



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

ÁREA DE CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA DE FABRICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO DE UNA CELDA ROBOTIZADA DE SOLDADURA HÍBRIDA DE ALTA POTENCIA

AUTOR: D. DAVID AMIEVA RODRÍGUEZ

TUTOR: Dña. Itziar Minondo Sánchez

FECHA: Junio de 2021

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a todas las personas que me han apoyado durante mis años universitarios, ya que sin ellos no hubiese sido posible llegar hasta aquí. Especialmente agradecer a mis padres y mi abuela, ya que sin su apoyo todo habría sido más difícil. También a mi tutora Itziar Minondo, por su ayuda tanto en lo personal como en lo laboral, porque con su trato y dirección, facilitó mucho tanto la realización de este TFM, como el desempeño de las tareas en la empresa.

Por último, hacer mención y dar mi agradecimiento a todo el departamento de soldadura de Fundación Idonial, ya que han facilitado mi estancia en la empresa y me han ayudado en todo lo posible, por lo que sin su ayuda, y el trabajo en equipo realizado, este proyecto hubiese sido imposible llevarlo a cabo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
1.- INTRODUCCIÓN	9
1.1.- OBJETIVO	9
1.2.- ALCANCE.....	9
1.3.- ESTADO DEL ARTE.....	11
1.3.1.- El robot industrial.....	11
1.3.2.- Célula robotizada.....	16
1.3.3.- Soldadura.....	19
1.4.- NORMATIVA	24
2.- SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA CELDA DE SOLDADURA	28
2.1.- ROBOT INDUSTRIAL	28
2.2.- LÁSER DE SOLDADURA	36
2.3.- MÁQUINA DE SOLDADURA GMAW.....	38
2.4.- HERRAMIENTA DE TRABAJO.....	39
2.5.- ESTRUCTURA DE LA CABINA.....	41
2.5.1.- Ensayo.....	43
3.- ESTUDIO DE RIESGOS.....	51
3.1.- EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	53
3.1.1.- Análisis de riesgos.....	53
3.1.2.- Valoración de los riesgos.....	55
3.2.- REDUCCIÓN DE RIESGOS.....	55
3.3.- ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD	60

4.- ESTUDIO DE MERCADO	66
4.1.- CONTEXTUALIZACIÓN.....	66
4.2.- ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	67
4.2.1.- Delimitación geográfica del mercado.....	67
4.2.2.- Contexto económico sectorial.....	67
4.2.3.- Estrategias nacionales y europeas.....	74
4.2.4.- Contexto socio-demográfico.....	76
4.2.5.- Tamaño del mercado.....	78
4.3.- ANÁLISIS DE LA OFERTA	78
5.- IMPLANTACIÓN	82
5.1.- SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIÓN.....	82
5.1.1.- Sistema adoptado.....	88
5.2.- PROGRAMACIÓN OFFLINE	91
5.3.- MONTAJE E INSTALACIÓN.....	97
6.- ANÁLISIS ECONÓMICO	108
6.1.- HORAS INVERTIDAS Y COSTES DE INGENIERÍA	108
6.2.- COSTES DE MATERIALES Y COMPONENTES UTILIZADOS	109
6.3.- PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO.....	110
7.- CONCLUSIONES.....	111
BIBLIOGRAFÍA.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Etapas del diseño de la celda robotizada de soldadura híbrida.....	10
Figura 1. 2 Isaac Asimov [2].....	11
Figura 1. 3 Partes de un robot industrial [7].....	13
Figura 1. 4 Clasificación de robots industriales [9].....	15
Figura 1. 5 Robot antropomórfico de 6 ejes [10].....	15
Figura 1. 6 Ejemplo de célula robotizada [12].....	16
Figura 1. 7 Gráfica de evolución de instalación de robots industriales [13].....	17
Figura 1. 8 Grafica del uso de robots por aplicaciones [14].....	18
Figura 1. 9 Componentes de una célula robotizada [15].....	19
Figura 1. 10 Clasificación de los diferentes tipos de soldadura.....	20
Figura 1. 11 Soldadura MIG/ MAG/ GMAW [17].....	21
Figura 1. 12 Soldadura láser [18].....	22
Figura 1. 13 Soldadura híbrida [19].....	23
Figura 1. 14 Marcado CE [20].....	24
Figura 2. 1 Zona de operación del robot industrial.....	29
Figura 2. 2 Dimensiones de la célula de soldadura.....	30
Figura 2. 3 Componentes de robot KUKA [30].....	31
Figura 2. 4 Gráfica del campo de trabajo del robot [31].....	32
Figura 2. 5 Diagrama de carga del robot [31].....	33
Figura 2. 6 Anclaje de la base del robot [32].....	36
Figura 2. 7 Láser IPG [33].....	37
Figura 2. 8 Complementos del láser IPG [33].....	37
Figura 2. 9 Máquina de soldadura EWM [34].....	38
Figura 2. 10 Soporte del cabezal.....	39
Figura 2. 11 Sistema de herramientas de soldadura montadas en el cabezal (1).....	40
Figura 2. 12 Sistema de herramientas de soldadura montadas en el cabezal (2).....	40
Figura 2. 13 Comprobación de resistencia al fuego.....	43
Figura 2. 14 Dimensiones y localización de los nudos.....	44

Figura 2. 15 Perfiles creados con CYPE.....	45
Figura 2. 16 Representación de los elementos de la estructura.....	45
Figura 2. 17 Colocación de los perfiles tubulares.....	46
Figura 2. 18 Vista 3D de la estructura de la celda.....	46
Figura 2. 19 Representación total de la estructura de la cabina.....	47
Figura 2. 20 Verificación de los elementos.....	47
Figura 2. 21 Comprobaciones E.LU.....	48
Figura 2. 22 Desplazamientos y esfuerzos en los apoyos.....	49
Figura 2. 23 Esfuerzos y momentos en vigas.....	49
Figura 2. 24 Desplazamiento y flecha de las vigas en el punto más crítico.....	50
Figura 2. 25 Valores de desplazamiento de la cubierta.....	50
Figura 3. 1 Estructura del estudio de riesgos según norma UNE 13849-1.....	52
Figura 3. 2 Esquema del PLr [35].....	54
Figura 3. 3 Ejemplos de señalización y EPIs necesarios.....	57
Figura 3. 4 Gafas de protección láser [36].....	58
Figura 3. 5 Señal de peligro debida a la presencia del láser clase 4.....	58
Figura 3. 6 Señal de prohibido el paso.....	59
Figura 3. 7 Señales de obligación de EPIs.....	59
Figura 3. 8 Proceso iterativo para el diseño de las partes del sistema de mando relativas a la seguridad (SRP/CS) [24].....	60
Figura 3. 9 Estimación de PLr de las funciones de seguridad.....	62
Figura 3. 10 Introducción de los parámetros PL y PFHD.....	63
Figura 3. 11 Categoría de cada subsistema.....	64
Figura 3. 12 PL de cada función de seguridad.....	64
Figura 3. 13 PLr y PL de las funciones de seguridad.....	65
Figura 4. 1 Capacidad instalada en Europa en los últimos años de instalaciones eólicas offshore [37].....	68
Figura 4. 2 Crecimiento de la capacidad de las turbinas eólicas instaladas en los últimos años [37].....	68
Figura 4. 3 Inversión y capacidad financiada en el sector eólico offshore en los últimos años [37].....	69

Figura 4. 4 Tipos de bases de estructuras eólicas offshore [38].....	70
Figura 4. 5 Instalaciones eólicas offshore conectadas y pendientes de conectar a la red eléctrica en 2020 [37].....	70
Figura 4. 6 Estadísticas de España del crecimiento del sector naval en 2019 [39].....	71
Figura 4. 7 Evolución de las contrataciones navales en Europa [39].....	72
Figura 4. 8 Evolución de cartera de pedidos navales en Europa [39].....	72
Figura 4. 9 Previsión de inversiones en la industria “Oil & Gas” [40].....	73
Figura 4. 10 Evolución del consumo de energía derivada de productos de petróleo en Europa [41].....	74
Figura 4. 11 Inversión interna en I+D (M€) [43].....	75
Figura 4. 12 Gasto en I+D sobre PIB por Comunidad Autónoma (%) Año 2018 [43].....	75
Figura 4. 13 Gasto en I+D respecto al PIB (%). Año 2018 [44].....	76
Figura 4. 14 Evolución del interés social por la ciencia y la tecnología [45].....	76
Figura 4. 15 5 fuerzas de Porter.....	79
Figura 5. 1 Arquitectura del sistema.....	82
Figura 5. 2 Arquitectura basada en relés de seguridad.....	84
Figura 5. 3 Arquitectura basada en módulos de seguridad en el PLC de control.....	85
Figura 5. 4 Arquitectura basada en PLC de seguridad.....	87
Figura 5. 5 Sistema adoptado.....	88
Figura 5. 6 Cierre de seguridad con pestaña para candado.....	90
Figura 5. 7 Modelización de la celda de soldadura.....	91
Figura 5. 8 Representación de la estructura de la celda de soldadura.....	92
Figura 5. 9 Representación del cupón y mesa de soldadura.....	92
Figura 5. 10 Representación del robot dentro de la celda de soldadura.....	93
Figura 5. 11 Trayectorias sobre el cupón de soldadura.....	94
Figura 5. 12 Definición de la herramienta empleada y de su origen de coordenadas.....	94
Figura 5. 13 Representación del sistema final.....	95
Figura 5. 14 Simulación en RobotMaster del sistema final.....	95
Figura 5. 15 Extracto de la programación generada pro RobotMaster.....	96
Figura 5. 16 Adquisición del robot y del láser.....	97
Figura 5. 17 Conexiones de refrigeración del láser.....	98

Figura 5. 18	Cabina portátil (propiedad del proveedor) para protocolo de aceptación.....	98
Figura 5. 19	Diseño de cabezal combinando el haz láser con la pistola de semiautomática.....	99
Figura 5. 20	Montaje del cabezal y pruebas con el KUKA.....	100
Figura 5. 21	Recepción de la estructura de la cabina.....	100
Figura 5. 22	Mecanizado de la zona de construcción.....	101
Figura 5. 23	Montaje de la estructura vertical de la cabina.....	102
Figura 5. 24	Instalación de las puertas.....	102
Figura 5. 25	Conjunto de perfiles que forman el techo.....	103
Figura 5. 26	Montaje final del techo exterior.....	103
Figura 5. 27	Instalación del falso techo.....	104
Figura 5. 28	Comprobaciones de cabezal y fibra láser.....	104
Figura 5. 29	Prueba de soldadura láser.....	105
Figura 5. 30	Resultado del ensayo del láser.....	105
Figura 5. 31	Instalación del cierre de seguridad.....	106
Figura 5. 32	Montaje de la luz de emergencia.....	107
Figura 5. 33	Colocación de la seta de emergencia interior.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Normativa asociada al proyecto [23] [24] [25] [26] [11] [27] [28] [29].....	26
Tabla 2. 1 Velocidades de los ejes del robot [31].....	33
Tabla 2. 2 Datos técnicos del robot [31].....	34
Tabla 2. 3 Pesos ponderados del robot industrial.....	34
Tabla 2. 4 Elección del robot industrial.....	35
Tabla 2. 5 Pesos ponderados de la estructura de la celda de seguridad.....	42
Tabla 2. 6 Elección de la estructura de la celda de seguridad.....	42
Tabla 3. 1 Componentes del sistema global de soldadura.....	53
Tabla 4. 1 Información de la empresa.....	66
Tabla 4. 2 Porcentaje de ciudadanos que piensan que la ciencia y la tecnología aportan más beneficios que perjuicios [45].....	77
Tabla 6. 1 Tiempo en semanas y horas, dedicado a cada fase del diseño de la celda robotizada.....	108
Tabla 6. 2 Cálculo de los costes de ingeniería según las horas dedicadas y una estimación del coste por hora.....	109
Tabla 6. 3 Costes de los materiales utilizados en el diseño de la celda robotizada y distribuidores.....	109
Tabla 6. 4 Cálculo total del presupuesto para el montaje de la celda robotizada diseñada.....	110

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es el diseño de una célula robotizada para la empresa Fundación Idonial, de forma que se pueda emplear para tareas de soldadura híbrida formada por láser más GMAW (Gas Metal Arc Welding), a través del acople de ambos procesos en un cabezal que irá instalado dentro del entorno de una cabina de soldadura, en la muñeca de un robot industrial. Todo ello estará integrado y controlado por un PLC y por elementos de seguridad que garantizarán un buen funcionamiento de todo el sistema, además de su seguridad y de los operarios. Para conseguir esto, el diseño deberá cumplir con todas las especificaciones, reglamentos y normativas aplicables. Para ello, se deberá:

- Diseñar la celda de soldadura formada por todos sus elementos y sistemas de seguridad.
- Aplicar los diferentes reglamentos y normativas que sean necesarios a lo largo de todo el proyecto.
- Realizar un análisis de riesgos para garantizar la seguridad del sistema.
- Medir, modelizar y crear mediante programas CAD-CAM los componentes y celda de soldadura.
- Desarrollar un estudio de mercado para analizar el nicho que podría tener el proyecto.

1.2.- ALCANCE

Este proyecto se ha desarrollado durante los 4 meses en los que ha transcurrido la estancia en la empresa, aunque su inicio se produjo en los meses anteriores. Durante este periodo de tiempo, se han llevado a cabo las diferentes etapas que lo forman, hasta la consecución de su estado final. Todas estas etapas se muestran en la Figura 1. 1, y se detallan en la programación temporal junto con el diagrama de Gantt, disponibles en el ANEXO 6.

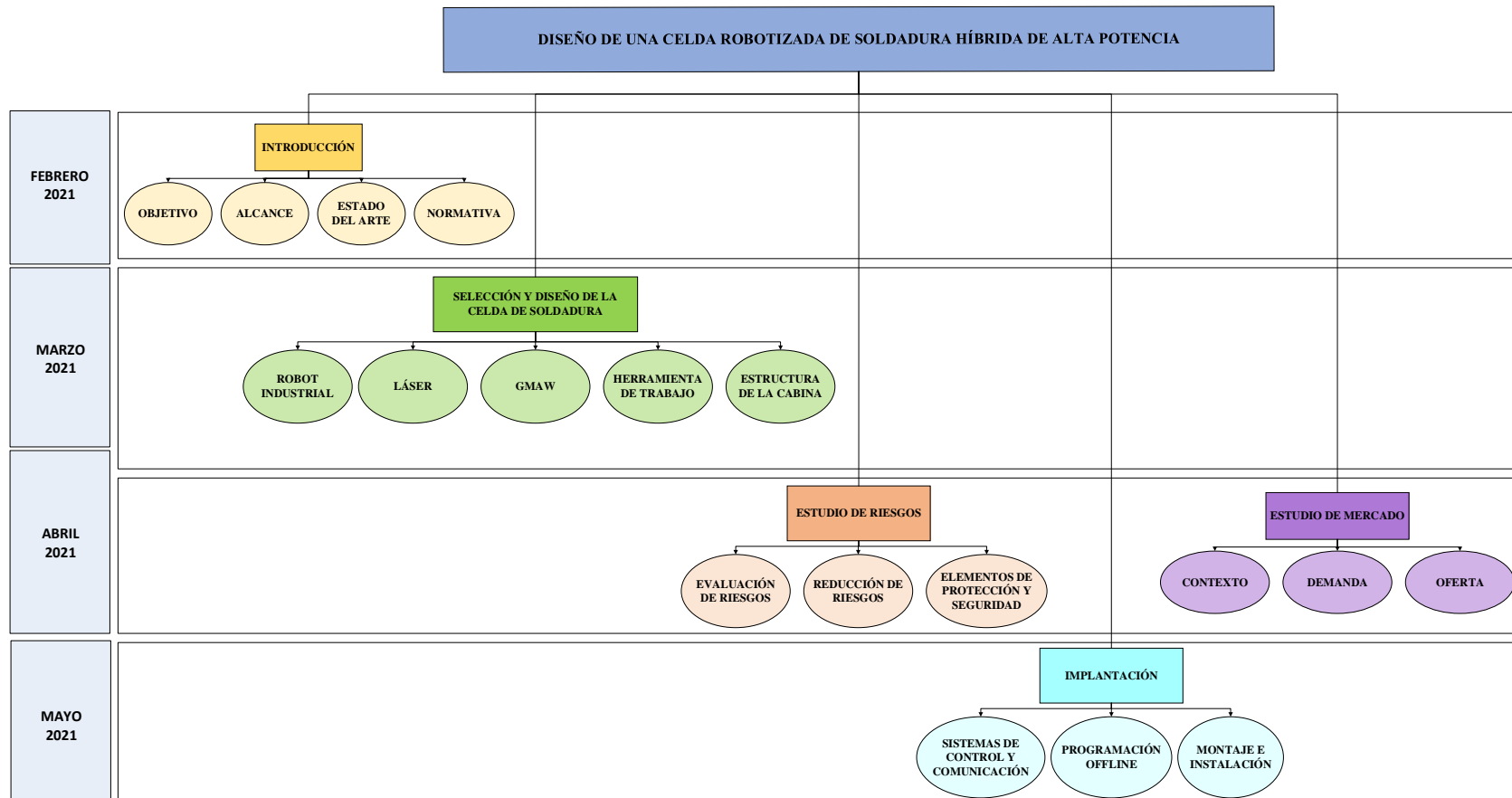


Figura 1. 1 Etapas del diseño de la celda robotizada de soldadura híbrida

1.3.- ESTADO DEL ARTE

En este apartado se desarrollan los conceptos clave que intervienen en el presente estudio, con el fin de que se alcancen a comprender con mayor facilidad los procedimientos y procesos que se han llevado a cabo.

1.3.1.- El robot industrial

El elemento principal de una célula robotizada o celda robótica es el robot o brazo robótico. Por lo que antes del inicio del estudio del diseño de la celda de soldadura, cabe definir y clasificar este tipo de sistema electromecánico.

Las leyes de la robótica

Las leyes de la robótica hacen referencia a las tres leyes enunciadas por el escritor Isaac Asimov en uno de sus relatos ("Círculo vicioso", 1942). Estas leyes fueron concebidas con el fin de que las máquinas tuviesen como función principal la seguridad de las personas [1].

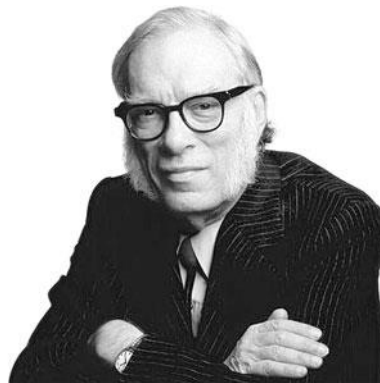


Figura 1. 2 Isaac Asimov [2]

Estas dicen así:

- 1º- "Un robot no hará daño a un ser humano o, por inacción, permitirá que un ser humano sufra daño".

- 2º- "Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto si estas órdenes entrasen en conflicto con la 1ª ley".
- 3º- "Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la 1ª o la 2ª Ley".

Más tarde, debido a la situación actual de la inteligencia artificial, se redacta una cuarta ley, denominada **Ley Cero**:

- 4º- "Un robot no puede lastimar a la humanidad o, por falta de acción, permitir que la humanidad sufra daños".

La evolución de los brazos robóticos, es una muestra de una aplicación que ha evolucionado enormemente en los últimos años. El primer robot industrial se considera al "Ultimate", creado en los años 60 y empleado por la empresa General Motors, emplazada en Estados Unidos. Desde este precedente, las empresas automovilísticas, y muchas empresas de ámbito industrial, han ido implementándolos en sus dinámicas de producción, hasta el punto de tener empresas manufactureras con mayor porcentaje de robots que de personas [3].

Así pues, se puede decir que cualquier sistema mecánico automatizado que pueda ejecutar ciertas tareas programables, se considera un robot industrial.

Definición del brazo robótico industrial

A día de hoy, el término "robot industrial" se puede definir de diferentes formas en función de lo que se considere como robot industrial, ya que existen discrepancias y dificultades para acotar las máquinas que entran en este grupo. En primer lugar, existe una diferencia conceptual entre el mercado euro-americano y el japonés sobre lo que es un robot y lo que es un manipulador. En el mercado japonés, un robot industrial se considera a cualquier sistema mecánico que disponga de articulaciones, y que esté destinado a la manipulación, mientras que para el mercado euro-americano, el sistema ha de ser más restrictivo, sobre todo en lo relativo al control [4].

En segundo lugar, adoptando el concepto para el mercado occidental, aunque existen discrepancias y diferentes puntos de opinión sobre la propia definición, la más aceptada actualmente es la acotada por la Asociación de Industrias Robóticas (RIA), la cual enuncia:

“Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.” [5]

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (ISO) que define al robot industrial como:

“Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.” [6]

Los robots industriales están formados por:

- Base
- Cuerpo (eslabones y articulaciones)
- Elemento final de trabajo



Figura 1. 3 Partes de un robot industrial [7]

Clasificación de robots industriales

La clasificación de robots industriales más empleada es, según el movimiento que realizan, es decir, según el volumen de trabajo o espacio alcanzado por la relación entre sus eslabones y articulaciones:

- Cartesiano

Robot que posee 3 ejes principales (X, Y, Z), y forman ángulos rectos unos respecto de otros. Los componentes o eslabones se desplazan a través de movimientos lineales en dichos ejes. Son muy rápidos, precisos, de fácil control y de elevada capacidad de carga. Se utilizan en aplicaciones que requieren movimientos lineales de alta precisión. Sus aplicativos principales son la manipulación, almacenamiento y carga y descarga [8].

- Esférico

Los dos primeros eslabones de este tipo realizan movimientos de rotación, y por lo tanto, forman un campo de acción esférico.

- Cilíndrico

El primer eslabón de este tipo de robot realiza un movimiento rotatorio, y los dos siguientes efectúan movimientos lineales, por lo que su campo de acción es cilíndrico.

- Robot SCARA

Aunque sus tres primeros eslabones realizan movimientos rotatorios, sus dos primeros ejes son paralelos, por lo que se diferencian de los esféricos en este detalle, de ahí que ocupen una posición especial en la clasificación.

- Antropomórfico

Se componen de una serie de eslabones que se mueven a través de juntas giratorias, recordando las trayectorias que pueden ejecutar los brazos humanos, debido a su estructura y movimientos.

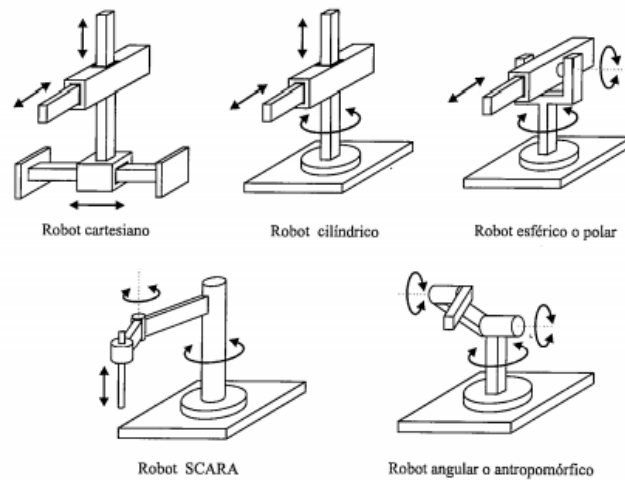


Figura 1. 4 Clasificación de robots industriales [9]

Los brazos robóticos antropomórficos poseen 6 ejes. Los tres primeros (A1, A2, A3) se consideran ejes primarios, ya que son los que deben efectuar el movimiento para ubicar el elemento final en un punto específico del espacio. Los tres restantes (A4, A5, A6) se consideran los ejes secundarios, y se encargan del movimiento de orientación del elemento final del robot para aproximarse al punto de trabajo.

Como se verá más adelante, este tipo de robot industrial es el que ha sido seleccionado para la realización de este proyecto, debido a sus prestaciones.

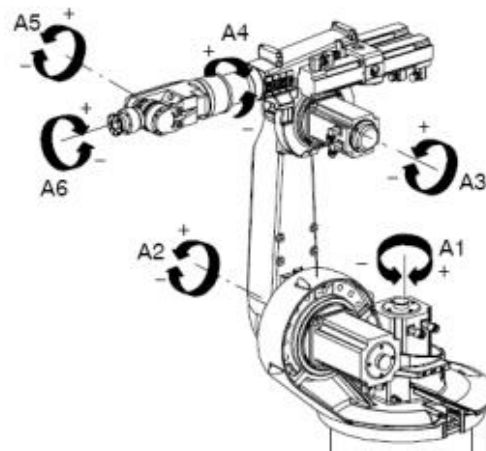


Figura 1. 5 Robot antropomórfico de 6 ejes [10]

1.3.2.- Célula robotizada

En la actualidad, existen infinidad de tareas que requieren de procedimientos muy precisos y complejos, por lo que se han ido adaptando máquinas y estructuras que puedan sustituir a personas, en procesos repetitivos y de gran complejidad y precisión. Uno de estos ejemplos es el empleo de células robotizadas. Según la norma UNE-ISO 10218-2:2011 [11], estas, son un conjunto de equipos y elementos que, junto al robot que las conforman, hacen posible la ejecución de tareas de índole industrial de forma organizada y segura.



Figura 1. 6 Ejemplo de célula robotizada [12]

Beneficios de una célula robotizada

A la hora de realizar la instalación de una célula robotizada, se pueden encontrar diversos beneficios, entre los cuales se encuentran los siguientes [3]:

- Disminución de mano de obra
- Calidad del trabajo humano
- Ahorro de materia prima y energía
- Flexibilidad productiva
- Reducción en el número de pasos del proceso de producción
- Mayor productividad
- Incremento de tiempo de utilización de las máquinas

- Mejora de calidad
- Flexibilidad total
- Seguridad: sustitución del operador por un robot en los trabajos peligrosos o insalubres
- Mayor ergonomía: se evita que el operador realice trabajos repetitivos, monótonos y en posiciones forzadas.
- Acumulación instantánea de experiencia en todo el personal de la empresa involucrado en el desempeño del robot.

Como se puede apreciar, la mayoría de los beneficios están enfocados en el proceso y en el valor añadido al producto, y no tanto en la sustitución de la mano de obra.

Por todos estos beneficios, los robots cada vez se implementan más en los sectores industriales. Tal y como se puede ver en la Figura 1. 7, en la mayoría de las industrias la incorporación de los robots industriales sigue una tendencia ascendente a lo largo de los últimos años.

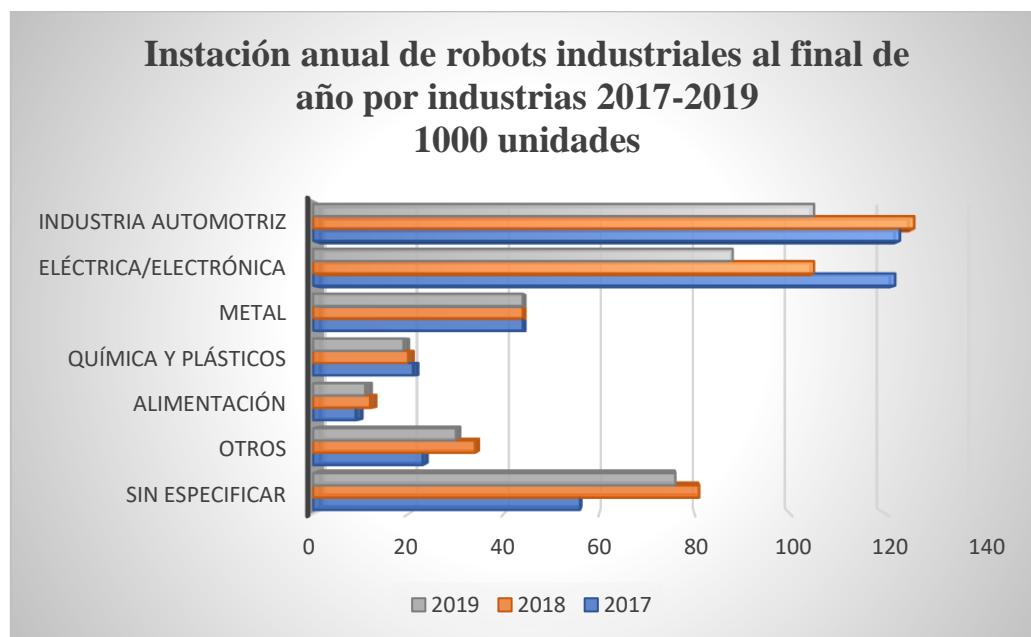


Figura 1. 7 Gráfica de evolución de instalación de robots industriales [13]

Aunque el sector en el que más presentes están los robots industriales es el de la automoción, con los constantes avances tecnológicos, actualmente cada vez están más presentes para la realización de otras aplicaciones que no tienen nada que ver con el sector de la manufactura. Ejemplo de ello se puede observar en la Figura 1. 8, donde se aprecia que en actividades de soldadura, aplicación que se desarrolla en este proyecto, se llegan a implementar hasta en casi un 20% de todas las actividades que los emplean.

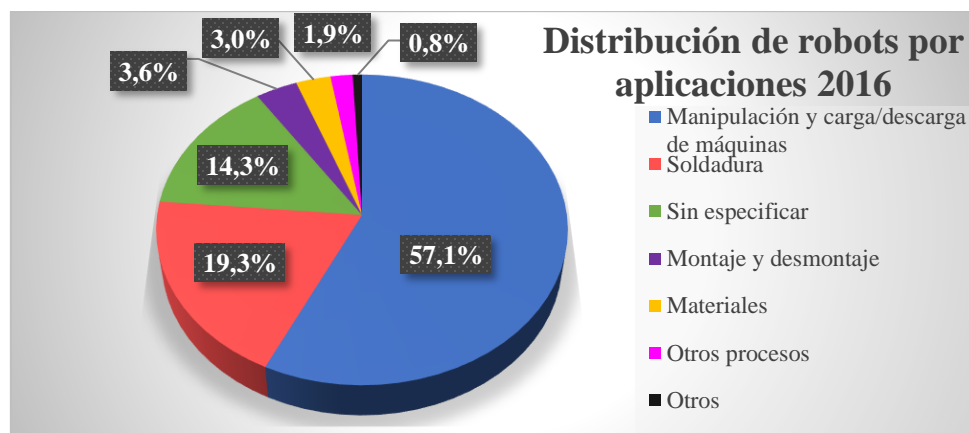


Figura 1. 8 Grafica del uso de robots por aplicaciones [14]

Componentes de la célula robotizada

Una vez que se han estudiado los beneficios de la implementación de una celda robotizada para la realización de procesos industriales, se procede a desarrollar su diseño e instalación. Para ello, se deben establecer los diferentes componentes que la propia celda ha de tener, y cuál es el orden correcto de estudio o implementación de los mismos. En general, una célula robotizada está compuesta por los siguientes elementos:

- Robot
- Garra o herramienta de trabajo
- Base
- Tablero de control
- Vallado y elementos de seguridad
- Equipos productivos con los que interactuará el robot

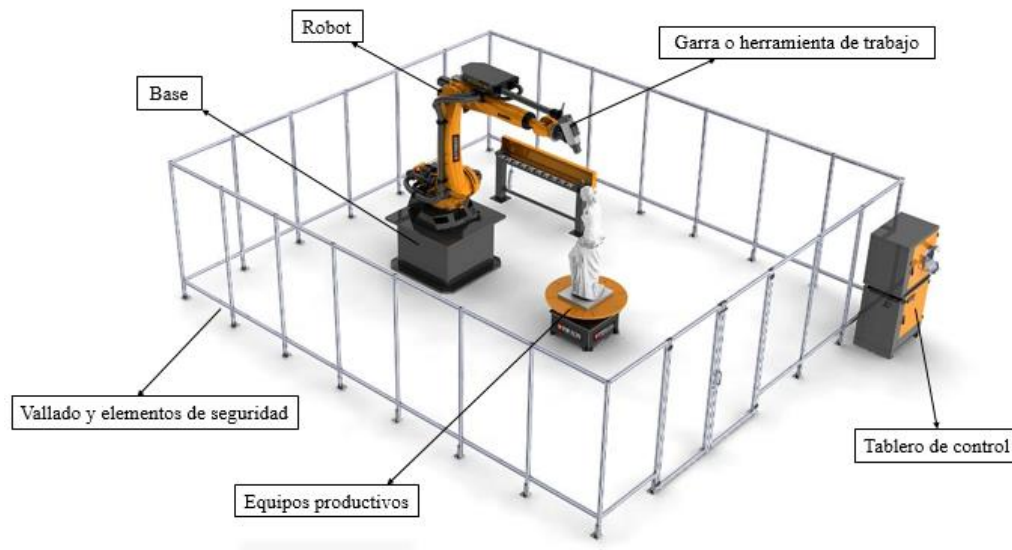


Figura 1. 9 Componentes de una célula robotizada [15]

Etapas de diseño de una célula robotizada

El desarrollo de una célula robotizada es una actividad mecatrónica que requiere de un equipo formado por diferentes integrantes, especializados en diferentes disciplinas, para así lograr establecer los criterios a través de los cuales poder escoger los diferentes componentes que conformarán el sistema global [3]. Para ello, se siguen las siguientes etapas:

- Selección del robot
- Elección del elemento final de trabajo
- Diseño de la base del robot
- Instalación de los elementos de protección y seguridad de la célula robotizada
- Elaboración de los sistemas de control y comunicación
- Programación del robot

1.3.3.- Soldadura

Se define como soldadura al proceso de fijación o separación de dos o más piezas (normalmente de metal) que mediante calor y/o presión se funde parte de dichas piezas, o se añade un material de aporte, su juntan, y se produce la unión entre ellas. Aunque normalmente,

las aplicaciones principales son las descritas con anterioridad, existen distintos tipos de soldadura dependiendo del resultado que se quiera obtener [16].

Una clasificación que se puede establecer es la siguiente:

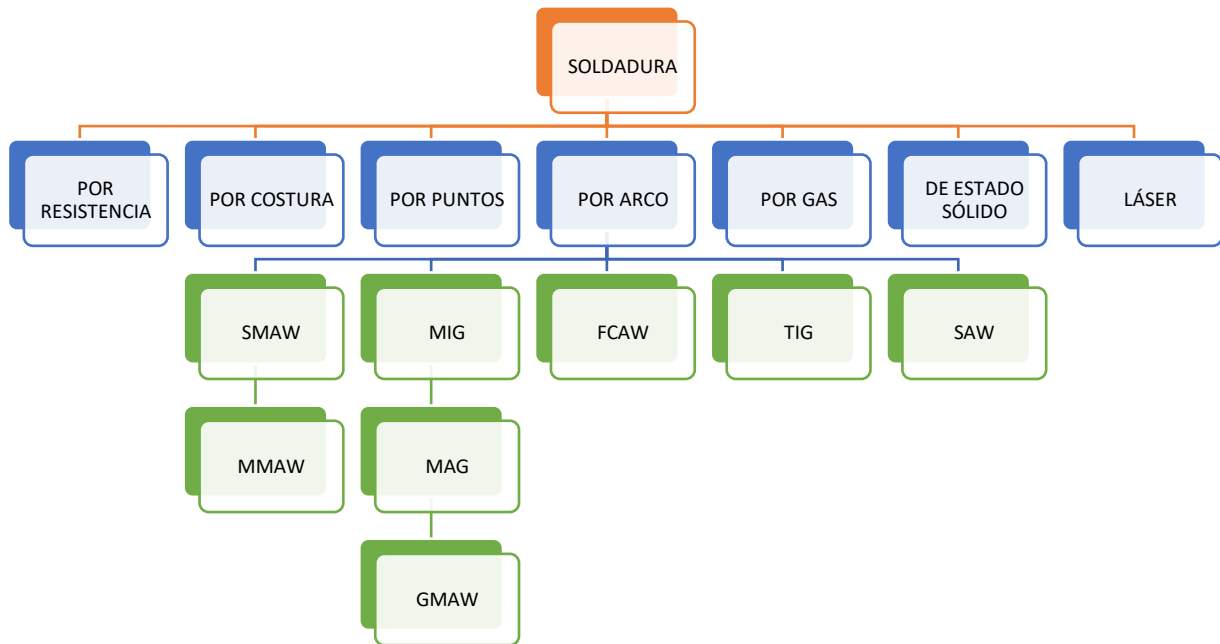


Figura 1. 10 Clasificación de los diferentes tipos de soldadura

En este proyecto, se emplean dos tipos de soldadura, los cuales son la soldadura láser, y la soldadura semiautomática GMAW.

Soldadura por arco

Es uno de los tipos de soldadura más empleados, y tal y como su nombre indica, se emplea de forma que se crea un arco voltaico entre el electrodo y el metal, aplicando calor al

material, hasta su punto de fusión. Esto hace que este tipo de soldadura sea reconocido por sus bajos costos.

- **Soldadura GMAW:** sus siglas significan “Soldadura por Arco Metálico”, y se caracteriza por el empleo de electrodos consumibles, además del empleo de gases inertes o activos como protección. La dificultad radica en la necesidad de aplicar un gas externo.

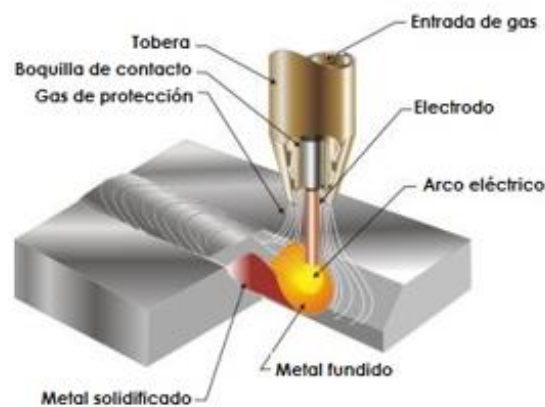


Figura 1. 11 Soldadura MIG/ MAG/ GMAW [17]

Soldadura láser

Es de los tipos de soldadura más modernos, y emplean un láser o haz de electrones para lograr la fusión y recristalizar los materiales. Es un tipo de soldadura muy automatizable, debido a que no hay desgaste de herramienta, y no se generan muchas salpicaduras y porosidades. Pero a su vez, como desventaja tiene mayores posibilidades de que se produzcan agrietamientos térmicos.

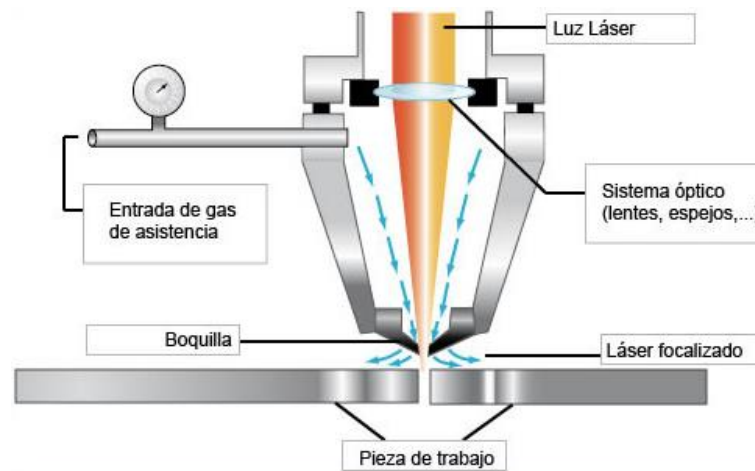


Figura 1. 12 Soldadura láser [18]

Soldadura híbrida

La soldadura híbrida formada por láser-GMAW es un tipo de soldadura que combina los procesos de soldadura láser, y el proceso de soldadura por arco. Su aplicación se lleva dando desde los años 70, pero solo recientemente ha sido empleado para realizar aplicaciones industriales. Existen tres tipos de soldadura híbrida: Láser y arco TIG, láser y arco de plasma, y láser y arco MIG/MAG/GMAW. Este último es el más empleado en la industria, y es el que comúnmente se conoce como soldadura por láser híbrido. Esto significa que un rayo láser y un arco eléctrico actúan simultáneamente en una zona de soldadura, influyendo y apoyándose mutuamente. [19]

El proceso de soldadura híbrida láser funciona de tal forma, que el rayo láser golpea la superficie del material, para que este se caliente a temperatura de vaporización, formando así una cavidad de vapor en el metal de soldadura. Esto se conoce como ojo de cerradura. La característica extraordinaria de la costura de soldadura es su alta relación entre profundidad y anchura.

La combinación del proceso láser y el proceso de arco da como resultado un aumento tanto en la profundidad de penetración de la soldadura, como en la velocidad de soldadura (en comparación con cada proceso por separado). El vapor de metal que escapa de la cavidad de vapor actúa sobre el arco de plasma.

La absorción de la radiación láser está influenciada sustancialmente por la temperatura de la superficie de la pieza de trabajo. Antes de que pueda comenzar el proceso de soldadura por láser, se debe superar la reflectancia inicial, especialmente en superficies de aluminio. Esto se puede lograr precalentando el material. En el proceso híbrido, el arco calienta el metal, ayudando a que el rayo láser se acople. Una vez que se ha alcanzado la temperatura de vaporización, se forma la cavidad de vapor y casi toda la energía de radiación se puede poner en la pieza de trabajo. La energía necesaria para ello viene determinada por la absorción dependiente de la temperatura y por la cantidad de energía perdida por conducción hacia el resto de la pieza.

Las principales ventajas de este proceso frente a otros aplicados individualmente son los siguientes:

- Mayor velocidad de soldadura
- Mejor calidad de sellado
- Procesos más estables
- Mínima deformación térmica del componente
- Mayores espesores de soldadura

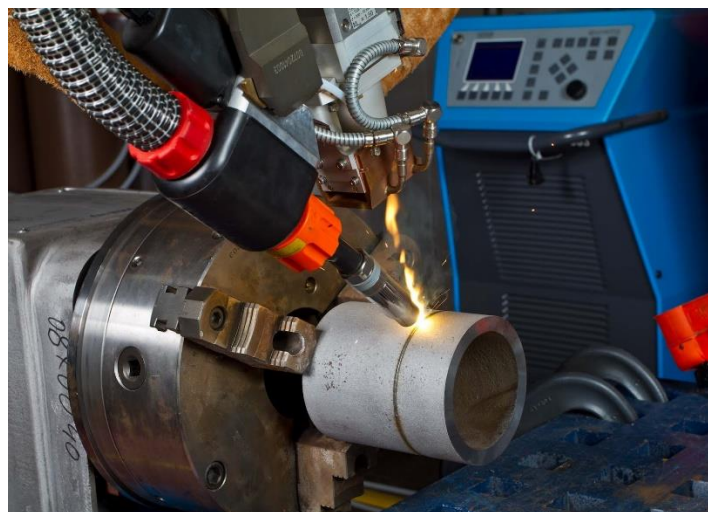


Figura 1. 13 Soldadura híbrida [19]

1.4.- NORMATIVA

Durante el presente capítulo, se exponen las diferentes normativas ISO que se han de tener en cuenta para el correcto estudio y realización de este proyecto. La aplicación de todas estas normativas es vital para un correcto diseño de una celda robotizada de soldadura, que cumpla todos los requisitos de seguridad. Aunque aquí se recojan todas las normativas, en los capítulos siguientes se hará referencia a aquellas en las que se precise su cumplimiento y entendimiento.

Según la directiva europea sobre máquinas 2006/42/CE, recogida en la legislación nacional a través del RD 1644/2008, todas las máquinas de la Unión Europea deben cumplir unos requisitos legales y técnicos mínimos, acompañados por el certificado europeo, para poder comercializar y usar la máquina dentro de la Comunidad Europea.

La aplicación de las normativas correspondientes a los dispositivos robóticos industriales, asegura el cumplimiento de la directiva comentada anteriormente, y por lo tanto, hace que estos dispositivos puedan ser usados y comercializados dentro de la Unión Europea.



Figura 1. 14 Mercado CE [20]

Normativas armonizadas

Los fabricantes de maquinaria deberán seguir la directiva de máquinas 2066/42/EC de la Unión Europea. Esta directiva de máquinas, se ha traspuesto en España como ley de obligado cumplimiento, en el Real Decreto 1644/2008.

Son los fabricantes los que se auto certifican el marcado CE en maquinaria, sin embargo, esto no quiere decir que una máquina con marcado CE sea segura. Es el consumidor el máximo responsable de la aplicación que se le da a dicha maquinaria y máximo responsable en caso de accidente. Consecuentemente, será el encargado de cerciorarse que cumple detalladamente las características de seguridad, más allá de si ésta posee el marcado CE.

Los compradores de máquinas deben saber que, según el Real Decreto 1215, “cualquier máquina debe ser adecuada al puesto de trabajo e industria”. De modo que, en algunos casos, se deberán aplicar medidas más rigurosas.

Debido a que en el RD 1644 no detalla desde un punto técnico las medidas a adoptar para la reducción o eliminación de los riesgos que se pudieran dar en las diferentes fases de las máquinas, se establecen normativas armonizadas que ofrecen información detallada adicional para poder solventar este tipo de problemas.

Estas normativas, no son de obligado cumplimiento, pero si se cumplen, se presupone que se está cumpliendo con todos los términos legales, debido a las condiciones técnicas de estas, que garantizan su cumplimiento [21].

Este tipo de normas ISO, se clasifican en tres tipos diferentes, en función de los requisitos básicos y generales a los que hagan referencia:

- *Normas de tipo A:* tratan requisitos básicos de seguridad y principios generales para todas las máquinas.

- *Normas de tipo B:* tratan aspectos de seguridad y dispositivos de protección aplicables a todas las máquinas.

- *Normas de tipo C*: tratan requisitos de seguridad específicos para una determinada tipología de máquinas.

Las normativas más comunes respecto a los sistemas de células robotizadas que se aplicarán en el presente informe, son las siguientes [22]:

Tabla 1. 1 Normativa asociada al proyecto [23] [24] [25] [26] [11] [27] [28] [29]

Tipo	Norma	Título
A	UNE-EN ISO 12100	Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación de riesgo y reducción del riesgo.
B	UNE-EN ISO 13849	Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a seguridad.
B	UNE-EN ISO 14119	Seguridad de las máquinas. Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos. Principios para el diseño y la selección.
B	UNE-EN 60204-1	Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales
B	UNE-EN ISO 62061	Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relativos a la seguridad.
C	UNE-EN ISO 10218-2	Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración.
C	UNE-EN 60825-1	Seguridad de los productos láser. Parte 1: Clasificación de los equipos y requisitos.
C	UNE-EN 60825-4	Seguridad de los productos láser. Parte 4: Sistemas de protección frente a la radiación láser.

A medida que se avanza en el proyecto, se irán enunciando estas normas en función de los criterios y parámetros que se han de tener en cuenta, para conseguir un diseño y una implementación de la célula de forma correcta y segura.

Requisitos esenciales del real decreto 1215

Los requisitos principales que vienen especificados en el RD, son los siguientes:

- Evaluación de riesgos desde el diseño: siguiendo la ISO 12100
- Aplicar requisitos esenciales y tomar medidas
- Principios de integración de la seguridad
- Elaboración de un manual de instrucciones
- Elaboración de un expediente técnico

En este caso, se detallará más adelante el análisis y la evaluación de riesgos que se han realizado siguiendo la normativa, así como las medidas que se adoptan para eliminar o disminuir todos los peligros detectados. En el caso de los manuales de instrucciones no hará falta crearlos, ya que se disponen de todas las máquinas que se han adquirido. La elaboración del expediente técnico se ha realizado en el entorno de la empresa, y recoge el análisis de riesgos, los manuales, los planos y todas las características técnicas de las máquinas, así como los ensayos y marcados necesarios para su correcto funcionamiento.

2.- SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA CELDA DE SOLDADURA

En un primer lugar, se han de elegir los diferentes componentes que conforman el sistema de la célula de soldadura, los cuales son:

- Robot industrial
- Láser de soldadura
- Máquina GMAW
- Componentes de la estructura de la celda
- Elementos de seguridad

2.1.- ROBOT INDUSTRIAL

A la hora de escoger el robot, es importante obtener toda la información posible sobre el entorno de la futura celda robotizada. A su vez, para escoger el tipo de robot industrial, se han de atender ciertos criterios que se deben evaluar [3]. Estos son:

- Distancia entre la base y el punto de trabajo
- Ambiente
- Tipo de trabajo
- Peso que deberá manejar el robot
- Tiempos de trabajo

El espacio que se dispone en el taller para la instalación de la célula de soldadura, donde el robot deberá operar, muestra una disposición similar a la indicada en la Figura 2. 1.

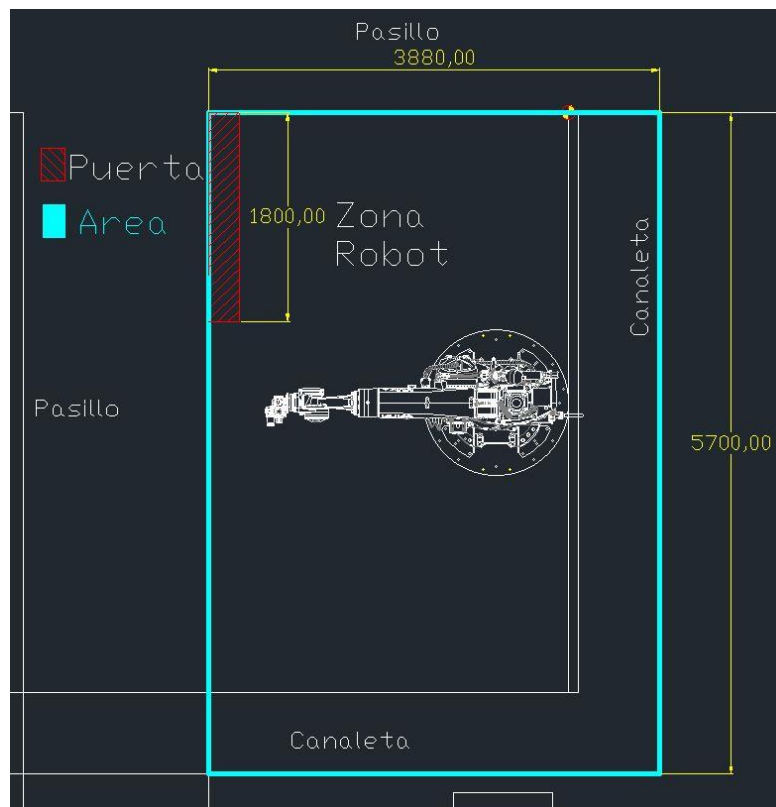


Figura 2. 1 Zona de operación del robot industrial

Distancia entre la base y el punto de trabajo

Sabiendo las dimensiones del espacio destinado en el taller para la instalación de la célula, y teniendo en cuenta la posición donde se pretende enclavar el robot industrial, se calcula la distancia máxima que puede haber entre la base del robot y el punto de trabajo donde se realizarán las tareas de soldadura.

Se prevé que el robot opere en la zona superior de la celda, por lo que se calcula que deberá haber una distancia máxima de 2,5 metros desde la base del robot, hasta el punto de mecanizado.

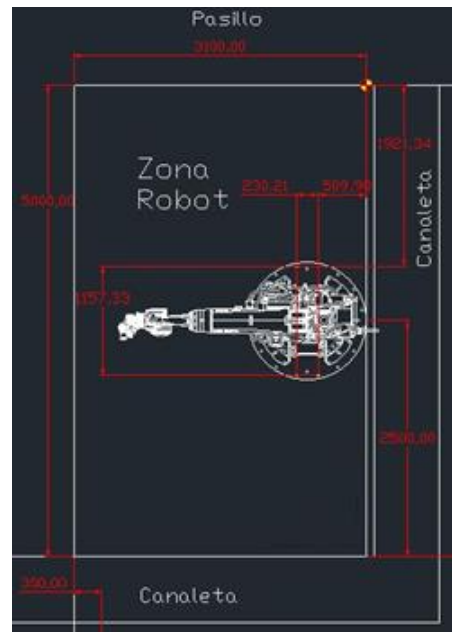


Figura 2. 2 Dimensiones de la célula de soldadura

Ambiente

Las condiciones ambientales que se darán en la celda, son las condiciones típicas de los procesos de soldadura, como polvo, calor, o humedad. Por lo que se debe escoger un tipo de robot que pueda soportar estas condiciones sin presentar deterioro ni fallos.

Tipo de trabajo

Como se viene comentando durante el presente documento, la actividad que se realizará es un tipo de soldadura híbrida formada por un láser y una máquina GMAW, por lo que a la hora de escoger el robot también se debe valorar que aguante el peso que se le quiera colocar en la muñeca, para poder realizar las operaciones de mecanizado.

Peso

Como se verá en capítulos posteriores, a la garra del robot se le quiere colocar un acoplamiento que soporte tanto el cabezal del láser, como la antorcha de la máquina GMAW, como los diferentes componentes del cabezal, además de los cables y demás elementos que formen el acople en su totalidad. Haciendo una estimación basada en los pesos de los diferentes

componentes que debe soportar, se establece que el robot debe aguantar pesos superiores a 60 Kg para poder resistir el peso del cabezal sin ocasionar ningún tipo de problema.

Robot escogido

Atendiendo a todos los criterios descritos anteriormente, se ha escogido un robot de 6 grados de libertad de la marca KUKA, modelo KR 120 R2700-2, compuesto a su vez por los siguientes componentes:

- Manipulador (1)
- Unidad de control del robot (2)
- Unidad manual de programación (3)
- Cables de unión (4)
- Software, opciones, accesorios.



Figura 2. 3 Componentes de robot KUKA [30]

Posee un KUKA System Software (KSS), el cual asume todas las funciones básicas para el servicio del robot industrial.

- Cálculo de la trayectoria
- Manejo de las E/S
- Administración de datos y archivos
- etc.

Además, como se puede observar en la Figura 2. 4, el campo de trabajo que abarca este tipo de robot, se adapta perfectamente a las longitudes que se requieren para poder operar correctamente dentro del espacio destinado para este proyecto.

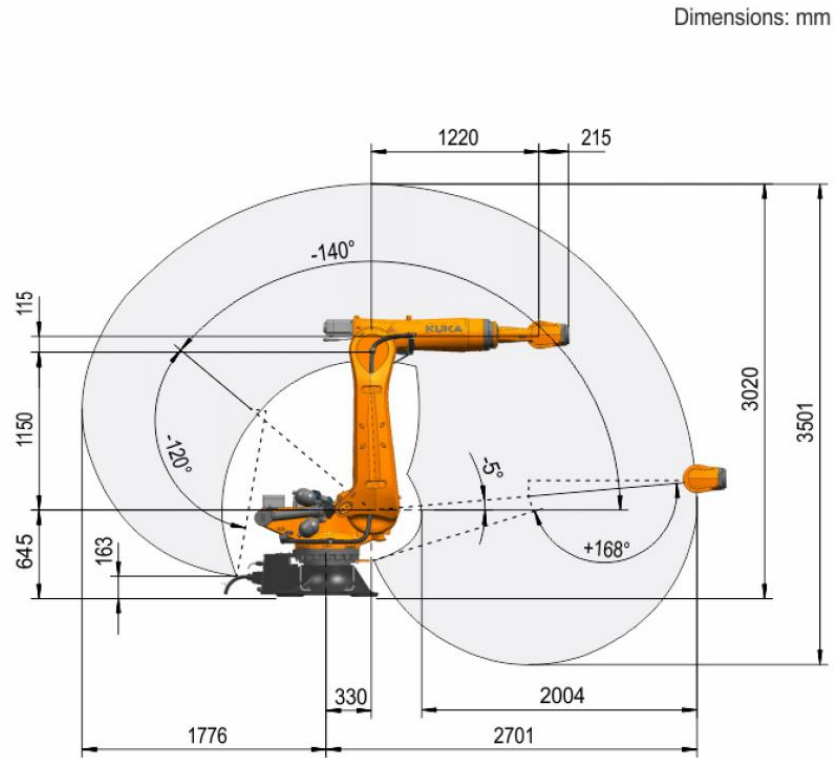


Figura 2. 4 Gráfica del campo de trabajo del robot [31]

En la Figura 2. 5 se muestra el diagrama de cargas del KR 120 R2700-2.

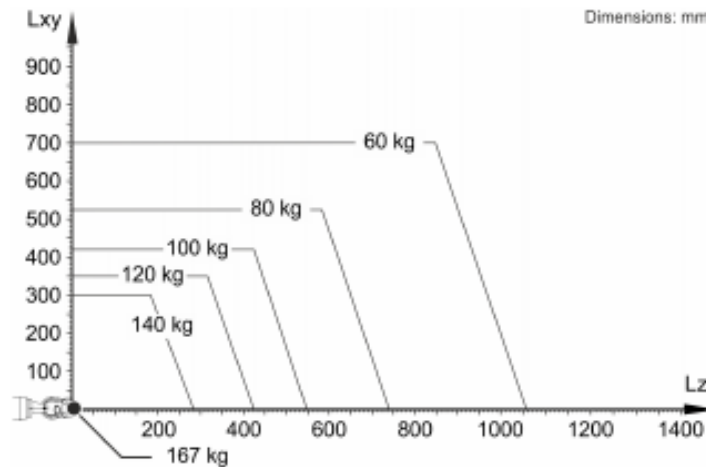


Figura 2. 5 Diagrama de carga del robot [31]

El KR 120 R2700-2 está configurado para una carga nominal de 120 kg para aprovechar de forma óptima el rendimiento y la dinámica del robot. Con intervalos de carga reducidos también se pueden aplicar cargas superiores hasta la capacidad de carga máxima.

Cada robot industrial posee para cada uno de los ejes, velocidades angulares y amplitudes diferentes, y las del modelo empleado, se muestran en la Tabla 2. 1.

Tabla 2. 1 Velocidades de los ejes del robot [31]

Ejes	Amplitud por eje	Velocidad angular
A1	$\pm 185^\circ$	120 °/s
A2	$-140^\circ/-5^\circ$	115 °/s
A3	$-120^\circ/168^\circ$	120 °/s
A4	$\pm 350^\circ$	190 °/s
A5	$\pm 125^\circ$	180 °/s
A6	$\pm 350^\circ$	260 °/s

Además, se adjuntan características relevantes o que pueden resultar de interés, como las mostradas en la Tabla 2. 2.

Tabla 2. 2 Datos técnicos del robot [31]

Datos técnicos del robot industrial	
Alcance máximo	2701 mm
Carga máxima	167 kg
Carga nominal	120 Kg
Carga adicional nominal columna giratoria/brazo de oscilación/brazo	0kg\0kg\50kg
Repetibilidad de posición (ISO 9283)	± 0,05 mm
Número ejes	6
Posición de montaje	Suelo
Superficie de colocación	754 mm x 754 mm
Peso	aprox. 1069 kg
Tipo de protección (IEC 60529)	IP65
Tipo de protección muñeca central (IEC 60529)	IP65/67
Unidad de control	KR C4
Requisitos ESD	IEC61340-5-1; ANSI/ESD S20.20

Para decidir qué tipo de robot industrial se ha escogido, se ejecutó un estudio y comparativa de las diferentes posibilidades disponibles. Para ello se realizó una mesa de contratación comparando los diferentes robots industriales y la columna de soldadura. Se evaluaron tanto las propiedades específicas, como las condiciones económicas, a través de la asignación de unos pesos ponderados en función de la importancia de las propiedades o características que se desean tener.

Tabla 2. 3 Pesos ponderados del robot industrial

CRITERIO	PESO
Sistema suficientemente robusto para trabajar en ambiente hostil	15
Resiste los pesos de la utilería que se debe emplear	15
Tamaño y alcance adecuados	15
Posibilidad de curso formativo	5
Elementos de seguridad necesarios	20
Garantía, mantenimiento y asistencia técnica.	10
Manejo y programación del robot	10
Velocidad y potencia del robot	10

Una vez que se atribuyen las valoraciones, y se realiza el sumatorio, tal y como se puede ver en el ANEXO 2, se observa que la opción acertada y la que mejor ponderación tiene, es la del robot industrial KUKA.

Tabla 2. 4 Elección del robot industrial

FABRICANTE	SUMATORIO	PESOS FINALES
ABB:	87 + 98	185
KUKA:	93 + 93	186
Yaskawa	85 + 100	185
SoldaElectric:	75 + 64	139

Base del robot

Para la base del robot industrial, se mecanizó una placa de acero de 35 mm, operando de forma que se ajuste a las dimensiones que proporciona el fabricante del robot, necesarias para el anclaje del mismo sobre el hormigón del taller (\varnothing 1250 mm) [32]. Esta opción de cimentación se escoge siguiendo las pautas establecidas en el manual de especificaciones del robot KUKA, al querer fijar el robot sobre la superficie de hormigón del taller, empleando para ello la plancha de acero con el fin de soportar holgadamente las fuerzas y tensiones que se pudieran producir en las distintas aplicaciones para las que pueda ser destinado el robot en un futuro, ligadas al peso y las trayectorias que se puedan dar. Es la opción que mayor estabilidad y supresión de vibraciones ofrece para el anclaje del robot.

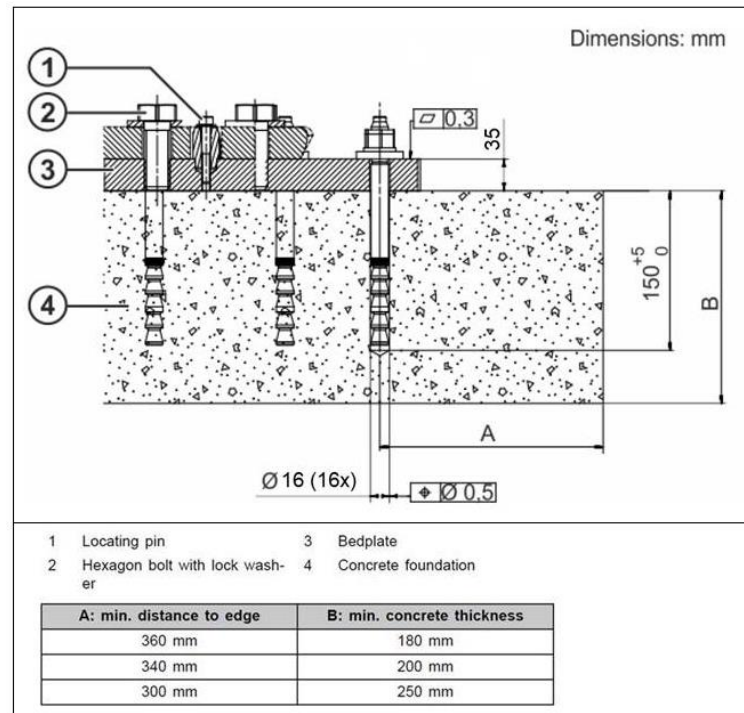


Figura 2. 6 Anclaje de la base del robot [32]

2.2.- LÁSER DE SOLDADURA

El láser que se ha escogido en este proyecto se trata de un láser la marca IPG Photonics, con una potencia de 1 a 30 KW, perteneciente a la serie YLS-C (T). El dispositivo láser cumple con la clase 4 de láser reflejada en IEC 60825-1 [33]. Se ha escogido este tipo de láser, debido a que es el único en el mercado que llega a estos niveles de potencia. De hecho, se trata del primer láser de estas características que se instala en el territorio nacional.



Figura 2. 7 Láser IPG [33]

Este láser, a su vez, consta de los siguientes complementos:

- Monitor de soldadura [LDD-700]
- Cabezal de soldadura [D50]
- Torre de refrigeración (Chiller) [LC 340.01-A.3.5/6]



Figura 2. 8 Complementos del láser IPG [33]

El resto de características técnicas se pueden consultar en el ANEXO 1.

2.3.- MÁQUINA DE SOLDADURA GMAW

La máquina de soldadura escogida para este proyecto, es una máquina de soldadura por arco con electrodo metálico protegida con gas (abreviada como soldadura GMAW) en la que la fusión se produce por un arco establecido entre el extremo de un electrodo consumible y la pieza a soldar. La protección se obtiene de los gases suministrados simultáneamente con el metal de aporte. En este caso se trata de una máquina de la marca EWM, modelo TITAN XQ R 500 PULSE D., la cual ya estaba en propiedad de la empresa con anterioridad a este proyecto, por lo que no supone un gasto a tener en consideración [34]. A su vez, esta máquina está compuesta por diferentes componentes:

- Alimentador de hilo Titan Drive XQ
- Control remoto RC XQ Expert 2.0
- Control L1.04 - Expert XQ 2.0
- Fuente de alimentación TITAN XQ R 500 PULS D
- Antorcha semiautomática



Figura 2. 9 Máquina de soldadura EWM [34]

Los datos técnicos de esta máquina se pueden consultar en el ANEXO 1.

2.4.- HERRAMIENTA DE TRABAJO

Como se ha descrito con anterioridad, al tratarse de un proceso de soldadura híbrida, se emplean dos sistemas de forma complementaria para realizar las tareas de soldadura necesarias. Estos dos sistemas son la máquina GMAW y el láser industrial. Para la consecución del trabajo conjunto de ambas máquinas, se ha de mecanizar un soporte que pueda dar cabida a ambas máquinas de forma segura y eficiente.

Soporte de la herramienta de trabajo

Para albergar ambos sistemas, se procedió a diseñar un soporte en la propia empresa, que les permitiese operar de forma conjunta. Debe soportar el peso del cabezal láser, además de la antorcha de la máquina GMAW.

Atendiendo a las dimensiones disponibles, los pesos requeridos, y las propiedades necesarias, se diseña y modifica toda la estructura del soporte hasta lograr su forma final, tal y como se muestra a continuación.

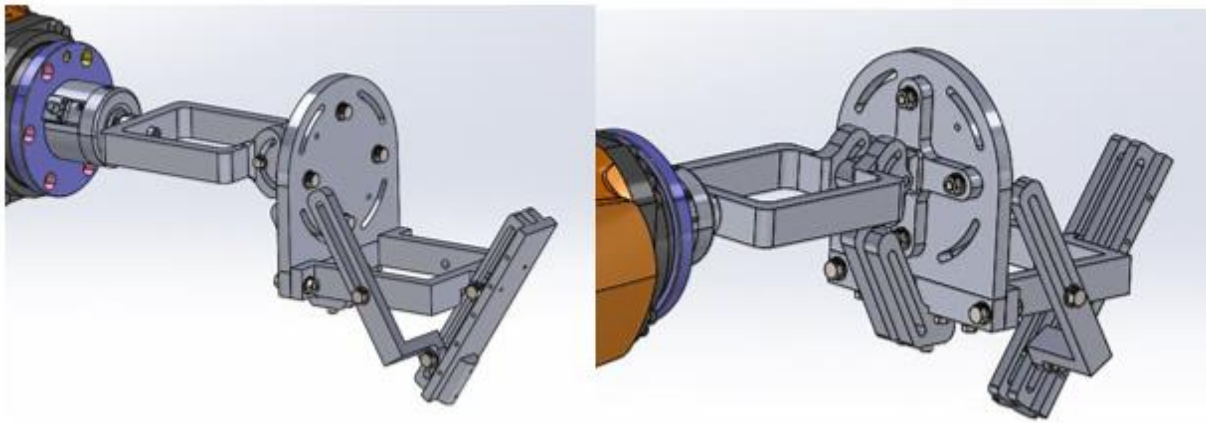


Figura 2. 10 Soporte del cabezal

El soporte está diseñado atendiendo a la existencia del cabezal del láser, la antorcha GMAW, el alimentador de hilo de soldadura, el soporte de la cámara que irá acoplado al cabezal, y el dispositivo anticollisiones CAT3. El montaje de todos los sistemas en el soporte final, se puede apreciar en las Figura 2. 11 y Figura 2. 12.

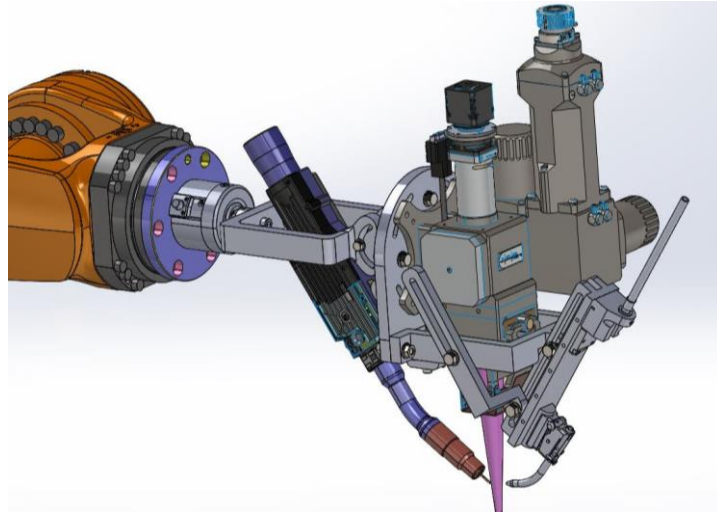


Figura 2. 11 Sistema de herramientas de soldadura montadas en el cabezal (1)

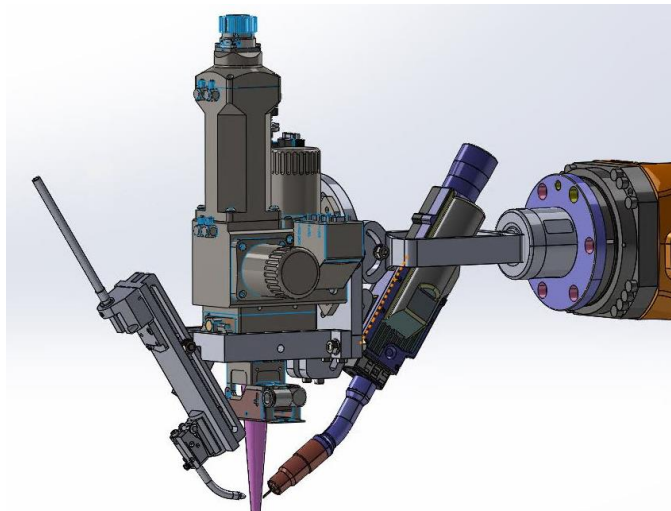


Figura 2. 12 Sistema de herramientas de soldadura montadas en el cabezal (2)

2.5.- ESTRUCTURA DE LA CABINA

Atendiendo al espacio reservado en el taller para la instalación de la celda robotizada, se valoraron diferentes posibilidades para la contratación de la estructura de paneles, techo y puerta que conforman la cabina. Además de que cumpliesen con las dimensiones adecuadas, también se buscó que cumpliesen con los parámetros de seguridad en relación a las radiaciones láser, problemas asociados al ruido, resistencia a fallos de naturaleza eléctrica o térmica, y demás valores y propiedades que se consideraron necesarios para el correcto cumplimiento de las normativas de seguridad de la célula de soldadura.

Después de valorar diferentes ofertas, con diferentes características y presupuestos, se optó por la empresa Axelent, la cual suministró paneles modulares metálicos de lana de roca tipo DP5, de forma rectangular, con dimensiones 5700 x 3880 mm, con una altura total exterior de 3250 mm, dejando una altura interior de 3000 mm. También, la oferta consta de una puerta metálica batiente doble ciega de dos hojas, además del techo completo, formado por falso techo, estructura de tubo galvanizado y chapa grecada. Asimismo, permite la instalación de un cierre de seguridad en puerta, lo cual será necesario, tal y como se verá en el estudio de riesgos. Las prestaciones de los paneles sándwich DP5 se pueden consultar en el ANEXO 1.

Para justificar la elección de este tipo de estructura, se realizó una mesa de contratación, similar a la del robot industrial, para justificar cuál de todas las opciones posibles era la más adecuada. Se puede consultar con mayor detalle en el ANEXO 2.

Tabla 2. 5 Pesos ponderados de la estructura de la celda de seguridad

CRITERIO	PESO
Sistema suficientemente robusto para trabajar en ambiente hostil	15
El material resiste las emisiones láser sin degradación	10
Incorporación de un panel de acceso y un bloqueo de seguridad	10
Posibilidad de instalación por parte de la empresa ofertante	5
Protección frente a las diferentes radiaciones	15
Facilidad de montaje y desmontaje	10
Aislamientos acústico adecuado	5
Acceso a la celda de seguridad suficientemente amplio	10
Extracción de humos	5
Dimensiones adecuadas	5
Perfilería de los postes adecuada	10

Una vez que se atribuyen las valoraciones, y se realiza el sumatorio, tal y como se puede ver en el ANEXO 2, se observa que la opción acertada y la que mejor ponderación tiene, es la de la empresa AXELENT.

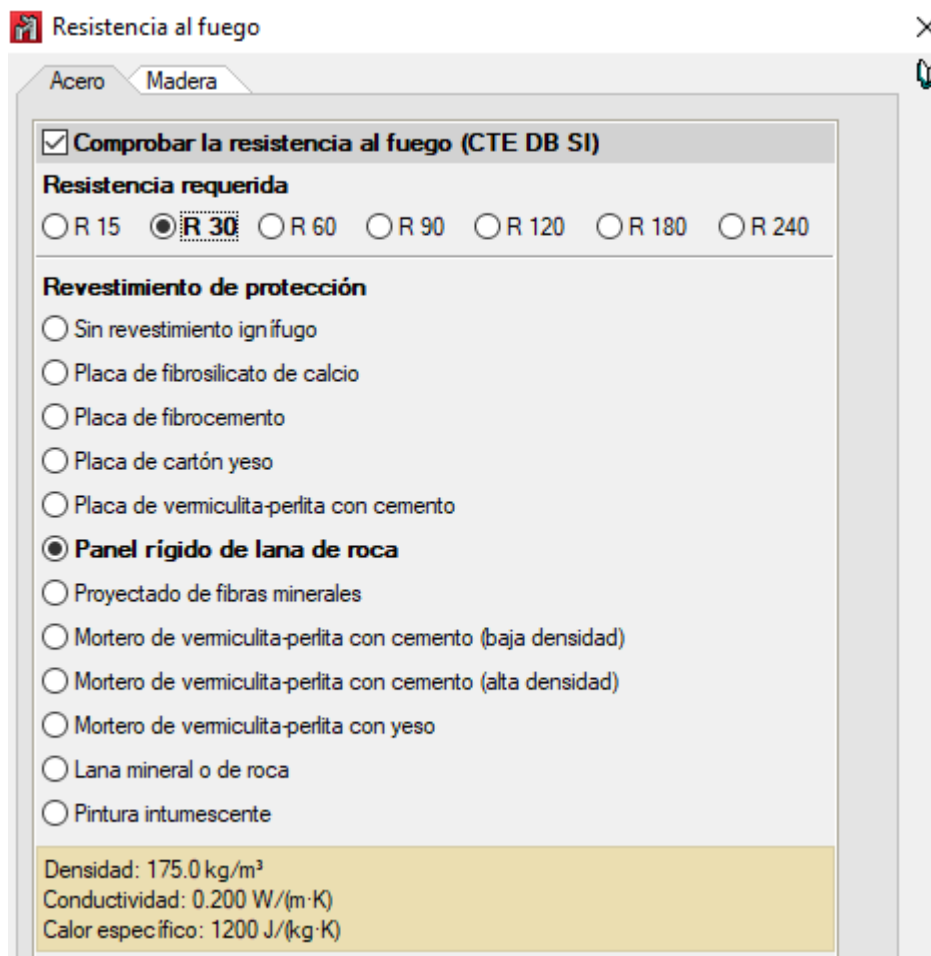
Tabla 2. 6 Elección de la estructura de la celda de seguridad

FABRICANTE	SUMATORIO	PESOS FINALES
Iberoptics:	85 + 40	125
MacSafety:	85 + 48	133
Axelent:	87 + 100	187
ZwickRoell:	81 + 21	102

2.5.1.- Ensayo

Para comprobar la estabilidad estructural de la cabina, se modeliza y se introduce en el programa CYPE Metal 3D, con el fin de observar los esfuerzos a los que estará sometida la estructura, en función de las propias fuerzas producidas por los pesos de los componentes de la misma.

Primero, se introducen las unidades y datos generales, como los materiales y características de los mismos, antes de empezar a modelizar la cabina. A su vez, se establece la comprobación de la resistencia al fuego, ya que en el interior de la cabina se producirán procesos con riesgo de incendios. En este caso, como se ha comentado anteriormente, se disponen de paneles rígidos de lana de roca.



Resistencia al fuego

Acero Madera

Comprobar la resistencia al fuego (CTE DB SI)

Resistencia requerida

R 15 R 30 R 60 R 90 R 120 R 180 R 240

Revestimiento de protección

Sin revestimiento ignífugo

Placa de fibrosilicato de calcio

Placa de fibrocemento

Placa de cartón yeso

Placa de vermiculita-perlita con cemento

Panel rígido de lana de roca

Proyectado de fibras minerales

Mortero de vermiculita-perlita con cemento (baja densidad)

Mortero de vermiculita-perlita con cemento (alta densidad)

Mortero de vermiculita-perlita con yeso

Lana mineral o de roca

Pintura intumescente

Densidad: 175.0 kg/m³
Conductividad: 0.200 W/(m·K)
Calor específico: 1200 J/(kg·K)

Figura 2. 13 Comprobación de resistencia al fuego

Además, se decide no introducir ninguna carga adicional a parte del peso propio de la estructura, debido a que la cubierta de la cabina ni será transitable, ni estará sujeta a recibir la carga de ningún objeto ni elemento, al localizarse en el interior del taller de la empresa.

En segundo lugar, se introducen las longitudes de la cabina, y la localización de los nudos que delimitan los diferentes componentes que conforman los postes y las paredes de la estructura, y se describe el tipo de apoyo que tienen estos elementos, que en este caso serán apoyos empotrados.

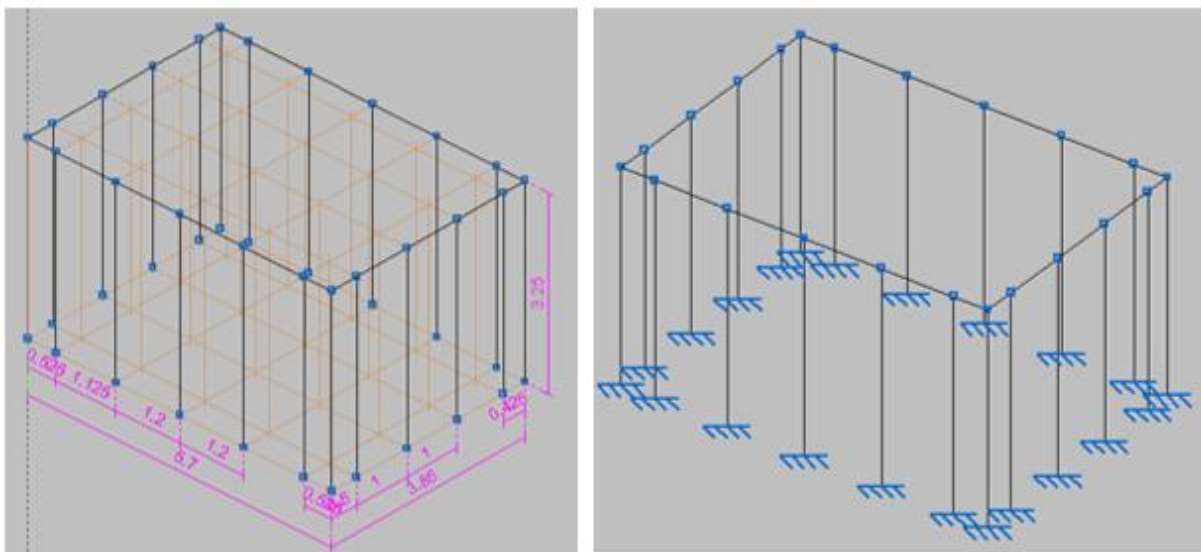


Figura 2. 14 Dimensiones y localización de los nudos

En tercer lugar, se eligen los perfiles de estos elementos. Debido a que no se disponen dentro de los listados introducidos en CYPE, se crean modificando las dimensiones, la forma de los perfiles, y el tipo de material.

En cuarto lugar, se representan los perfiles tubulares que sustentan la placa metálica que forma el techo. A su vez, también se define el tipo de apoyos, que también será de tipo empotrado, y se sitúan en las localizaciones correspondientes.

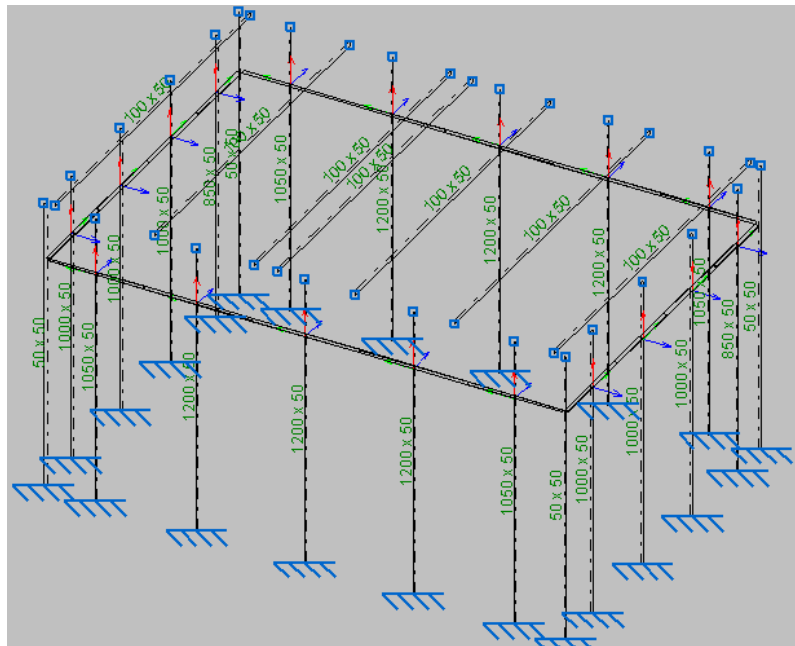


Figura 2. 17 Colocación de los perfiles tubulares

En la figura siguiente, se puede apreciar una representación 3D de los perfiles y la estructura vertical de la celda.

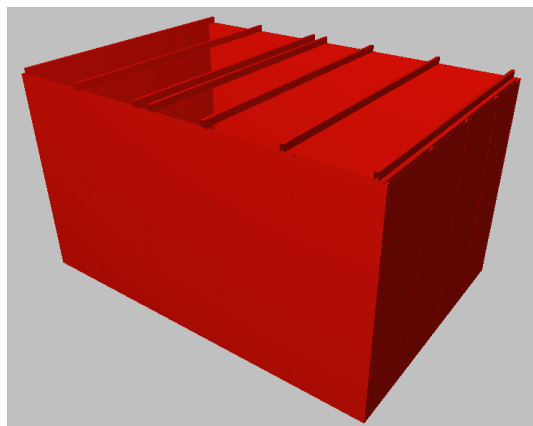


Figura 2. 18 Vista 3D de la estructura de la celda

En quinto lugar, se define la placa metálica que sirve como techo, y se acopla a la estructura ya existente, creando el montaje final que representa la cabina de soldadura en su totalidad.

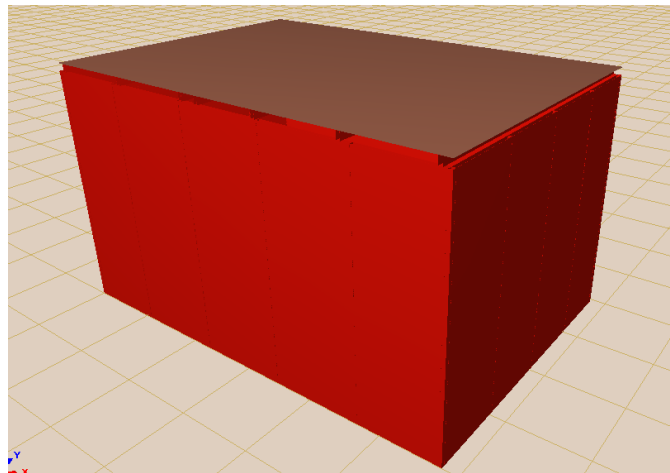


Figura 2. 19 Representación total de la estructura de la cabina

Por último, solo queda verificar las diferentes comprobaciones. Por un lado, se asegura que todos los elementos cumplen con las solicitaciones y esfuerzos existentes en el montaje, como se puede ver en la Figura 2. 20

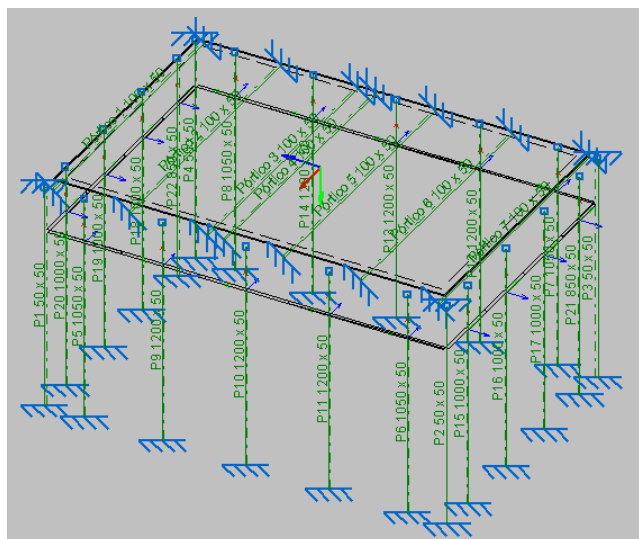


Figura 2. 20 Verificación de los elementos

También se verifican las comprobaciones a E.L.U., y tal y como se muestra en la Figura 2. 21, se cumplen las solicitaciones en su totalidad para todos los elementos de la cabina.

Comprobaciones E.L.U. (Barra)

Estado	Tipo	Comprobación
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✓ Cumple	Resistencia a temperatura ambiente	Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)
✓ Cumple	Resistencia al fuego	Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se cumplen todas las comprobaciones.

Figura 2. 21 Comprobaciones E.LU.

Otras comprobaciones que se realizan por ejemplo, son los desplazamientos existentes, los esfuerzos y momentos, y las reacciones en los apoyos, para verificar que dan unos valores acorde al sistema que se representa. Como se puede apreciar en las Figura 2. 22, Figura 2. 23 y Figura 2. 24 son valores normales y asumibles.

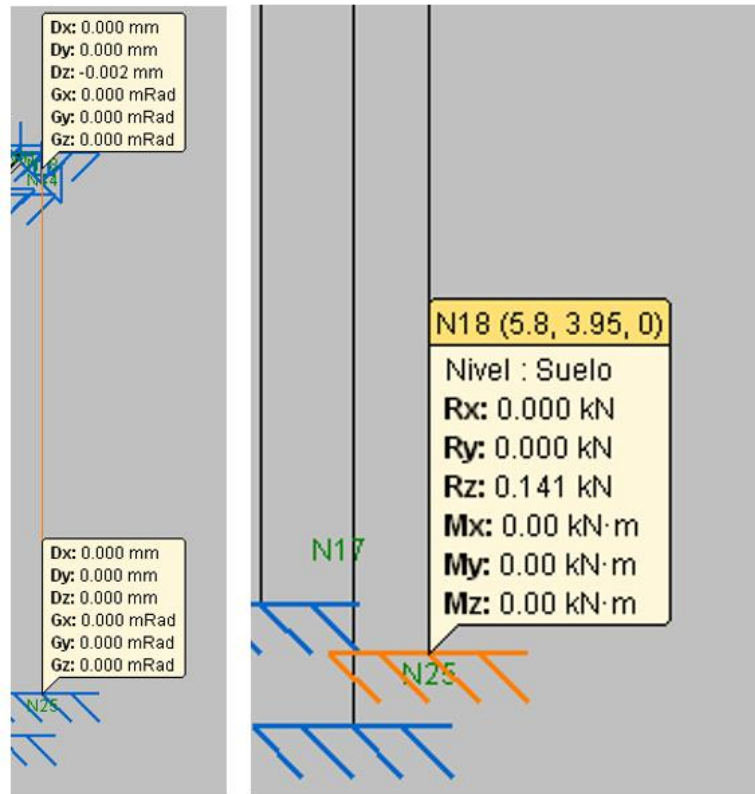


Figura 2. 22 Desplazamientos y esfuerzos en los apoyos

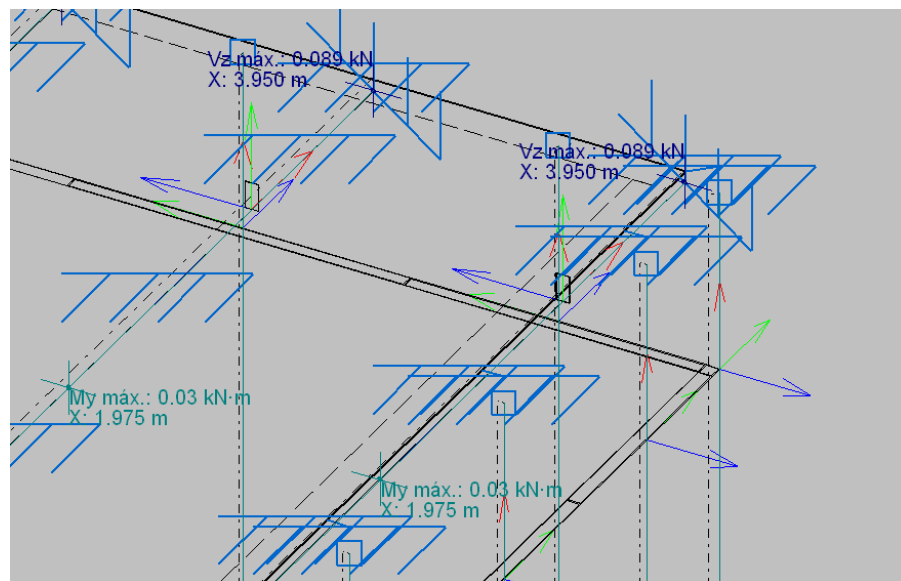


Figura 2. 23 Esfuerzos y momentos en vigas

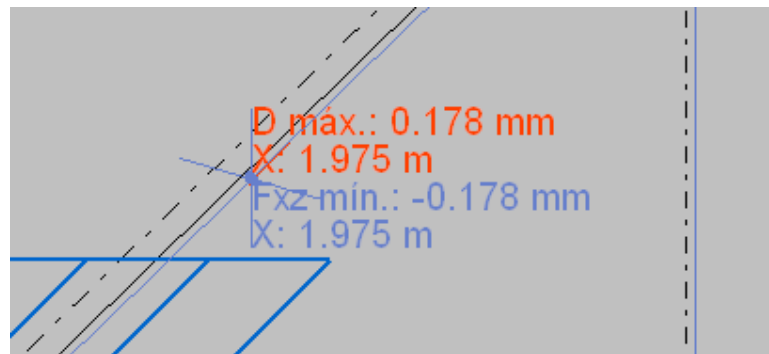


Figura 2. 24 Desplazamiento y flecha de las vigas en el punto más crítico

Por último, en la Figura 2. 25 se muestran los desplazamientos de la cubierta en los diferentes puntos de su superficie, donde se muestran valores y localizaciones acordes al peso y dimensiones de los materiales.

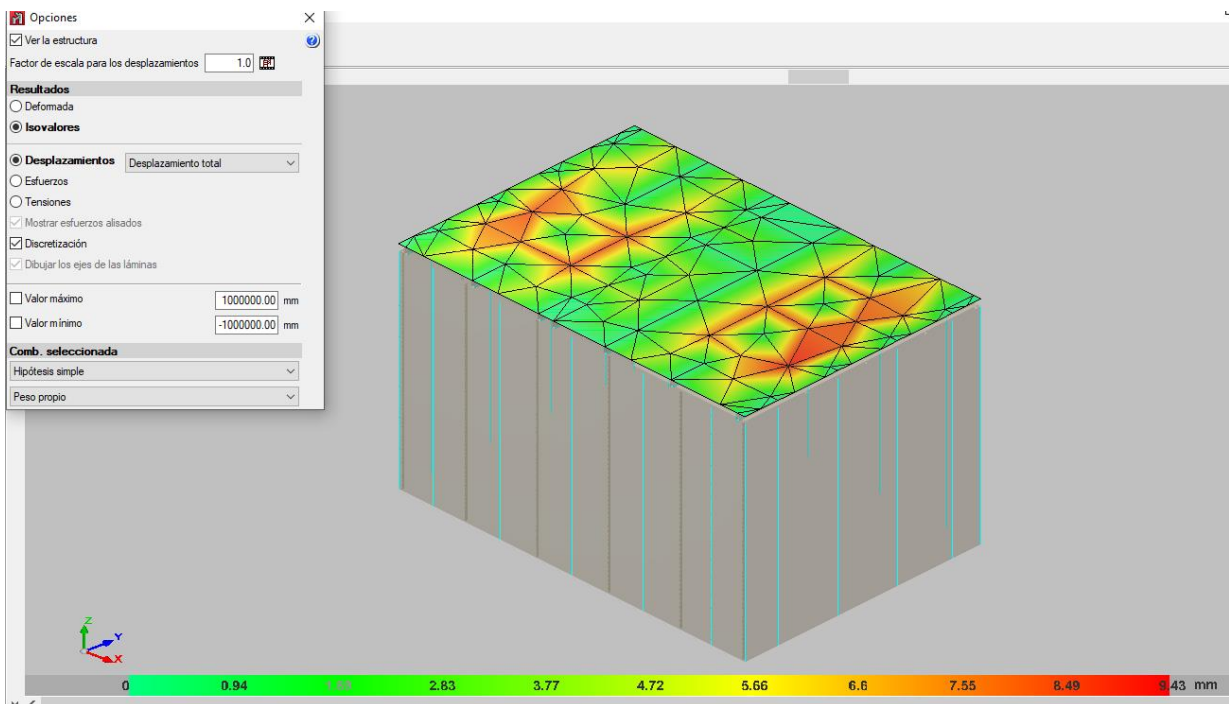


Figura 2. 25 Valores de desplazamiento de la cubierta

3.- ESTUDIO DE RIESGOS

Se procede a realizar un análisis de riesgos de la celda de soldadura robotizada objeto de estudio, partiendo de un diseño preliminar, todo ello de acuerdo con las normas armonizadas:

1. UNE-EN ISO 12100:2012 [23]. Seguridad de las máquinas - Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.
2. UNE-EN ISO 13849-1:2016. [24] Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño.
3. UNE-EN ISO 62061:2005 [29]. Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relativos a la seguridad.

Las etapas que se deben seguir para realizar un correcto estudio de riesgos son las siguientes [23]:

- Evaluación de los riesgos.
 - Análisis de los riesgos.
 - Determinación de los límites de la máquina.
 - Identificación de peligros.
 - Estimación del riesgo.
 - Valoración de riesgos
- Reducción de riesgos.

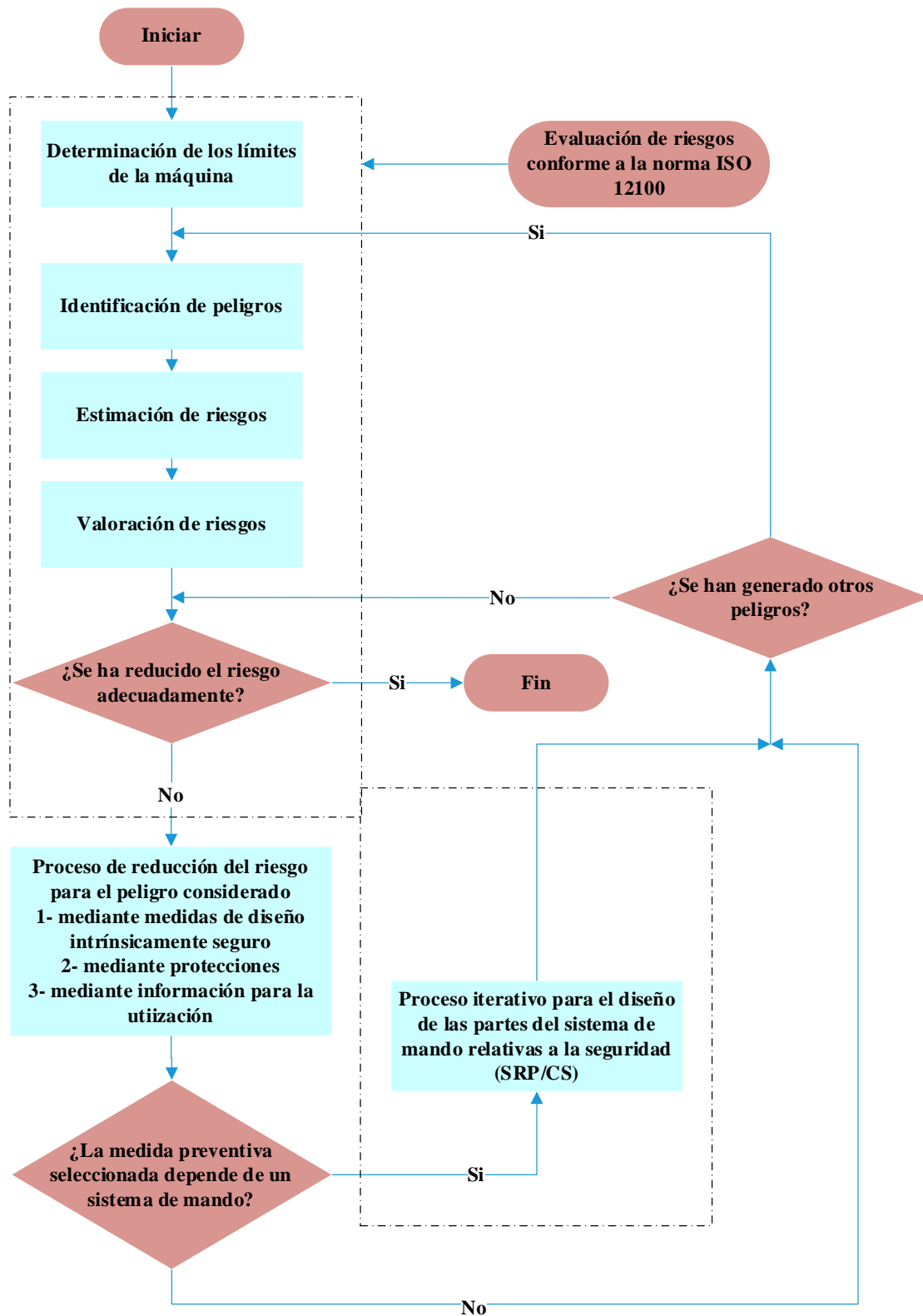


Figura 3. 1 Estructura del estudio de riesgos según norma UNE 13849-1

3.1.- EVALUACIÓN DE RIESGOS

3.1.1.- Análisis de riesgos

- Determinación de los límites de las máquinas

En esta etapa, se determinan los límites de las diferentes máquinas que componen el sistema de soldadura, es decir, determinación de las características cualitativas y cuantitativas de la máquina, así como el rango y las condiciones previstas de uso, tanto en condiciones normales, como en condiciones de primer defecto. Estos se pueden consultar en el ANEXO 3.

- Identificación de peligros

En este apartado, se procede a la identificación de los peligros o eventos peligrosos (peligros mecánicos, térmicos, eléctricos, etc...). Con los peligros identificados, se estima el riesgo asociado a cada uno de ellos, es decir, la estimación de la severidad y la probabilidad de ocurrencia de cada uno. Esto se puede consultar en el ANEXO 3.

Para ello, y con el fin de simplificar el análisis global, se divide en 4 sistemas que componen el conjunto final. Estos serán:

Tabla 3. 1 Componentes del sistema global de soldadura

Áreas de las máquinas	Designación	Descripción
Componente del sistema 1	Estructura de la cabina de soldadura	Cabina dentro de la cual se realizarán las labores de soldadura con el sistema híbrido: Láser + GMAW
Componente del sistema 2	Robot industrial	Robot de 6 ejes que se encarga de realizar los movimientos de las tareas de soldadura del sistema.
Componente del sistema 3	Láser de alta potencia	Componente del sistema de soldadura híbrida que se encarga de los procesos de mecanizado en conjunto con el sistema GMAW
Componente del sistema 4	Máquina semiautomática GMAW	Componente del sistema de soldadura híbrida que se encarga de los procesos de mecanizado en conjunto con el sistema láser

- Estimación del riesgo

Una vez identificados todos los riesgos, se debe determinar si son aceptables o no, en cuyo caso se toman las medidas de seguridad oportunas para reducir o eliminar el riesgo en cuestión. Tras la implementación de las medidas de seguridad, se evalúa nuevamente el riesgo, para así poder determinar si se han generado riesgos residuales que pudieran llegar a ser inaceptables. Para ello se deben evaluar la gravedad, la frecuencia, la duración, y la posibilidad de que el riesgo sea evitable. Esto se puede consultar en el ANEXO 3.

Se toma como referencia el esquema disponible en la norma UNE-EN ISO 13849-1:2016 [24], tal y como se muestra en la siguiente figura:

Determinación del Performance Level requerido (PL_r)

► **S – Gravedad de la lesión**

S₁ = lesión leve (normalmente reversible)

S₂ = lesión grave (normalmente irreversible), incluida muerte

► **F - Frecuencia y/o tiempo de exposición al peligro**

F₁ = Raro a bastante frecuente y/o tiempo de exposición corto

F₂ = Frecuente a continuo y/o tiempo de exposición largo

► **P - Posibilidades de evitar el peligro**

P₁ = Posible en determinadas circunstancias

P₂ = Apenas posible

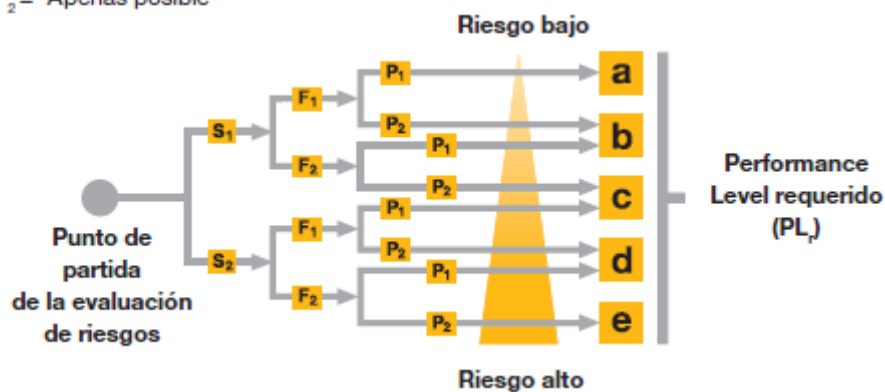


Figura 3. 2 Esquema del PLr [35]

3.1.2.- Valoración de los riesgos

Los riesgos que posean un PLr tipo “a” o “b”, se consideran riesgos residuales, por lo que no hará falta su reducción través del método, pero el resto de riesgos con categorías superiores, deben ser tratados para la reducción de su categoría en la medida que fuese posible.

3.2.- REDUCCIÓN DE RIESGOS

Para la ejecución de este último apartado, se sigue el “método de los 3 pasos”, descrito en la norma UNE-EN ISO 12100:2012 [23], el cual está compuesto por:

- Paso 1: Para los peligros que se puedan eliminar, o reducir por medio de medidas de diseño, se aplican medidas de diseño inherentemente seguro.
- Paso 2: En el caso de que durante el paso anterior no se hayan reducido los riesgos lo suficiente, se aplican medidas de protección técnica a través de la inclusión de medidas de protección complementaria.
- Paso 3: Por último, en el caso de que durante los pasos anteriores no se hayan reducido los riesgos hasta los niveles deseados, se procederá a la reducción de estos mediante la información al usuario.

Esto se puede consultar con más detalle en las tablas del ANEXO 3.

Después de haber reducido los peligros a través de medidas estipuladas en el primer paso, tales como la inclusión y verificación de estructuras intrínsecamente seguras, se procede a evaluar el resto de peligros que no han alcanzado la minimización de riesgos prevista. A estos, se les aplicarán medidas de protección técnicas y complementarias para intentar minimizar los riesgos hasta los límites requeridos.

Tal y como se puede comprobar en los manuales de las máquinas, tanto el robot, como la máquina GMAW, y el láser de alta potencia, poseen un PL de tipo d, y categoría 3, que indica que incluyen protecciones necesarias para neutralizar los peligros que pueden producir hasta dichos niveles de riesgo. No obstante, se deben implementar medidas de protección, que certifiquen que dichas máquinas pueden desempeñar las correctas protecciones de una forma eficaz.

Dichas medidas son:

- Cierre de seguridad: cierre de seguridad con bloqueo mediante fuerza de soporte, con dos pulsadores y parada de emergencia. Se colocará en el acceso de la celda de soldadura. Posee un PL de clase e, con categoría 4, por lo que asegura un nivel de protección máximo.
- Anticolisionador: dispositivo que se emplea en el plato de la muñeca del robot como pieza de conexión entre el robot y la herramienta en entornos industriales y comerciales.
- Paradas de emergencia: compuestas por las setas de emergencia de cada uno de los sistemas, además de las incorporadas en el cierre de seguridad, y en el interior de la cabina.
- Sistema PLC: sistema que se encargará de controlar toda la parte electrónica del sistema, y que garantizará el correcto funcionamiento y la seguridad necesaria de todos los sistemas, elementos de seguridad, y demás componentes de la celda.

Más adelante, en apartados posteriores se especifica de qué forma estas medidas reducen los riesgos hasta niveles tolerables y deseados.

Por último, para los peligros que aún no alcanzan los mínimos deseados después de aplicar las medidas del paso 2, se aplicará la medida del paso 3. Esta es la inclusión de información para la utilización de los sistemas. Estos riesgos, deben identificarse en dicha información, y esta, debe incluir:

- Los procedimientos operativos para la utilización de la máquina coherentes con la amplitud esperada de las personas que utilizarán la máquina o de otras personas que pueden estar expuestas a los peligros asociados a la máquina.

- Los métodos de trabajo seguro recomendados para la utilización de la máquina y los requisitos de la formación correspondiente descritos adecuadamente.

- Suficiente información, incluyendo las advertencias sobre los riesgos residuales en las diferentes fases del ciclo de vida de la máquina.

- La descripción de cualquier equipo de protección individual recomendado, incluyendo los detalles sobre la necesidad de dicho equipo y los requisitos de formación para su utilización.

Toda esta información y peligros residuales se recogen en los manuales de uso, operación e instalación de cada uno de los componentes que conforman el sistema global de la célula de soldadura híbrida.



Figura 3. 3 Ejemplos de señalización y EPIs necesarios

EPIs y señalización empleados

En este proyecto, se han de emplear varios equipos de protección individual, así como diferentes tipos de señalizaciones para reducir la posibilidad de que se puedan producir ciertos tipos de peligros. Además, debido a la naturaleza de los trabajos que se van a realizar, el entorno debe contar con un equipo de extinción de incendios. Este factor no supone ningún inconveniente, ya que el laboratorio cuenta con múltiples equipos de este tipo repartidos por todo el entorno.

Los EPIs necesarios en este caso serán:

- **Ropa de trabajo adecuada:** referido al uso de ropa condicionada adecuadamente para este tipo de labores, de forma que no pueda suponer un riesgo para el operario en el caso de que incendie, atrape, o rompa.

- Guantes termoresistentes: para evitar quemaduras o posibles lesiones derivadas de las tareas de soldadura llevadas a cabo en la celda.
- Gafas de protección láser: que protejan de un rango de longitud de onda de ente 800 y 1100 nm, para evitar daños oculares debidos a las radiaciones del láser.



Figura 3. 4 Gafas de protección láser [36]

Y la señalización empleada, además de la integrada en todas las máquinas que forman el conjunto serán:

- Señales de peligro: formadas por señales de peligro indeterminado, además de señales de peligro de radiación láser.



Figura 3. 5 Señal de peligro debida a la presencia del láser clase 4

- Señales de prohibición: habrá una señal de prohibido el paso a la celda de soldadura a todo el personal no autorizado para hacerlo.



Figura 3. 6 Señal de prohibido el paso

- Señales de obligación: constituidas por las señales de obligación de portar los equipos de protección individual necesarios, los cuales son ropa adecuada, guantes de protección, y gafas de protección láser.



Figura 3. 7 Señales de obligación de EPIs

3.3.- ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD

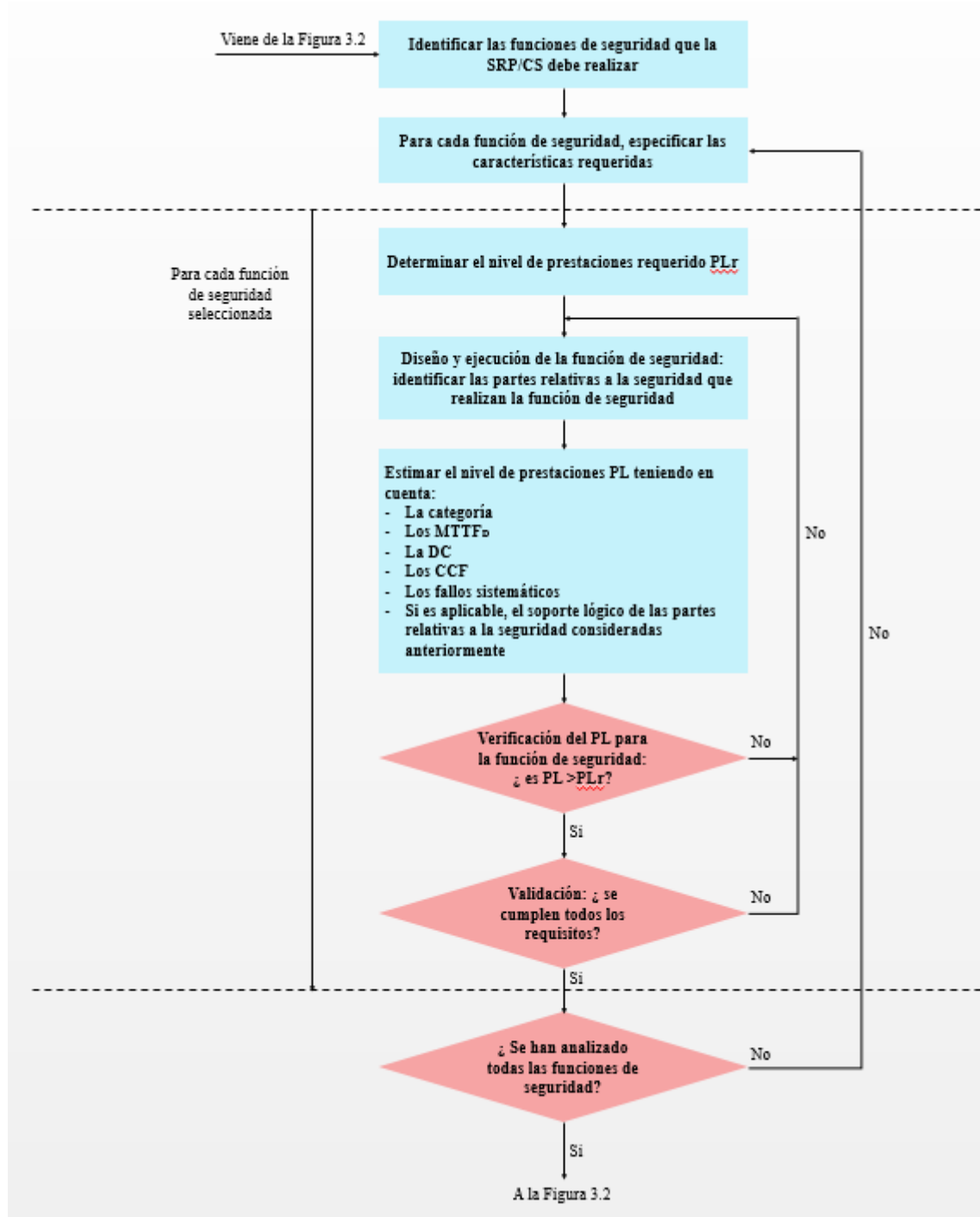


Figura 3. 8 Proceso iterativo para el diseño de las partes del sistema de mando relativas a la seguridad (SRP/CS) [24]

Siguiendo la norma, una vez que se aplican las protecciones pasivas de la celda de seguridad, se valoran los riesgos que no han reducido su nivel hasta límites deseables, con el fin de aplicar el segundo paso del proceso de reducción de peligros, el cual se corresponde a la inclusión de medidas de seguridad activas.

Tal y como se puede observar en el ANEXO 3, estos peligros son el riesgo de quemaduras y de radiación, provocados por el láser industrial, derivados de un posible encierro dentro de la cabina, además de la posibilidad de impacto del brazo robótico.

Para disminuir estos riesgos hasta límites deseables, tal y como se indica en el capítulo anterior, se decide emplear el uso de paradas de emergencia en el interior y exterior de la cabina, un cierre de seguridad, y un sistema PLC con la conexión de relés de seguridad a dichas medidas de seguridad.

El primer paso es identificar las funciones de seguridad que cumple cada una de las medidas de seguridad activas adoptadas, con ayuda de la norma [24] [23].

- Las setas de emergencia cumplen las funciones de parada de emergencia, tanto en el interior de la celda como en el exterior; y la función de seguridad del mando sensitivo del robot, debido a que este último se puede desconectar, y se precisa una parada de emergencia próxima al puesto de mando por si fuese necesario su detención debido a la extracción del mismo.
- El cierre de seguridad cumple dos funciones, la primera, corresponde al pulsador externo del cierre, y cumple la función de rearme manual del propio cierre; y la segunda, la palanca situada por la parte interior de la cabina, cumple con la función de liberación y rescate de personas, al permitir liberar el cierre de la cabina desde dentro, posibilitando una salida de esta.
- El sistema de control y seguridad supervisados por el PLC y los relés de seguridad, cumple las funciones de puesta en marcha de los diferentes dispositivos, la prevención de una puesta en marcha intempestiva de alguno de los sistemas, la función de la selección de diferentes modos de mando de cada uno de los diferentes

componentes, y el control de la parametrización de valores de entrada relativos a la seguridad.

El segundo paso, una vez detectadas todas las funciones de seguridad que se deben cumplir, se debe determinar el nivel de prestaciones (PL). Para ello se hace uso del software SISTEMA.

Con este programa, se introducen las funciones de seguridad que se presentan en el proyecto, con los subsistemas que forman las medidas de protección de las mismas. Primero se estima el PLr de cada función de seguridad.

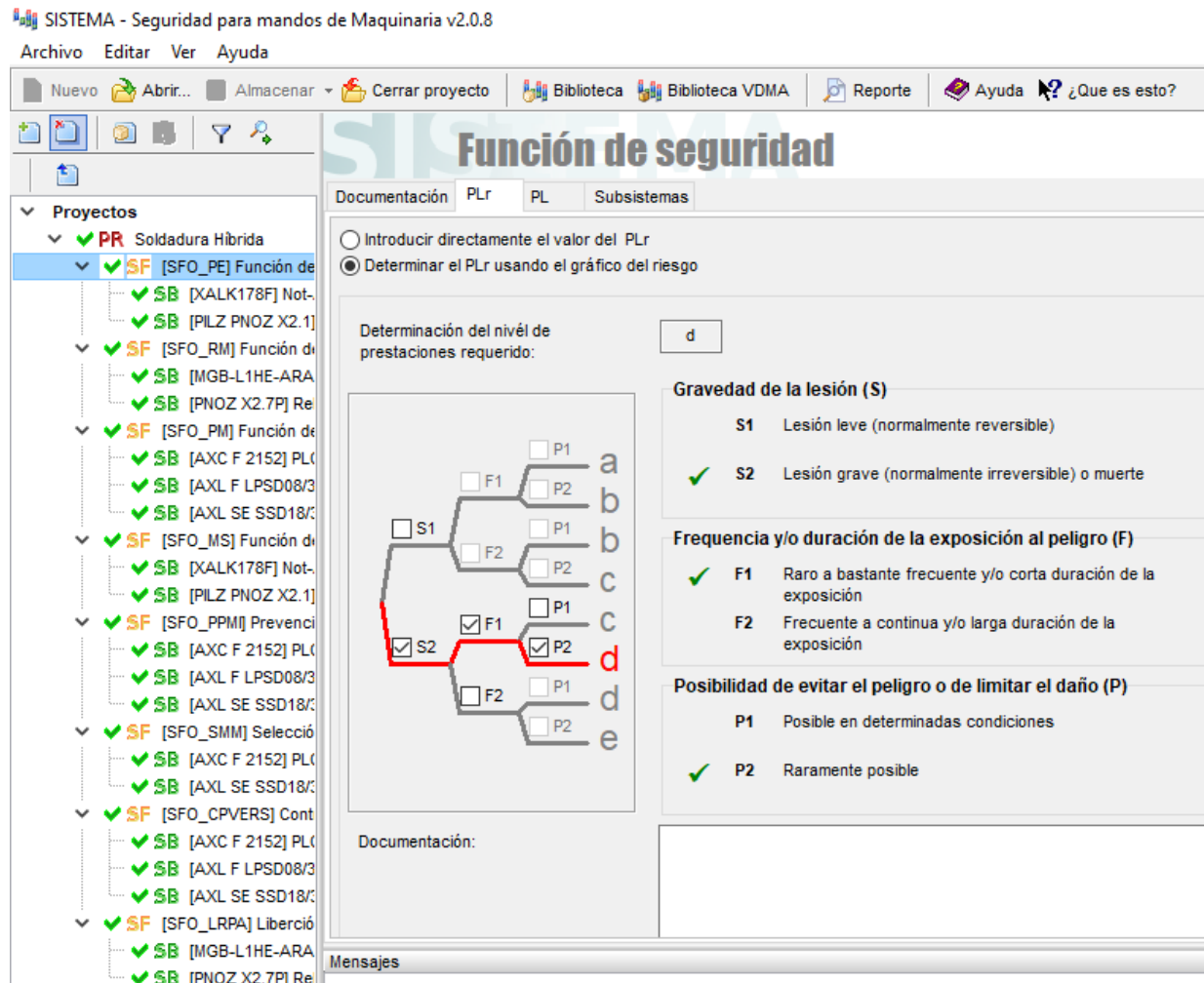


Figura 3. 9 Estimación de PLr de las funciones de seguridad

En segundo lugar, se introducen los subsistemas que forman cada medida de seguridad, y dentro de cada uno, se precisa la introducción del nivel de prestación (PL) que proporciona el fabricante, además de la probabilidad media de fallo peligroso por hora (PFHD), y el tiempo de utilización del componente.

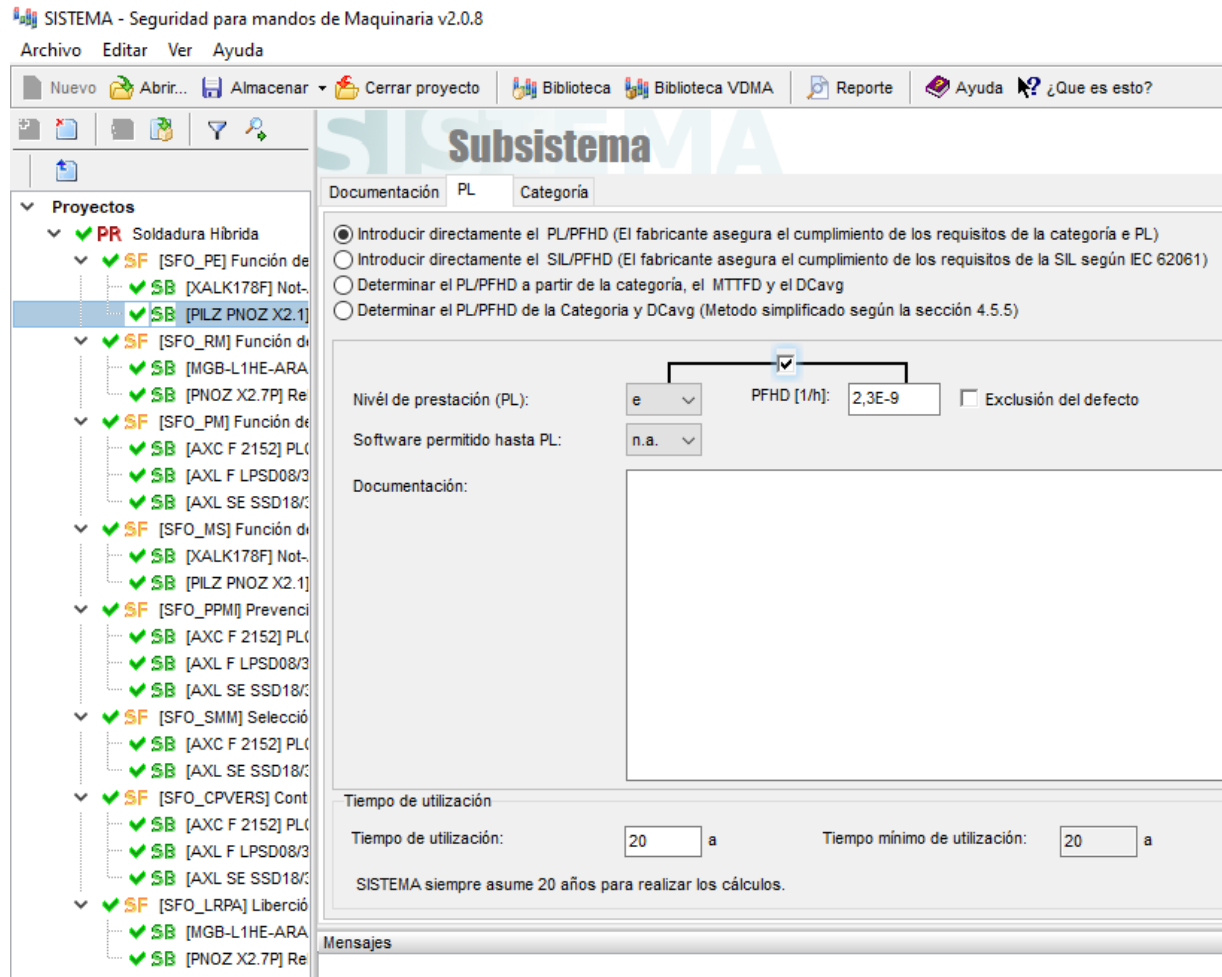
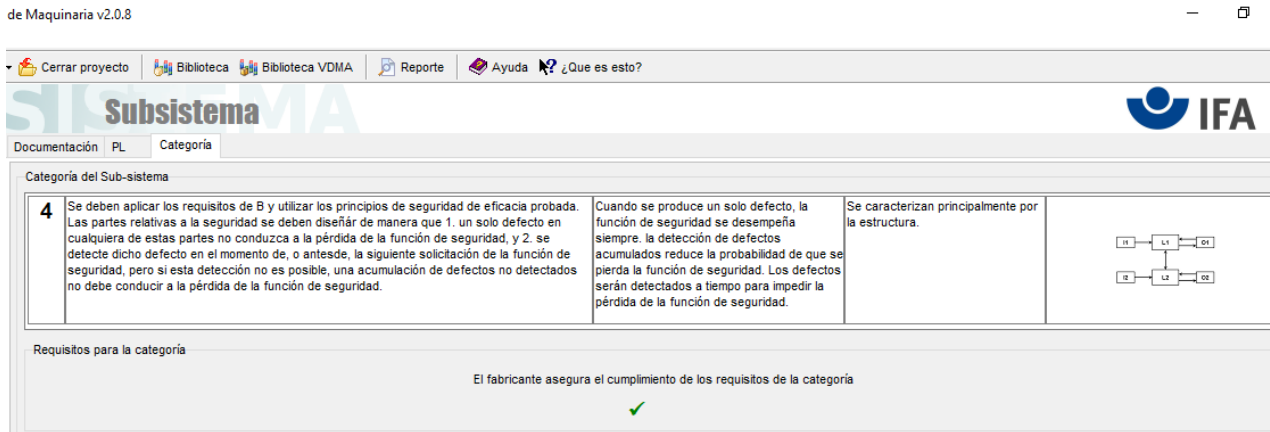


Figura 3. 10 Introducción de los parámetros PL y PFHD

Además, se necesita introducir la categoría del subsistema, también disponible en la documentación del fabricante de cada componente.



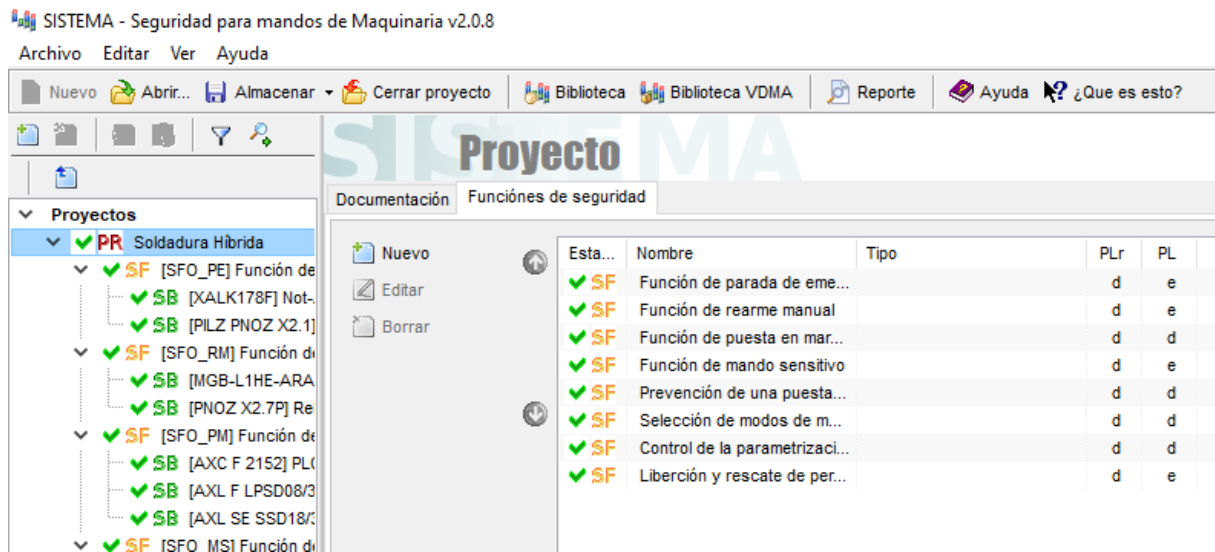


Figura 3. 13 PLr y PL de las funciones de seguridad

El tercer paso, consiste en verificar que todas las funciones de seguridad se satisfacen correctamente, como es el caso, por lo que se finaliza el proceso iterativo de la Figura 3. 8, para volver al esquema general de la Figura 3. 1.

Una vez que se satisfacen todos estos puntos, se concluye el estudio de riesgos del proyecto del presente documento.

4.- ESTUDIO DE MERCADO

4.1.- CONTEXTUALIZACIÓN

Este proyecto, de una celda robotizada de soldadura híbrida: láser + GMAW, va dirigido principalmente a las industrias de torres eólicas offshore, astilleros navales, o cualquier sector industrial que precise la unión de aceros al carbono de bajo límite elástico con gran espesor, como la calderería pesada o el sector “Oil & Gas”.

Presentación de la empresa

Antes de delimitar el mercado en el que se encuentra enmarcada la empresa, se procede a recoger las principales características de la actividad empresarial. Dicha información se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 4. 1 Información de la empresa

Nombre	Idonial Centro Tecnológico - ITMA Foundation
Dirección	Parque Empresarial PEPA C/ Calafates, Parcela L-3.4
Población	33417 Avilés
Provincia	Asturias
Actividad	Desarrollo de proyectos tecnológicos y de innovación
CNAE	7219
Facturación	Entre 3.000.001 y 6.000.000€
Personal	160 empleados
Delegaciones	Gijón, Llanera, Madrid

Definición del objeto de estudio

El propósito del presente estudio es crear una visión global sobre las posibilidades, riesgos y oportunidades que se pueden presentar a la hora de intentar comercializar el producto desarrollado.

Para ello, es necesario conocer diferentes parámetros, tales como el impacto que puede generar, los sectores a los que puede ir dirigido, los posibles clientes a los que puede ir destinado, o los posibles competidores que puedan surgir durante el proceso.

4.2.- ANÁLISIS DE LA DEMANDA

4.2.1.- Delimitación geográfica del mercado

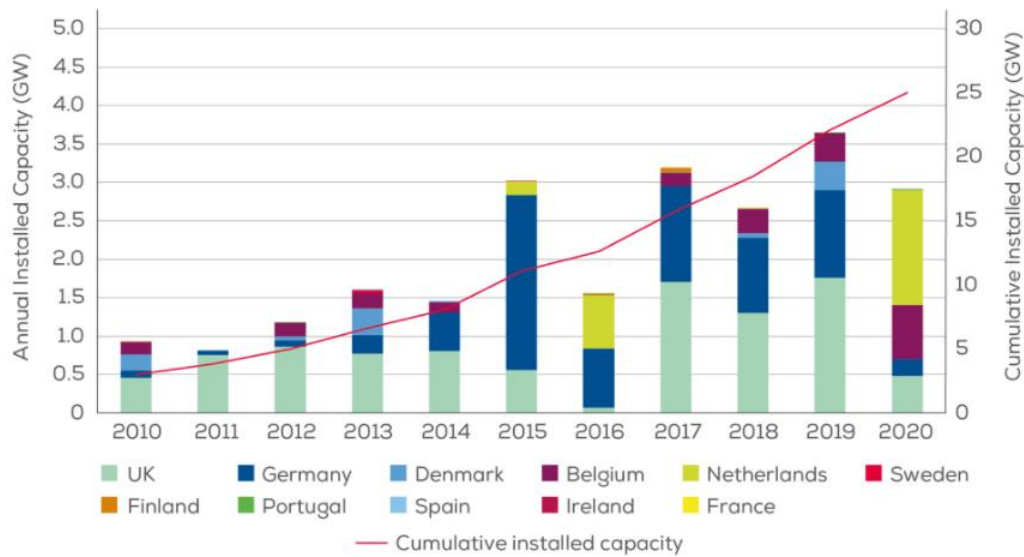
Este proyecto está destinado para el mercado nacional, pudiendo ampliar la oferta al mercado europeo, para todas aquellas empresas relacionadas con los sectores descritos previamente. Aunque el proyecto pueda resultar más atractivo para empresas del ámbito local, se pretende ofertar a niveles superiores por la innovación que supone el propio proyecto en materia de soldadura de grandes espesores.

4.2.2.- Contexto económico sectorial

El mercado europeo, en los últimos años, presenta un claro crecimiento en la capacidad de potencia eólica offshore instalada, debido en gran parte a la necesidad de reducir las emisiones de carbono en el sector energético, además del aumento en la eficiencia de las turbinas eólicas [37]. Esto se puede observar en las siguientes figuras.

FIGURE 1

Annual offshore wind installations by country (left axis) and cumulative capacity (right axis)

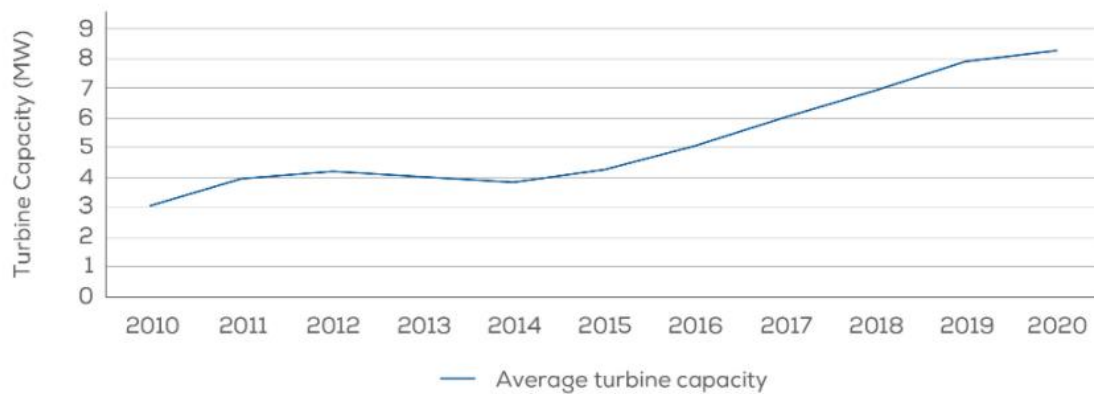


Source: WindEurope

Figura 4. 1 Capacidad instalada en Europa en los últimos años de instalaciones eólicas offshore [37]

FIGURE 6

Yearly average of newly installed offshore wind turbine rated capacity (MW)



Source: WindEurope

Figura 4. 2 Crecimiento de la capacidad de las turbinas eólicas instaladas en los últimos años [37]

Además, la inversión financiera y económica mostrada por este sector en los últimos años hace prever que la fabricación de torres eólicas irá en aumento.

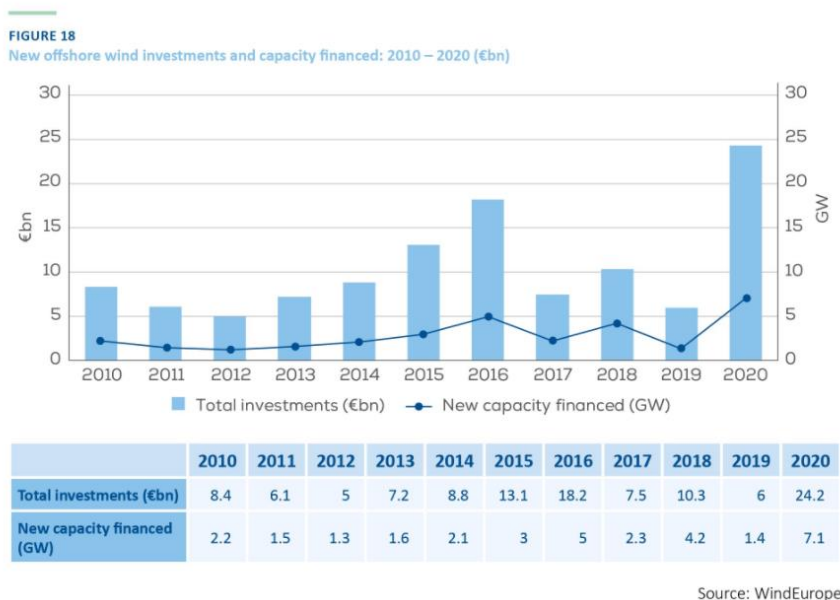


Figura 4. 3 Inversión y capacidad financiada en el sector eólico offshore en los últimos años [37]

Dentro de las turbinas eólicas offshore, existen diferentes tipos según la base o el cimiento utilizado para la fijación al fondo marino (Figura 4. 4), y tal y como se muestra en la Figura 4. 5, podemos observar el tipo de turbina y de cimiento utilizado en las instalaciones realizadas en el último año, donde el tipo “Monopile” destaca siendo el utilizado en 7 de las 9 instalaciones que han sido conectadas a la red en Europa en el año 2020, y en 4 de las 6 construidas aún pendientes de conectar. Este tipo de estructura es la que mayores espesores requiere, por lo que es un mercado ideal para la concordancia con este proyecto.

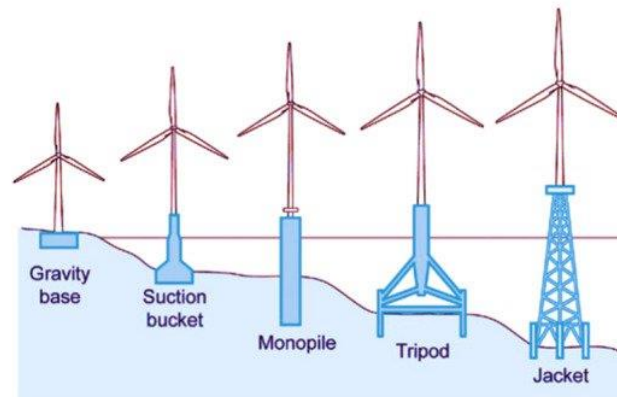


Figura 4. 4 Tipos de bases de estructuras eólicas offshore [38]

COUNTRY	WIND FARM	CAPACITY CONNECTED IN 2020 (MW)	NUMBER OF TURBINES CONNECTED	TURBINE MODEL	TYPE OF FOUNDATION	STATUS ³
Netherlands	Borssele 1&2	752	94	SG 8.0-167 DD	Monopile	●●●●●
	Borssele 3&4	722	76	V164-9.5 MW	Monopile	●●●●●
	Borssele 5	19	2	V164-9.5 MW	Monopile	●●●●○
Belgium	Seamade	487	58	SG 8.4-167 DD	Monopile	●●●●●
	Northwester 2	219	23	V164-9.5 MW	Monopile	●●●●●
UK	East Anglia One	483	69	SWT-7.0-154	3-Legs Jacket	●●●●●
Germany	EnBW Albatros	112	16	SWT-7.0-154	Monopile	●●●●●
	Trianel Wind-park Borkum 2	101	16	Senvion 6.2M152	Monopile	●●●●●
Portugal	Windfloat Atlantic	17	2	V164-8.4 MW	Semi-Sub	●●●●●

Source: WindEurope

TABLE 3
Wind farms under construction in 2020 but not yet grid-connected

COUNTRY	WIND FARM	FOUNDATIONS INSTALLED IN 2020	TOTAL NUMBER OF FOUNDATIONS	TURBINE MODEL	TYPE OF FOUNDATION
Netherlands	Fryslan	89	89	SWT-DD-130 4.4 MW	Monopile
UK	Hornsea Two	29	165	SG-8.0-167 DD	Monopile
	Moray East	100	100	V164-9.5 MW	Jacket
	Kincardine	1	5	V164-9.6 MW	Semi-Sub
	Triton Knoll	90	90	V164-9.5 MW	Monopile
Denmark	Kriegers Flak	72	72	SG 8.4-167 DD	Monopile

Figura 4. 5 Instalaciones eólicas offshore conectadas y pendientes de conectar a la red eléctrica en 2020 [37]

En cuanto a la industria naval, tal y como se puede consultar en el informe anual de 2019 de Pymar [39], en Europa, el sector naval sigue una tendencia ascendente, alternando los diferentes subsectores que abarca este sector, en función de las necesidades que se presenten cada año.

Solo en Europa, durante el año 2019 se produjeron 346 nuevas contrataciones, con una cartera de 936 nuevos pedidos, lo que supone un incremento del 2.3% interanual. Dentro del continente, España se sitúa entre los países que mayor progresión y estadísticas presenta, tal y como se puede observar en la Figura 4. 6.



Figura 4. 6 Estadísticas de España del crecimiento del sector naval en 2019 [39]

En la Figura 4. 7 y Figura 4. 8 se pueden observar la evolución de las contrataciones y de la cartera de pedidos del sector naval en Europa, percibiendo que en los últimos 5 años la tendencia es ascendente, y en comparación los últimos 10 años, aunque la media venía en una progresión descendente, se observa un aumento significativo, por lo que al tratarse de una industria con una curva positiva, donde se emplean procesos de soldadura para planchas de acero de grandes espesores, puede considerarse un nicho adecuado e interesante para el proyecto que se está desarrollando.

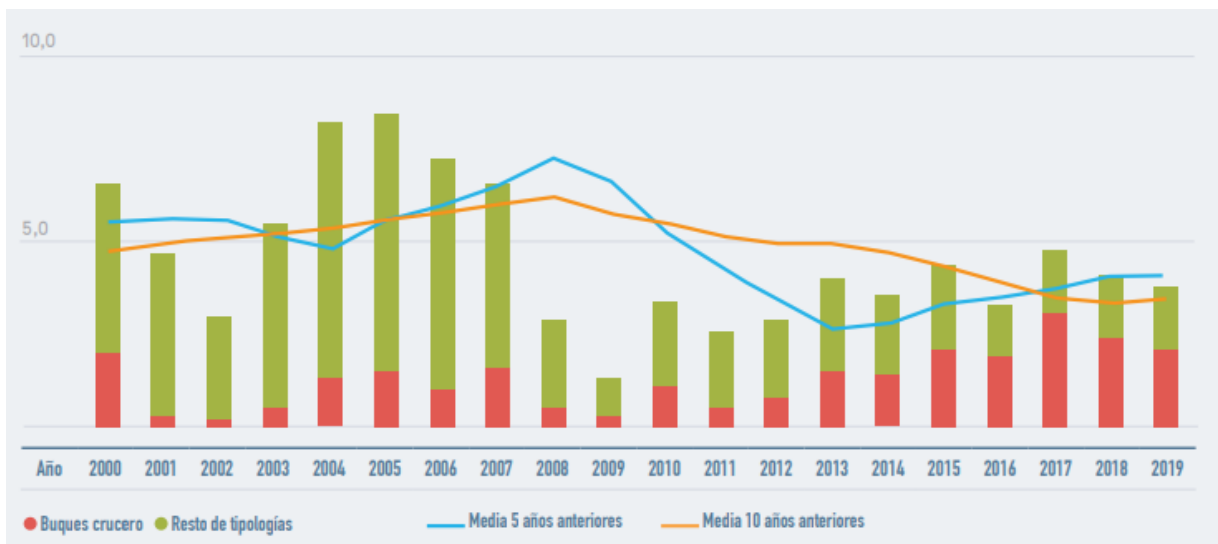


Figura 4. 7 Evolución de las contrataciones navales en Europa [39]

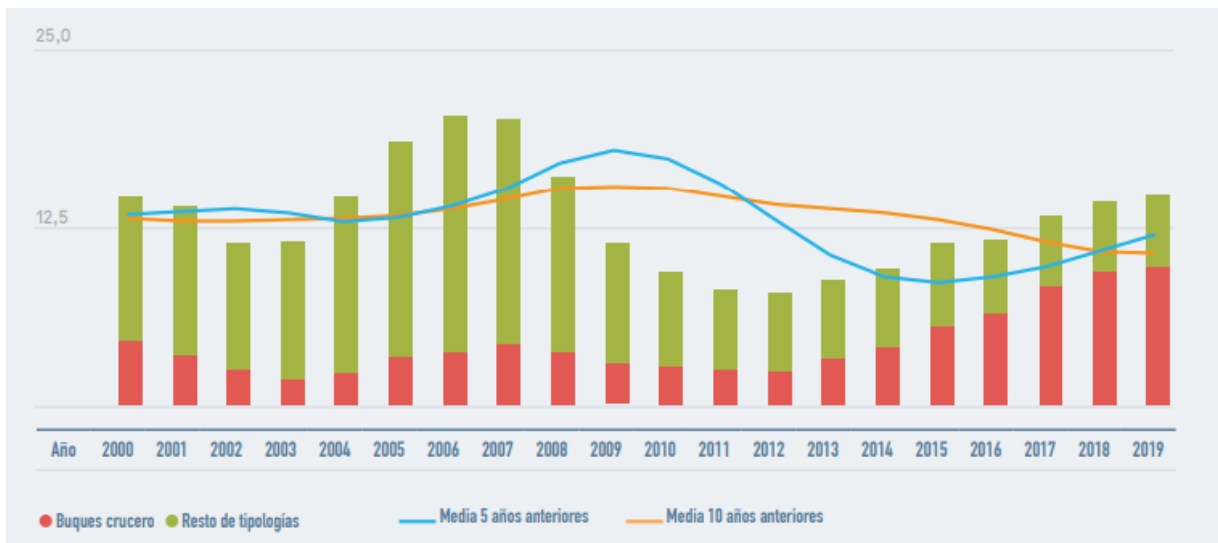


Figura 4. 8 Evolución de cartera de pedidos navales en Europa [39]

Y respecto al sector “Oil and Gas”, aunque Europa no es el máximo promotor a nivel mundial de inversión en refinerías de este sector, tal y como se puede observar en el reporte de estadísticas de “FuelsEurope” del 2018 [40], dentro de las tres categorías de necesidades de inversión en refinerías, se estima que se invertirán más de 1,5 billones de dólares en el periodo 2017-2040. La mayor parte, unos 900.000 millones de dólares, se dedicarán al mantenimiento, 265.000 millones a inversiones en proyectos conocidos y los 385.000 millones restantes a adiciones más allá de los proyectos firmes.

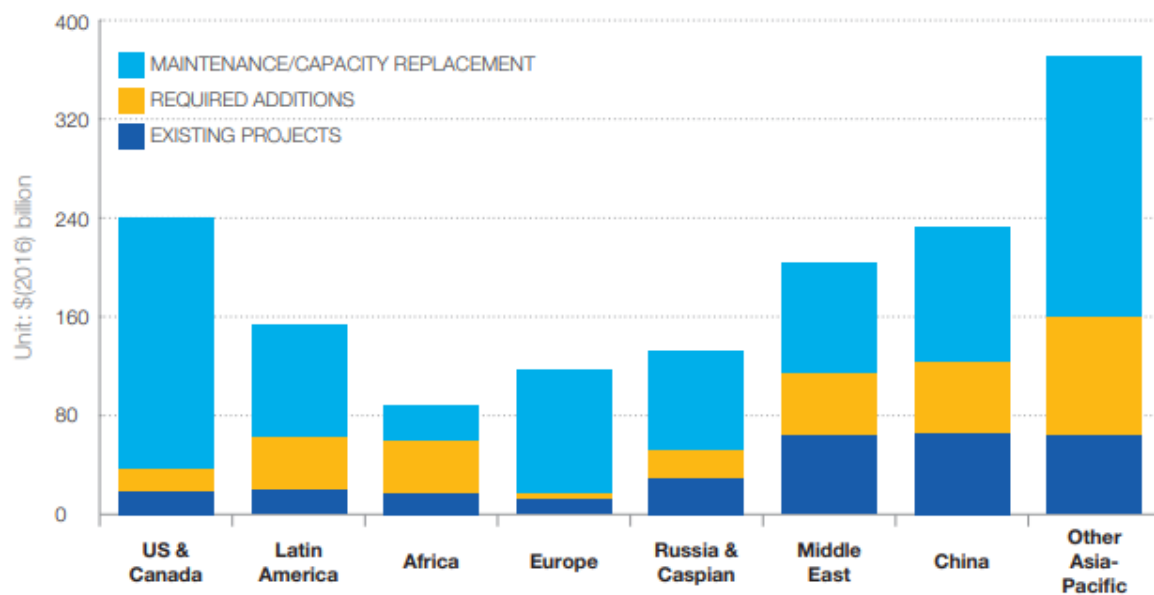
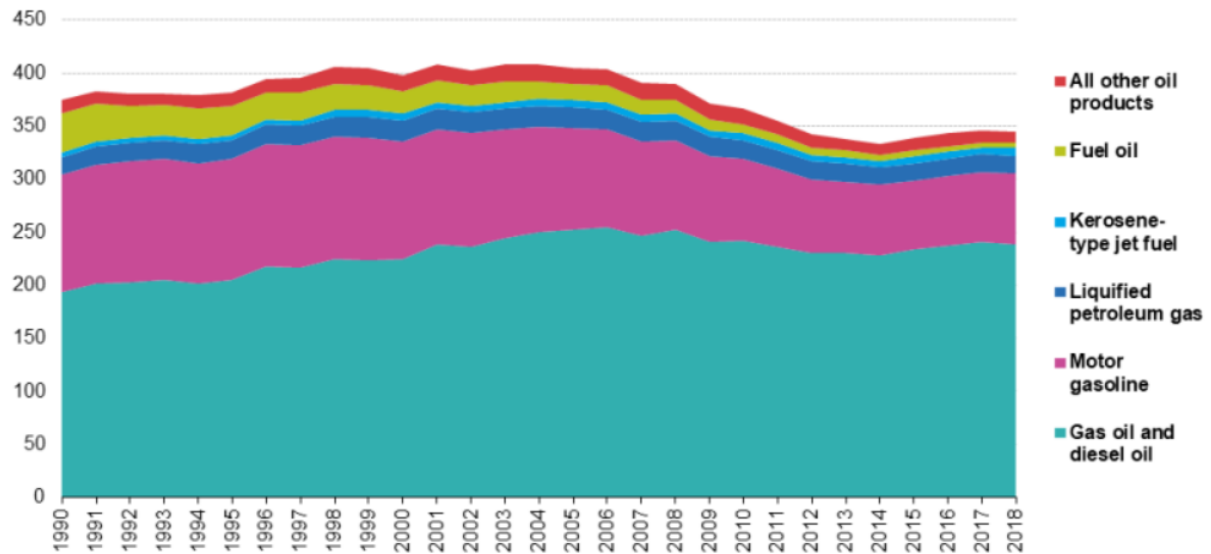


Figura 4. 9 Previsión de inversiones en la industria “Oil & Gas” [40]

Además, tal y como se reporta por la web oficial de la Unión Europea, por la “Eurostat Statistics Explained” [41], en los últimos años, el consumo de energía derivada de productos de petróleo ha ido en aumento. Esto, junto con lo descrito anteriormente, hace que este sector sea propicio para incluir en el estudio, debido a la existencia de procesos de soldadura de grandes espesores (como puede ser la calderería), presentes en los diversos procesos industriales necesarios para la creación y mantenimiento de las infraestructuras y sistemas de dicho sector.

Final energy consumption of petroleum products, EU-27, 1990-2018
(million tonnes of oil equivalent)



Source: Eurostat (online data code: nrg_bal_c)

eurostat 

Figura 4. 10 Evolución del consumo de energía derivada de productos de petróleo en Europa [41]

4.2.3.- Estrategias nacionales y europeas

Atendiendo a la EECTI 2021-2027 (Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación) [42], a nivel nacional, debido al retroceso en la I+D+i durante los últimos 15 años, unido al efecto negativo marcado por la pandemia COVID-19 en la economía, se deben tomar medidas para la reconstrucción y el fortalecimiento del sistema de ciencia e innovación. Para ello, este plan reclama un apoyo a las administraciones públicas en materia de fomento de la investigación científica y técnica. Esto justifica la labor de este proyecto en materia I+D+i, por lo que se puede observar la alineación del objetivo del mismo con la EECTI.

A nivel europeo, el país aprovechará el plan europeo de recuperación a través del Marco Financiero Plurianual 2021-2027, el cual cuenta con 1.824.300 millones de euros, que se destinarán a proyectos de inversión e innovación, orientados a financiar la recuperación de Europa [42]. Además, al implementar la EECTI, se promoverá el alineamiento con Horizonte Europa, fomentando la participación española en los programas europeos e internacionales.

Todo esto viene abalado por el incremento de inversión en I+D+i que se viene produciendo en los últimos años, factor que indica que se está apostando por el desarrollo e innovación de este sector.

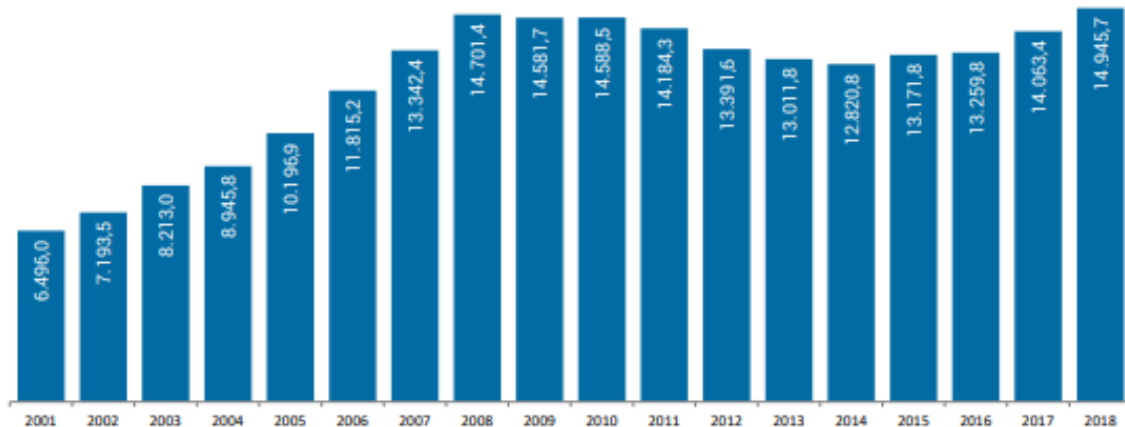


Figura 4. 11 Inversión interna en I+D (M€) [43]

Por otra parte, este proyecto contribuye al desarrollo del sector a nivel regional, factor que se debe tener en cuenta debido a la necesidad de aumentar las inversiones en Asturias, con el fin de poder alcanzar valores más próximos a la inversión media nacional en este sector, tal y como recoge el Instituto Nacional de Estadística [43].

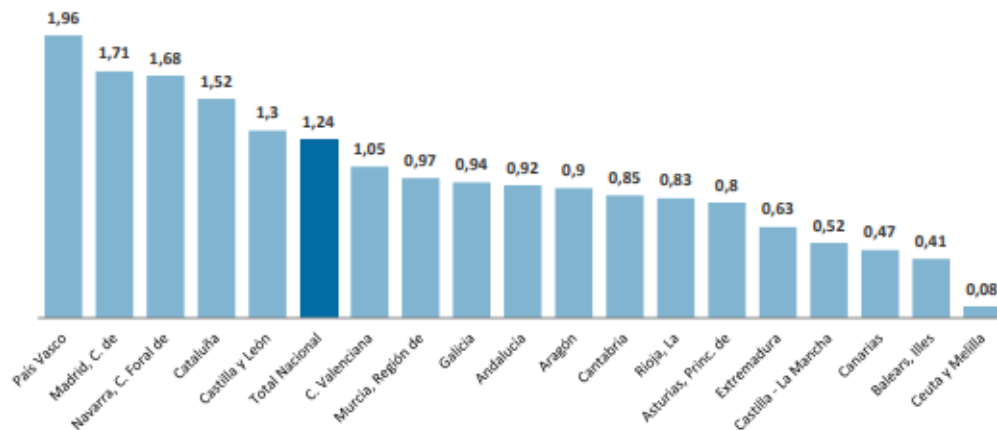


Figura 4. 12 Gasto en I+D sobre PIB por Comunidad Autónoma (%) Año 2018 [43]

Esto, a su vez, contribuirá a que España mejore sus estadísticas, con el objetivo de poder lograr valores superiores, que la acerquen a la media europea, ya que se encuentra en la cola de las primeras potencias económicas de la UE [43].

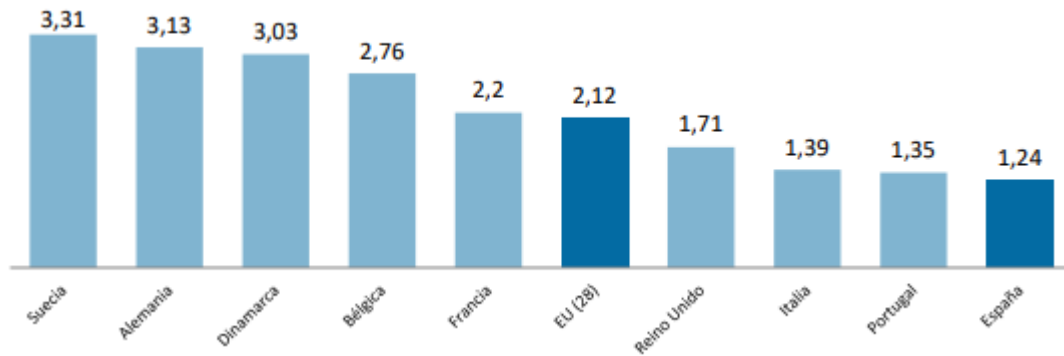


Figura 4. 13 Gasto en I+D respecto al PIB (%). Año 2018 [44]

4.2.4.- Contexto socio-demográfico

Este proyecto concuerda con el interés creciente de la sociedad por el sector de la ciencia y tecnología experimentado en los últimos años, tal y como recoge la Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT) [45].

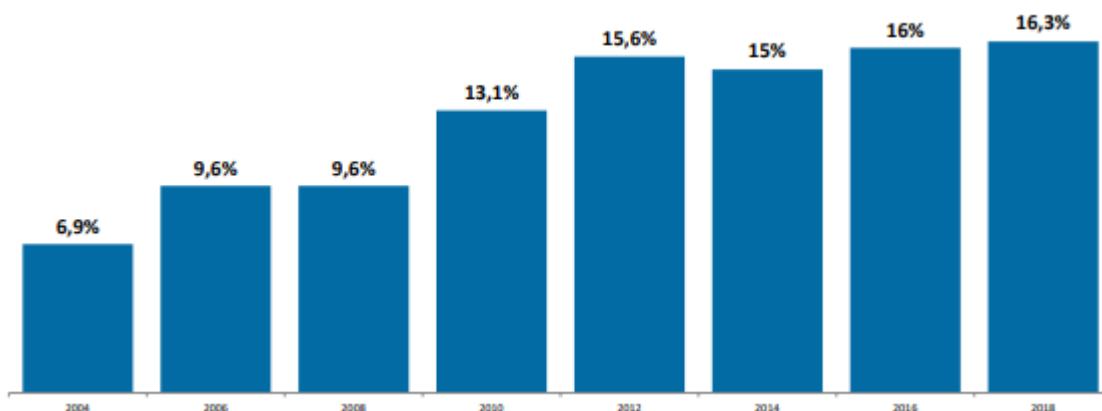


Figura 4. 14 Evolución del interés social por la ciencia y la tecnología [45]

A continuación se muestra un cuadro comparativo que avala el creciente interés de la población por este sector, en función de la edad el nivel de estudios y el sexo, recogido también por el FECYT. [45]

Tabla 4. 2 Porcentaje de ciudadanos que piensan que la ciencia y la tecnología aportan más beneficios que perjuicios [45]

		2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
SEXO	Hombres	49,4%	49,5%	44,6%	54,6%	58,0%	56,8%	61,8%	57,0%	61,8%
	Mujeres	44,2%	44,4%	43,2%	52,1%	54,9%	49,4%	57,5%	52,1%	60,1%
EDAD	15 a 24 años	45,8%	44,1%	47,4%	50,0%	52,0%	50,0%	60,3%	54,5%	62,0%
	25 a 34 años	49,3%	50,9%	48,2%	56,0%	56,5%	49,0%	59,4%	58,5%	63,0%
	35 a 44 años	49,5%	48,4%	46,3%	56,7%	60,7%	56,6%	61,0%	58,3%	65,1%
	45 a 54 años	46,4%	50,3%	47,5%	54,5%	59,1%	55,3%	65,9%	58,1%	62,8%
	55 a 64 años	46,6%	45,1%	44,4%	51,3%	57,2%	56,8%	59,8%	54,7%	60,9%
	65 años y más	43,0%	42,5%	36,4%	50,0%	53,2%	51,9%	52,4%	40,2%	51,9%
NIVEL DE ESTUDIOS	Primarios incompletos o menos	39,5%	38,1%	31,2%	41,6%	45,3%	38,4%	41,9%	26,7%	39,2%
	Enseñanza Primaria	42,9%	43,9%	35,2%	49,0%	48,2%	42,3%	47,9%	41,5%	47,1%
	Enseñanza Secundaria 1º Ciclo	46,1%	51,1%	41,6%	51,3%	51,9%	50,0%	55,4%	50,9%	56,1%
	Enseñanza Secundaria 2º Ciclo	63,7%	52,6%	48,5%	57,9%	58,4%	56,2%	60,9%	58,2%	63,3%
	Enseñanza universitaria	60,0%	55,2%	64,8%	62,9%	69,5%	65,1%	73,3%	70,2%	75,6%
TOTAL		46,7%	47,9%	44,8%	53,4%	56,4%	53,0%	59,5%	54,4%	60,9%

4.2.5.- Tamaño del mercado

Teniendo clara la relevancia del proceso en el sector, se pueden identificar las principales empresas que pueden aprovechar los servicios que ofrece este proyecto, para fortalecer su competitividad y crecimiento, agregando procesos innovadores a su producción.

Para ello, se lleva a cabo un amplio estudio y búsqueda de las empresas que puedan mostrar un mayor interés por este servicio, obteniendo un listado basado en los datos recogidos con anterioridad, de empresas navales, eólicas offshore, y de “Oil and Gas”, a nivel regional, nacional, europeo y mundial. Este listado se puede consultar en el ANEXO 4.

Cabe destacar, que en el Principado de Asturias existe un tejido industrial con capacidad en el sector de las energías renovables marinas, al existir numerosas empresas pertenecientes a los sectores del metal, naval y la energía, con experiencia y capacidades materiales y humanas con alto potencial. [46]

Destacan las empresas pertenecientes al Grupo Daniel Alonso, como Windar (W. Offshore SL, W. Renovables SL), Tardarsa (T.Eólica SL, Talleres Daniel Alonso Rodríguez SA) o Idesa, ya que trabajan habitualmente con procesos de soldadura de materiales con grandes espesores. Estas empresas tienen una gran relevancia a nivel europeo e internacional. [47]

4.3.- ANÁLISIS DE LA OFERTA

Dentro de los sectores a los que podría dar servicio este proyecto, se encuentran muchas empresas que pueden ser tanto competidores, como posibles clientes. En el ANEXO 4 se puede observar una lista de posibles clientes que pueden llegar a cumplir esta condición.

Con el fin de analizar dichos sectores, se realiza un análisis del entorno específico, a través del modelo de las 5 fuerzas de Porter.

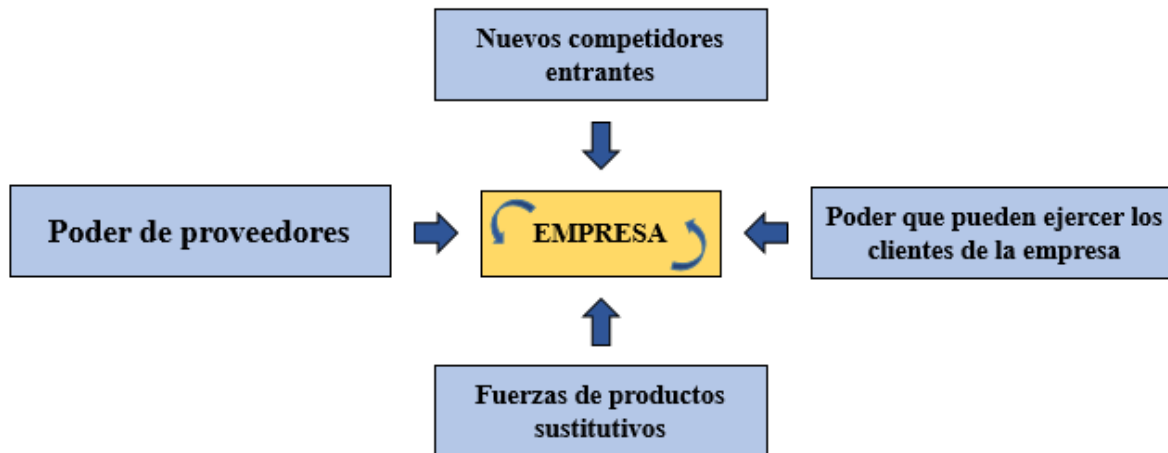


Figura 4. 15 5 fuerzas de Porter

1. Amenaza de nuevos entrantes (barreras de entrada):

Se determinará si existen barreras de entrada al sector en el que opera Fundación IDONIAL.

- **Economía de escala:** Los nuevos competidores que quieran entrar en este mercado, deben abarcar por lo menos el territorio nacional para poder ser competitivos, ya que IDONIAL distribuye a diversos países europeos, incluyendo España.
- **Grado de diferenciación de producto:** Fundación IDONIAL combina una amplia gama de servicios y tecnologías, ofreciendo soluciones en toda la cadena de valor y resultados progresivos y productivos a través de la incorporación e implementación de las tecnologías de vanguardia.
- **Innovación en la tecnología:** El centro trabaja en proyectos de I+D+i con la industria para el desarrollo de nuevos materiales, productos y procesos o mejora de los existentes. Asimismo, cuenta con una dilatada experiencia en servicios tecnológicos en el ámbito de los materiales y la fabricación. Por lo que, el proyecto

que se presenta en este documento, es una muestra de la constante evolución y desarrollo de la empresa.

2. Rivalidad entre los competidores:

Se debe determinar la importancia de cada cliente y cómo de influyentes son:

- **Gran número de competidores:** Hay numerosas empresas dedicadas al sectores eólicos offshore, naval, y “Oil and Gas”, lo que dificulta el crecimiento de la empresa. De aquí nace la necesidad de ofrecer servicios distintivos que la diferencien del resto de competidores.
- **Crecimiento lento en el mercado:** Debido a la pandemia del COVID-19, se ha producido un estancamiento en la mayoría de los sectores, lo que provoca una disminución de ventas de los servicios.

3. Presión de productos sustitutivos:

- **Producto de características similares:** En este sentido, al ser un sistema novedoso, destinado a soldar espesores de grandes espesores, no existe ningún producto sustitutivo que pueda competir con este servicio.

4. Poder de negociación de clientes:

- A nivel internacional, hay empresas que empiezan a emplear este tipo de proceso, como por ejemplo STX France S.A., una empresa naval francesa que lo implementa para los procesos de soldadura de paneles de cubierta de sus embarcaciones [48]; también otro ejemplo de la implementación de este sistema lo encontramos en Lindø Welding Technology (LWT), un laboratorio danés que está empezando a utilizar la soldadura híbrida para mecanizar componentes de parques de energía eólica offshore [49]. Pero si se atiende al nivel nacional, este proyecto es el primero que incluye un láser de tal

potencia en el país, por lo que a día de hoy, no se encontrarían posibles competidores, provocando que el poder de los posibles clientes disminuya.

5. Poder de negociación de los proveedores:

- El láser empleado para este proceso, tiene unos niveles de potencia que no muchos proveedores pueden suministrar, y para poder alcanzar los espesores deseados, es una pieza fundamental para el proceso. En cuanto a los proveedores de cabinas de seguridad, existe una oferta más amplia, por lo que se dispone de un catálogo más diversificado a la hora de escoger estas estructuras.

En resumen, se puede concluir que a nivel nacional, el servicio que ofrece este proyecto, posee un gran potencial, debido al alto número de posibles clientes que trabajan en las industrias para las que se ha destinado el proceso, y al bajo número de competidores actuales. A nivel internacional existe un nivel más elevado de competencia, pero el nicho también sigue siendo elevado, y con buenas previsiones de evolución y desarrollo. A nivel de proveedores, se está supeditado a las pocas empresas que puedan suministrar los láseres con la alta potencia que se precisa, por lo que para estas empresas también se podría producir una evolución favorable en cuanto a ventas, si este tipo de aplicaciones fuesen creciendo exponencialmente en servicios que puedan hacer uso del mismo. A su vez, el desarrollo del proyecto ayudaría a contribuir en los planes de desarrollo de I+D+i tanto a nivel regional, nacional, como europeo.

5.- IMPLANTACIÓN

5.1.- SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIÓN

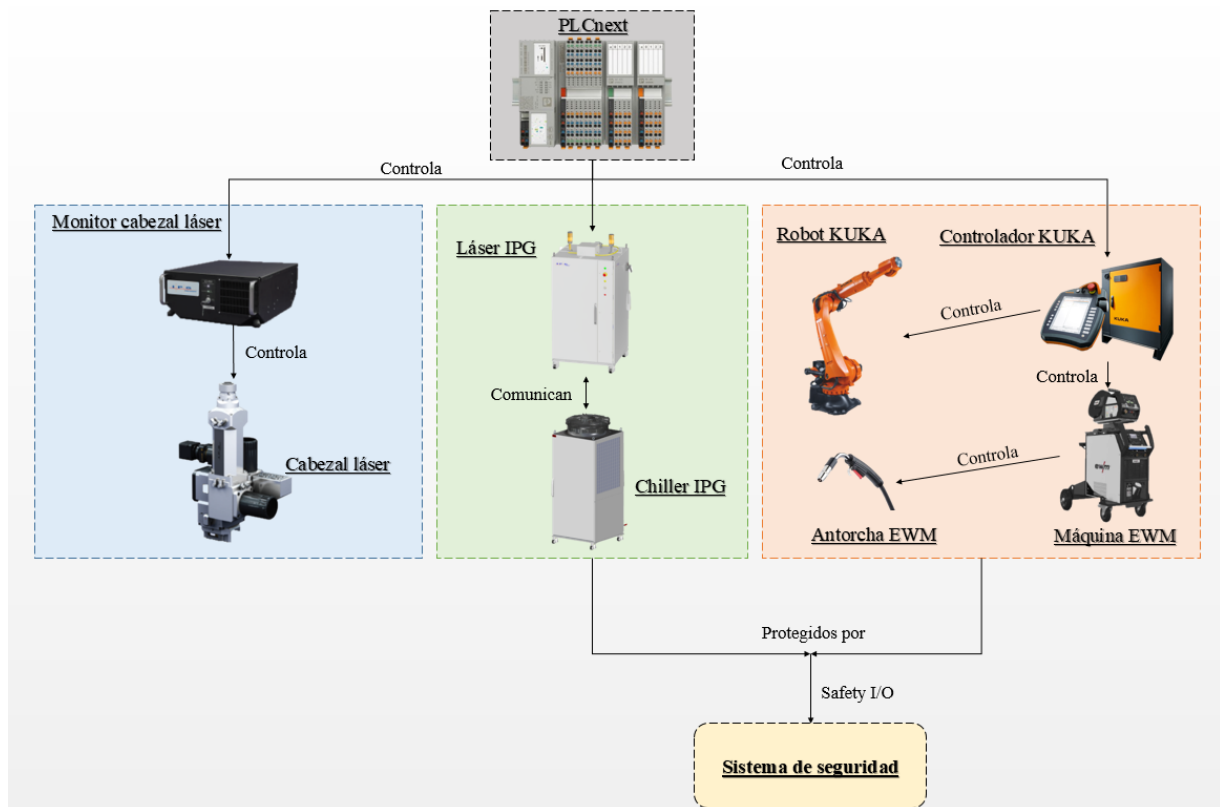


Figura 5. 1 Arquitectura del sistema

Existen tres sistemas que se deben comunicar con el PLC para su control y seguridad. Estos son el robot industrial, el láser de alta potencia, y su cabezal. Para ello, se emplean dos buses de campo: el “Profinet”, y el “ETHERNET TCP-IP”, con el fin de transmitir la información (datos) para simplificar enormemente la instalación y operación de las diferentes máquinas. El “ETHERNET TCP-IP” se emplea para transmitir comandos de texto al cabezal, mientras que el “Profinet” se utiliza para intercambiar señales definidas y variables con el láser y el robot, a través de un mapeo de señales.

La razón por la que se escoge el bus de campo “Profinet”, es que este, viene integrado en el PLC escogido para este proyecto, además de ser el bus de campo que se suele emplear en la empresa, lo que facilita su manejo y comprensión por parte de los operarios. Como característica principal, posee un mecanismo de intercambio de datos maestro-esclavo, donde el maestro tiene control unidireccional sobre todos sus dispositivos y procesos esclavos.

La función de la comunicación del PLC con los diferentes sistemas, reside en intercambio de información con los mismos, para emitir ordenes, como la ejecución del programa que se quiera utilizar, y las instrucciones que se le deben transmitir. El láser y el robot tienen una interfaz de seguridad, y el control de estas señales (paradas de emergencia y permisos de acción en modo automático) se debe diseñar con una estructura específica [50]. Para ello se estudian tres opciones diferentes:

1- Empleando relés de seguridad

Este es el método menos complejo de los tres, ya que consiste en el empleo de un relé para cada señal crítica que se presente en el sistema global. Estas, son las setas de emergencia, el cierre de seguridad de la puerta, y el propio PLC de control.

Como principales ventajas frente a los otros dos sistemas, presenta:

- Una implementación muy sencilla en el sistema cuando las funciones instrumentadas de seguridad son sencillas.
- No hay software, por lo que no hace falta programación, lo que evita que se produzcan errores en la lógica, corrupciones del software por interferencias eléctricas, o riesgo de ciberataques.
- Presenta una velocidad de respuesta muy elevada.
- El coste de esta opción es el más bajo de las tres opciones presentadas.
- No es necesaria cualificación específica para su instalación.

A su vez, las desventajas que presenta esta opción son las siguientes:

- Cuando existen muchas funciones instrumentadas de seguridad, el coste de implementación y mantenimiento puede ser elevado.
- Se necesitan incluir convertidores analógico-digitales en el caso de emplear transmisores.
- Presentan una capacidad de diagnóstico muy limitada, ya que solo disponen de dos señales luminosas.
- Es menos escalable que las otras dos opciones, lo que supone un mayor gasto.
- Lógica mucho menos versátil, por lo que cambiarlo es difícil una vez que se instaura.

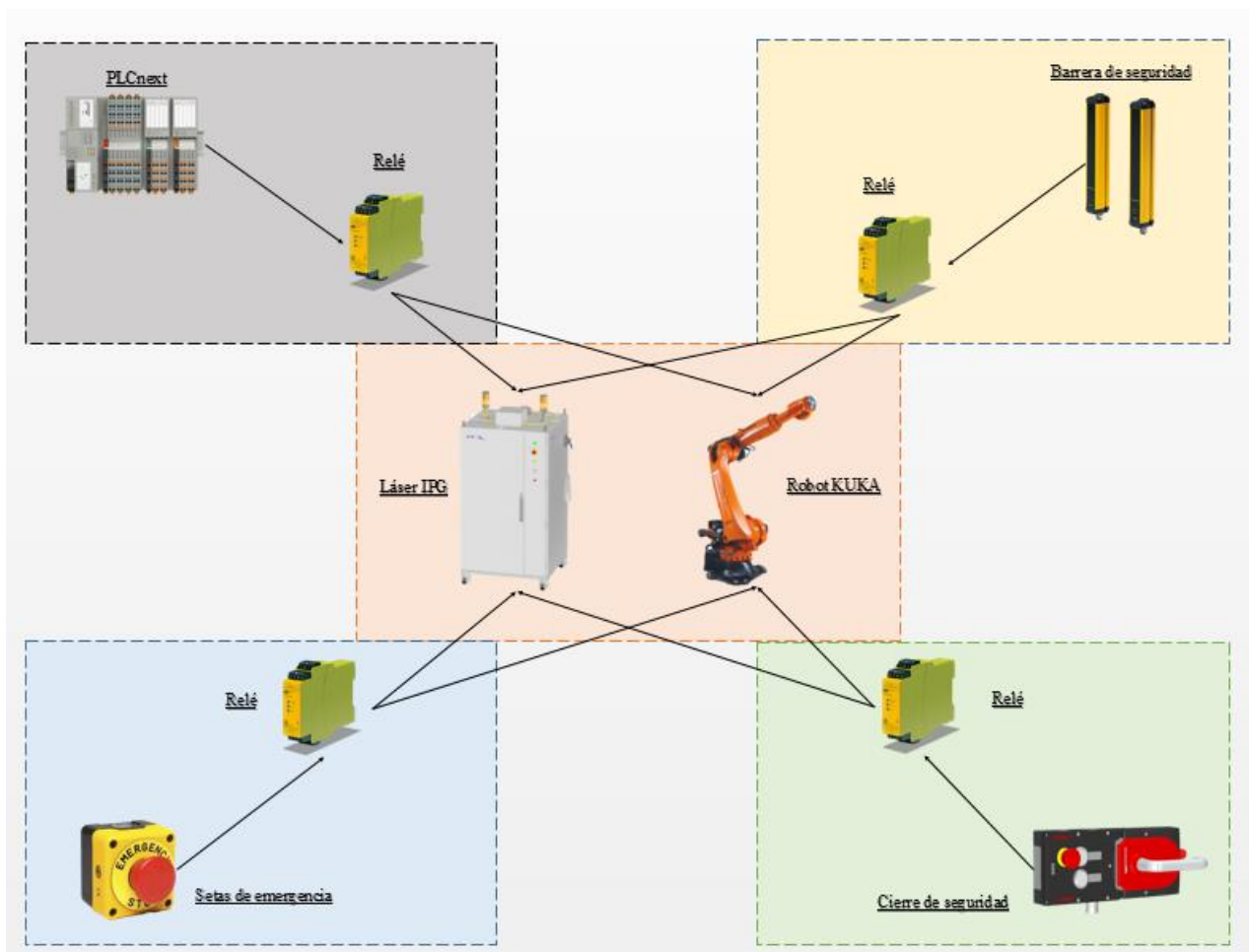


Figura 5. 2 Arquitectura basada en relés de seguridad

2- Empleando módulos de seguridad en el mismo PLC de control

Este modelo consiste en que el sistema de seguridad venga incorporado en el propio PLC de control.

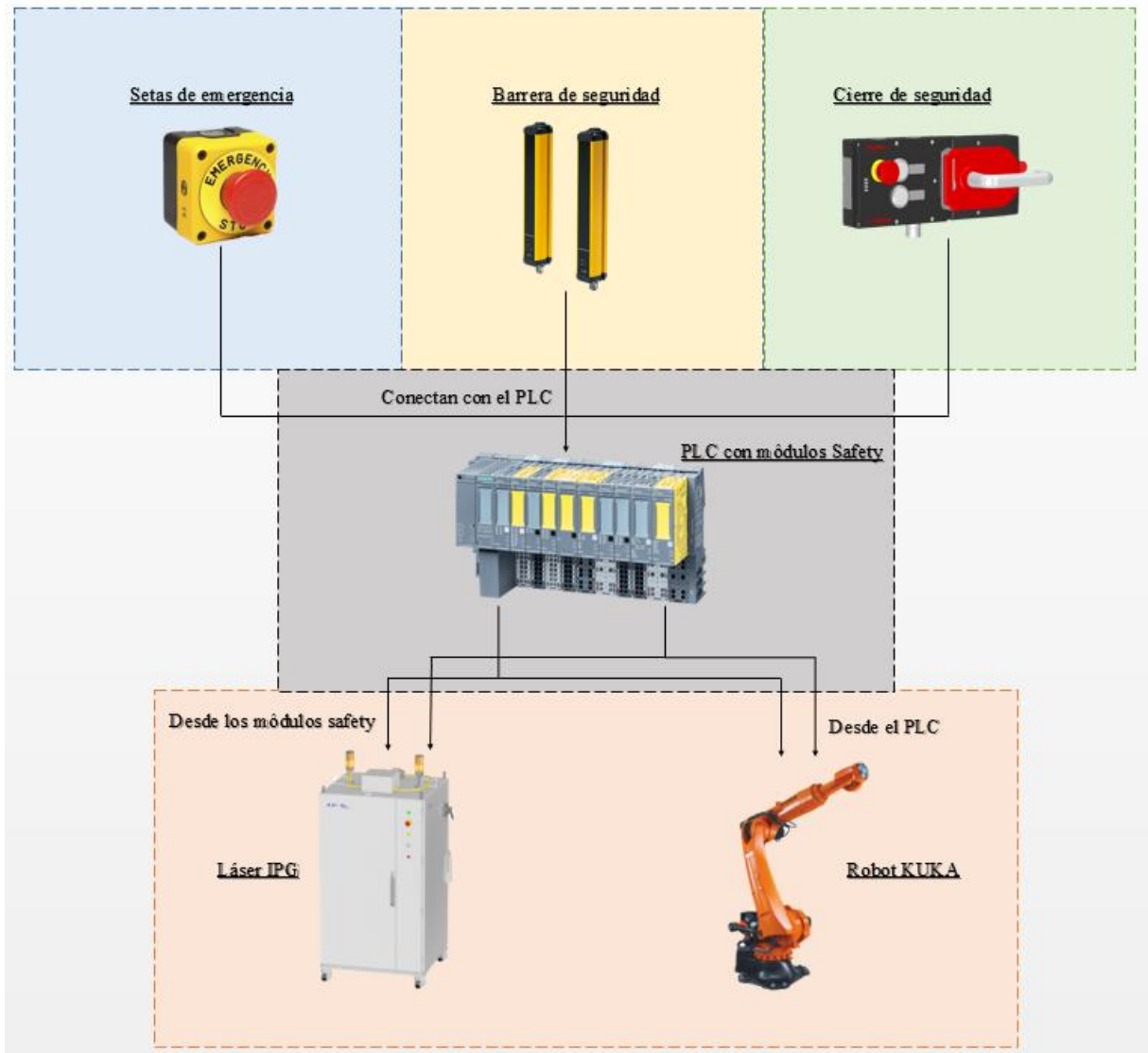


Figura 5. 3 Arquitectura basada en módulos de seguridad en el PLC de control

Se trata de un modelo más compacto, y como principales ventajas se pueden observar:

- Posee una versatilidad mayor que la opción anterior.

- Al contrario que el caso anterior, este sistema es escalable, lo que posibilita la incorporación de módulos tras la instalación inicial.
- Presenta un diagnóstico de fallos mucho más técnico que el caso anterior.
- Al venir comprendido dentro del PLC, el sistema tiene un tamaño mucho más reducido, lo que se traduce en ahorro económico y de espacio.

También presenta desventajas respecto a la primera opción, las cuales son:

- Supone una inversión económica mayor.
- Al poseer un software que programar, se pueden dar fallos en la propia programación, tanto como de tipo interferencias.
- Se necesita personal cualificado para programarlo e instalarlo, debido a la existencia del software.

3- Empleando un PLC de seguridad a parte del PLC de control

Esta estructura se basa en emplear un PLC complementario, que se encargue de todas las funciones de seguridad del sistema global.

Este modelo, presenta ciertas ventajas respecto a los modelos anteriores, las cuales son:

- Una escalabilidad más elevada que los modelos ya expuestos.
- La programación del sistema de control es independiente de la programación de la seguridad, con lo que se consigue que si falla la programación del control, no fallen las seguridades.
- Posee un diagnóstico de fallos muy completo, más técnico que los sistemas anteriores.
- Admite todo tipo de señales lógicas y digitales.
- Es muy sencillo de programar por parte del personal responsable.

A su vez, también presenta desventajas:

- Presenta un precio más elevado que el segundo modelo, y mucho más elevado que el primero.
- Se precisan programas dos sistemas diferentes, el de seguridad y el de control.
- Se necesita implementar medidas de ciberseguridad.
- Requieren de personal más cualificado que los modelos anteriores.
- Ocupa un mayor espacio que el segundo sistema.

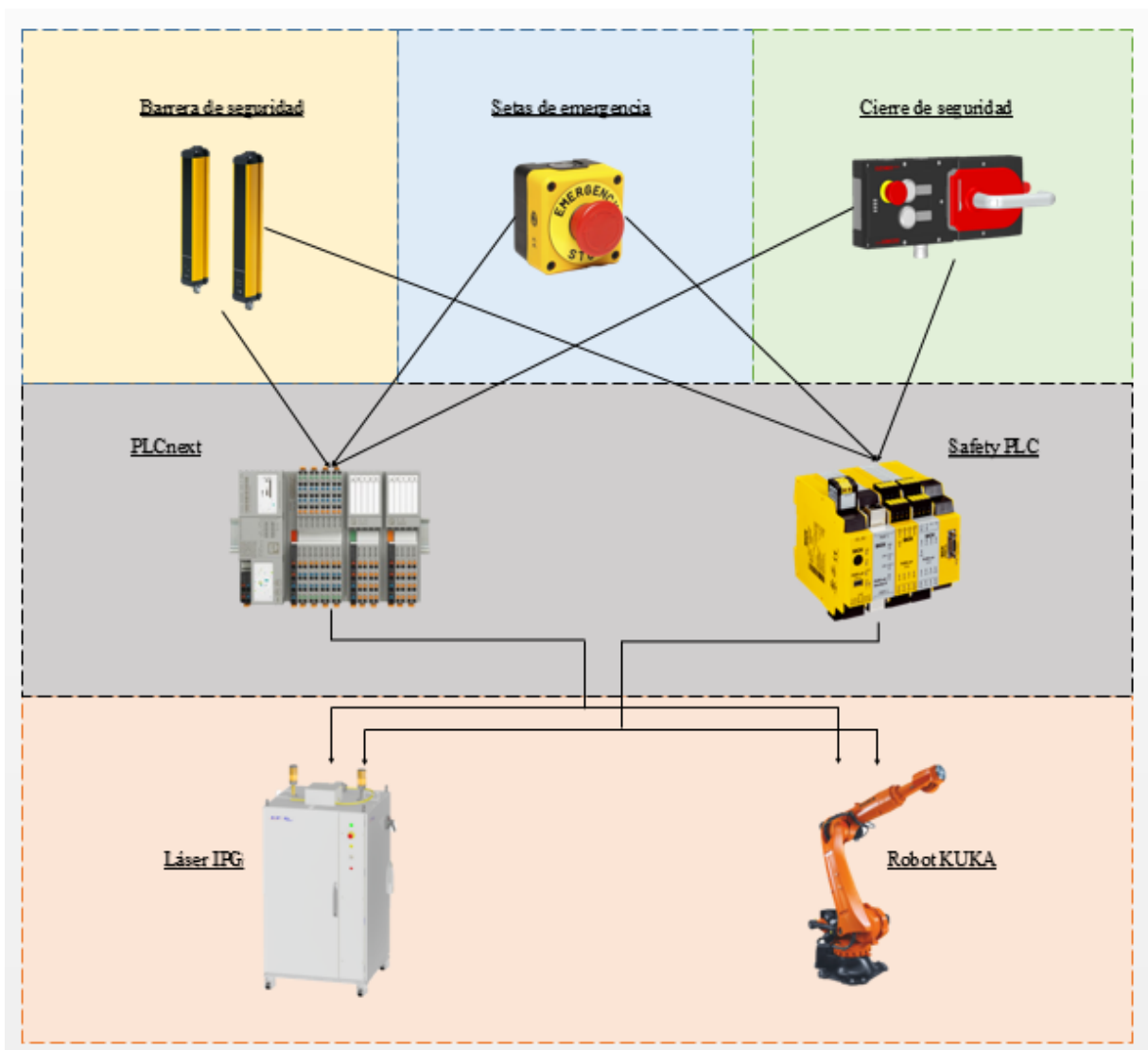


Figura 5. 4 Arquitectura basada en PLC de seguridad

5.1.1.- Sistema adoptado

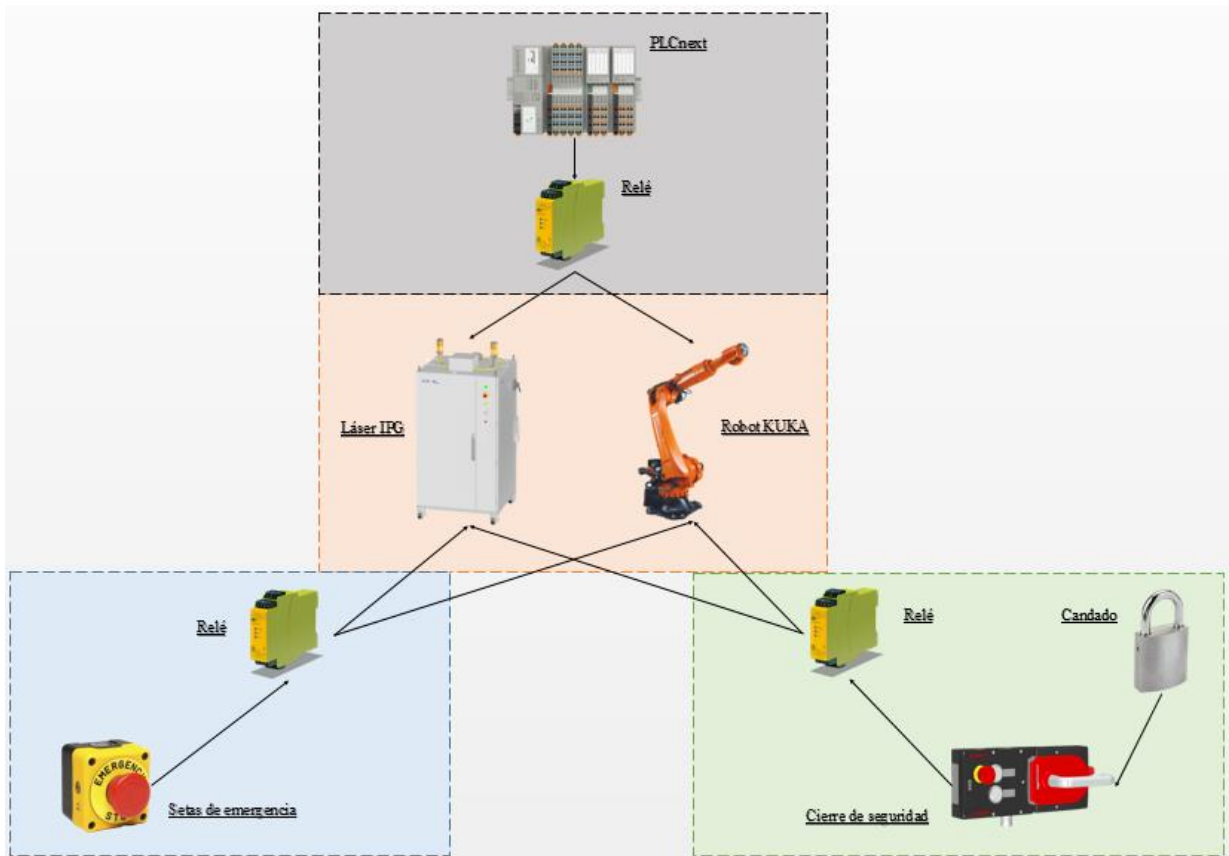


Figura 5. 5 Sistema adoptado

El sistema adoptado finalmente, es una variante de la primera configuración enunciada. Los principales motivos, son la facilidad de instalación y uso del sistema, el bajo desembolso que requiere en comparación con los otros sistemas, y su fácil implementación en el sistema global del proyecto.

Como cambios, se elimina la opción de elegir una barrera fotoeléctrica, ya que se decide sustituirla por la incorporación de un candado en el cierre de seguridad. Con esto, se reduce el gasto que supone adquirir este dispositivo, como la posibilidad de fallos que se pudiese dar durante su instalación y funcionamiento.

El candado, se situará en una pestaña de seguridad incorporada en el cierre, que provocará que la puerta esté abierta mientras este esté instalado. Para su incorporación, se barajan dos opciones:

- 1ª opción: Incorporar un candado único, que bloquee el cerrojo la mayor parte del tiempo, imposibilitando el cierre de la puerta, lo que permite la entrada y salida de la cabina por parte del personal sin ningún riesgo asociado. La situación en la que se deberá desacoplar, se produce cuando se quiera activar el proceso de soldadura, para lo que se precisará emplear la llave de activación del láser, que será la misma que el cierre del candado. Con esto se obliga al operario encargado de la activación del proceso, ir hasta la entrada de la cabina, y asegurarse que no hay ningún empleado en el interior. Para asegurar que el operario vuelva a incorporar el candado al finalizar el proceso, se acondicionará un soporte al lado de la entrada de la celda, para depositar el candado, evitando que el operario se lo lleve consigo, facilitando al siguiente operario ver si el candado está acoplado o desacoplado.
- 2ª opción: Que cada uno de los operarios que vayan a operar dentro de la cabina disponga de un candado propio con identificación personal, y que solo se incorpore a la cerradura cuando se vayan a realizar trabajos dentro de la cabina. De esta forma, hasta que el operario no salga y desbloquee el candado con su propia llave, no se podrá poner en funcionamiento el sistema.

Aunque con esta medida se logra reducir el riesgo de atrapamiento en la cabina hasta límites deseados, ambas opciones presentan una desventaja, relacionada con el fallo humano:

- La primera, reside en la posibilidad de que el candado no se vuelva a poner en el cierre después de finalizar alguna tarea de soldadura, y a la hora de entrar un operario, no se fije, y se olvide de ponerlo.
- La segunda, presenta el mismo problema que la primera, incluyendo la posibilidad de imposibilitar el accionamiento del proceso, si una vez que finalice las tareas, se va de su puesto de trabajo, y deja el candado bloqueando el cierre, siendo él el único que disponga de la llave de su propio candado.

Valorando las desventajas presentadas por ambas opciones, se decide escoger la primera, ya que presenta menos inconvenientes y desventajas que la segunda, lo que precisará instalar un pequeño soporte, al lado de la puerta, donde depositar en candado cuando se estén realizando tareas de soldadura híbrida dentro de la cabina.



Figura 5. 6 Cierre de seguridad con pestaña para candado

5.2.- PROGRAMACIÓN OFFLINE

En este apartado se pretende representar la funcionalidad del sistema que se expone en este proyecto, a través de una representación del mismo por medio de los programas MasterCam y RobotMaster.

En primer lugar, se trabaja con el programa SolidWorks, empleado con anterioridad para modelizar las piezas, los ensamblajes y los planos de la celda de soldadura. Esta vez, se emplea con el fin de obtener un cupón de ejemplo sobre el que se realizarán las trayectorias, así como una representación aproximada de las paredes de la celda, y de la mesa de soldadura que se emplearán, para facilitar así la visualización de los movimientos realizados por el robot, y simplificar las estructuras que se introducen en el MasterCam.

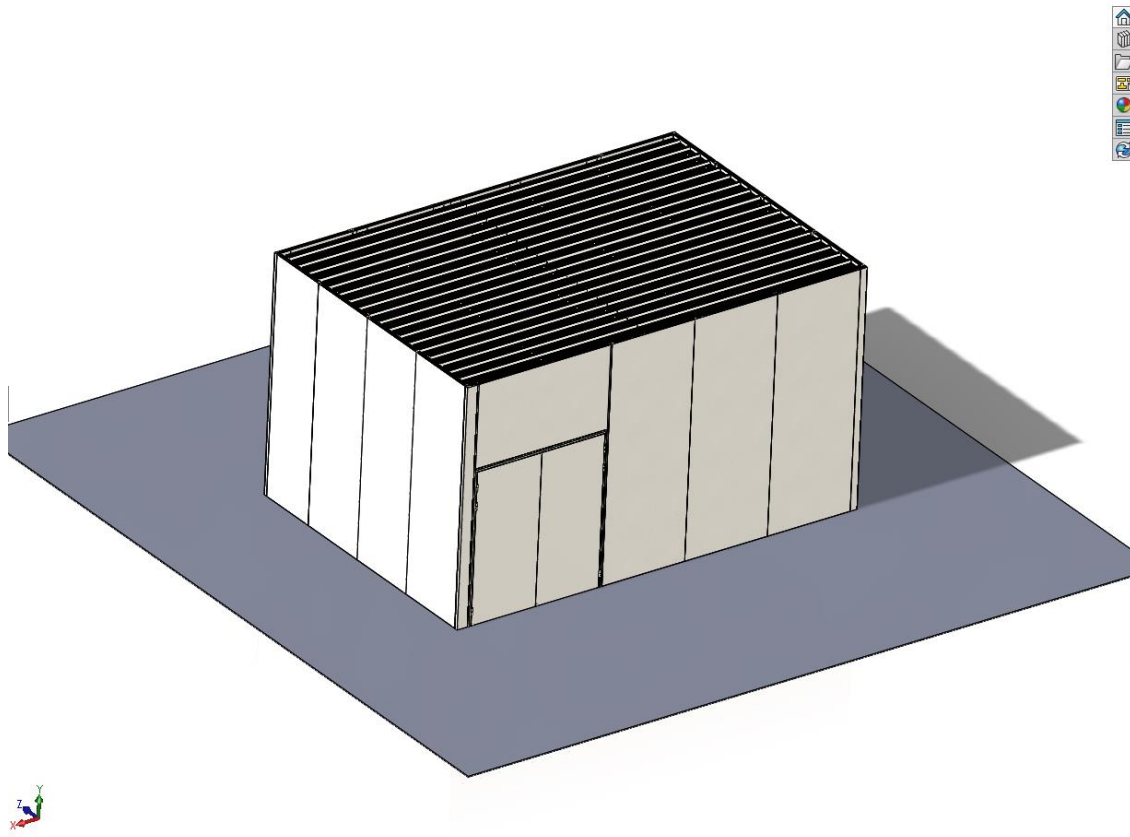


Figura 5. 7 Modelización de la celda de soldadura

Para ello, se crea una extrusión cuadrilátera, que servirá de representación de las paredes de la celda, y se sitúa el origen de coordenadas donde se emplaza el robot industrial.

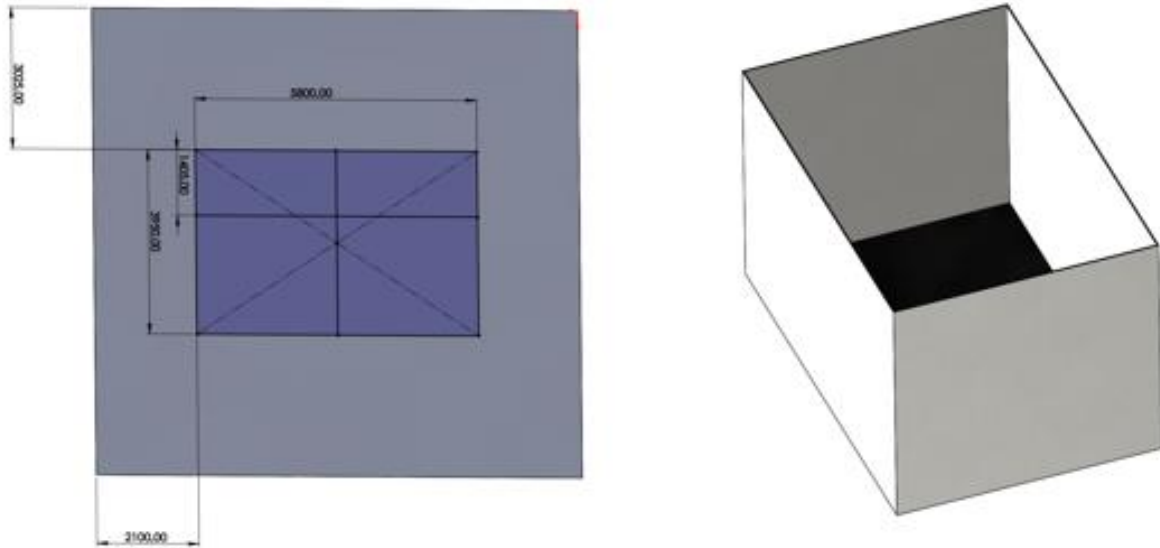


Figura 5. 8 Representación de la estructura de la celda de soldadura

También, se crean dos archivos correspondientes a la mesa de soldadura y al cupón sobre el que se realizarán las pruebas.



Figura 5. 9 Representación del cupón y mesa de soldadura

Una vez que se tienen estos archivos, se procede a crear una celda en el MasterCam, que recoja las estructuras de la mesa y las paredes de la célula de soldadura, para así posicionar el robot KUKA en las coordenadas correspondientes dentro de esta celda.

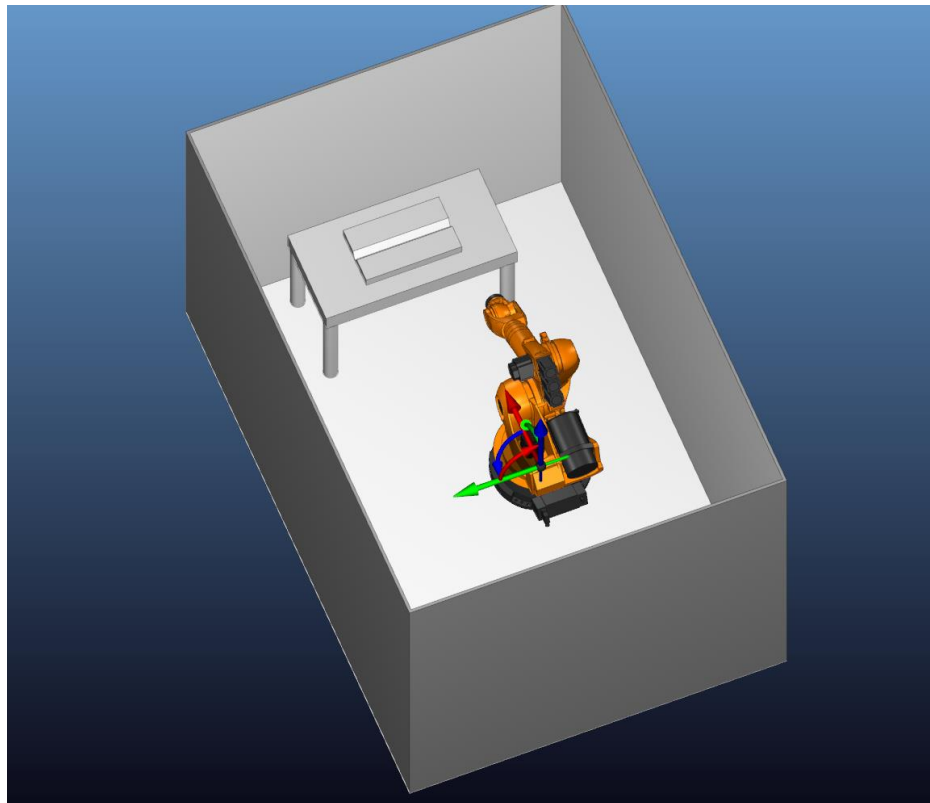


Figura 5. 10 Representación del robot dentro de la celda de soldadura

El siguiente paso, es crear las trayectorias con el MasterCam sobre el cupón donde se realizarán las mismas. En este paso se pueden programar las velocidades, distancias, ángulos, posicionamiento, y tipo de herramienta que se quiera emplear. En este caso, se representa una trayectoria lineal ascendente, que simulará las pasadas que se podrían dar en un proceso de soldadura sobre el cupón empleado.

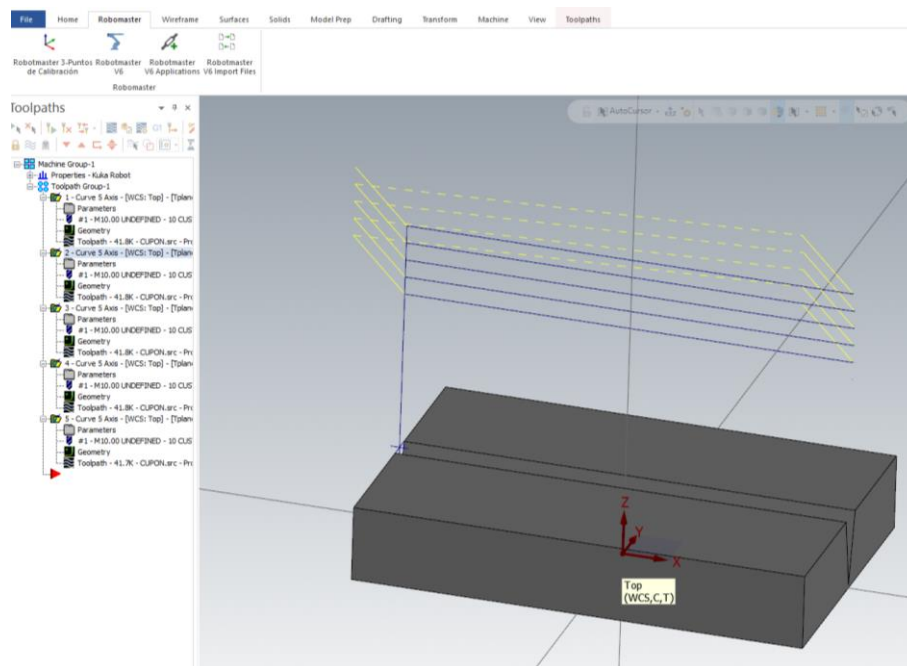


Figura 5. 11 Trayectorias sobre el cupón de soldadura

Además, también se precisa definir la herramienta empleada, y el origen de coordenadas que coincidirá con el punto en el que acoplará con la muñeca del robot, así como también su orientación para lograr la coincidencia exacta y realista del montaje.

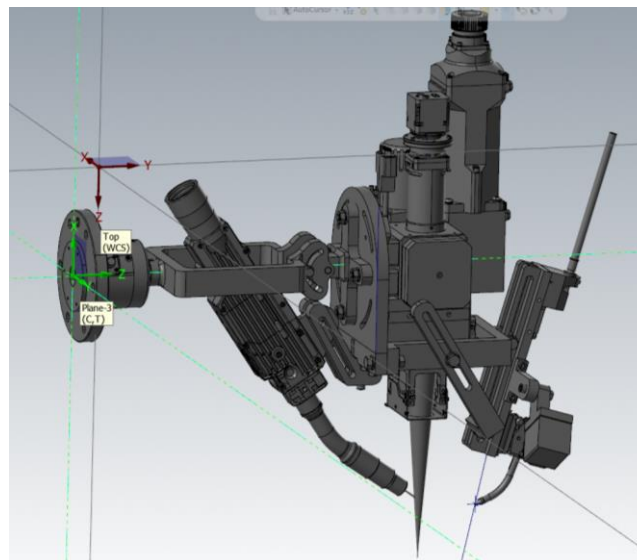


Figura 5. 12 Definición de la herramienta empleada y de su origen de coordenadas

Por último, se exportan las celdas creadas, tanto del sistema de la célula de soldadura, como de los movimientos del robot sobre el cupón, y se posicionan correctamente, de forma que no se produzcan fallos ni interferencias en el proceso.

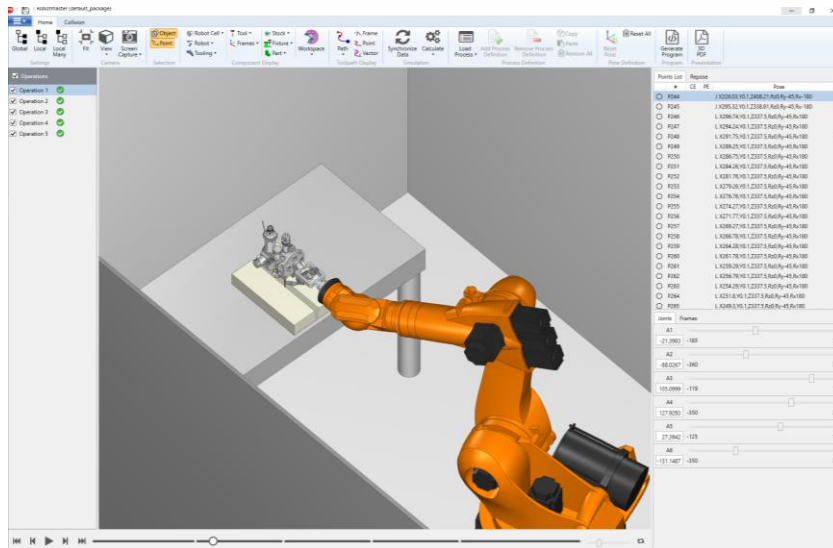


Figura 5. 13 Representación del sistema final

En el documento adjunto de anexos, en el apartado ANEXO 7, se encuentra una representación interactiva de las trayectorias realizadas por el robot de soldadura, tal y como se puede observar en la Figura 5. 14.

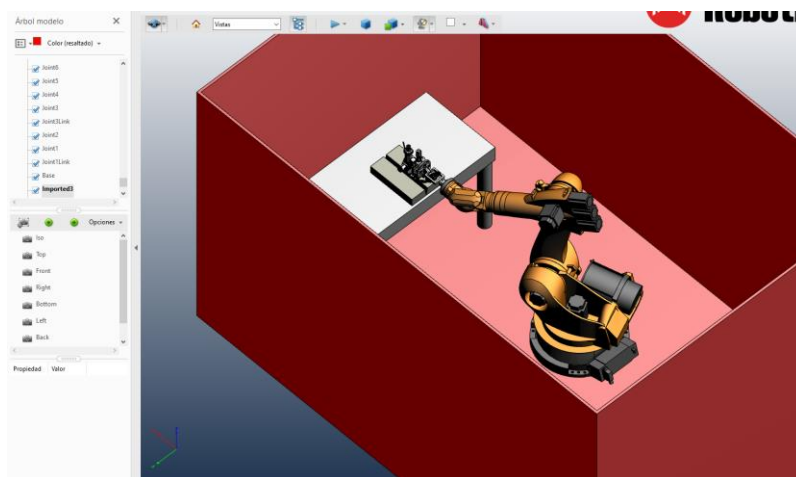


Figura 5. 14 Simulación en RobotMaster del sistema final

Por último, destacar la posibilidad que ofrece este programa, de generar el código de las trayectorias y movimientos creados durante la programación de las celdas, con el fin de poder exportarlo al sistema de control del robot en taller, para poder reproducirlas de forma realista y generar los procesos que se quieran realizar.

```

&ACCESS RVP
&REL 1
&COMMENT GENERATED BY ROBOTMASTER
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
&PARAM EDITMASK = *
DEF PTOGRAMACION_LASER()

EXT BAS (BAS_COMMAND :IN,REAL :IN )

INT I

BAS (#INITMOV,0 )

;*****SETTINGS FOR PTP MOTION*****
;FOLD
;SET PTP $VEL_AXIS AND $ACC_AXIS
FOR I=1 TO 6
    $VEL_AXIS[I]=50
    $ACC_AXIS[I]=100
ENDFOR
;ENDFOLD (SET PTP $VEL_AXIS AND $ACC_AXIS)

;*****SETTINGS FOR LIN AND ARC MOTION*****
;FOLD
;SET LIN AND ARC MOTION VARIABLES
$VEL.CP=0.12
$VEL.ORI1=200
$VEL.ORI2=200
$ACC.ORI1=100
$ACC.ORI2=100
;ENDFOLD (SET LIN AND ARC MOTION VARIABLES)

;*****SETTINGS FOR POSITIONING CRITERIA*****
;FOLD
;SET POSITIONING CRITERIA
$APO.CDIS = 0.5000
$ORI_TYPE = #VAR
;ENDFOLD (SET POSITIONING CRITERIA)

$BASE={X 2000.0000,Y 500.0000,Z 1200.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 0.0000}
$TOOL={X -1.4291,Y 0.2500,Z 466.6937,A 180.0000,B -45.1938,C 0.0000}

$ADVANCE = 5
PTP {A1 0.0000,A2 -119.0000,A3 130.0000,A4 0.0000,A5 0.0000,A6 0.0000}
PTP {X 226.0285,Y 0.1000,Z 384.4607,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000,S 2,T 35}
PTP {X 295.3249,Y 0.1000,Z 315.1642,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000,S 2,T 35}
$VEL.CP=0.6 ;600mm/s
LIN {X 296.7391,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
$VEL.CP=0.12 ;120mm/s
LIN {X 294.2423,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 291.7456,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 289.2488,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 286.7520,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 284.2551,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 281.7584,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 279.2616,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 276.7647,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 274.2680,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 271.7710,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 269.2743,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 266.7774,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 264.2806,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS
LIN {X 261.7837,Y 0.1000,Z 313.7500,A 0.0000,B -45.0000,C 180.0000} C_DIS

```

Figura 5. 15 Extracto de la programación generada por RobotMaster

5.3.- MONTAJE E INSTALACIÓN

En este apartado se muestra el proceso de adquisición, montaje e instalación que se ha llevado a cabo, de todos los componentes y sistemas que conforman la cabina de soldadura híbrida.

- En primer lugar, durante los primeros meses del proyecto, se adquirieron las diferentes máquinas que conforman el sistema global de soldadura híbrida. Estos fueron el robot industrial, la base diseñada para su anclaje, y el láser de alta potencia junto con su armario de refrigeración.



Figura 5. 16 Adquisición del robot y del láser

- Una vez adquiridos los sistemas, fue preciso el acople entre el armario láser y el armario de refrigeración por medio de conexiones hidráulicas, para obtener la refrigeración del láser deseada. También se llevó a cabo el llenado de depósitos, y la verificación del funcionamiento del chiller (sentido de giro de los motores, compresor, ventilador, etc.).



Figura 5. 17 Conexiones de refrigeración del láser

- Además, se verificó la potencia y calidad del haz láser por parte de un técnico cualificado del proveedor del láser industrial., mediante una inspección visual con microscopio de la superficie de cuarzo del conector de la fibra.



Figura 5. 18 Cabina portátil (propiedad del proveedor) para protocolo de aceptación

- El siguiente paso, fue el diseño y fabricación del cabezal, acorde a los parámetros necesarios del proceso, tal y como se ve en el apartado “ 2.4.- HERRAMIENTA DE TRABAJO”.

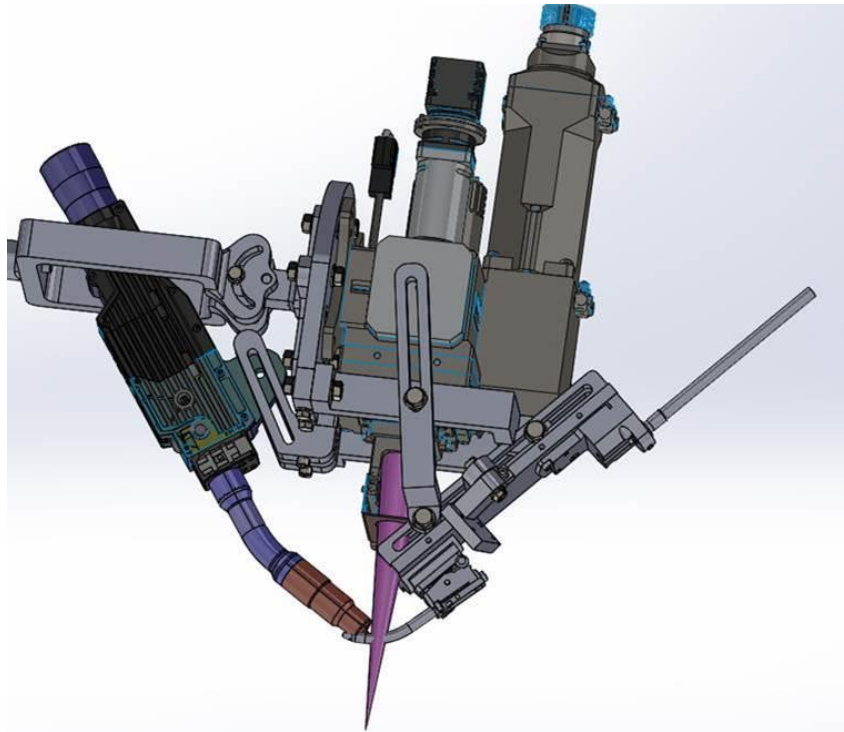


Figura 5. 19 Diseño de cabezal combinando el haz láser con la pistola de semiautomática

- Durante los días siguientes, se llevó a cabo el montaje del cabezal láser en el soporte diseñado para ello, acoplándolo al brazo del robot industrial. Además se verificó que el soporte se adaptaba y resistía los movimientos del robot y los pesos del cabezal del láser acoplado en él.

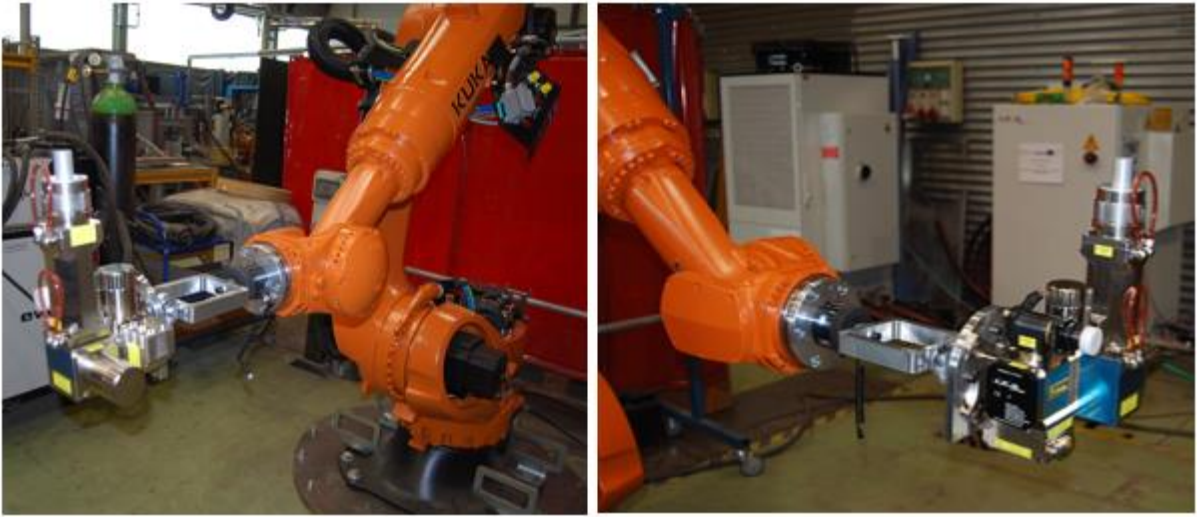


Figura 5. 20 Montaje del cabezal y pruebas con el KUKA

- Más adelante, se efectuó la recepción de los componentes de la cabina, cuya instalación se llevó a cabo durante las semanas posteriores.



Figura 5. 21 Recepción de la estructura de la cabina

- Los componentes que forman dicha cabina, se pueden agrupar en dos bloques diferenciados. Por un lado, la parte que constituye la estructura vertical, es decir, paredes, postes y puertas, y por otro lado los que constituyen la estructura del techo.

En primer lugar, fue necesario delimitar la zona exacta que ocuparía la estructura, y mecanizar el suelo para el montaje de los anclajes de los diferentes elementos verticales de la estructura.



Figura 5. 22 Mecanizado de la zona de construcción

En segundo lugar, se fueron montando y colocando todos los paneles y postes que delimitan la estructura de la cabina, hasta tener el perímetro de la celda totalmente cerrado.



Figura 5. 23 Montaje de la estructura vertical de la cabina

Y por último, se colocaron las puertas donde se instalará el cierre de seguridad posteriormente.



Figura 5. 24 Instalación de las puertas

Una vez completada esta parte de la instalación, se comenzó con la segunda parte, que engloba la estructura superior de la cabina, tanto el techo exterior como el falso techo.

En primer lugar, se instaló el techo exterior, que a su vez está formado por conjuntos. Por un lado, 7 perfiles tubulares acoplados a perfiles en forma de z, que trabajarán como unión entre dichos perfiles y los paneles verticales, y por otro lado, las chapas metálicas que descansarán sobre estos.



Figura 5. 25 Conjunto de perfiles que forman el techo

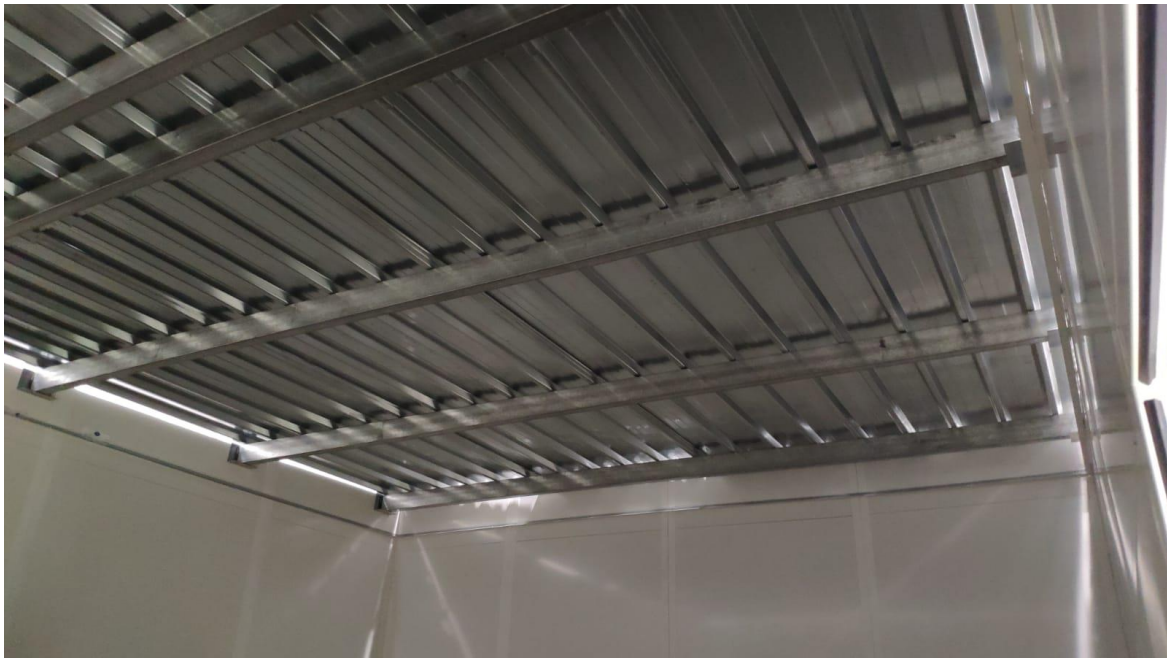


Figura 5. 26 Montaje final del techo exterior

En segundo lugar, se instaló en falso techo, encargado de ocultar las conexiones eléctricas de las luminarias, y la fibra del láser que llegará hasta el cabezal del robot.



Figura 5. 27 Instalación del falso techo

- El siguiente paso consistió en realizar los ensayos y pruebas con el cabezal, la cámara, y la comunicación entre el láser y el robot, todo ello supervisado por un técnico de la empresa proveedora del láser.

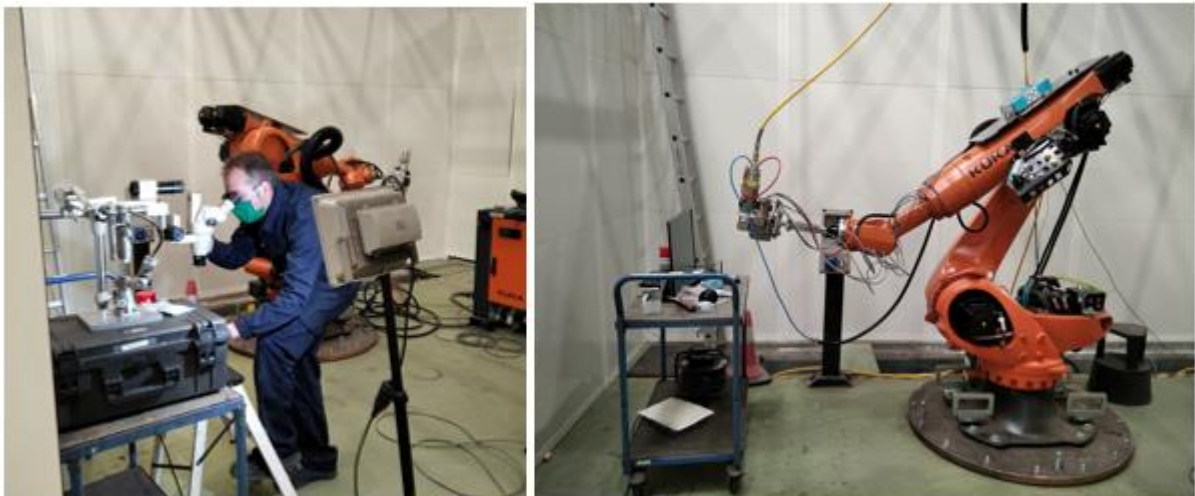


Figura 5. 28 Comprobaciones de cabezal y fibra láser

En las siguientes figuras, se puede apreciar el momento en el que el láser realiza la prueba de mecanizado sobre una placa de acero, en el proceso de ensayo del mismo.

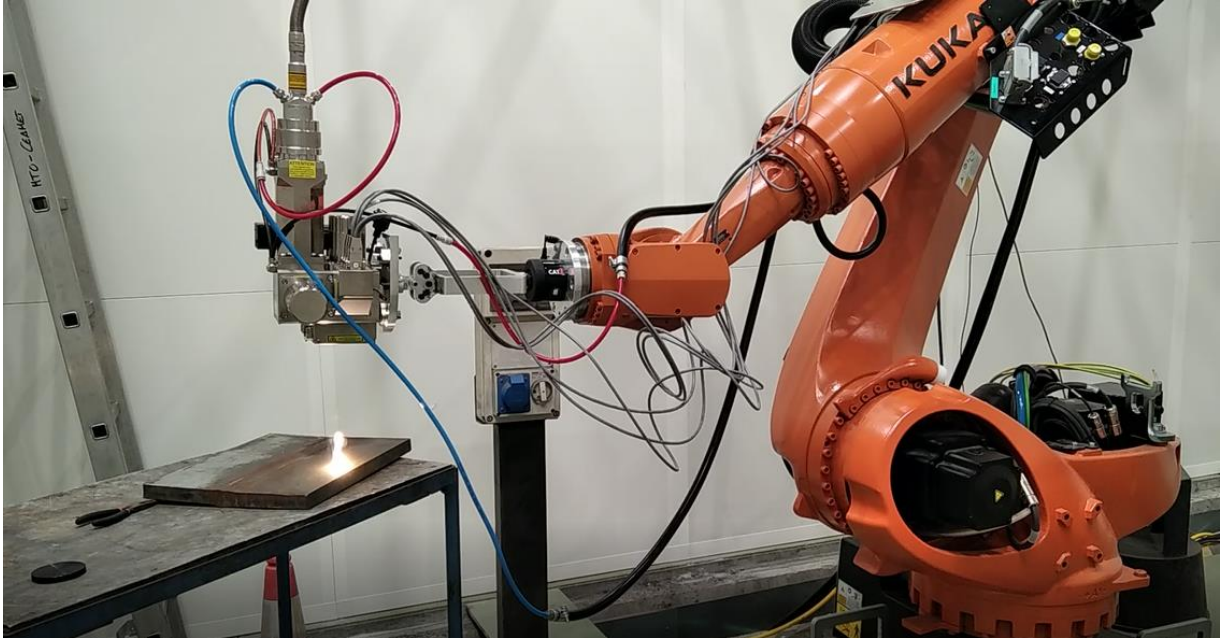


Figura 5. 29 Prueba de soldadura láser



Figura 5. 30 Resultado del ensayo del láser

- Por último, se instalaron las medidas de seguridad activas de la celda, estando constituidas por el cierre de seguridad, las setas de emergencia, y las diferentes señales, tanto lumínicas, visuales, como sonoras.

El cierre de seguridad, tal y como se detalló anteriormente, dispone de una seta de emergencia por la parte exterior de la cabina, y una palanca antipánico por la parte interna, la cual actúa como una seta de emergencia.



Figura 5. 31 Instalación del cierre de seguridad

La luz de emergencia se sitúa sobre la puerta por la parte interna de la cabina, respetando los dos metros de altura que marca la norma. A su vez, se instala otra luz de advertencia por la parte exterior de la cabina, que dará el aviso de que el láser se encuentra en funcionamiento.



Figura 5. 32 Montaje de la luz de emergencia

Las setas de emergencia se instalan en el interior, cerca del puesto de control del robot industrial, a la altura normalizada, para una activación inmediata de los operarios del láser, y en el exterior, al lado del puesto de control del operario que maneja los mandos de control del robot industrial.



Figura 5. 33 Colocación de la seta de emergencia interior

Toda la planificación del proyecto, así como la duración y fechas de cada una de las tareas y subtareas que se han llevado a cabo, se puede consultar en el diagrama de Gantt adjunto en el ANEXO 6.

6.- ANÁLISIS ECONÓMICO

El presupuesto de cada parte se ha desglosado en costes de materiales y componentes, y en costes de ingeniería. Como se puede ver, en el presupuesto no se ha incluido el coste de los materiales o componentes de los cuales ya se disponía, como por ejemplo la máquina semiautomática GMAW. Por otro parte, todos los costes de portes y/o gastos de envío se han considerado gratuitos.

6.1.- HORAS INVERTIDAS Y COSTES DE INGENIERÍA

Con tal de hacer un cálculo preciso de los costes de ingeniería, primeramente se ha estimado el tiempo invertido durante la duración del proyecto, considerando que cada semana dispone de 5 días hábiles con jornadas de trabajo de 5 h cada una.

Tabla 6. 1 Tiempo en semanas y horas, dedicado a cada fase del diseño de la celda robotizada

Horas invertidas en duración del proyecto			
Fase del proyecto	Semanas	Horas	Descripción
Estudio y lectura de normativas	2 sem	50 h	Búsqueda y lectura de las diferentes normativas y documentos relacionados con el proyecto.
Selección y diseño de la celda de soldadura	4 sem	100 h	Selección de la estructura y los diferentes componentes que forman la celda de soldadura.
Estudio de riesgos	4 sem	100 h	Estudio de todos los posibles riesgos derivados del proyecto, así como su gravedad, alcance, y la adopción de medidas para su disminución.
Estudio de mercado	2 sem	50 h	Estudio del nicho de mercado que se puede presentar a la hora de comercializar el proyecto.
Implantación	4 sem	100 h	Selección del diseño de sistemas de control y comunicación, así como modelado 3D de la estructura, y simulación de trayectorias.

Tal y como se puede ver, no se han considerado las horas dedicadas a la redacción de documentación y memoria del proyecto. Con lo cual, los costes de ingeniería resultan ser los siguientes.

Tabla 6. 2 Cálculo de los costes de ingeniería según las horas dedicadas y una estimación del coste por hora

Costes de ingeniería (exc. IVA)	
Horas totales	400 h
Costes por hora	30 €/h
TOTAL Costes de ingeniería (exc. IVA)	12.000,00 €

6.2.- COSTES DE MATERIALES Y COMPONENTES UTILIZADOS

En la siguiente tabla se pueden observar de forma resumida los costes de los diferentes materiales y componentes utilizados en el diseño de la celda robotizada. En el ANEXO 5 se detalla el listado completo, indicando el distribuidor del cual se ha obtenido el precio orientativo (sin incluir el IVA), y el fabricante de cada elemento.

Tabla 6. 3 Costes de los materiales utilizados en el diseño de la celda robotizada y distribuidores

Costes de materiales y componentes de la celda (exc. IVA)	
Componente	Precio
Máquinas del sistema global	326.700,00 €
Componentes eléctricos y electrónicos de la célula robotizada	2.821,25 €
Estructura de la cabina de soldadura	9.639,24 €
Complementos del robot industrial	3.132,86 €
Ventilación	352,71 €
Componentes de montaje de la cabina	525,58 €
Coste Total	343.171,64 €

6.3.- PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO

Una vez calculados todos los costes independientemente, para obtener el presupuesto total del proyecto, se suman sus valores resultantes y se le aplica el IVA general del 21%.

Tabla 6. 4 Cálculo total del presupuesto para el montaje de la celda robotizada diseñada

Presupuesto total del proyecto	
Materiales y componentes	343.171,64 €
Ingeniería	12.000,00 €
Subtotal	355.171,64 €
IVA (21%)	74.586,04 €
TOTAL	429.757,68 €

Como valoración final del estudio económico, se puede apreciar que gran parte del presupuesto se invierte en los materiales y componentes, suponiendo un 79,85 % del total, mientras que el 10,15 % se destina al gasto de ingeniería.

El mayor coste, proviene del láser industrial, con valor de 300.000 €. Por lo que si se restase del presupuesto, el sumando descendería notablemente, ya que supone un 69,8 % del total. Aun así, el coste de materiales y componentes sigue siendo superior al de ingeniería, y si se adoptasen más medidas suplementarias en el sistema global, este porcentaje seguiría aumentando.

7.- CONCLUSIONES

En este proyecto se han realizado las diferentes etapas que conforman el diseño e instalación de una celda de soldadura híbrida, desde el diseño y elección de componentes a través de estudio, que forman la propia celda, hasta la instalación y montaje de la misma.

En primer lugar, se escogieron tanto el robot industrial, el láser de alta potencia, la máquina GMAW, y la estructura de la propia cabina por medio de mesas de contratación y comparativas entre las diferentes ofertas que se presentaban como posibilidades.

En segundo lugar, se diseñó un soporte que albergase los diferentes dispositivos que forman la herramienta de trabajo, los cuales son la antorcha de la máquina GMAW, y el cabezal del láser. También se realizaron comprobaciones con el programa CYPE para confirmar que la estructura cumple con los requisitos necesarios.

En tercer lugar, se realizó un estudio de riesgos para localizar los posibles peligros de la instalación, y reducirlos hasta niveles deseados, logrando asegurar la seguridad de la instalación y funcionamiento del proceso del presente documento.

En cuarto lugar se realizó un estudio de mercado para enmarcar el nicho que podría tener el proyecto, en el caso que se considerase su comercialización, llegando a conclusiones positivas y favorables del impacto del mismo, estimando grandes ventajas y beneficios que podría generar.

Por último, se diseñó y escogió el sistema de control y comunicación más adecuado para la celda, que asegurase su correcto funcionamiento y seguridad, en conjunto con el estudio de riesgos llevado a cabo con anterioridad. También se realizaron simulaciones de trayectorias del sistema global, para comprobar el correcto funcionamiento y acoplamiento de todos los sistemas que lo forman. Con esto se genera la programación necesaria para introducir en el sistema real, para llevar a cabo las tareas de soldadura.

Durante todas estas fases, se fue llevando a cabo la instalación del sistema global, hasta la consecución de su estado final.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. García Bejerano, «© Telefónica S.A.,» 22 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://blogthinkbig.com/que-dicen-las-tres-leyes-de-la-robotica-de-isaac-asimov>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [2] M. F. T. y. T. E. Ruiza, «Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea.,» 2004. [En línea]. Available: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/a/asimov.htm>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [3] A. V. Navarro Piña, Robot Industrial Manual de Instalación, Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A., 2021.
- [4] V. R. González Fdez., «CFIE Valladolid II,» 2002-03. [En línea]. Available: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/industrial.htm. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [5] «Robotic Industries Association,» 2008-21. [En línea]. Available: <https://www.robotics.org/>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [6] «ISO®,» [En línea]. Available: <https://www.iso.org/home.html>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [7] «Freepng.es,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.freepng.es/png-jf5lv9/>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [8] «© VLD Engineering,» 20 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.vld-eng.com/blog/tipos-de-robots-industriales/>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [9] A. Barrientos, L. F. Peñin, C. Balaguer y R. Aracil, Fundamentos de Robótica, Madrid: McGraw Hill, 1997.

-
- [10] «© KUKA AG 2021,» [En línea]. Available: <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [11] ©UNE, «UNE-EN ISO 10218-2 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración.,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0048668>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [12] Gomez Maso, L., «Virtualexpo Group,» [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/cloos/product-9248-1619008.html>. [Último acceso: 3 Marzo 2021].
- [13] «International Federation of Robotics,» 2020. [En línea]. Available: <https://ifr.org/downloads/press2018/Executive%20Summary%20WR%202019%20Industrial%20Robots.pdf>. [Último acceso: 3 Marzo 2021].
- [14] «Interempresas Media S.L.U.,» 24 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/186736-El-parque-de-robots-industriales-en-Espana-crece-un-6-por-ciento.html>. [Último acceso: 3 Marzo 2021].
- [15] «UsedRobotsTrade,» [En línea]. Available: <https://usedrobotstrade.com/milling-machining-robotic-cell>. [Último acceso: 3 Marzo 2021].
- [16] «Centro de empresas para la innovación y la formación,» [En línea]. Available: <https://formacionceif.es/actualidad/que-es-la-soldadura-y-cuantos-tipos-de-soldadura-existen/>. [Último acceso: 3 Marzo 2021].
- [17] «CEIF,» 2020. [En línea]. Available: <https://formacionceif.es/formacion/soldadura-mig-mag-mig-metal-inerte-gas-mag-metal-active-gas/>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].

- [18] «FeiyangMaquinaria,» [En línea]. Available: <https://www.feiyangmaquinaria.com/partes-de-la-cortadora-laser-22222/>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [19] J. Vazquez, «Weldermex,» Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://weldermex.blogspot.com/2013/06/soldadura-hibrida-laser-mag.html>. [Último acceso: 23 Abril 2021].
- [20] «Sherpa Certification,» [En línea]. Available: <https://www.sherpa-certification.com/marcado-ce>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [21] A. Barbecho Barrado, «Universidad Politécnica de Cataluña,» Junio 2020. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/331751/TFG-Dise%C3%B1o%20de%20una%20c%C3%A9lula%20robotizada%20did%C3%A1ctica-Arnau%20Barbecho.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [22] E. Expósito Padilla, «Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla,» 2018. [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/92185/fichero/TFG-2185-EXPOSITO.pdf>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [23] ©UNE, «UNE-EN ISO 12100 Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049405>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [24] ©UNE, «UNE-EN ISO 13849-1 Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño.,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0057029>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].

- [25] ©UNE, «UNE-EN ISO 14119 Seguridad de las máquinas. Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos. Principios para el diseño y la selección.», 2014. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0052646>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [26] ©UNE, «UNE-EN 60204-1 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales», 2019. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0061674>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [27] ©UNE, «UNE-EN 60825-1 Seguridad de los productos láser. Parte 1: Clasificación de los equipos y requisitos.», 2015. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0054667>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [28] ©UNE, «UNE-EN 60825-4 Seguridad de los productos láser. Parte 4: Sistemas de protección frente a la radiación láser.», 2007. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0039703>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [29] ©UNE, «UNE-EN 62061 Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relativos a la seguridad.», 2005. [En línea]. Available: [https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0034134#:~:text=%3A2005%20\(Ratificada\)-,Seguridad%20de%20las%20m%C3%A1quinas.,programables%20relativos%20a%20la%20seguridad..](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0034134#:~:text=%3A2005%20(Ratificada)-,Seguridad%20de%20las%20m%C3%A1quinas.,programables%20relativos%20a%20la%20seguridad..) [Último acceso: 10 Marzo 2021].
- [30] K. D. GmbH, KUKA System Software 8.5 Instrucciones de uso y programación para el usuario final, Augsburg, 2019.
- [31] K. D. GmbH, Hoja de características KR 120 R2700-2, Augsburg, 2020.

-
- [32] K. D. GmbH, KR QUANTEC-2 Specification, Augsburg: KUKA Deutschland GmbH, 2020.
- [33] I. Photonics, Traducción del manual de usuario original: Montaje, manejo y mantenimiento, Burbach: IPG Laser GmbH, 2018.
- [34] D. Günter-Henle-Strasse, Máquina de Soldadura Multiproceso MIG/MAG Titan XQ puls, Mündersbach: © EWM AG, 2019.
- [35] P. I. S.L., «Pilz Industrieelektronik S.L.,» [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/es/pdf/Pilz.pdf>. [Último acceso: 11 Marzo 2021].
- [36] ©. Comprarlaser.com, «Comprarlaser.com,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.comprarlaser.com/gafas-laser/p-647.html>. [Último acceso: 12 Marzo 2021].
- [37] «WindEurope,» 2020. [En línea]. Available: <https://windeurope.org/data-and-analysis/product/offshore-wind-in-europe-key-trends-and-statistics-2020/>. [Último acceso: 23 Marzo 2021].
- [38] B. Puruncajas, Y. Vidal y C. Tutivén, «MPDI,» 17 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/12/3429/htm#B3-sensors-20-03429>. [Último acceso: 23 Marzo 2021].
- [39] «Pymar,» 2019. [En línea]. Available: https://pymar.com/sites/default/files/pymar_informe_anual_2019.pdf. [Último acceso: 25 Marzo 2021].
- [40] J. Cooper, «FuelsEurope,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.fuelseurope.eu/wp-content/uploads/FuelsEurope-Statistical-Report-2018.pdf>. [Último acceso: 25 Marzo 2021].
- [41] E. Commission, «Eurostat Statistics Explained,» 2 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

explained/index.php/Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview#:~:text=The%20primary%20production%20of%20crude,Romania%20(3.4%20Mtoe%20each).. [Último acceso: 25 Marzo 2021].

- [42] S. G. T. d. M. d. C. e. Innovación, «Ministerio de ciencia e innovación Gobierno de España,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ministerio/FICHEROS/EECTI-2021-2027.pdf>. [Último acceso: 29 Marzo 2021].
- [43] «INE,» 27 Noviembre 2020. [En línea]. Available: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176754&menu=ultiDatos&idp=1254735576669. [Último acceso: 29 Marzo 2021].
- [44] «Eurostats,» 2020. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat>. [Último acceso: 29 Marzo 2021].
- [45] «FECYT,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.fecyt.es/>. [Último acceso: 29 Marzo 2021].
- [46] G. d. P. d. Asturias, «FAEN,» Julio 2016. [En línea]. Available: https://www.faen.es/wp-content/uploads/2016/07/FAEN_APC_FOLLETO_ES.pdf. [Último acceso: 20 Abril 2021].
- [47] «Grupo Daniel Alonso,» 12 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <http://orlandoalonsovillaron.es/2020/02/12/windar-grupo-daniel-alonso-implementa-el-parque-eolico-marino-mas-grande-del-mundo/>. [Último acceso: 20 Abril 2021].
- [48] F. Camaret, «PEMA Welding Automation,» 21 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://pemamek.com/customer-stories/stx-france-adds-capacity-by-investing-in-pema-laser-hybrid/>. [Último acceso: 29 Abril 2021].

-
- [49] A. KALIUDIS, «© TRUMPF,» 16 Mayo 2019. [En línea]. Available: https://www.trumpf.com/es_MX/presse/revista-online/the-perfect-storm/. [Último acceso: 29 Abril 2021].
- [50] E. S.L., «ETC-FunSafe, S.L.,» 2019. [En línea]. Available: <https://safetyandsis.com/es/logic-solver/>. [Último acceso: 27 Abril 2021].
- [51] «British Federal México (Soldadura-Automatización-Robótica),» 24 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.bfmex.com/soldadura/tipos-de-soldadura-clasificacion/>. [Último acceso: 3 Marzo 2021].
- [52] «Integral de Conexión y Montajes, S.L.,» 5 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.icmesp.com/soldadura-por-resistencia/>. [Último acceso: 3 Marzo 2021].
- [53] «BIRTLH,» [En línea]. Available: https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/TFM/TFM10/es_DFM_TFM10_Contenidos/website_212_soldadura_elctrica_por_costura_o_roldana_rsew.html. [Último acceso: 3 Marzo 2021].
- [54] «Elchapista,» [En línea]. Available: http://www.elchapista.com/soldadura_por_puntos_en_las_carrocerias.html. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [55] M. Rodríguez Guiso, «ESAB©,» [En línea]. Available: <https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-smaw.cfm>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [56] O. J. Herrera Melo, «Monografías.com,» [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos46/soldadura-por-arco/soldadura-por-arco2.shtml>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].

- [57] Rafael, «Escuela de soldadores.com,» 29 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://www.escueladesoldadores.com/como-soldar-con-tig/>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [58] «Tecnologías en soldadura,» [En línea]. Available: <https://tecnologiasensoldadura.com.mx/soldadura-de-arco-sumergido/>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [59] «Area Tecnología,» [En línea]. Available: <https://www.areatecnologia.com/tecnologia/gas-para-soldar-con-hilo.html>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [60] U. Hernan, «Soldadorainverter.com,» 30 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.soldadorainverter.org/soldadura-por-friccion/>. [Último acceso: 4 Marzo 2021].
- [61] SIC, PANEL SÁNDWICH DP5 SIC, Juárez, 2020.
- [62] I. Photonics, LDD-700 In-line Scanning Weld Monitor, Kingston: IPG Photonics, 2018.
- [63] I. Photonics, WOBBLE WELDING HEAD MODULE SERIES D30 / D50 / D85 Wobble Welding Heads, Oxford: IPG Photonics, 2020.
- [64] I. Photonics, D50 Crossjet Family, Oxford: IPG Photonics, 2020.