



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**CÉLULA ROBOTIZADA DE SOLDADURA PARA
COMPONENTES DE VEHÍCULOS**

Autor: D. Javier Ignacio López-Peteiro Tuñón
Tutor: D. Antolín Lorenzana Ibán

Valladolid, septiembre, 2018

Resumen

En la automatización de un puesto de soldadura para la industria de la automoción entran en juego muchos equipamientos e instalaciones. Se presentan en este trabajo aquellos más directamente relacionados con la propia tarea de soldadura, objeto de la célula.

Palabras clave: **soldadura, automoción, robótica, automatismo, utillaje**

Abstract

In the automation of welding fixtures for the automotive industry, a lot of tooling and equipment come into play. In this work are presented those more directly related with the welding itself, object of the welding cell.

Keywords: **welding, automotive, robotics, automation, tooling**

Índice

Resumen

Figuras

I Introducción

1. La industria de automoción	1
2. Motivación	1

II Objetivos

3

III Estado de la Técnica

7

IV Planteamiento

11

3. Concepto	13
4. Diseño	15
5. Planos	41
6. Listados	42
7. Fabricación	43
8. Montaje	47
9. Verificación	48
10. Equipado	49
11. Medición	50
12. Ajuste	52
13. Instalación	53
14. Automatismo	54
15. Robótica	55
16. Soldadura	56

Célula robotizada de soldadura para componentes de vehículos

17.Calidad	58
18.Validación	61
19.Balance económico	61
V Conclusiones	63
VI Líneas futuras	67
Referencias	71

Índice de figuras

1.1.	Presencia de fábricas de automoción en España. Fuente: ANFAC (2018).	1
3.1.	<i>Soporte del salpicadero (CCB, de Cross-Car Beam en inglés) que se va a fabricar. La versión mostrada se corresponde con el modelo de conducción con el volante a la izquierda (LHD de Left Hand Drive en inglés o DAG de Direction À Gauche en francés), que es la de uso mayoritario en el mundo. Fuente: PSA (2015).</i>	13
3.2.	Estado del CCB LHD tras la OP10 cuyo diseño es el objeto de este trabajo. Fuente: PSA (2015).	14
4.1.	Coordenadas Vehículo, con su origen y ejes y sentidos positivos. Fuente: < http://www.car-engineer.com/vehicle-inertia-calculation-tool/ > [Consulta: 02 de septiembre 2018].	15
4.2.	Restricción de los 6 gdl mediante RPS. El RPS 1 bloquea 3 gdl (x , y y z), el RPS 2 fija 1 gdl (y) y el RPS 3 y 4 determinan 1 gdl cada uno (z ambos). Fuente: Volkswagen (1996).	16
4.3.	Un referencial es una pieza del utillaje en contacto con una superficie del producto que sirve de apoyo a este. Fuente: Interob (2016).	16
4.4.	Un piloto es una pieza del utillaje que atraviesa un taladro del producto y lo bloquea en una o dos direcciones. Fuente: Interob (2016).	17
4.5.	Diagrama de Gantt con la planificación del proyecto del utillaje. Fuente: Interob (2015).	18
4.6.	Requerimiento de conformidad de posición del producto soldado. Arriba, situación de los puntos cuya posición se controla. Debajo, coordenada controlada, tolerancia para montabilidad en vehículo y repetibilidad del proceso. Fuente: Gestamp (2016).	19
4.7.	Antorcha de soldadura posicionada para dar un cordón entre dos componentes del producto. Fuente: Interob (2016).	20
4.8.	<i>Zona de ergonomía</i> del operario. En negro, zona de ergonomía óptima. En naranja, zona de ergonomía aceptable. Fuente: Interob (2015).	21
4.9.	Robot de soldadura ABB IRB 2600 ID-8/2.00. A la izquierda, cargas integradas y ejes Z y L de la carga principal. A la derecha, diagrama de carga en función de la separación de la muñeca según los ejes Z y L . Fuente: ABB (2011).	22
4.10.	<i>Antorcha</i> de soldadura a utilizar en el proyecto modelo Fronius Robacta RA280 22°. Fuente: Fronius (2007)	23
4.11.	<i>Posicionador</i> ABB IRBP R-1000/1000 empleado en este proyecto. El objetivo del posicionador es alternar la posición del útil entre zona de carga por parte del operario y zona de soldadura por parte de los robots. Además, en este caso, lleva incorporado un <i>motorreductor</i> que añade un <i>eje de giro externo</i> al utillaje, lo que añade a este 1 <i>gdl</i> y permite a las antorchas de soldadura acceder a los cordones más complicados. Fuente: ABB (2018).	24
4.12.	RPS del producto final. Como, en nuestro caso, algunos componentes aun no estan presentes en el conjunto, deberán sustituirse algunos de ellos por otros que se encuentren en los componentes que se sueldan en la primera operación OP10. Fuente: Gestamp (2015).	25
4.13.	Referencial que restringe 1 gdl en x para nuestro producto. Fuente: Interob (2016).	25
4.14.	Piloto que restringe 2 gdl en y y z . Fuente: Interob (2016).	26
4.15.	Cala de espesor 5 mm utilizada para la posterior regulación de referenciales y pilotos. Fuente: Interob (2016).	27
4.16.	Unión de un referencial y un elemento de soporte a través de un tornillo, una arandela y 2 fijas con una cala intermedia. Fuente: Interob (2016).	28
4.17.	Sección transversal de la unión de 2 componentes. Fuente: Interob (2016).	28

4.18. Poste mecanosoldado para el soporte de referenciales, pilotos y otros elementos. Las caras en color salmón son mecanizadas, después de soldar las distintas placas que componen el poste, para acoplar otros elementos a ellas. Fuente: Interob (2016).	29
4.19. Alojamiento del piloto. Fuente: Interob (2016).	30
4.20. Sección transversal del alojamiento del centrador. Fuente: Interob (2016).	30
4.21. Escuadra y cala intermedia entre ella y el alojamiento del piloto. Fuente: Interob (2016).	31
4.22. Piloto con regulaciones en ambas direcciones perpendiculares a su eje. Fuente: Interob (2016).	31
4.23. Grupo del utillaje, con sus referenciales, pilotos, pisadores, cilindro neumático, brida neumática y tornillería. Fuente: Interob (2016).	32
4.24. Bastidor de la máquina: en sus cuatro esquinas lleva roscados sendos <i>cáncamos</i> (tornillo de ojo DIN 580 M16) para facilitar su transporte, por ejemplo, mediante puente grúa. Fuente: Interob (2016).	33
4.25. Sensor inductivo IFM IFR200 utilizado como sensor de presencia de pieza en nuestro utillaje. Fuente: IFM (2015).	33
4.26. Detector magnético reed switch SMC D-M9B. Fuente: SMC (2015).	34
4.27. Posición e identificación de los sensores electrónicos para su integración con el automatismo de la máquina. Fuente: Interob (2016).	34
4.28. Esquema eléctrico de alimentación general desde el armario de distribución trifásica a 380 V. Fuente: Interob (2016).	35
4.29. Esquema eléctrico de cableado del útil. Fuente: Interob (2016).	36
4.30. Esquema neumático de toma general de aire comprimido (6 bar). Fuente: Interob (2016).	37
4.31. Esquema neumático de toma general de gas de soldadura (<i>Ar</i> 85 %, <i>CO₂</i> 15 %). Fuente: Interob (2016).	37
4.32. Posición del bloque de válvulas en el utillaje. Fuente: Interob (2016).	38
4.33. Cilindro neumático SMC MGPA50TF utilizado para desplazar un piloto. Fuente: SMC (2010).	38
4.34. Brida neumática DESTACO 82M-3E. Fuente: DESTACO (2012).	39
4.35. Referencia de cada uno de los elementos automáticos que intervendrán en la secuencia de soldadura. Fuente: Interob (2016).	40
4.36. Secuencia de funcionamiento del utillaje. Fuente: Interob (2016).	40
4.37. Diseño del utillaje de soldadura. Fuente: Interob (2016).	41
5.1. Plano de despiece de un referencial. Fuente: Interob (2016).	42
6.1. Listado de materiales de un grupo del utillaje. Fuente: Interob (2016).	43
7.1. Plano de oxicorte de un referencial. Fuente: Interob (2016).	43
7.2. Plano de soldadura de un poste mecanosoldado. Posteriormente a la soldadura se mecanizará en la fresadora. Fuente: Interob (2016).	44
7.3. Plano de despiece de una escuadra para fresadora. Fuente: Interob (2016).	45
7.4. Plano de despiece de un piloto para torno. Fuente: Interob (2016).	46
7.5. Zincado amarillo. Fuente: < http://www.finitec-electrolisis.com/zincado.html > [Consultado: 02 de septiembre de 2018].	47
8.1. Plano de conjunto de un grupo del utillaje. Fuente: Interob (2016).	48
9.1. Plano de conjunto en el que se detallan las diferencias entre dos grupos que son simétricos en la mayoría de piezas. Fuente: Interob (2016).	49
10.1. Esquema neumático del equipado de un piloto. Fuente: Interob (2016).	50
11.1. Brazo de medición portátil FaroArm Platinum. Fuente: Faro (2009).	51
11.2. Pínula estándar de Ø20 utilizada como referencia en medición y en el cálculo de trayectoria de robot. Fuente: Micratech (2015).	52

11.3. Informe de medición del utillaje. Fuente: Interob (2016).	52
12.1. Cuaderno de calas del utillaje. Fuente: Interob (2016).	53
13.1. Layout de nuestra instalación. El utillaje OP10 está instalado en el posicionador de la izquierda. Fuente: Interob (2016).	54
13.2. Placas de amarre del utillaje al motorreductor del posicionador. A la izquierda: punto (lado motriz) y a la derecha: contrapunto. Fuente: Interob (2014).	54
14.1. PLC Siemens Simatic S7-300. Fuente: Siemens (2010).	55
14.2. Módulo de entradas y salidas (izquierda) y bloque de válvulas (derecha) del utillaje. Fuente: SMC (2011).	55
15.1. Reparto de cordones entre operaciones. Fuente: Interob (2016).	56
15.2. Reparto de cordones entre robots dentro de una operación. Fuente: Interob (2016).	56
16.1. Equipo de soldadura manual Fronius TransSteel 2200. Fuente: Fronius (2016).	57
17.1. Máquina de Medición por Coordenadas 3D modelo DEA Global Performance Silver Edition usada para la medición de nuestro producto. Fuente: Hexagon (2014).	58
17.2. Informe de medición obtenido a través de la Máquina de Medición por Coordenadas 3D. En este componente se observa que, en 3 de los 4 puntos medidos, la coordenada x se encuentra fuera de tolerancia hacia sentido positivo, por lo que la corrección implicará llevar el correspondiente referencial del utillaje a sentido negativo de x . Fuente: Interob (2016).	59
17.3. Macrografía de uno de los cordones de soldadura. En la imagen se aprecian los siguientes elementos: la zona de material fundido (gris más oscuro) y a su alrededor la zona de afectación térmica, el espesor del componente (rojo), las profundidades mínimas de penetración (en amarillo) y las anchuras de penetración y garganta del cordón (en verde). Fuente: Interob (2016).	60
17.4. Control estadístico de una tolerancia de posición en una producción de 4 piezas. Fuente: Interob (2016).	61

Parte I
Introducción

1. La industria de automoción

La industria de automoción ha experimentado un crecimiento sobresaliente en los últimos años, tanto globalmente como en nuestro país. España es el 2º fabricante de automóviles en Europa y el 8º a nivel mundial[1], con una gran presencia de fábricas en nuestro país (Figura 1.1). A nivel nacional se sitúa como el tercer sector económico, por detrás del turismo y la industria agroalimentaria.

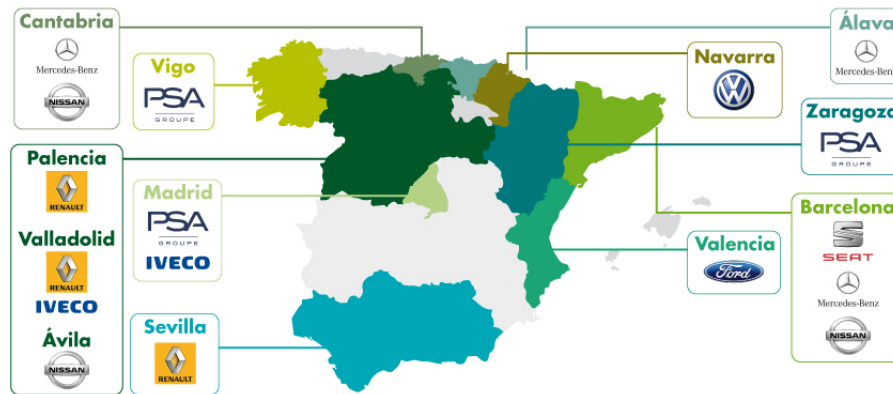


Figura 1.1: Presencia de fábricas de automoción en España. Fuente: ANFAC (2018).

En España se han producido 2.9 millones de vehículos en 2017, lo que se ha traducido en una participación del 8.6% del PIB del país. Esto ha supuesto el 9% de empleo total sobre la población activa. La recaudación en el último año ha crecido un 5.7%, situándose en los 26.600 millones de €. A nivel de exportaciones, ha supuesto el 17.9% del total nacional.

2. Motivación

El presente trabajo tiene la motivación de reflejar el desempeño real llevado a cabo en una empresa *integradora*¹ *Tier 1 y 2*². En ella intervienen un gran número de disciplinas y un amplio equipo humano. La labor del autor en este proyecto ha sido, inicialmente, como Metrólogo, en el Departamento de Metrología y Calidad de Producto, para posteriormente continuar como Projectista Mecánico, en el Departamento de Oficina Técnica. Ambas son labores propias de la profesión de Ingeniero Industrial; además, la necesidad de trabajar simultáneamente con otros especialistas de la misma profesión amplía los conocimientos en otras ramas distintas a las de los Departamentos en que se lleva a cabo el oficio.

La labor de la empresa parte desde la obtención de pieza de chapa de acero o aluminio estampado (entregada por proveedor), y desde ahí lleva a cabo su desempeño en el diseño, fabricación y puesta en marcha de los medios de soldadura de dichos componentes hasta obtener el producto final de chasis de automóvil. Por tanto, su actividad se centra en proyectar dichos

¹En la industria de automoción, un integrador es la empresa que se ocupa de aglutinar las distintas especialidades (mecánica, robótica, automatismo, etc.) para proyectar los medios de producción que luego venderá al fabricante.

²En el sector automotriz, las empresas se ordenan según su posición en la cadena de proveedores-clientes: OEM se refiere a aquella empresa que vende el producto final (automóvil), Tier 1 hace referencia a su proveedor inmediato, Tier 2 al proveedor del Tier 1, y así sucesivamente.

medios productivos para, posteriormente, instalar estos en la planta de cliente en condiciones de funcionamiento en serie.

Parte II

Objetivos

Los principales objetivos de este trabajo se pueden resumir en:

- Obtener una visión global de qué clase de productos podemos obtener a través de los procesos de soldadura robótica automatizada en automoción.
- Diferenciar los tipos de soldadura que requieren unas piezas u otras en función de su geometría.
- Proporcionar una idea general del proceso de soldadura tal y como se realiza en la industria automotriz hoy en día.
- Describir cada una de las partes del proceso de concepción del propio útil de soldadura.
- Detallar las fases y partes en que se divide el diseño de un utillaje.
- Explicar las operaciones posteriores al diseño, tales como fabricación, medición, ajuste, etc.
- Identificar y profundizar en cada una de las especialidades de que está compuesto un equipo de ingeniería de utillaje de automoción.

Todos estos objetivos reflejan el trabajo real desempeñado en la realización del proyecto en la empresa, que ha servido de complemento a la formación adquirida en el Máster en Ingeniería Industrial, pues tiene el mismo carácter multidisciplinar que este y ha ampliado no solo los conocimientos propios del desempeño del autor en los Departamentos de Metrología y Calidad de Producto, primero, y Oficina Técnica, después, sino aquellos que han resultado de la interacción con el resto de especialistas de la empresa (Robótica, Automatismos, Gestión de Proyectos, Logística, etc.), todos ellos ramas de la Ingeniería Industrial.

Parte III
Estado de la Técnica

La soldadura robotizada hoy en día ha avanzado mucho con respecto a su estado hace tan solo diez años. Cada vez son más los trabajos por parte de operarios que se ven sustituidos por robots como, principalmente, soldadura, pero además: manipulación, inspección final, detección de componentes, aplicación de adhesivos, parada y puesta en marcha de línea, transporte de componentes, etc.

Las tecnologías más relevantes aplicadas actualmente se centran en:

- Diseño asistido por ordenador (CAD) de cada uno de los componentes implicado en la fabricación del producto final. En el desempeño actual se ha contado con programas de diseño 3D como CATIA V5, de Dassault Systèmes, para este fin. Se trata de un programa estándar en la industria aeronáutica y muy extendido en el sector automotriz, que permite mayor control de todas las estructuras proyectadas, integración con el resto de Departamentos (Simulación, Robótica y Metrología, principalmente) y una mayor rapidez a la hora de modificar cualquier componente que lo requiera con el objetivo de mejorar su funcionamiento, en comparación con la forma tradicional de diseño 2D directo.
- Esquemas eléctricos y neumáticos: se ha hecho uso de uno de los programas más extendidos en ingeniería a tal efecto, como es EPLAN, que permite tener una definición precisa de toda la instalación eléctrica y neumática de los medios productivos.
- Automatización por medio de PLC de cualquier tarea susceptible de ello: la proliferación de los autómatas programables en los últimos años ha permitido la integración de la mayoría de las partes del proceso productivo, aumentando considerablemente la eficiencia de la producción. Para este fin se ha contado con PLC, CPU y Software del proveedor Siemens, como Simatic Step 7 y TIA Portal, estándar en la industria del automóvil.
- Aplicación de robots en casi todas las tareas que forman parte del proceso productivo: soldadura, manipulación, inspección, ... La robótica ha invadido la mayoría de actividades industriales en detrimento de la intervención humana, de tal forma que hoy en día, la gran mayoría de labores que anteriormente eran desempeñadas por humanos son llevadas a cabo por robots, desde pequeños robots colaborativos a grandes robots de manipulación, pasando por la propia labor de soldadura, inspección, aplicación de adhesivos, posicionado de los utillajes, etc. En este campo se ha contado con robots y posicionadores de utillaje de la marca ABB, uno de los principales proveedores de robots no solo de la industria del automóvil, sino de la ingeniería en general.
- Medición cada vez más precisa de todos los componentes tanto de maquinaria auxiliar como de producto final. Este es uno de los campos que más han avanzado en los últimos años, y que ha aportado más valor añadido a todo el proceso. La metrología de cada vez más componentes ha permitido aumentar la calidad de los medios de producción, pues hoy en día se mide no solo el producto final que irá montado en el vehículo, sino el propio utillaje de producción, garantizando unas tolerancias de fabricación más estrechas y una repetibilidad mayor de todo el proceso. Para esta especialidad se ha contado con Hexagon, uno de los principales proveedores de Máquinas de Medición por Coordenadas de la industria, y con FARO, que ha proporcionado tanto Hardware como Brazos de Medición Portátil, Trackers y Escáneres Láser, como Software para la medición con dicho Hardware.
- Fabricación por control numérico (CNC) de cada vez más piezas del utillaje de automoción. El aumento de la complejidad en la geometría de las piezas del automóvil hace cada vez más necesario contar con Centros de Mecanizado con control numérico, proporcionando geometrías y tolerancias que no serían posibles de forma manual. Para ello se ha contado

con talleres de la zona (Valladolid) y alrededores, que han modernizado sus instalaciones hasta ser capaces de atender la creciente demanda de mecanizado por control numérico.

- Simulación de la producción, desde la programación de trayectorias hasta el cálculo de piezas por unidad de tiempo. Este es uno de los aspectos con más proyección dentro de la industria, pues cada vez se simulan más procesos antes de llevarlos a la práctica, lo que supone un refinado de la producción antes de que esta se implemente (optimización de trayectorias o cálculo de *buffers*³ de forma virtual, por ejemplo). En esta especialidad se ha hecho uso de Software PLM⁴, cada vez más usado en toda la industria, de la empresa Siemens. En concreto se han usado los programas de Tecnomatix: para el cálculo de trayectorias y factibilidad de soldadura se ha hecho uso de Robcad y Process Simulate, y para la simulación del proceso productivo completo se ha usado Plant Simulation.
- Layout o implantación: para la instalación en la planta de cliente se utilizan programas 2D como Autodesk AutoCAD o Dassault Systèmes Draftsight, que permiten situar cada uno de los componentes de una forma precisa.

³ Almacén de piezas (a menudo en movimiento en forma de cinta transportadora) que permite evitar cuellos de botella en la producción.

⁴ Administración de Ciclo de vida de Productos (*Product Lifecycle Management*).

Parte IV
Planteamiento

3. Concepto

3.1. Producto

El producto que se va a fabricar es el *soporte del salpicadero* (Figura 3.1) de un turismo, habitualmente conocido en el sector como *cross-car beam*[2] (*CCB*) en inglés o *traverse planche de bord* (*PDB*) en francés. El material de los componentes es acero. La función de este componente del automóvil condiciona su geometría, y esta el tipo de soldadura a utilizar para la fabricación del conjunto soldado. Debido a las formas curvas de este componente, el tipo de soldadura a emplear será *soldadura a gas y arco metálico* (*GMAW*[3] en inglés).

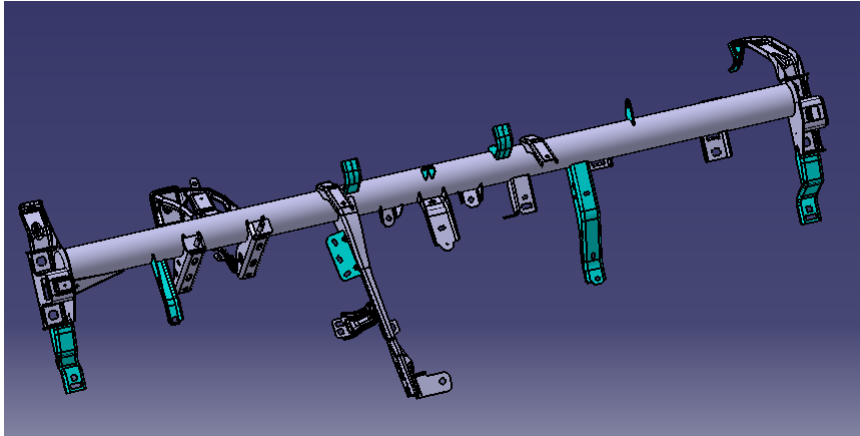


Figura 3.1: *Soporte del salpicadero* (*CCB*, de *Cross-Car Beam* en inglés) que se va a fabricar. La versión mostrada se corresponde con el modelo de conducción con el volante a la izquierda (*LHD* de *Left Hand Drive* en inglés o *DAG* de *Direction À Gauche* en francés), que es la de uso mayoritario en el mundo. Fuente: PSA (2015).

Dependiendo de la complejidad de las piezas, la soldadura robotizada de estas puede dividirse en distintas operaciones. El producto objeto de este proyecto es una de las más complejas en la soldadura de chasis de automoción, por lo que el proceso se dividirá en 4 operaciones: *OP10*, *OP20*, *OP30* y *OP40*. El objetivo del presente trabajo será la fabricación del utillaje de soldadura de la primera operación *OP10*, que será *ambivalente* (podrá soldar LHD o RHD, pero no simultáneamente) de la que dependerá el resto del proceso productivo.

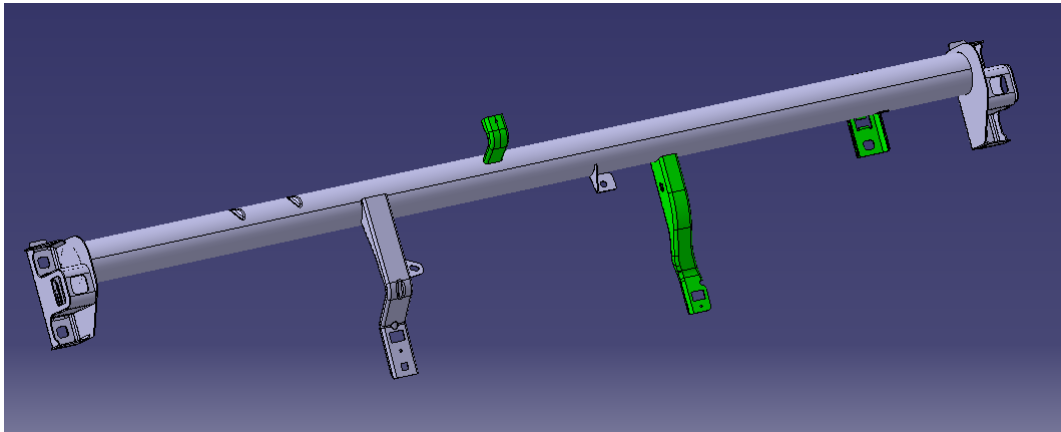


Figura 3.2: Estado del CCB LHD tras la OP10 cuyo diseño es el objeto de este trabajo. Fuente: PSA (2015).

3.2. Oferta

Antes de proceder al diseño del utillaje, deberán tenerse unas nociones aproximadas de los órdenes de magnitud económicos implicados en el diseño, fabricación y puesta en marcha de un utillaje de automoción. Es fácil infravalorar la cantidad de disciplinas y especialistas implicados en un proyecto como este, por eso debe tenerse un profundo conocimiento del sector para asegurar la rentabilidad de la inversión.

4. Diseño

4.1. Conceptos iniciales

4.1.1. Coordenadas vehículo

Lo primero que se deberá tener en cuenta a la hora del diseño es el concepto de *Coordenadas Vehículo*[4] (Figura 4.1). Este tiene su *Origen* en la intersección entre el eje longitudinal del vehículo y el eje del tren delantero. El eje x será el eje longitudinal del coche, con el sentido positivo hacia la parte trasera del mismo, el eje y es el eje del tren delantero, con sentido positivo hacia la parte derecha del vehículo desde el punto de vista del conductor, y el eje z será la altura del vehículo, con el sentido positivo hacia arriba.

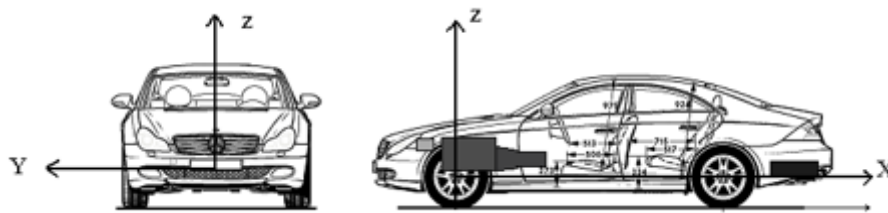


Figura 4.1: Coordenadas Vehículo, con su origen y ejes y sentidos positivos. Fuente: <<http://www.car-engineer.com/vehicle-inertia-calculation-tool/>> [Consulta: 02 de septiembre 2018].

Todos los diseños deberán estar realizados en el sistema de Coordenadas Vehículo, y estas coordenadas deberán verse reflejadas también en los planos generados, por lo menos a nivel de grupo y en todos los referenciales en contacto con vehículo.

4.1.2. Sistema de puntos de referencia (RPS)

A la hora de restringir los 6 *grados de libertad* (gdl) de sólido rígido de cada pieza a soldar, el estándar más utilizado en la industria es el *Sistema de Puntos de Referencia*[5] (RPS de *Reference Point System* en inglés, Figura 4.2), desarrollado por Volkswagen, en el que se restringen 3 gdl mediante 3 superficies, 2 gdl mediante un taladro (habitualmente redondo) y un 1 gdl bien mediante un *coliso*⁵ o mediante un taladro redondo.

⁵Taladro rasgado.

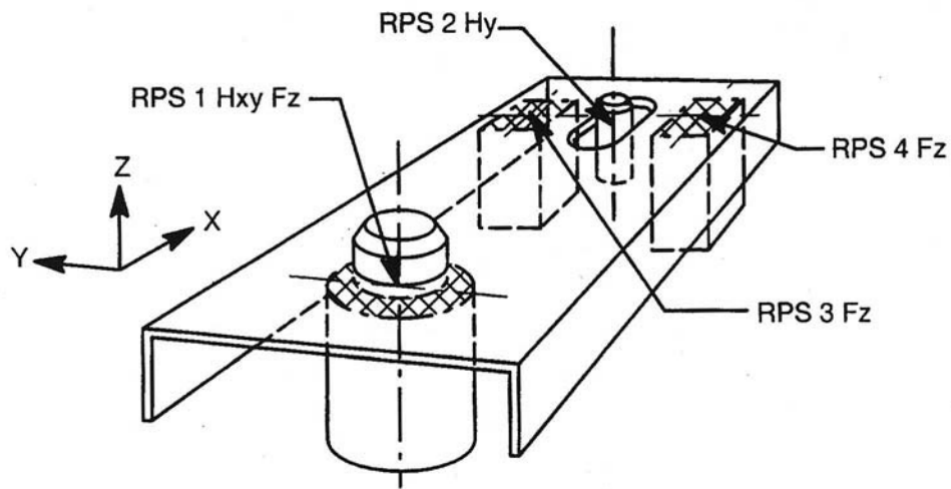


Figura 4.2: Restricción de los 6 gdl mediante RPS. El RPS 1 bloquea 3 gdl (x , y y z), el RPS 2 fija 1 gdl (y) y el RPS 3 y 4 determinan 1 gdl cada uno (z ambos). Fuente: Volkswagen (1996).

Las piezas en contacto con cada uno de los RPS serán bien *referenciales* (en contacto con la superficie de la pieza, Figura 4.3), o bien *pilotos* (atravesando los taladros de la pieza, Figura 4.4).

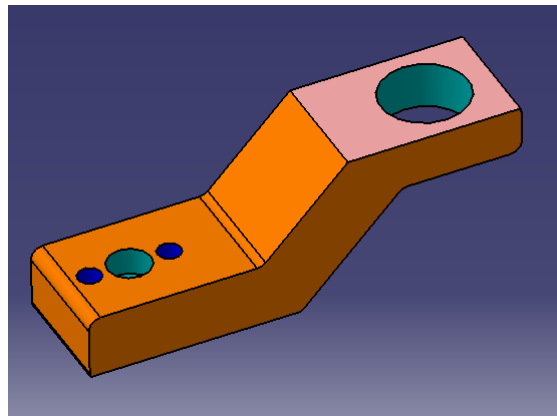


Figura 4.3: Un referencial es una pieza del utillaje en contacto con una superficie del producto que sirve de apoyo a este. Fuente: Interob (2016).

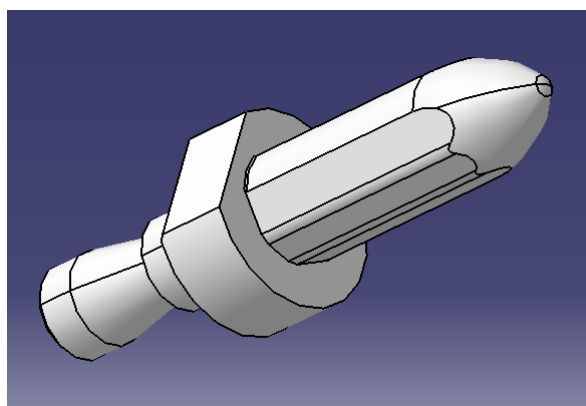


Figura 4.4: Un piloto es una pieza del utillaje que atraviesa un taladro del producto y lo bloquea en una o dos direcciones. Fuente: Interob (2016).

El diseño de un utillaje de soldadura es un proceso iterativo, de tal forma que cada vez que se hace algún cambio se debe comprobar que se cumple con todas las exigencias impuestas por cuestiones como accesibilidad, ergonomía, resistencia, etc. Cada vez que se incumpla alguna de estas cuestiones debe volverse atrás y revisar cada diseño hasta que se puedan satisfacer todas ellas.

En el presente trabajo se va a dividir el diseño de la siguiente forma: en fases y en partes. Las fases hacen referencia al orden cronológico en que se realizan, y las partes dividen el diseño según la naturaleza de este.

4.2. Fases del diseño

4.2.1. Factibilidad de fabricación

Lo primero que se deberá tener en cuenta en el diseño del utillaje de soldadura será la factibilidad de fabricación, en cuanto a los talleres disponibles y su capacidad de mecanizado dependiendo del material a utilizar y de su posible tratamiento térmico o superficial, así como la posibilidad real de soldadura de los componentes implicados en el proceso.

4.2.2. Viabilidad económica de fabricación

Lo siguiente a tener en cuenta será la viabilidad económica de la fabricación: el uso de materiales muy caros o de muy difícil mecanizado puede hacer peligrar la rentabilidad de la inversión.

4.2.3. Planificación

A continuación deberá planificarse el trabajo, para de esta forma saber qué plazos podemos cumplir de cara a cliente, qué plazos necesitamos que cumplan nuestros proveedores y cuántas horas-hombre y horas-máquina debemos asignar a cada tarea, para lo cual se realizara un *diagrama de Gantt* (Figura 4.5):

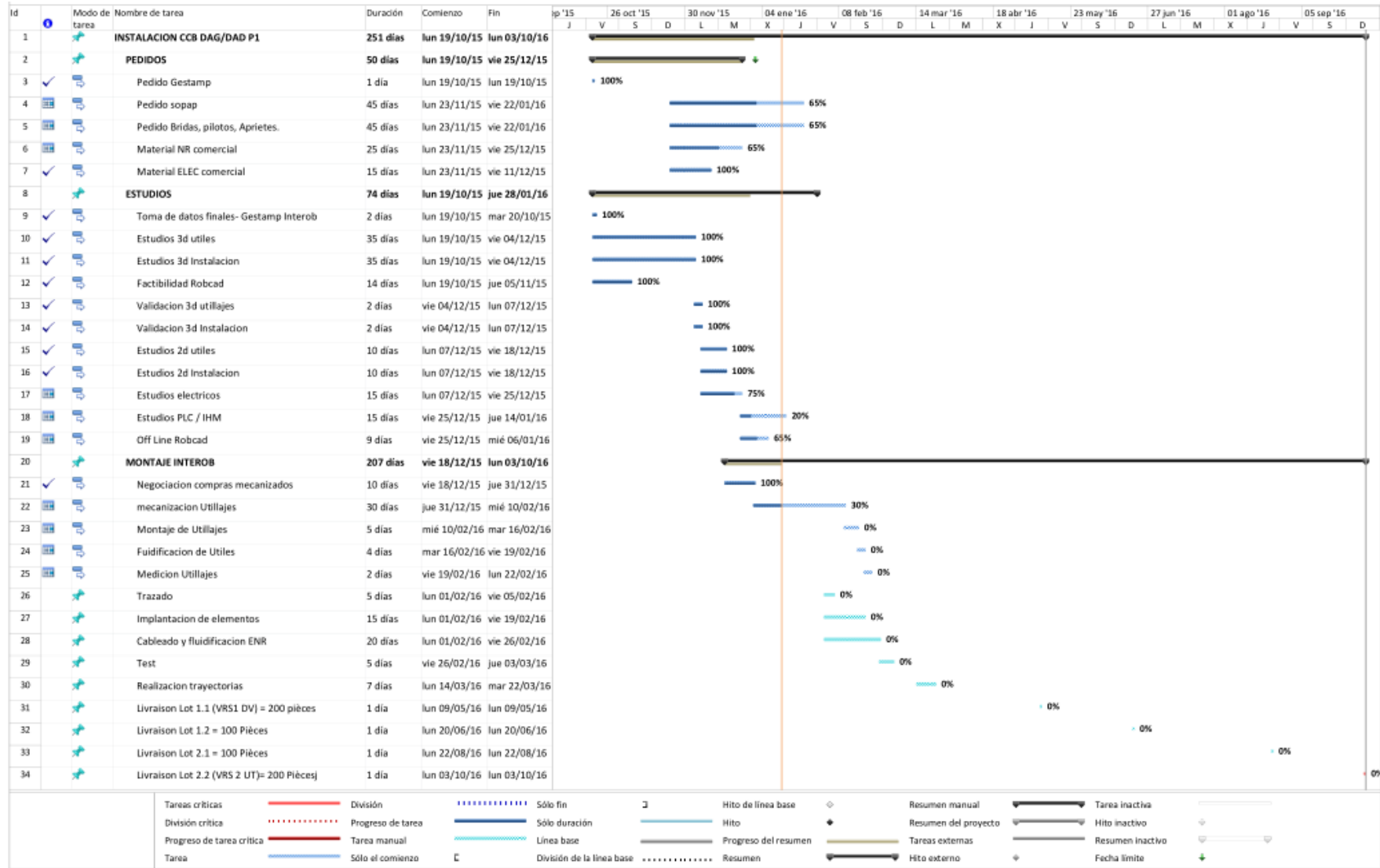


Figura 4.5: Diagrama de Gantt con la planificación del proyecto del utillaje. Fuente: Interob (2015).

4.2.4. Geometría

Es la parte principal del diseño del utillaje, pero está supeditada al cumplimiento de todas las demás y debe adaptarse a ellas. Su objetivo es garantizar la posición relativa de los distintos componentes que forman el conjunto soldado, tanto en tolerancia como en repetibilidad (Figura 4.6). Para ello se hará uso de los conceptos introducidos en la Sección 2.1 del presente trabajo.

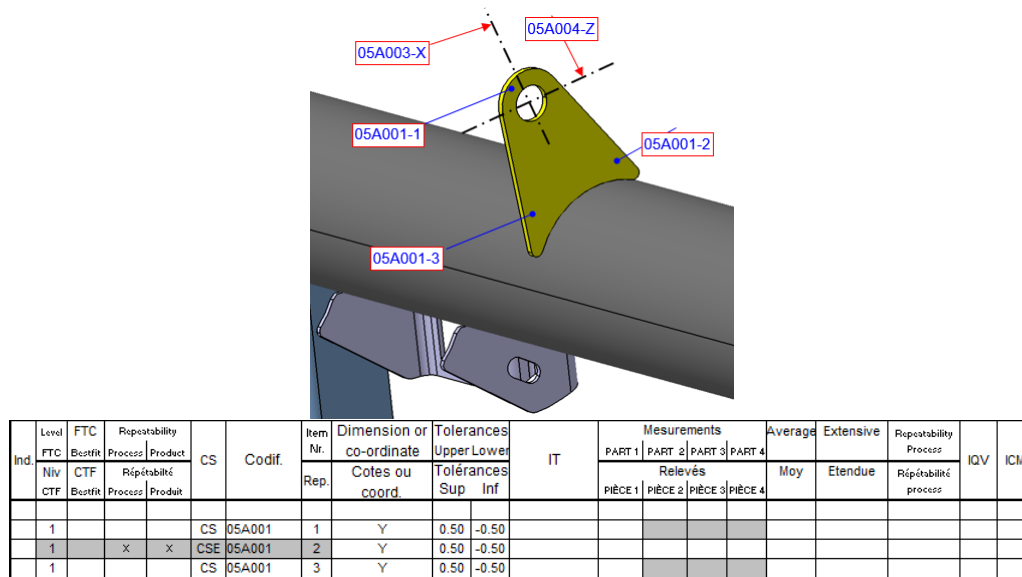


Figura 4.6: Requerimiento de conformidad de posición del producto soldado. Arriba, situación de los puntos cuya posición se controla. Debajo, coordenada controlada, tolerancia para montabilidad en vehículo y repetibilidad del proceso. Fuente: Gestamp (2016).

4.2.5. Factibilidad de soldadura

El diseño de utillaje contemplado debe dejar espacio para el acceso de las *pinzas* de soldadura, en el caso de soldadura por resistencia, o de las *antorchas* (Figura 4.7) de soldadura en el caso de soldadura al arco, que es el que nos ocupa.

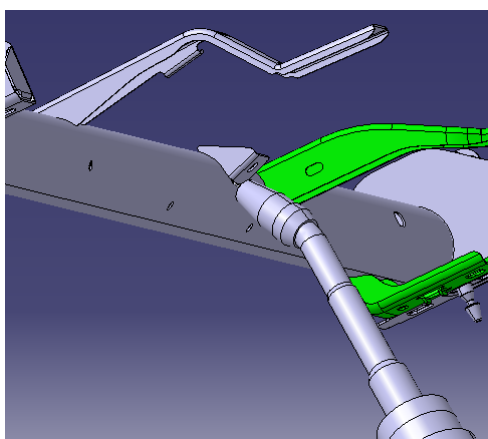


Figura 4.7: Antorcha de soldadura posicionada para dar un cordón entre dos componentes del producto. Fuente: Interob (2016).

4.2.6. Ergonomía

Otro aspecto a tener en cuenta en el diseño del utillaje será la ergonomía del operario, en caso de que este sea el encargado de la colocación de los componentes y de la retirada de los conjuntos soldados, como sucede en la mayoría de los casos. En algunas instalaciones, sobre todo en conjuntos complejos con muchos componentes, existen utillajes intermedios a los que tan solo accede un robot manipulador, y no un operario, pero lo más habitual es la presencia de un operario para al menos la colocación de los componentes.

La *zona de ergonomía* (Figura 4.8) está compuesta de dos regiones: una de ergonomía *óptima* y otra de ergonomía *aceptable*. La posición de todos los componentes de que está formado el conjunto debe estar dentro de la zona de ergonomía, así como todos los elementos de accionamiento manual a que deba tener acceso el operario. Así mismo, se debe minimizar la presencia de elementos que sobresalgan hacia la posición del operario, sobre todo la de *bridas automáticas* u otros elementos de accionamiento neumático.

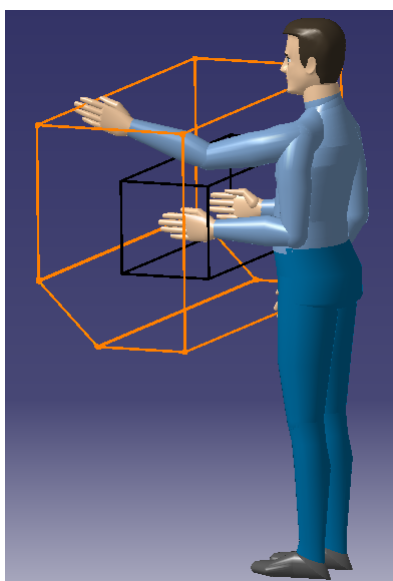


Figura 4.8: *Zona de ergonomía* del operario. En negro, zona de ergonomía óptima. En naranja, zona de ergonomía aceptable. Fuente: Interob (2015).

4.2.7. Factibilidad en simulación

Una vez contempladas todas las cuestiones que atañen al utillaje en sí mismo, es necesario atender a su entorno en la instalación: la celda de soldadura. La herramienta utilizada para ello será un programa de *simulación* que permita comprobar de una forma más precisa no solo los accesos de la soldadura que se han tenido en cuenta en diseño, sino también las posiciones que adoptan los robots de soldadura cuando realizan cada uno de los *puntos* (caso de soldadura por resistencia) o *cordones* (caso de soldadura al arco, nuestro caso). El objetivo principal en esta parte del diseño es validar el propio diseño o, en su caso, encontrar los posibles cambios a realizar en este.

4.2.8. Validación de cliente

La última fase del diseño es la validación por parte del cliente. Esta parte depende de los requisitos especificados en el correspondiente *Cuaderno de Cargas*⁶ y puede alargar el diseño significativamente, así como hacer de este un proceso iterativo hasta que se satisfagan todas las remarcas.

4.3. Partes del diseño

4.3.1. Diseño robótico

La primera parte a tener en cuenta a la hora de realizar el diseño del útil será el tipo y número de robots empleados en el proceso. Por cuestiones de *tiempo de ciclo* se emplearán 2 robots de

⁶El *Cuaderno de Cargas* es el documento que recoge todas las especificaciones del cliente con respecto al proyecto encargado al proveedor. Debe ser todo lo exhaustivo que sea posible, ya que lo que no se encuentre detallado en este se deja a criterio del proyectista.

soldadura en este puesto. Por sus características de alcance, carga máxima soportable, rapidez y repetibilidad de posición se ha escogido el modelo ABB IRB 2600 ID-8/2.00[6] (Figura 4.9):

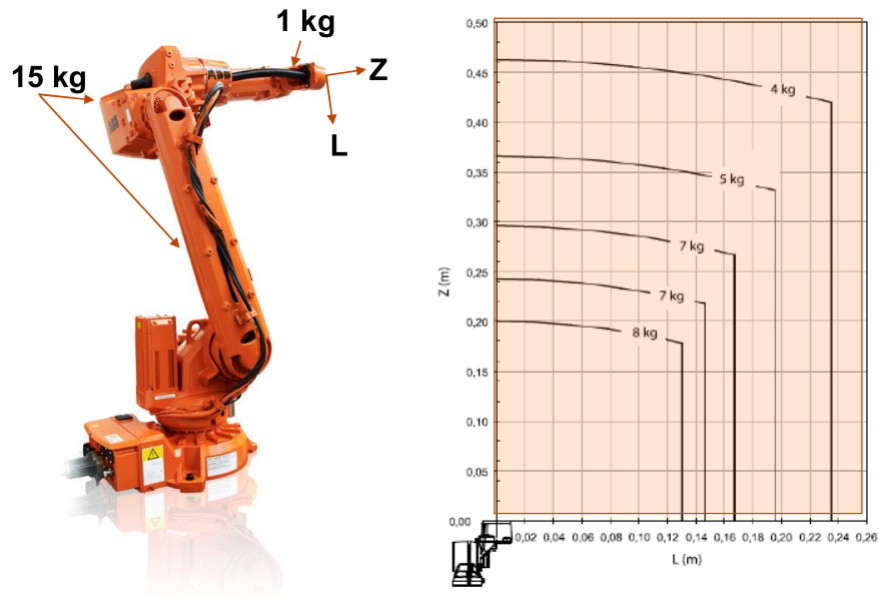


Figura 4.9: Robot de soldadura ABB IRB 2600 ID-8/2.00. A la izquierda, cargas integradas y ejes Z y L de la carga principal. A la derecha, diagrama de carga en función de la separación de la muñeca según los ejes Z y L . Fuente: ABB (2011).

Acoplada a la *muñeca* de este robot se encuentra la antorcha, escogida por sus características de accesibilidad y capacidad de soldadura, modelo Fronius Robacta RA280 22°[7] (Figura 4.3.1):

4,100,543 Touch Sensing Set

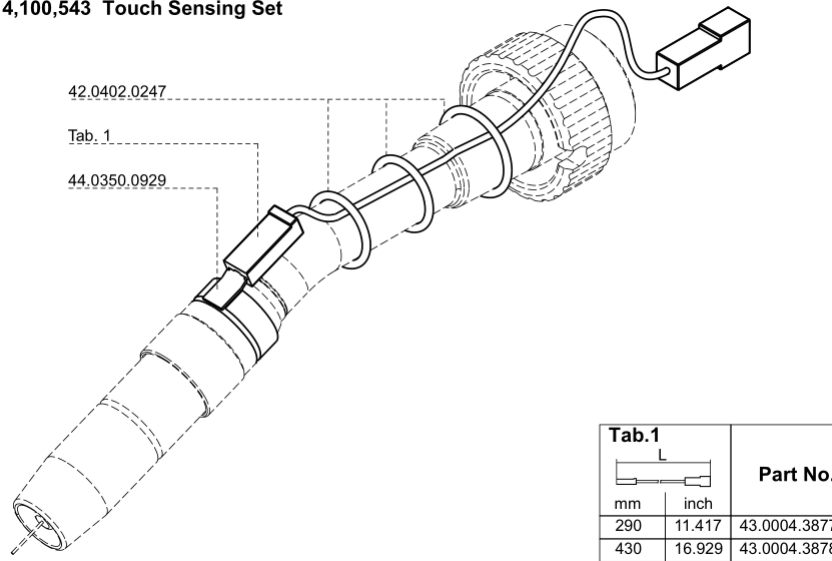


Figura 4.10: Antorcha de soldadura a utilizar en el proyecto modelo Fronius Robacta RA280 22°. Fuente: Fronius (2007)

Otro aspecto determinado por el tiempo de ciclo y el tipo de soldadura será el el *posicionador* a emplear:

- Soldadura por resistencia: en este caso será diseñado específicamente para los utillajes y, debido al acceso de las pinzas, no será necesario contar con un *eje de giro externo* al utillaje. Sin embargo, el par motor máximo proporcionado por el motor del posicionador condicionará el peso máximo del utillaje.
- Soldadura al arco: el posicionador, en estos casos, para permitir el acceso a las antorchas de soldadura deberá contar con un eje de giro externo al utillaje. Esto podrá llevarse a cabo de dos formas:
 - Cuando, por cuestiones de tiempo de ciclo, se requiera soldar cuatro variedades en el mismo puesto de operario y con los mismos robots, se dispondrá un posicionador diseñado a tal efecto al que se incorporará un *motorreductor*.
 - Cuando tan solo se suelden dos variedades en el mismo puesto, como es nuestro caso, en que se sueldan las dos primeras operaciones *OP10* (el utillaje cuyo diseño atañe a este proyecto) y *OP20*, se podrá optar por un posicionador ABB IRBP R-1000/1000[8] (Figura 4.11) comercial como el que se ha usado:

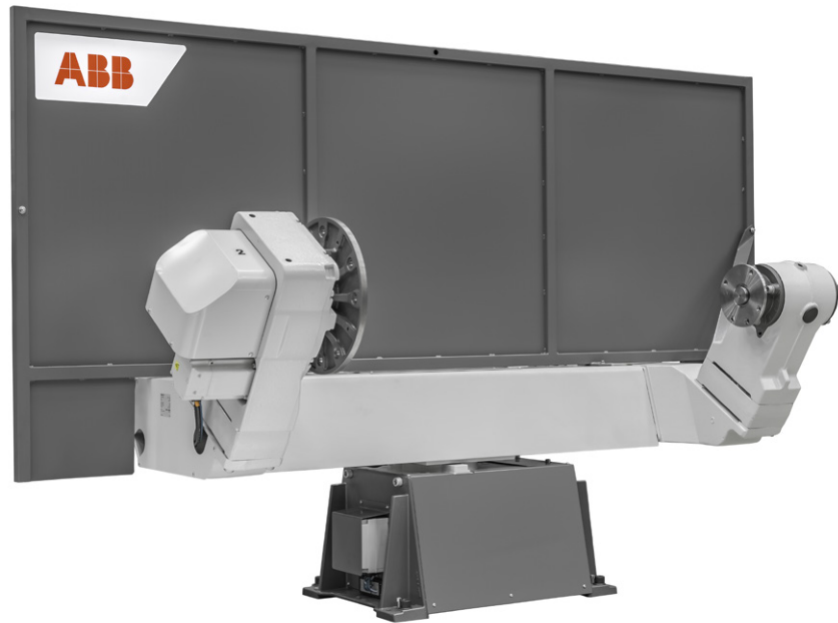


Figura 4.11: *Posicionador* ABB IRBP R-1000/1000 empleado en este proyecto. El objetivo del posicionador es alternar la posición del útil entre zona de carga por parte del operario y zona de soldadura por parte de los robots. Además, en este caso, lleva incorporado un *motorreductor* que añade un *eje de giro externo* al utillaje, lo que añade a este 1 *gdl* y permite a las antorchas de soldadura acceder a los cordones más complicados. Fuente: ABB (2018).

4.3.2. Diseño mecánico

La parte de diseño mecánico es la más importante en cuanto a tiempo en el total del diseño, y es la que va a proporcionar soporte al resto de partes del diseño. La primera parte a tener en cuenta a la hora de realizar el diseño mecánico es el posicionamiento del producto a soldar, que vendrá determinado por los RPS del mismo (Figura 4.12):

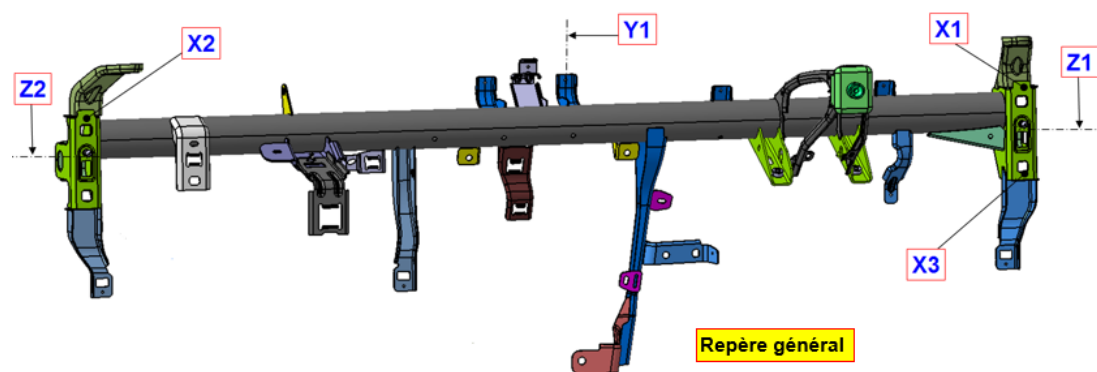


Figura 4.12: RPS del producto final. Como, en nuestro caso, algunos componentes aun no estan presentes en el conjunto, deberán sustituirse algunos de ellos por otros que se encuentren en los componentes que se sueldan en la primera operación OP10. Fuente: Gestamp (2015).

Una vez determinados los RPS a emplear en nuestro utillaje, se diseñan los *referenciales* (Figura 4.13) y *pilotos* (Figura 4.14) que restrinjan los *gdl* requeridos en cada punto:

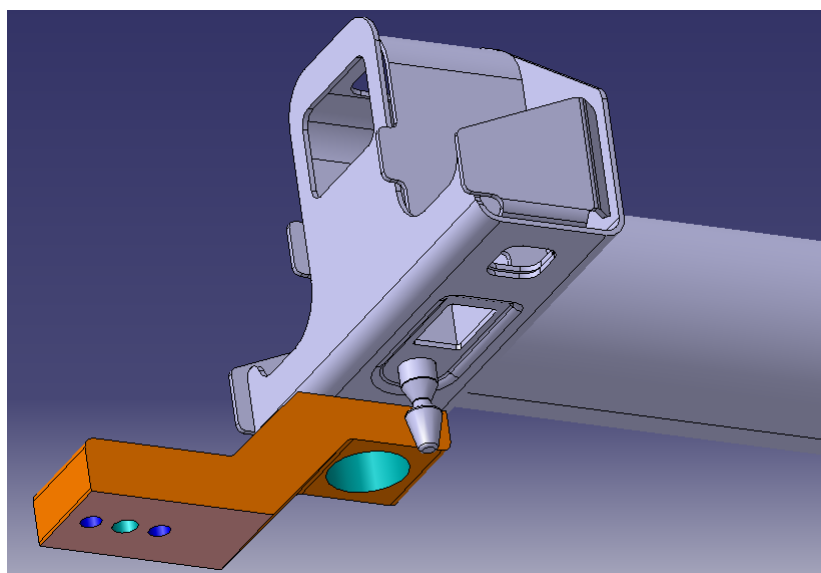


Figura 4.13: Referencial que restringe 1 gdl en x para nuestro producto. Fuente: Interob (2016).

A la hora de seleccionar materiales para la fabricación de los distintos elementos, habrá que tener en cuenta tanto las solicitaciones mecánicas a que se verán sometidas las piezas como los requerimientos de peso y, sobre todo, económicos. Por todo ello, el *acero* es, con mucha diferencia sobre el siguiente, el material más utilizado. Esto es debido principalmente a su buena relación resistencia mecánica/precio, su fácil mecanizado y su buena soldabilidad, aunque esta es una gran generalización y dependiendo de la pieza concreta hablaremos de un acero u otro. Los referenciales deben tener una resistencia relativamente elevada, y por ello se fabricarán en acero

*F-114*⁷ *UNE-36001*⁸ *templado*⁹ y *revenido*¹⁰

Las caras en contacto con el producto deberán estar mecanizadas y contar con una rugosidad media $R_a \leq 3,2 \mu m$, que garantice el buen asiento de la pieza a soldar. Dado que se trata de un útil de soldadura al arco, todas las piezas del utillaje deberán contar con un tratamiento superficial de *zincado amarillo*¹¹.

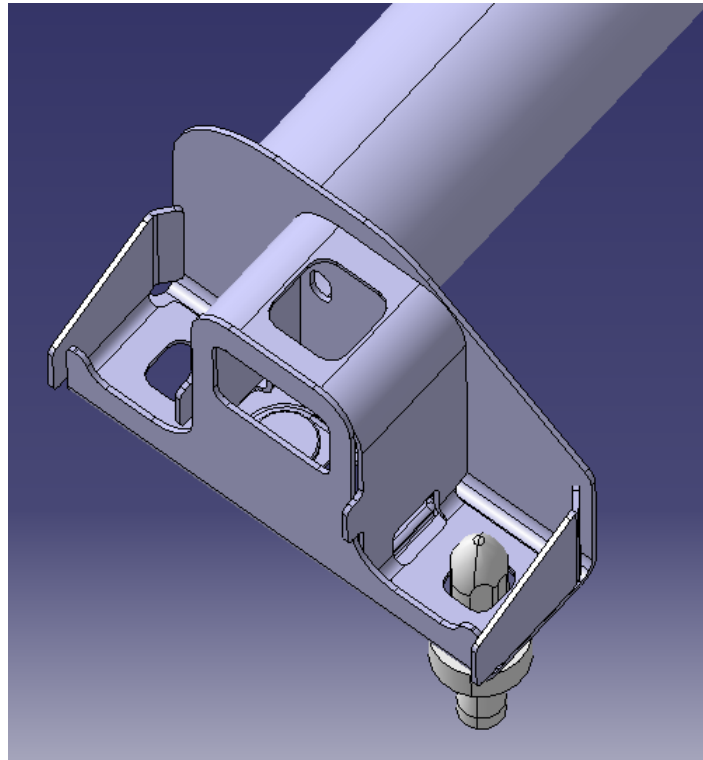


Figura 4.14: Piloto que restringe 2 gdl en *y* y *z*. Fuente: Interob (2016).

El piloto está diseñado de tal forma que el contacto con la pieza se produce en 4 pequeñas superficies cilíndricas, de tal forma que se restrinjan los 2 gdl pretendidos. El diámetro de estas superficies será $0,2 \text{ mm}$ inferior a la dimensión de la pieza en la que deban hacer contacto, con una tolerancia de $+0,05/0$. Estos centradores requieren aun más dureza y resistencia, debido a los posibles golpes sufridos en la carga y descarga de componentes, por lo que estos se fabricarán

⁷ Acero al carbono apto para *temple* con una resistencia media ($650 \text{ N/mm}^2 < \sigma_e < 800 \text{ N/mm}^2$) y una dureza superficial de $52 < \text{HRC} < 54$ en estado *bonificado*.

⁸ Existen multitud de normas de clasificación del acero según su composición y grado de impurezas. La norma más utilizada en la industria automotriz en España sigue siendo la española *UNE-36001*, si bien pueden encontrarse una gran variedad de referencias a otras normas, por lo que debe conocerse una equivalencia entre los distintos estándares utilizados.

⁹ El templado es un tratamiento térmico cuyo fin es aumentar la dureza y resistencia del acero a través del calentamiento.

¹⁰ Tratamiento térmico posterior al templado que consigue aumentar considerablemente su tenacidad reduciendo ligeramente su dureza.

¹¹ Recubrimiento electrolítico de zinc con *Cr III* de color amarillo iridiscente que evita la oxidación y corrosión y sustituye al antiguamente empleado *bicromatado* (recubrimiento de zinc con *Cr VI*), hoy prohibido por la Directiva RoHS 2002/95/CE del Parlamento Europeo.

en acero *F-520*¹² templado y revenido.

Una vez diseñados los referenciales y pilotos, es necesario posicionar estos de tal forma que permita una regulación en, al menos, los ejes cuyos gdl restringen. Para ellos se utilizan las *calas* (Figura 4.15), que son placas intermedias de espesor calibrado (5 mm en nuestro caso) que permitirán, una vez fabricado el utillaje, corregir los posibles defectos de fabricación y llevar a la pieza a su correcta posición:

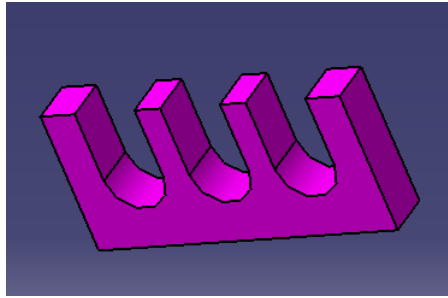


Figura 4.15: Cala de espesor 5 mm utilizada para la posterior regulación de referenciales y pilotos.
Fuente: Interob (2016).

La cala colocada de forma intermedia deberá dejar espacio para el paso de tornillos y *fijas*¹³ que unan a los elementos que separa la cala. En este útil, al tratarse de soldadura al arco, en todos los casos que se pueda se utilizarán tornillos de cabeza hexagonal DIN 933, para evitar que las proyecciones de la soldadura se alojen en la cabeza de los tornillos de cabeza Allen, si bien en este caso, y por problemas de espacio, se utilizará un tornillo de cabeza Allen DIN 912 M6x30 con arandela AET Ø6.2, para lo cual deberá cubrirse posteriormente la cabeza de dicho tornillo con un tapón plástico.

Todo elemento que proporcione geometría y esté unido (Figura 4.16) a otro deberá contar con 2 fijas DIN 7979 que atraviesen ambos elementos en unión (Figura 4.17), de tal forma que estas fijen 4 gdl de una de las piezas relativamente a la otra (solo permitiendo el movimiento perpendicular a ellas):

¹²Acero de herramientas de alta resistencia mecánica. Se utiliza en estado templado y revenido con una dureza de $58 < HRC < 60$.

¹³Pasadores.

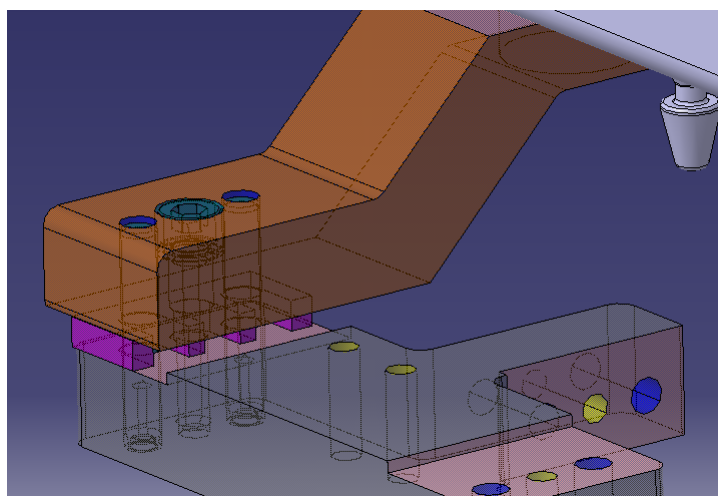


Figura 4.16: Unión de un referencial y un elemento de soporte a través de un tornillo, una arandela y 2 fijas con una cala intermedia. Fuente: Interob (2016).

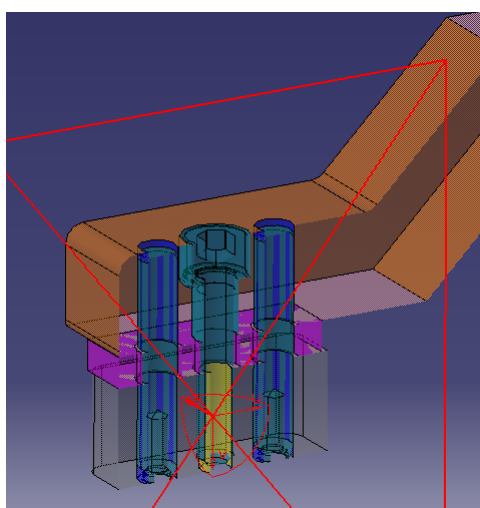


Figura 4.17: Sección transversal de la unión de 2 componentes. Fuente: Interob (2016).

Las caras en contacto intermedio entre sí deberán estar mecanizadas y contar con una rugosidad media $R_a \leq 6,3 \mu m$, que garantice un buen contacto entre ambas superficies. Para el resto de superficies, con menor importancia, se considerará una rugosidad media $R_a \leq 12,5 \mu m$. Los elementos de soporte que no estén en contacto directo con la pieza a soldar se fabricarán en acero *F-112*¹⁴

La construcción de los *postes* que unan los referenciales al bastidor del utillaje se realizarán de forma *mecanosoldada* (Figura 4.18), es decir, se soldarán los distintos elementos que compongan el poste y, posteriormente, se mecanizarán las placas que lo requieran por contacto con otras superficies:

¹⁴Acero al carbono para construcción de maquinaria, de bajo límite elástico ($250 N/mm^2 < \sigma_e < 400 N/mm^2$).

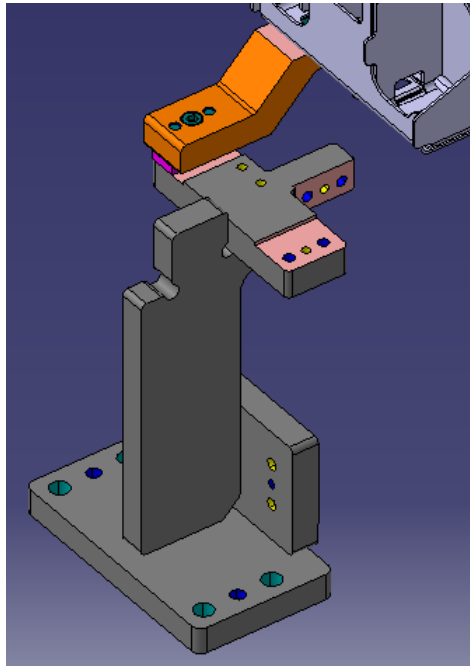


Figura 4.18: Poste mecosoldado para el soporte de referenciales, pilotos y otros elementos. Las caras en color salmón son mecanizadas, después de soldar las distintas placas que componen el poste, para acoplar otros elementos a ellas. Fuente: Interob (2016).

Para el soporte de los pilotos se utilizará un alojamiento cilíndrico (Figura 4.19) de tal forma que entre ambos se produzca un ligero juego que permita montar el centrador pero que restrinja en la práctica totalidad su movimiento, por lo que se empleará un ajuste H7/f7 (Figura 4.20). Sobre este alojamiento se practicarán 2 taladros roscados que permitan utilizar sendos tornillos que aprieten contra la superficie del centrador, bloqueándolo en su sitio. Para evitar que el piloto gire sobre su propio eje, se mecanizará sobre su *valona*¹⁵ una cara plana que permita hacer de *antigiros* al centrador.

¹⁵Superficie cilíndrica de un piloto de mayor diámetro que sus superficies de contacto con la pieza y que sirve como apoyo al mismo.

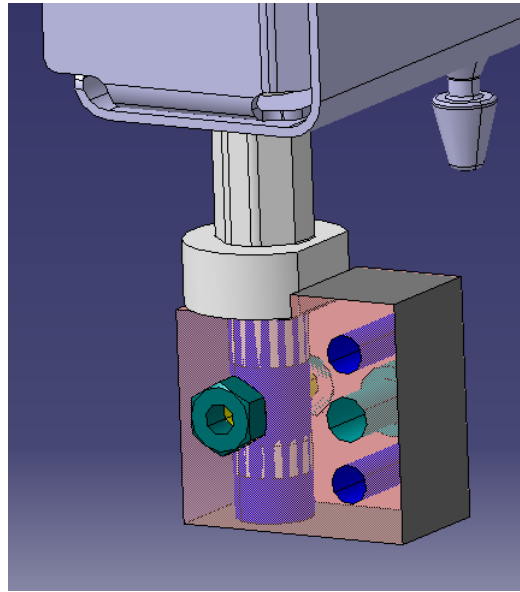


Figura 4.19: Alojamiento del piloto. Fuente: Interob (2016).

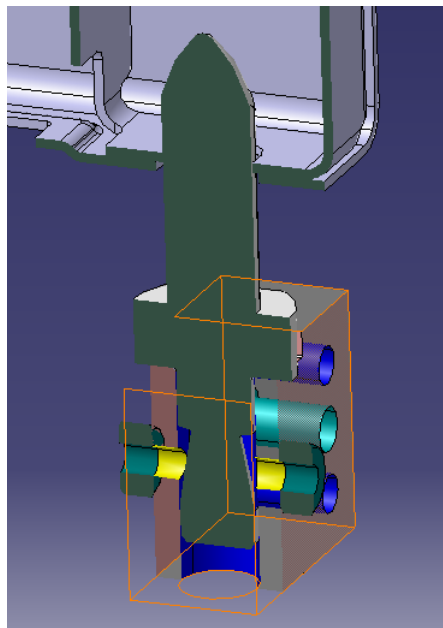


Figura 4.20: Sección transversal del alojamiento del centrador. Fuente: Interob (2016).

Se coloca una cala entre el alojamiento del piloto y otra *escuadra*¹⁶ (Figura 4.21) para poder regular el centrador en una dirección perpendicular a su eje:

¹⁶Bloque intermedio entre otros dos que permite colocar una cala de regulación entre al menos dos de ellos.

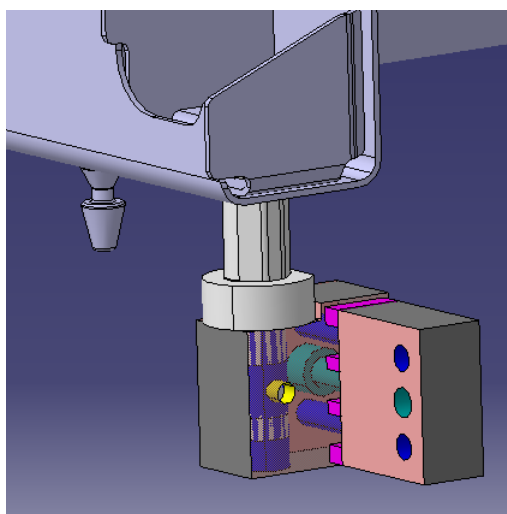


Figura 4.21: Escuadra y cala intermedia entre ella y el alojamiento del piloto. Fuente: Interob (2016).

Para contar con la posibilidad de regular el piloto en ambas direcciones perpendiculares a su eje es necesario añadir otra pieza intermedia (Figura 4.22) que permita colocar otra cala:

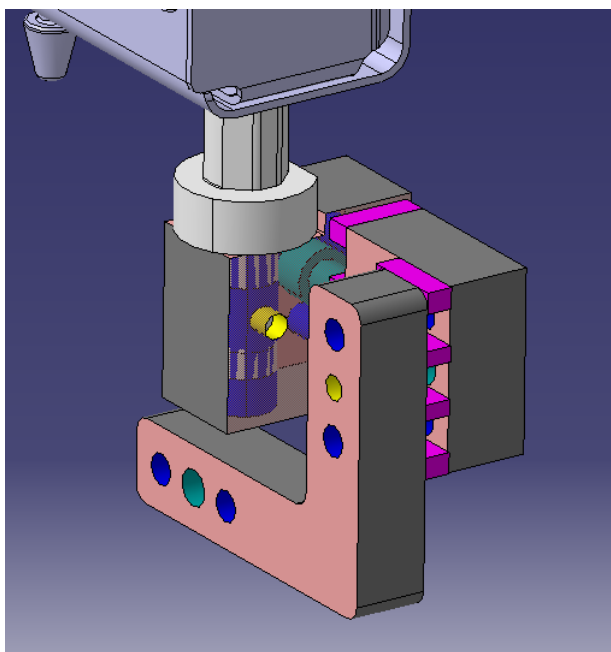


Figura 4.22: Piloto con regulaciones en ambas direcciones perpendiculares a su eje. Fuente: Interob (2016).

Para poder retirar el conjunto una vez finalizada la soldadura, será necesario que algunos elementos como pilotos se encuentren *embarcados*, esto es, que su sujeción sea sobre un elemento móvil. En el caso de los centradores serán retráctiles e irán embarcados en un cilindro neumático

o bien en una unidad lineal. Esto se detallará más adelante en la sección de diseño neumático.

Para que los componentes a soldar no se desplacen durante la soldadura se utilizan referencias especiales llamados *pisadores*, que sujetan las piezas y aprietan unas contra otras. Estos deben ir embarcados en bridas neumáticas que les proporcionen un movimiento basculante, para que el operario pueda cargar las piezas antes de la soldadura y retirar el producto soldado después de esta. Las bridas neumáticas se verán con más detenimiento en el apartado de diseño neumático.

Una vez embarcado el piloto y el pisador y diseñado el poste de soporte, solo resta anclar el *grupo*¹⁷ (Figura) al bastidor de la máquina.

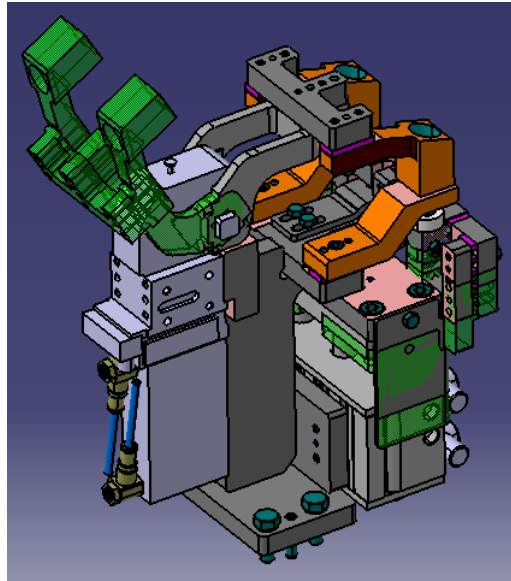


Figura 4.23: Grupo del utillaje, con sus referenciales, pilotos, pisadores, cilindro neumático, brida neumática y tornillería. Fuente: Interob (2016).

Una vez diseñados todos los grupos del utillaje se diseña el bastidor (Figura 4.3.2), teniendo en cuenta que este no solo debe proporcionar soporte a todos los grupos, sino también dejar espacio a las antorchas de soldadura:

¹⁷Se llama grupo a cada conjunto de piezas del utillaje que se encuentra unido entre sí por medio de tornillería.

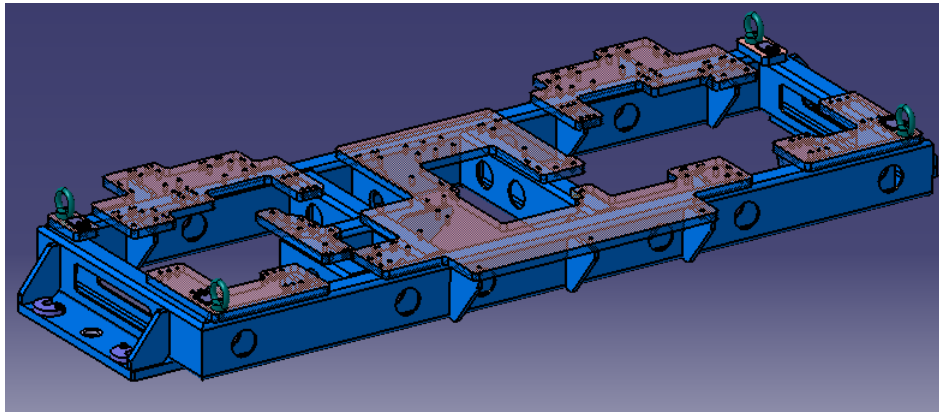


Figura 4.24: Bastidor de la máquina: en sus cuatro esquinas lleva roscados sendos *cáncamos* (tornillo de ojo DIN 580 M16) para facilitar su transporte, por ejemplo, mediante puente grúa. Fuente: Interob (2016).

4.3.3. Diseño electrónico

Esta parte del diseño se ocupa de los *sensores*, *detectores* y *actuadores* que permitirán el correcto funcionamiento del utillaje. Para garantizar que alguno de los componentes (chapa o tuerca) se encuentre cargado *antes* de proceder a la soldadura del conjunto, deberemos implementar un sensor de *presencia* de pieza. Para ello utilizaremos un sensor *inductivo*¹⁸ (Figura 4.25):



Figura 4.25: Sensor inductivo IFM IFR200 utilizado como sensor de presencia de pieza en nuestro utillaje. Fuente: IFM (2015).

En los elementos móviles, tales como cilindros neumáticos o unidades lineales, será necesario ser capaz de discernir la posición del elemento para aplicar la correcta secuencia de automatismos

¹⁸Un sensor inductivo funciona según la ley de inducción de Faraday, aplicando una corriente genera un campo magnético que induce corrientes de Foucault en el material a detectar.

(cilindro avanzado o retrocedido). A tal efecto se hará uso de detectores *magnéticos reed switch* (Figura 4.26):



Figura 4.26: Detector magnético reed switch SMC D-M9B. Fuente: SMC (2015).

Una vez definidos los distintos sensores electrónicos, estos deberán incluirse en la secuencia de automatismos (Figura 4.3.3): la detección (o no) de uno de los componentes permitirá que se proceda (o no) con el siguiente paso del automatismo:

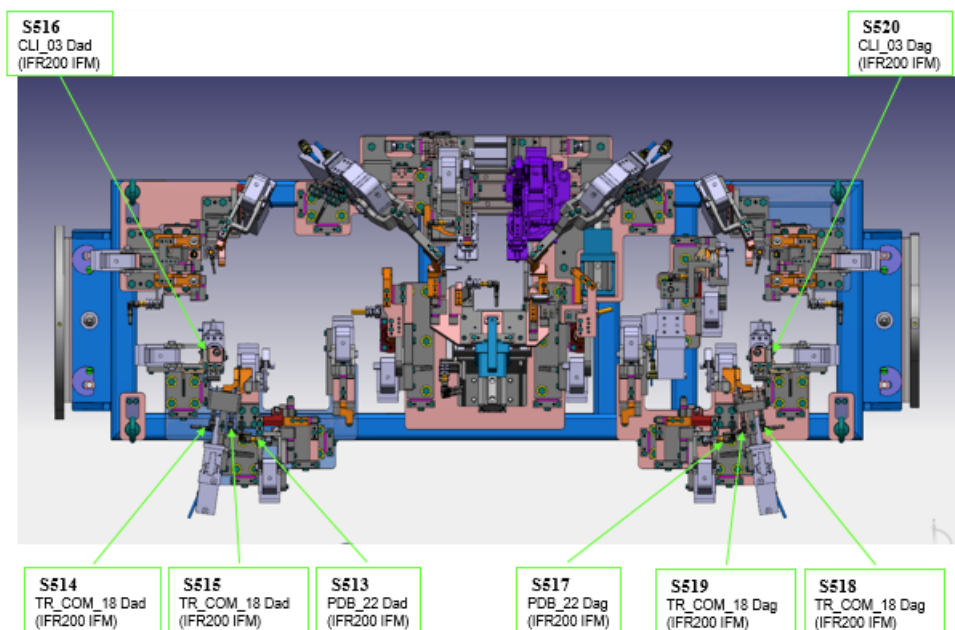


Figura 4.27: Posición e identificación de los sensores electrónicos para su integración con el automatismo de la máquina. Fuente: Interob (2016).

4.3.4. Diseño eléctrico

En esta parte del diseño se proyectan todos los esquemas eléctricos del utillaje, incluyendo puestas a tierra, secciones de los cables, recubrimientos, colores y cantidad de los mismos, así como interruptores, diferenciales y magnetotérmicos necesarios para el funcionamiento de la máquina. Lo primero será realizar los esquemas desde la alimentación general a 380 V (Figura 4.3.4):

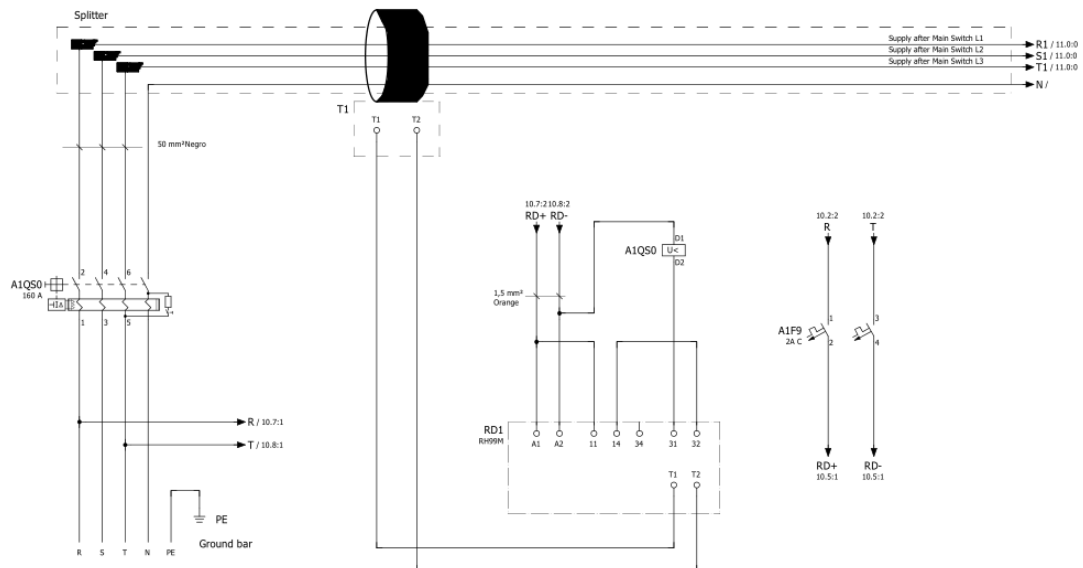


Figura 4.28: Esquema eléctrico de alimentación general desde el armario de distribución trifásica a 380 V. Fuente: Interob (2016).

Para luego ir siguiendo todo el recorrido de los cables (robots, automatismos, armarios de control, ...) hasta los del propio útil (Figura 4.29):

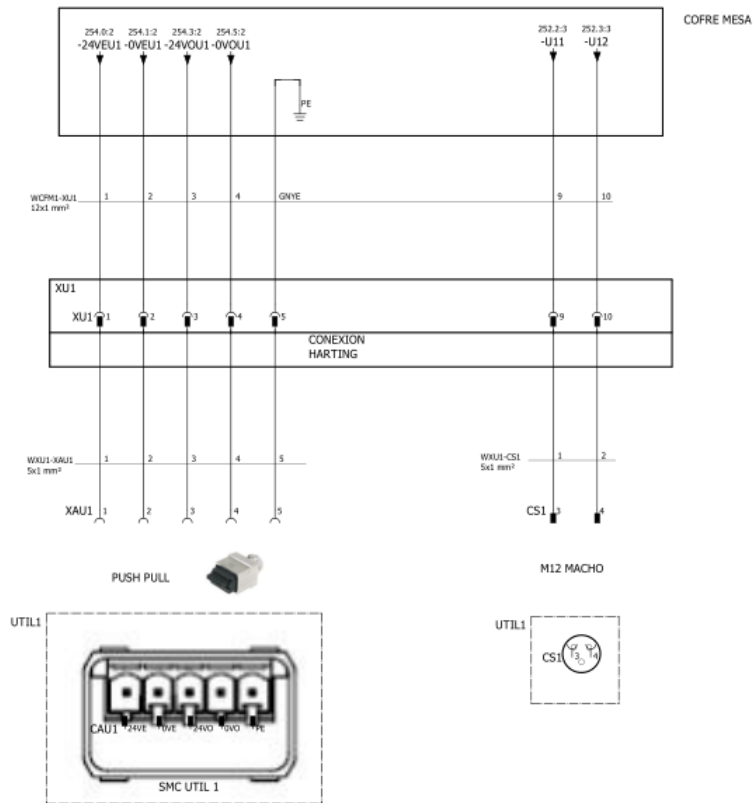


Figura 4.29: Esquema eléctrico de cableado del útil. Fuente: Interob (2016).

4.3.5. Diseño neumático

El diseño neumático incluye todos los actuadores que sean necesarios para posicionar los componentes, así como el número y tipo de válvulas, la realización de esquemas neumáticos y la integración del *bloque de válvulas* dentro del útil, así como su posible protección de proyecciones en caso de soldadura al arco. Lo primero que se realizará en el diseño neumático será el esquema de toma general de aire comprimido a 6 bar (Figura 4.30) para el funcionamiento de los actuadores neumáticos:

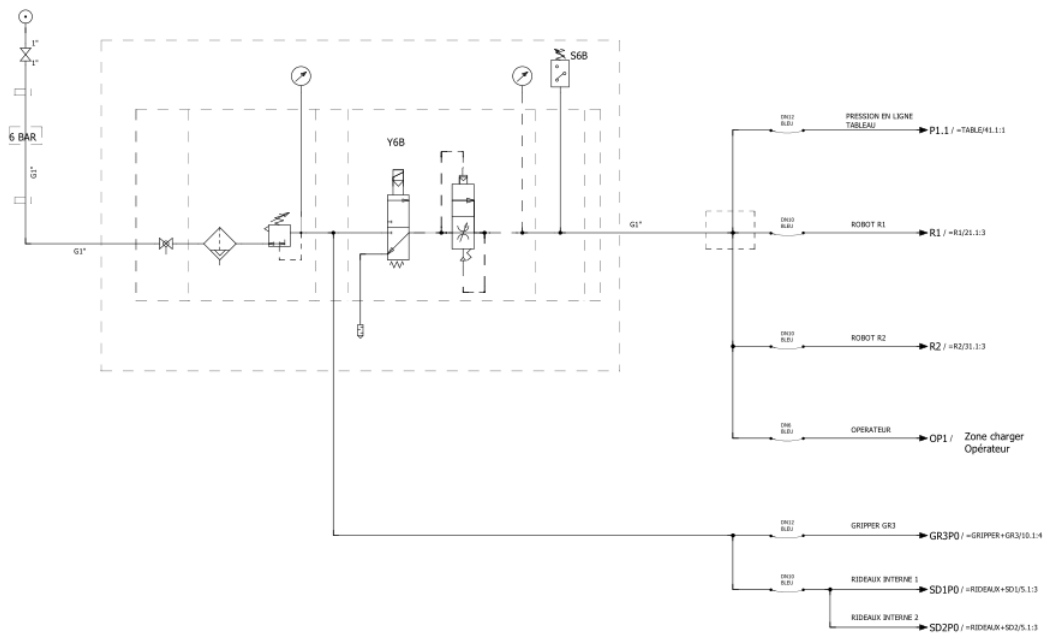


Figura 4.30: Esquema neumático de toma general de aire comprimido (6 bar). Fuente: Interob (2016).

El siguiente paso será la realización del esquema neumático de toma general de gas de soldadura (Ar 85 %, CO_2 15 %, Figura 4.31):

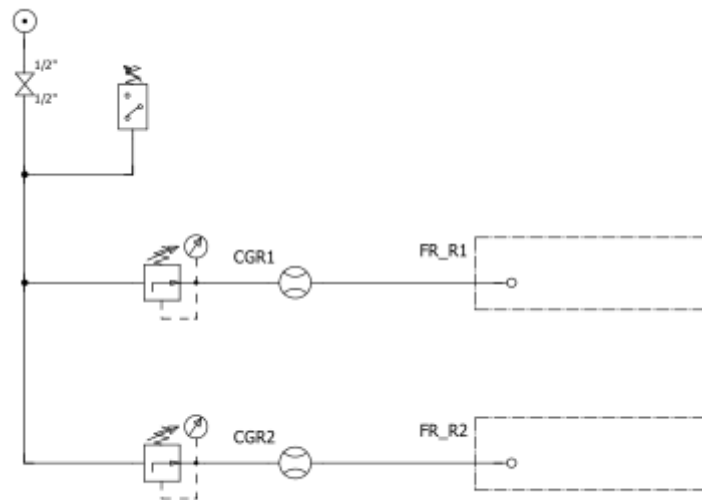


Figura 4.31: Esquema neumático de toma general de gas de soldadura (Ar 85 %, CO_2 15 %). Fuente: Interob (2016).

A continuación deberá plantearse la distribución del aire comprimido hasta el *bloque de válvulas* del utillaje. Para ello lo primero será hacer un estudio de la posición de este dentro del útil (Figura 4.32):

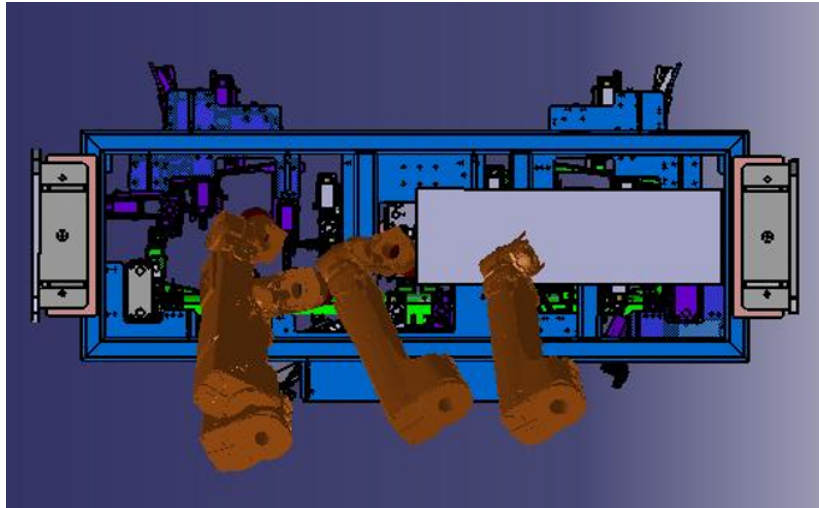


Figura 4.32: Posición del bloque de válvulas en el utillaje. Fuente: Interob (2016).

Una vez tengamos aire en el útil podemos proceder al diseño de los actuadores neumáticos. Para los pilotos embarcados, tal y como se comentó en la sección de diseño mecánico, utilizaremos cilindros neumáticos SMC (Figura 4.33):



Figura 4.33: Cilindro neumático SMC MGPA50TF utilizado para desplazar un piloto. Fuente: SMC (2010).

Para los pisadores se dispondrá de bridas neumáticas (Figura 4.34) que permitan que los primeros tengan un movimiento basculante al encontrarse embarcados en su estribo:

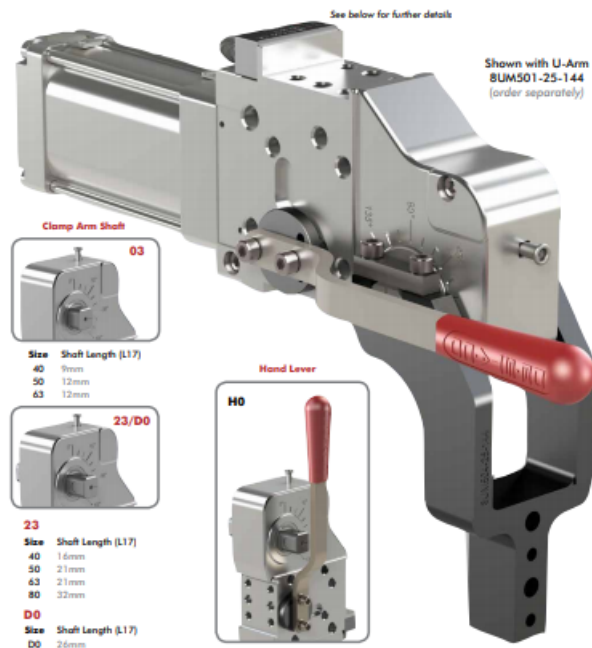


Figura 4.34: Brida neumática DESTACO 82M-3E. Fuente: DESTACO (2012).

4.3.6. Diseño de automatismos

Una parte muy importante del diseño total es el diseño de los automatismos. En esta parte se tienen en consideración las *secuencias de funcionamiento* del utillaje, así como el tipo de autómatas, la realización de los programas, el lenguaje de programación, la interconexión de los distintos elementos, el tipo de funcionamiento de los componentes electrónicos. Para la realización de las secuencias será imprescindible designar cada una de las unidades automáticas con una referencia (Figura 4.35):

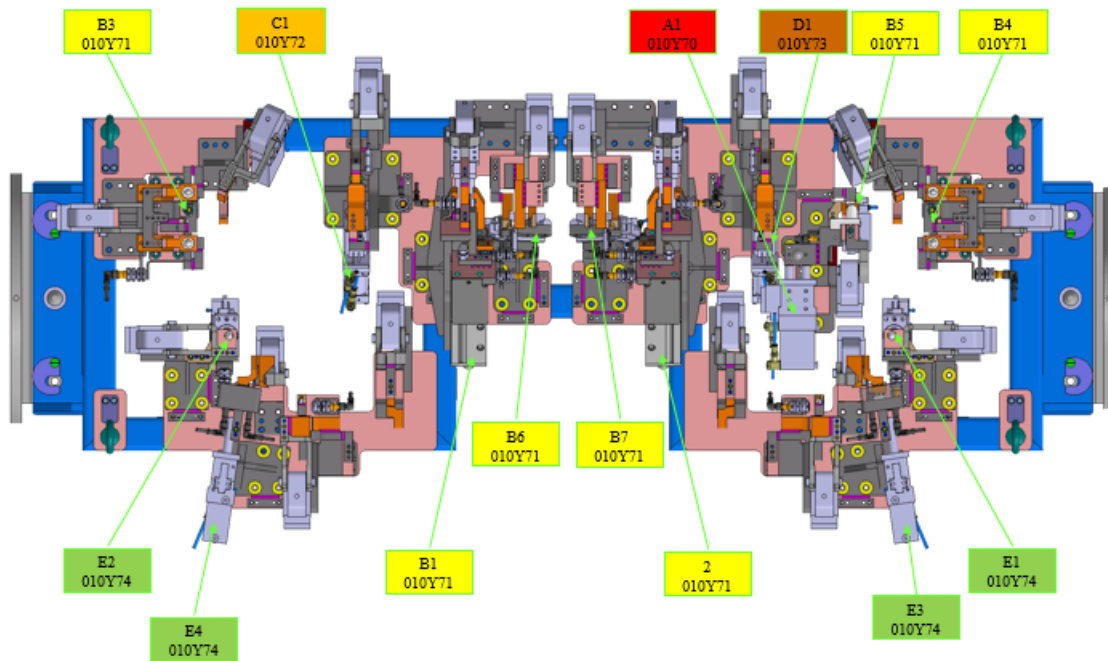


Figura 4.35: Referencia de cada uno de los elementos automáticos que intervendrán en la secuencia de soldadura. Fuente: Interob (2016).

Para posteriormente indicar la secuencia que seguirán los automatismos (Figura 4.36):

1 Posición Inicial.

1.1 Útil en posición de reposo. Bridas abiertas grupos F, G, H, e I abiertas, portapilotos y centrador grupos B y C expandidos (vástago fuera), cilindros retacaje de los grupos D y E expandidos (vástago fuera), cilindro carro grupo J retraído (vástago dentro).

2 Secuencia de carga.

- 2.1 Operario carga pieza CLI_04 Dag, presencia pieza SQP15.
- 2.2 Operario carga pieza TUBE_P1UO, presencias pieza SQP2 y SQP16.
- 2.3 Operario acciona brida manual grupo A.
- 2.4 Operario carga subconjunto 1 lateral izquierdo (Tronc_Communic_02/03/07), presencia pieza SQP1.
- 2.5 Operario carga subconjunto 2 lateral derecho (Tronc_Communic_19/20/21), presencia pieza SQP21.
- 2.6 Operario carga pieza CLI_01 Dag, presencia pieza SQP10.
- 2.7 Operario carga pieza CLI_02 Dag, presencia pieza SQP13.
- 2.8 Operario carga pieza PDB_10, presencia pieza SQP9.
- 2.9 Operario carga pieza PDB_10, presencia pieza SQP11.
- 2.10 Operario carga pieza VP_01 Dag, presencia de pieza SQP14.
- 2.11 Operario carga pieza PDB_22 Dag, presencia pieza SQP17.
- 2.12 Operario carga pieza (Tronc_communic_18) Dag, presencia pieza SQP19 y SQP18 (poka-yoke tuercas).
- 2.13 Operario carga pieza CLI_03 Dag, presencia pieza SQP20.
- 2.14 Operario valida ciclo.
- 2.15 Cierre cortina de seguridad
- 2.16 Reafirmación brida manual grupo A
- 2.17 Cierre de bridas grupo F, G, y H.
- 2.18 Giro mesa 180º a lado robot.
- 2.19 Ciclo de soldadura.

Figura 4.36: Secuencia de funcionamiento del utillaje. Fuente: Interob (2016).

Una vez realizadas todas las fases del diseño, se cuenta con un diseño inicial del utillaje (Figura

4.37). Este suele sufrir modificaciones según se compruebe, en la práctica, el funcionamiento de los distintos elementos que lo componen:

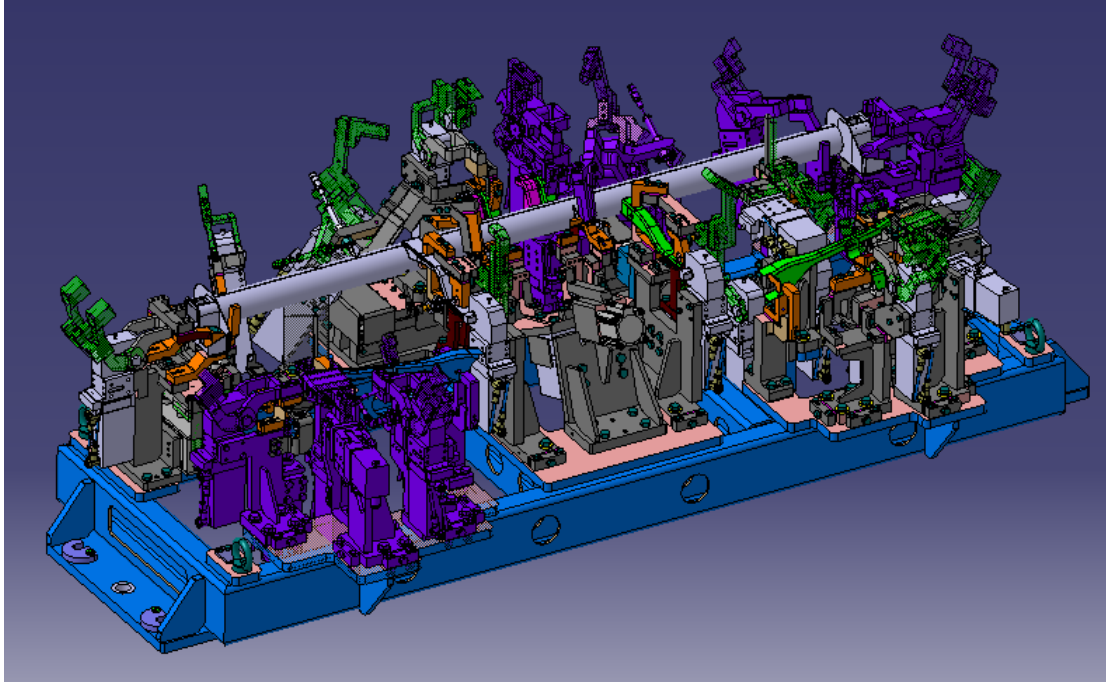


Figura 4.37: Diseño del utillaje de soldadura. Fuente: Interob (2016).

5. Planos

A la hora de la realización de los planos es importante especificar con precisión todos los requerimientos de material, dureza, tolerancias dimensionales y geométricas, así como tratamiento térmico y superficial, necesarios para que el elemento en cuestión a fabricar cumpla con su función dentro de la máquina.

Se distinguirá entre *planos de despiece* (Figura 5.1), destinados al taller de fabricación, y *planos de conjunto*, cuya función será el correcto montaje del grupo:

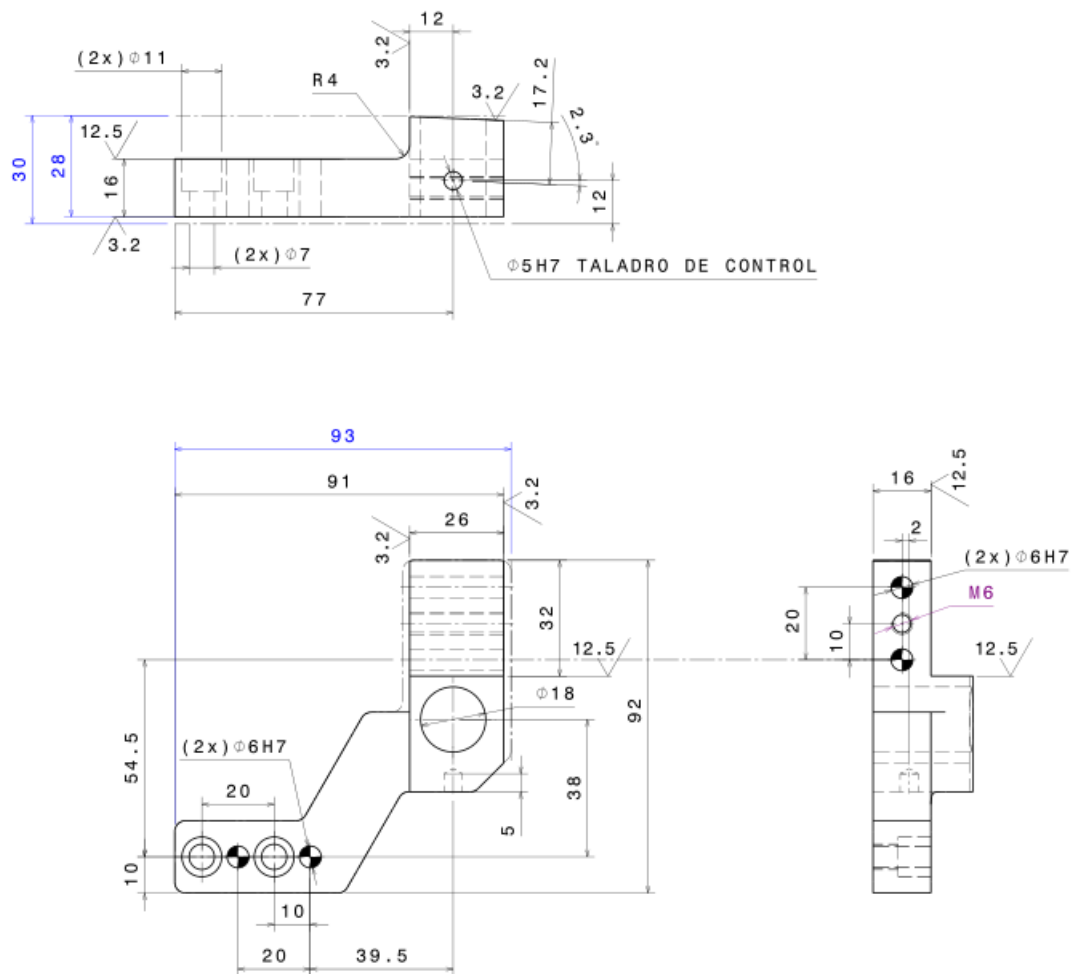


Figura 5.1: Plano de despiece de un referencial. Fuente: Interob (2016).

6. Listados

Los *listados de materiales* (Figura 6.1) recogen, tanto de una forma general, para todo el utillaje, como grupo por grupo, cada una de las piezas, material comercial, tornillería, etc. que lo componen. Son una herramienta útil a la hora de verificar la fabricación de todos los componentes de un grupo o de un útil.

MARCA	IND. MODIF.	DESIGNACIÓN	MATERIAL	TRATAMIENTO /ACABADO	CANT.	OBSERVACIONES
1201		APOYO	F-114	TEMP. + REV. 52-54 HRC	1+1	OXICORTE
1202		PISADOR	F-114	TEMP. + REV. 52-54 HRC	2	OXICORTE
1203		PLACA	F-112	ZINCADO AMARILLO	1+1	
1204		ESCUADRA	F-112	ZINCADO AMARILLO	2	OXICORTE
1205		CONJUNTO SOLDADO		ZINCADO AMARILLO	1+1	

Figura 6.1: Listado de materiales de un grupo del utillaje. Fuente: Interob (2016).

7. Fabricación

La fabricación del utillaje se realiza en un taller que disponga de todas las máquinas-herramientas necesarias para cada una de las piezas que componen nuestra máquina:

7.1. Oxicorte

Es el primer paso a la hora de obtener la *silueta* general de cada una de las piezas que no sean cilíndricas. En este paso se obtendrá la geometría basta de todas las superficies que no vayan a tener contacto con otras y cuya rugosidad no sea importante ($R_a \leq 12,5 \mu m$). Para las caras que posteriormente vayan a ser mecanizadas, deberán dejarse *creces* que permitan a continuación fresar hasta la medida deseada. Para este proceso se emplea el *plano de oxicorte* (Figura 7.1):

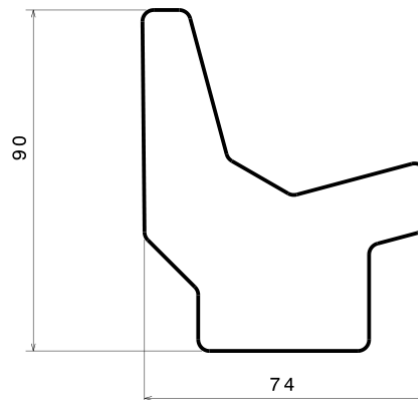


Figura 7.1: Plano de oxicorte de un referencial. Fuente: Interob (2016).

7.2. Soldadura

En el caso de los elementos soldados o mecosoldados, el primer paso será soldarlos para posteriormente mecanizar. De otra forma, la deformación producida al soldar sería superior a la precisión obtenida al mecanizar. Para ello se utiliza el plano de soldadura (Figura 7.2):

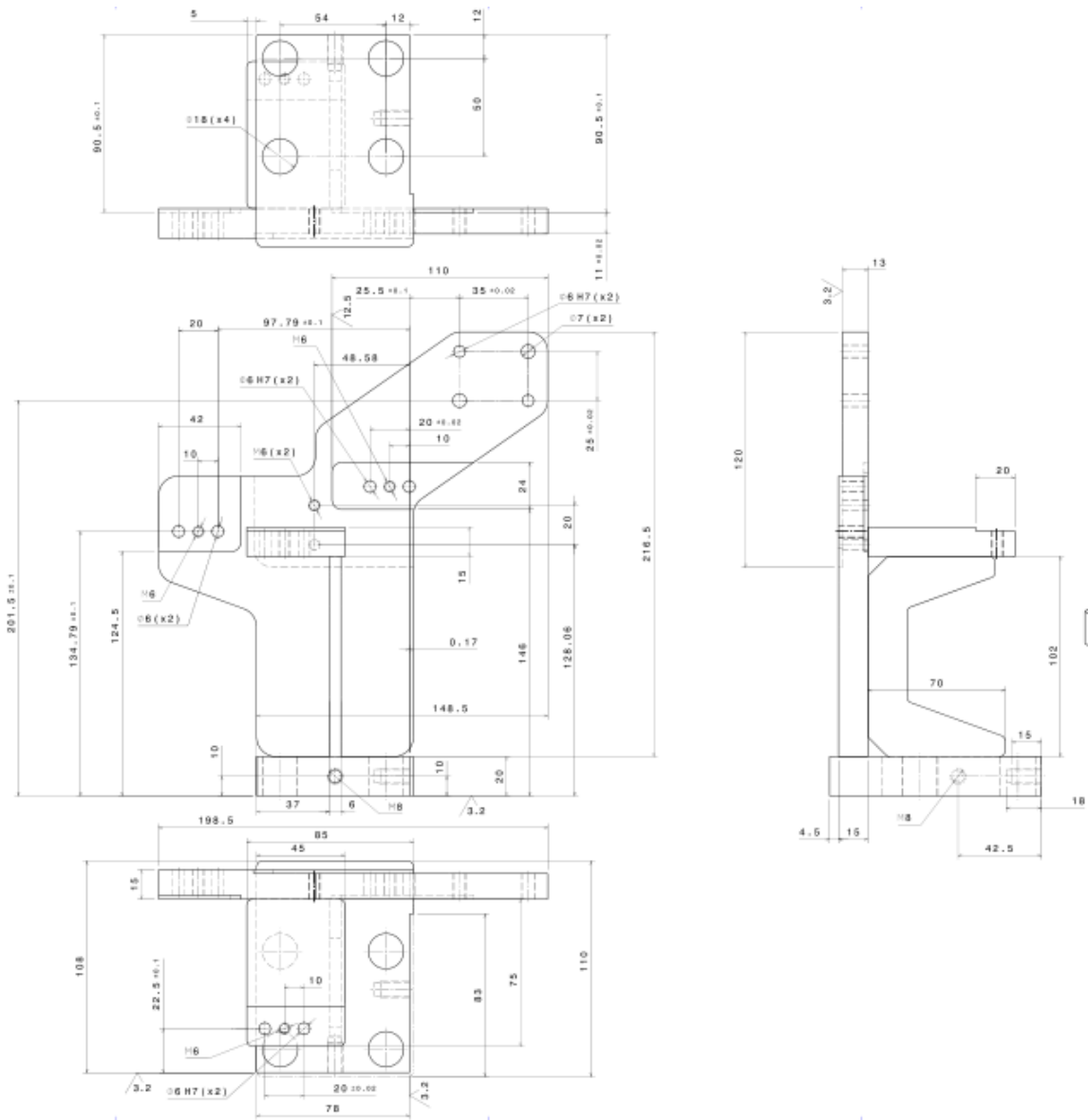


Figura 7.2: Plano de soldadura de un poste mecosoldado. Posteriormente a la soldadura se mecanizará en la fresadora. Fuente: Interob (2016).

7.3. Fresadora

Todas las superficies de contacto (tanto con producto como con otras caras de apoyo de piecerío general) deben ir fresadas con una rugosidad acorde a su función ($R_a \leq 3,2 \mu\text{m}$ para caras en contacto con pieza vehículo, $R_a \leq 6,3 \mu\text{m}$ para superficies en contacto con otras piezas del utillaje). La parte más importante de este paso del proceso es el *copiado*¹⁹ de la superficie del

¹⁹La superficie del referencial debe tener la misma inclinación que la pieza vehículo en el entorno en el que hace contacto para asegurar un buen apoyo.

referencial en contacto con la pieza vehículo, lo que a menudo requerirá un mecanizado *CNC*²⁰. En el fresado se hace uso del plano de despiece (Figura 7.3) correspondiente:

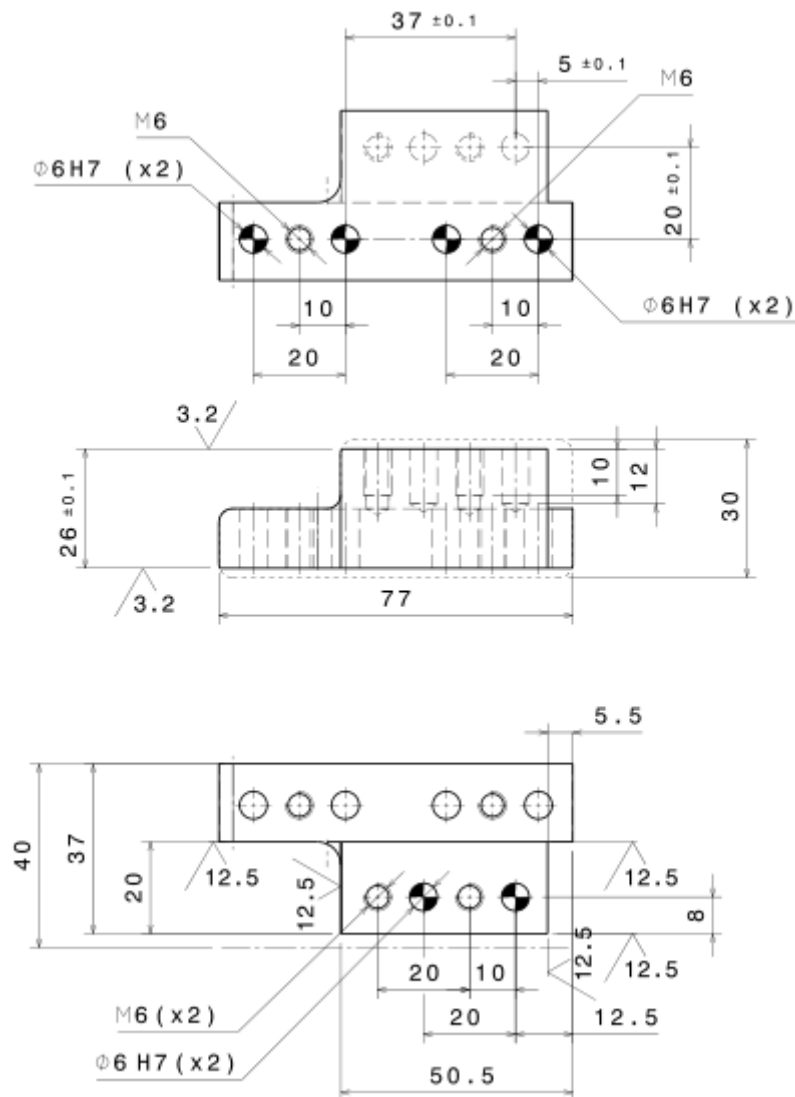


Figura 7.3: Plano de despiece de una escuadra para fresadora. Fuente: Interob (2016).

7.4. Torno

Las piezas cilíndricas serán fabricadas en torno, sin necesidad de un oxicorte previo. El acabado general de estas piezas será también de una rugosidad $R_a \leq 12,5 \mu\text{m}$, aunque la gran mayoría de estas piezas serán pilotos, por lo que, tanto las caras en contacto con producto como las caras

²⁰Mecanizado por control numérico

de acoplamiento con su alojamiento deberán contar con una rugosidad $R_a \leq 3,2 \mu m$. Para el torneado se utiliza el correspondiente plano de despiece (Figura 7.4):

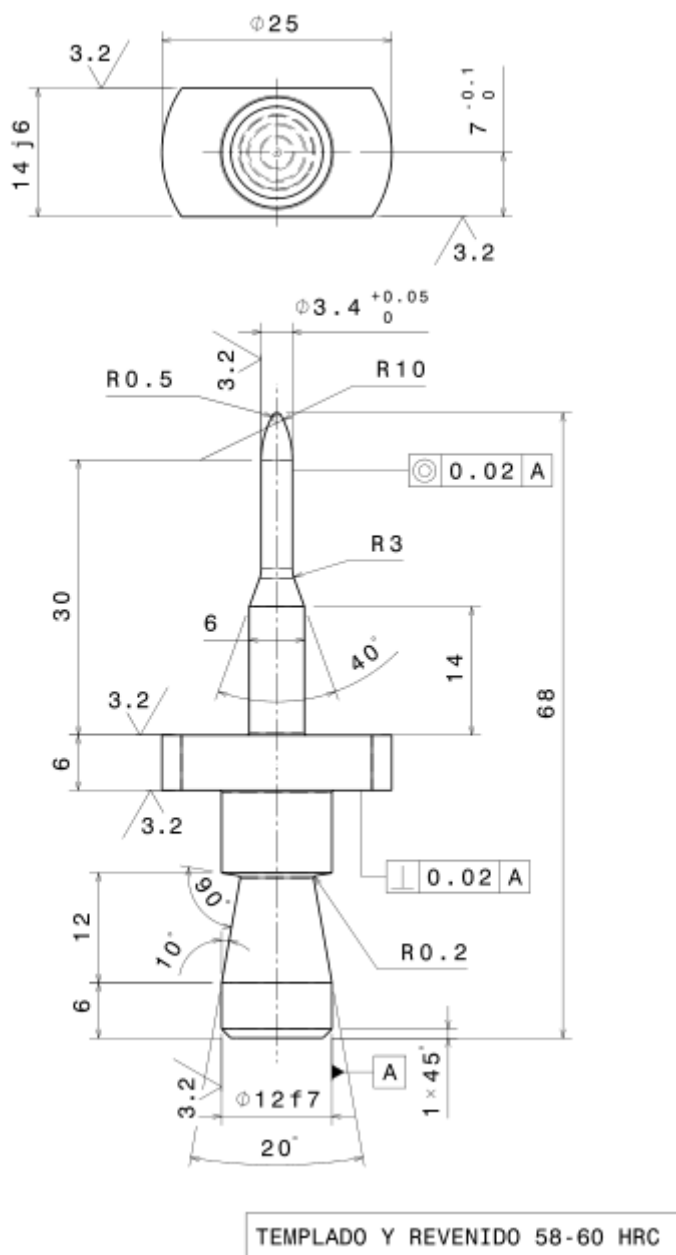


Figura 7.4: Plano de despiece de un piloto para torno. Fuente: Interob (2016).

7.5. Templado y revenido

Todas las piezas que lo requieran (referenciales y pilotos) deberán llevar la indicación de *Templado y revenido*. En referenciales, al estar realizados en F-114, se especificará una dureza

Rockwell C de $52 < HRC < 54$, mientras que para los pilotos, fabricados en F-520, se indicará $58 < HRC < 60$ (Figura 7.4).

7.6. Zincado

El último paso antes del montaje de nuestro útil será el zincado amarillo (Figura 7.5), ya que en utillajes de soldadura al arco se utilizan este tipo de tratamientos superficiales para evitar la adhesión de proyecciones de soldadura y la corrosión de las piezas:

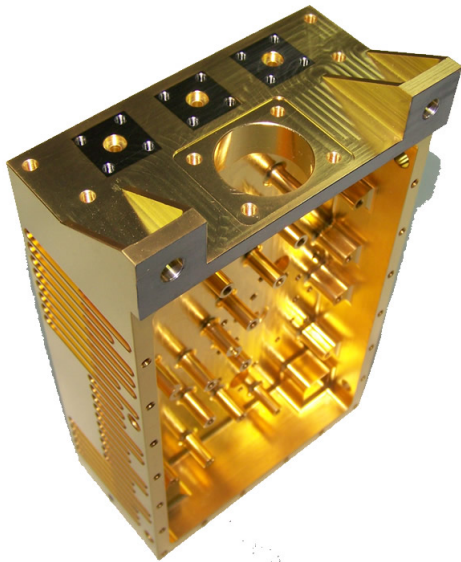


Figura 7.5: Zincado amarillo. Fuente: <http://www.finitec-electrolisis.com/zincado.html> [Consultado: 02 de septiembre de 2018].

8. Montaje

El montaje del útil se lleva a cabo en el mismo taller de fabricación. Se debe prestar especial atención a aquellas piezas muy similares para no intercambiarlas entre sí, así como al adecuado montaje de tornillos y fijas (de otra forma, las piezas vibrarán en fabricación o bien no repetirán posición, lo que planteará problemas a la hora de producción consistente de lotes de producto). Para ello se hará uso de los planos de montaje (Figura 8.1), en los que debe figurar toda la tornillería a utilizar, así como cada uno de los elementos comerciales presentes en el grupo:

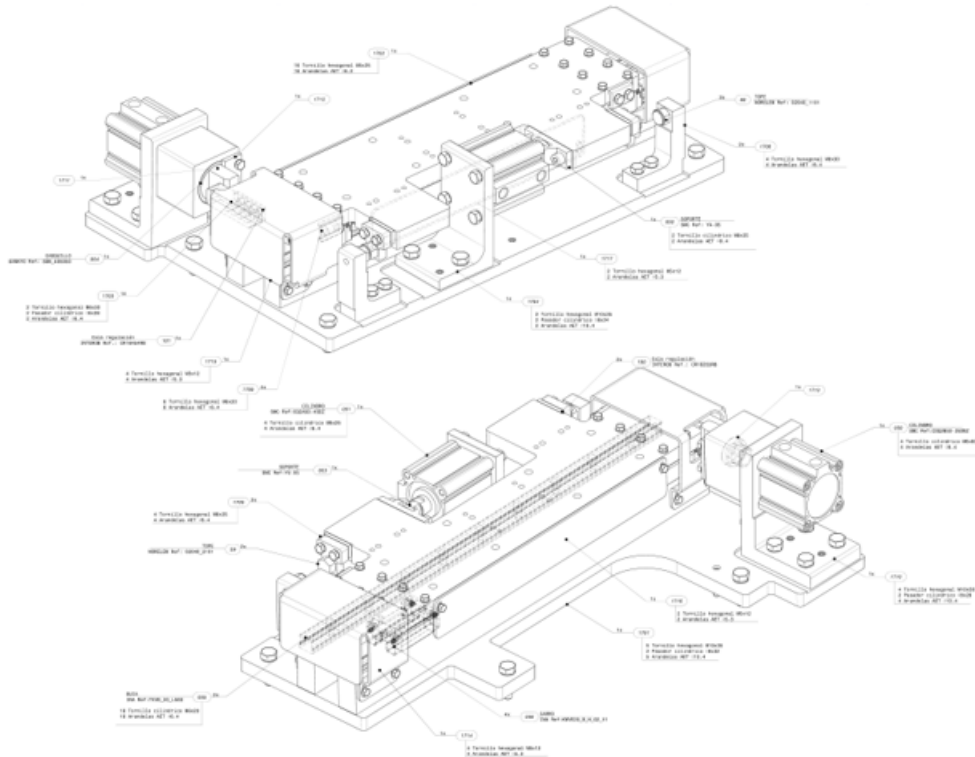


Figura 8.1: Plano de conjunto de un grupo del utillaje. Fuente: Interob (2016).

Así mismo, todos los utillajes montados deberán contar con su correspondiente *marcado CE*²¹[10], que garantice el cumplimiento de la legislación vigente en el país donde vaya a operar, en nuestro caso, Francia.

9. Verificación

Una vez montado el útil debe verificarse que todos los elementos están presentes y se encuentran en la posición adecuada. Esto es especialmente problemático cuando se trata de elementos simétricos o de elementos muy parecidos, más propensos a ir montados en posiciones intercambiadas, para lo que se hará uso de los planos de conjunto (Figura 9.1):

²¹Conformidad Europea.

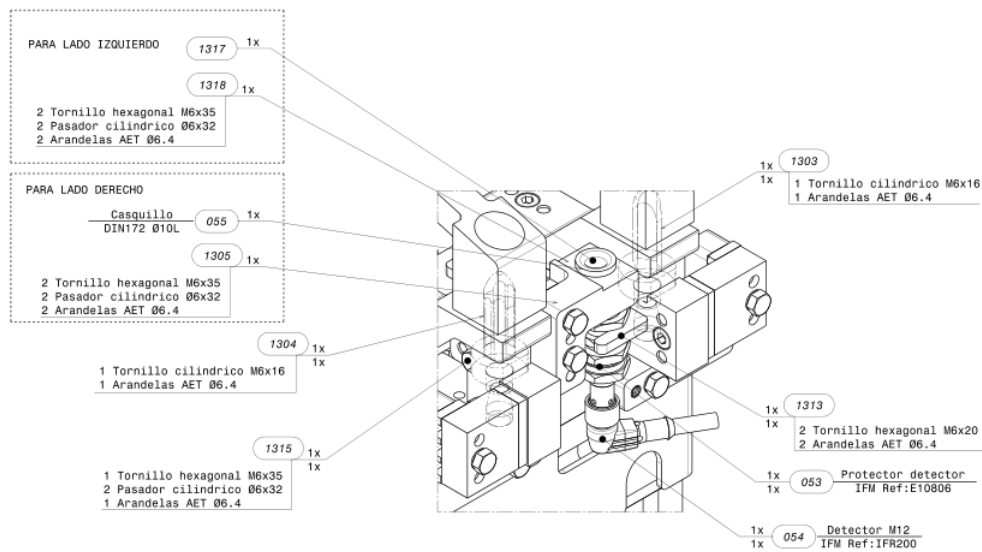


Figura 9.1: Plano de conjunto en el que se detallan las diferencias entre dos grupos que son simétricos en la mayoría de piezas. Fuente: Interob (2016).

En la medida de lo posible debe evitarse esto en la fase de diseño, haciendo las piezas o bien idénticas o claramente diferenciables a simple vista. Se trata por tanto de un proceso iterativo junto con el montaje, dado que cualquier defecto de montaje detectado en esta fase del proceso deberá corregirse cuanto antes, ya que será mucho más complicado hacerlo cuando el utillaje se encuentre equipado con todos los conductos de aire comprimido y todos los cables de sensores y actuadores.

10. Equipado

El siguiente paso consiste en el equipado del útil de todas las conducciones que permitan llevar aire a presión (6 bar, Figura 10.1) y señales eléctricas a cada uno de los elementos neumáticos (cilindros y bridas) y electrónicos (sensores) del utillaje:

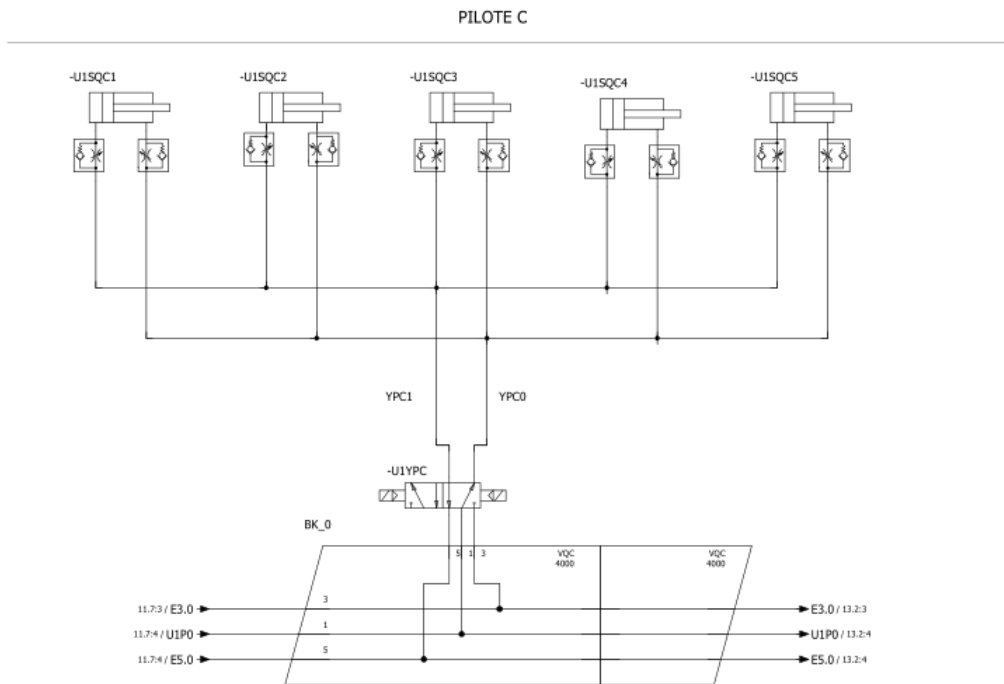


Figura 10.1: Esquema neumático del equipado de un piloto. Fuente: Interob (2016).

11. Medición

Un aspecto muy importante antes de la fabricación del producto es la medición del utillaje. El objetivo de este punto es determinar la desviación del útil de su valor *nominal*²² que se pueda haber producido por pequeños errores de diseño, fabricación, o montaje. Para ello se hará uso de un *Brazo de medición portátil* (Figura 11.1):

²²Valor de diseño.



Figura 11.1: Brazo de medición portátil FaroArm Platinum. Fuente: Faro (2009).

Para la medición del utillaje, no siempre contamos con los elementos de referencia RPS del producto final (alguno se puede soldar en una fase posterior, en otros puede que no haya un elemento del utillaje equivalente), por lo que para realizar el *alineamiento*²³ se utilizarán *pínulas*²⁴ (Figura 11.2), cuyas coordenadas (siempre en el sistema de coordenadas vehículo) irán grabadas en unas etiquetas sobre el utillaje, y que, además, servirán posteriormente de referencia a la hora de calcular las trayectorias de soldadura de los robots:

²³Sistema de referencia desde el que se tomarán todas las medidas.

²⁴Esferas con un vástago con valona que se colocan en unos puntos fijos del utillaje mediante casquillos.



Figura 11.2: Pínula estándar de Ø20 utilizada como referencia en medición y en el cálculo de trayectoria de robot. Fuente: Micratech (2015).

Los elementos que nos interesa medir en el utillaje son aquellos que van a proporcionar geometría al producto final, y que tienen regulación para, posteriormente, poder ajustar: estos son los referenciales (apoyos) y los pilotos (centradores). A partir de la medición de estos se obtendrá un informe (Figura 11.3) que nos indicará cuánta desviación con respecto a nominal existe en el útil:

AP-CTR.11.4		Lecturas: 1.				
	real	nominal	Desv	- tol.	+tol.	FueraTol
Central.x	486,425mm	486,419mm	0,006mm	-0,200mm	0,200mm	0,000mm
Central.y	212,965mm	212,965mm	0,000mm	-0,200mm	0,200mm	0,000mm
Central.z	445,883mm	445,883mm	0,000mm	-0,200mm	0,200mm	0,000mm
dN			-0,006mm	-0,200mm	0,200mm	0,000mm
Distancia 3D			0,006mm	-0,200mm	0,200mm	0,000mm

Figura 11.3: Informe de medición del utillaje. Fuente: Interob (2016).

12. Ajuste

El paso siguiente a la medición es el ajuste del utillaje a su valor nominal. Se trata de un proceso iterativo junto con la medición, de tal forma que tras la primera medición se deberá realizar el primer ajuste, y tras este deberá volver a medirse hasta que las desviaciones con respecto a nominal estén dentro de las tolerancias especificadas por el cliente, en este caso, $\pm 0,2 \text{ mm}$ para referenciales y $\pm 0,1 \text{ mm}$ para pilotos. Este proceso se lleva a cabo a través de las calas, por lo que para realizar el ajuste del utillaje deberemos conocer cual es la tolerancia más estrecha (Ecuación 12.1) con que se trabajará:

$$tol_{min} = \min \{ (tol_{i, sup} - tol_{i, inf}) \} \quad (12.1)$$

En nuestro caso tenemos la tolerancia de los referenciales (Ecuación 12.2):

$$tol_{ref} = (tol_{ref, sup} - tol_{ref inf}) = (+0,2 mm - (-0,2 mm)) = 0,4 mm \quad (12.2)$$

Y la de los pilotos (Ecuación 12.3):

$$tol_{pil} = (tol_{pil, sup} - tol_{pil inf}) = (+0,1 mm - (-0,1 mm)) = 0,2 mm \quad (12.3)$$

Por lo que nuestra tolerancia más estrecha será la de los pilotos. Por lo tanto, deberemos contar con calas de distintos espesores separadas entre sí un máximo de (Ecuación 12.4):

$$\Delta e_{max} = \frac{1}{2} tol_{min} = \frac{1}{2} \cdot 0,2 mm = 0,1 mm \quad (12.4)$$

Y la tolerancia en el espesor de las calas será de (Ecuación 12.5):

$$tol_{cal} = \Delta e_{max} = 0,1 mm \quad (12.5)$$

Que dividida de forma simétrica alrededor del valor nominal nos da una tolerancia de $\pm 0,05 mm$.

Para tener una *trazabilidad* de los espesores de cala que se han colocado en cada referencia, se deberá hacer uso de un *cuaderno de calas* (Figura 12.1) que recoge la referencia de cada elemento junto con su espesor de cala en cada eje, tanto de la cala que se ha utilizado para el ajuste a nominal como de la que se ha usado posteriormente para que el producto soldado esté dentro de tolerancias dimensionales y geométricas²⁵:

Nº REF/ Nº REF	ESPESOR CALAS CTR/APOYO (mm)								
		AJUSTE MEDICIÓN	AJUSTE POSTERIOR		AJUSTE MEDICIÓN	AJUSTE POSTERIOR		AJUSTE MEDICIÓN	AJUSTE POSTERIOR
CTR 1	x			y	10,400		z	5,600	
CTR 2	x			y	10,400		z	4,800	
CTR 3	x	5,000		y	5,000		z	5,000	

Figura 12.1: Cuaderno de calas del utillaje. Fuente: Interob (2016).

13. Instalación

Una vez ajustada la máquina a sus valores nominales, se procederá a la instalación de la misma dentro de la célula de soldadura. Para ello será necesario conocer el *layout*²⁶ (Figura 13.1) de nuestra instalación:

²⁵Teóricamente, la cala de nominal (de diseño) y la de geometría del producto deberían coincidir, pero debido a pequeños errores de diseño del utillaje, cambios en la estampación de los componentes, deformaciones propias de la soldadura, etc., esto no siempre es así.

²⁶Distribución en planta.

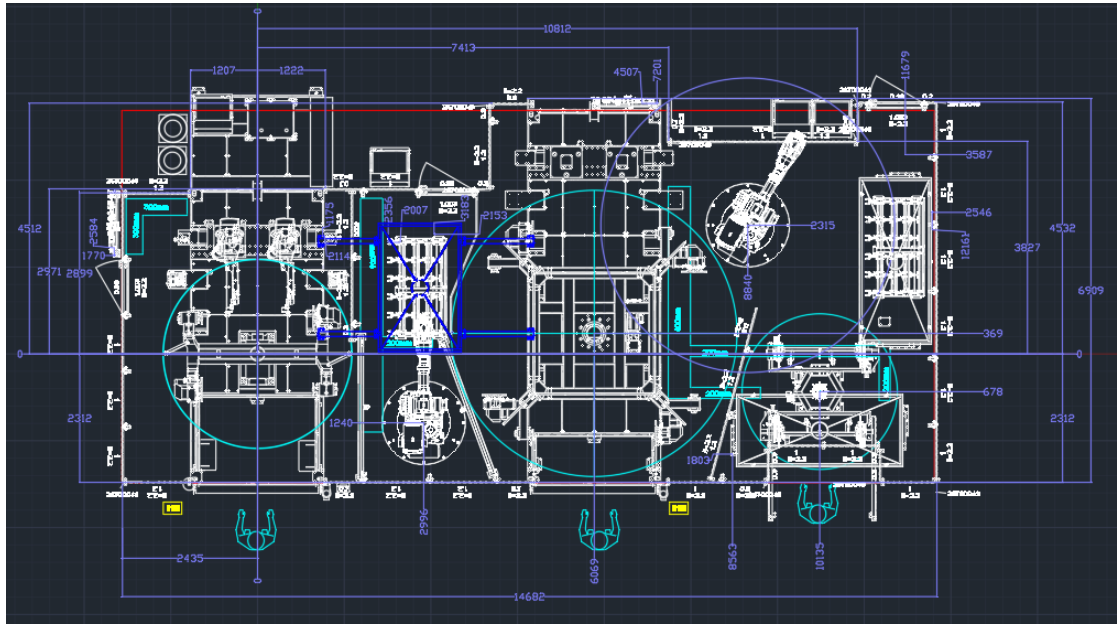


Figura 13.1: Layout de nuestra instalación. El utillaje OP10 está instalado en el posicionador de la izquierda. Fuente: Interob (2016).

El útil OP10 irá en el posicionador de la izquierda, por lo que para su instalación será necesario diseñar unas placas de amarre al motorreductor del posicionador (Figura 13.2):

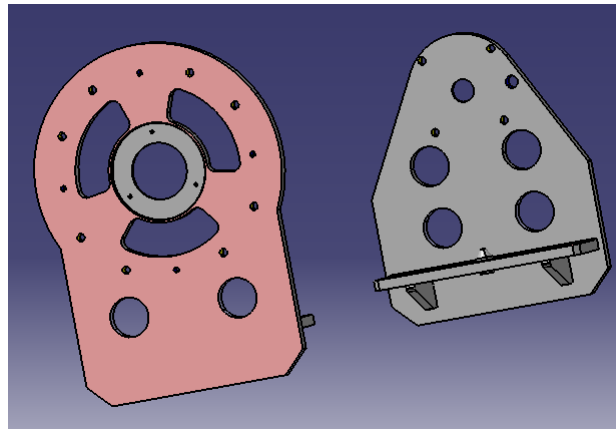


Figura 13.2: Placas de amarre del utillaje al motorreductor del posicionador. A la izquierda: punto (lado motriz) y a la derecha: contrapunto. Fuente: Interob (2014).

14. Automatismo

Cuando el útil ya se encuentra en su posición dentro de la instalación, se procede a automatizar el funcionamiento de actuadores neumáticos y electrónicos, así como a integrar su funcionamiento

automático con el de su entorno. Para ello se hará uso de PLC²⁷ Siemens Simatic S7-300[11] (Figura 14.1):



Figura 14.1: PLC Siemens Simatic S7-300. Fuente: Siemens (2010).

Una vez determinado el tipo de PLC se deberá conectar este al *módulo de entradas y salidas* del utillaje, en nuestro caso unido al bloque de válvulas (Figura 14.2):

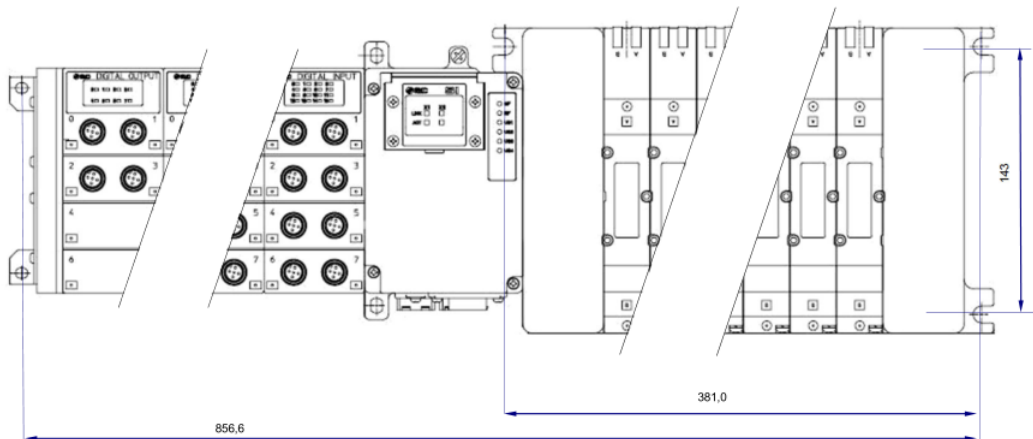


Figura 14.2: Módulo de entradas y salidas (izquierda) y bloque de válvulas (derecha) del utillaje. Fuente: SMC (2011).

15. Robótica

Al mismo tiempo que se realiza el automatismo del utillaje, se ensayan las trayectorias de los robots de soldadura que permitirán dar todos los cordones con una inclinación adecuada. Para esto será necesario realizar giros en el eje del útil a través del motorreductor del posicionador.

Un aspecto importante de la robótica del utillaje reside en el *reparto de cordones* entre operaciones (Figura 15.1):

²⁷Ordenador Lógico Programable (autómata).

CUMPLIN				DAG				DAO			
ESTACION	PIEZA	NOMBRE PIEZA	cordon	ESTACION	PIEZA	NOMBRE PIEZA	cordon	ESTACION	PIEZA	NOMBRE PIEZA	cordon
ST10	TUB + RENF ETRER	.01	TUB + RENF ETRER_01	15	TIB12	.01	TIB12_01	39.5	ELE01_ST30_P1	.01	0_POST1_01
	TUB + RENF ETRER	.02	TUB + RENF ETRER_02	15	TIB12	.02	TIB12_02	14.5	ELE01_ST30_P1	.02	3_POST2_01
	TUB + RENF ETRER	.03	TUB + RENF ETRER_03	15	TIB13	.01	TIB13_01	39.5	TIB12	.01	TIB12_01
	TUB + RENF ETRER	.04	TUB + RENF ETRER_04	15	TIB13	.02	TIB13_02	14.5	TIB12	.02	TIB12_02
	TUB + RENF ETRER	.05	TUB + RENF ETRER_05	15	TIB14	.01	TIB14_01	20	TIB13	.01	TIB13_01
	TUB + RENF ETRER	.06	TUB + RENF ETRER_06	15	TIB15	.01	TIB15_01	20	TIB13	.02	TIB13_02
	PDB22	.01	PDB22_01	20	TIB01	.01	TIB01_01	35	TIB14	.01	TIB14_01
	PDB22	.02	PDB22_02	14	TIB01	.02	TIB01_02	35	TIB15	.01	TIB15_01
	CL03	.01	CL03_01	18	ETRM4	.01	ETRM4_01	15	TIB01	.01	TIB01_01
	CL03	.02	CL03_02	26	ETRM4	.02	ETRM4_02	15	TIB01	.02	TIB01_02
	PDB10	.01	PDB10_01	20	ETRM4	.03	ETRM4_03	15	ETRM4	.01	ETRM4_01
	PDB10	.02	PDB10_02	20	ETRM4	.04	ETRM4_04	15	ETRM4	.02	ETRM4_02
	PDB11	.01	PDB11_01	20	ETRM4	.05	ETRM4_05	15	ETRM4	.03	ETRM4_03
	PDB11	.02	PDB11_02	20	ETRM4	.06	ETRM4_06	15	ETRM4	.04	ETRM4_04
	CL04	.01	CL04_01	16.9	DAG51	.01	DAG51_01	25	ETRM4	.05	ETRM4_05
	CL04	.02	CL04_02	16.9	DAG52	.02	DAG52_02	25	ETRM4	.06	ETRM4_06
	DAG11			17.4	DAG51	.01	DAG51_01	18	DAG51	.01	DAG51_01
	DAG12			21.6	DAG52	.02	DAG52_02	18	DAG52	.02	DAG52_02
DAG21			23.9	TOTAL ST10				395	VP04	.01	VP04_01
DAG22			21.8	ELE01_ST20_DAG	.01	0_DAG_01	23	VP04	.02	VP04_02	
DAG11			15	DAG71	.01	DAG71_01	15	TOTAL ST10			438
DAG12			15	DAG72	.02	DAG72_02	32	ELE01_ST20_L_01	01	01_DAG_01	22
DAG21			15	ELE01_ST20_DAG	.01	01_DAG_01	12	DAG51	.01	DAG51_01	34
DAG22			15	DAG51	.01	DAG51_01	18	DAG52	.02	DAG52_02	34
				DAG52	.02	DAG52_02	14	ELE01_ST20_L_01	03	03_DAG_01	12
				PDB03	.01	PDB03_01	18	DAG51	.01	DAG51_01	15
				PDB03	.02	PDB03_02	18	DAG52	.02	DAG52_02	14
				PDB03	.03	PDB03_03	18	PDB03	.01	PDB03_01	18
				PDB06	.01	PDB06_01	18	PDB03	.02	PDB03_02	18
				PDB06	.02	PDB06_02	18	PDB03	.03	PDB03_03	18
				PDB06	.03	PDB06_03	18	PDB06	.01	PDB06_01	18
				VP03_DAG	.01	03_DAG_01	20	PDB06	.02	PDB06_02	18
				VP03_DAG	.02	03_DAG_02	20	PDB06	.03	PDB06_03	18
				DAG41	.01	DAG41_01	12	VP03_DAG	.01	03_DAG_01	20
				DAG42	.02	DAG42_02	12	VP03_DAG	.02	03_DAG_02	20
				DAG51	.01	DAG51_01	12	DAG41	.01	DAG41_01	12
				DAG52	.02	DAG52_02	12	DAG42	.02	DAG42_02	12
				ETRM4	.07	ETRM4_07	15	DAG51	.01	DAG51_01	12
				ETRM4	.08	ETRM4_08	15	DAG52	.02	DAG52_02	12
				AB01	.01	AB01_01	25	ETRM4	.07	ETRM4_07	15
								ETRM4	.08	ETRM4_08	15
								AB01	.01	AB01_01	25
								DAG101	.07	DAG101_07	22
								DAG102	.08	DAG102_08	22
								TOTAL ST10			423
								LONGITUD TOTAL DAG			1486.3
								PROXIMED LONGITUD POR UTIL			371.725
								LONGITUD TOTAL DAO			155.9
								PROXIMED LONGITUD POR UTIL			336.475

Figura 15.1: Reparto de cordones entre operaciones. Fuente: Interob (2016).

Una vez hecho el reparto de cordones entre operaciones se lleva a cabo el reparto de cordones entre robots dentro de una misma operación (Figura 15.2):

		DAG						
	GIRO MESA	ROBOT 1			ROBOT 2			TIEMPO GIRO
		CORDON	LONG.	TIEMPO	CORDON	LONG.	TIEMPO	
ST10	0	w046	26	4.6 seg	w020	15.2	3.5 seg	
		w056	20	4.0 seg	w053	20	4.0 seg	
		w086	15.2	3.5 seg				
			TOTAL	12.1 seg	TOTAL	7.5 seg	12.1 seg	
	75	w058	21.8	4.2 seg	w021	15.2	3.5 seg	
		w061	21.6	4.2 seg	w065	24.9	4.5 seg	
		w087	15.2	3.5 seg	w063	13.7	3.4 seg	
			TOTAL	16.5 seg	TOTAL	11.4 seg	18.5 seg	
	180	w057	23.6	4.4 seg	w062	17.4	3.7 seg	
		w064	19.9	4.0 seg	w072	19.6	4.0 seg	
		w073	19.6	4.0 seg				
			TOTAL	12.3 seg	TOTAL	7.7 seg	14.3 seg	
270	w047	18	3.8 seg	w019	15.2	3.5 seg		
	w054	20	4.0 seg	w055	20	4.0 seg		
	w085	15.2	3.5 seg					
		TOTAL	11.3 seg	TOTAL	7.5 seg	13.3 seg		
		TOTAL	423.2 mm	TOTAL	58.2 seg			

Figura 15.2: Reparto de cordones entre robots dentro de una operación. Fuente: Interob (2016).

16. Soldadura

El siguiente paso en nuestro proceso productivo será la propia soldadura del producto. Este paso puede iniciarse antes de que concluyan los dos anteriores (programación de automatismos y ensayo de trayectorias de robots), soldando de forma manual, pero no concluirá hasta que los pasos previos no estén finalizados, para poder soldar automáticamente.

16.1. Soldadura manual por operario

La primera prueba que se realiza de la soldadura del producto se lleva a cabo de forma manual (Figura 16.1) por parte de un operario de soldadura. Esta primera prueba da una aproximación de la soldabilidad de los componentes y de la geometría del producto, así como de la accesibilidad de los cordones:



Figura 16.1: Equipo de soldadura manual Fronius TransSteel 2200. Fuente: Fronius (2016).

16.2. Soldadura robótica con accionamiento manual de elementos neumáticos

La siguiente prueba de soldadura se produce cuando los robots ya tienen una primera trayectoria programada pero los automatismos aun no se encuentran completamente programados. Esto se lleva a cabo accionando manualmente cada uno de los elementos neumáticos necesarios para la soldadura, de tal forma que los robots puedan realizar la soldadura.

16.3. Ciclos en vacío

Una vez se encuentren completamente programados los automatismos, se realiza una prueba de los mismos de un ciclo completo en el que no se suelda producto, sino que tan solo se comprueba el correcto funcionamiento y secuencia de los elementos automáticos. Una vez se verifica esto, se puede proceder a la soldadura en automático.

16.4. Soldadura en automático

El último paso con respecto a la soldadura es trabajar con todos los robots y accionamientos neumáticos en automático, como se trabajará en vida serie de vehículo.

17. Calidad

17.1. Medición de producto

A la hora de determinar la conformidad dimensional y geométrica del producto, es esencial realizar una medición. Esto se llevará a cabo a través de una *Máquina de Medición por Coordenadas 3D* (CMM) como la de la Figura 17.1:



Figura 17.1: Máquina de Medición por Coordenadas 3D modelo DEA Global Performance Silver Edition usada para la medición de nuestro producto. Fuente: Hexagon (2014).

El resultado de la medición serán unos informes (Figura 17.2) que nos permitirán el ajuste del utillaje de soldadura para cumplir con los requerimientos de posición y geometría del producto:

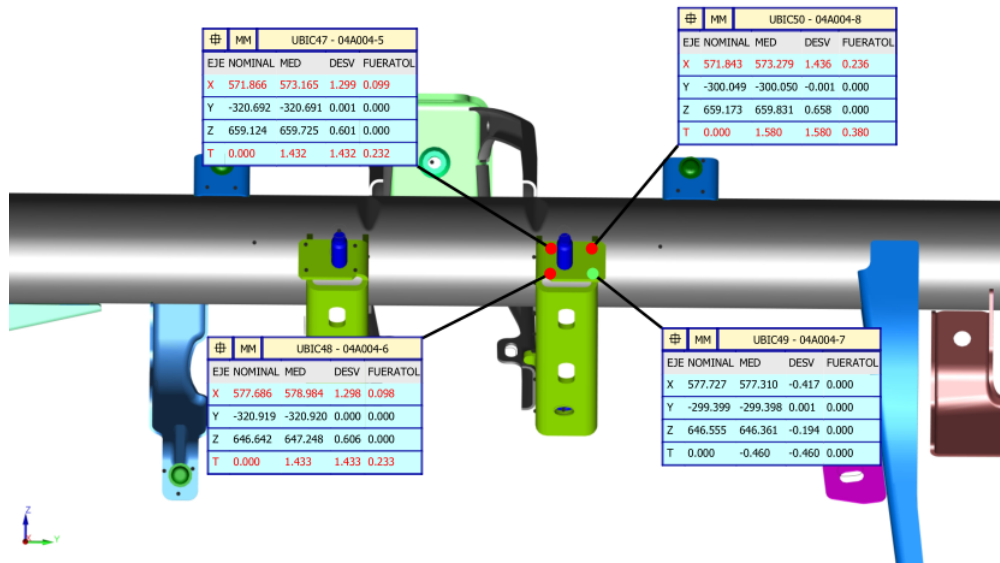


Figura 17.2: Informe de medición obtenido a través de la Máquina de Medición por Coordenadas 3D. En este componente se observa que, en 3 de los 4 puntos medidos, la coordenada x se encuentra fuera de tolerancia hacia sentido positivo, por lo que la corrección implicará llevar el correspondiente referencial del utillaje a sentido negativo de x . Fuente: Interob (2016).

17.2. Ensayos destructivos

En nuestro caso de soldadura al arco, los ensayos destructivos deberán determinar la calidad de los cordones de soldadura. Esto se llevará a cabo principalmente a través de los siguientes parámetros:

- Presencia de todos los cordones.
- Posición correcta.
- Longitud mínima.
- Penetración mínima.
- Ausencia de porosidades.

Las 3 primeras características se pueden realizar con un control visual a simple vista, pero la 2 últimas requieren el uso de un microscopio para realizar *macrografías* que permitan analizar la calidad de soldadura. El primer paso será realizar un corte transversal al cordón, para posteriormente pulir dicha sección y atacarla con *Nital*²⁸ y colocarla bajo el microscopio (Figura 17.3):

²⁸Solución de 1-5 ml de HNO_3 y 100 ml de $CH_3 - CH_2 - OH$ (95 %) según norma ASTM E407.

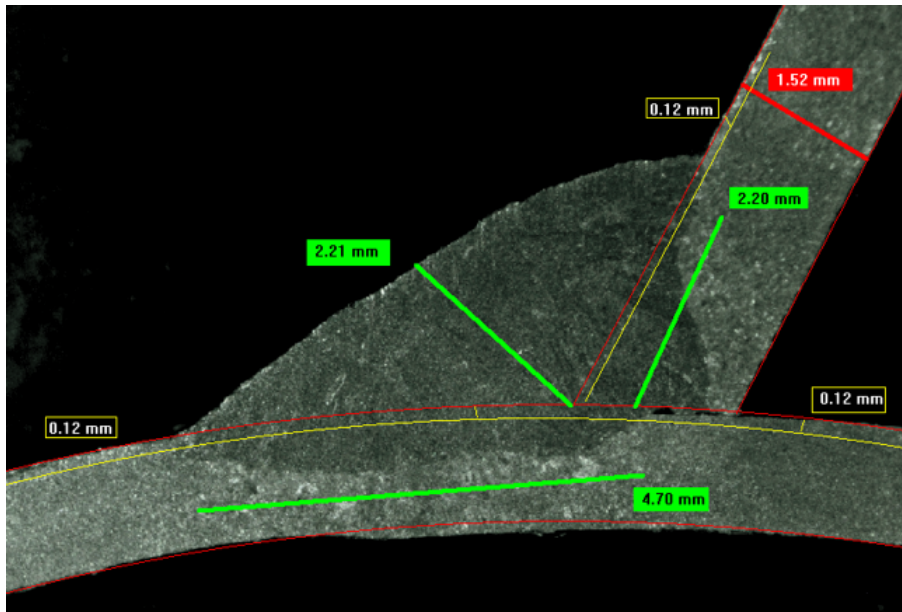


Figura 17.3: Macrografía de uno de los cordones de soldadura. En la imagen se aprecian los siguientes elementos: la zona de material fundido (gris más oscuro) y a su alrededor la zona de afectación térmica, el espesor del componente (rojo), las profundidades mínimas de penetración (en amarillo) y las anchuras de penetración y garganta del cordón (en verde). Fuente: Interob (2016).

17.3. Control estadístico de la producción

Para asegurar la *repetibilidad* de nuestro proceso productivo es necesario realizar un control estadístico de la producción (Figura 17.4):

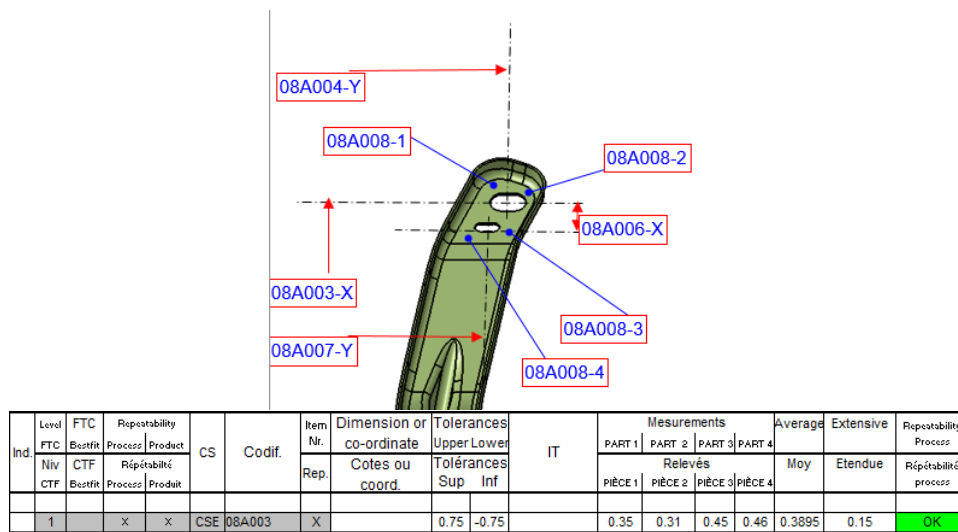


Figura 17.4: Control estadístico de una tolerancia de posición en una producción de 4 piezas. Fuente: Interob (2016).

18. Validación

La validación es el último paso del proceso de fabricación en serie de un conjunto soldado de automoción. Supone cumplir con todos los requisitos de calidad especificados por el cliente en cuanto a tolerancia dimensional, geométrica, de calidad de soldadura, de repetibilidad, ... Esto convierte a todo el proceso productivo en un proceso iterativo, ya que cada vez que se deje de cumplir cualquiera de las especificaciones, bien por desgaste de algún componente de la máquina, por rotura de algún elemento o por desajuste del utillaje, se deberá trazar el origen del problema para poder solucionarlo y volver a cumplir los requisitos exigidos.

19. Balance económico

Una vez validado el diseño, se procede a realizar un balance económico a la inversión realizada. Aunque este punto es complejo dado que el presente trabajo trata de un utillaje de soldadura y no de la instalación completa, se hará una aproximación a los costes y las rentabilidades implicadas en el proceso, en la parte que respecta al utillaje:

- El coste total del utillaje supone aproximadamente un 10 % del coste total de la instalación de soldadura.
- El diseño supone un 30 % del coste total del utillaje.
- El diseño, fabricación y puesta en marcha de un utillaje de soldadura puede oscilar desde los 20000 € para un útil sencillo hasta los 80000 € o más de una máquina más compleja.
- El ROI obtenido en este tipo de proyectos oscila alrededor del 10 %.

Parte V
Conclusiones

Las conclusiones obtenidas a lo largo de la realización de este trabajo son:

- El proceso de soldadura robótica automatizada requiere un equipo multidisciplinar de especialistas que dominen su campo de actividad.
- El equipo de ingeniería debe trabajar de una forma simultánea y altamente comunicativa, pues cada una de las partes influye significativamente en el desarrollo de las demás.
- El diseño, fabricación, ajuste y puesta en marcha de un utillaje es un proceso iterativo que no acaba cuando comienza la vida serie del vehículo, sino que está en constante evolución.
- Las tareas realizadas por humanos se han ido sustituyendo gradualmente por robots, tanto de soldadura, manipulación, visión artificial, control de calidad, etc.
- El *know-how* acumulado por la empresa debe estar en constante reciclaje, pues el ritmo de avance de las tecnologías implicadas es muy alto.
- Se trata de un proceso rentable, sobre todo si se pueden aplicar economías de escala.
- Los ciclos de vida de producto, y con ello los tiempos de implementación de utillaje, se han reducido drásticamente en los últimos años.

A la vista de las conclusiones, se consideran alcanzados los objetivos del proyecto, durante la realización del cual se han adquirido conocimientos de diversas especialidades de la Ingeniería Industrial, a la par que se han aplicado y afianzado los obtenidos durante la realización del Máster en Ingeniería Industrial.

Parte VI
Líneas futuras

Dada la experiencia adquirida durante la realización del presente trabajo, y habiendo comprobado *in situ* la validez de los conocimientos adquiridos y las técnicas empleadas hoy en día, así como los posibles aspectos mejorables en un futuro, a juicio del autor las líneas de investigación más importantes en el campo de la soldadura automatizada vendrán dadas por:

- Fabricación aditiva (impresión 3D) que sustituirá gradualmente al mecanizado, una vez que la primera alcance tolerancias de fabricación satisfactorias para el sector.
- Integración de la simulación y la programación de trayectorias de robot en campo: el diseño de trayectorias *off-line* será cada vez más preciso y válido.
- Programación de PLC de forma virtual que reduzca drásticamente los tiempos de programación en la propia fábrica, ganando eficiencia de producción.
- La sustitución de los trabajos de operario por robots cada vez más capaces.
- La medición por escáner láser de productos y utillajes permitirá reducir notablemente los tiempos de verificación.
- Los nuevos materiales, como las aleaciones ligeras de aluminio y los plásticos técnicos, supondrán nuevos retos para la industria, tanto en producto como en utillaje.

Referencias

- [1] ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones). *Informe Anual 2017* (2018). <<http://www.anfac.com/documents/tmp/MemoriaANFAC2017.pdf>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [2] KIRCHHOFF AUTOMOTIVE. *Cross Car Beam*. <<https://www.kirchhoff-automotive.com/esEN/products/cars/cross-car-beam/>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [3] SOLDEXA. *Manual de Soldadura e Catálogo de Productos*. <<http://www.edu.xunta.gal/centros/cifpcoroso/gl/system/files/manual-soldadura.pdf>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [4] CAR ENGINEER. *Vehicle Inertia Calculation Tool*. <<http://www.car-engineer.com/vehicle-inertia-calculation-tool/>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [5] VOLKSWAGEN. *Reference Point System - RPS* (1996). <<http://www.delta-mold.com/FTP/VOLKSWAGEN%20reference%20point%20system.pdf>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [6] ABB. *IRB 2600 ID-8/2.00 Product Presentation* (2011). <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105152A9023&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [7] FRONIUS. *Robacta 280* (2007). <https://loewener.dk/wp-content/files/3163_robacta_280_web.pdf>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [8] ABB. *IRBP R Positioner* (2018). <https://library.e.abb.com/public/415008b541394f6fb783cd02443bc0e8/IRBP-R_PR10111EN_RevC.pdf>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [9] FINITEC ELECTRÓLISIS. *Zincado electrolítico*. <<http://www.finitec-electrolisis.com/zincado.html>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [10] DEKRA. *Marcado CE*. <<https://www.marcado-ce.com/acerca-del-marcado-ce/que-es-marcado-ce.html>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].
- [11] SIEMENS. *Productos para Totally Integrated Automation y Micro Automation* (2009). <<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/SIMATIC-CAT.PDF>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2018].