



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE
ROBÓTICA COLABORATIVA PARA
FABRICACIÓN DE INTERIORES EN EL
SECTOR DEL AUTOMÓVIL.
DESARROLLO ESTRATÉGICO DE SU
ESTÁNDAR GLOBAL.**

AUTOR: FRANCISCO SEBASTIÁN REBOLLAR

TUTOR: ÁNGEL VALERA FERNÁNDEZ
RAMÓN CASTELLÓ GRAU

COTUTOR:

Curso Académico: 2018-19

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por colaborar entre ellos para hacer de mi vida un lugar bonito.

RESUMEN

El presente documento expone el proceso proyectual tras la elaboración de una máquina robótica. Dicha máquina es una interpretación de la robótica colaborativa compatible con la legalidad vigente. Consiste en un robot colaborativo montado sobre un carro móvil capaz de, previa programación, ser situado en diferentes estaciones de trabajo ya existentes en planta y trabajar en ellas de forma segura. Así se sustituye mano de obra existente por automatización. Cabe destacar que la máquina interactúa con el entorno ya existente y se adapta a él.

Las acciones que la máquina es capaz de hacer son: control de calidad, clasificación de producto, carga y descarga de máquinas, manejo de producto y control de máquinas. Todo ello siendo intrínsecamente segura gracias (entre otros elementos) a dos escáneres de seguridad que peinan el entorno y paran el robot si una persona se aproxima.

El concepto está preparado para una inclusión global en la compañía a lo largo de sus múltiples fábricas en más de 30 países, siendo esta globalidad y escalabilidad un eje fundamental de este trabajo.

El otro eje en el que se basa el trabajo es en la facilidad por parte de planta de instalar y utilizar el producto. Dentro de esta facilidad se reconoce lo sencillo que es programar las aplicaciones (por interfaz de robot, no hay PLC), que no hay cables en su interacción con el entorno (se usan comunicadores de radio), que la máquina es móvil (soluciones de respaldo inmediatas al trasladar la máquina y situar en su lugar un operario) y finalmente que la aplicación está ya certificada en términos de seguridad mediante una empresa externa.

Este proyecto engloba las etapas de estudio, análisis, diseño, certificación, creación de flujos de trabajo y validación, programación de entornos de usuario y primera implementación real en planta.

Palabras Clave: Robótica Colaborativa, Empresa, Multinacional, Programación, Máquina, Desarrollo, Diseño, Certificación, Solución Global.

RESUM

Aquest document exposa el projecte darrere de l'elaboració d'una màquina robòtica. Aquesta màquina és una interpretació de la robòtica col·laborativa compatible amb la legalitat vigent. Consisteix en un robot col·laboratiu muntat damunt d'un carro mòbil capaç de, prèvia programació, ser situat a diferents estacions de treball ja existents a planta i treballar en elles de forma segura. Així, es substitueix la mà d'obra existent per automatització. S'ha de destacar que la màquina interacciona amb l'entorn ja existent i s'adapta a ell.

Les accions que la màquina és capaç de realitzar són: control de qualitat, classificació de producte, càrrega i descàrrega de màquines, maneig de producte i control de màquines. A més a més, és intrínsecament segura gràcies (junt amb altres elements) als escàners de seguretat que controlen l'entorn i paren el robot si hi ha una persona prop.

El concepte està preparat per una inclusió global en la companyia al llarg de les seues múltiples fàbriques en més de 30 països, sent aquesta globalitat i escalabilitat un eix fonamental d'aquest treball.

L'altre eix fonamental és la facilitat per part de planta d'instal·lar i utilitzar el producte. Dins d'aquesta facilitat es reconeix com és de senzill programar les aplicacions (per l'interfaç del robot, no s'usa PLC), que no hi ha cables en la seua interacció amb l'entorn (s'usen comunicadors de ràdio), que és una màquina mòbil (les solucions de suport són immediates gràcies a moure la màquina i posar un operari al seu lloc) i finalment, que l'aplicació està ja certificada en termes de seguretat mitjançant una empresa externa.

Aquest projecte engloba les etapes d'estudi, anàlisi, disseny, certificació, creació de rutes de treball i validació, programació d'entorns d'usuari i primera implementació real a planta.

Paraules Clau: Robòtica, Col·laborativa, Empresa, Multinacional, Programació, Màquina, Desenvolupament, Disseny, Certificació, Solució Global.

ABSTRACT

This document exposes the standardization process of a robotic machine. This machine is an interpretation of collaborative robotics compatible with the law in force. The solution consists on a collaborative robot mounted on a trolley and able to, if has been previously programmed, be placed on different existing workstations at plant and work on them in a safe way. Existing direct labor is substituted by automation thanks to this machine. Special mention to the fact that the solution interacts and adapts to an already existing layout.

The actions that the machine is able to do are: quality control, product classification, loading and unloading of machines, product placement and machine control. Machine is intrinsically safe thanks to (in addition with other elements) safety scanners that control the surroundings and stop the robot if any person is near it.

The concept is prepared for a global distribution over worldwide company plants on more than 30 countries. This globalism and scalability are essential for this project.

Also essential is the easiness for the plant to implement the product. This is because the machine: is easy to program (thanks to robot interface, machine do not use PLC), doesn't need cables to interact with the surroundings (wireless communicators are used), is easy to move (backup solutions are immediate by substituting the robot by an operator), and because the machine is already certified in safety by an external company.

This project encompasses the stages of study, analysis, design, certification, work and validation flow creation, user interface creation and first implementation at plant.

Key Words: Robotics, Collaborative, Company, Multinational, Programming, Machine, Development, Design, Certification, Global Solution.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFM

- Memoria
- Presupuesto

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y MOTIVACIÓN	14
1.1 INTRODUCCIÓN	14
1.2 OBJETIVO	15
1.3 MOTIVACIÓN.....	16
1.3.1 Calidad y Comodidad de Trabajo de Operario	16
1.3.2 Coste de da Mano de Obra.....	19
1.3.3 Pensamiento a Medio Plazo	20
2. CONTEXTO DEL TFM	21
2.1 CONTEXTO EN FAURECIA	21
2.2 CONTEXTO TECNOLÓGICO EN LA INDUSTRIA	22
2.3 LA FABRICACIÓN EN FAURECIA INTERIORS.....	23
2.3.1 Visión Global.....	23
2.3.2 Bloque de Ensamblaje y Post-procesado	24
2.4 CONTEXTO TECNOLÓGICO EN FAURECIA.....	25
2.4.1 Estado e Historia de la Tecnología en Plantas de Faurecia.	25
2.4.2 Papel del Departamento de Robótica y Automática en Faurecia.....	27
2.5 DEFINICIÓN Y CONTEXTO DE LA ROBÓTICA COLABORATIVA	28
2.5.1 Características Principales	28
2.5.2 Aspecto legal.	29
2.5.3 Robótica Colaborativa en la Industria.	31
3. ESTADO DEL ARTE.....	32
3.1 ROBOTS COLABORATIVOS EN EL MERCADO.....	32
3.1.1 FANUC	33
3.1.2 ABB	35
3.1.3 UNIVERSAL ROBOTS	37
3.1.4 KUKA.....	40
3.1.5 YASKAWA	41

3.2	SOLUCIONES COLABORATIVAS EN EL MERCADO	42
3.2.1	FLEXLINK RC10.....	42
3.2.2	FETCH MOBILE MANIPULATOR	43
4.	ANÁLISIS FUNCIONAL	45
4.1	CONOCIMIENTO DEL DESARROLLO	46
4.2	SOLUCIÓN DE ÁMBITO COLABORATIVO.....	46
4.3	FÁCIL IMPLEMENTACIÓN EN PLANTA.....	48
4.4	BAJO COSTE.....	48
4.5	FACILIDAD DE PROGRAMACIÓN	49
4.6	SOFTWARE ADAPTADO A PLANTAS	49
4.7	FACILIDAD DE TRANSPORTE.....	49
4.8	SELECCIÓN DEL ROBOT	50
4.8.1	Método de Comparación y Puntuación.....	51
4.8.2	Tabla Comparativa	53
4.8.3	Decisión Final	54
5.	DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN COLABORATIVA.....	55
5.1	DISEÑO MECÁNICO.....	56
5.1.1	Movilidad de la Máquina.....	56
5.1.2	Posicionamiento de Escáneres de Seguridad	58
5.1.3	Posicionamiento de los Controladores.....	58
5.1.4	Estructura Interior y Recubrimiento Exterior	59
5.1.5	Ventiladores	60
5.1.6	Baliza de Señalización de Estado de la Máquina	61
5.1.7	Placa Superior.....	62
5.1.8	Pedestal Externo	63
5.1.9	Medidas Generales.....	64
5.2	DISEÑO ELÉCTRICO	65
5.2.1	Funcionamiento de las Áreas de los Escáneres	65
5.2.2	Consideraciones sobre Áreas de Seguridad	68
5.2.3	Circuitos de Seguridad.....	69
5.2.4	Funcionalidades Extra	70
5.2.5	Distribución del Armario Eléctrico.....	71
5.2.6	Conexiones	72
5.3	DOCUMENTACIÓN DE SEGURIDAD	73
5.3.1	Nombre de la Máquina	73
5.3.2	Estructura de la Certificación	73
5.3.3	Estructura de Archivos	74
6.	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN.....	89
6.1	PRESENTACIÓN DE COMUNICACIÓN.....	90
6.2	EVENTOS	91
6.2.1	Feria de Robótica y Automática en Paterna.....	91
6.2.2	Presentación de Innovaciones Frente al CEO.....	92
6.2.3	Talleres Impartidos en Diferentes Plantas.	93

7.	CASO DE IMPLANTACIÓN.....	94
7.1	IDENTIFICACIÓN DE LA OPORTUNIDAD DE AUTOMATIZACIÓN	95
7.2	DEFINICIÓN DEL PROCESO	95
7.3	ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA OPORTUNIDAD DE AUTOMATIZACIÓN	97
7.4	PASO 1. ESTUDIO DE APLICACIÓN.....	97
7.4.1	Análisis de Herramienta Comercial para el Agarre de Pieza	97
7.4.2	Diseño y Petición de Oferta para Herramienta Dedicada	99
7.4.3	Validación de Herramienta y Aplicación para Cumplir Seguridades	103
7.5	PASO 2. DEFINICIÓN DE LA LISTA DE MATERIALES E INVERSIONES	104
7.6	PASO 3. DEFINICIÓN DE LAS ÁREAS DE SEGURIDAD	106
7.7	PASO 4. CABLEADO Y DEFINICIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN....	109
7.8	PASO 5. ACEPTACIÓN DE DISEÑO.....	110
7.9	PASO 6. VALIDACIÓN EN PLANTA.	111
7.10	PASO 7. VALIDACIÓN TRAS 90 DÍAS DE PRODUCCIÓN	116
8.	CONCLUSIONES	117
8.1	PLANES DE IMPLANTACIÓN	118
8.2	MEJORAS PLANEADAS	119
8.3	FUTURO.....	119
8.4	VALORACIÓN DEL AUTOR	120
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	121
1.	PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN DEL PRIMER EASYBOT EN AUSTRIA.....	123
2.	PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN DE LOS SUCESIVOS EASYBOT EN AUSTRIA	124

Trabajo Final de Máster

MEMORIA

Francisco Sebastián Rebollar

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y MOTIVACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La presente memoria trata de abarcar el completo proceso proyectual llevado a cabo desde la ideación del proyecto hasta su puesta en funcionamiento en planta.

El proyecto está realizado por su autor dentro de la empresa Faurecia Interiors con la cual tiene un vínculo laboral indefinido. El proyecto está realizado para Faurecia, esto ayuda a entender porque en esta memoria se va a profundizar al máximo en la elaboración del proyecto, pero jamás se van a compartir en su totalidad los documentos completos (planos CAD, diagramas eléctricos, lista de materiales) que permitan a cualquier agente externo emular la máquina para sus propios intereses. Esto está justificado por el carácter estratégico del proyecto dentro del marco tecnológico de Faurecia.

La memoria comienza con un repaso a los contextos en los que está enmarcado el TFM, tanto a nivel de situación de la empresa Faurecia como en el contexto tecnológico que vive la industria en general durante la proyección del trabajo. Para continuar se analiza el estado del arte de la robótica colaborativa, así como otras soluciones observadas en ferias y conferencias de otras empresas. Se pasa en ese momento a realizar la fase de análisis de las necesidades de Faurecia, para entonces esgrimir las funcionalidades específicas que necesita la máquina. Por último se explica la solución adoptada, esta exposición se hace desde diferentes puntos de vista como el de diseño, implementación y programación entre otros.

La totalidad de la memoria redactada se encuentra en el idioma español, no así las capturas o documentos anexados del proyecto original elaborado en Faurecia. Estos documentos originales están creados en inglés.

Hay que destacar que la parte proyectual de la máquina está destinada a ser un estándar de máquina global con el objetivo de ser replicada por cada planta de Faurecia para integrarla en la producción. Obviamente este ánimo generalizador está presente de por sí en la redacción de cualquier proyecto, pero en este caso se agudiza aún más al tener la intención de facilitar al máximo a cualquier planta de producción el llevar el proyecto a cabo sin entrar en cuestiones técnicas.

Por último, se quiere dejar constancia que durante la redacción de esta memoria se identificará de manera inequívoca aquellas tareas que no han sido realizadas por parte del autor. Se entiende por ello, que todo el proyecto está realizado por el autor a excepción de aquellas partes donde se nombre claramente que se contó con ayuda parcial o total. El autor ha llevado el liderazgo técnico y organizativo del proyecto siempre con vistas a realizar su Trabajo Final de Máster (TFM de ahora en adelante). Cualquier comprobación sobre este hecho puede ser contrastada con la compañía, y más específicamente con el cotutor de este trabajo.

1.2 OBJETIVO

Una vez introducido el proyecto, es fundamental fijar el objetivo de la compañía y del autor de este TFM al realizar el proyecto. En un momento inicial como en el de la definición de los objetivos aún no está definida ni en fondo y en forma la máquina final.

En el siguiente apartado de este TFM están expuestos los diferentes contextos en los que se engloba este TFM. Antes de analizarlos se cree conveniente repasar los objetivos del este.

Se van a enumerar a continuación los diferentes objetivos de la empresa a la hora de comenzar el proyecto:

- Sacar partido al equipo de robótica recientemente creado para generar una máquina de concepción y desarrollo interno.
- Reducir el coste de la mano de obra en países con altos salarios.
- Automatizar las plantas.
- Liderar el cambio hacia la robótica colaborativa que la industria ha comenzado recientemente.
- Eliminar la barrera histórica entorno a la adquisición de tecnología en las plantas generando interés en la automatización y acercando la tecnología a sus empleados.
- Crear una máquina altamente reutilizable, invertir en equipamientos con una vida útil alta. Concebir esta máquina como una herramienta que trascienda a proyectos y pueda dar utilidad a muchos de ellos o a varios a la vez.
- Generar una máquina que permita de forma fácil y sencilla el aumento de recogida de datos en la producción y acerque a las plantas el concepto de Industria 4.0.
- Generar una máquina estandarizada y global con certificaciones globales que permita la instalación en cualquier lugar del globo.

Estos objetivos o necesidades descritos anteriormente se trasladan al equipo de robótica y para la elaboración de estos no interviene el autor de este TFM. En el momento en que el equipo de robótica recibe la información se llevan a cabo diferentes propuestas de manera conjunta, en base a estos objetivos surgen diferentes tipos de máquinas y entre ellas emerge el objetivo final que busca definir este proyecto antes de su realización.

El objetivo del proyecto es la realización de una máquina robótica de alta movilidad y facilidad de programación que sea capaz de automatizar acciones manuales y sencillas, que suponga un avance puntero en el ámbito de la robótica colaborativa.

1.3 MOTIVACIÓN

Es momento de definir la motivación que lleva al autor y a la compañía a emprender un proyecto y cubrir los objetivos expuestos en el apartado anterior.

Existen diversos factores que motivan la realización de un proyecto tan particular dentro de una empresa multinacional, se van a enumerar a continuación cada uno de estos factores que constituirán un apartado de este capítulo.

- Calidad y comodidad de trabajo de operario.
- Coste de mano de obra.
- Pensamiento a medio plazo.

1.3.1 Calidad y Comodidad de Trabajo de Operario

La industria de la automoción tiene un gran componente de mano de obra humana. Faurecia integra mucha de su producción con mano de obra humana. Un problema que es común en la industria son las condiciones de esa mano de obra. Pese a que se respeten las medidas de ergonomía y salud que se requieren para el trabajo, hay ciertas condiciones que se buscan evitar. A continuación se explican algunos ejemplos:

- Transporte de piezas pesadas: Este punto es especialmente problemático pues depende de la constitución de cada operario. Las leyes no entienden de variabilidad en este punto y por lo tanto es perjudicial para la salud en según que tipo de operario el estar transportando piezas pesadas durante un turno entero.
- Realización de tareas que requieren esfuerzo físico: Es muy común en la industria la inserción de grapas metálicas en las figuras plásticas (ver figura 1). La inserción de estas grapas supone un esfuerzo físico que, una vez más, implica más para ciertos operarios que para otros. Son comunes las bajas y el absentismo derivado de los daños indirectos y pasivos que puede sufrir una persona al insertar un gran número de estos elementos en un turno día tras día.



Figura 1. Grapa metálica insertada en un panel de puerta plástico.

- Realización de movimientos repetitivos: Muchas veces el contenido de trabajo de un operario se reduce a una sola acción repetitiva. Pese a que se respeten los tiempos de iteración requeridos por normativa no son unas condiciones de trabajo agradecidas.
- Condiciones con algún componente de peligrosidad: En las cadenas productivas de Faurecia existen espacios de trabajo que tienen algún componente de peligrosidad debido al ambiente de trabajo. Esto puede ser debido a ruidos, ambientes tóxicos, condiciones ambientales adversas o ambientes irritantes. Pese a que para cada espacio de trabajo se respetan las directivas europeas y las recomendaciones de la industria, es cierto que nadie quiere trabajar bajo estas condiciones. Se puede observar en la figura 2 una máquina de conformado térmico de moquetas que sirve de ejemplo para este tipo de ambientes, los operarios deben aplicar desmoldeante en las máquinas de forma manual.
- Fuertes olores: Muy relacionado con el punto anterior, existen olores fuertes que pese a no entrañar ningún riesgo para la salud son evitados y molestos para los operarios. Esto ocurre en las máquinas de inyección de polipropileno o de plástico ABS.

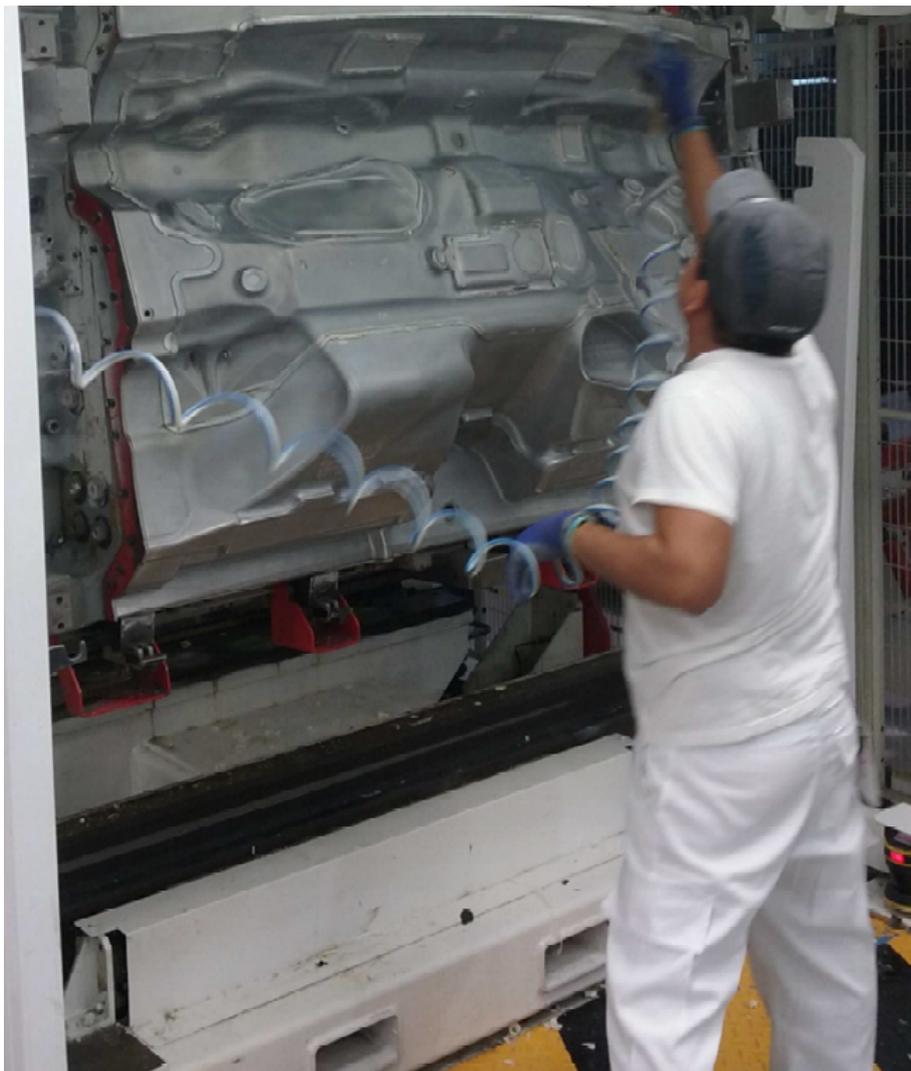


Figura 2. Máquina de conformado térmico de moquetas.

- Trabajos de inspección de calidad: Inspeccionar piezas continuamente causa fatiga entre los operarios, además atribuye una responsabilidad alta. Si una pieza mala avanza hacia la cadena de montaje del cliente puede causar con facilidad una reclamación y un importante impacto en la imagen de la compañía. Por lo tanto un operario tiende a generar más piezas defectuosas (o más variabilidad en la calidad) que una solución automatizada.

Es fundamental recalcar en este punto que Faurecia es una empresa altamente preocupada en la salud y comodidad de sus operarios. Para ello hay un equipo global de responsables de seguridad y salud que se encargan de que no existan operarios trabajando fuera de condiciones óptimas. Este equipo global tiene a su vez representación en cada una de las plantas de Faurecia.

Es precisamente esta alta preocupación por parte de la compañía la que forma el primer punto en motivación de desarrollo de una máquina colaborativa que pueda absorber parte de esos trabajos más exigentes.

1.3.2 Coste de la Mano de Obra

Existen una catalogación interna dentro de Faurecia donde se clasifican los países de producción entre países con una alta mano de obra o HCC (High Cost Country), o los países con una mano de obra más baja o LCC (Low Cost Country).

Los países con alta mano de obra coinciden en todos los casos (por motivos directamente relacionados) con países altamente desarrollados. El nivel académico de los operarios y empleados en esos países desarrollados también es mayor. Por lo tanto se entiende así que una máquina que requiere de programación y mantenimiento de manos de un experto sea más aceptada en los países HCC.

Además, un elemento fundamental a la hora de realizar una inversión en todo tipo de industrias (e incluso en el ámbito personal) es el retorno económico de la inversión. Es decir, es muy importante saber cuantos años van a pasar hasta que la mejora introducida va a reportar tanto dinero como costó inicialmente. En el caso que nos ocupa, será más interesante sustituir mano de obra por automatización en aquellos países en los que haya salarios más alto y por lo tanto existan periodos de retorno económico más bajos. En la figura 3 se puede observar como una misma inversión de 250.000€ tiene periodos de retorno económico diferentes dependiendo del coste de la mano de obra que sustituye.

CONDICIONES GENERALES	
Inversión inicial	250000 €
Mano de obra sustituida	1 Trabajador / turno
Turnos de trabajo	3 Turnos
Horas turno	8 Horas
Días de trabajo	220 Días

PAIS HCC	
Coste mano de obra	45 € / hora
Coste jornada laboral	1080 € / día
Coste anual	237600 € / año
Periodo de retorno	1,05 Años

PAIS INTERMEDIO	
Coste mano de obra	24 € / hora
Coste jornada laboral	576 € / día
Coste anual	126720 € / año
Periodo de retorno	1,97 Años

PAIS LCC	
Coste mano de obra	12 € / hora
Coste jornada laboral	288 € / día
Coste anual	63360 € / año
Periodo de retorno	3,95 Años

Figura 3. Estudio de periodo de retorno económico en función de coste de la mano de obra.

Tanto por desarrollo de los países como por el retorno económico que puede conllevar, es en esos países HCC donde conviene en mayor medida instalar máquinas automatizadas que reduzcan la mano de obra.

Debido a la idoneidad de estos países HCC se establece una motivación clara al poder cubrir esa oportunidad.

1.3.3 Pensamiento a Medio Plazo

Casi todas las inversiones en Faurecia tienen un estudio económico enfocado a rendimiento durante proyecto. Es decir, solo interesan si el mismo proyecto en el que se implantan amortizará la inversión. La motivación en este apartado para la creación de la máquina que ocupa este TFM reside en generar un equipamiento capaz de dar salida a varios proyectos, ya sea esto gracias a que dura muchos años siendo útil o a causa de que puede albergar varios proyectos al mismo tiempo.

Ya se ha comentado en la introducción que la robótica es el aliado perfecto para conseguir este efecto, ya que un robot puede cambiar de cabezal rápidamente y así adecuarse a tareas distintas.

También existe una motivación especial para hacer que la máquina sea móvil. Ya que pensando siempre en el medio plazo, es posible que la máquina evolucione y se programe para ser usada en un emplazamiento nuevo.

Por lo tanto, juntando las posibilidades de generar una máquina móvil con las de adecuar un robot y su gran flexibilidad dan como resultado una inversión que se desvincula del proyecto y que permite pensar en el medio plazo como horizonte.

No solo se puede pensar en el medio plazo a nivel económico, sino también en el nivel práctico. Las plantas tienen un presupuesto limitado, y piensan muchísimo las inversiones que realizan. El hecho de tener un elemento tecnológico versátil les facilita la decisión de inversión. Tener la seguridad de que se compra una máquina que puede realizar trabajos productivos en diferentes emplazamientos es una ventaja competitiva. Si falla el proyecto a causa de cualquier factor se puede solucionar usando el activo para otra tarea.

Las plantas tenían esta necesidad y por ello es una motivación más hacia la realización de la máquina.

2. CONTEXTO DEL TFM

El contenido de este TFM no se entiende sin el contexto tecnológico y empresarial que lo rodea. Por lo tanto es fundamental entender bajo que premisas se desarrolla el trabajo proyectual.

Se va a empezar describiendo el contexto de la empresa Faurecia dónde se desarrolla el trabajo. Se seguirá estudiando el contexto tecnológico en la industria en general y en Faurecia en particular.

Finalmente se analizará el estado de la industria de los robots colaborativos, así como los aspectos más destacados que la caracterizan y limitan.

Bajo todos estos contextos se busca dar forma a las necesidades que llevan a la compañía a lanzar un desarrollo en robótica colaborativa y que da forma a los objetivos de este Trabajo Final De Máster.

2.1 CONTEXTO EN FAURECIA

Faurecia es una empresa internacional del sector del automóvil de matriz francesa. Faurecia cuenta con 330 plantas de producción en 34 países. Está formada por tres grupos de negocio claramente diferenciados:

- Faurecia Interiors: Dedicada a la fabricación de interiores del automóvil como salpicaderos, puertas y consolas.
- Faurecia Clean Mobility: La cual produce elementos de escape de gases en vehículos de combustión. También ha emprendido el negocio de cableado y gestión de energías en el automóvil.
- Faurecia Seating: Destinada a la fabricación de asientos del interior de cabinas de conducción.

La organización de los grupos establece plantas de producción y centros de desarrollo. El autor de este TFM trabaja en el Centro de Desarrollo de Faurecia Interiors situado en el Parque Tecnológico de Paterna.

El puesto de trabajo que desempeña está englobado en el departamento de Robótica. Concretamente se trata de llevar el conocimiento sobre el área a la empresa. Todo ello englobado desde un nivel estratégico, generando así los estándares de programación y de máquina que se van a usar en el corto y medio plazo en la compañía.

Es así como es posible realizar un proyecto como el que ocupa esta memoria, ya que se trata de un proyecto de desarrollo a medio plazo. Comúnmente las multinacionales centradas en la producción (y especialmente las englobadas en el sector del automóvil) no invierten el tiempo

y el coste necesario de idear máquinas o conceptos que no vayan a repercutir inmediatamente en los beneficios de la empresa. Además, el hecho de entender una máquina como elemento transversal entre todas sus plantas y proyectos también es común dentro de Faurecia, siempre centrada en la producción de estándares que sirvan para la globalidad de proyectos que desempeña.

La organización interna de Faurecia hace ya referencia a este método de trabajo. Sin entrar en concreto a definir la estructura organizativa, sí que es conveniente resaltar que los proyectos y sus equipos de desarrollo discurren de forma transversal entre los departamentos de la empresa.



Figura 4. Esbozo de disposición departamental de Faurecia.

Más concretamente, y fijándonos en la Figura 4, en el departamento de Ingeniería se alberga también la robótica.

Por lo tanto, este TFM se ha realizado dentro de este departamento de robótica buscando satisfacer una necesidad concreta de la compañía para integrar la robótica colaborativa

2.2 CONTEXTO TECNOLÓGICO EN LA INDUSTRIA

Hablar del contexto tecnológico de la industria del automóvil en el siglo XXI es hablar de la llamada cuarta revolución de la industria, también conocida como la Industria 4.0. Este concepto tiene una interpretación generalista, pero se puede entender atendiendo a la integración de los siguientes elementos en la fábrica tradicional:

- Internet de las cosas (IoT: Internet Of Things): El término define la transformación de llevar la conectividad a los objetos y máquinas más cotidianas. El ejemplo más sencillo es pensar en una lavadora conectada que es capaz de informar al usuario que ya ha acabado su ciclo de lavado. Siguiendo esta corriente la industria también ha buscado conectar todos sus elementos de fabricación para tener disponible información sobre los sistemas productivos.
- Robótica: El paso de los años ha derivado la fabricación automática hacia la fabricación robótica debido al bajo coste y alto desempeño que tienen los brazos robóticos a costa de su fabricación en masa. El ejemplo que todo el mundo tiene en mente es un brazo robótico de seis ejes realizando operaciones de paletizado. La industria también trata de incorporar los brazos robóticos, no solo por su coste sino también por su flexibilidad que les permite ser reutilizados.
- Big Data, Data Analysis y Machine Learning: Acuñadas en inglés las tecnologías capaces de recoger gran cantidad de datos (Big Data), analizar su contenido (Data Analysis) y poder hacer que el sistema aprenda sobre el proceso y lo mejore o indique la necesidad de un mantenimiento preventivo (Machine Learning).

Además, todos estos conceptos tienen más sentido si se entienden de forma conjunta. Un uso del Internet de las Cosas y de la Robótica genera un gran número de datos que tratar y poder usar tanto para el control de las plantas como para su mantenimiento.

La realidad es que la mayoría de las industrias han introducido estos elementos en sus plantas, pero la revolución total aún no se ha dado en pleno 2018. Un error claro en este tipo de tecnologías es subestimar la dificultad de ser implantadas y en no observar las contraprestaciones que puede provocar su uso.

Es enriquecedor ilustrar la última afirmación con un ejemplo real de la industria del automóvil. El 31 de marzo de 2016 se presenta en California el vehículo Tesla Model 3, es un nuevo modelo eléctrico de la compañía a un precio más bajo que sus predecesores y por lo tanto enfocado a un público mayor. Tesla es una nueva compañía y se enfrenta en ese mismo momento al reto de la producción en masa, por ello cuenta con la confianza de crear una cadena de producción altamente automatizada con el uso de robots. El 13 de abril de 2018 y tras haber anunciado varios retrasos en las entregas de las unidades del modelo, el presidente de la compañía Elon Musk declaraba para la cadena estadounidense CBS que “los problemas de producción en Tesla se deben a la excesiva automatización. Los humanos están infravalorados”.

Se verá en la etapa de análisis y diseño de este proyecto como se ha tenido en cuenta estos problemas y por lo tanto la facilidad de instalación y la fácil sustitución de la máquina por un operario han sido fundamentales en el desarrollo de la máquina.

2.3 LA FABRICACIÓN EN FAURECIA INTERIORS

2.3.1 Visión Global

Es fundamental contextualizar el tipo de fabricación que se da en Faurecia Interiors (referido como Faurecia de ahora en adelante para simplificar).

Como ya ha sido mencionado, Faurecia se dedica a la fabricación de salpicaderos, puertas y elementos del interior del automóvil.

Faurecia estructura sus plantas separándola en tres grandes bloques principales:

- El primer bloque es el de inyección, donde grandes inyectoras dan forma a las piezas. Comúnmente la empresa fabrica las piezas principales, mientras las pequeñas piezas normalmente se compran a una empresa externa. Las inyectoras se organizan en bloque y se administran de forma muy eficiente.
- El segundo bloque es un bloque de almacenaje y curado intermedio. Este almacenaje sirve también para distribuir las piezas hacia las zonas correspondientes a cada proyecto.
- El tercer y último bloque es el de ensamblaje y posproducción. En este apartado se organizan líneas de fabricación por pieza final. El punto de inicio es la pieza inyectada, y esta va avanzando por las estaciones de trabajo (algunas automáticas y algunas manuales) donde se le incorpora valor en forma de proceso o ensamblaje.

Para la realización de un proyecto de robótica colaborativa que asista a la producción y sustituya mano de obra existente (se adelanta ya el objetivo principal del proyecto) es

interesante centrarse en el último bloque donde más mano de obra hay y más ineficiencias derivadas de un trabajo laborioso y/o repetitivo. Para encontrar esta situación hay que descartar los dos primeros bloques.

Se descarta la inyección porque por el alto coste de los moldes y la maquinaria ha derivado en aprovechar cada segundo de producción y llevarlo a una eficiencia extrema. También esto es debido a una causa histórica, ya que Faurecia era principalmente una empresa inyectora hasta hace unas décadas y se centró en mejorar mucho el proceso, a posteriori y con el avance del sector se decidió añadir valor a esas piezas inyectadas con la etapa de ensamblado y post-procesado. También se descarta el bloque de almacenaje por motivos obvios, ya que no hay opción de automatización por medio de la robótica colaborativa.

2.3.2 Bloque de Ensamblaje y Post-procesado

Es este bloque abundan las líneas de producción basadas en pieza final, de forma que se van incorporando a la pieza principal diferentes procesos y piezas más pequeñas para conseguir el producto final.

Dicha producción se organiza en bancos o estaciones de trabajo donde se le aplica valor. Un ejemplo de estas estaciones de trabajo puede ser tanto las mesas para que un operario atornille cierto componente como una máquina de fresado que trabaje la pieza. Además, el traslado de las piezas de un banco a otro se realiza de forma manual. Las piezas pasan por estos procesos manuales y automáticos.

También están incluidos en este bloque las estaciones de calidad o de comprobación de pieza. En estas estaciones se comprueba que los componentes montados en las piezas son los correctos o que no hay problemas de calidad superficial en las piezas.

En dichas estaciones de trabajo se suele trabajar de pie en la gran mayoría de casos, ya que la movilidad es muy importante.

Un ejemplo de estación de trabajo está representado en la figura 5.



Figura 5. Estación de trabajo manual.

Un ejemplo de célula con carga manual de pieza se puede observar en la figura 6.



Figura 6. Máquina de soldadura automática con carga manual.

2.4 CONTEXTO TECNOLÓGICO EN FAURECIA

2.4.1 Estado e Historia de la Tecnología en Plantas de Faurecia.

Faurecia y sus fábricas fueron creadas en su mayoría hace más de 20 años. Esto conlleva que la mayoría de las fábricas se han tenido que adaptar a los nuevos tiempos de una forma escalonada y a veces mal enfocada.

También hay que tener en cuenta que no siempre hubo una estrategia global en la compañía, muchas fábricas pertenecían a otros grupos empresariales antes de convertirse en Faurecia.

Por lo tanto, lo que ha predominado en la empresa es la actualización tecnológica cuando se actualizaban las líneas de producción. Los ciclos de un producto en el sector del automóvil se mueven entre los cinco y siete años, y es muy común no poder aprovechar las máquinas y estaciones de trabajo de una línea de producción a otra. Es por ello por lo que las renovaciones tecnológicas vienen dadas en el cambio de líneas de producción.

Además, derivado de una concepción antigua de la fábrica, nunca se ha entendido la tecnología como un elemento transversal en la producción o en la empresa. Por lo tanto, no ha sido hasta hace poco cuando se han incorporado mejoras tecnológicas no centradas en una línea de producción en completo, sino centradas en la gestión de las producciones y en la eficiencia general de la fábrica.

Con el contexto descrito, es fácil imaginar el tipo de máquina de producción existente en Faurecia. Un perfil de máquina que tiene los siguientes rasgos comunes:

- Máquina automática destinada a una acción muy concreta.
- Basada en control PLC.
- Programada por un proveedor local, con una programación no experta y en lengua autóctona. Programación no comentada y no modulada.
- Baja presencia de robótica. Si hay robots su lenguaje sigue la misma programación caótica y con falta de previsión.
- Los robots están enclaustrados en células de fabricación que minimizan el espacio y son difíciles de reutilizar para otros proyectos.

Con el paso de los años y con el esfuerzo de Faurecia de centralizar el conocimiento y los estándares de sus máquinas se han logrado mejorar muchos aspectos. Pero los anteriormente mencionados son los que más han perdurado.

Como ejemplo, se puede observar en la figura 7 una máquina de troquelado dedicada y basada en PLC.



Figura 7. Máquina dedicada de troquelado.

2.4.2 Papel del Departamento de Robótica y Automática en Faurecia.

Debido a estos factores comentados, es fácil imaginar porque es a veces mucho más rentable comprar una máquina nueva antes que enfrentarse a la tarea de remodelación de una existente. Esto provoca grandes inversiones por proyecto y una baja tasa de reutilización de componentes, algo que va en contra de los intereses económicos de la empresa.

Es misión del departamento de Robótica y Automática donde trabaja el autor de este TFM crear los estándares y máquinas globales para que el equipamiento cumpla unas directrices fundamentales:

- Tener un equipamiento altamente reutilizable para que la inversión inicial del proyecto pueda satisfacer a otros proyectos por venir.
- Poseer la autoría de tanto el diseño como los esquemas eléctricos de la máquina, para que el conocimiento de esta recaiga en personas dentro de la empresa y cualquier modificación posterior sea posible.
- Tener un código PLC y robot que sigue unos estándares creados por Faurecia para la fácil interpretación de estos. Además, dichos estándares obligan a comentar en inglés el código y a usar estructuras determinadas para cada tipo de máquina.
- Tener equipamiento flexible, capaz de realizar diferentes operaciones sobre la pieza.
- Poseer en la medida de lo posible robots. Esto puede parecer baladí, pero un robot de seis ejes puede realizar muchas acciones diferentes dependiendo de la herramienta que carga en la muñeca. Poseer robots en las cadenas de producción y en las máquinas de fabricación permite una alta flexibilidad y un alto índice de reutilización.
- Entender la flexibilidad no solo como reutilización del equipamiento en otro proyecto, sino también como la posibilidad de utilizar el mismo equipamiento en dos proyectos distintos al mismo tiempo y con cambios de utillajes instantáneos que no supongan ninguna ineficiencia al proceso.

Es empeño del departamento dar con las necesidades mencionadas en diferentes tecnologías y hallar con una solución que aporte el valor añadido especificado.

Un ejemplo de aplicación de esta estrategia es la creación en año 2016 de una célula capaz de atornillar, ensamblar y soldar paneles de puerta al completo mediante el uso de robots con cambio de cabezal. Esta máquina aúna gran cantidad de acciones que se realizan en una cadena de producción. Empezó a concebirse en el año 2016, y se han instalado 10 y 25 máquinas como esta en los años 2017 y 2018 respectivamente. Esto evidencia el carácter global y el éxito en los objetivos iniciales del departamento. En definitiva, se busca controlar más la tecnología presente en los equipamientos y enfocarla hacia donde la compañía piensa que es realmente útil.

Obviamente, la máquina concebida en este TFM sigue las pautas especificadas por el departamento. Se busca en este apartado que el lector entienda las directrices fundamentales de la empresa y el propósito último del equipamiento ideado. Se profundizará más en el análisis de funcionalidades del equipamiento en estos aspectos.

2.5 DEFINICIÓN Y CONTEXTO DE LA ROBÓTICA COLABORATIVA

2.5.1 Características Principales.

La robótica colaborativa está formada por aquellos robots diseñados con ciertas características que los hacen más preparados a nivel de seguridad para trabajar cerca de humanos o incluso con humanos.

También se entiende dentro de la corriente colaborativa la idea de que la robótica se acerca más a un usuario inexperto y se aleja de la figura clásica del programador de robótica. Buscan de esta forma acercar la programación del robot al usuario medio.

Puede parecer que la robótica colaborativa es un paso necesario dentro de la robótica para modernizar sus equipamientos y para adaptarse a la realidad de la automatización. Hace décadas se imaginaba la fábrica del futuro como una fábrica completamente automatizada. Ahora se entiende ese futuro como una buena interacción entre el ser humano y la robótica.

Las características que los hacen colaborativos pueden variar de unas marcas a otras, pero en general se pueden generalizar los siguientes puntos:

- Brazos robóticos con sensores de colisión. Estos sensores pueden ser sensores de sobrecorriente en los motores o sensores de fuerza integrados. Aparte de servir como una entrada más para la programación del robot esta funcionalidad también sirve para certificar el robot en una escala más segura.
- Interfaces de programación más sencillas con consolas de programación más accesibles. Son comunes ya las consolas táctiles con interfaces muy parecidas a las que se encuentran en los teléfonos inteligentes.
- Robots más pequeños para poder asegurar que son elementos más seguros que sus predecesores.
- Morfologías de robot nuevas. Pese a que la gran mayoría conserva la morfología general de seis ejes es común ver construcciones diferentes que aprovechan el tamaño más reducido del robot para lograr más movimientos.
- Sistemas más abiertos donde se pueden embeber dentro del software paquetes programados por empresas externas y así enriquecer el uso del robot o de un periférico. El símil con la tecnología de los teléfonos inteligentes sería que en los robots colaborativos se pueden instalar “aplicaciones” que agrandan las posibilidades del robot.

Siguiendo estas pautas, las empresas de robótica han adaptado modelos durante los últimos años. No es la intención de este apartado hacer un estado del arte sobre robótica colaborativa, pero es interesante destacar.

Desde la creación de este tipo de robótica han aparecido nuevas marcas que la han impulsado y que se han hecho hueco en el mercado. Este hecho es relevante y explica el tirón de este tipo de robótica, ya que hasta hace unos años era impensable que una empresa de nueva creación emergiera en un mercado dominado por grandes marcas muy conocidas por su incidencia en las últimas décadas.

2.5.2 Aspecto legal.

Los robots colaborativos, como cualquier otro robot industrial no son máquinas completas, están denominadas como “cuasi-máquinas”. Es cuando se le dota a ese robot de una herramienta y de una aplicación con límites conocidos cuando se puede certificar con marcado CE.

Las normas que rigen las instalaciones robóticas en la Unión Europea son las siguientes:

- ISO 10218-1:2011: Publicada en 2011, es la primera parte de la norma que adecua y limita la tipología y los elementos de seguridad que deben seguir los robots para ser seguros.
- ISO 10218-2:2011: También publicada en 2011, esta es la segunda parte de la norma que habla sobre los sistemas robóticos y sus integraciones. Es aquí donde se consolidan los elementos legales y de seguridad requeridos para un correcto marcado de seguridad CE.

En el año 2012 aparecieron ya los primeros robots colaborativos. Sin entrar en la especificación legal, dentro de la norma ISO10218-X:2011 existían ciertas ambigüedades bajo las cuales se podían justificar como seguros los robots colaborativos para aplicaciones con seres humanos. Concretamente había ambigüedades sobre el trabajo de las máquinas cerca de personas debido a que para aprobar dichas aplicaciones no se tenían en cuenta los posibles impactos en el cuerpo humano.

Existía pues un desfase entre la norma y la realidad de la robótica. Esta situación se resolvió en 2016 con la norma ISO/TS 15066:2016 la cual sirve como suplemento a las normas ISO10218-X:2011 y concreta el uso de robots colaborativos.

Es esta norma se incluye el detalle de impactos permitidos en diferentes partes del cuerpo humano y su método de medición. Además, establece que no un robot no es seguro por sí mismo, sino que lo es la aplicación en la que está en uso.

La norma también establece las velocidades y aceleraciones que el robot puede emplear en sus acciones, así como las distancias que se deben controlar en su uso junto con seres humanos.

Es importante recalcar que en esta norma se establece también el procedimiento necesario para evaluar una máquina en concreto y para validar su funcionamiento seguro. Dichas validaciones son realizadas comúnmente en la industria por una empresa externa certificadora.

En el caso de Faurecia también se procede de la misma forma, por lo tanto, durante la realización de este trabajo ha existido una asesoría técnica por parte de una de estas empresas externas que ha guiado y recomendado los elementos de seguridad usados en la máquina. Aunque en todo momento el liderazgo y proposición de la idea en la que se basa la máquina ha ido de la mano de Faurecia.

La interpretación del autor de este TFM sobre la norma y su aplicación concreta sobre la máquina en la que se basa este trabajo están especificadas más adelante, así como los elementos recomendados por la empresa externa.

Además de la norma ISO/TS 15066 también existe la norma ISO 13849 la cual establece diferentes medidas de seguridad diferenciadas en niveles. Los niveles avanzan en seguridad desde el nivel “PLa” hasta el “PLe”.

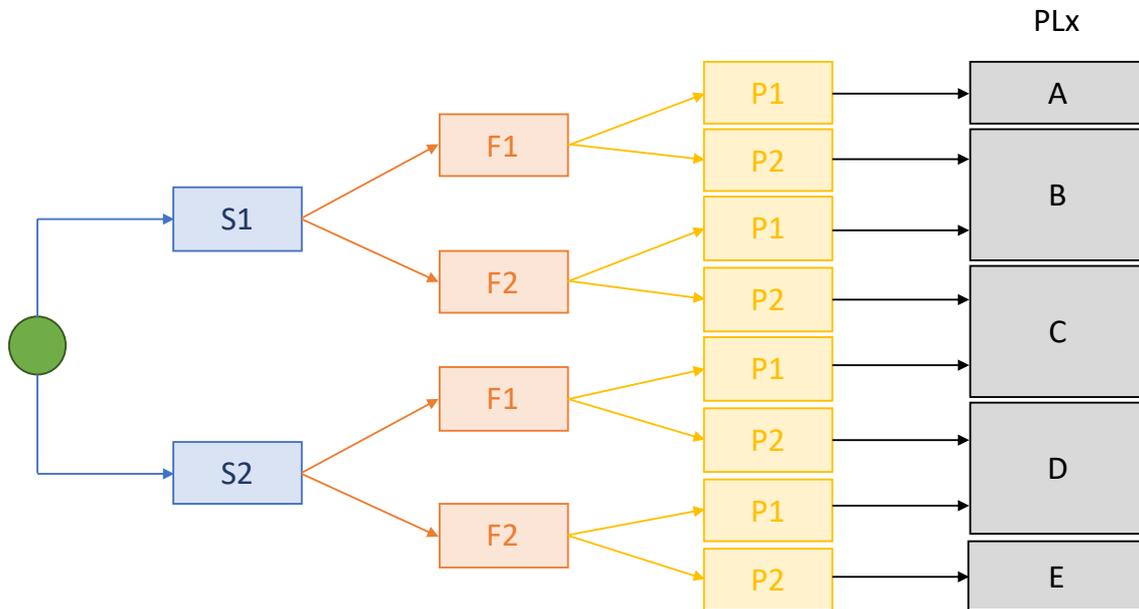


Figura 8. Ruta de preguntas para esgrimir el nivel PL correcto.

Para conocer qué nivel tiene la aplicación estudiada es necesario observar la figura 8. En ella se ve un camino de diferentes preguntas que dependiendo de su respuesta se acaba en el nivel adecuado (color negro).

Las preguntas son las siguientes:

- Azul: Severidad de la lesión que puede causar.
 - S1: Lesión leve.
 - S2: Lesión grave.
- Naranja: Frecuencia de exposición a la lesión.
 - F1: Raramente.
 - F2: Desde frecuente hasta continua.
- Amarillo: Posibilidad de evitar el daño
 - P1: Posible.
 - P2: Desde poco posible a imposible.

Una vez se tiene identificado el nivel se debe identificar la categoría que va desde la categoría uno hasta la categoría cuatro dependiendo de las lógicas de señales de seguridad construidas. No se va a entrar a detallar dichas lógicas en este apartado.

Obviamente, se ha realizado un resumen de lo que engloba la norma. Las definiciones y aproximaciones a cada pregunta están perfectamente definidas. Se usa esta norma muchísimo para identificar en qué medida una máquina es segura y poderla comparar con otras máquinas u otros usos.

2.5.3 Robótica Colaborativa en la Industria.

Pese a que con la norma de 2011 nacieron varias aplicaciones colaborativas realmente rompedoras, es cierto que con la norma de 2016 esas aplicaciones encontraron un límite evidente a favor de la seguridad de los operarios.

Es por este motivo por el cual la idílica aplicación de robótica colaborativa en la cual el imaginario sitúa a un ser humano y a un robot de seis ejes trabajando conjuntamente en cualquier aplicación es hoy imposible. Los requerimientos legales, así como velocidades y distancias necesarias hacen que esas aplicaciones hayan quedado reducidas.

En el respectivo estado del arte incluido en futuros puntos de este TFM se discuten las soluciones adoptadas por la industria para dar valor a estas máquinas.

En el caso de Faurecia y con anterioridad a existir el Departamento de Robótica y Automática, se instalaron varios robots colaborativos que después de la aparición de la norma ISO/TS 15066 en 2016 fueron encerrados entre vallas protectoras.

Pero posteriormente a la norma hay otras empresas en el sector del automóvil que han integrado soluciones factibles y seguras en sus líneas, como es el caso de que se puede observar en las figuras 9 y 10.



Figura 9. Robot colaborativo trabajando en un fabricante del sector del automóvil.

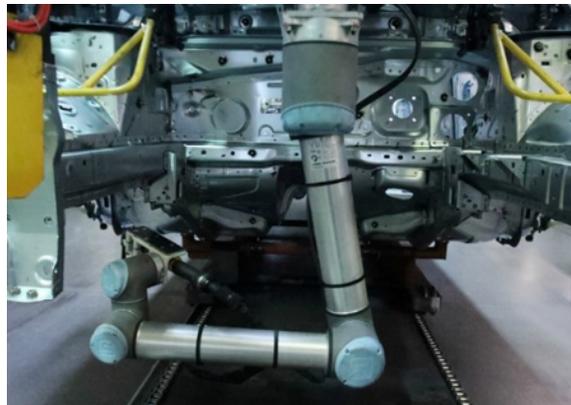


Figura 10. Robot colaborativo trabajando en línea.

3. ESTADO DEL ARTE

Se procede ahora a exponer el estado del arte de la robótica colaborativa, tanto en producto (robots) como en máquinas (soluciones similares al objetivo de este trabajo). En el análisis de cada una de estas variantes se debe destacar que no en todos los casos se ha estudiado económicamente la adquisición de los productos, ya que uno de los objetivos mencionados era el de desarrollar internamente en la empresa la máquina. Pero sí que ha ayudado ver las tendencias actuales de la robótica colaborativa y cómo cada ingeniería ha intentado aplicarlas para obtener la mayor rentabilidad.

3.1 ROBOTS COLABORATIVOS EN EL MERCADO

Son muchas las empresas que ofrecen robots colaborativos entre sus productos. Hay que destacar que la definición de colaboración no es la misma para todas las empresas, de esto se hablará y se comparará en cada uno de los productos. Esto se debe a que muchos de estos productos fueron concebidos antes de la norma ISO/TS 15066:2016 que (como se ha visto en el contexto legal mencionado anteriormente) otorga el término colaborativo a las aplicaciones y no a los robots.

También se mencionará en cada apartado los niveles y categorías certificados según la ISO 13849 que ha sido mencionada y definida brevemente en la introducción de este trabajo, concretamente en el apartado de contexto legal.

Por lo tanto hablar de robot colaborativo no es del todo preciso, realmente un robot colaborativo puede trabajar como un robot clásico industrial si está completamente rodeado por seguridades. Y un robot industrial puede realizar una aplicación colaborativa si se han tenido en cuenta las seguridades que exige la norma.

Por lo tanto, se va a definir a continuación el término robot colaborativo desde el prisma personal del autor de este TFM. Una definición global que trata de abarcar todas aquellas concepciones que cada uno de los fabricantes de robots ha podido tener en cuenta a la hora de plantear su producto.

Así pues, un robot colaborativo es generalmente un brazo robot con capacidades de carga medias y bajas que integra en sus componentes sensores de esfuerzo más o menos precisos que ayudan al robot a controlar el entorno de una forma más o menos segura. Además dichos robots están certificados con altas ponderaciones en materias de seguridad como cuasi máquinas ya que poseen funcionalidades exclusivas que los hacen más seguros.

Se van a analizar ahora los robots colaborativos de las principales marcas en el mercado.

3.1.1 FANUC



Figura 11. Imagen publicitaria sobre robots colaborativos FANUC. Recuperado de www.fanuc.eu.

FANUC es uno de los principales fabricantes de robots del planeta. No es objetivo de este apartado estudiar la trayectoria de las compañías, pero es importante para entender el calado de estos robots saber que FANUC tiene una cuota de mercado en torno al 25% en robótica tradicional.

FANUC comercializa hasta cuatro modelos de robots colaborativos, su título y características básicas son las siguientes:

- CR-4iA: Colaborativo con cuatro kilos de carga máxima y un alcance de 550 mm.
- CR-7iA y CR-7iA/L: Colaborativo con siete kilos de carga máxima. Disponible con dos alcances, de 717 mm. (modelo estándar) y de 911 mm. (modelo L)
- CR-15iA: Colaborativo de quince kilos de carga máxima. Con alcance de 1441 mm.
- CR-35iA: Colaborativo de treinta y cinco kilos de carga máxima con un alcance de 1813 mm.

Se puede observar que es una gama con unas dimensiones y peso muy variadas, lo que más sorprende es la capacidad de carga de quince kilos para el mayor de los robots.

Las cuasi máquinas de las que hablamos tienen una base especial. Se puede observar en la figura 11 como la parte negra de la base de los robots tiene una dimensión grande en comparación con otros robots industriales. Esa base es un sensor de esfuerzos que se encarga de monitorizar los esfuerzos que ocurren aguas arriba. Cada movimiento que el robot realiza es medido por la base, y si no entra dentro de lo esperado las seguridades entrarían en juego y paralizarían el robot.

Esto hace necesario que la programación del robot sea muy precisa en cuanto a la definición de cargas que el robot está manejando en cada momento, así como los centros de inercia de los objetos cogidos (especialmente si son pesados). Esto se hace para que el controlador sepa identificar los esfuerzos como esperados y no entren en juego las seguridades a no ser que sea realmente necesarias. Esta precisa programación es algo que debería hacerse en cada aplicación robot programada pero es cierto que en robots industriales tiende a definirse menos.

Además, el modelo más grande (CR-35iA) tiene su cuerpo completamente cubierto por un material espumado que absorbe los impactos.

Los robots cuentan con una protección anti-atrapamientos que genera los espacios necesarios en las juntas de los ejes para evitar que un brazo o mano queden atrapados en ellos. La forma de conseguirlo es limitando las acciones de los ejes, se verá más adelante que hay otras formas constructivas de hacerlo sin limitar la movilidad del robot. Esta funcionalidad está hecha siguiendo la ISO 13857.

La interfaz de programación es la misma que en los otros robots industriales de FANUC. Esta interfaz se basa en un terminal de programación donde se pueden introducir comandos de forma asistida. No destaca por ser intuitiva ni fácil de usar, pero a su vez no está enfocada a programadores expertos.



Figura 12. Sistema de movimiento manual para programación de FANUC. Recuperado de www.fanuc.eu.

Los robots pueden ser guiados de forma manual para su programación con la ayuda de un sistema especialmente ideado para ellos y que se instala en la muñeca del robot (figura 12).

We don't need fences

The FANUC CR series can work side by side with humans or collaborate with them without the need for external safety devices.

BUILT-IN SAFETY FOR ALL-ROUND PROTECTION
The CR series is equipped with FANUC collision stop protection. For maximum reliability, this uses proven sensor technology. All robots have a function to restart them easily and quickly after a stop. In addition to contact stop, the CR series comes with push back and anti-trap features for additional protection. To prevent the risk of pinching, the larger CR 35iA model comes wrapped in a passive soft cover.

CONTACT STOP
The CR series stops gently after a collision with a fixed object or person and retracts. A safety system ensures that the robot stops at a maximum of 150N. This force threshold can be reduced if required.

PASSIVE SOFT COVER
The larger CR 35iA model is fitted with a soft cover that eliminates pinch points and sharp edges. The cover also reduces contact pressure and, in the event of an impact, provides cushioning.

SAFE STOP FUNCTIONS
CR series robots meet ISO 10218 and ISO 13849 Cat. 3. The CR models, even the powerful CR 35iA, can also achieve ISO/TS 15066. To further increase productivity additional third-party safety devices can be fitted.

PUSH BACK FUNCTION
The operators can simply push back the robot's two major axis to free themselves should the robot pose a risk.

ANTI-TRAP PROTECTION
With robots unable to create gaps of less than 120 mm for arms and 5 mm for fingers, anti-trap protection on the CR series meets ISO 13857.

DUAL CHECK SAFETY (DCS)
DCS is a safety system that monitors position and speed. It's a proven technology used on many standard FANUC robots. On the CR series, third-party safety equipment can be connected to DCS to provide an additional level of safety and increase productivity.

Figura 13. Publicidad con la frase “no necesitamos barreras” en inglés. Recuperado de www.fanuc.eu.

Cabe destacar que en muchos de los elementos publicitarios de FANUC (figura 13) aparece la frase “no necesitamos barreras”. Esta frase no es cierta para todos los casos dentro de la normativa europea ya que, como se ha discutido anteriormente, no depende del robot usado sino del tipo de aplicación la necesidad o no de instalar según que medidas de seguridad (barreras, escáneres, barreras de luz...). Con todos los elementos mencionados los robots FANUC obtienen un nivel PLd y categoría 4 según la ISO 13849.

3.1.2 ABB



Figura 14. Robot YUMI de doble brazo. Recuperado de new.abb.com.

ABB es otra gran empresa productora de robots tradicionales. Su cuota de mercado es muy similar a la de FANUC, quizás un poco más baja a nivel global pero con una presencia hegemónica en Europa.

ABB fue de las primeras marcas en introducir un robot colaborativo con el robot de doble brazo YUMI (figura 14). Este YUMI era la apuesta de ABB hacia las nuevas tendencias colaborativas, la forma en la que ellos entendían que se movía la corriente robótica en el año 2015 cuando se presentó.

ABB nunca lo ha llamado directamente robot colaborativo, pero si que basa su estrategia de venta en la capacidad del robot en trabajar cerca de operarios humanos. El nivel de seguridad del robot según la ISO 13849 es PLb categoría 2, muy por debajo de otros robots enfocados a la colaboración de otras marcas.

La justificación para vender un robot con nivel de seguridad tan bajo como colaborativo es la capacidad de carga del robot junto con las aplicaciones a las que está destinado. El robot está destinado a la industria de picería pequeña (incluso se nombra en concreto la industria de la electrónica en su página web), con una capacidad de carga de 0.5 kilos (incluidas las garras de pinza que se ven en la figura 14). Además (como justificación extra) el robot también monitoriza los esfuerzos que se realizan, pero no a través de un sensor en la base, sino a través del consumo eléctrico de sus motores. Su rango es de 559 mm.

El hecho de contar con dos brazos no es por un motivo de seguridad, es como estrategia de venta. Es cierto que en 2015 aún no existía ninguna solución con dos brazos que pudiera imitar la morfología de un ser humano. Como elemento diferenciador también cabe destacar que cada brazo tiene 7 ejes de giro, haciendo posible evitar (ligeramente) obstáculos y tener más soluciones a cada posición.

Debido probablemente a las acotadas soluciones que ofrecía el YUMI original, ABB presenta en 2018 el YUMI de un solo brazo (figura 15).



Figura 15. ABB YUMI de un solo brazo. Recuperado de new.abb.com.

Este YUMI de un solo brazo tiene el mismo peso admisible, ejes y alcance que su hermano de dos brazos (500 gramos, 7 ejes y 559 mm) pero avanza en el nivel de seguridad pudiendo alcanzar un PLd categoría 3 para las funciones de parada de emergencia y parada de seguridad. En cambio, mantiene el PLb categoría 2 para la monitorización de la velocidad.

En definitiva, ABB ofrece conceptos diferentes a los disponibles en el mercado. Pese a no ofrecer certificaciones de seguridad altas, es cierto que lo que se acaba certificando en las máquinas es la aplicación que desarrollan, de igual modo que otros fabricantes no son colaborativos por el mero hecho de decirlo, ABB tampoco deja de serlo aunque sus estándares no sean tan altos.

Fuera de los términos de seguridad y colaboración, los YUMI ofrecen equipamiento previamente diseñado para el uso del robot. Destacan las herramientas en forma de pinza con el suministro de aire a presión incluido en ellas (figura 16)



Figura 16. Diferentes pinzas diseñadas para los robots YUMI. Recuperado de new.abb.com.

Además, los YUMI se programan como el resto de los robots de la marca ABB, mediante el mismo terminal táctil y mismo código (RAPID). La programación de un ABB está destinada a expertos y permite una gran operatividad y posibilidades para los programadores. En contraposición, supone una barrera de entrada para los no expertos, ya que puede resultar complicado llegar a entender el procedimiento de programación o todas sus funciones. En la actualidad ABB está desarrollando otras opciones de programación más sencillas pero que aún no han sido puestas a la venta.

3.1.3 UNIVERSAL ROBOTS



Figura 17. Dos modelos de Universal Robots. Recuperado de www.universal-robots.com.

Universal Robots (UR de ahora en adelante) no es una marca clásica de robots industriales. Esta marca nació en 2005 en Dinamarca buscando ofrecer al mercado robots ligeros, sencillos de instalar y programar. Sin darse apenas cuenta lideran el nuevo segmento de la robótica que acabará convirtiéndose en los robots colaborativos.

UR siempre apostó por el nuevo tipo de robótica más cercana al ser humano, y con un decálogo de buenas prácticas enseña para qué sirve y para qué no sirve un colaborativo. Se estudiará este catálogo más adelante en este TFM. Esta estrategia de cercanía la llevan desde la programación sencilla de sus productos hasta el aspecto de estos (ver figura 17). Un aspecto que se diferencia mucho de los clásicos robots industriales, un aspecto que invita a tocar el producto e interactuar con él sin miedo.

Actualmente UR consta de los robots:

- UR3: De tres kilos de capacidad de carga y con 500 mm de alcance. Además, el peso total es de 11 kg tan solo.
- UR5: De cinco kilos de capacidad de carga y con 850 mm de alcance. El peso total es de 18,4 kg.
- UR10: El robot más interesante de la gama para la industria en general, tiene diez kilos y 1300 mm de alcance. El peso total es de 29 kg.

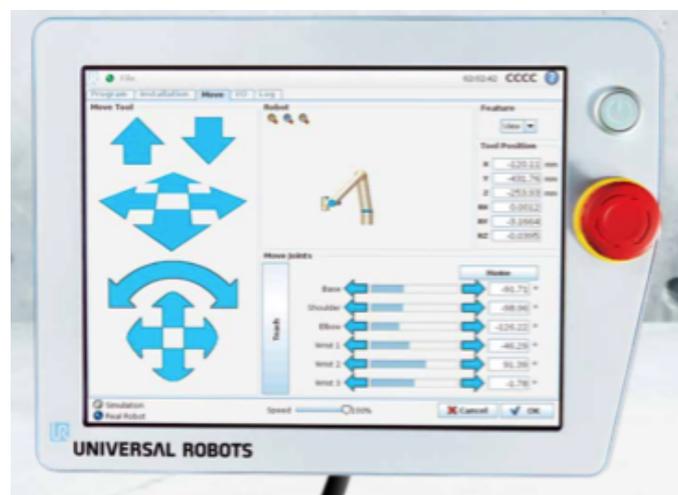


Figura 18. Terminal de programación de los modelos UR CB3. Recuperado de www.universal-robots.com.

UR triunfó con su gama de productos en la versión llamada CB3. Esta versión inicial del controlador ofrecía una interfaz de programación muy sencilla (ver figura 18) y con el nivel PLd categoría 2 según la ISO13849 para sus funciones de seguridad. Este modelo fue vendido a lo largo de todo el mundo con mucho éxito, pero los principales instaladores y certificadores demandan nivel PLd categoría 3 para poder aprobar ciertos usos colaborativos del producto. Por ello, UR sacó al mercado en 2018 el modelo mejorado de sus productos, la gama eSeries.



Figura 19. Terminal de programación de los modelos UR eSeries. Recuperado de www.universal-robots.com.

El modelo eSeries tiene también su versión en UR3, UR5 y UR10 como el CB3. Cuenta con 17 funciones de seguridad (que se comentarán más adelante en este TFM) con nivel PLd categoría 3 (siempre según la ISO13849). Además a nivel físico añade un mejor diseño que impide atrapamientos pero sin limitar los movimientos del robot, esto lo consigue modificando la geometría y dejando más espacio para brazos y manos en los ejes de giro. El modelo eSeries fue presentado en 2018 simultáneamente en la feria Automatika de Múnich y en la feria internacional de automatización de Faurecia Paterna. A nivel físico los robots eSeries no suponen un gran cambio, lo que si que cambia es la terminal de programación y su interfaz, con un diseño táctil aún más intuitivo como se puede ver en la figura 19.

Los robots UR siempre se han caracterizado y sorprendido a los usuarios gracias a que es posible moverlos con la fuerza humana y así programar sus puntos manejando el robot con las manos directamente. Además tienen una morfología ligeramente diferente a los robots de 6 ejes convencionales, ya que poseen una libertad de movimientos de esfera completa debido a la colocación especial de su cuarto y quinto eje (alternados según la morfología clásica).

El método para hacer estos robots más colaborativos es a raíz de integrar medidores de sobre corriente en los motores de alta sensibilidad, de esta forma pueden identificar si los esfuerzos que está sufriendo el robot son los esperados o si son una colisión. Además (es exclusivo del modelo eSeries, en el CB3 era necesario integrarlo aparte si se deseaba esa funcionalidad) integran un medidor de esfuerzos en la muñeca, de forma que pueden “sentir” el entorno y interactuar con él.

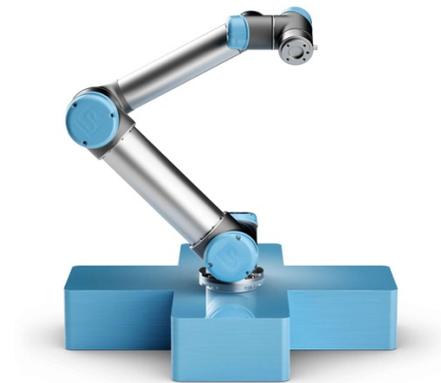


Figura 20. Imagen corporativa de UR+. Recuperado de www.universal-robots.com.

Otro elemento que destacar de la filosofía de UR es su carácter de software accesible. No estamos hablando de un software abierto completamente, pero sí que integran funcionalidades que lo hacen muy interesante. Para comenzar, existe el programa UR+ en el cual programadores externos validados por la compañía (tan solo hay que identificarse para conseguir el acceso) pueden programar aplicaciones nativas en el controlador e integrarse al completo con la interfaz existente de UR. De esta forma se desarrollan los conocidos como URcaps, programas instalables en el controlador que permiten instalar aplicaciones externas que ayudan al usuario con el manejo de elementos externos (quizás el manejo de una herramienta diseñada por una empresa externa) o con la síntesis de código (URcaps para hacer más sencillos ciertos bucles o movimientos ya marcados).

Gracias a los URcaps UR cuenta con múltiples desarrolladores de herramientas para el robot que ven como sus dispositivos son fácilmente instalables en la máquina, además de que el usuario puede empezar a usarlos en cuanto se acoplan al robot. Algunas de estas marcas más famosas son Robotiq, OnRobot o Sick entre otros.



Figura 21. Desarrolladores de equipamiento con soporte URcaps. Recuperado de www.universal-robots.com.

Por otra parte, el robot puede ser completamente controlado por un controlador externo, esto significa que se puede prescindir del controlador de UR. Esto es posible sencillamente mediante una conexión ethernet a un ordenador y es gracias a que el robot incluye en su interior los controladores de potencia de los motores y a que tienen paquetes de control que se pueden usar. Para el desarrollo de este TFM esta funcionalidad no es interesante, pero para el entorno de investigación y desarrollo es realmente interesante tener acceso de forma gratuita a estos elementos.

Una vez más se presentan los robots como colaborativos, cuando según la norma son colaborativas o no las aplicaciones a las que se dedican. Al menos en el caso de UR se comparte una guía de prácticas en las que se indican en qué aplicaciones y en qué formatos se pueden aplicar las dotes colaborativas del robot.

3.1.4 KUKA



Figura 22. Imagen corporativa de KUKA del robot iiwa. Recuperado de www.kuka.com.

KUKA es otra empresa tradicional del sector de los robots industriales. Su presencia en el mercado tradicional está por detrás de las grandes marcas pero su posicionamiento ha sido siempre bueno. Desde el comienzo han apostado por una programación orientada a expertos y a un lenguaje de programación con muchas posibilidades.

En la rama de colaborativos cuentan actualmente con dos modelos:

- LBR iisy: Con carga máxima de 6 kg y 600 mm de alcance. Dicho por KUKA, fue el primer robot colaborativo de la historia al ser presentado en 2004. Como siempre ocurre, esta afirmación puede ser cierta dependiendo de la definición que se le otorga al concepto colaborativo. Se puede observar su apariencia en la figura 23.
- LBR iiwa: Con carga máxima de 14 kg y un alcance de 820 mm. Es el robot presente en la figura 22.



Figura 23. Robot KUKA iisy. Recuperado de www.kuka.com.

Ambos robots cuentan con la certificación de seguridad de nivel PLd y categoría 3. Además de tener sensibilidad en el consumo de motores, los robots integran sensores de torque en su muñeca. Mientras el iisy lo hace con un anillo adicional, el iiwa lo tiene integrado en su morfología.

3.1.5 YASKAWA



Figura 24. Robot YASKAWA HC10. Recuperado de yaskawa.com.

YASKAWA es una empresa japonesa fundada en 1915, su principal actividad a los comienzos era la fabricación de motores trifásicos y servomotores. La evolución fue crear máquinas de control numérico para en 1977 acabar creando su primer robot. En la actualidad cuenta con un robot colaborativo el YASKAWA HC10 (ver figura 24).

El HC10 es un robot con 1200 mm de alcance y una carga máxima de 10 kilogramos. Cuenta con una certificación de nivel PLd y categoría 3. En su hoja técnica el fabricante ya avisa que el robot puede trabajar en modo completamente colaborativo con una velocidad limitada de 250 milímetros al segundo, en cambio, en aplicaciones no colaborativas el robot puede llegar a trabajar a 1000 milímetros al segundo. Su controlador es el YRC1000, un controlador genérico capaz de controlar otros muchos robots de la marca.

El robot cuenta con un diseño preparado para ser colaborativo, pensando en los estudios de impacto que son necesarios para pasar las pruebas de colaboración completa, para ello tiene bordes redondeados y un software llamado “Control de fuerza y potencia” capaz de parametrizar los movimientos del robot desde una limitación de estas dos variables de entrada.

El método de programación no sigue las reglas no escritas que dicen que las interfaces colaborativas son más cercanas y sencillas que las industriales. Pese a que en la empresa hubo un intento desde el inicio de realizar una interfaz sencilla, la verdad es que en los tiempos que corren la interfaz se ha quedado obsoleta y difícil de usar. En la era de las interfaces táctiles contar con un terminal de programación con más de 80 botones físicos y un sistema basado en menús y submenús (ver figura 25) ha hecho que YASKAWA no sea un referente por sencillez y cercanía al público no experto.

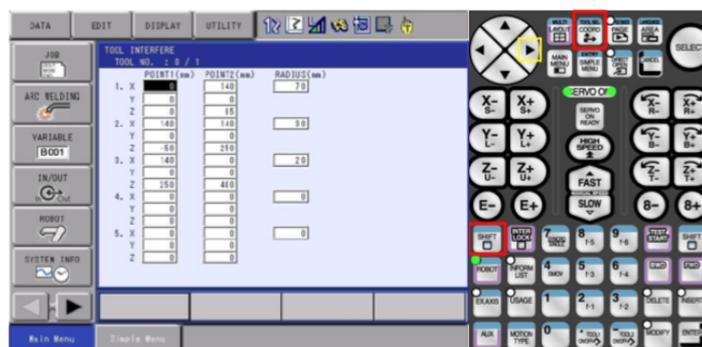


Figura 25. Interfaz de programación. Recuperado de yaskawa.com.

3.2 SOLUCIONES COLABORATIVAS EN EL MERCADO

Ya se han repasado los principales robots colaborativos que existen en el mercado. Pero se debe recordar que los robots por si mismos son cuasi-máquinas, y que por lo tanto nunca se podría llegar a certificar una aplicación teniendo en cuenta sólo un robot. Para ello hay que complementar con medidas externas de seguridad o con una cierta definición de aplicación.

Dicho esto, es lógico que empresas de ingeniería o de producto final hayan desarrollado máquinas completas destinadas a realizar acciones colaborativas o casi colaborativas. Se van a repasar a continuación algunas de las soluciones que existen en el mercado.

3.2.1 FLEXLINK RC10

FLEXLINK es una marca conocida de automatización industrial. El modelo RC10 es una solución de paletización industrial mediante el uso de un robot colaborativo UR10 (ver figura 26). Esta solución está pensada para recoger desde una cinta transportadora diferentes elementos y paletizarlos.



Figura 26. Foto comercial de la célula de paletización FLEXLINK RC10. Recuperado de www.flexlink.com.

Como se puede ver en la figura 27, las posibilidades constructivas son múltiples, pero todas ellas tienen el mismo índice de colaboración máxima. Para ello la empresa limita las velocidades y el tipo de elementos que se pueden paletizar. También es interesante destacar que la empresa vende este producto ya certificado y listo para ser usado en planta.

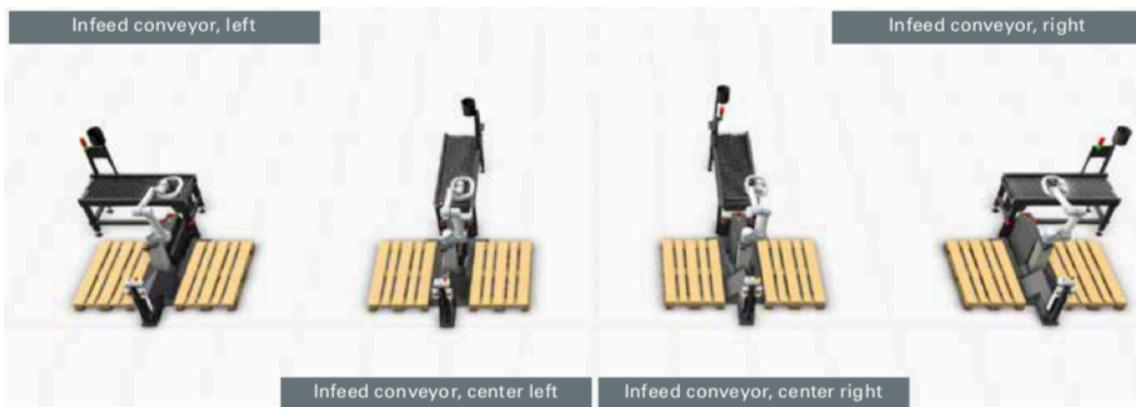


Figura 27. Posibilidades constructivas del RC10. Recuperado de www.flexlink.com.

3.2.2 FETCH MOBILE MANIPULATOR

La empresa FETCH sacó al mercado en 2017 un manipulador móvil (figura 28) capaz de desplazarse por el entorno y realizar operaciones gracias al brazo robótico que integra.

Hay que destacar que el producto está destinado para los Estados Unidos dónde los requerimientos de seguridad y certificaciones son menos estrictos que los europeos.



Figura 28. Imagen promocional del FETCH MOBILE MANIPULATOR. Recuperado de fetchrobotics.com.

La máquina cuenta con una base móvil a modo de vehículo de guiado automático sin seguimiento de referencia (ver figura 29).

El concepto móvil es interesante para el objetivo de este TFM, pero no el hecho de que se haga automáticamente. Se verá más adelante el por qué de esta cuestión, pero en principio no se va a ahondar más en esta característica al carecer de interés en el medio plazo.



Figura 29. Base móvil del FETCH MOBILE MANIPULATOR. Recuperado de fetchrobotics.com.

En la parte superior la máquina cuenta con un brazo robótico de seis ejes con un manipulador de pinza. Dicho manipulador no es intercambiable. El robot además cuenta con un escáner 3D fijo a la superficie móvil que le serviría para localizar los objetos a coger.

La filosofía abierta del sistema se puede observar en las siguientes características:

- Su programación es mediante ROS del manipulador, escáner 3D y de la base móvil sobre la que van montados.
- Posee interfaces de expansión tanto en la parte superior como en la base de movilidad del manipulador. Esto permite añadir elementos externos que serían programados desde ROS.
- Permite el montaje de otro manipulador al lado del ya existente. Se supone que este manipulador podría ser manejado también con la misma programación basada en la arquitectura ROS.
- Los dedos de las pinzas son intercambiables y por lo tanto permiten adaptarlos a los objetos a coger.

Los métodos de programación son en base ROS, este es un sistema de programación altamente avanzado que permite realizar operaciones complejas. Para ello es necesario tener altos conocimientos de programación y haberse especializado en ROS, ya que su método de programación es diferente al de otros elementos. Dicho esto, es lógico admitir que la programación de este manipulador móvil no es sencilla y apta para el público mayoritario que se encuentra en las plantas de Faurecia.

4. ANÁLISIS FUNCIONAL

Una vez analizado el contexto de la empresa y estudiado todo el estado del arte, es momento de establecer las necesidades que tiene Faurecia que cubrir con el equipamiento que se desea diseñar.

En un primer se debe establecer el objetivo general bajo el cual se inicia el proyecto. Este objetivo viene marcado desde esferas más altas al autor de este TFM. El objetivo general es el de conseguir una solución robótica global de fácil implementación que permita a las plantas reducir mano de obra y que no genere dependencia técnica con los equipos de desarrollo.

En base a este objetivo se establecen las diferentes necesidades para así analizar que tipo de funcionalidad pueden darles solución. Las necesidades pormenorizadas son las que se presentan en la siguiente lista:

- Ser expertos en el desarrollo: El equipo central debe ser conocedor del desarrollo de la máquina para así poder dar solución a las diferentes necesidades de cada una de las plantas.
- Ofrecer cierto nivel de colaboración: Para que sea realmente cercano a plantas y seguir la tendencia global.
- Que la implementación en plantas sea rápida y sencilla: Así la integración de estas máquinas será global y accesible. Además permitiría una rápida adopción de la máquina y tener muchas de ellas funcionando en poco tiempo.
- Que su coste sea relativamente bajo: Si de verdad se quiere bajar el coste de la mano de obra, la única posibilidad de que el proyecto sea viable es tener un coste por unidad bajo.
- Que sea fácil de programar: Se necesita que las plantas no dependan de programadores expertos.
- Que permita expandir su software con desarrollos de la compañía: Es decir, que la compañía pueda extender las funcionalidades del software para hacer aún más fácil la programación en planta.
- Que sea fácil de transportar y móvil por planta: Esto aumentaría aún más la flexibilidad del equipo, le permitiría tener operaciones diferentes en lugares diferentes y la planta decidiría dónde ubicarlo.

Una vez expuestas las funcionalidades, se va a pasar a estudiar cada una de ellas y las opciones que existen para darles solución. En la conclusión de cada punto se establecerán las funcionalidades que debe tener la máquina para ser útil.

4.1 CONOCIMIENTO DEL DESARROLLO

Esta necesidad es clara y está muy justificada. Solo siendo completamente conocedores del desarrollo será sencillo adaptar el equipamiento para las distintas plantas y operaciones que lo necesiten.

Las diferentes vías de desarrollo a seguir en esta opción son las siguientes:

- Comprar una solución de una empresa externa: Opción poco interesante debido a la dificultad de que cumpla todas las necesidades que se están estableciendo. Además de que entraría en conflicto directo con la necesidad de que sea de bajo coste.
- Realizar un desarrollo parcial con una ingeniería: Esta opción sí que permitiría cumplir con la mayoría de las necesidades. Pero es cierto que el coste sería alto y además de que no dotaría a la empresa de la flexibilidad que desea para desarrollar este equipamiento de forma global ya que se dependería de un único proveedor.
- Realizar en desarrollo en interno de forma completa: Esta opción permite seguir las necesidades propuestas y además no entra en conflicto con el bajo coste. El punto negativo es que se requiere de programadores, diseñadores e ingenieros eléctricos.

La conclusión a la que se llega es a la de ir a un desarrollo en interno, el equipo de robótica cuenta con un diseñador de maquinaria y además el autor de este TFM puede cubrir la parte de programación e ingeniería eléctrica.

Además, una vez se posean los diseños mecánicos y eléctricos se pueden enviar a diferentes compañías para que lo fabriquen. De esta forma se pueden tener múltiples fabricantes a lo largo de todo el mundo que den soporte a cada una de las plantas que quieran implementar el sistema.

Otra ventaja es que si se desea realizar una certificación de seguridad es mejor controlar todos los componentes y diagramas eléctricos de la misma para así hacer una estrategia de seguridad sólida.

De otra forma, al controlar los componentes montados y la solución técnica alcanzada, es más fácil mantener una sencillez y un acercamiento a la solución óptima. Los proveedores muchas veces tienen ideas preconcebidas que intentan aplicar al mayor número de proyectos posibles para ahorrar costes.

En definitiva, si se consigue realizar el desarrollo en interno se contará con muchas ventajas a nivel competitivo que supondrán un hecho diferencial en el desarrollo de la máquina. También potenciarán a nivel interno la imagen del equipo de robótica y sus capacidades técnicas, es una gran demostración de músculo llevar a cabo la primera máquina completamente diseñada y certificada por la compañía.

4.2 SOLUCIÓN DE ÁMBITO COLABORATIVO

Son muchas las razones que llevan al equipo a plantear una solución colaborativa. Principalmente es por seguir las tendencias de la industria actual, pero hay otras razones de índole práctico.

Una de esas razones es la facilidad de implementación en planta (una necesidad explicada en el siguiente punto), el hecho de contar con una solución sin barreras hace mucho más sencilla

la posible implementación de la máquina en los flujos de producción existentes y explicados en el apartado de contextos de este TFM.

Para decidir el grado de colaboración de la máquina hay que discutir las siguientes posibilidades:

- Máquina con barreras físicas móviles: Algo ya desarrollado por el equipo en otro tipo de máquinas. Este método propone barreras de seguridad que son adaptables a cada proyecto. Esta solución simplifica mucho la definición de seguridad y certificado de la máquina pero por otro lado hace que todas y cada una de las implementaciones en planta sean bastante diferentes entre si mismas. Además de que dificulta la implementación en planta. Por otro lado y como punto positivo, el robot puede trabajar a velocidad máxima y no haría falta hacer un análisis de riesgo o impactos en cada implementación.
- Máquina con escáneres de seguridad: Esta opción propone dejar al robot trabajando y poner alrededor de él dos escáneres de seguridad que controlen la presencia de personas en los alrededores. Como puntos positivos tiene que un mismo equipamiento puede adaptarse a todas las situaciones, además el robot podría trabajar a rangos máximos de velocidad y evitar los análisis de impactos en cada implementación. Además permitiría el rearme automático ya que se puede asegurar que cuando se reestablecen los escáneres de seguridad es porque no se encuentra ninguna persona en el interior. El punto negativo es que se debe añadir la programación de los escáneres de seguridad y eso resta sencillez a la solución.
- Máquina completamente colaborativa: Es decir, una máquina sin barreras físicas ni escáneres que cuenta como el método de parada por impacto del robot como todo método de seguridad. Esta opción tiene como puntos positivos el hecho de que no es necesario ningún tipo de equipamiento ni programación extra en cada una de las soluciones en planta. Como punto negativo se encuentra el hecho de tener que realizar un análisis de impactos en cada una de las aplicaciones, y eso debe ser realizado por una empresa certificadora externa. Este punto choca frontalmente con la voluntad de generar una máquina ya certificada que puede funcionar una vez llevada a planta.

Por lo antes expuesto se decide decantarse por la solución de dotar a la máquina con escáneres de seguridad.

El contrapunto de tener que programar los escáneres no se valora tan negativamente al comprobar los tipos de escáneres que hay en el mercado y ver que en la gran mayoría su facilidad de programación hace que sean manejable por todo tipo de personas y que no importe si son programadores o no.

Además, es la solución más acertada y que más en concordancia está con el resto de las necesidades. La máquina se seguirá viendo como colaborativa y se podrá adaptar a todas las aplicaciones en planta sin necesidad de añadir equipamiento.

4.3 FÁCIL IMPLEMENTACIÓN EN PLANTA

La sencillez de implementación en planta debe ser un reclamo para las mismas para aplicar la solución en sus líneas de montaje. Esta necesidad es muy genérica y se opta por definir funcionalidades que ayuden a hacerla posible:

- Hacer que el equipamiento sea de fácil transporte realizando un diseño compacto y relativamente pequeño (necesidad explicada en los siguientes puntos).
- Diseñar una documentación muy completa que permita a cualquier persona conocer las características de la solución y como configurarla.
- Dar soporte del equipo central para el primer proyecto de cada planta y detallar una formación para cada una de esas plantas para así dotarles de autonomía antes un posible futuro proyecto con la máquina.
- Que la solución adoptada carezca de cables para que su movimiento entre estaciones sea sencillo. Para ello se buscará una solución de comunicación basada en señales de radio para así evitar cablear las estaciones.
- Hacer que la solución de seguridad (solución en situación de fallo) sea inmediata. La solución propuesta es que la máquina sea tan móvil que baste con quitarla del espacio ocupado y poner a un operario en su lugar. Esto también hará muy suaves las puestas en marcha de la máquina y evitará las situaciones de tensión que se suelen dar en planta.

Con estas medidas se busca que el producto tenga éxito entre un público muy concreto como lo es el de las plantas de Faurecia. En general las plantas tienen un nivel de exigencia muy alto, y cualquier añadido que dificulte su desarrollo normal puede ser crítico. Es por ello por lo que esta solución busca ser lo más suave posible con la configuración actual de la planta y no provocar grandes cambios para su implementación.

4.4 BAJO COSTE

En casi todos los productos del mundo esta necesidad es capital. En el caso que ocupa este TFM también lo es. El equipamiento aportado debe ser de bajo coste para poder justificar la sustitución de un puesto de trabajo.

La justificación de más peso en la inclusión de una nueva máquina en planta es la del periodo de retorno de inversión. Si se logra mantener un periodo de retorno inferior a un año se justificará siempre una inversión de automatización.

Para ello se debe plantear que la máquina debe contar con:

- Un robot económico y que suponga el mayor peso específico en términos de coste. Es decir, que sea el elemento central del proyecto y de la máquina.
- Un equipamiento sencillo y diseñado para ser altamente reproducible sin complicadas técnicas de fabricación. Una forma de reducir el precio es mediante el diseño, y como se ha decidido que se diseñará en interno se tienen las herramientas necesarias para conseguirlo.
- Los escáneres de seguridad supondrán otro elemento de alto coste y su elección debe ser muy selectiva. Se estudiará el mercado a fondo para realizar una buena inversión.

Con todos estos elementos y el carácter global de la máquina se conseguirá un precio controlado. El carácter global de la máquina ayudará ya que siempre es más sencillo negociar precios cuando se van a realizar varias máquinas y no solo una.

4.5 FACILIDAD DE PROGRAMACIÓN

Esta necesidad marcará de forma significativa la elección del modelo de robot. Para esta selección se dispone de un capítulo aparte en la redacción de este TFM.

Para justificar esta necesidad hace falta dejar claro la filosofía del proyecto. Si se pretende generar una máquina que llame la atención de las plantas y que ellas se creen capaces de realizar su programación en el futuro se debe integrar una programación muy distinta la que ha acompañado a los robots industriales desde sus inicios.

La rama colaborativa ayuda mucho a esta decisión, por ello condicionará la elección del robot, pero también surge una necesidad extra, la necesidad de poder generar software por parte de Faurecia para hacer aún más sencilla la programación a las plantas.

4.6 SOFTWARE ADAPTADO A PLANTAS

Se va a explicar a continuación el por qué de esta necesidad. Cuando se dispone de una interfaz de programación sencilla es muy fácil realizar tareas sencillas, pero tareas o acciones complejas o inteligentes son igual de difíciles en todos los ámbitos.

Por ejemplo, realizar un movimiento con un robot colaborativo con una interfaz sencilla es muy fácil, con cuatro toques de dedo se tiene programado. En cambio, programar una comunicación MODBUS con un emisor de radio para enviar un bit al elemento receptor y salida digital elegida puede tornarse más difícil.

Otro ejemplo puede ser un paletizado. Cualquiera puede guardar todos los puntos en el espacio necesarios para realizar un paletizado de 1000 cajas. El contrapunto es que se pierde mucho tiempo y es una mala práctica. Para realizar un paletizado hace falta solo una posición inicial y pocos datos más sobre la disposición sobre el pallet.

Para situaciones como las anteriormente descritas sería muy interesante contar con un robot que permitiera la inclusión de software en su sistema operativo. Así el equipo de robótica tendría la posibilidad de hacer sencillas esas tareas que no lo son tanto.

4.7 FACILIDAD DE TRANSPORTE.

Ya nombrada con anterioridad, esta necesidad es muy importante en el diseño y filosofía de máquina que se busca lograr. Es necesaria por dos razones:

- Poder trasladar la máquina hasta la planta desde múltiples proveedores que no siempre están cerca de la planta. Con transporte sencillo se permite ahorrar costes.
- Trasladar la máquina dentro de planta para poder situarla en diferentes emplazamientos. Si se logra hacer de forma rápida permitiría que la máquina pudiera ser usada incluso en diferentes turnos dentro de un mismo día en diferentes posiciones. Esto sería un elemento de reclamo más para las plantas que ven que no están hipotecando una inversión al éxito de un proyecto en concreto. Si no funciona donde era esperado, seguro que funciona en algún otro lugar.

Por lo anteriormente descrito se deben asegurar ciertas funcionalidades a la máquina para asegurar su movilidad. Obviamente el hecho de que sea de dimensiones reducidas y poco peso aseguraría el primer punto. Pero para resolver el segundo se plantean varias opciones:

- Realizar una solución con movilidad automática entre estaciones. Siendo que no se plantea el cambio más que una vez o dos al día parece una solución algo sobredimensionada, a parte de que no sería una solución sencilla, por ello se descarta.
- Dotar a la estación de ruedas con anclaje para poder moverla entre puntos de trabajo. Si se logra mantener el peso dentro de lo razonable es una solución muy a tener en cuenta, de hecho se puede asegurar el posicionamiento con anclaje en el suelo de fácil instalación.
- Dotar a la estación de un peso tan bajo que permita su traslado entre estaciones. Realmente este punto sería ideal, pero su realización es baja o nula. El peso de un robot colaborativo ronda los 30 kg. Si además se desea añadir escáneres de seguridad y dotarlo de cierta estabilidad, esta solución se plantea imposible.

Por lo anteriormente descrito se decide a dotar a la estación de ruedas y métodos de anclaje en las diferentes estaciones. Parece además que cumple con el resto de las necesidades descritas en este apartado.

4.8 SELECCIÓN DEL ROBOT

La selección del robot es muy importante ya que va a suponer la mayor parte del gasto de la máquina y también el foco principal de funcionalidad. Se ha hecho en anteriores puntos un análisis del estado del arte en cuanto a robots colaborativos. Es cierto que a estas alturas no hemos investigado aún sobre los robots industriales (no colaborativos) presentes en el mercado, y también es cierto que un robot industrial podría trabajar a nivel legal en el estilo de máquina que se ha definido en el punto anterior.

Es precisamente ese punto un tema muy interesante a tratar, no hay una legislación para definir si un robot es colaborativo o no. Solo existe legislación para definir si una aplicación es colaborativa. Los robots colaborativos solo suponen una ventaja frente a los industriales cuando se plantea una solución de colaboración total en la cual el robot trabaja sin barreras junto al operario. Cuando es así, hace falta un robot que reaccione ante impactos de baja gravedad y sea capaz de parar su movimiento en tal caso. En cambio, en el caso de que se pongan medidas de seguridad como barreras o escáneres, no hay diferencia alguna entre la utilización de un robot colaborativo o no, lo único que entra en juego en esos casos es el tiempo de parada del robot.

Así que en este TFM no se han estudiado robots industriales porque el objetivo principal era dar con una opción colaborativa, pero el nivel de colaboración que se ha decidido aportar a la máquina hace posible el uso de un robot industrial.

Pese a que se ha dejado claro en la redacción de la memoria los beneficios de un robot colaborativo para la máquina que ocupa este TFM, se va a hacer hincapié en el por qué de la selección. Se opta por un robot colaborativo por los siguientes puntos:

- La tendencia global de la industria.
- Un posible cambio futuro de la ley (programado para finales de 2019) que haga las aplicaciones completamente colaborativas menos restrictivas a nivel legal. Se aprovecharía este cambio para rediseñar la máquina.
- Interfaz de programación amigable, está presente en muchos colaborativos y en casi ningún industrial.
- Facilidad de manejo, muchas veces pudiendo mover el robot con la propia mano.
- En muchos casos el robot tiene un coste más bajo que un robot industrial. También es cierto que esto es así gracias a que cargan menos peso y tienen menos alcance.
- Aspecto más amigable y mejor publicidad interna.

Con todos estos datos es crucial plantear la discusión de cual de los robots estudiados en el estado del arte van a ser el robot que vaya finalmente montado en la máquina.

4.8.1 Método de Comparación y Puntuación

El método usado para la selección del robot va a ser un análisis de características y necesidades de los diferentes tipos de robots disponibles.

Cada uno de los ítems a comparar comportarán una categoría y cada categoría tendrá un peso específico dependiendo de lo importante que es para el proyecto dicha característica. Dentro de cada categoría se ordenará del 1 al 6 los diferentes robots. Siendo el 1 el mejor robot en la categoría y el 6 el peor.

Para el resultado final se multiplicará el valor obtenido en cada categoría con el peso específico otorgado a la misma, se sumarán los valores resultantes de todas las categorías. La comparación final tendrá en cuenta que aquel que tenga menor valor obtenido será el mejor robot en cuanto a criterios puramente técnicos.

Hay que dejar constancia de que el resultado obtenido no será completamente vinculante con la decisión final ya que se tendrán en cuenta la decisión personal del autor de este TFM y los responsables jerárquicos del mismo. Se pasarán a comparar los siguientes robots:

- De FANUC se compararán los modelos CR-7iA/L y CR-15iA. Se desechan los demás por tener demasiado peso en el caso de los más grandes y demasiado poco alcance en el caso de los más pequeños.
- De ABB se comparará el modelo YUMI de un solo brazo por facilidad de configuración de alcance.
- De UR se comparará el modelo UR10 eSeries. No se elige ninguno del controlador antiguo al no tener una certificación completa PLd categoría 3 como lo tiene el nuevo modelo eSeries.
- De KUKA se comparará el modelo LBR iiwa al tener un alcance mayor en comparación con el iisy.
- De YASKAWA se comparará el HC10.

Las categorías que comparar son las siguientes:

- Alcance del robot con un peso de 8 en importancia, cuanto más alcance más posibilidades de automatización habrá en planta.
- Peso soportado por el robot con un peso de 6 en importancia. Tiene una importancia menor que el alcance ya que en la industria de Faurecia Interiors no son comunes las piezas muy pesadas.
- La interfaz de comparación del robot, valorando la sencillez con un 8 en importancia.
- La capacidad de expansión del software valorándola con un 4 en importancia.
- La catalogación de seguridad del robot, valorándola con un 10 en importancia.
- El peso total del robot, valorándolo con un 6 en importancia.
- Las características colaborativas del robot, valorándolo con un 7 en importancia.
- El precio de la unidad del robot, valorándolo con un 10 en importancia. Cabe destacar que en este apartado no se darán datos sobre los precios negociados con Faurecia por motivo de confidencialidad. Solo se establecerá el orden en que a Faurecia le resulta más beneficioso el negocio, no entrando aquí solo valores de coste.
- La existencia de un mercado de herramientas ya diseñadas para el robot, valorándolo con un 7 en importancia.

La tabla comparativa tendrá los robots ordenados en columnas y cada una de las características ordenadas por filas. Cada fila tiene el porcentaje de importancia calculado en la columna inicial y en amarillo, está ya normalizado de forma que un 7 en importancia es realmente un 7 entre los 80 puntos de importancia totales y posibles entre todas las categorías.

En la intersección de una característica con un robot se encuentra la siguiente información:

- Detalle informativo de la característica del robot en azul muy claro.
- Su orden dentro de la comparativa.
- Su peso específico dentro de toda la comparativa en amarillo. Este valor está calculado multiplicando su orden por el peso específico de la categoría.

En la última fila de la tabla se suman todos los valores específicos de cada robot y el orden de preferencia va de menor a mayor.

A continuación se puede observar la tabla comparativa representada en la figura 30.

4.8.2 Tabla Comparativa

	Peso de categoría	CR-7iA/L	CR-15iA/L	YUMI 1 brazo	UR10 eSeries	iiwa	HC10
Rango	8	911 mm 4 32	1441 mm 1 8	559 mm 6 48	1300 mm 2 16	820 mm 5 40	1200 mm 3 24
Peso soportado	6	7 kg 5 30	15 kg 1 6	0,5 kg 6 36	10 kg 4 24	14 kg 2 12	10 kg 4 24
Sencillez de interfaz	8	No sencilla 5 40	No sencilla 5 40	Poco sencilla 2 16	Muy sencilla 1 8	Programación pura 6 48	No sencilla 5 40
Expansión software	4	No es posible 6 24	No es posible 6 24	Poco posible 3 12	Muy posible 2 8	Muy posible 2 8	No es posible 6 24
Catelogación de Seguridad	10	Pld Cat 4 2 20	Pld Cat 4 2 20	Plb Cat 2 6 60	Pld Cat 3 5 50	Pld Cat 3 5 50	Pld Cat 3 5 50
Peso del robot	6	55 kg 5 30	255 kg 6 36	38 kg 3 18	33,5 kg 2 12	30 kg 1 6	47 kg 4 24
Características colaborativas	7	Bajas 5 35	Bajas 5 35	Nulas 6 42	Altas 1 7	Medias 3 21	Medias 3 21
Precio	10	Orden 5 5 50	Orden 6 6 60	Orden 4 4 40	Orden 1 1 10	Orden 2 2 20	Orden 3 3 30
Mercado de herramientas	7	Genérico 3 21	Genérico 3 21	Bajo 4 28	Alto 1 7	Nulo 6 42	Nulo 6 42
SUMA TOTAL PONDERADA		282	250	300	142	247	279

Figura 30. Tabla comparativa robots colaborativos.

4.8.3 Decisión Final

Si se observa la tabla los resultados quedan ordenados en el siguiente orden ordenado de mejor a peor robot:

- UR10 eSeries.
- KUKA iiwa
- FANUC CR-15iA
- YASKAWA HC10
- FANUC CR-7iA/L
- YUMI 1 Brazo

En este instante se discuten las preferencias personales de los miembros involucrados en el proyecto. Todos los miembros coinciden con la elección del UR10 como mejor robot para integrar en esta máquina.

El otro candidato es también el KUKA iiwa. Con un gran esfuerzo interno se podría llegar a hacer una interfaz muy intuitiva y desarrollada en interno. El problema es que se estarían gastando grandes recursos para igualarlo con un robot como el UR10 que ya tiene esa interfaz, que no requiere desarrollo interno y que compite mejor en términos de precio.

Por lo tanto la decisión final del análisis de necesidades y funcionalidades es integrar el robot UR10 eSeries en la máquina y sobre esta predisposición se diseñará la máquina.

5. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN COLABORATIVA

En este apartado se va a definir el diseño final de la máquina. Es obvio que desde el análisis de funcionalidades al diseño final ha habido muchas iteraciones de este, pero no se encuentra de interés para el propósito del trabajo ahondar en las versiones del diseño ni en el proceso de ideación de este, como ya se ha comentado, se expondrá el diseño final.

Han sido muchas las revisiones de diseño, incluso se llegó a fabricar una máquina que no seguía estrictamente el diseño que se va a observar a continuación, a raíz de muchas reuniones con el diseñador se definió en su versión final y preparada para ser compartida con las plantas para su compra.

Se van a exponer capturas e imágenes del diseño tanto eléctrico como mecánico del producto, aunque para más apoyo se encuentra en la parte de planos de este TFM su diseño más pormenorizado. Eso si, hay que destacar que los planos tendrán los valores de medidas alterados, así como las escalas de las diferentes vistas, también habrá detalles omitidos con la finalidad de evitar la fácil reproducción de esta.

Hay que dejar claro desde el inicio del capítulo de diseño que el autor de este TFM no ha realizado los diseños, es decir, no ha manejado las herramientas software para realizar la máquina. Tampoco ha salido la idea del diseño tal cual está representado de su trabajo, es más, ha sido a lo largo del proceso de creación de la máquina como el diseño se ha ido definiendo a grandes rasgos, pero el ejecutor de este ha sido el diseñador del equipo de robótica.

Por lo tanto el autor de este TFM ha liderado el proceso de diseño, ha dado apuntes para perfilar la máquina, pero no ha ejecutado los datos CAD y ha contado con ayuda para ello.

Antes de comenzar con el diseño final y como parte de su introducción se va a presentar el nombre final de la máquina. Por parte del equipo de robótica y como parte de la estrategia publicitaria interna se decidió darle el nombre de "EASYBot" que significa en inglés "Robot Sencillo". La razón para darle este nombre es clara, evidenciar desde el primer momento que su sencillez es el principal baluarte. Se acompaña siempre con la explicación de porqué es sencillo:

- Es fácil de instalar.
- Es fácil de fabricar.
- Es fácil de validar en términos de seguridad en planta.
- Es fácil de mover.
- Es fácil de programar.

Se procede primero a mostrar el diseño mecánico de la máquina.

5.1 DISEÑO MECÁNICO

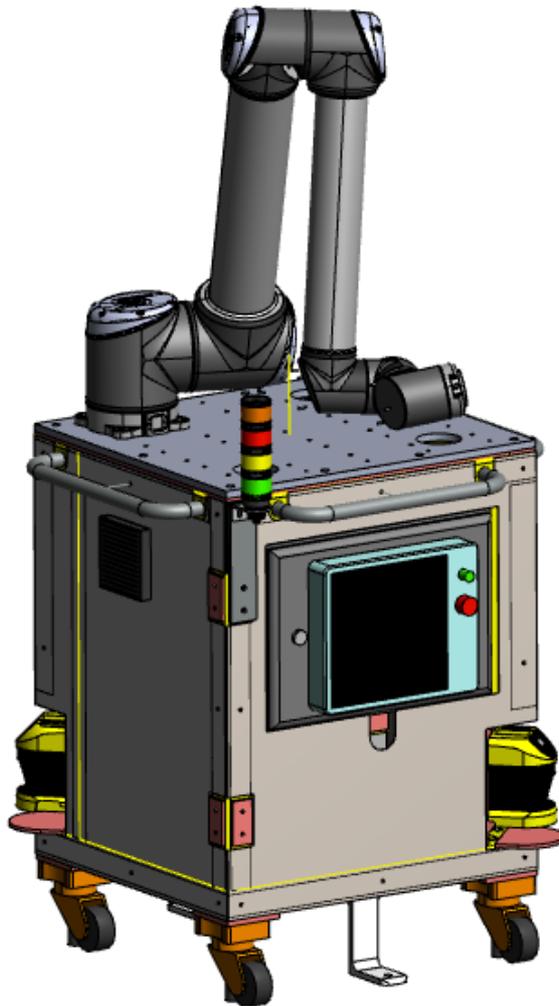


Figura 31. Vista general del diseño final de la máquina.

En la figura 31 se puede ver una figura 3D del diseño final de la máquina. Su composición principal es la de una mesa móvil hueca que lleva en su interior todo lo necesario para hacer funcionar al robot instalado sobre ella. Se va a definir la máquina en cada uno de sus apartados principales para llegar a explicarla al completo.

5.1.1 Movilidad de la Máquina.

Quedó clara la necesidad de dotar a la máquina de movilidad. Por ello se han instalado en la parte baja de la mesa unas ruedas multidireccionales que permitan gracias al peso general de la máquina su desplazamiento sobre el suelo.

Las ruedas son unas HRLK-PO 82G de la marca Bickie (ver figura 32). Este tipo de ruedas permite el anclaje en vertical, es decir, permite elevar cada una de las ruedas mediante un mecanismo que impulsa una pata telescópica y la eleva. Así la estructura completa queda elevada y se asegura así el posicionamiento en altura del robot.

Además el diseño de estas ruedas está hecho con una poliamida de alta calidad que preserva la rotura de las ruedas. Parece demasiada preocupación para este apartado pero se busca asegurar la buena movilidad de la máquina.

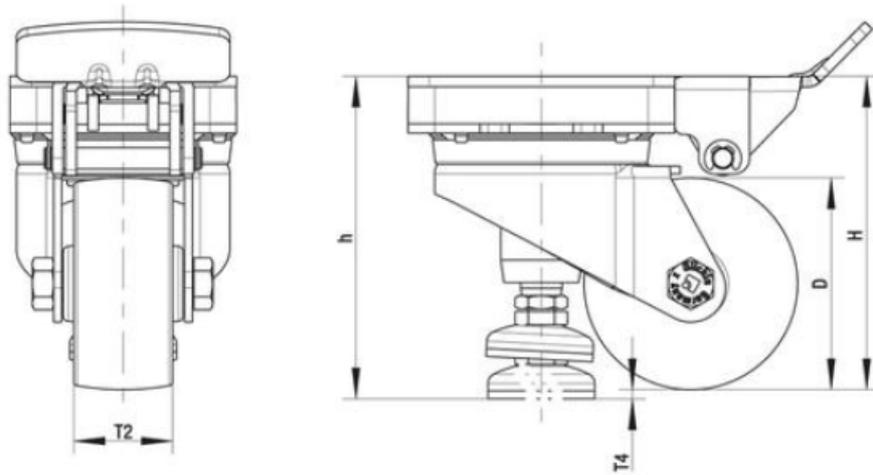


Figura 32. Detalle de las ruedas HRLK-PO 82G de la marca Blicke.

El sistema de movilidad tiene además que asegurar un buen posicionamiento del robot en cada estación de trabajo. Por ello se ha dotado al diseño de la máquina de centradores que aseguren el posicionamiento en las direcciones paralelas al plano del suelo (ver figura 33).

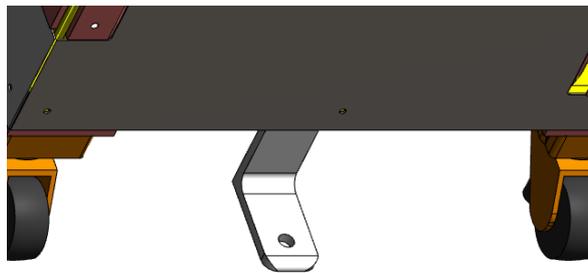


Figura 33. Pata de anclaje al suelo.

Estas patas están dispuestas alrededor de la máquina y situadas de forma que sea imposible un mal anclaje de la máquina (equivocarse anclando la máquina al revés, por ejemplo). La fijación al suelo se hace mediante simples tornillos y perforaciones en el suelo de la estación de trabajo.

Otro elemento que destacar son las manetas de apoyo que ayudan a la persona encargada de mover la máquina pueda apoyarse. Además irán pintadas en verde para mostrar que es el lugar correcto para poner las manos (ver figuras 34 y 35).

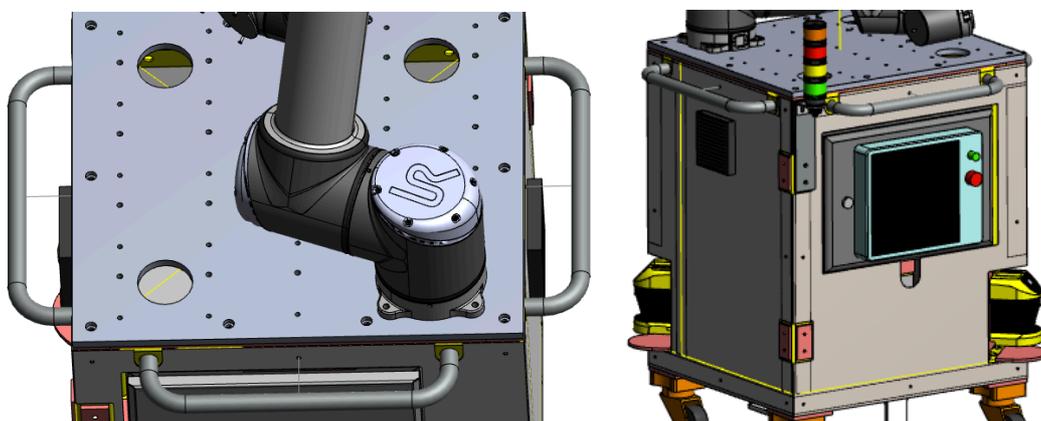


Figura 34 y Figura 35. Manetas para situar las manos al mover la máquina.

5.1.2 Posicionamiento de Escáneres de Seguridad

La máquina cuenta con dos escáneres de seguridad que cubren los 360 grados alrededor de la máquina. Sin entrar a hablar sobre el modelo elegido (se hará más adelante en la memoria) se han seleccionado escáneres que cubren un área de 270 grados.

Gracias a esta selección se puede situar el mínimo número de escáneres posibles (2 escáneres como se observa en la figura 36) situados en diagonal y cubriendo todo el contorno.

También se sitúan bases de protección para al menos proteger los escáneres de impactos con cajas o carretillas. Son dispositivos caros que deben estar en la parte más externa de las máquinas y comúnmente sufren daños por ello.

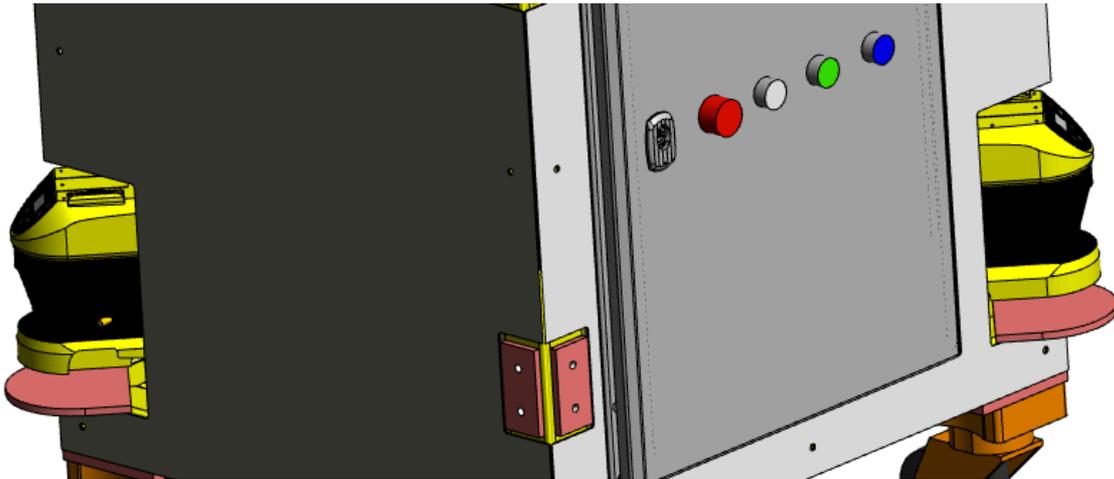


Figura 36. Situación de los dos escáneres de seguridad de la máquina.

5.1.3 Posicionamiento de los Controladores

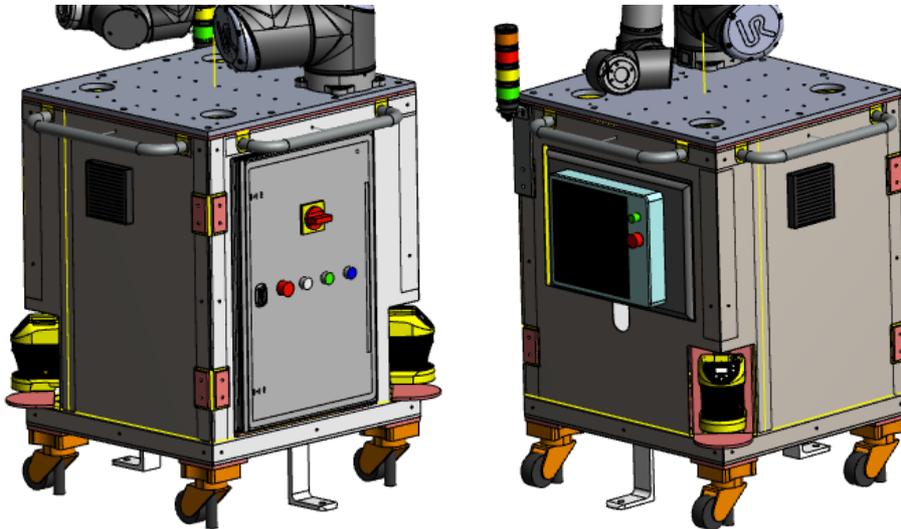


Figura 37. Controlador de seguridad (izquierda) y del robot (derecha).

En la máquina existen dos controladores claramente diferenciados dependiendo de la finalidad que llevan a cabo:

- Controlador del UR10: Situado en una de las caras (ver figura 37 derecha) es el encargado de controlar el robot. Está comunicado con el controlador de seguridad para llevar a cabo una buena estrategia de seguridad de la máquina.

- Controlador de seguridad: Situado en otra cara de la máquina y enfrentado al controlador del robot (ver figura 37 izquierda), es la caja eléctrica encargada de gestionar la seguridad de la máquina, en futuros apartados se hablará de la estrategia de seguridad llevada a cabo.

Es importante situar ambas cajas de seguridad dentro del cuerpo del carro, en otros conceptos ideados durante el camino se hablo sobre la posibilidad de tener la caja de seguridad del robot aparte de núcleo principal. Se cree un acierto esta disposición porque permite una mayor movilidad.

5.1.4 Estructura Interior y Recubrimiento Exterior

Los componentes internos de la máquina están en el cuerpo de esta, pero la estructura interna debe soportar el peso de la placa superior, de los controladores y canalizar ese peso hacia las ruedas o patas.

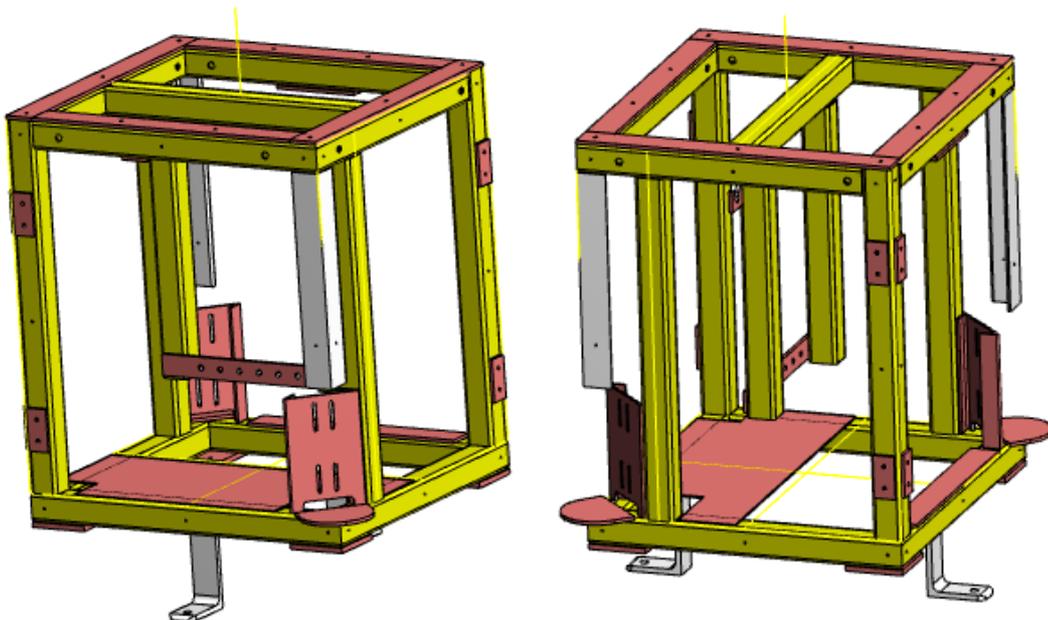


Figura 38. Estructura interior de la máquina en diferentes vistas.

Esta estructura interior está diseñada a base de tubo hueco de aluminio (ver figura 38) y tiene claramente diferenciada la zona de apoyo del controlador del robot y la zona de apoyo del controlador de seguridad.

Existen alojamientos para los escáneres de seguridad y un refuerzo para soportar el peso de la placa superior.

Como se puede entender, el acceso al interior de este carro es importante durante la programación de la aplicación en cuestión. Esto es así debido a la necesidad de cablear los dispositivos que se conecten al robot, sobretodo se está hablando de las herramientas del robot y su conexión al controlador. Dicha conexión se busca que sea limpia y se haga directamente por el interior del carro. Para la fácil manipulación de los cables del interior se pensó en situar puertas que dieran acceso a este, pero se descartó la idea debido a que de esta forma se dejaría muy fácil su apertura para personal no autorizado. También se buscaba evitar generar cerraduras que siempre son un problema al perderse la llave.

La solución encontrada ha sido situar planchas de metal cerrando el cubo generado por la estructura, de esta forma no invitan a ser abiertas, pero en caso de que sea necesario solo se emplea un leve periodo de tiempo para abrirlas.

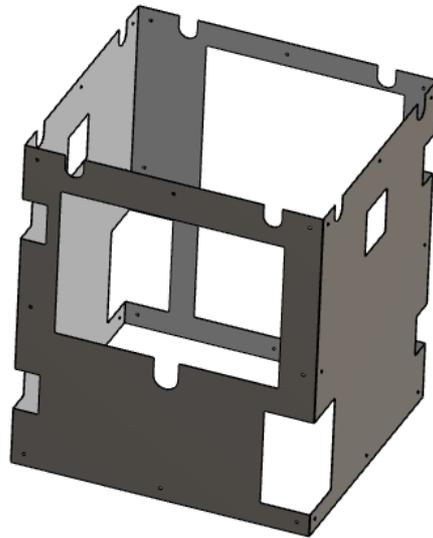


Figura 39. Cubiertas laterales de metal.

Estas cubiertas se atornillan y desatornillan, los tornillos van desde el exterior de la plancha hasta la unión roscada que se practica en las columnas de la estructura de metal.

5.1.5 Ventiladores

Es muy importante ser capaces de disipar el calor que se genera a causa de estar continuamente en funcionamiento. Dentro de la máquina se cuenta con los siguientes ventiladores:

- Ventilador del controlador del robot: Disipa el aire desde dentro del controlador al interior del carro.
- Ventilador del controlador de seguridad: Disipa el aire desde dentro del controlador de seguridad al interior del carro.
- Ventiladores laterales del carro: Disipan el aire caliente del interior del carro hacia el exterior. Existen dos y están colocados de forma enfrentada en las caras libres de controladores.



Figura 40. Ventilador lateral.

Estos ventiladores van conectados a la toma de bajo voltaje del controlador de seguridad, ya que como se verá en futuros puntos de esta memoria, el controlador de seguridad hace las veces de fuente de alimentación del carro entero.

5.1.6 Baliza de Señalización de Estado de la Máquina

En caso de fallo del robot es necesario poder comunicar al operario el estado en el que se encuentra la máquina, por ello se instala una baliza de seguridad conectada directamente al controlador de seguridad (ver figura 41).

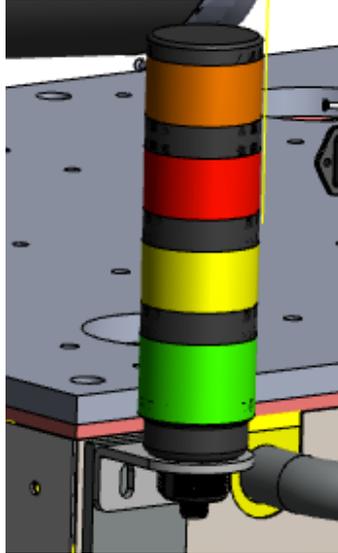


Figura 41. Baliza de señalización de Estados.

Los niveles de estado de la máquina serán explicados en futuros puntos, pero por el momento se van a exponer los códigos de colores que representan cada uno de ellos. Hay un total de cuatro colores y tienen el siguiente significado:

- Color verde: El funcionamiento de la máquina es el correcto.
- Color amarillo: La máquina se encuentra en el modo de funcionamiento reducido a causa de la información recibida por el escáner.
- Color naranja: La máquina se encuentra en el modo de funcionamiento de parada segura a causa de la información recibida por el escáner.
- Color rojo: La máquina se encuentra en el modo de parada de emergencia a causa de la información recibida por las setas de seguridad.

Existe la posibilidad de aunar los colores amarillo y naranja en un solo indicador, según que plantas prefieren mostrar que simplemente el robot actúa de forma no normal debido al escáner o debido a la seta de emergencia, en ese caso habría solo tres colores en la baliza.

De esta forma es sencillo averiguar el estado de la máquina con un simple vistazo y es especialmente útil en este tipo de máquinas. Muchas veces no se sabe si el robot está esperando una nueva orden o si hay algo que ha irrumpido en su campo de control del escáner.

La baliza se sitúa en una parte alta del carro para mejorar su visibilidad, el cableado se introduce inmediatamente en el carro gracias a una pequeña apertura en la chapa de metal.

La selección de la marca de la baliza no era determinante debido a que la funcionalidad no es complicada ni específica, no obstante se optó por la marca BANNER ya que son los proveedores de otros elementos de la máquina que se discutirán en futuros apartados.

5.1.7 Placa Superior

Coronando el carro se encuentra la placa superior, esta placa tiene diferentes funcionalidades en el propósito de la máquina:

- Hacer de interfaz física entre el robot y el carro, así el robot puede ser anclado al carro de forma segura.
- Dotar de estabilidad a la máquina, ya que está diseñado con un grosor y peso específico para dar la estabilidad suficiente.
- Anclar otros periféricos necesarios para la aplicación en planta que lo pueda llegar a requerir.
- Permitir a los cables de comunicación de la herramienta entrar en la parte interior del carro donde se conectarán al controlador del robot.

Se va a ver ahora como es posible cumplir estas características, la placa se puede observar en la figura 42.

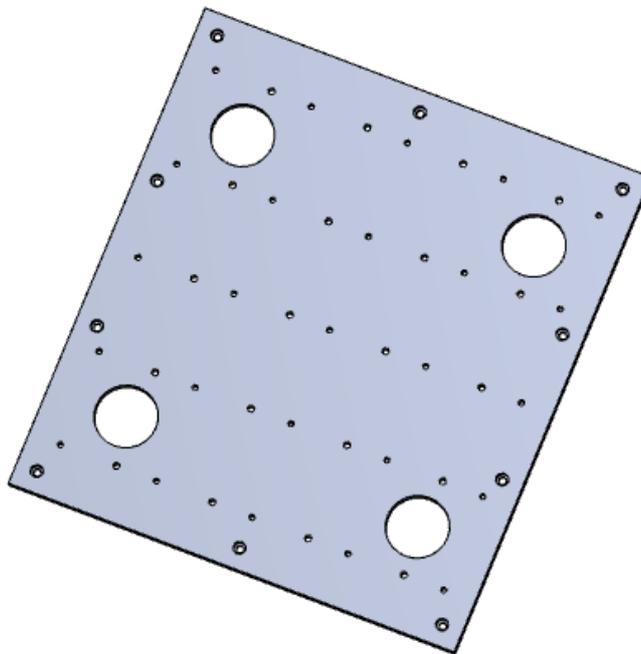


Figura 42. Placa metálica superior.

En la placa se pueden observar los siguientes mecanizados:

- Agujeros laterales de métrica 10 para anclar la placa superior a las uniones roscadas de las vigas de la estructura interior.
- Cuatro grandes agujeros de 50 mm para pasar el cableado necesario al interior del carro.
- Muchos agujeros roscados de métrica 8 para anclar el robot y para situar en ellos los elementos necesarios dependiendo de la aplicación.

Por lo tanto el robot se puede situar en cualquier posición encima de la mesa. Esto es posible gracias a que los agujeros de métrica 8 están dispuestos de forma que en cualquier juego de cuatro agujeros en disposición cuadrada encaja el robot. Da mucha flexibilidad a la hora de hacer una instalación en planta.

5.1.8 Pedestal Externo

Pese a que no sea un requerimiento legal, Faurecia siempre obliga a tener acceso a una seta de emergencia que esté fuera del área de los escáneres de seguridad.

Realmente no es un requerimiento legal porque los escáneres de seguridad garantizan la seguridad del operario que se aproxima a la máquina, pero en todo caso Faurecia obliga a tener una seta fuera de este rango por posibles situaciones que ya se han dado en el pasado reciente de la compañía.

Además, también es un requerimiento obligatorio disponer de los cortes neumáticos allá donde esté el operario trabajando con la máquina. Como esta máquina busca prescindir de operario, habría que colocar el corte neumático fuera del área de los escáneres. Junto con el corte neumático hay que situar también un indicador analógico de la presión aguas abajo del corte a fin de que el operario se asegure de que efectivamente, el corte se realiza correctamente al accionarlo.

Por lo tanto, este punto obligó a plantearse de que forma se incluían estos elementos. En un principio se valoró la posibilidad de poner una seta de emergencia sin cables, pero no existían en el mercado setas que cumplieran la normativa de seguridad nivel PLd Categoría 3.

Por todo ello se decidió generar un pedestal externo al robot que albergaría los siguientes elementos (ver figura 43):

- Seta de emergencia.
- Botón de inicio de ciclo.
- Corte neumático con filtro e indicador de presión aguas abajo del corte: Esta es una opción no obligatoria que pueden implementar las plantas en el caso de tener energía neumática en la aplicación. Por ello no está representado en la figura 43.

Este pedestal se encuentra unido a la caja de control de seguridad mediante un cable físico de al menos 5 metros de longitud. Los escáneres llegan como máximo a 4.2 metros. Si el cable se encuentra desconectado la máquina no puede salir del estado de parada de emergencia.

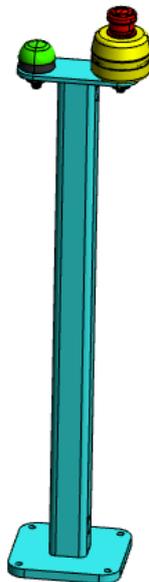


Figura 43. Pedestal externo

5.1.9 Medidas Generales

En todo momento se están compartiendo imágenes de la máquina y se ha hecho referencia a los planos. Lo que no existe ni en las imágenes ni en los planos son medidas sobre el tamaño de la máquina siendo la única referencia el robot montado sobre ella.

A continuación se comparte en la figura 44 una imagen de la máquina al completo junto con una persona de 1.80 metros de estatura para poder dar una referencia del tamaño de que tiene la máquina.

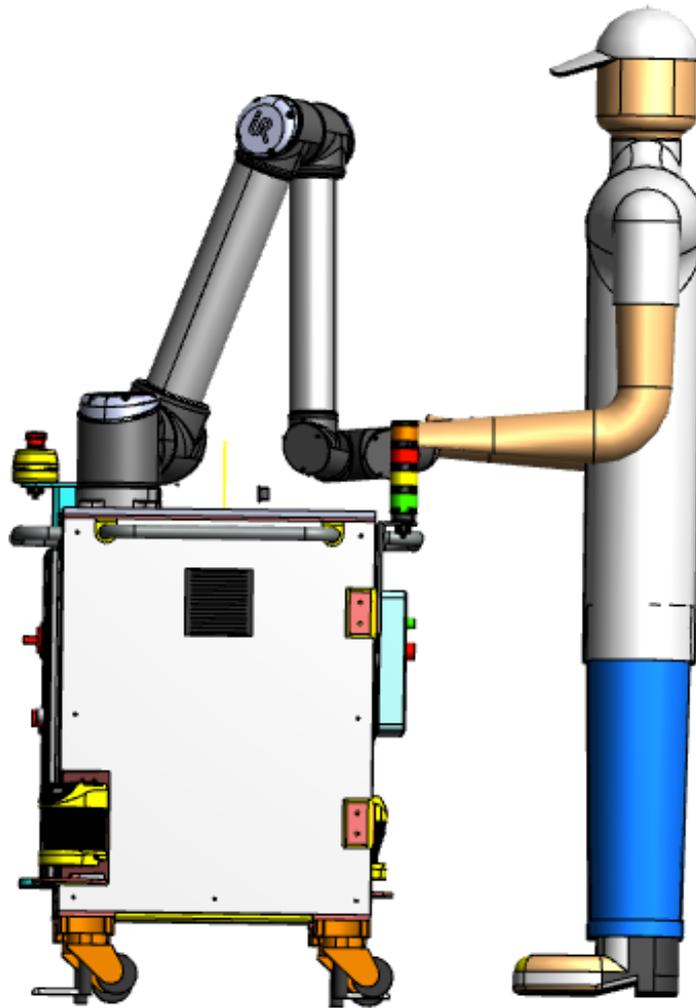


Figura 44. Visión general de la máquina en comparación a una persona de 180 cm de estatura.

El tamaño global de la máquina se ha mantenido en las proporciones actuales porque son las que mejor se adaptan a las estaciones de trabajo existentes en Faurecia. Las estaciones suelen ser de la misma altura a la que se sitúa la base del robot. Además, esta posición también permite al robot llegar a posiciones muy bajas incluso al propio suelo.

Para futuras ampliaciones de la máquina se ha propuesto un tamaño de placa superior que permita el cambio de utillaje del robot. Aunque en la actual versión no está previsto tener esa funcionalidad.

Por último, la altura propuesta también permite montar el robot sobre el carro de una forma sencilla. Esto es interesante pues la mayoría de las veces se mandaría a planta el carro y el robot por separado.

5.2 DISEÑO ELÉCTRICO

Cuando se habla en este TFM sobre diseño eléctrico se habla del diseño eléctrico de la caja de seguridad (ver figura 45). Esta caja es la encargada de gestionar lo siguiente:

- Gestionar las seguridades de la máquina. Conectar todas las setas de seguridad y diferentes funcionalidades de los escáneres.
- Dar suministro eléctrico de alto voltaje al robot y a otros periféricos.
- Dar suministro eléctrico de bajo voltaje (24V) al robot y otros periféricos.
- Tener la zona de conexión de datos con los escáneres.
- Tener el botón de rearme de las seguridades.

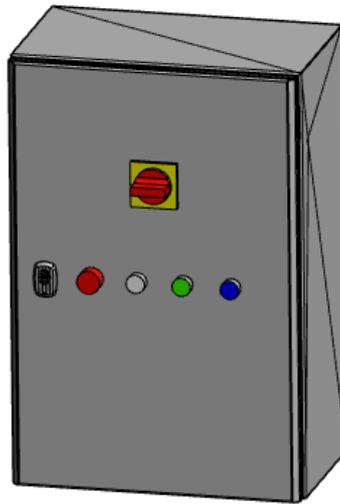


Figura 45. Caja de seguridad.

5.2.1 Funcionamiento de las Áreas de los Escáneres

Los escáneres de seguridad van a controlar dos áreas distintas cada uno. Es interesante recalcar en este punto que las áreas que van a controlar los escáneres en cada momento son áreas de seguridad y superpuestas, hay pocos modelos en el mercado que lo hagan y que además tengas salidas de seguridad para ello (y no haga falta usar PLC), pero esto se verá en el apartado de selección de escáneres. Las áreas controladas son las siguientes:

- Área amarilla: Área mayor y que controla la aproximación de una persona. Cuando se entra en esta área el robot debe entrar en modo de velocidad reducida.
- Área naranja: Área menor y que controla la aproximación de una persona desde el área amarilla. Cuando entra en esta área el robot debe entrar en parada segura.

La estrategia seguida con las áreas de seguridad responde a la normativa de cálculo de distancias de seguridad. Sin entrar a definir esta normativa se debe informar al lector de las siguientes características:

- La distancia se debe empezar a contar desde el punto de movimiento de robot más próximo al operario en aproximación. Si el robot no tiene planos de seguridad (se habla de este punto más adelante), se debe considerar que el robot se puede encontrar en su distancia máxima, es decir, 1300 milímetros en el caso del UR10.

- La distancia se debe calcular en base a la fórmula de la figura 46 donde los elementos presentes son los siguientes:
 - D = Resultado en milímetros de la distancia de seguridad que se debe mantener.
 - K : Es la velocidad de un humano que se aproxima a la máquina. En la Faurecia este valor viene marcado por tablas y es la velocidad de una persona corriendo lento. El valor es de 1600 mm/s.
 - $\sum T$: Es el sumatorio de todos los tiempos de reacción de los elementos de seguridad que existen en la máquina. En el caso que ocupa este TFM se deben sumar los 0.06 segundos de los escáneres de seguridad más los 0.05 segundos de los relés de seguridad más el tiempo de respuesta del robot. Este último valor es modificable y es la base de toda la estrategia de seguridad, se habla más adelante en este punto sobre él.
 - C : Un valor en milímetros calculado a partir de su propia formula (también en figura 46). La H en su formula es la altura a la que se sitúa el escáner de seguridad (ver figura 47), en el caso que nos ocupa H son 240 milímetros y por lo tanto C son 1100 milímetros.
 - A : Una constante debido a posibles reflejos de los haces de luz equivalente a 100 milímetros.

$$D = K * \sum T + C + A$$

$$C = 1200 - 0,4 * H$$

Figura 46. Ecuaciones según normativa de distancias de seguridad.

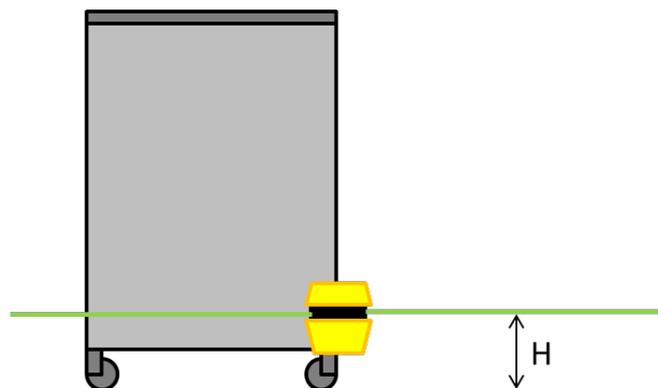


Figura 47. Ejemplo de la distancia que hay detrás del valor de H .

Una vez explicado la normativa referente a las distancias de seguridad y cómo aplicarlas es hora de explicar en que se basa el sistema de dos áreas de seguridad en los escáneres. Si se repasan los elementos de seguridad se verá que solo un valor no es constante, el de tiempo de reacción del robot. Como se tienen dos áreas se deben hacer dos cálculos:

- Para el cálculo del área amarilla se debe tomar el tiempo que el robot toma para reducir la velocidad. Según el fabricante el robot asegura que reducirá la velocidad en 0.5 segundos.

- Para el cálculo del área roja se debe tomar el tiempo que el robot toma para realizar una parada segura. Este tiempo es una entrada de las opciones de seguridad del robot. Por lo tanto es el usuario el que introduce que tiempo desea entre el rango de 0.5 y 0.1 segundos.

Lógicamente para tener un área pequeña se desea un tiempo de parada muy rápido, es decir, 0.1 segundos. Pero cuando se configura ese tiempo el robot se mueve muy lentamente y no cumpliría los tiempos de ciclo. Por lo tanto en base a esta explicación se justifica la presencia de la zona amarilla. Si no fuera por esta zona amarilla el robot iría muy lento o tendría unas zonas de seguridad muy amplias, pero la zona amarilla nos permite configurar un tiempo de parada muy rápido que solo se activa si una persona entra en ella. Durante el resto del tiempo el robot trabaja a ritmo máximo sin preocupación.

La disposición de las zonas de seguridad por lo tanto será como se muestra en la figura 48, la zona amarilla deberá ser mayor que la zona naranja en todos los proyectos.

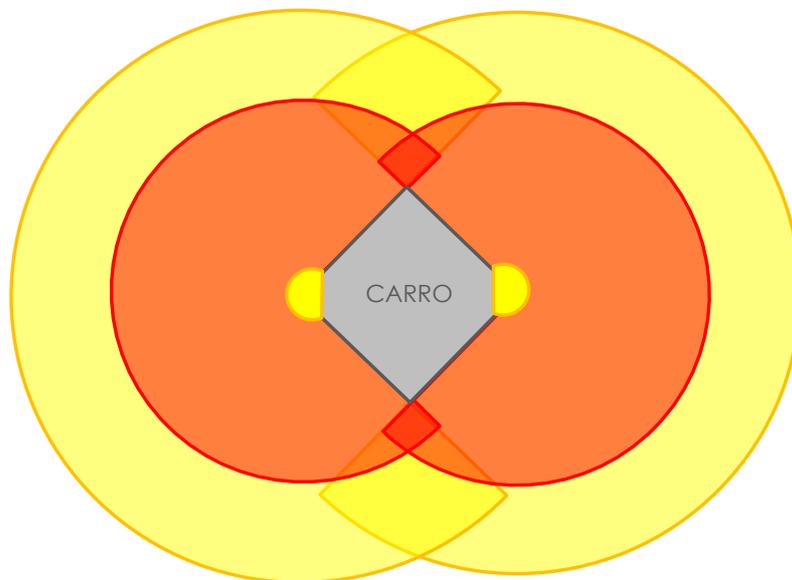


Figura 48. Extracto del manual de usuario de la máquina donde se muestran las zonas de seguridad.

Realmente las áreas se dibujarán de forma rectangular y siempre respetando el área más cercana a los 1300 milímetros de alcance del robot (ver figura 49 izquierda). También se pueden configurar planos de seguridad para encerrar el robot y sus acciones en esos planos y así conseguir áreas más pequeñas como se ve en la figura 49 derecha.

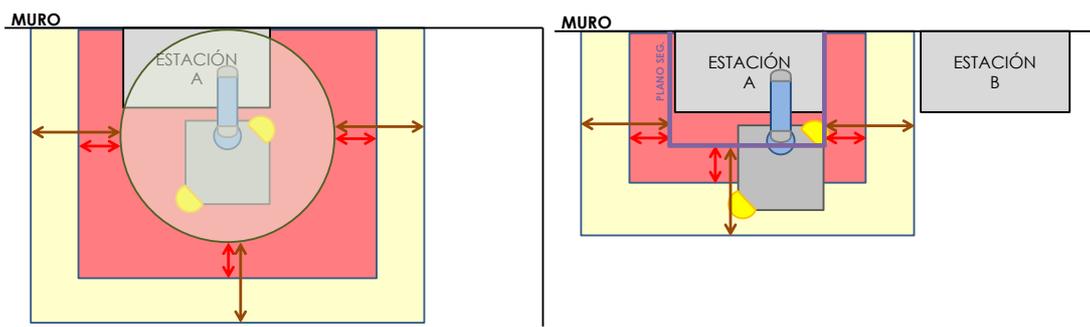


Figura 49. Ejemplo de cómo la inclusión de planos de seguridad puede ayudar a reducir las áreas.

5.2.2 Consideraciones sobre Áreas de Seguridad

A la hora de dibujar las áreas de seguridad se deben tener en cuenta ciertas medidas que disminuirán la posibilidad de que ocurra un accidente. Dichas medidas son:

- Impedir que existan áreas que permitan el paso de una persona desde el exterior a un área interna de seguridad. Es decir, no dejar la posibilidad de que una persona acceda al área de seguridad a una distancia mínima que la permitida. Esto puede ocurrir cuando otro objeto hace sombra al escáner como se muestra en la figura 50. Este tipo de casos se evitará instalando barreras físicas que lo impidan.

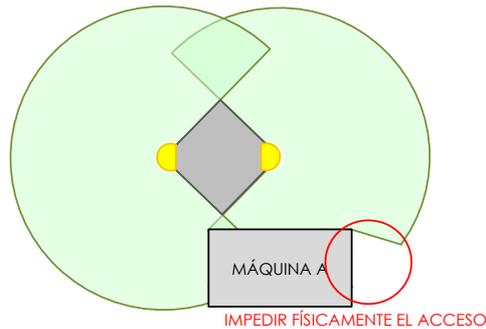


Figura 50. Caso de sombras que permiten el acceso de una persona sin respetar la distancia de seguridad.

- Impedir que existan zonas donde una persona se puede alojar en el interior de un área de seguridad. Parecido al punto anterior, pero en este caso el área no es accesible desde el exterior pero sí desde el interior como se puede ver en la figura 51. Se evitará instalando barreras físicas.

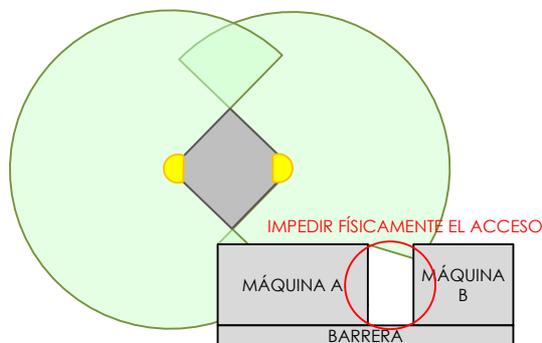


Figura 51. Caso de sombras que permiten a una persona permanecer dentro de un área de seguridad.

- Dibujar las áreas de seguridad manteniendo un margen máximo de 15 milímetros respecto a los objetos existentes. Ya que es imposible replicar la realidad al máximo, se debe mantener una distancia que impida a una persona permanecer en el área sin ser detectada como se ve en la figura 52.



Figura 52. Ejemplo de la distancia que se debe mantener respecto a los objetos ya existentes.

5.2.3 Circuitos de Seguridad

Con el ánimo de no disponer de otro elemento programable más allá del robot y los escáneres se decide no incluir PLC de seguridad en la caja de seguridad. Por ello, la caja debe estar constituida por relés de seguridad que activen los diferentes estados de la máquina.

Todos los circuitos de seguridad de la máquina funcionan de la misma forma, recogen información de los periféricos (escáneres o setas de emergencia) y la transmiten de forma segura hacia el robot. Para entrar dentro de la catalogación de PLd Categoría 3 se debe disponer siempre de comunicaciones de seguridad de 24V y doble canal.

Se puede pasar de cualquier estado de seguridad a otro sin problema. Los diferentes circuitos de seguridad dentro de la máquina son los siguientes:

- **Circuito de seguridad rojo:** El circuito está desactivado cuando todas las setas de emergencia están desactivadas. Las setas presentes en la máquina están en la parte frontal de la caja de seguridad (ver figura 45) y en el pedestal (ver figura 43). Cuando este circuito está activado tiene predominancia sobre los demás y activa la luz roja de la baliza de información de estados. El robot debe ejecutar una parada de emergencia cuando este circuito se activa, es decir, activar frenos y detener toda actividad. Para salir de este modo de emergencia se deben desactivar las setas y rearmar desde el botón de rearme azul de la caja de seguridad (ver figura 45).
- **Circuito de seguridad naranja:** El circuito está desactivado cuando los escáneres (ninguno de ellos) no detectan a ninguna persona en el área de parada segura (explicada en el punto anterior). Cuando los escáneres detectan a una persona en el área de parada segura este tipo de fallo tiene predominancia sobre los demás excepto sobre el circuito de seguridad rojo, además en caso de predominancia activa la luz naranja de la baliza de información de estados. El robot debe ejecutar una parada controlada cuando se activa este modo, es decir, pausar la actividad sin activar los frenos. De este modo se permite salir de forma automática, es decir, cuando el circuito vuelva a estar desactivado el robot podrá continuar su actividad.
- **Circuito de seguridad amarillo:** El circuito está desactivado cuando los escáneres (ninguna de ellos) no detectan a ninguna persona en el área de reducción de velocidad (explicada en el punto anterior). Cuando los escáneres detectan a una persona en el área de reducción de velocidad este tipo de fallo tiene predominancia sobre los demás excepto sobre el circuito de seguridad rojo y naranja, además en caso de predominancia activa la luz amarilla de la baliza de información de estados. El robot debe ejecutar una reducción de velocidad controlada cuando se activa este modo. De este modo se permite salir de forma automática, es decir, cuando el circuito vuelva a estar desactivado el robot podrá continuar su actividad.
- **Circuito de seguridad verde:** No es un circuito en si mismo, es sencillamente el estado en el que se encuentra la caja de seguridad cuando ninguno de los anteriores está activo. La luz verde de la baliza de información de estados se activa. Este modo no tiene predominancia sobre ningún otro.

5.2.4 Funcionalidades Extra

El diagrama eléctrico está preparado también para que varios armarios eléctricos se conecten conjuntamente. Esto se hace mediante una conexión en cadena de cada uno de ellos mediante conectores en la parte frontal del cuadro eléctrico.

La finalidad es que los circuitos de seguridad de los cuadros estén interconectados, levantándose las seguridades solo en el caso de que todos ellos estén activados. El sistema funciona por cada uno de los circuitos de seguridad descritos en el apartado anterior y siguiendo las mismas jerarquías.

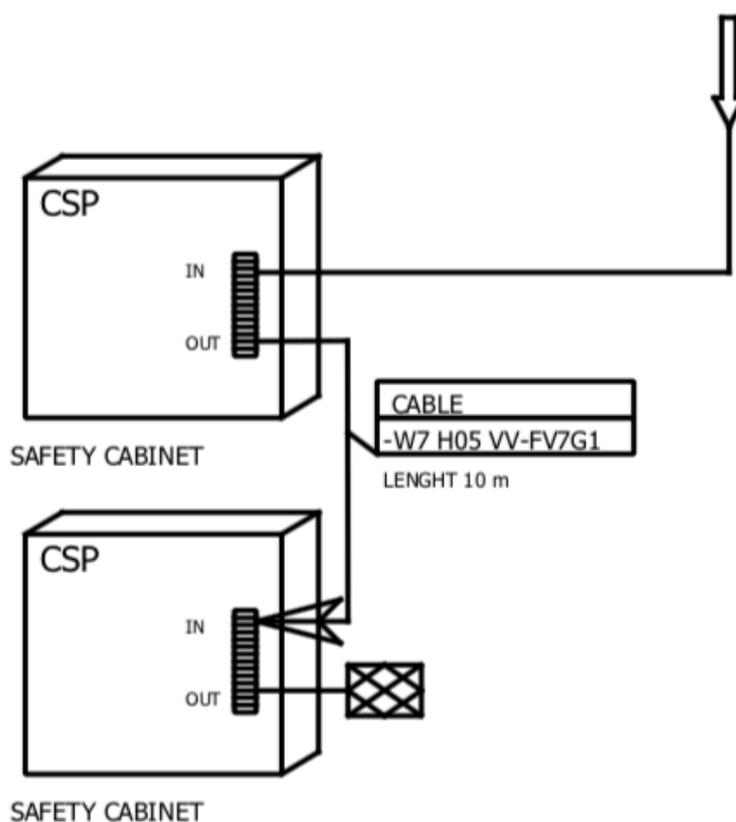


Figura 53. Interconexión de diferentes cuadros eléctricos (máquinas)

De esta forma, en el caso de disponer de dos máquinas que trabajan en una misma acción, sería posible sumar sus áreas de seguridad de los escáneres, así como las setas de emergencia.

Cada armario eléctrico tiene un conector de conexión y otro de expansión, así es posible generar una cadena de máquinas de tantos elementos como sea necesario como se puede ver en la figura 53.

Es cierto que la complejidad asociada a la instalación de dos máquinas a realizar el mismo trabajo no está contemplada dentro de la finalidad de este TFM. La razón de la inclusión de esta característica dentro de la máquina es que el armario eléctrico puede usarse en otras máquinas y está diseñado de forma genérica para poder ser usado con otras finalidades. Así, para otras máquinas que usen más de dos escáneres resultaría realmente útil usar varios armarios eléctricos y no rediseñar un sistema desde el inicio.

5.2.6 Conexiones

El cuadro eléctrico realiza las labores de conexión de toda la máquina. Sin entrar en los detalles de cada una de las conexiones, se van a representar a continuación las entradas y salidas existentes dependiendo de cada aparato conectado:

- Robot UR: Al robot llegan los tres circuitos de seguridad de doble canal (6 vías) y la señal de inicio de ciclo y paro de máquina desde la botonera. La conexión se realiza mediante manguera y conectado finalmente a la bornera del UR. También llega al robot una vía de potencia de 24V para los elementos electrónicos y otra vía de 220V para el propio brazo robótico.
- Escáneres de seguridad: Conectados al armario eléctrico mediante un conector de muro. Al escáner se le suministra tensión de 24V y devuelve las dos salidas de doble canal de seguridad de cada una de las áreas (4 cables).
- Enchufes externos: En la parte interior del carro se cuenta con unos enchufes suplementarios en el caso de que se requiera conectar algún periférico a 220V. La conexión sale directamente del armario eléctrico.
- Peana de seguridad: La peana cuenta con una seta de emergencia y dos botones (marcha y paro). La seta de emergencia va cableada al armario de seguridad, pero los botones van directamente al bornero del robot.

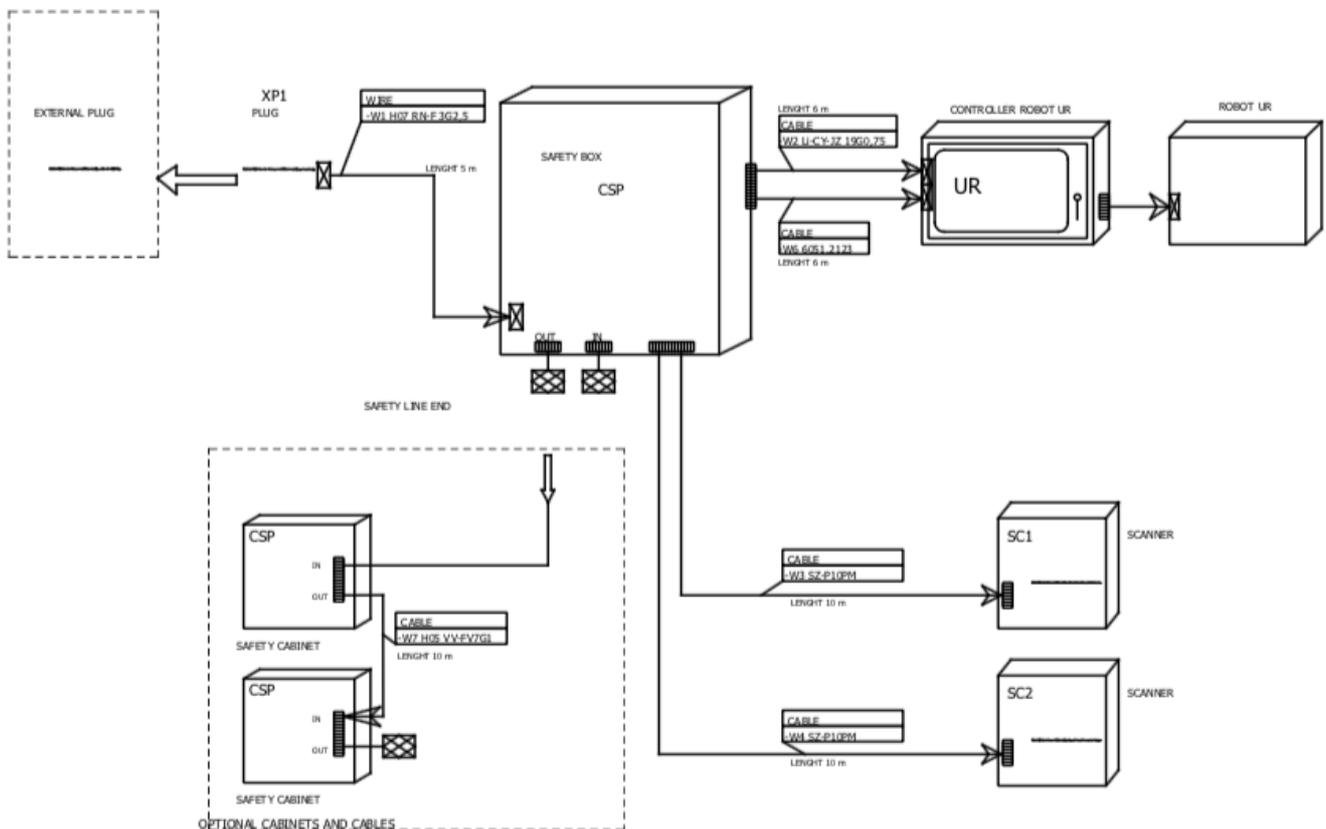


Figura 55. Diagrama de conexiones de la máquina.

5.3 DOCUMENTACIÓN DE SEGURIDAD

Faurecia será la certificadora de la máquina. El objetivo final es que la máquina se pueda instalar en cualquier planta sin necesidad de ser certificada en cada una de sus aplicaciones. Para ello se subcontrata a la empresa PILZ como consultora en términos de seguridad de la máquina y se desarrolla una estrategia de documentación que queda explicada en este apartado.

5.3.1 Nombre de la Máquina

En este punto la compañía se plantea que nombre debe tener la máquina, es importante identificarla con un nombre para llevar a cabo la distribución interna. También es un requisito legal para certificar una máquina.

El nombre elegido es "EASYBOT", en inglés significa robot fácil. El motivo del nombre va ligado al objetivo de la compañía detrás de la concepción de la máquina, como ya se ha estudiado en el apartado de análisis funcional, la máquina debe ser el caballo de Troya de la automatización robótica para las plantas y para ellas debe ser sencillo su compra, desarrollo e instalación.

En este TFM de ahora en adelante se va a referir a la máquina como EASYBOT. En puntos posteriores se completará la estrategia de comunicación de la máquina y en que otras áreas el robot es sencillo.

5.3.2 Estructura de la Certificación

La máquina se debe certificar bajo unos usos. El problema del concepto de EASYBOT que se propone en este TFM es que la máquina no estará destinada a la misma aplicación en todas las plantas.

Para ello la propuesta del autor de este TFM a PILZ es la de realizar una certificación de la máquina base, de forma que la máquina no estaría aprobada para nada más que no fuera estar parada en una planta industrial. Es decir, la máquina tendría todas las catalogaciones para ser fabricada y puesta en planta, pero no tendría permiso para realizar ningún uso ni para usar ninguna herramienta.

Si se analiza el trabajo que se da a un robot en planta se pueden diferenciar claramente los dos conceptos que lo caracterizan:

- **Uso, finalidad o acción:** Es el trabajo en si mismo que realiza el robot. El movimiento está destinado a una acción en concreto.
- **Herramienta montada en el brazo robótico:** Es el utensilio que usa el robot para llevar a cabo la acción.

No es realista pretender certificar el robot para cualquier uso y para cualquier herramienta y definir lo que no se puede usar. Por ello se opta por certificar el robot para usar ciertas herramientas bajo ciertos usos. Estas herramientas y usos irán ligadas a la certificación de la máquina y serán globales y podrán ir aumentando.

5.3.3 Estructura de Archivos

Como ya se ha especificado, es necesaria una solvente estructura de archivos para llevar a cabo la certificación de la máquina. Las razones son las siguientes:

- La directiva europea para la definición de máquinas industriales requiere que exista un manual de usuario que cubra las necesidades básicas del receptor de la maquinaria.
- Dado el carácter global de la máquina y su certificación, es necesario fijar muy claramente los usos y equipamientos que pueden ser usados dentro de la certificación aprobada.
- Dado el sistema de seguridad basado en escáneres de seguridad que se usa se debe tener una documentación que guíe al usuario a través de la instalación en planta para que se respeten todas y cada una de las medidas de seguridad necesarias y se evite una mala configuración de los equipos que ponga en riesgo la seguridad de los operarios.
- El objetivo final de la máquina es que pueda ser manejada por la planta, por ello también se debe disponer de toda la información sobre el equipamiento usado.

La documentación de la máquina es un directorio de carpetas que contienen todo lo necesario para definir, construir, programar e instalar el EASYBOT. Entre otros, la documentación disponible es la siguiente:

- Manual de usuario: Se hace una revisión en profundidad más adelante en la memoria de este TFM. Principalmente el manual de usuario es el documento donde están comprendidas, entre otras las siguientes áreas:
 - Definición de los usos de la máquina.
 - Definición del equipamiento de la máquina.
 - Alerta sobre los peligros existentes por el uso adecuado e inadecuado del equipamiento.
 - Requisitos de seguridad de la máquina.
 - Definición de los espacios de seguridad.
 - Peligros residuales en el uso de la máquina.
 - Definición de acciones a realizar para instalar la máquina en planta.
 - Entrenamiento necesario al receptor de la máquina.
- Listado de acciones: Es una lista de acciones para cada uno de los pasos que se deben seguir a la hora de instalar el equipamiento en planta. Debido a la complejidad de la documentación y procedimiento, en este documento se detalla paso a paso todas las consideraciones que se deben tener en cuenta desde la definición de la aplicación inicial hasta la programación de la máquina en planta. Es un documento oficial y su uso es obligatorio para que la máquina instalada posea el marcado CE. Queda definido en más profundidad en siguientes puntos de este TFM.
- Información comercial sobre el equipamiento: En la documentación están incluidas todas las ofertas necesarias de cada uno de los proveedores del equipamiento de la máquina. En definitiva se trata de las ofertas comerciales de elementos como el robot,

los escáneres o el carro. Así es más sencillo para las plantas poner los pedidos necesarios para recibir el equipamiento.

- Especificaciones del equipamiento no comercial: No todo el equipamiento es comercial en la máquina. El carro del robot y su armario eléctrico están fabricados exclusivamente para el EASYBOT. Pese a que en el apartado de ofertas es posible encontrar proveedor para este equipamiento no comercial, se da la oportunidad a las plantas de encontrar un proveedor de su confianza que lo realice. Para ello se dispone de especificaciones precisas para llevar a cabo la fabricación de los siguientes elementos:
 - Carro del robot y peana: Se dispone de un documento donde se define el equipamiento además de los planos de este y su diseño 3D. También una lista de todos los elementos comerciales usados en el mismo.
 - Armario eléctrico: Se dispone de un documento donde se define el equipamiento además de los diagramas eléctricos y su diseño 3D. También una lista con la referencia de cada uno de los elementos usados en el cuadro eléctrico.

- Documentación sobre el equipamiento comercial: Todo equipamiento comercial usado en la máquina cuenta con sus propios manuales de usuario y hojas de configuración. Pese a que en el manual de usuario se explica cómo manejar y programar los elementos (robot, escáner, comunicadores sin cables...), también se añade a la documentación estos archivos para hacer la vida en planta más sencilla. No se realiza ninguna acción adicional sobre la documentación, sencillamente se almacena y ordena para una fácil localización.

- Declaración de conformidad sobre la fabricación equipamiento: Documento que debe firmar el fabricante del carro y el armario eléctrico donde se compromete a que el equipamiento fabricado sigue las directrices establecidas en la documentación oficial compartida por Faurecia. De esta forma se asigna a cada equipamiento un número de serie que se otorga por el equipo central de robótica.

- Declaración de conformidad sobre la instalación del equipamiento: Una vez se realiza una instalación en planta esta debe firmar la declaración de conformidad para asegurar que el equipamiento instalado en la planta sigue todas las directrices de seguridad exigidas en la documentación oficial de la máquina. Esto se realiza para asegurar que entienden la responsabilidad existente en seguir la normativa de seguridad que otorga a la máquina el marcado CE.

Listado de Acciones

Como ya se ha mencionado, existe un listado de acciones que marca en cada caso que se debe hacer para llevar la máquina a planta. Este listado cubre las acciones desde el momento en que se empieza a plantear una automatización hasta que la máquina está produciendo durante 90 días en planta.

En la figura 56 se expone gráficamente todos y cada uno de los pasos a seguir para pasar por todo el proceso.

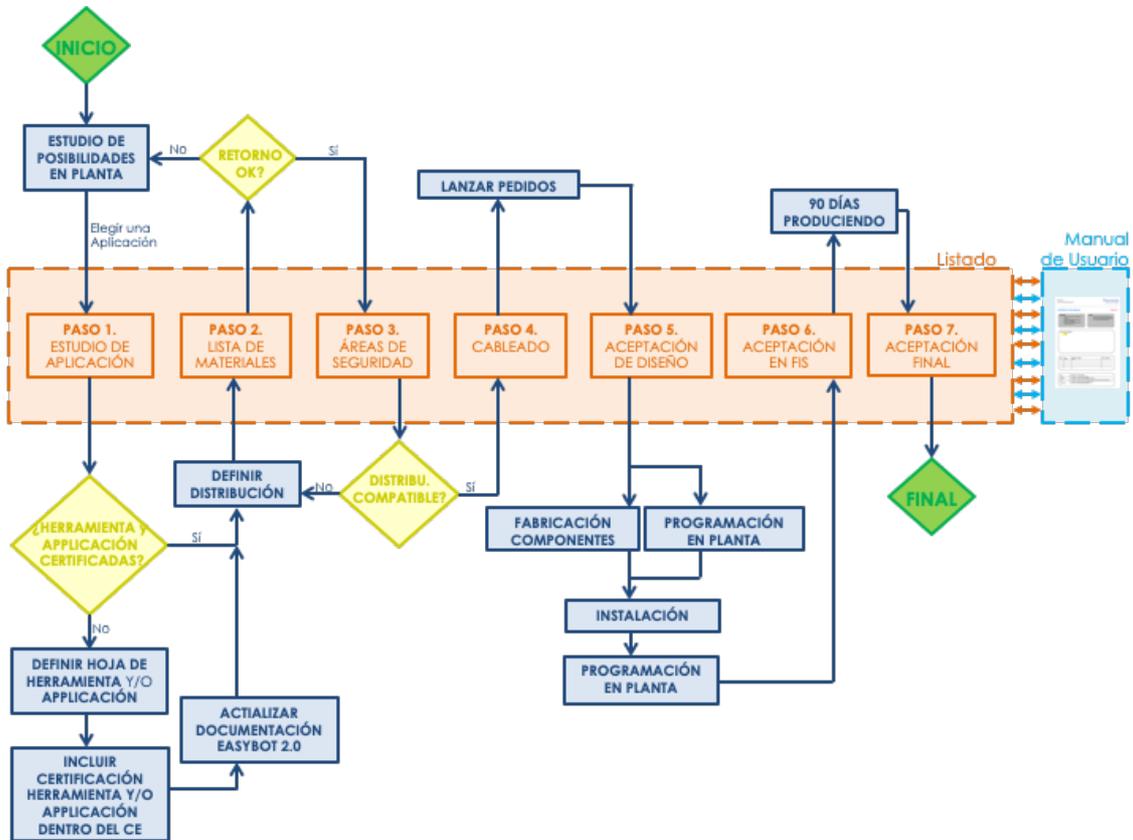


Figura 56. Diagrama de flujo de trabajo para la aceptación de la máquina.

Se puede ver en la figura 56 que existen 2 grandes rectángulos que representan en listado de acciones (naranja) y el manual de usuario (azul). En el listado de acciones están comprendidos cada uno de los pasos a realizar, que se traducen en una lista de acciones a rellenar en cada momento. Como la lista de acciones no contiene detalles extensos sobre cada una de las consideraciones a tomar, esta se refiere al manual de usuario dónde los puntos sí que están explicados de forma detallada, es por ello por lo que entre ambos cuadros de la figura 56 se representan flechas de comunicación directa.

Es importante destacar que durante este proceso se confirmará la viabilidad técnica y económica más detalladamente, por lo tanto se puede empezar con tantas aplicaciones como se quiera, pero siempre de forma individual. Una aplicación, un listado de acciones diferente.

También se debe tener en cuenta que el listado de acciones será rellenado siempre con la presencia de la persona responsable de planta y el autor de este TFM.

Se procede a explicar ahora el proceso a seguir en orden cronológico:

- Se da inicio a un proyecto (esquina superior izquierda de la figura 56). En ese momento se analizan con planta las diferentes automatizaciones disponibles. Durante ese estudio se analizan de forma técnica y económica (grandes rasgos) cada una de ellas y se decide comenzar el proyecto con una única aplicación.

Item Number	Item	Status	Comment																
Remember: Just modify blue cells as this one. Blank cells are automatically filled																			
When should I fill this checklist? At the beginning of the project studies. This checklist is prepared for studying the application in early stages.		Theoretical date Fill in Summary	Filling date Fill in Summary																
1. INFORMATION FOR PRE-STUDIES																			
1.1	Robotic expert has been contacted for study de automation possibility.																		
1.2	Layout dimensions has been shared in .dwg file.																		
1.3	Process parts weight and dimensions has been shared. (CAD if possible)																		
1.4	Actual workinstruction has been shared.																		
1.5	Process video has been shared with robotic expert																		
2. FOLLOWING THE CONCEPT																			
2.1	Robot operation is not thought for being quicker than an operator. Robot is performing operation at same speed than operator																		
2.2	interaction with other machines is performed without the electrical modification of their electrical cabinets or actual layout		EASYBot must not alterate the current definition and certifications of machines.																
2.3	Communication and information needed from other machines are managed through wireless devices.		Check Safety chapter for knowing which type of signals can be sent with wireless connection																
2.4	Installation and layout doesn't need to change drastically for accepting the EASYBot concept.		Always keep in mind tha the back-up is to un-clamp the robot from current location and place an operator.																
3. SAFETY																			
3.1	Communication and information needed from other machines are always "standard signals".		"Standard signal" is the signal that is not used for safety reasons in the existing machine and that will not be used for safety reasons on EASYBot																
3.2	Safety Radars can control the presence of a person around 360 degrees.		Special attention to shadows or black areas. Check User Manual for correct definition of safety areas																
3.3	Check that the application that is going to be performed is included in the list of existing validated EASYBot applications.																		
3.4	If the application is not included Inform the robotic expert.																		
3.5	Check that the End Of Arm Tool that is going to be performed is included in the list of existing validated EASYBot End Of Arm Tools																		
3.6	If the End Of Arm Tool is nor included: Inform the robotic expert																		
4. USER MANUAL																			
4.1	Application proposer has readen the EASYBot 2.0 User Manual and agrees all the information included.																		
4.2	Application and EOAT proposed follows all the Uer Manual requirements																		
5. APPROVAL FOR NEXT STEP																			
5.1	Application proposer and robotic experts are agree on going for the following step																		
<table border="1"> <tr> <td>TOTAL ITEMS</td> <td>18</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>GREEN POINTS</td> <td>0</td> <td>0%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>WIP POINTS</td> <td>0</td> <td>0%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>RED POINTS</td> <td>0</td> <td>0%</td> <td></td> </tr> </table>				TOTAL ITEMS	18			GREEN POINTS	0	0%		WIP POINTS	0	0%		RED POINTS	0	0%	
TOTAL ITEMS	18																		
GREEN POINTS	0	0%																	
WIP POINTS	0	0%																	
RED POINTS	0	0%																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">THE CHECKLIST WILL BE CORRECTLY APPROVED ONLY IF:</td> </tr> <tr> <td>1.</td> <td>There are not red points</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td>All WIP points are linked to a PDCA action</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td>PDCA and checklist is validated by all the mandatory attenders by email.</td> </tr> </table>				THE CHECKLIST WILL BE CORRECTLY APPROVED ONLY IF:		1.	There are not red points	2.	All WIP points are linked to a PDCA action	3.	PDCA and checklist is validated by all the mandatory attenders by email.								
THE CHECKLIST WILL BE CORRECTLY APPROVED ONLY IF:																			
1.	There are not red points																		
2.	All WIP points are linked to a PDCA action																		
3.	PDCA and checklist is validated by all the mandatory attenders by email.																		

Figura 57. Ejemplo de un paso dentro de la lista de acciones.

- Paso 1, estudio de aplicación: Aquí se inicia la primera de las listas de acciones a rellenar con el responsable de planta. Cada uno de los ítems es una línea de la figura 57, ordenados en diferentes capítulos (líneas en gris). Para cada ítem se puede dar una respuesta dependiendo de su grado de cumplimiento, verde si se cumple, amarillo si se está trabajando en ello y rojo si no se puede cumplir. Al acabar la lista solo se puede continuar al siguiente paso si todas las acciones son verdes o amarillas y solo si las amarillas están ligadas a una acción en curso. El objetivo de esta fase es recopilar la información necesaria desde planta para realizar un análisis de factibilidad técnica.
- Durante el primer paso se analiza si la aplicación y la herramienta usada están dentro de la certificación de la máquina. En el caso de que sea así se puede continuar directamente al paso 2. En caso contrario, se debe hablar con una entidad de tercera parte certificadora que analice la nueva aplicación y herramienta a certificar. Una vez se realice esta acción se debe actualizar la documentación incluyendo las nuevas incorporaciones.

TKS-180914-10 STEP 2. BOM Digital Robotics **faurecia**
inspiring mobility

Remember: Just modify blue cells as this one. Blank cells are automatically filled

When should I fill this checklist? Theoretical date Filling date
 Once the STEP 1 is completed is time to fill the material requirements for the application. Fill in Summary

QTY	MAN QTY	COMPONENTS	BRAND	REFERENCE	ORIENTATIVE PRICE (€)
EASYBot 2.0 TROLLEY					
ROBOT					
0	1	eUR10 Robot + Controller + Teach Pendant + Delivery Cost	UR (Thru Dealer)		35500
SAFETY SCANNER					
0	2	SZ-04M+S2-P10PM+OP-86941+S2-H15	KEYENCE		2150
SAFETY BOX					
OP 1	0	1	SAFETY BOX SYSAXE	SYXAXE	3300
OP 2	0	1	SAFETY BOX TETRA	TETRA	3729
TROLLEY STRUCTURE + CONSTRUCTION + WIRING					
0	1	TROLLEY BY TETRA + ASSEMBLY	TETRA		5693
WIRELESS GATEWAY					

Figura 58. Cabecera de la lista de materiales (parcial).

- Paso 2: creación de la lista de componentes a comprar como se puede observar de forma parcial en la imagen de la figura 58. Esta lista de acciones tiene un modificador en su cabecera, aquí están expuestos los componentes que están incluidos en la máquina y sus precios. En la hoja de Excel se pueden seleccionar los elementos que se pueden adquirir para el proyecto que se está tratando, el precio total es calculado automáticamente. Una vez seleccionados los elementos necesarios, se puede introducir también la tasa horaria correspondiente del país donde se realizará la automatización. Mediante el calculo sencillo y directo del coste de mano de obra ahorrado se puede calcular el periodo de retorno de la inversión. La lista de acciones a tomar en este paso es de una única línea que pregunta si la planta está de acuerdo con el periodo de retorno de la inversión calculado. Si es así, se continua al siguiente paso, si no es así, se deberá estudiar otra aplicación en planta o rediseñar el concepto estudiado.
- Paso 3: Estudio de las áreas de seguridad a controlar alrededor de la máquina. Dependiendo de la velocidad de parada que tenga el robot, se deben dejar unas distancias de seguridad mínimas alrededor del mismo como ya se ha visto en apartado anteriores. Para calcular correctamente las distancias de seguridad se establece en el paso tres una cabecera (como se puede ver en la figura 59) con los cálculos establecidos según la legalidad. El usuario inserta el tiempo de parada del robot y los cálculos devuelven la distancia de seguridad que se debe establecer para cada una de las dos áreas de seguridad. A continuación está la lista de acciones del paso que pregunta sobre temas relacionados con la correcta definición de las áreas.

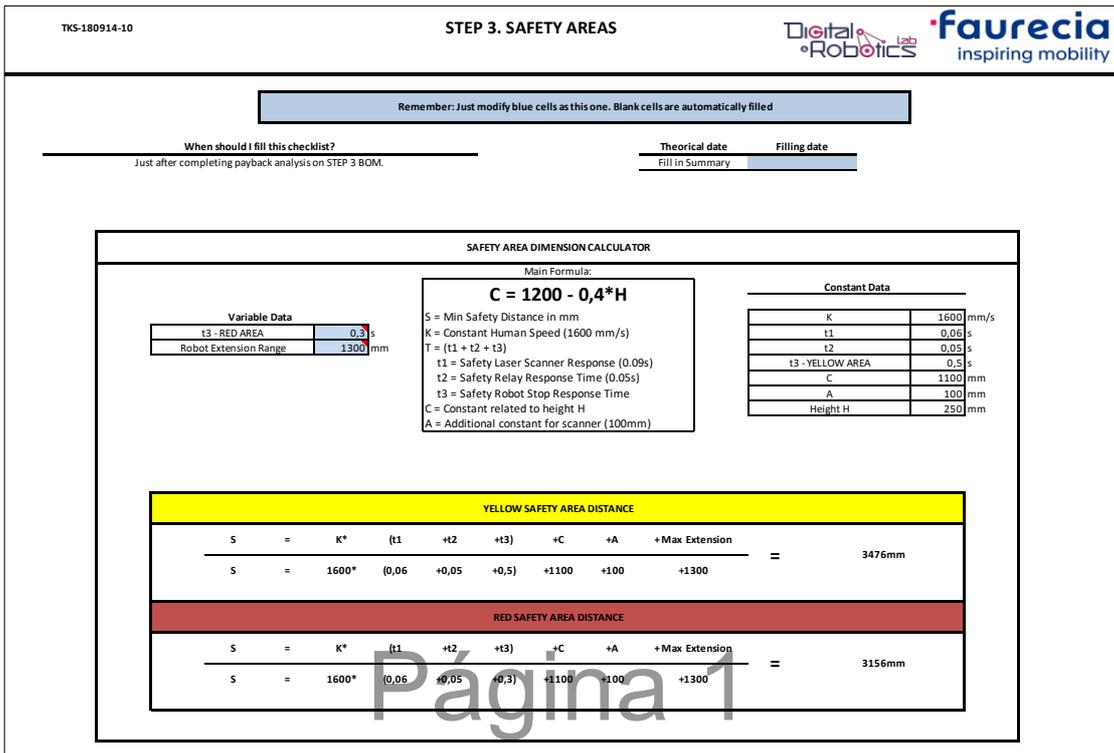


Figura 59. Cabecera del paso 3 con el cálculo de las áreas de seguridad.

- Una vez analizadas las áreas de seguridad en el paso 3 se debe comprobar si son compatibles con la distribución disponible en planta. En el caso de que sea así se puede continuar al siguiente paso. En caso contrario se deberá volver a plantear la distribución inicial y buscar alguna solución que permita llevar a cabo la automatización con el consiguiente ahorro para la planta ya calculado en la lista de acciones del paso 2.

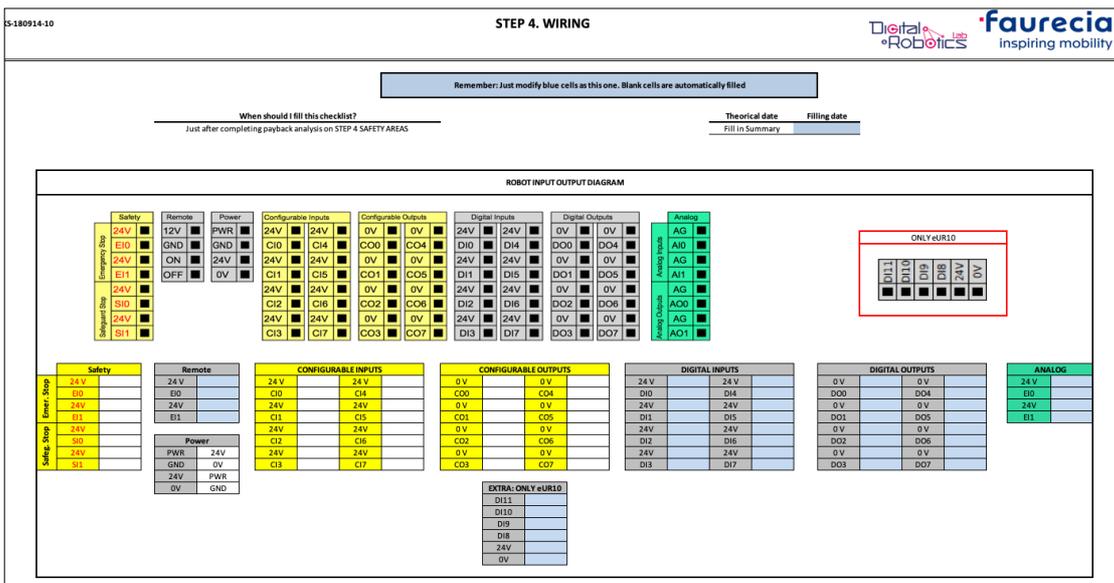


Figura 60. Cabecera del paso 4 con las entradas y salidas disponibles en el controlador del robot.

- Paso 4: Cableado de la máquina y sus periféricos. En el paso número 4 se debe plantear la distribución de los cables disponibles en la máquina. Esto se hace rellorando la cabecera del paso 4 (como se puede ver en la figura 60), donde están representadas todas las entradas y salidas disponibles en el controlador del robot. A continuación se encuentra la lista de acciones que informa sobre las medidas a tomar para usar dichas entradas y salidas, también aclara entre otras indicaciones de seguridad, que no se podrá cablear de ninguna de las formas ninguna señal de emergencia mediante los comunicadores sin cables.
- Una vez llegados al paso 4 están claros los componentes a usar, el espacio en planta a utilizar y su periodo de retorno. Por lo tanto se envía a planta todas y cada unas de las ofertas que debe introducir en el sistema de pagos para transformarlas en pedidos hacia los proveedores seleccionados por el equipo central. De esta forma planta no se debe preocupar de negociar precios ni de encontrar a los proveedores adecuados para su compra. En el caso de que los elementos fabricados (el carro del robot y el armario eléctrico) puedan ser fabricados por un proveedor local y la planta prefiera esa opción, se facilitará a la planta la documentación con las especificaciones de fabricación de cada uno de esos elementos.
- Paso 5: Aceptación de diseño. Cuando los elementos están siendo producidos o en camino se realiza el paso 5 con la finalidad de aclarar los detalles más pequeños de la instalación y para planear su puesta en marcha. También sirve este paso para analizar algunas de las medidas de seguridad que se deberán llevar a cabo en planta y que aunque no supongan una gran pega es bueno que se prevea su implementación antes de la puesta en marcha. Por lo tanto todas estas medidas están concentradas en la lista de acciones del paso número cinco.
- A continuación comienza la recepción de componentes y la programación estructural de la aplicación desde la oficina. En el caso de que el equipo central realice toda la programación de la máquina se realiza el esqueleto del programa en el lenguaje del robot. En el caso de que planta realice toda la programación se ayuda aportando desde el equipo central un diagrama de programación básico con cómo deberían estar estructurada las acciones.
- Una vez se ha recibido todo el material se procede a realizar la instalación en planta con el consecuente entrenamiento a la misma (en el caso de que sea el primer proyecto instalado en esa planta). El periodo de instalación y entrenamiento se establece en dos semanas que el equipo central debe prever para desplazarse a la planta. Este periodo de tiempo no es solo necesario para la instalación física de la maquinaria sino también para la programación exacta de los movimientos del robot ya que en robótica por mucho que se plantee la programación en el ordenador, se debe comprobar cada uno de los puntos con el equipamiento final debidamente instalado en su posición. Una vez finaliza la instalación se debe pasar al paso 6 antes de comenzar la producción.

- Paso 6: Aceptación en planta. Es el paso previo para poner en producción la máquina y por lo tanto el paso más importante ya que se deben dejar bien atadas todas las medidas de seguridad necesarias. Los puntos más importantes en esta lista de acciones son los relativos a la seguridad. En este punto se involucra al equipo de seguridad y salud de planta que deberá repasar la directiva de máquinas y el análisis de riesgo necesarios antes de implementar un nuevo equipamiento en planta (procedimiento estándar con cualquier tipo de maquinaria). Además se debe analizar mediante la lista de acciones que todas las medidas de seguridad tenidas en cuenta hasta el momento de la instalación se cumplen (en la lista de acciones se repiten todas para facilitar el trabajo en planta). Una vez se dé el visto bueno a todo el equipamiento, es posible firmar la declaración de conformidad por la cual la planta se compromete a que el equipamiento sigue y seguirá las medidas de seguridad planteadas por la documentación vigente. A continuación, la máquina puede comenzar a funcionar en planta.
- Paso 7: Tras 90 días desde el comienzo de la producción, se realiza una reunión entre planta y el equipo central para repasar la lista de acciones del paso 7. Este paso tiene la finalidad de comprobar que planta está conforme con el funcionamiento de la máquina. Por lo tanto no existe en este paso ninguna consideración de seguridad. También utiliza el equipo central este paso para adquirir información sobre la opinión de planta con el equipamiento, a fin de mejorar el mismo para dicha planta y para todas las demás que cuentan con la máquina.

Hay que recordar que en cada una de las hojas con los pasos y listas de acciones pueden surgir puntos en amarillo (puntos que no se cumplen pero que sí que se han tomado acciones para llegar a cumplirlos). Para ello existe una hoja en el documento Excel para anotar todas las acciones abiertas con su consecuente fecha de vencimiento.

Esta hoja sigue el criterio PDCA o PHVA (de las siglas de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) de resolución de puntos abiertos, también conocido como el Circulo de Deming. No es más que una metodología de seguimiento de puntos que otorga responsables y fechas de vencimientos para cada uno de los puntos abiertos.

Manual de Usuario

Como ya se ha mencionado con anterioridad, cada una de las líneas de acciones del documento de aceptación está ligada a una explicación del punto en el manual de usuario. Pero el manual de usuario abarca mucho más que eso, es una definición precisa de cada uno de los componentes de la máquina, de su funcionamiento y sus medidas de seguridad necesarias.

El contenido del manual de usuario no dista mucho del contenido técnico de esta memoria, pero sí que concreta en mucho más detalle la información necesaria para usar la máquina. A continuación se va a repasar de forma fugaz alguno de los puntos más importantes dentro del manual de usuario:

- En un primer momento se desarrolla el diseño del carro y cada una de sus características. Este punto es para informar al usuario y para definir la máquina que está en uso. Esta definición es completa y detallada.
- A continuación se habla sobre los posibles periféricos a usar con la máquina y su configuración. Estos periféricos van desde la baliza de seguridad hasta los controladores sin cables o los escáneres de seguridad. Tan solo se abordan los puntos fundamentales para su utilización en la máquina, para un mayor control de estos se puede referir a los manuales de usuarios de cada uno de los componentes presentes en la documentación completa de la máquina EASYBOT.
- Existe también un punto sobre el procedimiento de cableado del robot de los posibles periféricos. En este punto se aclaran todos los puntos de la lista de acciones número 4 para proceder a un correcto cableado de la instalación en planta.

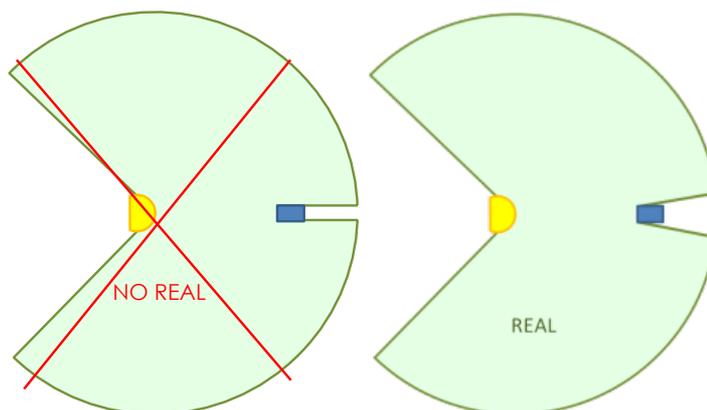


Figura 61. Ejemplo de figura explicativa del manual de usuario.

- Existe un apartado para la definición de las áreas de seguridad. Este apartado sea quizás el más complicado de toda la documentación, ya que se debe dar definición a algo tan complicado como la definición de un área de seguridad que será diferente para cada una de las múltiples aplicaciones que se pueden llevar a cabo en planta. Para ello se definen las múltiples casuísticas que se pueden llevar a cabo en planta, desde las distancias a mantener con los respectivos objetos hasta la forma en la que se dibujan las sombras como se puede ver en la figura 61.

- Para finalizar con los puntos principales, también se debe nombrar que existe una definición de entrenamiento para el uso de la máquina. Esta definición establece el perfil de los asistentes que deben asistir al curso así como el horario o las materias impartidas. En el manual de usuario está definido como requerimiento legal y por lo tanto se establece el mínimo entrenamiento que debe recibir la planta para albergar la máquina. Pero la realidad es que el entrenamiento que se realiza a planta es mucho más extenso y completo. En las figuras 64 y 65 se puede observar la definición del entrenamiento presente en el manual de usuario.

	Duración (minutos)	Jefe línea	Jefe operarios	Mantenimiento	Operarios
Concepto EASYBot 2.0	30	X	X	X	X
Programación básica UR10	60	X	X	X	X
Descripción aplicación	30	X	X	X	X
Cambio de localización	45	X		X	X
Programación de cámara	120	X		X	
Programación avanzada	60			X	
Actualizaciones de Software y mantenimiento	45			X	
Programación avanzada escáneres seguridad	45			X	

Figura 64. Perfil de profesional que deben asistir a cada uno de los bloques de entrenamiento.

Día 1		
15 min	Concepto EASYBot 2.0	
30 min		
45 min	Programación básica UR10	
60 min		
75 min		
90 min		
105 min	DESCANSO	
120 min		
135 min	Descripción aplicación	Hasta aquí Jefe línea
150 min		
165 min	Cambio de localización	
180 min		
195 min		Hasta aquí operarios
210 min		
225 min	COMIDA	
240 min		
255 min		
270 min		
285 min	Programación de cámara	
300 min		
315 min		
330 min		
345 min		
360 min		
375 min		Hasta aquí Jefe operarios

Día 2		
15 min	Programación avanzada	
30 min		
45 min		
60 min		
75 min	Actualizaciones de Software y mantenimiento	
90 min		
105 min		
120 min	DESCANSO	
135 min		
150 min	Programación avanzada escáneres seguridad	
165 min		
180 min		Finalizado

Figura 65. Distribución del as materias impartidas en el entrenamiento.

Ya se han pasado por los principales puntos del manual de usuario, pese a que es mucho más extenso no se ha querido ahondar en cada uno de sus apartados pues no es el objetivo de este TFM. Tampoco se aporta el manual de usuario a los anexos de este TFM por motivos de confidencialidad.

- Datos generales de la validación: Estos datos son tales como el lugar de validación, la planta donde se instauró la primera, si existe manual de usuario para la herramienta, el coste de esta, el tiempo de entrega.
- Restricciones del robot durante su uso: Cada herramienta puede suponer un riesgo diferente para el uso del robot. Por lo tanto es viable que el uso de una herramienta en concreto limite el uso del robot en ciertos aspectos. Para poner un ejemplo práctico, puede existir una herramienta que dispone de un perfil puntiagudo que no se desea que en ningún momento se sitúe apuntando hacia el techo, por ello se puede exigir dentro de la certificación que se limite la orientación de la herramienta para que siempre esté apuntando al suelo. Como este requerimiento es exclusivo de la herramienta usada no se incluye en la certificación global de la máquina y se especifica en la certificación de la herramienta en exclusiva.
- Restricciones de la aplicación durante su uso: Del mismo modo, pese a que una misma herramienta puede dar cabida a diferentes aplicaciones, puede ser que se deba limitar el desarrollo de estas dependiendo de la herramienta usada. Se puede poner un ejemplo práctico si se plantea una herramienta de agarre en pinza, dicha herramienta no es fiable para realizar acciones que supongan una fuerza axial sobre la misma, por lo tanto no será posible realizar operaciones de inserción de clips con ella, debiendo buscar otra herramienta.
- Buenas prácticas de la herramienta: Fuera de todo requerimiento legal está el buen uso de la herramienta. Es precisamente lo que se busca con este apartado, para alargar el uso de la herramienta o para hacer un mejor uso de esta se recomiendan ciertas acciones. Un ejemplo puede ser el de realizar movimientos lineales en las acciones de cogida de pieza con una pinza de dos garras.
- Usos en plantas: Un pequeño apartado donde se especifica dónde se ha usado la herramienta y la persona de contacto de la planta. De esta forma se beneficia la comunicación interna de la compañía, donde una persona que quiere implementar cierta herramienta en una planta puede contactar a otra para preguntarle su experiencia con la misma y así prever errores o mejorar la implantación.

Está especificado en el flujo de validación cuándo se debe realizar la certificación con planta de la nueva herramienta, por lo tanto no es posible que se use una herramienta no certificada. Además aparece en varios de los pasos de validación la pregunta de si la herramienta a usar está certificada.

La intención general de autor de este TFM con el sistema de certificación es que una gran mayoría de plantas use herramientas ya certificadas, algo que reduciría los tiempos de implantación y los costes asociados a la certificación. También aumenta el conocimiento sobre la herramienta y simplifica el trabajo en planta.

Por otro lado y con un funcionamiento similar se constituyen las hojas de certificación de aplicación. Sirven para certificar un uso dentro de las capacidades de la máquina. Es sabido que el robot nace con la intención de realizar operaciones de manejo de piezas plásticas, pero es posible que el uso de la máquina evolucione, y para ello se define también estas hojas de certificación de máquina (figura 67).

EASYBot 2.0 Application Description File		APPLICATION TITLE			VALIDATION DATE: dd/mm/yyyy
Description: <i>Enter description</i>					Photos
Validated at: <i>Enter project</i>	Plant: <i>Enter Plant</i>	County: <i>Enter county</i>		<i>Enter photos</i>	
Wireless com.: <i>YES / NO</i>	Camera: <i>YES / NO</i>	Force Torque: <i>YES / NO</i>			
Good Practices Checklist		Robot Restriction Checklist			Layout:
					<i>Draw Layout</i>
					Documentation Available:
					Name
					Description

Figura 67. Hoja de certificación de usos de la máquina.

Se encuentran campos comunes con la hoja de certificación de herramienta. Se pasan a explicar a continuación:

- Descripción general de la aplicación: Debe ser descrita de manera inequívoca la aplicación. Puede ser una definición general para acciones con bajos peligros, o una definición muy específica para usos más complicados.
- Documentación adicional de la aplicación: Pueden ser documentos asociados como la definición de los lugares donde se ha usado.
- Imágenes y fotos de la primera aplicación validada.
- Datos generales de la validación: Estos datos son tales como el lugar de validación, la planta donde se certificó la primera aplicación, que uso se hace de la cámara o el sensor de fuerza entre otros.
- Restricciones del robot durante su uso: Ocurre de forma similar como con las herramientas del robot. Puede ser que una aplicación en concreto haga que el robot tenga ciertas limitaciones en el funcionamiento para garantizar la seguridad de las personas cercanas. Por ejemplo, cierta aplicación puede ser el manejo de piezas con partes puntiagudas, para ello se puede limitar la velocidad del robot para que no sobrepase un valor límite.

- Buenas prácticas de la aplicación: De forma similar a como ocurre con las herramientas, se definen buenas prácticas dentro del uso de las aplicaciones. Estas prácticas no son un requerimiento legal, pero si que ayudan al buen uso de las mismas por parte de planta.

EASYBot 2.0 Application Description File	APPLICATION TITLE	VALIDATION DATE: dd/mm/yyyy
LAYOUT CAD		

Figura 68. Hoja de definición de distribución en el uso de una aplicación.

- Definición de la distribución: Para ayudar a planta a dar una idea de como definir la distribución en planta de las aplicaciones, se dispone en el mismo documento de validación uno o varios ejemplos de validación de la distribución en planta.

6. ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN.

Una vez ideada, diseñada y validada la máquina se plantea la distribución a nivel interno de las capacidades de esta. Faurecia es una compañía con una envergadura considerable, la comunicación interna es complicada y muchas veces el mensaje se puede perder o modificar durante el camino.

Debido a el carácter innovador de la máquina y a su uso poco frecuente, el esfuerzo en asegurar una buena comunicación está más que justificado. La información debe llegar a los equipos de desarrollo y a las plantas para que abran posibilidades de automatización, para ello se dispone de diferentes herramientas dentro de Faurecia para conseguir comunicar con el rigor necesario. Dichas herramientas son entre otras una red social interna y una serie de eventos de promoción.

La red social tiene un funcionamiento similar al que tiene Facebook durante el 2018, organizada en grupos es posible suscribirse y recibir todo lo que se vaya subiendo a él. Por lo tanto existe un grupo de automatización, y todo el mundo que está suscrito al mismo recibirá la información, como por ejemplo información sobre el EASYBOT. El nombre de la red social es FAUR'US u es un juego de palabras en inglés que significa "Faurecia somos nosotros".

Queda en este momento realizar una documentación de comunicación que cumpla los requerimientos del grupo empresarial y que esté disponible en la red social. La gente podrá descargar la documentación y compartirla por el medio más clásico de comunicación empresarial que es el email.



Figura 69. Logo de FAUR'US.

En toda la documentación debe estar bien definido que para implementar una nueva aplicación se debe contactar con el autor de este TFM o en su defecto con el equipo central de robótica.

También es importante recalcar que la documentación necesaria para llevar a cabo la máquina (manuales técnicos, manuales de usuario, datos CAD ...) no estará compartida en ninguno de los métodos de comunicación para así evitar su propagación y una posible implementación que no cuenta con el visto bueno del equipo central.

6.1 PRESENTACIÓN DE COMUNICACIÓN

El formato elegido para subir a la red social es una presentación (Power Point) donde estén los datos principales sobre la máquina y su funcionamiento. Lo que se expone en la presentación es un resumen de todo lo expuesto en este TFM.

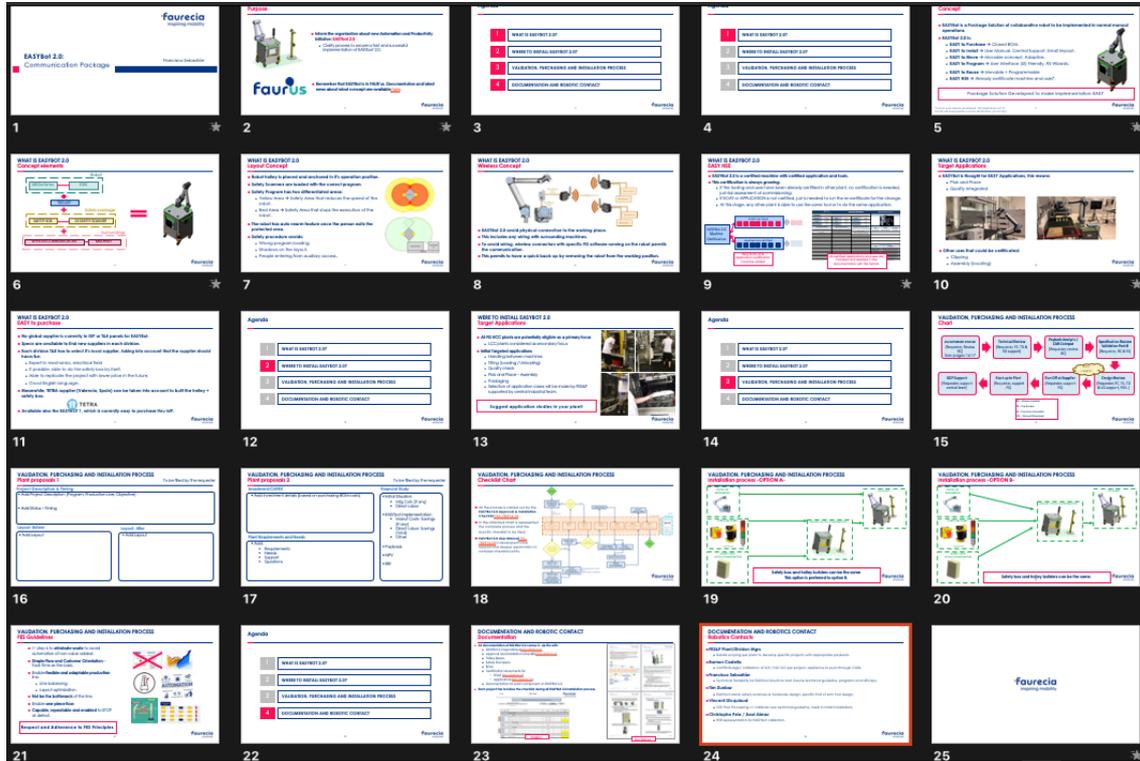


Figura 70. Visión general de la presentación de comunicación.

Como se puede ver en la figura 70, la presentación cuenta de 25 diapositivas y su índice principal es el siguiente:

- ¿Qué es EASYBOT?: Apartado donde se explica la finalidad de la máquina haciendo hincapié en la facilidad de su uso, la facilidad de certificación y la facilidad de instalación. Se habla también de los elementos que forman la máquina y sus posibles periféricos.
- ¿Dónde se instalar el EASYBOT?: Descripción general de las aplicaciones objetivo a la hora de instalar una máquina EASYBOT en planta. El objetivo fundamental es ayudar a las plantas a identificar posibles acciones automatizables dentro de sus fábricas y por lo tanto generarles la opción de instalar un EASYBOT.
- Procesos de validación, compra e instalación: Se explica el flujo de validación descrito en apartados anteriores. También sobre los flujos internos de la compañía para validación de la inversión. Este tema queda fuera del objetivo de este TFM.
- Documentación y contacto de robótica: Descripción de la documentación existente (manual de usuario, lista de acciones) y el contacto de robótica central para realizar una instalación en planta.

6.2 EVENTOS

Otro método de comunicación son los diferentes eventos que prepara la empresa para dar a conocer los diferentes proyectos de innovación que se desarrollan en los grupos. A continuación se va a hacer repaso de los eventos más importantes donde el autor de este TFM ha tenido la posibilidad de promocionar el uso del EASYBOT en las plantas de Faurecia.

6.2.1 Feria de Robótica y Automática en Paterna.

Los días 22, 23 y 24 de Julio de 2018 tuvo lugar en Valencia la primera feria de robótica y automática en las instalaciones de Faurecia en Paterna. El evento servía como inauguración del laboratorio de robótica y automática que se iba a crear en el centro.

En el evento estuvo el presidente de la división de Faurecia Interiors que es vicepresidente de la compañía, también asistieron todas las personas que trabajan para él. Por lo tanto, era muy importante dar una buena imagen del producto.

El acto consistió en una presentación inaugural donde se expuso el concepto de EASYBOT a los asistentes de alto rango (Figura 71).



Figura 71. Exposición durante la Feria de Robótica del autor de este TFM sobre el EASYBOT.

Después se hizo una demostración de las capacidades de la máquina ante los mismos asistentes (figura 72), dicha demostración se repitió a todos los asistentes del evento durante los 3 días de la feria. Un total de 15 demostraciones, 5 cada día.



Figura 72. Demostración del funcionamiento de la máquina. Autor de este TFM con el vicepresidente de FIS.

6.2.2 Presentación de Innovaciones Frente al CEO.

La sede central de los cuatro grupos empresariales que forman Faurecia se encuentra en Nanterre, en París. Cada dos años se realiza una conferencia a la que asiste el CEO de la compañía para asistir a la selección de las mejores innovaciones de los cuatro grupos empresariales.

El 4 de diciembre de 2018 tuvo lugar una de estas conferencias y el EASYBOT fue seleccionado para ser presentado en ella. El autor de este TFM fue la persona encargada de explicar el concepto.



Figura 73. Demostrador con el EASYBOT y el póster.

El evento constaba de una presentación práctica con la máquina en las instalaciones (figura 73), una vez presentado al CEO de la compañía, todas las personas de la sede central podían pasar por los diferentes demostradores a recibir la explicación pertinente al uso de la máquina (figura 74).



Figura 74. Autor de este TFM enseñando el EASYBOT a trabajadores de Nanterre.

6.2.3 Talleres Impartidos en Diferentes Plantas.

Otro medio de comunicación activo que se ha tomado es la realización de talleres en diferentes plantas de interés. El objetivo es enseñar a planta los principios de la máquina, pero también los datos más técnicos para su implementación.

Los talleres suelen durar dos o tres días, pero el contenido es muy similar. Se comienza con una introducción teórica sobre el equipamiento, poco a poco la introducción se vuelve más técnica y trata temas más especializados. Acto seguido se realiza una definición de los métodos de validación de inversión.

La parte diferenciadora es la siguiente, se realiza un tour por la planta y se identifican posibles automatizaciones. Una copia de la máquina se traslada a planta con la finalidad de realizar una simulación en una de las automatizaciones identificadas.

Para ello es necesario programar el robot y para aprovechar el tiempo invertido en su programación se invita a la gente más técnica de planta (ingenieros responsables de automatización, personal de mantenimiento ...) a asistir. Por lo tanto se realiza un curso breve de uso de la máquina.

Finalmente se muestra ante los responsables de planta la aplicación automatizada.



Figura 75. Taller realizado en Sao Joao de Madeira.

Este tipo de talleres se han realizado durante 2018 y principios de 2019 en los siguientes lugares:

- Gorzow I y Gorzow II en Polonia.
- Sao Joao de Madeira en Portugal.
- Abrera en España.
- Almussafes en España.
- Ourense en España.
- Kennelbach en Austria.

7. CASO DE IMPLANTACIÓN

La máquina ya se ha definido de tal forma que es posible su implantación en las fábricas de Faurecia. Durante las sesiones de promoción de esta surgen múltiples posibilidades de automatización en planta y se estudian todas ellas. En siguientes apartados se analizará el impacto de la máquina sobre la estrategia de automatización de Faurecia, el número de máquinas instaladas, la previsión y los presupuestos destinados para ello.

En este punto se va a analizar una implementación real de la máquina en planta. Este punto no es la columna vertebral del TFM pese a sí ser el más importante. Esta decisión de haber comenzado por la definición de la máquina es porque el tiempo y esfuerzo invertido en hacer una máquina de carácter genérico es mucho más importante que una de sus implementaciones.

El verdadero éxito del proyecto es tener una máquina replicable y que sea capaz de ser implantada allí donde sea necesario, por ello se va a estudiar a continuación una de sus implementaciones pero esta implementación no es ni la primera ni la última de las que se harán.

La implementación que se va a estudiar es en una planta de Faurecia en Austria. Se ha elegido este proyecto en concreto porque en la opinión del autor de este TFM representa a la perfección la finalidad de la máquina ya que es un proyecto sencillo donde las operaciones que realizaba el operario no daban ningún valor añadido.

Además para el proyecto de Austria ha hecho falta recertificar una herramienta de máquina, por lo tanto también se verá la flexibilidad de la certificación de máquina y como esta puede crecer si es necesario adaptarse a una aplicación en concreto.

Para finalizar, otro elemento que justifica la selección del proyecto es el carácter didáctico de la máquina para las plantas. En este caso se instala un EASYBOT con el completo apoyo del equipo central de robótica (el autor de este TFM) pero hay hasta cuatro aplicaciones iguales donde se requerirían cuatro EASYBOTS realizando tareas casi idénticas. Por lo tanto, a la finalización del primer proyecto y tras recibir los entrenamientos marcados en la implementación de la máquina, planta será capaz de comprar e instalar los otros 3 robots para realizar la automatización.

Siendo la planta en Austria una planta sin tradición técnica y que no está acostumbrada a las automatizaciones es un gran paso, además de que hay que tener en cuenta las tasas horarias de un país como Austria. Estas tasas horarias justifican una focalización en la automatización para preservar la buena salud de la planta y un proyecto como el de EASYBOT no solo ayuda a mejorar los márgenes de ganancias, sino que también ayuda a la planta a disponer de los conocimientos y herramientas necesarios para acometer o al menos estudiar nuevas automatizaciones en el futuro.

7.1 IDENTIFICACIÓN DE LA OPORTUNIDAD DE AUTOMATIZACIÓN

El autor de este TFM no conocía en absoluto la planta de Austria ni jamás había trabajado con nadie de aquella planta. Fue en la Feria de Automatización realizada en junio de 2018 donde nació la oportunidad.

Uno de los responsables de producción de la planta recibió la invitación para asistir a Faurecia en Paterna para la Feria. Esta invitación fue enviada a muchas plantas de Europa por proximidad. Durante la Feria y como ya se ha explicado en puntos anteriores, se expuso el EASYBOT y sus capacidades.

Por lo tanto el responsable de producción de Austria se puso en contacto con el autor de este TFM para analizar las oportunidades de automatización. Debido a la gran cantidad de personas que quisieron instalar el robot en sus plantas hubo que realizar un filtrado inicial e identificar que oportunidades eran más interesantes para comenzar.

Por todo lo explicado con anterioridad se eligió Austria como una de las primeras.

7.2 DEFINICIÓN DEL PROCESO

El proceso que se debe automatizar es un manejo de piezas metálicas entre dos posiciones repetitivas. Se va a analizar a continuación tanto las piezas como el proceso.

En un primer lugar están las piezas, planchas de metal planas y lisas y diferentes tamaños. Los tamaños son los siguientes:

- 610 mm x 610 mm x 0,8 mm.
- 890 mm x 610 mm x 0,8 mm.
- 1080 mm x 610 mm x 0,58mm.
- 1080 mm x 610 mm x 0,8mm.

La posición de cogida es un contenedor con las piezas apiladas en una misma dirección. En el proceso manual esa dirección puede ser la vertical o una dirección diagonal como se puede ver en la figura 76.



Figura 76. Posición manual de cogida de material.

La posición de dejada es sobre un transportador horizontal que arrastra las piezas. Por lo tanto a la hora de dejar el material hay que asegurar que no se encuentra otra pieza ya en la posición y así evitar amontonamientos. La posición de dejada se puede observar en la figura número 77.



Figura 77. Posición manual de dejada de material.

El tiempo de ciclo del proceso varía dependiendo de la producción, pero en el peor de los casos es de 12 segundos. Es decir, cada 12 segundos se debe situar una nueva pieza metálica en el transportador horizontal. En total se realiza la acción cerca de 7000 veces al día.

Como ya se ha comentado con anterioridad, existen además hasta cuatro operarios que realizan la tarea manual en diferentes estaciones. Un ejemplo de otra estación de carga vertical y descarga en el transportador es la que se puede ver en la figura 78.

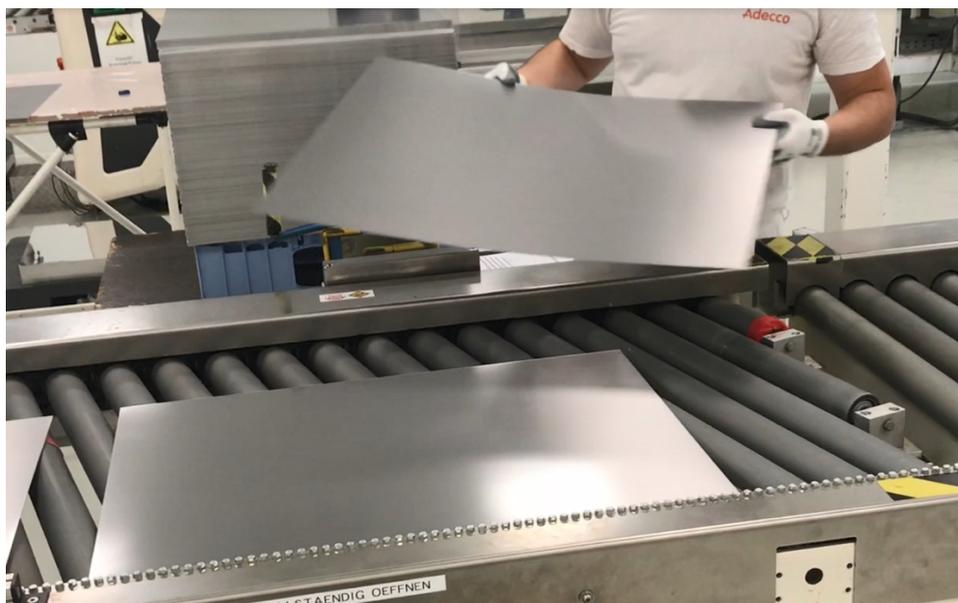


Figura 78. Otro ejemplo de operación manual de carga (esta vez vertical) y descarga.

Un elemento que destacar del proceso es la calidad de la pieza, esta pieza no puede sufrir ningún desperfecto o raya, por ello la cogida y la dejada debe ser limpia. La cogida plantea especiales problemas ya que las piezas pueden rozar entre ellas mismas.

7.3 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA OPORTUNIDAD DE AUTOMATIZACIÓN

Haciendo un análisis básico antes de realizar el estudio en detalle de la automatización se puede esclarecer que se trata de una oportunidad de automatización idónea para el EASYBOT.

Esto se debe a que es un proceso repetitivo, donde no existe una gran variedad de piezas ni de posiciones diferentes y cuya programación sería sencilla.

El único punto no solventado antes del análisis preliminar es el diseño de una herramienta que sea capaz de coger todas las variedades de piezas disponibles o quizás encontrar una herramienta comercial que lo consiga.

Por lo tanto, haciendo un rápido análisis preliminar, la operación se define como susceptible de ser automatizada y se procede a empezar el proceso definido en la lista de acciones para realizar la implantación.

7.4 PASO 1. ESTUDIO DE APLICACIÓN

Se realiza la lista de acciones para el paso 1 con el responsable de la automatización en planta y se identifican (como se preveía en mucho de los casos) los siguientes puntos a estudiar:

- La herramienta que se va a usar debe ser una herramienta de agarre por succión (o vacío) y no está certificada.
- La herramienta que se va a usar no está claramente identificada y se duda de que haya una solución comercial para todos los tipos de planchas.
- La aplicación realiza el manejo de piezas metálicas finas, lo cual puede ser un problema de cara a la seguridad de los operarios. Por ello se debe analizar la aplicación en detalle con una empresa externa.

Por todo esto se toman acciones para cada uno de los problemas identificados. A continuación se explican los estudios realizados para cada uno de ellos:

7.4.1 Análisis de Herramienta Comercial para el Agarre de Pieza

Se analiza el mercado en busca de soluciones existentes para el robot eUR10. No se va a pasar a analizar el estado del arte para las herramientas de succión por vacío para la robótica ya que son muchas. Se decide usar para la prueba la solución comercial VG 10 de la marca OnRobot ya que en caso de no servir para la aplicación en Austria serviría también para futuras pruebas en el laboratorio de robótica ubicado en Paterna.

La herramienta en cuestión (figura 79) tiene las siguientes características:

- Dispone de un compresor interno, por lo que no hace falta una toma de aire comprimido.
- Dispone de dos canales de vacío, la mitad de las ventosas generan vacío independientemente de la otra mitad.
- Su morfología es adaptable. Sus cuatro brazos pueden adoptar diferentes posiciones. Eso sí, su modificación no es automática, se debe hacer a mano.
- Dispone de URCAP desarrollado para el eUR10.



Figura 79. Herramienta VG10 de OnRobot en diferentes posiciones.

Se procede a su compra y en paralelo se pide a planta que se envíe a paterna también los diferentes tipos de planchas de metal. Ambos equipamientos llegan al mismo tiempo y se realiza un ensayo de cogida de material para ver las contraindicaciones del uso de la herramienta comercial.



Figura 80. Pruebas realizadas en el laboratorio de robótica de Faurecia en Paterna.

Como se puede ver en la figura 80, el ensayo se llevó a cabo con la máquina EASYBOT presente en el laboratorio de robótica de Faurecia en Paterna y ayudó a tener las siguientes conclusiones:

- La herramienta tenía fuerza suficiente para soportar la más pesada de las piezas. Por lo tanto cualquier solución con aire comprimido industrial sería también viable.
- La herramienta era demasiado pequeña para el agarre de la pieza más grande. Por lo tanto se generaba un pandeo indeseado en la plancha de metal. Dicho pandeo compromete la calidad de la pieza cogida y de las piezas que están en el contenedor.
- Los movimientos del robot con la pieza cargada eran rápidos sin existir ninguna limitación en velocidad debido al peso o a las dimensiones.

Por lo tanto, los resultados obtenidos indican que el uso del vacío queda validado, pero que se debe diseñar una herramienta que cumpla los requerimientos de plantas en cuanto a calidad.

7.4.2 Diseño y Petición de Oferta para Herramienta Dedicada

Vistos los resultados que dieron las pruebas con la garra de compra es necesario diseñar y construir una herramienta que cumpla las expectativas de la planta. Las necesidades son las siguientes:

- Agarre de las planchas según su medida. Por lo tanto la garra debe ser capaz de cambiar su morfología al menos en un eje. Solo es necesario en un eje porque como ya se ha visto en el punto anterior, las planchas metálicas cambian de longitud y de grosor pero no de anchura.
- El agarre según su medida es para no generar imperfecciones en el roce entre dos planchas inmediatamente consecutivas debido a la curvatura de la plancha agarrada (pandeo).
- Sistema de separación de la plancha seleccionada y su inmediatamente posterior. Esto es necesario ya que cuando se hace una cogida de plancha metálica se hace el vacío en algunas ocasiones con la siguiente plancha y puede causar desplazamiento a posiciones no deseadas.

Como ya se ha indicado anteriormente, en el equipo de robótica se cuenta con un ingeniero de diseño industrial. El autor de este TFM lidera junto con este ingeniero la definición de diseño de la nueva herramienta. No es objetivo de este TFM revisar las diferentes iteraciones en el diseño, por lo tanto se va a revisar a continuación el diseño alcanzado.

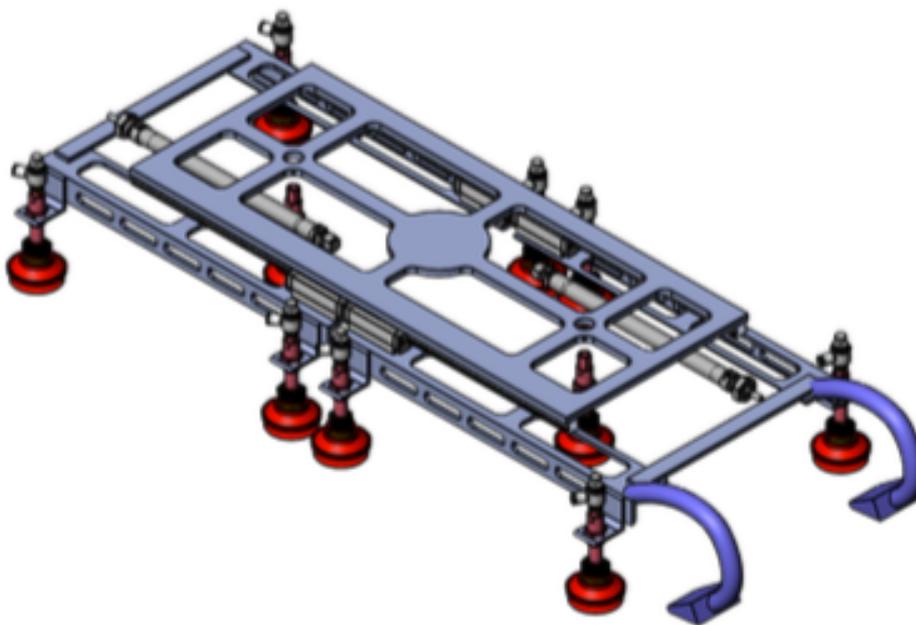


Figura 81. Definición del diseño final de la herramienta dedicada.

Como se puede ver en la figura 81, el diseño cuenta con ventosas de agarre de la plancha metálica. Un sistema de soplado (derecha) para separar las planchas consecutivas. Además el sistema periscópico con dos pistones que agrandan la definición de la herramienta para adaptarse a las diferentes longitudes de las piezas. Esta adaptación se realiza con dos pistones que pueden ser activados de forma independiente como se puede ver en la figura 82.

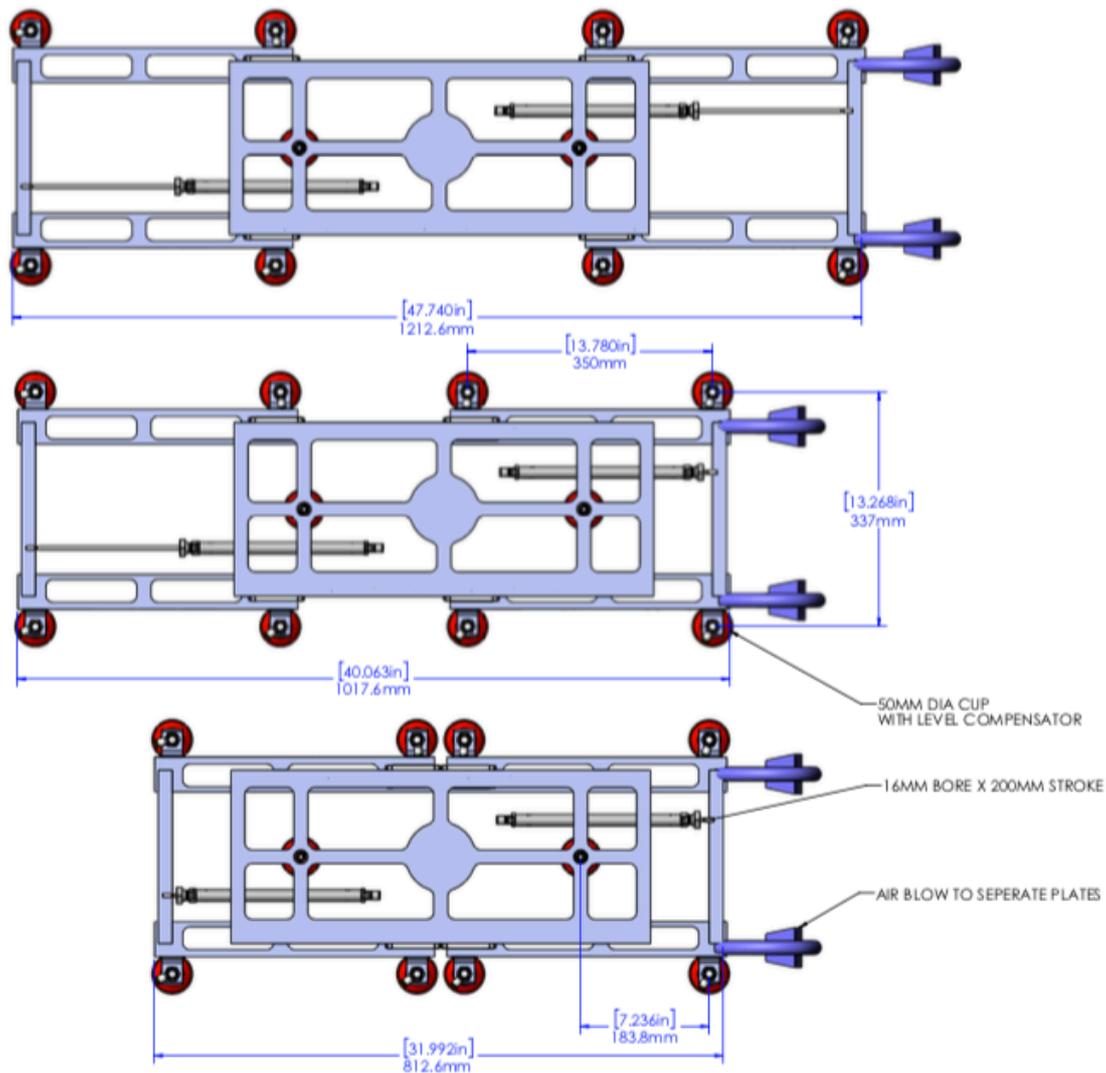


Figura 82. Movimiento periscópico de cada uno de los pistones.

El principal problema de la herramienta diseñada es el peso de esta. La plancha más pesada pesa poco menos de 2 kilogramos, por lo tanto la herramienta no debe sobrepasar los 8 kilogramos de peso ya que el máximo del robot son 10. El ingeniero de diseño no puede asegurar que el peso se mantendrá por debajo de los 8 kilogramos, así que se decide compartir las especificaciones de la herramienta en un proceso de búsqueda de proveedor fabricante.

El proceso de búsqueda de proveedor se realiza siguiendo las directrices de Faurecia:

- Se contactan solo proveedores que ya pertenezcan previamente al panel proveedores de Faurecia.
- Se contactan un mínimo de tres proveedores diferentes.
- Se comparte con cada uno de ellos la misma información.
- La decisión final se toma entre un representante de compras, la planta y el ingeniero responsable del proyecto (el autor de este TFM).

Por lo tanto se adjunta a los planos vistos en las figuras 81 y 82 unas especificaciones donde se detallan las capacidades electrónicas que debería tener la garra para conseguir una definición precisa que enviar a los proveedores. A continuación se exponen los requerimientos exigidos en esas especificaciones.

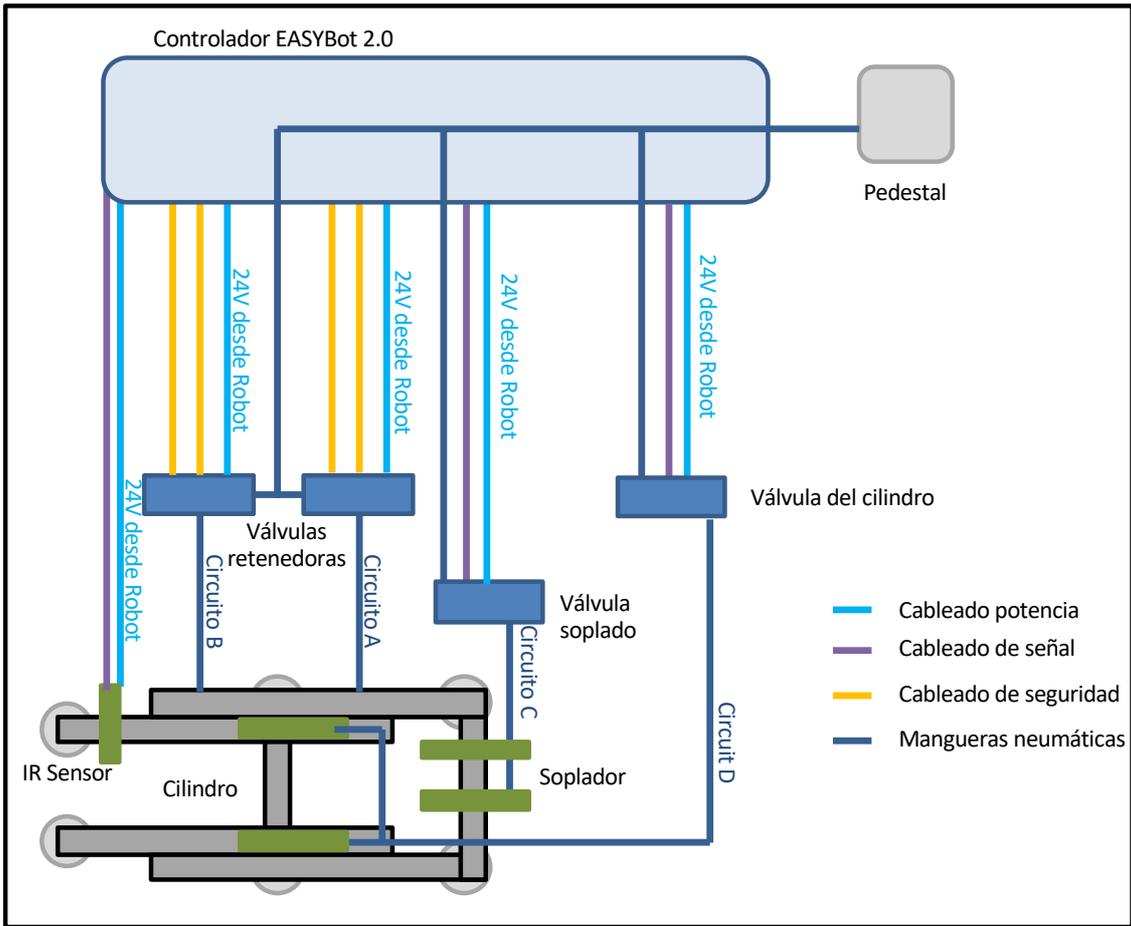


Figura 83. Definición eléctrica de la garra.

La garra, como se ve en la figura 83, deberá tener los siguientes circuitos eléctricos o neumáticos:

- Dos circuitos neumáticos independientes para cada uno de los dos cilindros.
- Dos circuitos neumáticos independientes para la generación de vacío en cada una de las dos mitades móviles equipadas con ventosas.
- Un circuito neumático para el soplado de separación de chapas.
- Todas las electroválvulas necesarias para los circuitos anteriores cableadas con señales digitales de 24 voltios y con alimentación de 24 voltios desde el controlador del robot UR10.
- Un sensor de IR para detectar si hay pieza cargada, también alimentada y controlada también por el controlador del robot.

Safety		Remote		CONFIGURABLE INPUTS				CONFIGURABLE OUTPUTS				DIGITAL INPUTS				DIGITAL OUTPUTS				ANALOG	
Safety Stop	24V	24V		24V		24V		0V		0V		24V		24V		0V		0V		24V	
Emer. Stop	S1E	E10		CB		C14		C00		C04		D10		D04		D00		D04		E10	
	24V	24V		24V		24V		0V		0V		24V		24V		0V		0V		24V	
	E11	E11		CB		C15		C01		C05		D11		D05		D01		D05		E11	
	24V	24V		24V		24V		0V		0V		24V		24V		0V		0V			
	S1E			CB		C16		C02		C06		D12		D06		D02		D06			
	24V			24V		24V		0V		0V		24V		24V		0V		0V			
	S1E			CB		C17		C03		C07		D13		D07		D03		D07			

EXTRA ONLY eUR10

Figura 84. Definición de conexiones en el controlador del UR10.

Se adjunta también a las especificaciones la definición precisa de las conexiones con el robot (ver figura 84). Finalmente, se comparte la misma información con tres proveedores, obteniendo la siguiente respuesta en cada uno de ellos:

- Proveedor A: Reciben la información y devuelven una oferta sin asegurar que el peso se mantenga por debajo de los 8 kilogramos.
- Proveedor B: Reciben la información y devuelven una oferta con un estudio detallado del peso de cada uno de los componentes montados sobre el robot. El peso oscila entre 8 y 8,5 kilogramos.
- Proveedor C: Reciben la información y devuelven una definición de un nuevo diseño de herramienta que asegura puede estar por debajo de los 8 kilogramos de peso.

El autor de este TFM no se centra en el precio de las ofertas sino en la viabilidad técnica, pero hay que destacar que el orden en el precio es el siguiente:

- Proveedor A: Da el precio más alto, desmarcándose con una diferencia de más del 200% con el siguiente proveedor.
- Proveedor B: Da un precio intermedio, con una diferencia 30 % superior sobre el proveedor C.
- Proveedor C: Da el precio más bajo.

Por ello, se queda como principal objetivo el análisis del nuevo diseño del proveedor C. Si el análisis es positivo se recomendará técnicamente la elección de este proveedor.



Figura 85. Definición alternativa aportada por el proveedor C.

El diseño aportado por el proveedor C cuenta con menos ventosas pero con una definición mucho más liviana y resistente. Además el uso de materiales básicos y no mecanizados como los tubos de aluminio hacen que el precio sea mucho más reducido. Tras una visita al proveedor se analizan las distribuciones de fuerzas y se entiende como aseguran la estabilidad de la pieza. Por lo tanto se recomienda la elección técnica del proveedor C.

La planta y el equipo de compras también se decanta por dicho proveedor y el mismo queda asignado oficialmente.

7.4.3 Validación de Herramienta y Aplicación para Cumplir Seguridades

Como ya se ha estudiado, es necesario realizar una validación de la herramienta y de la aplicación que se va a realizar en Austria. La justificación de necesidad de validación es la siguiente:

- La herramienta es nueva y jamás usada por el robot. Por lo tanto es obvio que se deba validar. En este punto solo está validada la herramienta de pinza de dos dedos.
- La aplicación validada hasta la fecha es la de cogida y dejada de piezas no cortantes. En este caso las planchas metálicas podrían considerarse como cortantes, por lo tanto se decide pasar por el proceso de validación también.

Para la petición de oferta a la empresa que emita la conformidad respecto a seguridades se deben prever dos actuaciones:

- Validación de herramienta y aplicación en fase de construcción e instalación en laboratorio. Esta validación se realizaría en Valencia donde se construye y prueba la herramienta.
- Validación de la aplicación final en planta. Certificación de tercera parte recomendada por la directiva europea pero no obligatoria. Esta validación se realizaría en Austria ya en el lugar exacto de la aplicación final.

Ambas fases son complementarias y reducen el precio de las ofertas en el caso de que se realicen con la misma empresa de certificación de seguridad.

La empresa estándar para realizar la validación sigue siendo PILZ, por lo tanto se pide oferta para realizar la validación con ellos. Se comparte todo el diseño con ellos y toda la información pertinente a la aplicación a realizar, con toda la información emiten una oferta que planta acepta y ordena pagar.

PILZ realiza un estudio y realiza los siguientes comentarios al respecto:

- Se deben asegurar cada una de las ventosas con válvulas de no retorno de forma que se asegure que en caso de pérdida de tensión no se proyecte la pieza cargada por pérdida del vacío y por parada inmediata de los movimientos del robot. Las válvulas de no retorno no aseguran el mantenimiento de forma indefinida el agarre de la plancha metálica, pero sí que lo asegura durante el tiempo suficiente hasta detener el robot. Por lo tanto la pieza caería pero en vertical y sin proyección.
- El manejo de las electroválvulas debe hacerse por señal segura de doble canal, algo que no es un problema ya que el robot cuenta con este tipo de salidas de seguridad de forma estándar.
- Inclusión de un sensor de presencia de pieza para asegurar durante el movimiento del robot que la pieza se mantiene en posición. Este requerimiento ya había sido tenido en cuenta en la fase de diseño de la herramienta.

Una vez se valida la herramienta se da el visto bueno a su producción. Dicha producción se hará en paralelo a los siguientes pasos de la validación según la lista de acciones necesaria.

7.5 PASO 2. DEFINICIÓN DE LA LISTA DE MATERIALES E INVERSIONES

Para definir la lista de materiales e inversiones debemos analizar el coste del equipamiento que compone el robot. Para ello se debe realizar un presupuesto y un pequeño análisis de inversión. Dicho presupuesto está incluido en los documentos adjuntos a este TFM.

Para la realización del presupuesto se ha omitido información para preservar la confidencialidad en torno a diferentes temas:

- No se especifican el nombre de los proveedores que suministran a Faurecia los diferentes componentes para preservar la confidencialidad de los acuerdos alcanzados entre ambas partes.
- Se muestran cifras aproximadas de coste y en algunos casos se muestran precios de venta al público y no el precio acordado con Faurecia. Este punto es especialmente importante en el caso del material de compra como el robot, ya que Faurecia tiene acuerdos de distribución y no se desea mostrar el contenido de este.
- La suma total del presupuesto es la correcta para asegurar que el estudio realizado tiene consistencia. Por lo tanto el lector puede saber el precio aproximado de cada uno de los artículos y además conocer exactamente el precio final de la máquina. Esto cobrará relevancia al hacer el estudio del periodo de inversión.

Como se puede ver en el presupuesto adjunto a este TFM la cuantía total asciende a 75 mil euros y no están incluidas las horas de programación e instalación en planta. La razón de que no se contabilicen estas horas es debido a que la instalación se realiza por el equipo central de robótica (concretamente por el autor de este TFM) y no por ninguna compañía externa.

Por lo tanto, y como ya se ha comentado con anterioridad, no supone un gasto extra para la planta la realización de la programación y entrenamiento y no debe ser contado en los presupuestos del proyecto.

El único elemento presente en los presupuestos y no comentado con anterioridad es la presencia de una cámara inteligente de visión. Será usada para la identificación del tipo de placa seleccionada para ser cogida y para solventar otros posibles contratiempos que surjan durante la instalación.

COSTE TOTAL	75080 €
MANO DE OBRA AHORRADA AL TURNO	1
MEDIA SALARIAL PAÍS	45000
NÚMERO DE TURNOS	3
AHORROS ANUALES	135000
PERIODO DE RETORNO DE INVERSIÓN	Menos de 7 meses

Figura 86. Estudio de inversión de la instalación del primer EASYBOT en Austria.

Como se puede observar en la figura 86, se ha realizado un pequeño estudio de la inversión a realizar en planta. Dicho estudio es el contenido fundamental del paso 2 de la lista de acciones para la validación de la máquina en planta.

El resultado del estudio de viabilidad económica da como de retorno de la inversión un periodo menor a los siete meses. El periodo de retorno de la inversión (PRI de ahora en adelante) se debe estudiar en contexto dentro de cada caso de instalación de EASYBOT. No es lo mismo realizar un PRI en un proyecto que va a estar produciendo un año más solamente a realizarlo en un proyecto que va a estar siete años más trabajando.

En el caso de Austria es incluso más favorable que en otros casos. Las máquinas que se cargan mediante el transportador horizontal son reutilizadas de proyecto a proyecto y son usadas continuamente a lo largo de las décadas. En este caso la inversión está más que justificada y se da viabilidad económica al proyecto.

Hay que destacar que el autor de este TFM nada tiene que aprobar en cuanto al estudio de viabilidad económica, tan solo lo realiza y deja a la planta decidir sobre él. La decisión en cualquier caso fue favorable a la instalación.

Otro punto interesante que analizar en este proyecto en concreto es la viabilidad de los futuros EASYBOTS que se pueden ubicar con el mismo equipamiento y en la misma línea, son hasta tres proyectos posibles que en el caso de aplicarse se aplicarían en conjunto. Para ello se realiza otro presupuesto de inversión (también adjunto a la documentación de este TFM) con los siguientes cambios:

- Se elimina la validación de la herramienta, pues ya ha sido validada.
- Se divide el precio a pagar por la validación de cada máquina en producción por cada uno de los tres proyectos (se compartirían gastos).
- Se realiza una reducción del precio de la herramienta de un 20% acordada con el fabricante en el caso de pedir un lote de tres.

El precio final es de algo más de 61 mil euros, y como se puede observar en la figura 87 el periodo de retorno de la inversión es aún inferior al anterior, siendo este menor a los 6 meses.

Por lo tanto la inversión de otros tres EASYBOT en la misma línea queda más que justificada y se comparte la viabilidad técnica y económica del primer proyecto. Pese a que no entra en los objetivos de este TFM, es interesante comprobar que se producirán aún más ahorros.

COSTE TOTAL	61320 €
MANO DE OBRA AHORRADA AL TURNO	1
MEDIA SALARIAL PAÍS	45000
NÚMERO DE TURNOS	3
AHORROS ANUALES	135000
PERIODO DE RETORNO DE INVERSIÓN	Menos de 6 meses

Figura 87. Estudio de inversión de la instalación del los sucesivos EASYBOT en Austria.

Por último, se analiza el ahorro total en un periodo de 1, 2, 5 y 10 años en el caso de instalar los cuatro EASYBOTS en la línea. La selección de estos periodos es indicativa. Se puede observar en la figura 88 que el ahorro en solo un año es de más de un cuarto de millón de euros, mientras que el ahorro al cabo de 10 años es de más de cinco millones de euros.

Estas cifras evidencian la utilidad de un equipamiento como el EASYBOT, que pese a no ser una revolución tecnológica sí que consigue acertar en cuanto a implementación en aquellos proyectos donde existe un coste de mano de obra que jamás se había planteado como automatizable.

AHORRO EN 1 AÑO	281 k€
AHORRO EN 2 AÑOS	821 k€
AHORRO EN 5 AÑOS	2,5 M€
AHORRO EN 10 AÑOS	5,1 M€

Figura 88. Ahorro en diferentes años desde la inversión inicial en caso de instalar los 4 EASYBOTS.

7.6 PASO 3. DEFINICIÓN DE LAS ÁREAS DE SEGURIDAD

El paso 3 define la correcta aplicación de las áreas de seguridad sobre la existente distribución de la maquinaria en planta así como un hipotético acondicionamiento de las áreas.

Al comenzar el paso 3 se requiere que se estudie el manual de usuario para entender correctamente bajo que medidas se deben diseñar las áreas. El proceso resumido es el explicado a continuación.

Al comienzo se debe decidir si aplicar o no planos de seguridad al robot. Las consecuencias son las siguientes:

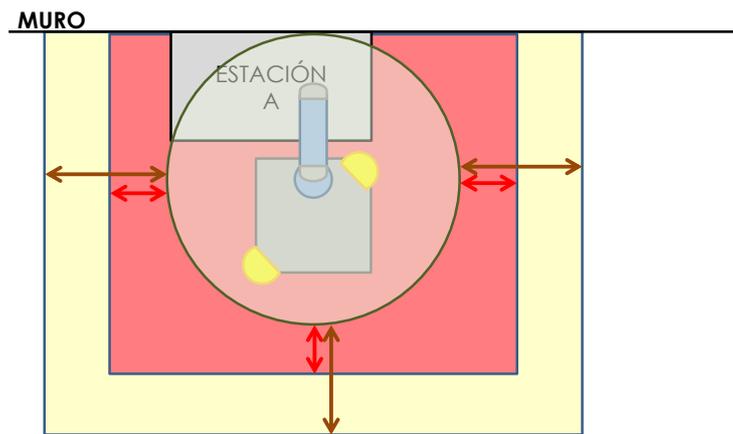


Figura 89. Definición de áreas de seguridad sin planos de seguridad

- Robot sin planos de seguridad (figura 89): El robot se podrá mover por toda su área posible y por lo tanto se deberá sumar a la distancia de seguridad los rangos del robot. Es decir, para un área de seguridad de 1,8 metros deberá sumarse 1,3 metros hasta convertirse en un área de 3,1 metros.

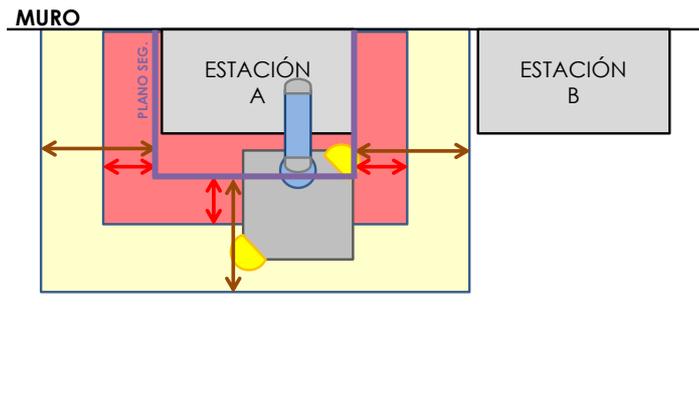


Figura 90. Definición de áreas de seguridad con planos de seguridad

- Robot con planos de seguridad (figura 90): Se encierra el robot en la definición de diferentes planos de seguridad para que sus acciones queden contenidas en una caja virtual. De esta forma solo habrá que aplicar la distancia de seguridad desde el punto más alejado del robot donde este se puede mover. Por ejemplo, si el plano de seguridad cierra el espacio a 0,7 metros y la distancia de seguridad es de 1,8 metros, el área total de seguridad será de 2,5 metros.

De ambas opciones la que mejor se adecúa a esta aplicación es la de usar planos de seguridad, ya que reducirán el área total de seguridad.

Para el cálculo de las distancias mínimas a mantener a partir de dichos planos de seguridad se debe establecer un tiempo de parada del robot y la hoja Excel hace el resto del trabajo. El tiempo de parada del robot que se va a tomar es el más restrictivo posible ya que así se reducirán las áreas de seguridad al máximo y además no preocupa el tiempo de ciclo en la aplicación.

Este tiempo de para son 0,1 segundos y las distancia a respetar por los escáneres de seguridad son:

- Área amarilla de aproximación de 2,1 metros.
- Área roja de parada segura de 1,5 metros.

Se debe recordar que estas distancias empezarán a contar desde los planos de seguridad que se definan en la aplicación.

Por motivos de confidencialidad no se van a mostrar las distribuciones de la planta de Austria, pero se van a mostrar los puntos que se repasan en el paso 3:

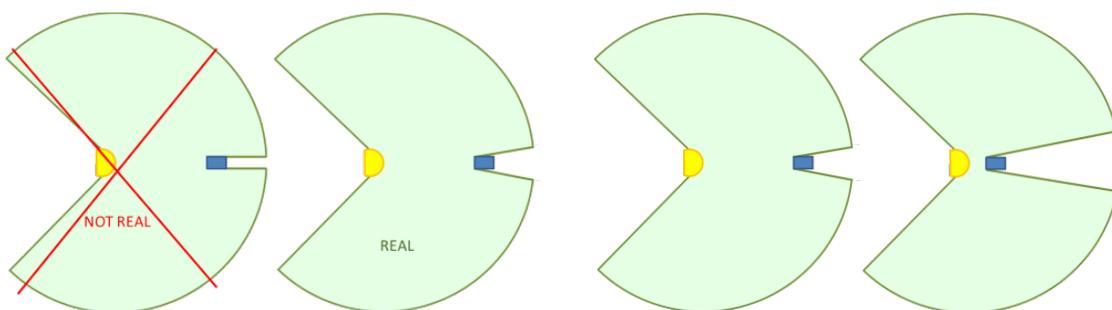


Figura 91. Efecto como explicado (izquierda) y su efecto multiplicador con la proximidad (derecha).

- Se deben tener en cuenta el “efecto cono” de las sombras de los escáneres para evitar generar grandes sombras que superen los 30 cm de anchura. También hay que dejar claro que ese efecto cono tiene se multiplica con la distancia del objeto respecto al escáner. Un ejemplo explicativo está en la figura 91.

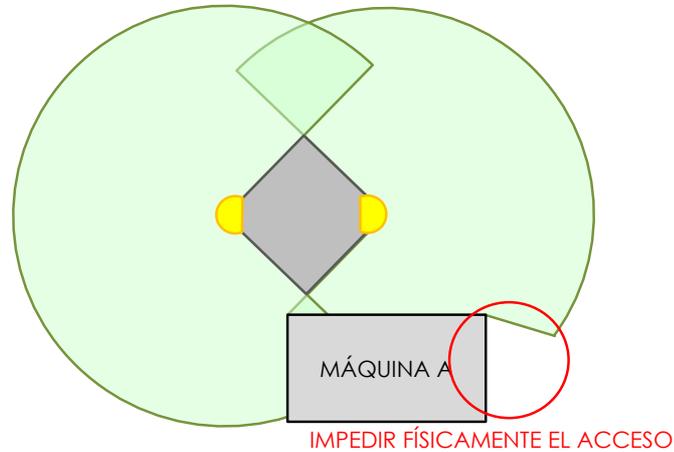


Figura 92. Ejemplo de zona que permite el paso a una distancia menor a la de seguridad.

- Se deben evitar sombras que hagan posible la entrada en el área de seguridad desde una zona más cercana a la demandada. Un ejemplo se puede ver en la figura 92. Para evitar estas áreas se deberán poner barreras físicas ancladas al suelo.

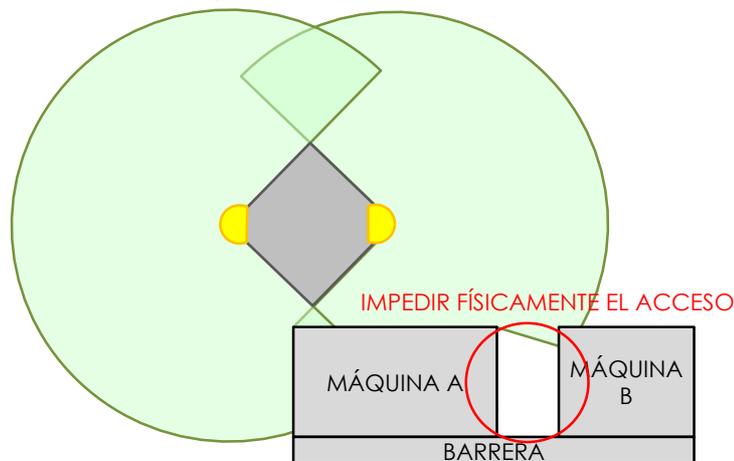


Figura 93. Ejemplo de zona que permite permanecer dentro del área de seguridad.

- Del mismo modo, se deben evitar aquellas zonas dentro del área de seguridad que permitan que una persona se mantenga en el área sin ser vista por el escáner de seguridad. Un ejemplo se encuentra en la figura 93. Para evitar estas zonas muertas sin visibilidad desde el escáner se implantarán barreras físicas ancladas al suelo que impidan permanecer en el área.

En el paso 3 existen varias listas de acciones que controlan estos ámbitos, solo se puede avanzar al paso 4 en el caso de que todas las listas de acciones estén controladas y aprobadas por planta. Obviamente en este momento no se puede asegurar que el área final lo respetará, pero si informar a todo el mundo de las necesidades y tomar medidas para solventarlo antes de la puesta en funcionamiento en planta.

7.7 PASO 4. CABLEADO Y DEFINICIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN

El paso 4 contiene los ítems necesarios para prever el uso de cableado en la aplicación. Principalmente se busca evitar los problemas asociados al uso excesivo de señales del controlador del robot y que así no aparezcan problemas durante la instalación.

El uso del cableado ya quedó revisado en la figura 84, donde se preveía todos los usos necesarios para el manejo de la herramienta de compra. Además solo hay que usar una señal más para el manejo del sensor existente en el transportador horizontal para conocer si existe espacio libre para dejar la plancha metálica. Al usar comunicador sin cables para este último sensor no es necesario prever ninguna entrada de señal ya que dicho receptor sin cables funciona mediante protocolo MODBUS.

Además, en el apartado 4 también existen puntos para asegurar que el usuario no usa señales de seguridad como señales estándar. Sería grave conectar una señal de seguridad de una máquina a un conector sin cables que usa señales estándar no certificadas.

Por último, en el apartado de programación del paso 4 se analiza el flujo de programa que se usará en planta, se debe hacer un esqueleto en forma de diagrama de bloques para conocer como será la programación. Esto se hace porque no todas las aplicaciones serán instaladas por el equipo central de robótica, de este modo se indica al proveedor instalador o a la propia planta como sería una programación óptima.

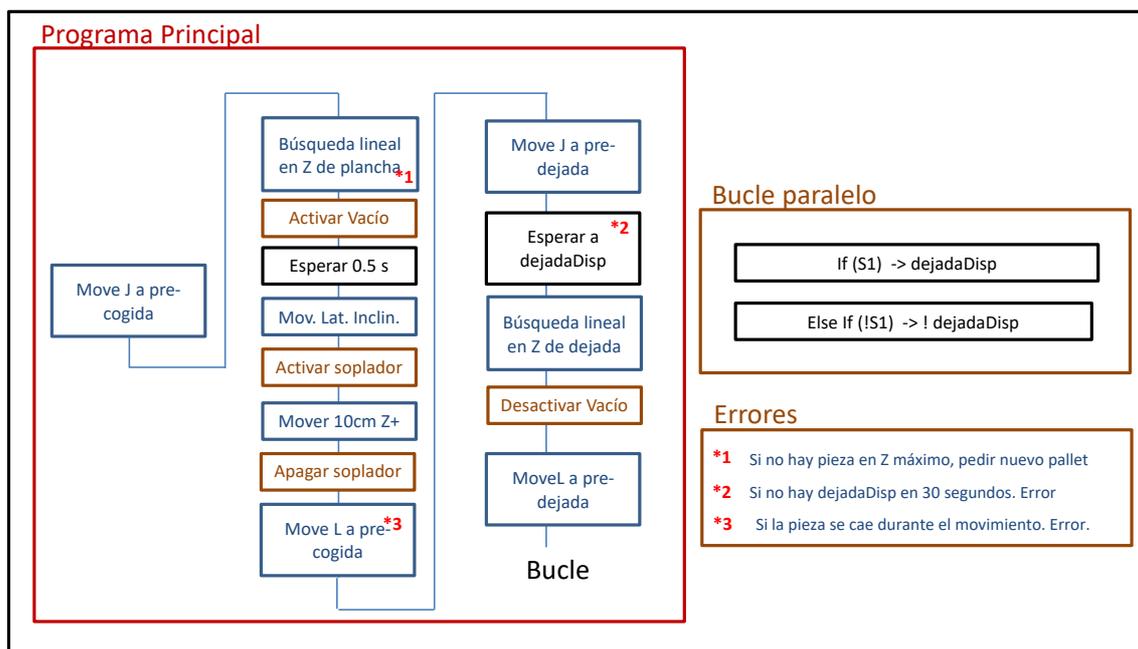


Figura 94. Estructura de programación de la aplicación en Austria.

En la figura 94 se observa la estructura de programación de la aplicación en Austria. A continuación se explican algunos puntos sobre ella:

- La figura muestra la estructura de programación de una pieza en concreto, la identificación de la pieza no está representada. Se haría en una capa superior que simplemente tomaría una foto y dependiendo del resultado de la cámara seleccionaría un programa u otro. Por lo tanto en la figura 94 muestra uno de esos programas cualquiera para una posición de cogida y dejada cualquiera.

- La estructuración se divide entre un programa principal y un programa paralelo, ambos funcionando en bucle continuo. El programa principal contiene, obviamente, el contenido que realiza las acciones del programa. El programa paralelo comprueba continuamente el estado de la señal del sensor en el transportador horizontal, así se actualiza sobre el programa principal al instante. Así se puede saber si está disponible el transportador horizontal para cargar una nueva pieza.
- El programa principal comienza yendo a la posición de pre-cogida en el carro con las piezas cargadas en Z. A continuación hace una búsqueda lineal hasta encontrar resistencia (una plancha metálica) y realiza la activación de las ventosas de vacío para agarrar la pieza. Se realiza un pequeño movimiento en inclinación para permitir a los sopladores de aire activarse y separar las piezas contiguas. Finalmente se retira la pieza cargada y se lleva al transportador horizontal, se deja la pieza una vez se encuentra a resistencia de dicho transportador y se desactivan las válvulas de vacío.
- El control de errores será mucho más extenso, pero se destacan los tres principales. Un primer error que identificaría el máximo de distancia a buscar en Z para encontrar una nueva pieza, si ese máximo se alcanza significaría que el pallet se ha acabado y es necesario cargar uno nuevo. Un segundo error controlaría el tiempo que pasa el robot buscando permiso para dejar la pieza en el transportador horizontal, si ese tiempo se sobrepasa significa que algo ha ocurrido con el transportador vertical y por lo tanto se indica error en pantalla. Algo similar pasa con el tercer tipo de error, en el cual se controla que la pieza se ha cogido correctamente, y si en algún momento durante la ejecución del programa esa pieza se deja de detectar, saltaría un error y pararía la ejecución.

En el caso de la programación en Austria será realizada por el autor de este TFM en el primero de los EASYBOTS instalados en planta, pero la idea de la compañía y de la planta es instalar hasta 3 EASYBOTS adicionales, por lo tanto será muy útil comprobar los diagramas de cableado y de programación del robot. Una vez instalada en planta también será sencillo comprobar los programas ya existentes en el robot.

7.8 PASO 5. ACEPTACIÓN DE DISEÑO

Se debe recordar que en la figura 55 existía un paso intermedio entre el paso cuarto y quinto. Dicho paso intermedio es el lanzamiento de los pedidos por parte de planta. El autor de este TFM envía a planta las ofertas con los precios ya negociados con cada uno de los proveedores.

En este caso el carro y el cuadro eléctrico van a ser fabricados en los proveedores españoles por tener un mejor precio. La planta pone todos los pedidos y comienza la fabricación. El seguimiento del equipamiento es llevado por el equipo central de robótica, así como la validación del equipamiento y sus planos físicos y eléctricos.

Por lo tanto el paso 5 es realizado mientras se validan dichos diseños de máquina y los puntos que se analizan en él son para certificar que el proveedor cumple con los requerimientos exigidos por Faurecia, así como que existe la firma de dicho proveedor en los documentos de conformidad existentes.

7.9 PASO 6. VALIDACIÓN EN PLANTA.

Al acabar el paso 5 se envía todo el equipamiento a planta. El autor de este TFM realiza las conexiones eléctricas siguiendo el manual de usuario y deja el equipamiento listo para la programación.

La programación se lleva a cabo con un grupo de ingenieros de planta, y se toma ese periodo como un periodo de entrenamiento a planta. Se debe preparar con detenimiento que enseñar a planta para que puedan manejar el equipo una vez acabe el soporte del equipo central o quieran modificar el robot o introducir uno nuevo.

En la figura 95 se puede observar el horario del entrenamiento propuesto a la planta de Kennelbach durante cuatro días.

LUNES 25/03/2019	MARTES 26/03/2019	MIERCOLES 27/03/2019	JUEVES 28/03/2019
8	8	8	8
9	SOFTWARE ROBOT I Empezar con la programación de la aplicación. Programación offline.	9	PROGRAMAR CONVEYOR TRACKING (FALSO)
10	FINISH MOUNTING OF THE ROBOT. If already finished. Start the installation.	10	INTEGRAR CONVEYOR TRACKING Integrar en el programa existente.
11	DESCANSO COMIDA	11	DESCANSO COMIDA
12	DESCANSO COMIDA	12	DESCANSO COMIDA
1	COMIENZO DE LA PROGRAMACIÓN ONLINE Transferir programa. Configuración de seguridad. Movimientos de robot.	1	ACTUALIZACIONES DE SOFTWARE Y MANTENIMIENTO Qué tener en cuenta.
2	CONTINUAR PROGRAMACIÓN ONLINE Programar movimientos con sensor de fuerza.	2	PROCEDIMIENTO DE CAMBIO DE LUGAR DEL ROBOT. Pasos a seguir.
3	DESCANSO	3	DESCANSO
4		4	DOCUMENTACIÓN DEL ROBOT Certificado de seguridad. Flujo de validación. Flujo de instalación. Certificación de equipamiento.
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	
11		11	
12		12	

Figura 95. Calendario de entrenamiento de Kennelbach.

También se rellena en este paso la lista de acciones asociadas. Esta lista de acciones es realmente importante porque repasa todas las medidas de seguridad que se deberían haber tenido en cuenta durante la realización de los pasos anteriores. Sirve como doble comprobación antes de poner la máquina en producción.

Para la realización de este paso se puede requerir la presencia de un validador externo que ayude a la planta a asegurar todas las medidas de seguridad. Este paso no es obligatorio pero si recomendable. Como se ha visto en el apartado de presupuestos, en el proyecto de Kennelbach se ha tomado la decisión de pedir a PILZ que realice la validación de tercera parte para la máquina a instalar.

En el sexto paso se repasa la lista de acciones sobre el terreno y con la aplicación ya programada e instalado en su localización final. Los puntos que repasar son los siguientes:

- Se comprueba si todos los elementos de la instalación están correctamente situados según las especificaciones técnicas de la máquina. También se comprueba que todo el cableado sigue la normativa en cuanto a orden, protección y etiquetado.
- Se verifica que el acceso al cuadro eléctrico está protegido por llave para evitar el peligro por daño eléctrico.
- En cuanto a la instalación del robot sobre el carro, se debe comprobar que está situado en su posición nominal y que esta está correctamente marcada para que en caso de futuras intervenciones se pueda volver a instalar el robot en la posición original.
- El punto más importante de la instalación son los escáneres de seguridad y como se han parametrizado las distancias de seguridad. Para ello se debe comprobar que en la seguridad del robot y bajo contraseña se encuentra el valor de tiempo de parada con el que se han realizado los cálculos de las distancias.
- A nivel de productividad se comprueba mediante métodos estadísticos y procedimientos estándar de la compañía la fiabilidad del proceso.
- A nivel de reglamentación de seguridad se pasan a rellenar algunos puntos referentes a la validación de las seguridades instaladas. Estos puntos, entre otros, son los siguientes:
 - Comprobación de la actuación del escáner de seguridad en la realidad. Comprobación de que el robot para al cortar la distancia de seguridad recomendada.
 - Verificar que a las distancias de los escáneres se encuentra el suelo pintado del rojo o naranja para delimitar las zonas de seguridad.
 - Comprobar que la definición física de las áreas de los escáneres cumple los requerimientos legales (no permite sombras, no permite que una persona permanezca en el área, la distancia a objetos es menor de 20 cm, etc.)
 - Se verifica que la documentación se encuentra en inglés y en el lenguaje local de la planta.
 - También se comprueba que toda la documentación requerida se encuentra disponible en formato físico y digital.
 -

Como en otros puntos, todos los puntos deben estar aceptados para pasar al siguiente paso.

La instalación en Kennelbach sucedió sin mayores incidentes reseñables. A continuación se adjuntan fotos sobre el proceso de instalación y la instalación de esta.

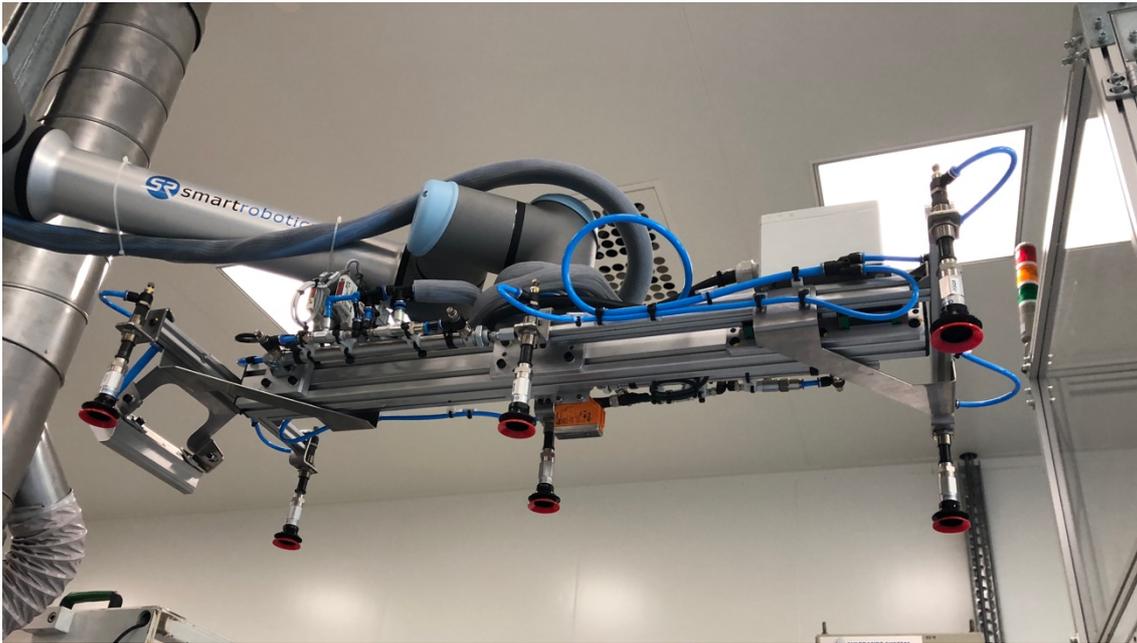


Figura 96. Detalle de la herramienta del robot instalada en Kennelbach.



Figura 97. Robot realizando la acción de coger pieza en Kennelbach.



Figura 98. Robot realizando acción de dejar pieza sobre el transportador.



Figura 99. Perspectiva del robot realizando cogida de pieza.

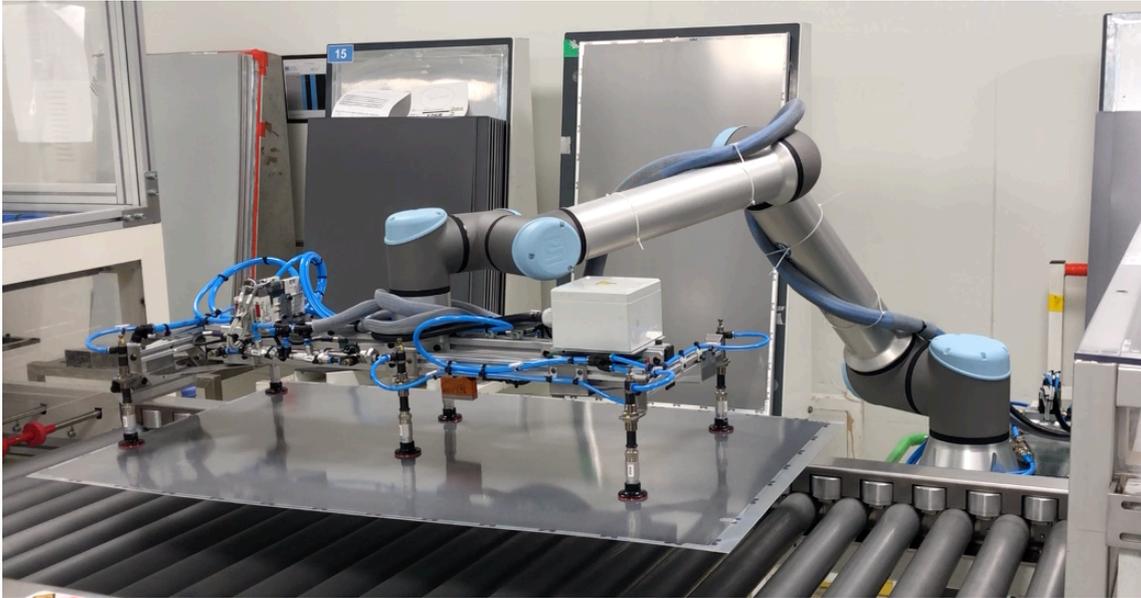


Figura 100. Perspectiva del robot realizando la dejada de pieza en el transportador.



Figura 101. Equipamiento de EASYBot en Kennelbach al completo.

7.10 PASO 7. VALIDACIÓN TRAS 90 DÍAS DE PRODUCCIÓN

El último paso es validar la producción 90 días después de la instalación para asegurar que no existen problemas y dar el proyecto de instalación por finalizado. En el tiempo en el que se desarrolla este TFM no han transcurrido aún 90 días desde la instalación, por lo tanto no se ha realizado el último paso en Kennelbach.

Los puntos que se repasan son básicos de producción y poco tienen que ver con la máquina en sí misma. Los puntos, entre otros, son los siguientes

- El tiempo medio entre fallos supera las 150h de producción: Asegurar que no existen fallos esporádicos que superen la frecuencia estipulada por la compañía como aceptable.
- Mantenimiento ha podido lidiar con los problemas acontecidos.
- Los puntos abiertos durante la instalación se han cerrado en su totalidad.
- La aceptación de la máquina ha sido firmada por todas las partes.

8. CONCLUSIONES

El punto previo a las conclusiones de este TFM está destinado a analizar el impacto que ha tenido el diseño y lanzamiento del concepto de máquina EASYBOT dentro de la compañía.

Es obvio que la máquina se ha desarrollado dentro del departamento de robótica y automática de Faurecia, por ello se ideó con la finalidad de ser una máquina de carácter global y con un alto grado de implementación.

Pero hay diferentes puntos que hacen al EASYBOT una máquina singular dentro de todas las desarrolladas en Faurecia. Algunos de esos puntos están explicados a continuación:

- Para comenzar, no es común el desarrollo de máquinas de forma interna en Faurecia. No al menos desde un punto tan básico como lo ha sido con el EASYBOT. Es cierto que desde Faurecia se lidera la creación de diferentes máquinas con proveedores externos, pero EASYBOT ha sido desarrollado de forma interna completamente, con los recursos internos de la empresa.
- Es también destacable que se trata de la primera máquina certificada por Faurecia y no por un agente externo. Este hecho era necesario para poder implementar la máquina en diferentes plantas sin la necesidad de certificar cada aplicación.
- Por último, la máquina no tiene una finalidad definida. Es necesario explicar más este concepto tan simple. Mientras que el resto de las máquinas del sector del automóvil están pensadas para desarrollar una aplicación en concreto, el EASYBOT es una máquina que está dispuesta a realizar acciones de diferente índole. Es un equipamiento genérico preparado para ser adaptado a las necesidades de planta.

Estos tres puntos hacen de esta máquina un elemento diferenciador para Faurecia. Se entiende el EASYBOT como una máquina simple pero que precisamente gracias a esa simpleza puede ayudar mucho a la compañía. Se entiende el EASYBOT como una herramienta para la planta.

El EASYBOT ha sido promocionado internamente como un caballo de Troya para la implementación de automatismos en planta. Se vive una época de alta automatización y robotización de las plantas, o eso parece cuando se consultan los principales medios de información. La realidad es muy diferente, las plantas son organismos productivos con dinámicas de crecimiento muy lentas, por lo tanto les es altamente difícil insertar mejoras en forma de automatización. Es aquí donde encaja la herramienta de EASYBOT, una máquina sencilla que viene acompañada de un entrenamiento completo en robótica.

Hasta aquí el impacto intangible de la máquina en Faurecia, a continuación se analizarán los números que demuestran que EASYBOT está teniendo un efecto positivo en la compañía.

8.1 PLANES DE IMPLANTACIÓN

Desde que se inició el proyecto de EASYBOT se han analizado múltiples proyectos donde tendría sentido su instalación. La recepción de la certificación de la maquinaria marcó el punto de partida de su implantación.

En el capítulo 10 de este TFM se ha explicado una de las implementaciones (en realidad son 4 máquinas), pero la realidad es que los planes de implementación en planta son ambiciosos para su primer año de vida.

En carácter global se plantea que su implementación comience por Europa, esto es debido a que la máquina se ha certificado en primer lugar con el mercado CE, el más complicado de los certificados de seguridad. Para obtener el mercado en Estados Unidos, China o Sudamérica es mucho más sencillo, sobre todo con el mercado CE ya cumplido. El siguiente paso para la máquina será implantarse en el mercado estadounidense donde también encaja por el enfoque de la industria y por los salarios de mano de obra.

Hablando de la implantación a nivel europeo, el plan para el año 2019 es la implantación de hasta 40 máquinas repartidas por diferentes plantas. Este es el objetivo, pero el plan para el primer semestre es similar al que se puede observar en la figura 102.



Figura 102. Mapa de implantación para el primer semestre de 2019.

Todos los puntos identificados en verde en el mapa tienen un proyecto pre-estudiado y el presupuesto aprobado. Los puntos marcados en amarillo tienen las operaciones identificadas y están en proceso de obtener una validación de presupuesto.

Se puede observar que se reparten las plantas por ubicación geográfica para que sea más sencillo encontrar proveedores del equipamiento en cada área. Debido a la magnitud que ha tomado la máquina, se subcontratan proveedores que realizan la instalación en planta, siempre contando con el apoyo del equipo central que entrena y sigue los proyectos en cada uno de los casos.

8.2 MEJORAS PLANEADAS

Pese a que la máquina es completamente productiva en la actualidad, ya se han lanzado proyectos de mejora al corto plazo, algunos de ellos son los siguientes:

- EASYBOT con esquema eléctrico basado en PLC para llevar a cabo acciones de trazabilidad y de aprendizaje de proceso con servidores externos. En la compañía existen en la actualidad estándares para ambos procedimientos, y se desea implementarlos dentro de la máquina EASYBOT. Es interesante de cara a que la máquina realice procesos por sí misma y pueda informar a trazabilidad.
- EASYBOT para ensamblaje de grapas plásticas. Una operación productiva que puede realizar el robot es la del ensamblaje de grapas en las piezas del interior del automóvil. Debido a su carácter abierto y amigable se pone el foco en esta aplicación que comúnmente está realizada a mano en las plantas.
- EASYBOT para la preparación de cunas de grapas y tornillos. Ya que algunos procesos productivos requieren tener las grapas y tornillos alineados de una forma específica en unas cunas, se ha pensado que el EASYBOT puede llevar a cabo esta aplicación también.

8.3 FUTURO

Por lo tanto, habiendo visto toda la casuística desarrollada alrededor del EASYBOT, se plantea para él un futuro lleno de mejoras e implementaciones a lo largo del planeta en las diferentes plantas que tiene Faurecia.

Al fin y al cabo es un proyecto de una máquina genérica y sencilla preparada para una implementación masiva.

Además, una vez se implementa un robot en una planta surgen muchas otras implementaciones debido a que planta incorpora el conocimiento y ya son conscientes de las capacidades del robot para futuras industrializaciones.

8.4 VALORACIÓN DEL AUTOR

No se van a extender las conclusiones de este TFM debido a que se han explicado durante toda la memoria las ventajas que existen debido al uso de la máquina y cómo la compañía ha visto potencial en la idea y ha apostado por ella.

Sí que es conveniente señalar los puntos que a nivel personal, cree el autor de este TFM que la máquina ha sido un éxito en Faurecia:

- La industria tal y como está concebida busca soluciones inmediatas. Dejar a un lado las complejas automatizaciones y centrarse en lo inmediato y sencillo es una de las claves del concepto de máquina del EASYBOT.
- El auge de los robots colaborativos ha ayudado mucho a la promoción interna del concepto. También el hecho de que haya sido desarrollada dentro de la compañía ha ayudado.
- La presencia del robot en todas las plataformas de difusión de Faurecia, así como conferencias y exposiciones también ha ayudado a su implantación y aceptación.

En cuanto a nivel personal, permítanme escribir en primera persona por primera vez en este TFM, he encontrado en el proyecto una oportunidad única para aprender a desarrollar una máquina y un concepto dentro de una gran compañía. Este proyecto me ha ayudado a crecer dentro de la compañía y es un orgullo que se relacione el concepto de EASYBOT con mi nombre.

La máquina ha representado desde el comienzo un gran reto, teniendo en cuenta que al comienzo casi no sabía programar un robot, el conocimiento que he adquirido durante el camino pone un broche inmejorable a mi experiencia en el máster.

También me llevo de esta experiencia grandes lecciones, la más importante de todas es que no importa como de buena sea una solución tecnológica, si no va acompañada de un buen posicionamiento y mercadotecnia no va a triunfar.

En definitiva, la experiencia adquirida y el resultado conseguido hacen de este TFM el mejor comienzo posible a nivel personal para una carrera profesional.

9. BIBLIOGRAFÍA

Marrana Zorrilla V. (2017). *Futuring: La inteligencia de futuro para las organizaciones*. Barcelona, España: ICB Editores.

George A. Bekey (2008). *Robotics: State of the Art and Future Challenges*. Londres, Inglaterra: Imperial Colleague Press.

Martínez P., John J.; Vallejo J., Margarita M. (2015). *Comparación de estrategias de navegación colaborativa para robótica móvil*. Universidad Autónoma de Manizales, Mazinales, Colombia.

ABB Robotics (2017). *Brochure: YuMi® creating an automated future together. You and me*. 14.8.2017, ABB, abb.com/robotics

Salmi T., Ahola J.M., Heikkilä T., Kilpeläinen P., Malm T. (2018). *Human-Robot Collaboration and Sensor-Based Robots in Industrial Applications and Construction*. In: Bier H. (eds) *Robotic Building*. Springer Series in Adaptive Environments. Springer, Cham

Trabajo Final de Máster

PRESUPUESTO

Francisco Sebastián Rebollar

1. PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN DEL PRIMER EASYBOT EN AUSTRIA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIDAD (€)	UNIDADES	PRECIO TOTAL (€)
UR10 ESERIES	Brazo robótico y controlador.	36000	1	36000
SZ04M	Escáner de seguridad con cableado y soporte.	2000	2	4000
ARMARIO ELEC.	Armario eléctrico EASYBOT. Pieza de encargo.	3500	1	3500
CARRO	Carro del EASYBOT junto con horas de montaje y cableado.	5600	1	5600
DXM100	Receptor / emisor señales sin cables. Lado del robot.	700	1	700
DX80N2	Receptor / emisor de señales sin cables. Lado máquina.	430	1	430
PAQ. ENERG.	Paquete energético. Conducción de cables por brazo robótico.	550	1	550
FQ2	Cámara de visión inteligente.	2300	1	2300
HERRAMIENTA	Herramienta para aplicación en Austria. Pieza de encargo.	7000	1	7000
VAL 1. PILZ	Validación de la nueva herramienta en Valencia.	7000	1	7000
VAL 2. PILZ	Validación de la línea de producción en funcionamiento.	8000	1	8000
PRECIO TOTAL				75080

2. PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN DE LOS SUCESIVOS EASYBOT EN AUSTRIA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIDAD (€)	UNIDADES	PRECIO TOTAL (€)
UR10 ESERIES	Brazo robótico y controlador.	36000	1	36000
SZ04M	Escáner de seguridad con cableado y soporte.	2000	2	4000
ARMARIO ELEC.	Armario eléctrico EASYBOT. Pieza de encargo.	3500	1	3500
CARRO	Carro del EASYBOT junto con horas de montaje y cableado.	5600	1	5600
DXM100	Receptor / emisor señales sin cables. Lado del robot.	700	1	700
DX80N2	Receptor / emisor de señales sin cables. Lado máquina.	430	1	430
PAQ. ENERG.	Paquete energético. Conducción de cables por brazo robótico.	550	1	550
FQ2	Cámara de visión inteligente.	2300	1	2300
HERRAMIENTA	Herramienta para aplicación en Austria. Pieza de encargo.	7000	0,8	5600
VAL 2. PILZ	Validación de la línea de producción en funcionamiento.	8000	0,33	2640
PRECIO TOTAL				61320