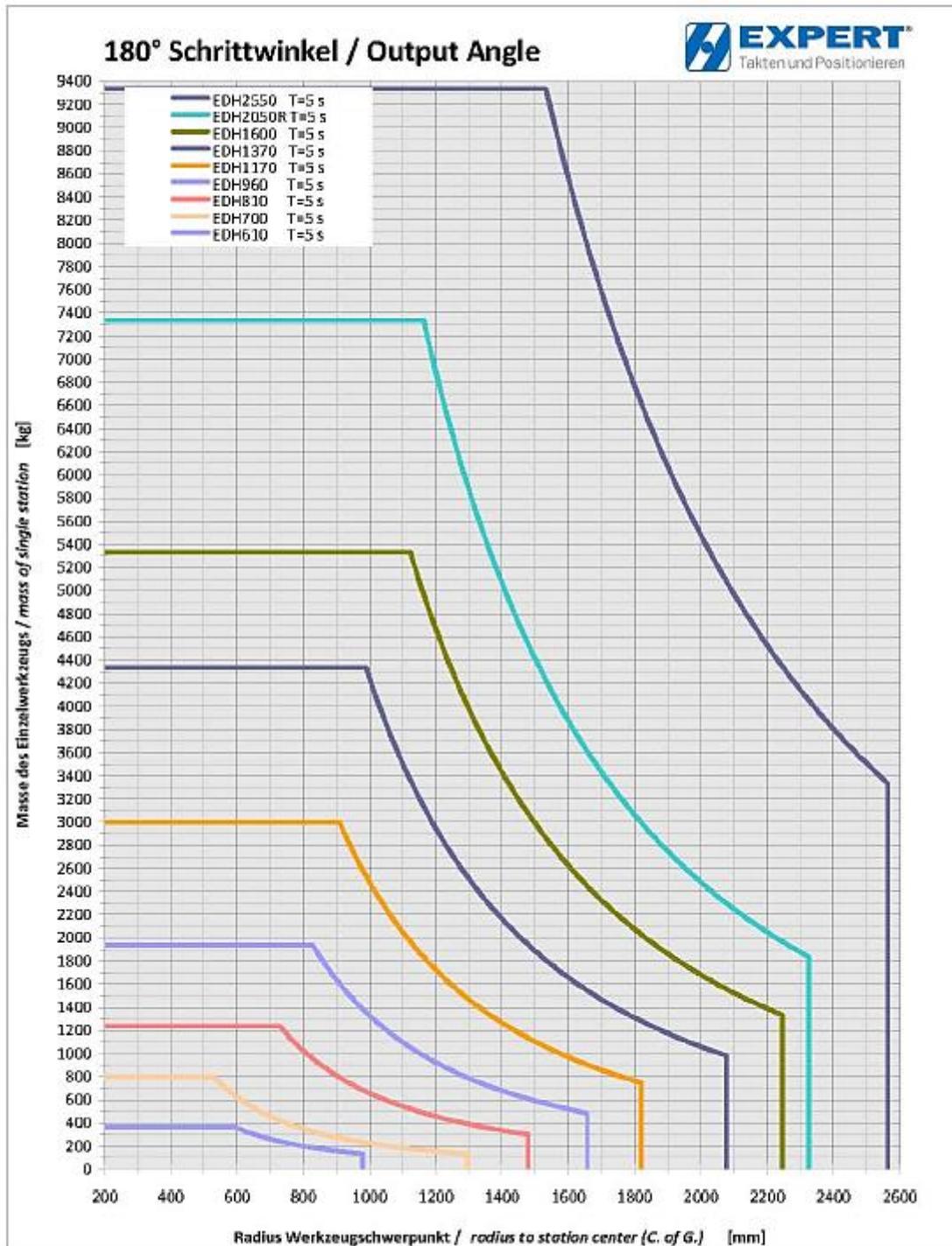


Imagen 8.8 –Gráfico de carga en [kg] frente a la distancia del centro de masa al eje de giro [mm] para un ángulo de giro de 180°

En el caso estudiado el centro de masas del utillaje está situado a unos 1000 mm, lo que nos permite tener una masa de hasta 2600 kg aproximadamente.

La consola de amarre del bastidor deberá ser coincidente con la propia de la mesa giratoria tal y como se muestra en la imagen 8.9.

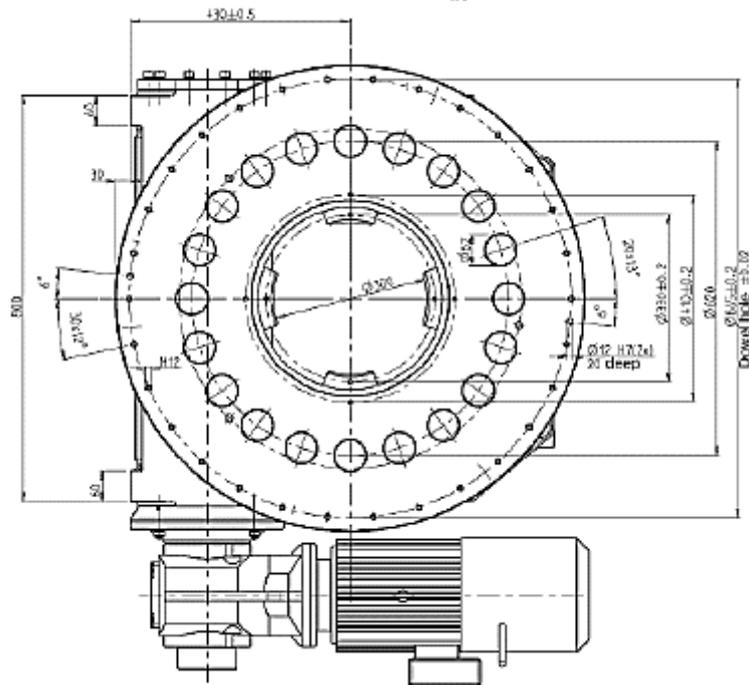


Imagen 8.9 – Vista en planta y de la consola de la Mesa giratoria EXPERT-TÜNKERS EDH1170/A7095

## 2. Bastidor

El bastidor será la estructura principal de la mesa rotativa. Estará resuelta mediante perfiles IPN-160 en su parte fundamental cuya dimensión queda **definida en el Documento 4 – Anexos (apartado 2.6 – pág. 15)**. Esta parte fundamental consta de un cuadro periférico a la que se añaden dos correas transversales en cada una de las dos direcciones del plano horizontal. Serán continuas las vigas transversales al utillaje e irán soldadas en ala y alma aquéllas en que van fijadas las placas de apoyo de la bancada (color negro) y las placas de enclavamiento (color azul).

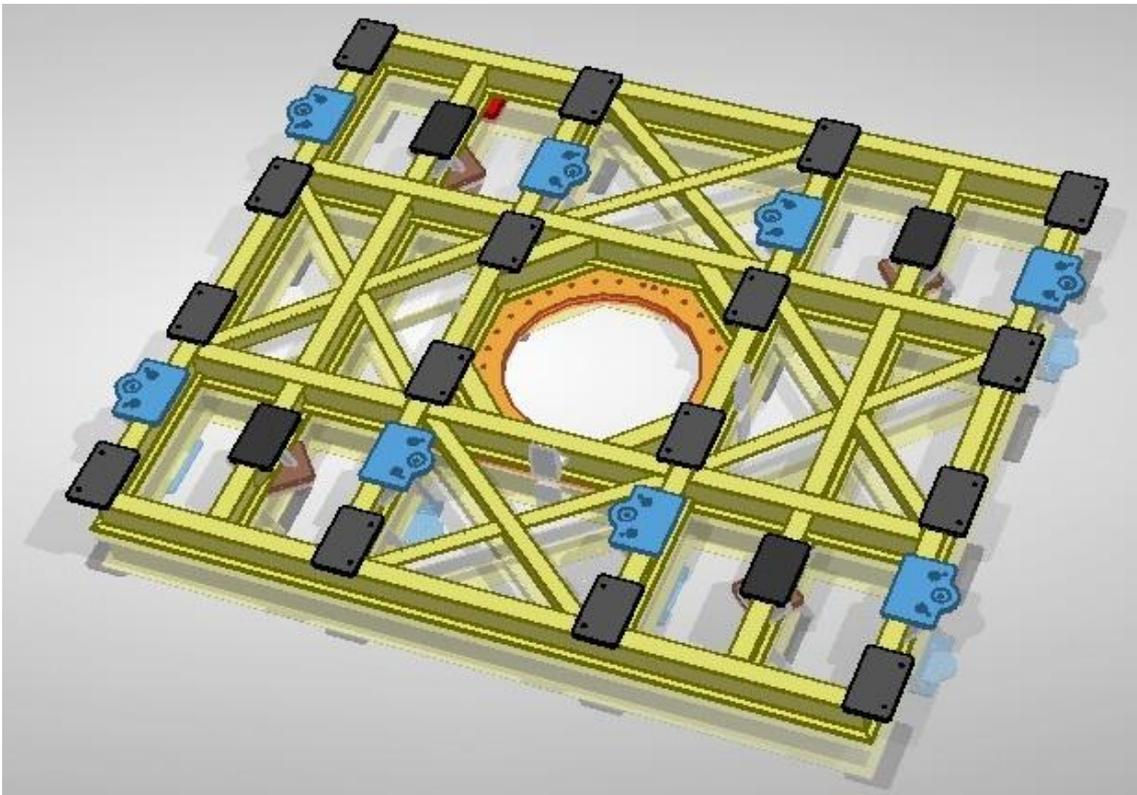


Imagen 8.10 – Detalle del bastidor

Para reforzar el conjunto de la estructura y evitar una flexión excesiva que condicione su funcionamiento en servicio, dado que presenta problemas en su comportamiento frente a fatiga, se añaden perfiles en L arriostrando los nudos más críticos tal y como queda justificado en el **Documento 4 – Anexos (apartado 3 - pág. 30)**.

Las placas de apoyo (en negro) serán aquellas en que deberá ir amarrada mediante tornillería la bancada de cuna. Por su parte, las placas de enclavamiento (en azul) serán encargadas de acoger el sistema de centraje que garantice la posición de la bancada sobre el bastidor.

Además, como se aprecia en la imagen 11, la consola de amarre a la mesa giratoria (naranja) deberá ir soldada al conjunto del bastidor. Se dispone de cuatro placas de apoyo donde irá montada la rueda que repartirá los esfuerzos periféricos a las guías y sufrideras. Por último, se instalan dos placas destinadas a alojar el cono negativo (móvil) con el fin de garantizar la posición de toda la estructura en las acciones de giro de la mesa giratoria (color rojo).

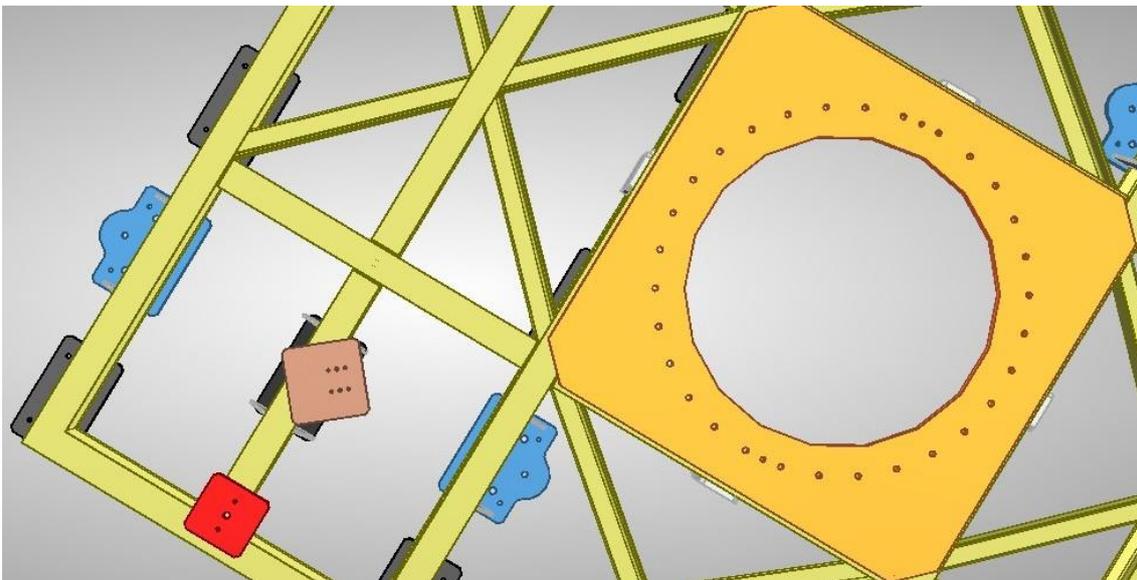


Imagen 8.11 – Vista inferior del bastidor, detalle de placa de apoyo, consola y placa de centraje

Con el fin de garantizar una correcta transmisión de los esfuerzos de la placa de apoyo al perfil metálico estructural, se disponen de cartelas de refuerzo en las placas de apoyo tal y como se observa en la imagen 12. Las cartelas irán a ambos lados de la placa allí donde la geometría así lo permita. Esta solución será adoptada para todas las placas antes mencionadas para evitar una deformación indeseada de las mismas.

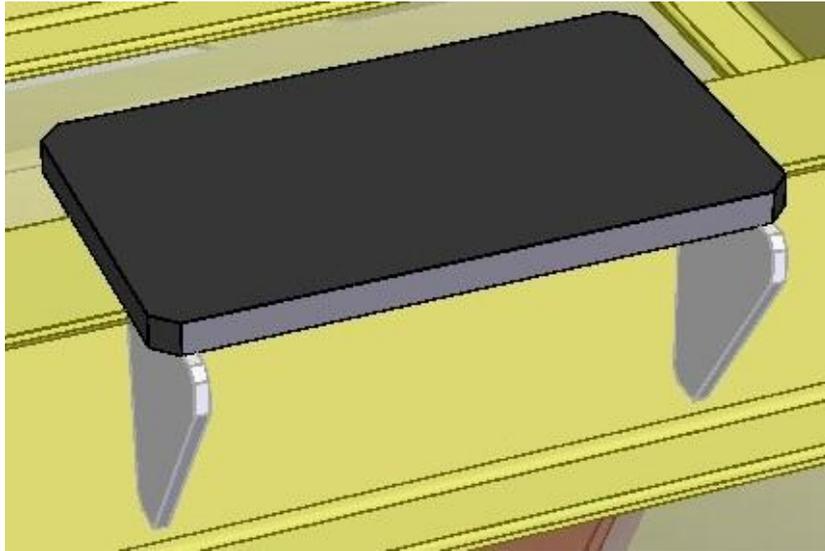


Imagen 8.12 – Detalle de cartelas de refuerzo en placas de apoyo

Dado que se trata de una estructura soldada, el proceso de fabricación contempla primero las operaciones de corte de los elementos, posterior soldadura y, en todo caso así indicado en plano, deberá procederse al mecanizado de todo el conjunto soldado del bastidor para garantizar la posición relativa entre los elementos que a él van ensamblados.

### 3. Bancada de cuna

La bancada de cuna es el elemento estructural donde debe ir alojado el utillaje propiamente dicho.

La estructura está resuelta mediante tubo estructural cuadrado de 80x80x4 mm. Siendo unas dimensiones suficientes y muy por encima de los mínimos que habrían de requerirse a fin de acortar plazos de diseño. Sobre ella descansa el mármol al cual se le practican orificios para aliviar peso y facilitar su manipulación.

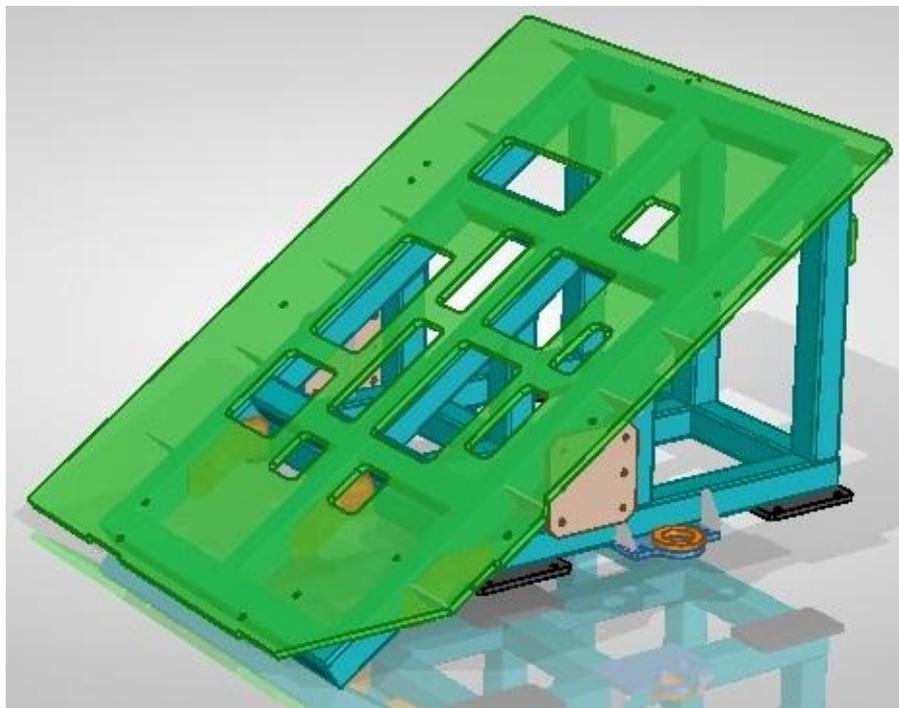


Imagen 8.13 – Detalle de la bancada de cuna

Se sitúan los refuerzos de unión al mármol (dorado), así como cartelas de refuerzo (blanco) para la periferia del mármol como se puede apreciar en la imagen 8.14. Asimismo, las placas de apoyo (negro) descansan sobre el bastidor y disponen de los taladros para amarre mediante tornillería al mismo de la bancada.

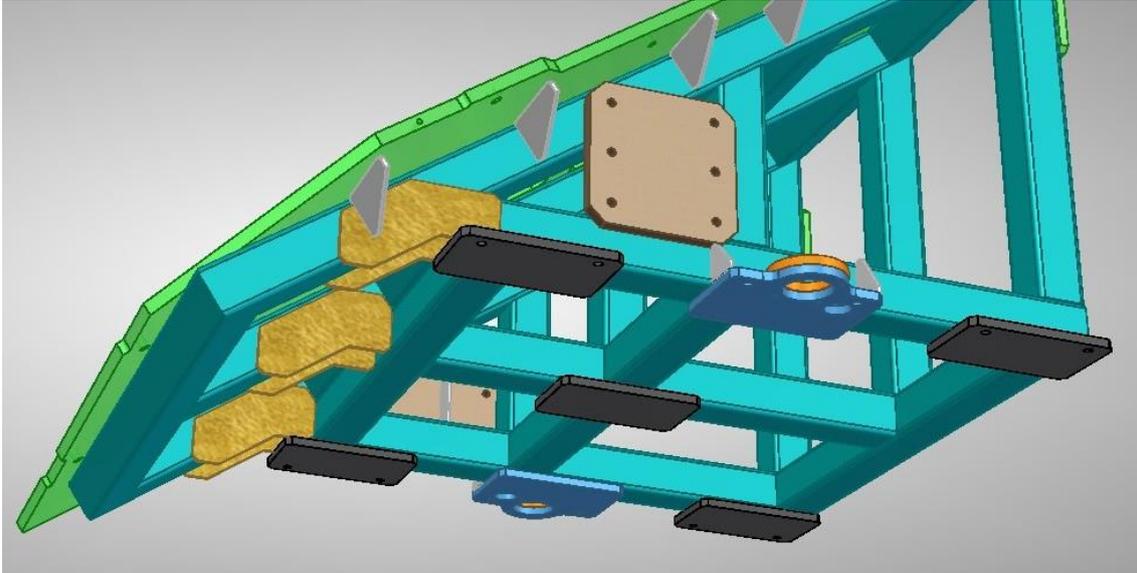


Imagen 8.14 – Detalle de la bancada de cuna

Para garantizar la posición de la bancada respecto de la bancada, tal y como se ha explicado anteriormente, se dispone de una placa para alojar el cono de centrado que servirá para enclavar la posición de la bancada con respecto del bastidor (ver imagen 8.15). A su vez deberá estar reforzada mediante cartelas que rigidicen la posición de la misma.

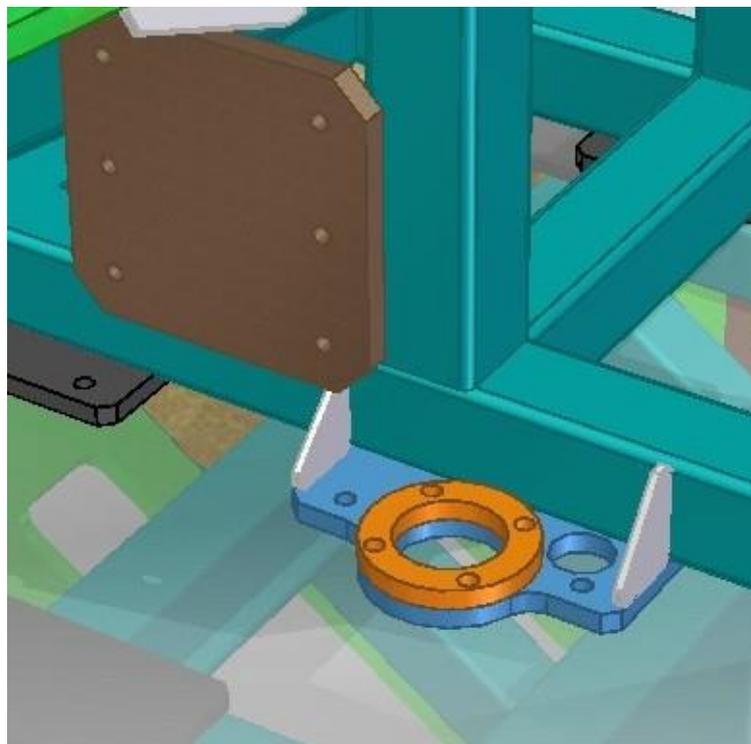


Imagen 8.15 – Detalle de la placa del cono de centrado

Por último, para facilitar labores de mantenimiento y contemplando la posibilidad de tener que situar el conjunto soldado de la bancada en posición vertical se añaden dos apoyos adicionales (placas en azul claro) para evitar que la estructura quede soportada por dos apoyos puntuales en los bordes de la misma.

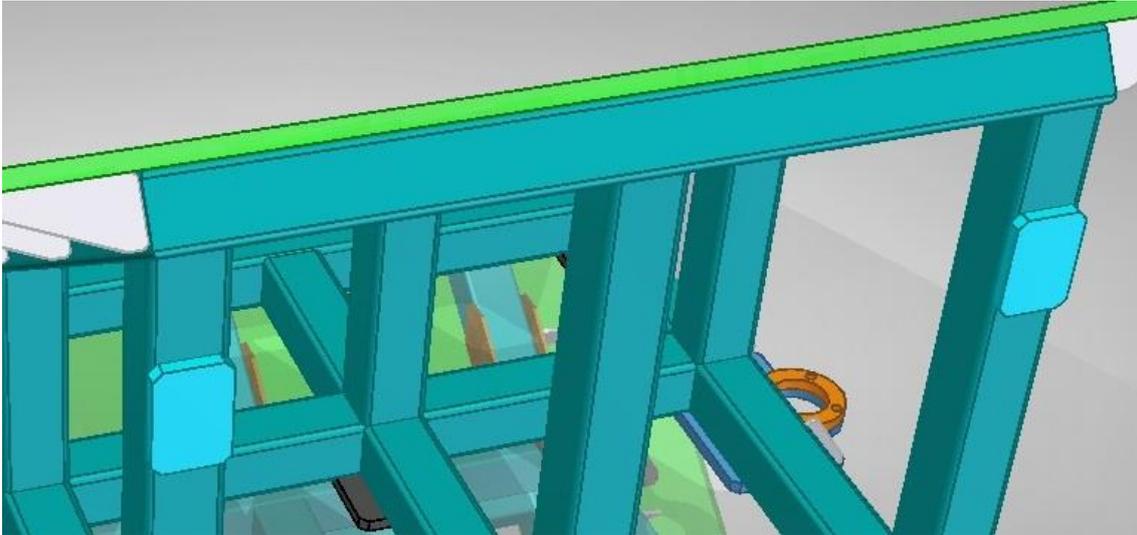


Imagen 8.16 – Detalle de los apoyos verticales

De igual modo que en el bastidor, es necesario reseñar que por razones de condicionamiento geométrico y de posición se hace imprescindible realizar primero el ensamblado del conjunto soldado y, posteriormente realizar el mecanizado de todo el conjunto. De esta forma las tolerancias geométricas serán de aplicación a todo el conjunto soldado y no de forma individual a cada pieza.

## **9. ORDEN DE PRIORIDAD DE DOCUMENTOS**

---

A efectos formales y en todo caso, si surgiese la posibilidad de discrepancia o contradicción entre los distintos documentos que se adjuntan al proyecto, se ha de dar preferencia a los mismos en el orden que sigue:

- 1) Documento 4 – Planos
- 2) Documento 5 – Pliego de Condiciones
- 3) Documento 2 – Memoria
- 4) Documento 3 – Anexos
- 5) Documento 6 – Presupuestos
- 6) Documento 7 – Estudios con Entidad Propia
- 7) Documento 1 – Índice General \*

\* Nota: Para el caso del Índice General prevalecerá siempre el índice del propio documento sobre el Índice General del Proyecto.

