



Trabajo Fin de Grado

Transferencia de piezas de inyección mediante un AGV y estudio de viabilidad y mejora en planta en empresa de automoción.

Transfer of injected pieces through an AGV and study about viability and improvement in the plant in an automotive company.

Autor

Francisco Irazo Arcal

Director

Jesús Antonio Royo Sánchez

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza
2019

Transferencia de piezas de inyección mediante un AGV y estudio de viabilidad y mejora en planta en empresa de automoción.

RESUMEN

El presente trabajo de fin de grado aborda el diseño e implementación de un proyecto de transporte de piezas automatizado con un robot AGV entre la máquina que fabrica una pieza y la célula en la que se monta.

Así pues, este trabajo va a consistir en realizar desde cero el diseño del sistema necesario para transportar las piezas y la programación del robot, así como implementar todo el proyecto en la empresa, verificar su correcto funcionamiento y comprobar la viabilidad del proyecto.

La transferencia de piezas se realiza entre una inyectora de plástico ENGEL y una mesa de trabajo situada en la célula de montaje que están separadas por un pasillo. La inyectora está asistida por un robot SEPRO cuya misión es extraer las piezas del molde de inyección y depositarlas en una cinta transportadora. El transporte de las piezas lo realizará un robot MIR 100 que llevará una estructura instalada para portar una cinta transportadora de manera que podrá encararse con la cinta transportadora de la inyectora, recoger las piezas y llevarlas hasta la mesa de trabajo situada en la célula de montaje.

Por lo tanto, el proyecto se va a estructurar según los siguientes bloques:

- Diseño de la estructura portante de la cinta transportadora sobre el robot MIR 100 y de la mesa de descarga de piezas.
- Distribución y layout de la célula de montaje para adecuarla a la descarga de piezas del robot MIR 100.
- Mapeado de la zona de actuación del robot MIR 100.
- Adaptación y conexionado del PLC con la cinta del robot MIR 100 y con la inyectora.
- Programación de la secuencia de trabajo del robot MIR 100.
- Análisis de la situación final.
- Estudio de viabilidad económica.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Contexto	1
1.2 Objeto	3
1.3 Motivación y justificación.	3
1.4 Organización de los capítulos	4
2: Diseño de la estructura portante de la cinta transportadora sobre el robot MIR 100..	5
2.1 Introducción	5
2.2 Diseño	7
2.2.1 Materiales de fabricación.....	7
2.2.2 Regulación de altura	8
2.2.3 Limitación del peso final.....	10
3: Diseño de la mesa de descarga de piezas para el robot MIR 100	11
3.1 Introducción.	11
3.2 Diseño.	11
4: Layout de la célula de montaje.....	13
4.1 Introducción	13
4.2 Rediseño del layout.....	14
5: Conexionado del PLC con el driver del motor de la cinta transportadora	15
5.1 Introducción	15
5.2 Instalación PLC-Driver	15
6: Adaptación de la superficie de trabajo y mapeado de la zona	16
6.1 Introducción	16
6.2 Adaptación de la superficie de trabajo	16
6.2.1 Modificación del suelo de la planta	16
6.2.2 Sensores y marcadores para ubicar el MIR	16
6.3 Mapeado de la zona de trabajo.....	19
7: Programación del MIR.....	20
7.1 Introducción	20
7.2 Proceso de programación.....	20
8: Viabilidad de tiempos de ciclo del MIR	21
8.1 Introducción.	21
8.2 Tiempos de ciclo del MIR y de la inyectora.....	21
9: Viabilidad económica del MIR	22
9.1 Introducción.	22
9.2 Viabilidad económica del MIR.	22
10: Posibles mejoras del sistema de transporte y futuras aplicaciones en la empresa ..	25
10.1 Introducción	25
10.2 Limitaciones del MIR y mejoras necesarias	25
10.3 Futuras aplicaciones en la empresa y viabilidad económica	26
11 Conclusiones.....	28
Bibliografía	29

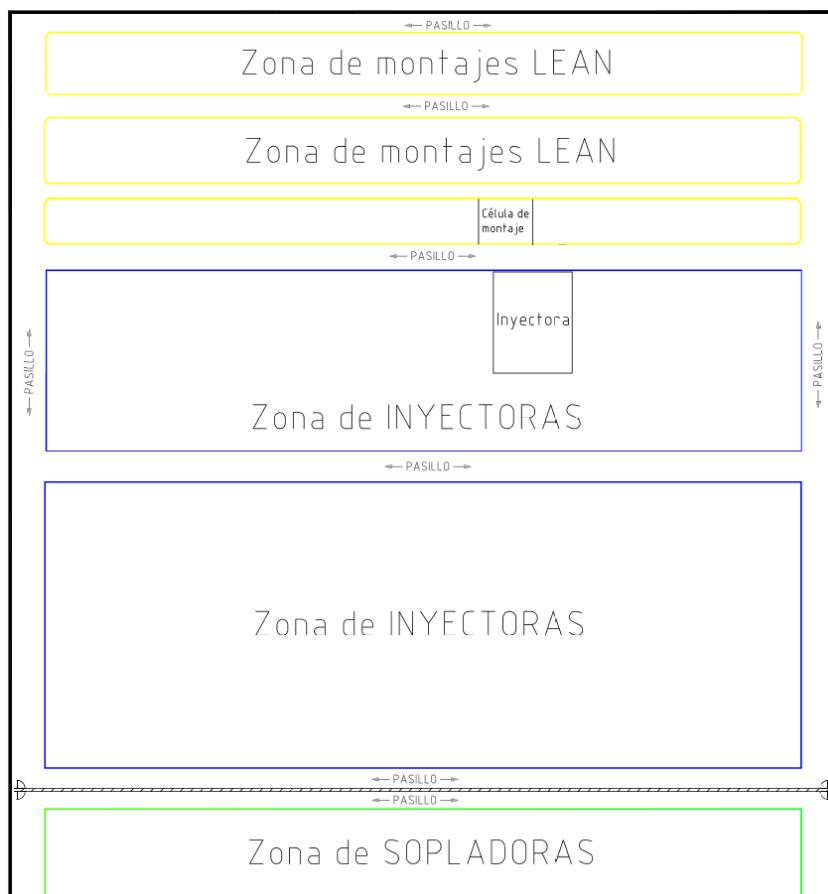
Anexo 1: Características técnicas del MIR, de la cinta transportadora y los perfiles Bosch Rexroth.....	30
Anexo 1.1 Introducción	31
Anexo 1.2 Hoja técnica del MIR 100	31
Anexo 1.3 Características técnicas de la cinta transportadora	32
Anexo 1.4 Características de los perfiles Bosch Rexroth.....	32
Anexo 2: Detalles de la estructura portante de la cinta transportadora del MIR.....	34
Anexo 2.1 Introducción	35
Anexo 2.2 Planos de diseño	35
Anexo 3: Detalles de la estructura de la mesa de descarga de piezas	38
Anexo 3.1 Introducción	39
Anexo 3.2 Planos de diseño de la mesa	40
Anexo 4: Distribución en planta.....	42
Anexo 4.1 Introducción	43
Anexo 4.2: Representación del layout previo y definitivo.....	43
Anexo 5: Conexión de E/S	46
Anexo 5.1 Introducción	47
Anexo 5.2 Entradas del driver del motor	47
Anexo 6: Mapeado de la zona de trabajo	50
Anexo 6.1 Introducción	51
Anexo 6.2 Secuencia de mapeado.....	51
Anexo 7: Programación del MIR	56
Anexo 8: Ensayos finales: video y toma de tiempos.....	63
Anexo 8.1 Introducción	64
Anexo 8.2 Video.....	64
Anexo 8.3 Análisis del tiempo de ciclo	64

1. Introducción

1.1 Contexto

La automatización de procesos es una técnica que la mayoría de empresas van implementando en mayor o menor medida, así, la empresa en la que se realiza este proyecto, una empresa del sector de la automoción, lleva a cabo tareas de automatización en todos sus proyectos.

Actualmente la empresa ha adoptado la filosofía LEAN y una de las muchas mejoras que han realizado ha sido separar la zona de montaje del producto de las zonas de fabricación del producto. En esta empresa se producen productos plásticos que se fabrican en inyectoras o en sopladoras según corresponda, y hasta ahora el montaje del producto final se realizaba en continuo junto a esas inyectoras o sopladoras. En estos momentos ese montaje de producto final ha sido trasladado a otra zona en la misma fábrica (zona de montajes lean), de manera que los productos que salen de las inyectoras o sopladoras se llevan a la zona de montajes y allí se ensamblan. Debido a la distancia que separa las máquinas de inyección y soplado de la zona de montaje, las piezas son transportadas a través de trenes por dentro de la fábrica.



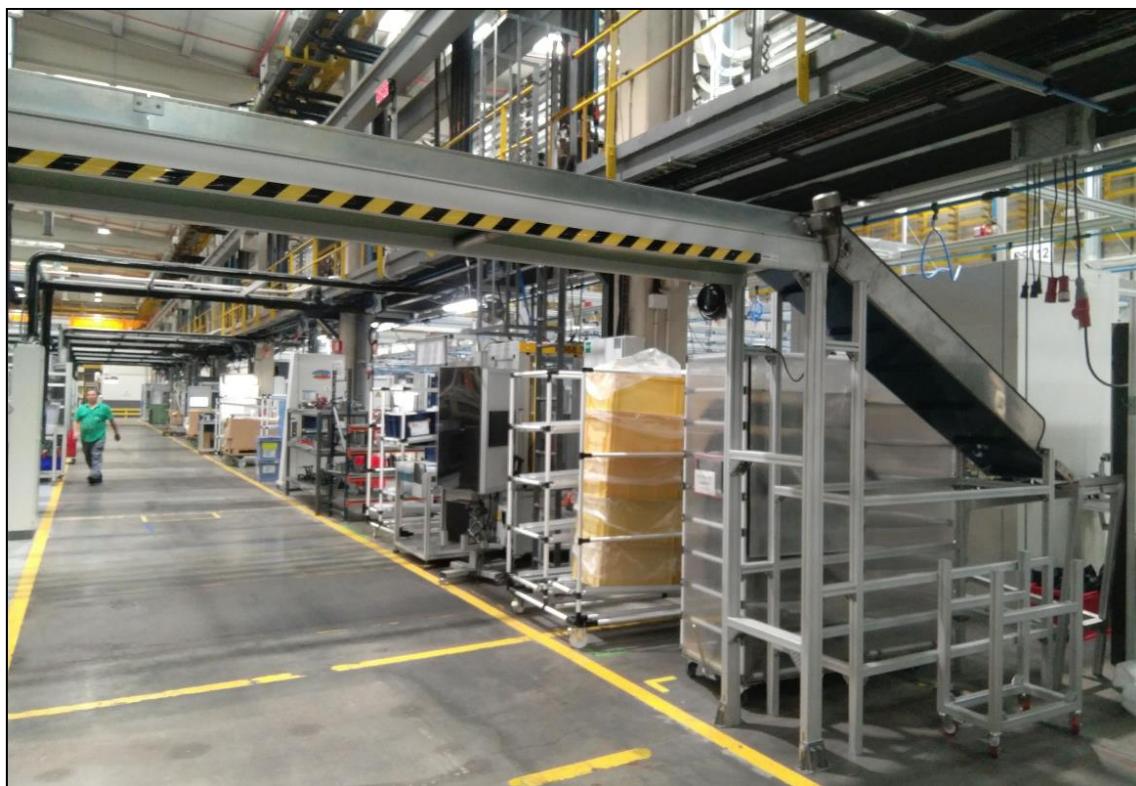
(Figura 1.1 Esquema de la distribución de la planta)

Este proyecto va a suponer una primera toma de contacto para automatizar este proceso de transporte, por lo que se va a realizar entre una inyectora y una zona de

montaje que están relativamente cerca, además para la realización de este proyecto la empresa cuenta con un robot MIR 100 (en adelante MIR) de *Mobile Industrial Robots ApS* y una cinta transportadora de la empresa *Transmisiones Industriales Camprodón S.L.*

La vida del producto que se está fabricando ahora mismo empieza en una inyectora (en adelante inyectora 1), situada enfrente de la célula de montaje. Después de que la inyectora inyecte la pieza, a través de una cinta transportadora elevada la pieza va hasta la célula de montaje.

Debido a un aumento del volumen de pedidos de este producto se ha fabricado un segundo molde de inyección que se usará en otra inyectora (en adelante inyectora 2) situada paralela a la actual inyectora.



(Figura 1.2 Cinta transportadora elevada)

Este proyecto se va a realizar en la inyectora 2 con el segundo molde aprovechando las pruebas que se tienen que realizar en la inyectora 2 para así evitar parar la inyectora 1 haciendo pruebas para este proyecto.

1.2 Objeto

En este proyecto se va a diseñar, implementar y se van a analizar las mejoras y la viabilidad de un sistema de transporte de piezas automatizado mediante un robot MIR 100 de forma que se pueda suministrar piezas a la célula de montaje en continuo. Este proyecto servirá para evaluar la validez de un AGV, en concreto el MIR100, como medio de transporte de piezas en caso de fabricar piezas según un plan de contingencia.

En esta empresa de automoción todos los productos que se fabrican cuentan con un plan de contingencia, de forma que, si la inyectora prioritaria de un producto se estropea y es necesario seguir fabricando piezas para suministrar al cliente, se puede meter el molde en la inyectora que se haya validado para el plan de contingencia. Es en este punto donde se puede encargar al MIR la recogida y descarga de piezas en la célula de montaje.

La inyectora 1 que produce actualmente las piezas está enfrente de la célula de montaje y la inyectora 2 que fabricará con el segundo molde está paralela a la actual separada 7m. Aprovechando esta situación, se va a simular que la inyectora 2 en la que vamos a realizar este proyecto es la inyectora del plan de contingencia y así simular una situación real en la que la inyectora 1 (prioritaria) y su cinta elevada dejan de funcionar y hay que fabricar según el plan de contingencia.

Este proyecto que va a ser una toma de contacto con el transporte automatizado de piezas entre máquinas se enfrenta a muchos retos, entre ellos el económico. Debido al elevado coste del MIR, este sistema tiene que ser capaz de adaptarse a diferentes máquinas, montajes y zonas de trabajo para no tener tiempos muertos o que sean lo menores posibles.

Además del aspecto económico, hay que tener en cuenta los requisitos de producción, por lo tanto, la inyectora de la cual recoge las piezas el MIR tiene un ritmo de producción establecido y el MIR tiene que ser capaz de adaptarse a su ritmo para evitar paradas de la inyectora o acumular piezas a la espera de la recogida por parte del MIR.

1.3 Motivación y justificación.

Este proyecto nace de la necesidad de dotar de mayor flexibilidad al sistema de fabricación. Actualmente el suministro de piezas a las líneas de montaje tiene un tiempo estándar y con el sistema propuesto en este proyecto se permite adaptar el tiempo de suministro según las necesidades de la línea de montaje y la capacidad del MIR. El producto en el que se realiza este proyecto requiere hacer una soldadura de las partes inyectadas en continuo, de manera que no pueden enfriarse las piezas y este sistema permite fabricar según el plan de contingencia de forma sencilla sin malgastar recursos para hacer la soldadura en continuo.

Además, como se ha comentado previamente, la necesidad de tener un plan de contingencia para cada producto motiva la realización de este proyecto.

1.4 Organización de los capítulos

Capítulo 2

Se va a diseñar la estructura portante de la cinta transportadora para que el MIR pueda cargar con ella durante sus desplazamientos.

Capítulo 3

En este capítulo se va diseñar una mesa inclinada cuya función será acumular las piezas que recoge el MIR.

Capítulo 4

Se va a rediseñar el layout inicial de la zona de trabajo del MIR para que se puedan transferir las piezas de un sitio a otro a la mayor brevedad posible y con los menores riesgos de colisión.

Capítulo 5

Se van a explicar cómo se ha conexionado el PLC y el driver para llevar a cabo todas sus funciones.

Capítulo 6

En este capítulo se va a adaptar la zona de trabajo para que el MIR pueda realizar el ciclo sin interrupciones y también se va realizar un mapeado de la zona con el software proporcionado por la empresa *Mobile Industrial Robots ApS*. Este mapeado permitirá al MIR desplazarse con seguridad de un lugar a otro esquivando objetos estáticos y delimitándole zonas de movimiento seguras donde se reduzca la presencia de objetos dinámicos.

Capítulo 7

Este capítulo va a consistir en la programación del robot para permitir que realice la transferencia de piezas de forma exitosa sin la necesidad de la intervención de nadie.

Capítulo 8

El objeto de este capítulo es analizar la viabilidad de los tiempos de ciclo del MIR.

Capítulo 9

En este capítulo se estudiará la viabilidad económica del MIR en la empresa

Capítulo 10

En el capítulo final se van a estudiar las posibles mejoras de este sistema de transporte de piezas.

Capítulo 11

Se extraerán las conclusiones de todo el proyecto

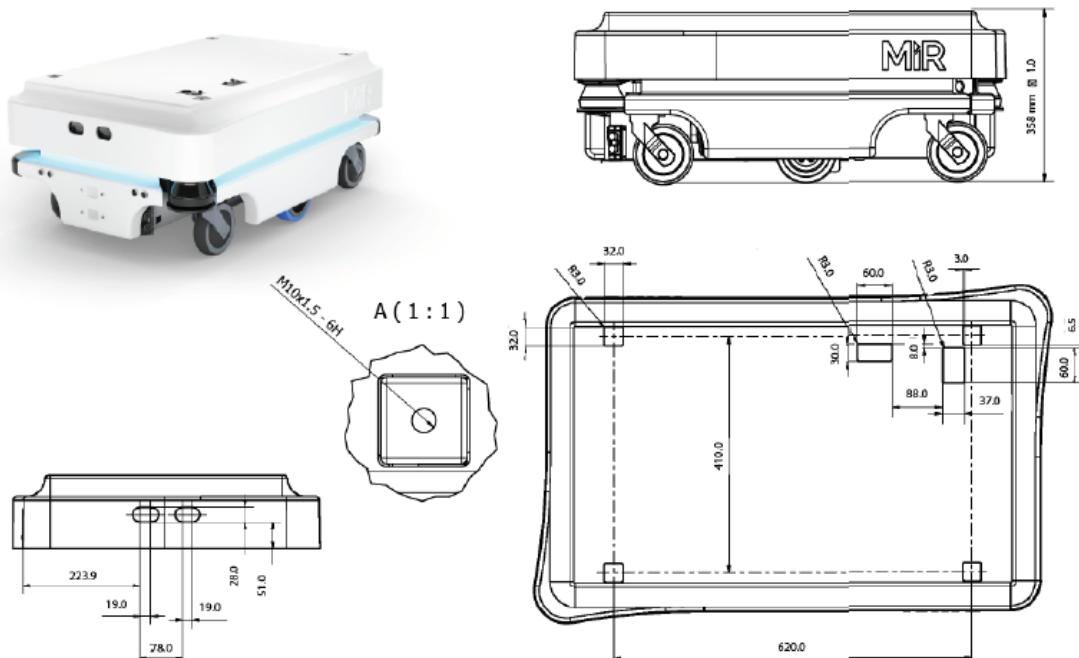
2: Diseño de la estructura portante de la cinta transportadora sobre el robot MIR 100

2.1 Introducción.

Para el desarrollo de este proyecto es necesario crear desde cero una estructura para anclarla al MIR y que sea capaz de sostener la cinta transportadora que recogerá las piezas de la cinta transportadora de la inyectora. El parámetro más crítico en el diseño de esta estructura es la altura final a la que quedará la cinta transportadora del MIR. Este parámetro está condicionado tanto por el diseño de la mesa donde se descargarán las piezas como por la cinta transportadora de la inyectora. Esta última tiene la altura fijada y no puede ser modificada debido a que se tendría que reprogramar el robot *sepro*. Así pues, la altura final a la que quedará la cinta del MIR dependerá del diseño de la mesa de descarga que se verá en el capítulo 3.

El MIR dispone de cuatro orificios de sección cuadrada de 30mm de lado en su parte superior, desde los cuales se empieza a diseñar la estructura que soportará la cinta transportadora. Inicialmente el MIR ya disponía de una estructura de soporte, pero no pudo ser reutilizada para este proyecto, por lo que se guardó y se creó otra nueva, sin embargo, las cuatro patas que se anclan en el MIR si se reaprovecharon para la nueva estructura.

En el anexo 1 se pueden encontrar las características técnicas del MIR, de la cinta transportadora y de los perfiles Bosch Rexroth.



(Figura 2.1: Planos del MIR)

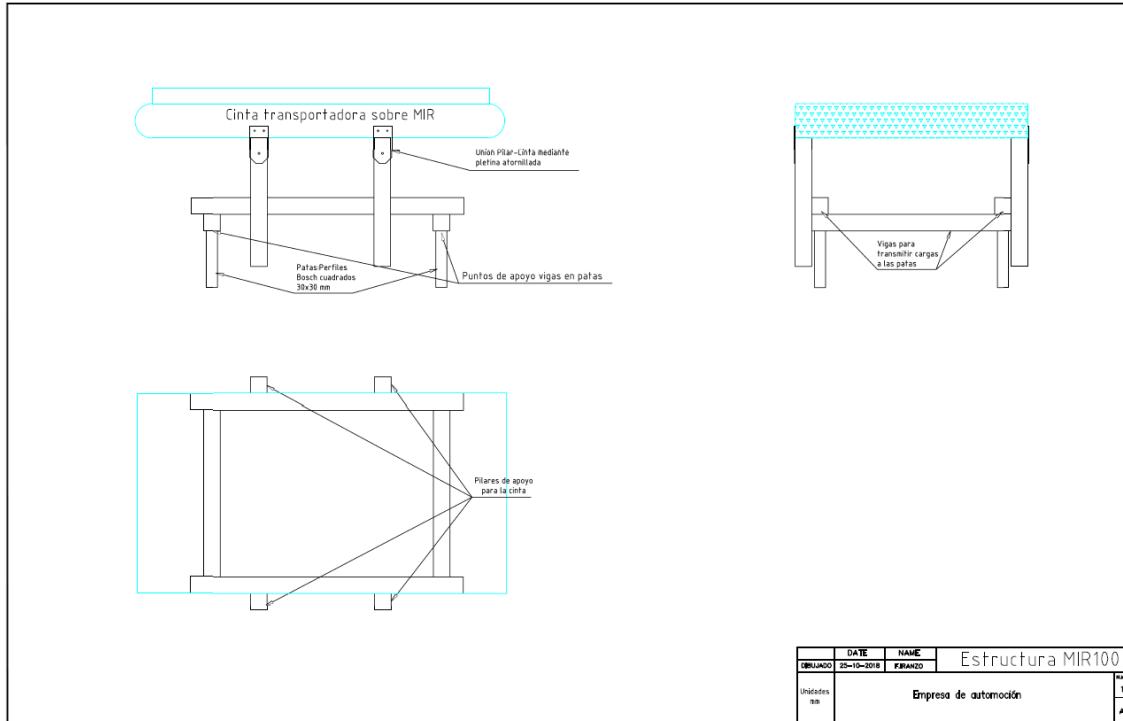
En la siguiente figura se puede observar como resultó el montaje definitivo con la estructura portante y la cinta transportadora, a continuación, y en el anexo 2 se van a detallar los detalles del diseño, así como la justificación de porque se hizo así.



(Figura 2.2: Montaje del MIR + estructura portante + cinta transportadora)

2.2 Diseño.

Durante el proceso de diseño se han tenido en cuenta varios aspectos, entre ellos los materiales a utilizar, la regulación de la altura, la sujeción de esos materiales y el peso final de forma que el resultado final de la estructura es el siguiente:



(Figura 2.3: Esquema de la estructura con la cinta transportadora)

Desde esos cuatro orificios en la parte superior del MIR se elevan cuatro perfiles de aluminio Bosch Rexroth de 153mm de altura y sección cuadrada de lado 30mm. A partir de estos perfiles se colocan perfiles Bosch de sección cuadrada de lado 45mm superpuestos para soportar el peso de la cinta, además la unión entre estos perfiles se realiza con escuadras atornilladas a los perfiles, y se han colocado dos escuadras entre cada pilar y viga, y una sola escuadra entre las vigas, de forma que cada tornillo soporte el menor peso posible de la cinta.

En el anexo 2 se encuentran los planos necesarios de este capítulo.

2.2.1 Materiales de fabricación.

Para la fabricación de la estructura se ha decidido emplear perfiles Bosch Rexroth de aluminio de sección cuadrada de 45mm de lado y la elección de este material se ha debido a que presentan las siguientes ventajas respecto a una fabricación más artesanal con procesos de soldadura y mecanizado:

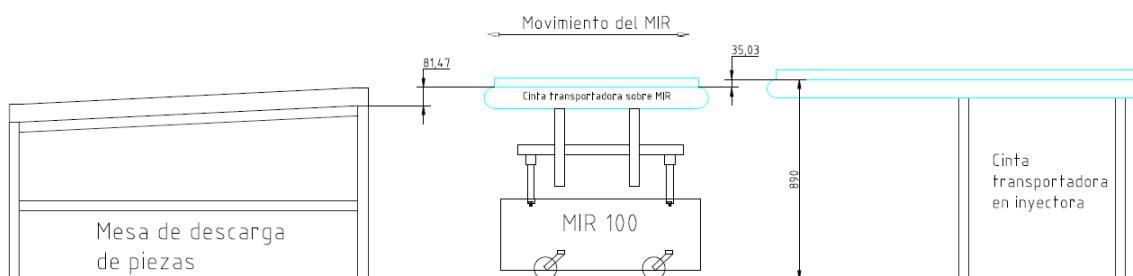
- Disponibilidad casi ilimitada de perfiles Bosch Rexroth en la empresa.
- Múltiples posibilidades de montaje.
- Resistencia y calidad de los materiales.

- Sencillez y rapidez a la hora del montaje.
- Ligereza de los materiales.

Por otra parte, la utilización de estos perfiles tiene un inconveniente, y se trata del coste de los materiales. Son perfiles de muy alta calidad y con una gran reputación en la industria, sin embargo, el sobrecoste respecto a otros sistemas merece la pena en esta situación.

2.2.2 Regulación de altura.

Para favorecer una buena transición de piezas desde la cinta transportadora de la inyectora a la cinta del MIR, y de esta a la mesa de descarga se han establecido unos saltos de nivel de 35mm y 81,5 mm respectivamente. En la siguiente figura se aprecian estos saltos



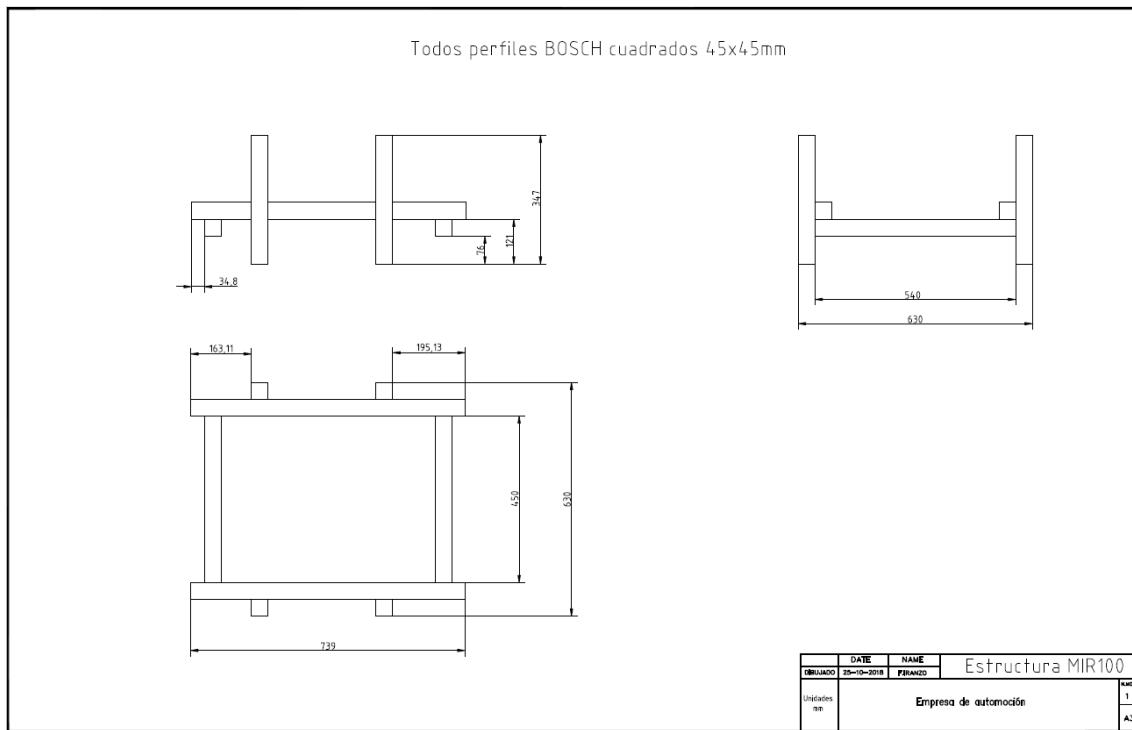
(Figura 2.4: Esquema con mesa de descarga, MIR+cinta y cinta transportadora en inyectora)

Sin embargo, estos saltos de nivel solo son válidos para esta aplicación en concreto, y por ese motivo se ha diseñado la estructura con regulación de altura para poder adaptar la altura final de la cinta de acuerdo a la situación requerida. Se ha diseñado la estructura con dos sistemas de regulación de altura:

- Regulación de altura de la propia estructura: La estructura cuenta con cuatro pilares a los que se acopla la cinta, que quedará enrasada por el exterior con los cuatro pilares. Estos pilares van atornillados mediante escuadras con las vigas de forma que si se desea regular la altura tan solo hay que aflojar los tornillos de las escuadras y mover los pilares. Con este diseño se permite obtener una altura final variable en la superficie de la cinta entre 798 mm y 951 mm siendo la altura deseada para este proyecto 855 mm.
- Regulación de altura de la cinta respecto a la estructura: Además de la regulación de la estructura, también se puede variar la altura ligeramente con las pletinas que sujetan la cinta transportadora a los pilares de la estructura. Las pletinas se atornillan a dos railes de la cinta y al rail que tienen los pilares, así se puede subir o bajar las pletinas ligeramente.



El motivo de desear ajustar la altura final de la cinta del MIR es que podría darse el caso en un futuro que el MIR tenga que atender otra inyectora en la que su cinta transportadora no esté a la misma altura, o incluso que no exista tal cinta transportadora y el robot *sepro* deposite las piezas directamente sobre la cinta del MIR, por lo que poder variar la altura final es fundamental.



(Figura 2.6: Plano para fabricación de estructura portante sin patas)

2.2.3 Limitación del peso final.

Debido a las limitaciones del MIR, este puede llevar una carga máxima de 100 kg, y además se sabe que la cinta transportadora junto con el motor y el driver del motor tiene un peso total menor de 100 kg, pero no se sabe el peso exacto del conjunto completo. Debido esta incertidumbre, el peso total de la estructura debe ser lo más ligero posible ya que no se sabe el margen hasta los 100 kg. A continuación, se detallan todos los perfiles usados con sus dimensiones y pesos:

- Perfiles 30x30:

- $4ud \times 0,9 \frac{kg}{m} \times 0,173 \frac{m}{ud} = 0,623kg$

- Perfiles 45x45:

- $4ud \times 1,6 \frac{kg}{m} \times 0,347 \frac{m}{ud} = 2,22kg$
 - $2ud \times 1,6 \frac{kg}{m} \times 0,739 \frac{m}{ud} = 2,36kg$
 - $2ud \times 1,6 \frac{kg}{m} \times 0,540 \frac{m}{ud} = 1,73kg$

- Peso aproximado de pletinas, tornillos y escuadras = 2kg

De forma que el peso total de la estructura asciende a 8,93 kg

En el anexo 1 se encuentran las características de los perfiles Bosch Rexroth.

3: Diseño de la mesa de descarga de piezas para el robot MIR 100

3.1 Introducción.

El proceso de transferencia de las piezas desde la inyectora hasta la célula de montaje implica diseñar una mesa para que el MIR pueda descargar las piezas de forma segura.

La mesa tiene dos funciones, la primera es que el robot pueda descargar las piezas a la altura deseada y la otra es que en el otro extremo el operario pueda recoger las piezas para realizar el ciclo de soldadura. Por tanto, es de vital importancia diseñar la altura de los dos extremos acorde a los requisitos.



(Figura 3.1 Vista lateral de la mesa de descarga de piezas)

3.2 Diseño.

La mesa tiene una pequeña inclinación para que las piezas fluyan lo máximo posible desde el extremo de descarga hasta el extremo del operario, por tanto, durante el diseño de la estructura de la mesa se trató de hacer el extremo de descarga de piezas lo más alto posible para dar la máxima inclinación posible a la mesa y que la altura a la que el operario tiene que recoger las piezas no quede muy baja y así no se tenga que agachar cada vez que recoge una pieza.

La altura de descarga está limitada por las dos cintas transportadoras, la de la inyectora que está a una altura de 890mm y la del MIR que está a 855mm del suelo, por tanto, se le ha asignado una altura al extremo de descarga 773,5mm del suelo. Con esta altura ya definida se establece que la altura de la mesa en el extremo sea 700mm y así evitar que

el operario se agache a recoger las piezas, de forma que queda finalmente una inclinación de 3 grados.

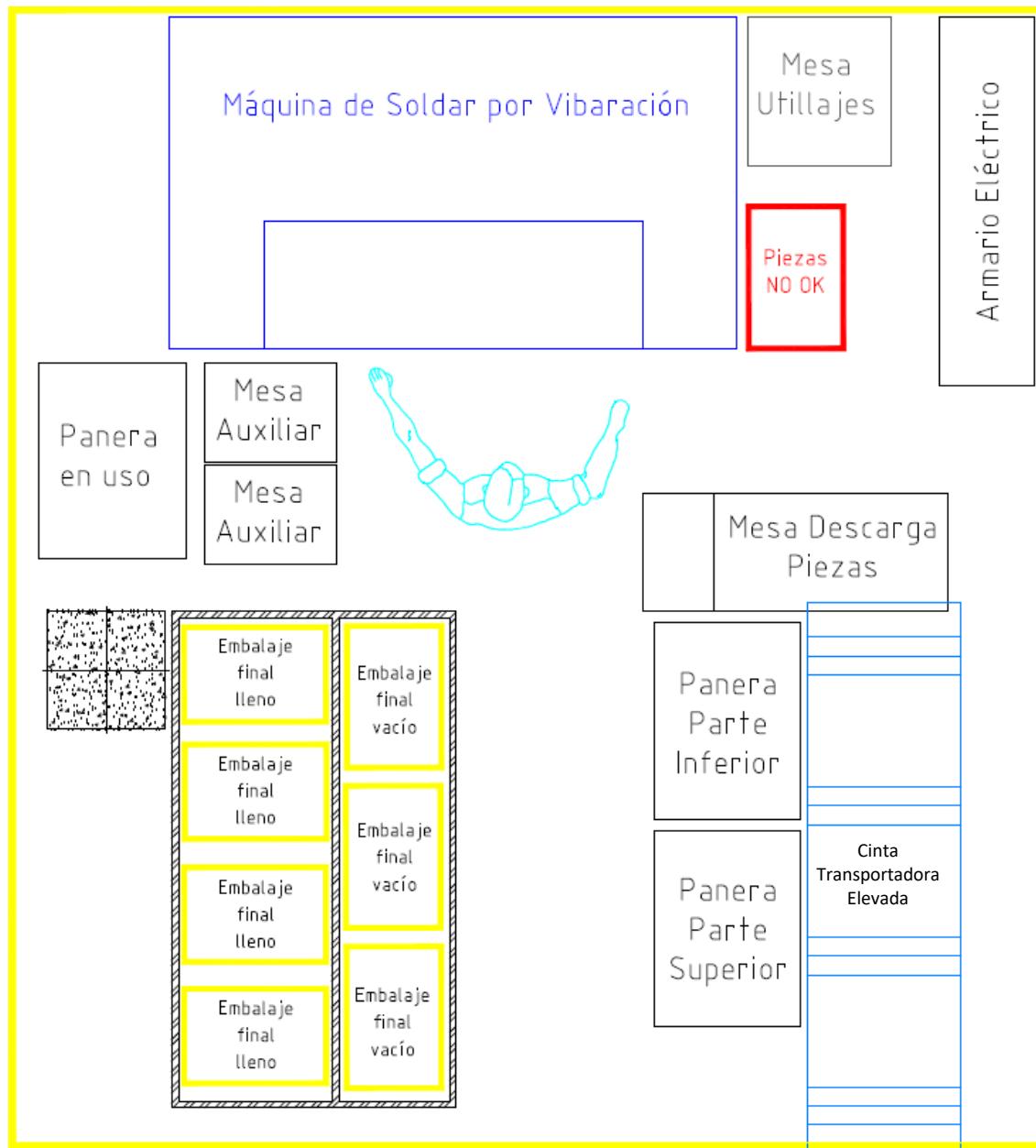
Inicialmente se planteó una mesa igual que la final, pero con una longitud de 2 metros, sin embargo, esta longitud suponía tener un buffer de piezas demasiado grande en la mesa, y como la inclinación de la mesa es muy baja las piezas tardarían mucho en avanzar hasta el operario ya que las piezas se mueven gracias al empuje de la última pieza descargada en la mesa. Finalmente se estableció una longitud de 1,6 metros y así poder almacenar un buffer de aproximadamente 5 piezas completas, que al estar compuesta cada pieza por 2 partes equivale a 10 partes en la mesa.

En el anexo 3 se aportan los planos de la mesa.

4: Layout de la célula de montaje

4.1 Introducción

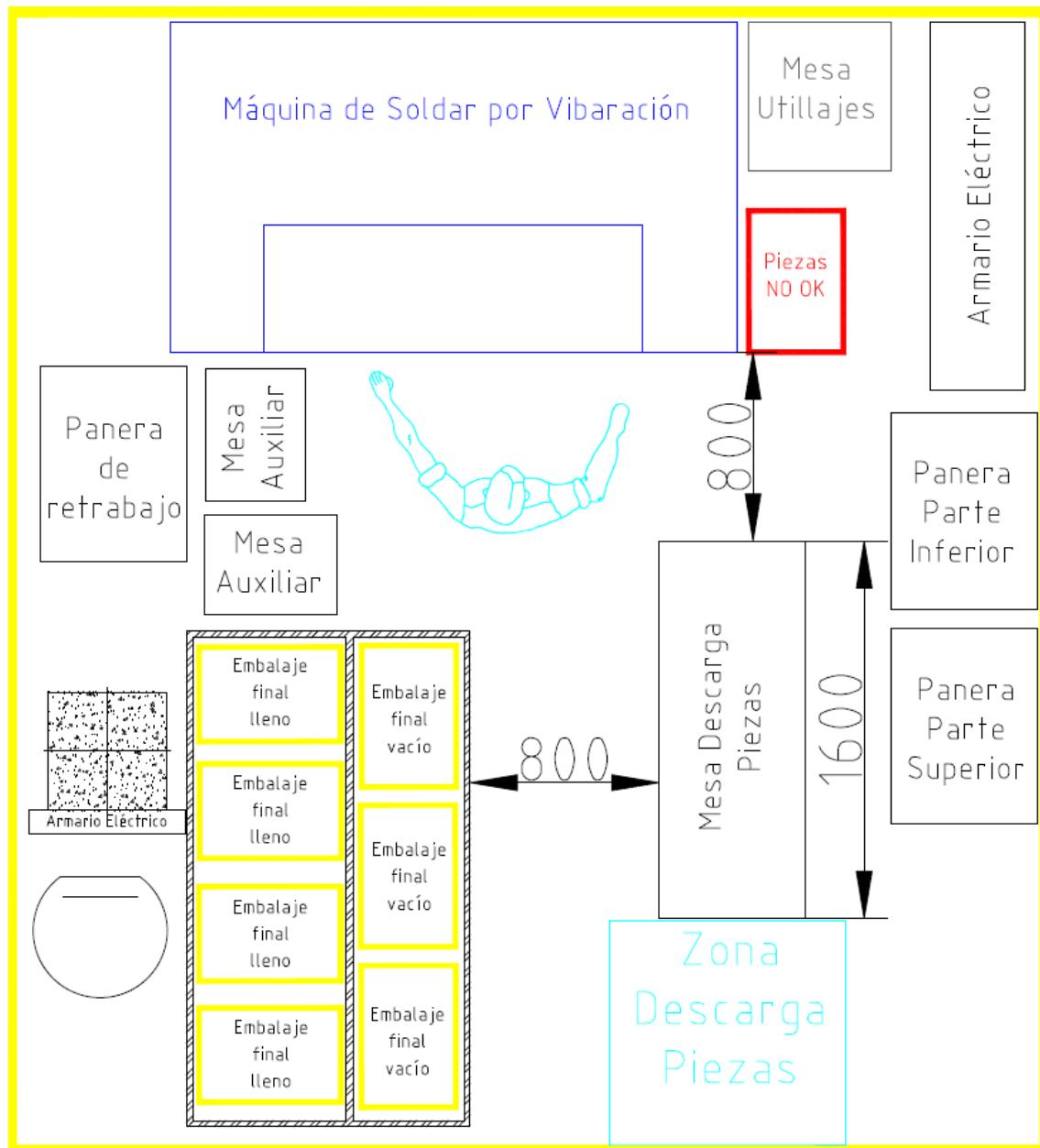
El layout previo al proyecto estaba pensado para transportar las piezas desde la inyectora a la célula por la cinta transportadora elevada, y para el nuevo layout se han reaprovechado todos los elementos a excepción de la cinta transportadora elevada y la mesa en la que descargaba las piezas.



(Figura 4.1 Layout previo célula)

4.2 Rediseño del layout

Al disponer de un espacio limitado resulta imprescindible diseñar tanto la mesa de descarga de piezas como su ubicación para que quede dentro de los límites establecidos para la célula. Además, hay que colocar la mesa de tal forma que no reduzca el tiempo de ciclo del proceso de soldadura y embalaje y que permita al robot entrar dentro de la célula y descargar las piezas en la mesa.



(Figura 4.2 Layout final de la célula)

En el anexo 4 se puede encontrar la distribución en planta de la célula de montaje y de la inyectora.

5: Conexionado del PLC con el driver del motor de la cinta transportadora.

5.1 Introducción.

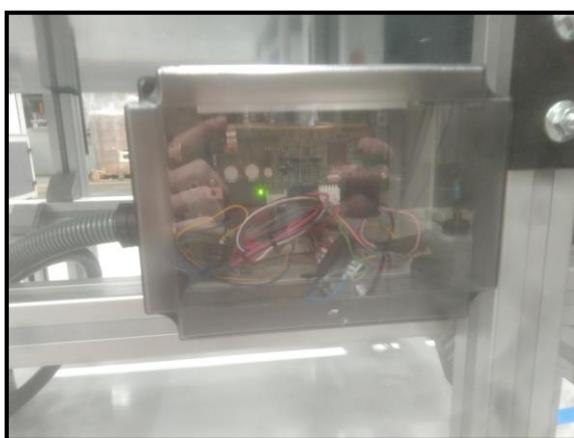
Para desarrollar correctamente este proyecto es necesario comunicar correctamente el MIR con su cinta transportadora de forma robusta para evitar fallos durante su funcionamiento.

Con este objetivo se recurrió a la opción de utilizar un PLC WAGO 750-8102 para comunicar el MIR con el driver suministrado que controla el motor de la cinta transportadora. Se optó por este PLC por que la empresa suministraba el PLC programado como una pasarela de comunicación entre Registros de entrada/salida del MIR a Inputs y Outputs digitales del WAGO.

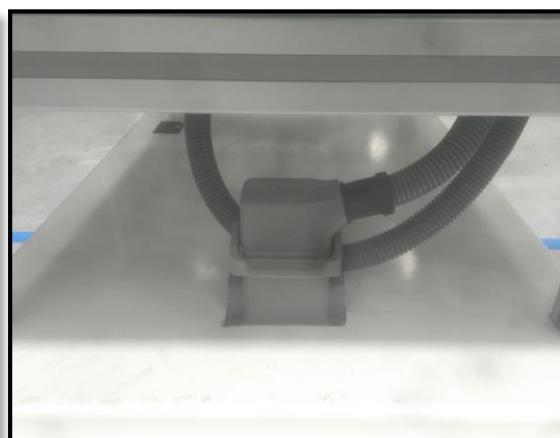
5.2 Instalación PLC-Driver.

El driver del motor de la cinta transportadora cuenta con las entradas START/STOP, RUN/BRAKE, CW/CCW, INT.VR/EXT, ALARM-RESET, y las salidas son SPEED y ALARM. Estas entradas son las salidas de nuestro PLC, y las salidas del driver son las entradas de nuestro PLC, de las que solo utilizaremos ALARM para poder rearmar automáticamente el motor de la cinta si sufre alguna parada de emergencia. El funcionamiento detallado del motor con las señales E/S se detallan en el anexo 5.

Para hacer una instalación robusta del sistema se hizo el conexionado mediante un conector Harting de manera que se facilita el desmontaje de la cinta y su estructura, además, en caso que en un futuro se diseñasen nuevas estructuras o utillajes, se simplifica y agiliza la operación de cambio de útil según el SMED. El PLC se instaló en el interior del MIR llevando todas sus salidas al conector Harting, y el driver del motor, del que se llevaron sus entradas al conector Harting, se instaló en la estructura portante de la cinta dentro de una caja para protegerlo.



(Figura 5.1 Caja de protección del driver)



(Figura 5.2 Detalle del conector Harting)

6: Adaptación de la superficie de trabajo y mapeado de la zona

6.1 Introducción

Este capítulo aborda la adaptación de la superficie de trabajo donde el MIR se va a desplazar, así como el mapeado con el software de la empresa para el correcto desarrollo de las funciones del MIR.

El MIR es un robot autónomo que se orienta en el mapa creado con 2 escáneres láser SICK S300 siendo capaz de detectar objetos fijos y móviles. Además de los escáneres láser, utiliza una cámara 3D para detectar objetos en altura en el rango de 50-500mm.

Con la combinación de los escáneres y la cámara 3D el robot se orienta y se guía entre los puntos asignados o por los caminos establecidos como se verá más adelante.

6.2 Adaptación de la superficie de trabajo

Una de las ventajas del robot es su capacidad de esquivar objetos dinámicos, sin embargo, la velocidad máxima del MIR es 1,5 m/s reduciéndose considerablemente cuando se aproxima a puntos críticos como al encararse con la cinta transportadora para recoger las piezas.

6.2.1 Modificación del suelo de la planta

Esto implica que se necesita eliminar todos los posibles objetos dinámicos en su trayectoria para evitar alargar el tiempo de ciclo. El principal objeto dinámico que le supondrá pérdida de tiempo de ciclo son los trenes que circulan por el pasillo que separa la inyectora de la célula de montaje. Para evitar que los trenes paren en medio bloqueando la trayectoria directa del MIR, se han establecido dos zonas de parada en ambos sentidos para que los trenes que paren a recoger o depositar embalajes en los montajes adyacentes no bloquen la trayectoria del MIR y así tener siempre una zona libre que solo se verá bloqueada cuando la cruce el tren. En el anexo 4 se puede observar el layout con las zonas de parada y la zona libre de circulación.

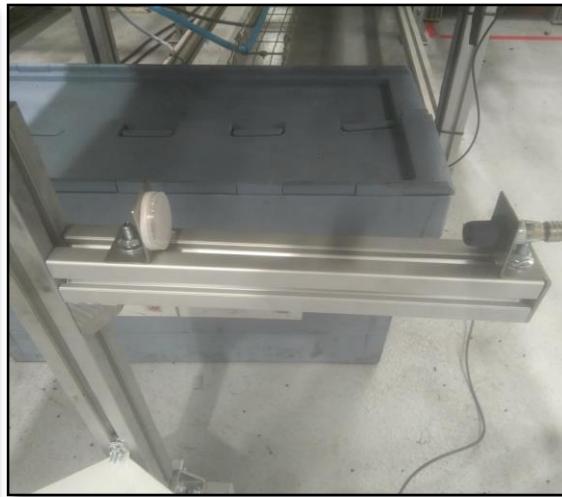
6.2.2 Sensores y marcadores para ubicar el MIR

Uno de los requisitos del proyecto es que el MIR sea capaz de recoger y descargar las piezas correctamente y para ello el MIR se tiene que encarar con la cinta transportadora de la inyectora y con la mesa de descarga de piezas. El MIR es capaz de ir siempre a un punto asignado en el mapa, pero a la hora de anclarse en ese punto con las coordenadas asignadas puede fallar con un error de hasta 10cm respecto a la posición fijada. Esto se debe a que el robot se ubica y fija su posición con los escáneres comparando su posición respecto a los objetos estáticos del mapa, de manera que si algún objeto de la zona se ha movido ligeramente desde el momento en el que se realizó el mapeado no conseguirá fijar correctamente su posición y las piezas se caerán al suelo.

Para evitar esta situación existe la posibilidad de ponerle al robot unos triángulos llamados V-marker, que el robot utiliza como posicionadores y así evitar fijar la posición por coordenadas según el mapa. Con este sistema el MIR va hasta el marcador guiándose según el mapa y las coordenadas del punto, pero cuando tiene que realizar en anclaje en la posición final, el robot utiliza los escáneres para encararse con las V-marker y de esta forma el mapa y las coordenadas no le afectan para el anclaje final.



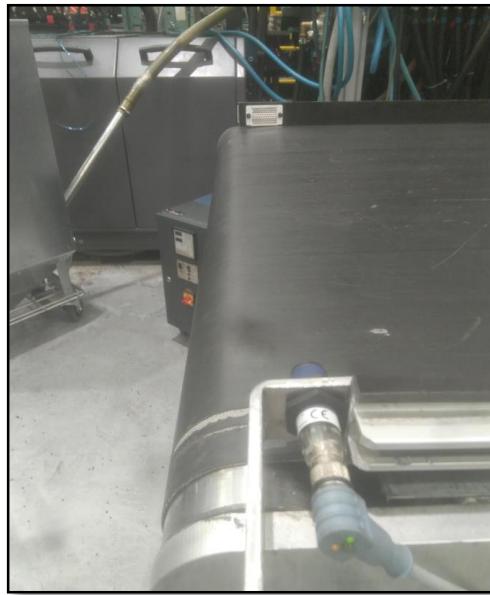
(Figura 6.1 V-marker en cinta)



(Figura 6.2 Fotocélula de activación)

El marcador en V se posiciona debajo de la cinta transportadora de la inyectora 2 y junto con la estructura portante del marcador se instaló una fotocélula conectada al PLC de la inyectora que gestiona su cinta transportadora. El objetivo de esta fotocélula (*figura 6.2*) es que detecte al MIR cuando esté en la posición de carga de piezas para darle la señal al PLC y arrancar la cinta transportadora de la inyectora.

Este sensor trabaja junto a otra fotocélula (*figura 6.3*) situada al final de la cinta transportadora cuya función es doble, primero parar la cinta transportadora cuando una pieza llegue al final de la cinta para evitar que se caiga, y, por otro lado, cuando ambos sensores estén activados, dará la señal al PLC para mover la cinta un determinado tiempo y así traspasar las piezas de la cinta de la inyectora a la cinta del MIR.



(Figura 6.3 Fotocélula de parada y marcha)

De igual forma que se ha puesto un marcador en V en la cinta transportadora, se ha colocado otro igual en la mesa de descarga de piezas para asegurar la posición, pero en este caso no necesita ningún sensor. El proceso de carga y descarga de la cinta transportadora del MIR va asociado a la posición con un temporizador.



(Figura 6.4 V-marker en mesa de descarga)

Según el layout del anexo 4, la mesa de descarga se sitúa un metro por detrás de la línea amarilla del pasillo, pero la máquina de soldar que se está usando actualmente es más grande que la definitiva, y por tanto la mesa queda alineada temporalmente con el pasillo hasta la llegada de la máquina de soldar definitiva.

6.3 Mapeado de la zona de trabajo

La empresa *Mobile Industrial Robots ApS* proporciona un software de mapeado muy sencillo e intuitivo de usar, con el que tan solo es necesario guiar al MIR por la zona de trabajo manualmente y este va registrando los objetos.

Una vez realizado el mapeado de la zona se requiere asignar las posiciones de los marcadores en V, así como del cargador y asignar zonas especiales de transito del robot.

En el anexo 6 se especifica el proceso de mapeado.

7: Programación del MIR

7.1 Introducción

Para realizar la programación del MIR se ha utilizado el software de la empresa *Mobile Industrial Robots ApS*, el mismo que para el mapeado. Se trata de una interfaz visual con las órdenes predefinidas por bloques.

El objetivo de la programación es conseguir que el MIR realice un trayecto lo más rápido posible y evitando colisiones.

7.2 Proceso de programación

La programación se ha realizado como un bucle infinito en el que el MIR va a buscar las piezas a la inyectora, las recoge mediante un temporizador moviendo su cinta transportadora, va a la mesa de descarga y con un temporizador descarga las piezas.

En el anexo 7 se explica detalladamente el proceso de programación, de forma que al final se consiguió un proceso estable con capacidad de resolver problemas por sí solo, a excepción de una colisión, en ese caso alguien debe ir a rearmar manualmente al MIR para poder continuar con su trayectoria.

8: Viabilidad de tiempos de ciclo del MIR

8.1 Introducción.

Un requisito fundamental en este proyecto es que el MIR sea capaz de llegar al tiempo de ciclo de la inyectora. Aunque este proyecto simule y sirva como un plan de contingencia y se asuman posibles ineficiencias respecto a la fabricación en serie, el objetivo es que el MIR sea capaz de llegar al tiempo de ciclo y no tener que alterar el ciclo de inyección.

Si el MIR no fuese capaz de llegar al tiempo de ciclo la inyectora se pararía y si el tiempo de parada de la inyectora fuese muy largo, se tendrían que tirar las tres primeras inyectadas después de cada parada larga para evitar defectos por material degradado, aumentando considerablemente los desechos.

8.2 Tiempos de ciclo del MIR y de la inyectora.

La inyectora tiene un molde de 2 cavidades, por lo que en cada inyectada saca 2 piezas completas, compuesta cada pieza por 2 partes, superior e inferior, en total 4 partes.

El tiempo de ciclo de inyección es de 52 segundos, por lo tanto, el MIR tiene que hacer el ciclo completo de carga y descarga en 52 segundos. Sin embargo, el MIR no consiguió llegar al tiempo ciclo por problemas de velocidad, anclajes y tiempos de carga y descarga.

Después de varias pruebas se consiguió llegar a un tiempo de ciclo completo de 110 segundos y se decidió que el MIR cargase 2 inyectadas, es decir, 4 piezas completas. De esta forma se subió el tiempo de ciclo de la inyectora de 52 a 55 segundos para conseguir hacer todo en continuo sin paradas. Este aumento del tiempo de ciclo supone una ineficiencia del 5,7 % respecto a la producción en serie. En el anexo 8 se puede ver el video de un ciclo completo y el análisis del ciclo completo.

La programación de la inyectora para controlar el robot SEPRO, la inyectora y la cinta transportadora de la inyectora la realizaron los técnicos de inyección de la empresa.

9: Viabilidad económica del MIR

9.1 Introducción.

Este capítulo tratará de analizar la viabilidad económica del MIR para desvelar si este sistema merece la pena respecto a la situación de partida.

9.2 Viabilidad económica del MIR.

El plan de contingencia que simula este proyecto se haría normalmente con 2 operarios, uno soldando piezas y el otro llevando piezas de la inyectora a la célula de montaje. Si el proceso no requiriera hacer una soldadura en caliente, podría estar un solo operario cargando piezas en lotes y soldándolas posteriormente, con la consiguiente pérdida de tiempo.

Según el convenio de la empresa, un operario base tiene un sueldo de 14796€ brutos anuales lo que a la empresa le supone un coste total aproximado de 21600€ anuales, mientras que el MIR con sus accesorios tiene un coste único de 32500€.

	Operario	MIR
Coste	21600€/año	32500€
Tiempo de ciclo	52 segundos	55 segundos
Eficiencia	100%	94,3%
Recuperación de la inversión	-	1 año y 10 meses

(Tabla 9.1 Comparación Operario vs MIR)

Estos datos arrojan que tener un operario trabajando es más barato y como se ha visto en el capítulo anterior, es más eficiente debido a que no es necesario subir el tiempo de ciclo de la inyectora. Sin embargo, el MIR tan solo requiere realizar la inversión de 32500€ una sola vez, y el operario es una inversión cada año de 21600€, y además el MIR no requiere mantenimiento más allá de limpieza o sustituir los neumáticos si se estropean, lo que es un gasto mínimo en comparación con la inversión inicial.

Es cierto que con los medios disponibles para este proyecto y con el tipo de proceso en el que se ha realizado la automatización del transporte, se ha obtenido una eficiencia del 94,3% respecto al trabajo del operario transportando piezas. Con las mejoras que se comentan en el capítulo 10 se podría llegar al 100% de eficiencia.

Situándonos en este caso, con una eficiencia del 94,3% se puede calcular el tiempo que se tarda en recuperar la inversión en comparación con lo que cuesta tener un operario dedicado al transporte de piezas.

Cada año que pasa al operario hay que seguir pagando 21600€ mientras que el MIR requiere la inversión una única vez, y contando con la ineficiencia del MIR (5,7%) se puede calcular ese tiempo:

$$\text{Coste operario} = 21600\text{€} \cdot X_{años}$$

$$\text{Coste 1 MIR} = 32500\text{€} + 3551,5 \cdot X_{años} = 36051,5\text{€}$$

El extra de 3551,5 corresponde al dinero anual perdido debido a la ineficiencia del 5,7%.

Dinero perdido en 1 año debido al 5,7% de ineficiencia=

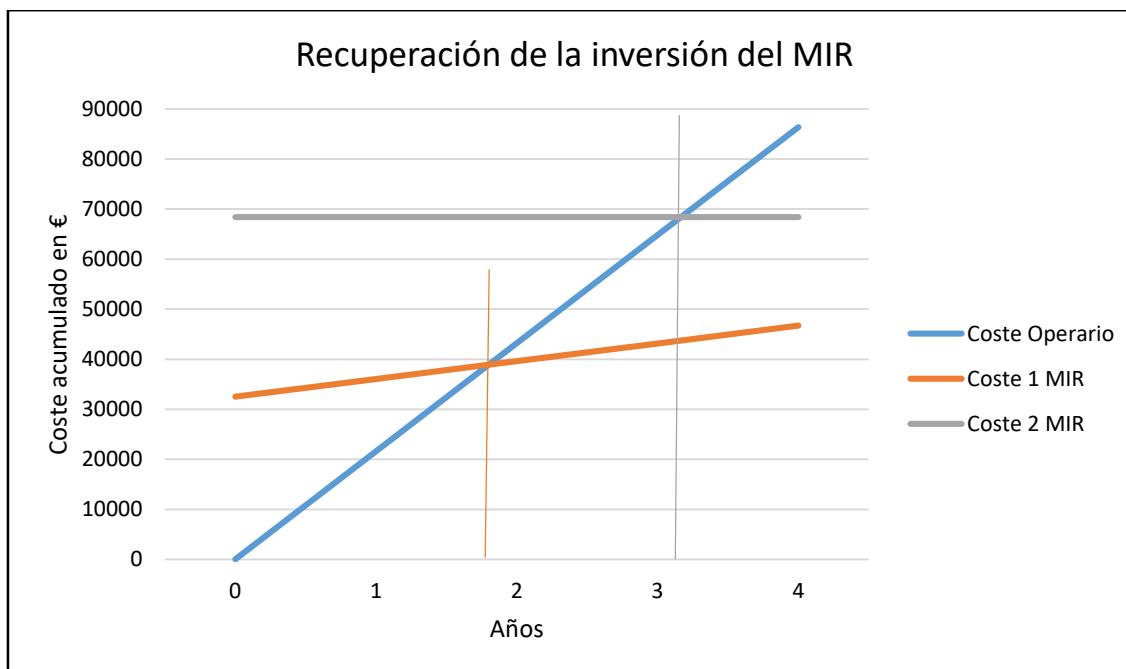
$$0,3 \frac{\text{€ de beneficio}}{\text{pieza}} \cdot 69 \frac{\text{piezas}}{\text{hora}} \cdot 14 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 250 \text{ días laborables} \cdot 0,86 \cdot 0,057 = 3551,5\text{€}$$

Sabiendo que la pieza producida aporta unos beneficios de 0,3€ por unidad vendida, que la inyectora puede fabricar 69 piezas a la hora con un rendimiento medio del 86% y que se trabajan 2 turnos de 8 horas al día descontando 1 hora en cada turno por descansos durante 250 días laborales, un 5,7% de ineficiencia suponen 3551,5€ de pérdidas al año. Por tanto, cada año que pasa se pierden 3551,5€.

Si se tiene que realizar la inversión de 2 robots MIR100 para poder abastecer a más de 1 turno de forma continuada y se realizan las mejoras necesarias para aumentar la eficiencia del MIR al 100%, como se explica en el próximo capítulo, el coste sería el siguiente:

$$\text{Coste 2 MIR} = 32500\text{€} \cdot 2 + 3400\text{€} = 68400\text{€}$$

El extra de 3400€ corresponde a sustituir la mesa de descarga por una cinta transportadora.



(Grafico 9.2 Grafico de recuperación de la inversión)

Como se puede ver en el grafico 9.2, la inversión de 1 MIR va acumulando cada año 3551,5€ debido a la ineficiencia, mientras que la inversión de 2 robots MIR100 se mantiene constante porque puede alcanzar el 100% de eficiencia.

Por tanto, resulta que en 1 año y 10 meses se recupera la inversión de 1 MIR, y si se compran 2 MIR y se realizan las mejoras, se recupera en 3 años y 2 meses.

En definitiva, implantando este sistema en varios proyectos y en más sistemas de transporte que se verán en el siguiente capítulo, a medio y largo plazo es más económico el uso del MIR.

10: Posibles mejoras del sistema de transporte y futuras aplicaciones en la empresa

10.1 Introducción

Este sistema de transporte autónomo de piezas es una novedad en esta empresa de automoción y durante el desarrollo del proyecto se observaron ciertas limitaciones del MIR para realizar el proceso.

10.2 Limitaciones del MIR y mejoras necesarias

A continuación, se detallan las limitaciones y problemas asociados al MIR y sus mejoras futuras:

- **Problemas de alineamiento:** El principal problema de este robot es la falta de precisión durante el alineamiento. La fase de anclaje a la posición de carga y descarga mediante coordenadas tiene diferencias de posición de hasta 10cm de un ciclo a otro. Es el método más rápido de anclaje, pero el menos preciso y esta baja precisión impide usar este método.

La siguiente opción de anclaje es la utilización de las V-marker, que son unos marcadores que el MIR utiliza para anclarse en una posición determinada. Este sistema es más preciso que la utilización de coordenadas, sin embargo, tarda más tiempo en realizar en anclaje, y aun utilizando este método, el MIR en algunos ciclos puede fallar en el anclaje.

Por ultimo existe otra opción de anclaje con otro marcador diferente, que es realmente preciso y el robot no falla nunca en el anclaje, pero el tiempo empleado por el MIR para anclarse es demasiado largo, en torno a 15 segundos, inviable en este proyecto.

La conclusión de estas observaciones es que el mejor sistema de anclaje es el uso de las V-marker pese a no ser 100% preciso, y para compensar esa imprecisión la mejor solución sería elevar la altura de la cinta transportadora de la inyectora para que el MIR pudiese entrar por debajo de la cinta unos centímetros. De esta forma se podrían asumir esos pocos centímetros de error en el anclaje ya que las piezas caerían directamente en la cinta del MIR.

- **Problemas de duración de la batería:** La batería del MIR tiene una duración de 10h cargada al 100%, sin embargo, con el peso extra de la estructura de la cinta transportadora, la propia cinta transportadora y el consumo de la cinta durante su funcionamiento, la duración de la batería cargada al 100% se reduce aproximadamente a 7 horas. Esta reducción implica que el MIR no podía completar un turno completo de fabricación con la duración de una carga completa y menos aún varios turnos seguidos.

La empresa desarrolladora del MIR proporciona una batería extra que se le puede añadir al MIR para aumentar la autonomía 4 horas con lo que podría funcionar durante un turno completo.

Para poder fabricar durante 2 o más turnos seguidos sería necesario comprar otro MIR100 más para relevarse con el actual entre turnos.

- **Tamaño de la cinta transportadora del MIR:** La empresa en la que se realizó este proyecto ya disponía de una cinta transportadora pequeña que es la que se ha utilizado para montarla encima del MIR. La escasa longitud de la cinta transportadora del MIR, junto con el tamaño de las piezas de inyección hacen que las 4 piezas completas que se tienen que traspasar de la cinta transportadora de la inyectora a la del MIR quepan muy justas, lo que supuso que, en algún ciclo si las piezas conforme se iban traspasando tropezaban o se quedaban cruzadas, no cupiesen en la cinta y alguna se caía al suelo.

La solución a este problema es tan sencilla como montar una cinta un poco más larga o emplear esta cinta para piezas más pequeñas de forma que quepan sin problema.

- **Problema de deslizamiento en mesa de descarga:** La mesa de descarga tiene que tener una altura determinada para que la persona que recoge las piezas no tenga que agacharse. Debido a esto la inclinación máxima que se le puede dar a la mesa no es muy elevada y las piezas no llegan hasta el operario hasta que son empujadas por otras piezas después de varios ciclos.

Para evitar este suceso sería conveniente sustituir la mesa de descarga por una cinta transportadora con un coste aproximado de 3400€, de forma que el procedimiento sería exactamente igual al de carga de piezas.

10.3 Futuras aplicaciones en la empresa y viabilidad económica

Este tipo de robots tienen una gran cantidad de aplicaciones en esta empresa como podría ser cualquier tarea en la que un operario tenga que transportar manualmente carros con piezas. La principal aplicación que se ha encontrado es la propuesta en este proyecto, realizar el transporte de piezas en continuo entre máquinas y células de montaje. Este transporte se puede hacer con cualquier tamaño de piezas y cualquier tiempo de ciclo, teniendo en cuenta que cuanto más grandes sean las piezas y más ajustado el tiempo de ciclo, mayor será la inversión ya que sería necesario instalar una cinta transportadora más grande y más cara, o incluso utilizar un segundo MIR100 si el primero no llega a tiempo. Podrían emplearse perfectamente dos MIR100 simultáneamente asignándole a cada MIR un camino único para evitar colisiones.

Otra aplicación muy útil y en la que el MIR sería de gran ayuda es en el transporte de largas distancias de contenedores de piezas, por ejemplo, durante la fabricación de piezas de semielaborado en una zona de la empresa que se acumulan en lotes y más tarde deben ir a las zonas de montajes lean donde se realiza el ensamblaje del producto final. El MIR podría recorrer la distancia en apenas 5 minutos, solicitar al operario que le enganche el contenedor con las piezas y transportarlas hasta la célula de montaje y descargarlas ahí para que el operario pueda continuar con el ensamblaje.

De la misma forma podría utilizarse para transportar el producto final terminado y embalado desde la célula de montaje hasta el almacén de expediciones.

Mas posibles aplicaciones tienen que ver con el día a día de los ingenieros de procesos, que a menudo pasan días enteros realizando pruebas en máquinas nuevas, procesos nuevos, etc. El MIR sería de gran ayuda trayendo materiales del almacén o llevándose las piezas terminadas al almacén final. Se puede enviar al MIR al almacén con una tablet donde indique la referencia y cantidad del material solicitado para que el personal del almacén lo deposite encima, confirme la carga y el MIR vuelva solo donde está el ingeniero haciendo pruebas.

Económicamente este proyecto supone una inversión de 32500€ contando el MIR100 con sus accesorios, la estructura de la cinta transportadora, la cinta transportadora y la mesa de descarga. Puede parecer una inversión elevada pero la gran flexibilidad y capacidad de este agv hace que la inversión se pueda amortizar rápido ya que podría trabajar continuamente para cualquier proyecto o en múltiples formatos de transporte de piezas.

11 Conclusiones

Este proyecto que ha supuesto una primera toma de contacto con la automatización del transporte de piezas ha arrojado argumentos positivos y negativos de este sistema, sin embargo, con una visión global de la situación este sistema de transporte es adecuado para la fabricación durante situaciones especiales como un plan de contingencia o un prototipo con series muy cortas, pero no es válido para sustituir los métodos actuales de fabricación en serie como puede ser una cinta transportadora elevada.

La principal ventaja de este robot y de este sistema es su flexibilidad, es capaz de adaptarse a casi cualquier producto modificando tan solo el tamaño de la cinta transportadora o su altura, y además se puede aprovechar el MIR para otras tareas de transporte, ya sea de piezas, contenedores, producto semielaborado, etc. Esta capacidad de adaptación a casi cualquier trabajo de transporte hace que la inversión realizada se amortice rápido ya que siempre puede estar trabajando y ahorrando tiempo y dinero. Esta adaptación no requiere mucho tiempo, cualquier proyecto de la empresa puede ser automatizado con este sistema en apenas unos días o una semana si se conoce el software y la respuesta del MIR a las órdenes ya que se puede tener toda la planta mapeada y con caminos preestablecidos para que el MIR dependiendo de que misión está ejecutando utilice unos caminos u otros.

En definitiva, este sistema es capaz de realizar la tarea de transporte que normalmente realiza una persona, agilizando el proceso y abaratando el coste del producto final. Donde antes estaban trabajando 2 operarios ahora puede estar 1 operario + el MIR.

El resultado final del proyecto ha sido satisfactorio, teniendo cuenta las mejoras necesarias comentadas previamente para el correcto desarrollo del sistema de transferencia de piezas.

Bibliografía

[1] Fabricación flexible

https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/233/mod_label/intro/fio_7_sff.pdf

[2] Lo esencial sobre sistema flexible de fabricación

López Moreno, M. J., **Sistema real de la empresa**. Editorial Copycom, Madrid, 1996.

Miranda González, F. J.; Rubio Lacoba, S.; Chamorro Mera, A. y Bañegil Palacios, T. M., **Manual de dirección de operaciones**. Editorial Thomson, 1^a edición, 3^a reimpresión, Madrid, 2008.

[3] Traspaso de cargas con MIR, 2016

<https://www.youtube.com/watch?v=PCjSu5zsfTI>

[4] Flexibility of Mobile Robots Supports Lean Manufacturing Initiatives and Continuous Optimizations of Internal Logistics at Honeywell

<https://www.mobile-industrial-robots.com/es/resources/case-studies/flexibility-of-mobile-robots-supports-lean-manufacturing-initiatives-and-continuous-optimizations-of-internal-logistics-at-honeywell/>

[5] Del almacén a la planta de producción: Johnson Controls-Hitachi consigue un importante aumento de la eficiencia con un robot MiR

<https://www.mobile-industrial-robots.com/es/resources/case-studies/from-warehouse-to-factory-floor-johnson-controls-hitachi-achieves-important-efficiency-increases-with-a-mir200-robot/>

Anexo 1: Características técnicas del MIR, de la cinta transportadora y los perfils Bosch Rexroth.

Anexo 1.1 Introducción

Este anexo contiene toda la información técnica relevante de las máquinas y materiales utilizados.

Anexo 1.2 Hoja técnica del MIR 100

MIR
MOBILE INDUSTRIAL ROBOTS

MIR100 Hoja técnica

MIR100 DE 2018 PAGE 1

Uso concebido	
Robot móvil colaborativo	para pequeñas tareas de transporte dentro de la industria, la logística y los centros de salud
Dimensiones	
Longitud	890 mm
Anchura	580 mm
Altura	352 mm
Altura sobre el suelo	50 mm
Peso (sin carga)	67 kg
Superficie de carga	600 x 800 mm
Color	
RAL 9010	Pure White
Capacidad de carga	
Capacidad de carga del robot	100 kg (Inclinación máxima del 5 %)
Capacidad de remolque	300 kg (véanse las especificaciones del MIRHook 100)
Velocidad y rendimiento	
Autonomía	10 horas o 20 km
Velocidad máxima	hacia delante: 1,5 m/s (5,4 km/h) / hacia atrás: 0,3 m/s (1 km/h)
Radio de giro	520 mm (alrededor del centro del robot)
Precisión de posicionamiento	+/-50 mm de la posición, +/-10 mm al marcador de anclaje
Tolerancia de separación y aproximación	20 mm
Alimentación	
Batería	Li-NMC, 24 V, 40 Ah; tiempo de carga: hasta 3 horas (0-80 %: 2 horas)
Cargador interno	Entrada: 100-230 VCA, 50-60 Hz / Salida: 24 V, máx. 15 A
Entorno	
Rango de temperatura ambiente	De +5 °C a 50 °C (humedad del 10-95 %, sin condensación)
Clase de protección IP	IP 20
Comunicación	
WiFi	AC/G/N/B Inalámbrico de doble banda
Bluetooth	4.0 LE, alcance: 10-20 m
E/S	USB y Ethernet
Sensores	
Escáneres láser de seguridad SICK S300 (frontal y trasero)	Protección visual de 360°
Cámara 3D Intel RealSense™	Detección previa de objetos desde 50-500 mm por encima del suelo
Escáneres de ultrasonidos (4 uds.)	Estado actual: En desarrollo. Aplicación: Detección de objetos transparentes.
Módulo superior	
Altura máx. desde el suelo hasta la parte superior	1800 mm
Centro de gravedad	Inferior a 900 mm por encima del suelo
	
Mobile Industrial Robots ApS Emil Neckelmann Vej 15F DK-5220 Odense SD	+45 20 377 577 mail@mir-robots.com www.mir-robots.com

Anexo 1.3 Características técnicas de la cinta transportadora

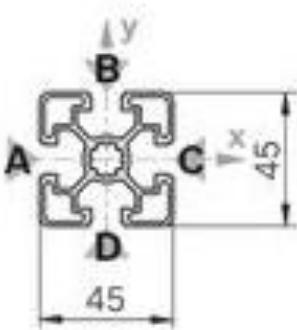
Por motivos de confidencialidad, la empresa *Transmisiones Industriales Camprodón S.L.* no permite distribuir sus hojas de especificaciones técnicas, así que aquí simplemente se muestran las características fundamentales de la cinta transportadora:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Bastidor	Aluminio Anodizado
Potencia Motor-Reducer	0,1 kW & 24V
Peso neto	100 kg
Carga máxima por metro lineal	< 20 kg
Longitud de banda	1000 mm
Ancho de banda	600 mm
Ancho total con motor	888 mm

Anexo 1.4 Características de los perfiles Bosch Rexroth

Perfiles cuadrados de 45 mm de lado:

Strut profile 45x45L

45x45L	
A =	6,0 cm ²
I _x =	11,7 cm ⁴
I _y =	11,7 cm ⁴
W _x =	5,2 cm ³
W _y =	5,2 cm ³
I _t =	1,46 cm ⁴
W _t =	0,75 cm ³
m =	1,6 kg/m
	
19421	

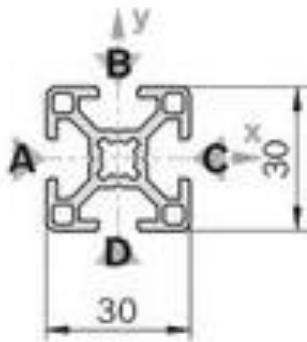
Perfiles cuadrados de 30 mm de lado:

Strut profile 30x30

30x30

$A = 3,1 \text{ cm}^2$
 $I_x = 2,8 \text{ cm}^4$
 $I_y = 2,8 \text{ cm}^4$
 $W_x = 1,8 \text{ cm}^3$
 $W_y = 1,8 \text{ cm}^3$
 $I_t = 0,29 \text{ cm}^4$
 $W_t = 0,33 \text{ cm}^3$
 $m = 0,9 \text{ kg/m}$

19378



Anexo 2: Detalles de la estructura portante de la cinta transportadora del MIR

Anexo 2.1 Introducción

Como se ha mencionado en el capítulo 2, sección 2.2, la estructura portante tiene la misión de soportar el peso de la cinta transportadora que lleva el MIR. Además, por restricciones en el diseño la altura está restringida a unos márgenes, pero es interesante contemplar la posibilidad de hacer una regulación en la altura final. De esta manera se ha diseñado la estructura con la posibilidad de ajustar la altura de forma sencilla aflojando unos pocos tornillos, pudiendo realizar dicho ajuste una sola persona con la ayuda de un apilador, gato hidráulico o puente grúa para bajar o subir la cinta transportadora cuando los tornillos que la sujetan estén aflojados.

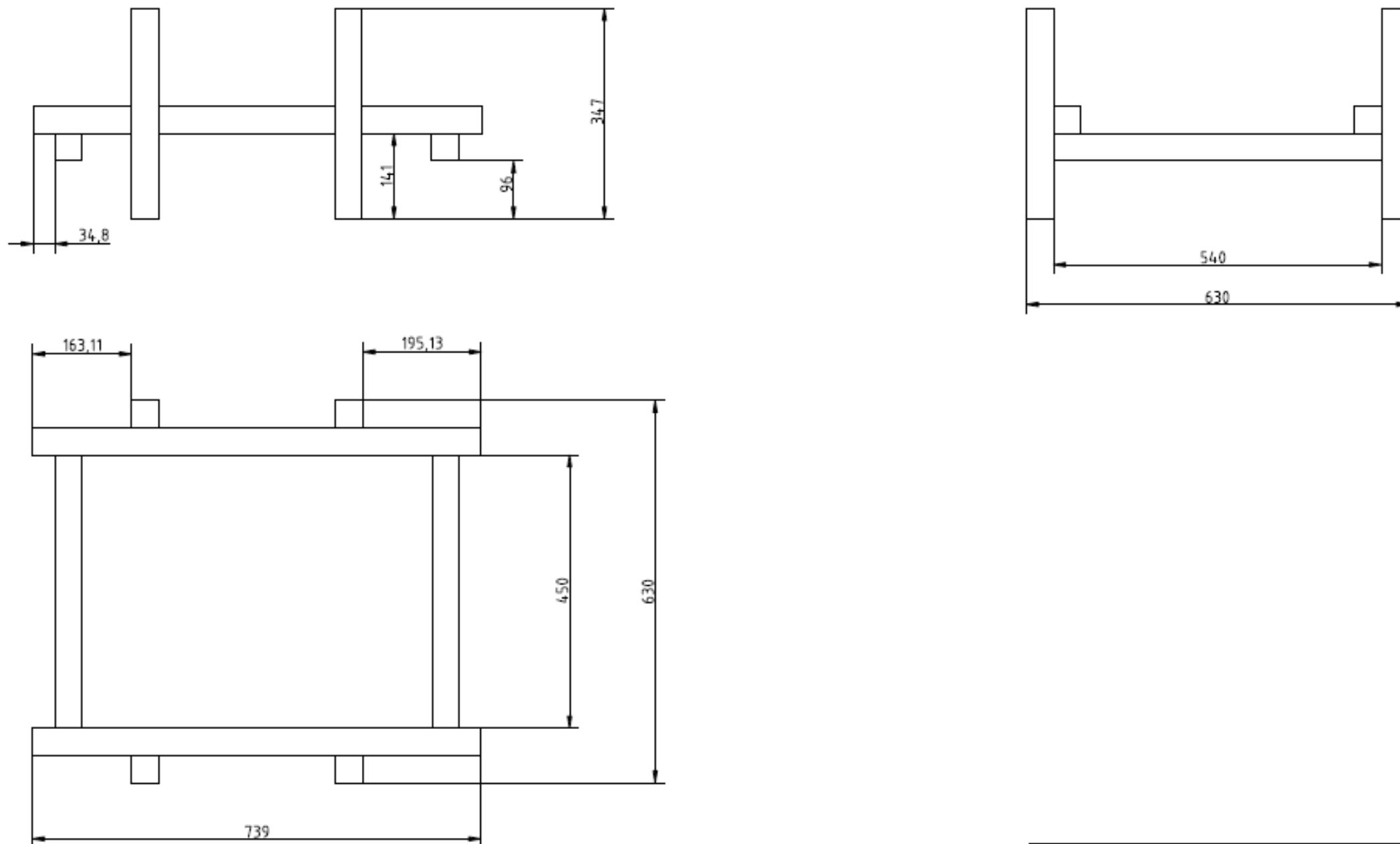
Con este diseño se permite obtener una altura final variable en la superficie de la cinta entre 798 mm y 951 mm siendo la altura deseada para este proyecto 855 mm.

Cabe destacar que las pletinas que sujetan la cinta transportadora a los pilares de la estructura las fabricaron directamente los torneros sin necesidad de diseño previo, ya que es un tipo de pletinas que acostumbran a fabricar siempre igual.

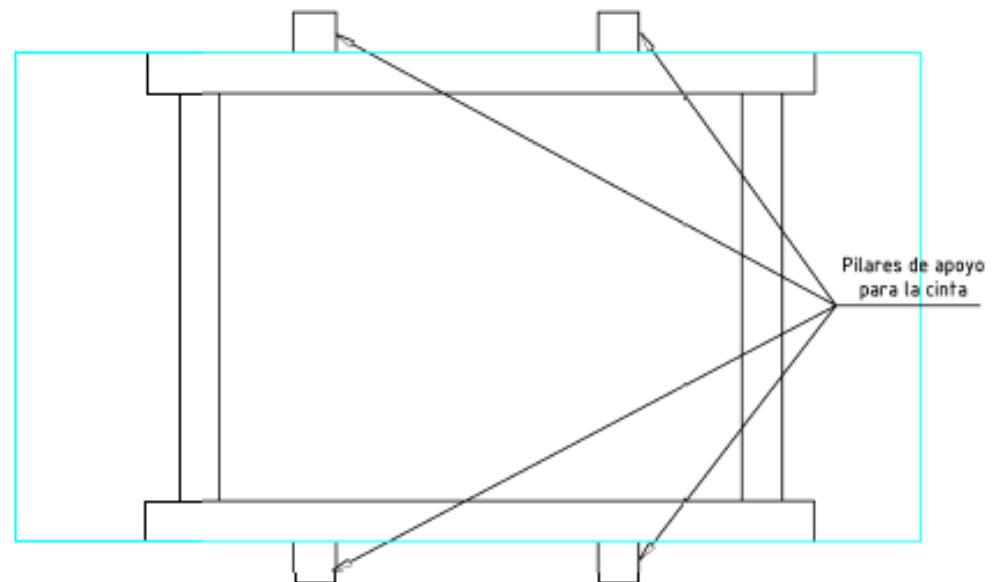
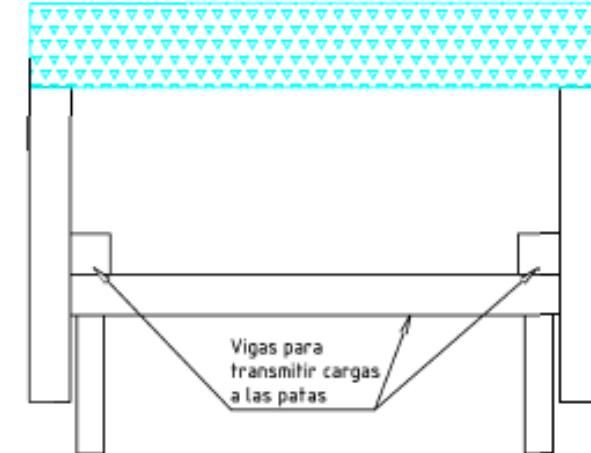
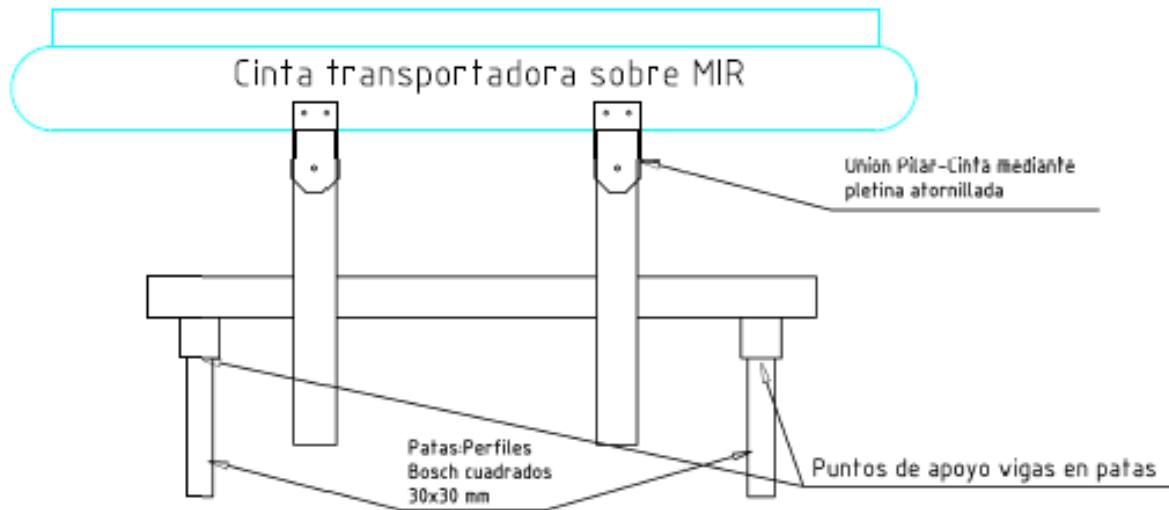
Anexo 2.2 Planos de diseño

A continuación, se aportan los planos de diseño de dicha estructura, de forma que en el plano nº 1 se muestra el diseño de la estructura que se tuvo que fabricar desde cero, mientras que en el plano nº 2 se muestra una composición de la estructura con la cinta transportadora y las patas que se aprovecharon de la estructura anterior.

Todos perfiles BOSCH cuadrados 45x45mm



Estructura MIR100		
DEBUTADO	DATE	NAME
	25-10-2018	IRANZO
Unidades mm	Empresa de automoción	PLANO N° 1 A3



DIBUJADO	DATE	NAME	Estructura MIR100	
	25-10-2018	F.IRANZO		
Unidades mm	Empresa de automoción			
	PLANO N° 2		1 A3	

Anexo 3: Detalles de la estructura de la mesa de descarga de piezas

Anexo 3.1 Introducción

Toda la mesa se ha realizado con perfiles Bosch Rexroth y la idea original del proyecto era dejarla apoyada en el suelo con dos escuadras atornilladas al suelo y colocadas en patas opuestas de una misa diagonal, de forma que la mesa quedase perfectamente sujetada y pudiese sacarse rápidamente de la célula cuando fuese necesario. Por problemas de timming, no se puede desmontar la célula original a tiempo para la presentación de este proyecto, por lo que se le han puesto en las patas unos silentblocks de goma que proporciona el agarre suficiente para probar el sistema y permite regular ligeramente la altura de la mesa.



(Figura A3.1 Detalle de uno de los silentblocks)

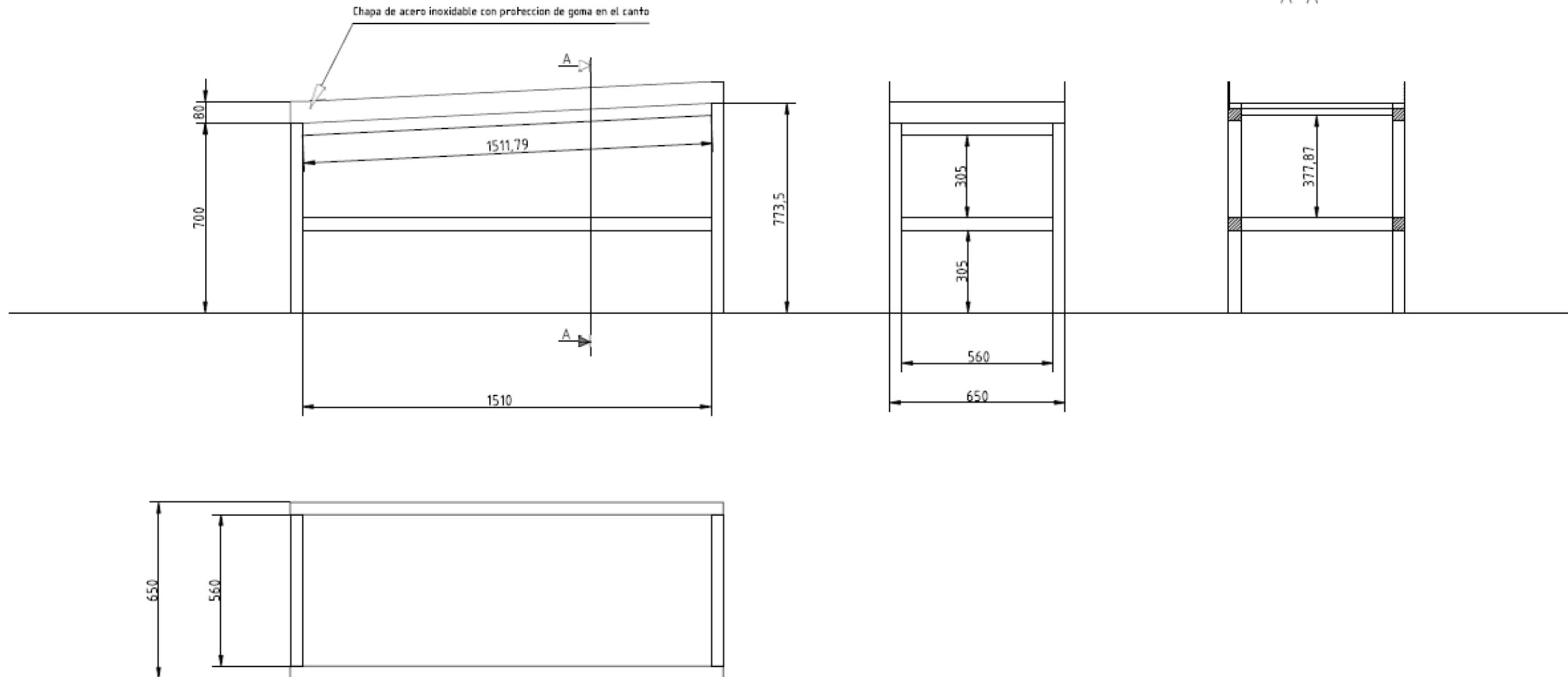
La sujeción de los perfiles se ha hecho con escuadras atornilladas y con pasadores ocultos atornillados a la estructura. Para la superficie de la mesa se ha usado una chapa de acero inoxidable atornillada a la estructura con protecciones de goma en los extremos para evitar cortes.



(Figura A3.2 Extremo de descarga de la mesa)

Anexo 3.2 Planos de diseño de la mesa

Todos perfiles BOSCH cuadrados 45x45mm



La mesa irá apoyada en el suelo y se sujetará mediante dos escuadras atornilladas al suelo situadas en dos patas de una misma diagonal.

DIBUJADO	DATE	NAME	Mesa para MIR100
	25-10-2016	IRANZO	
Unidades mm	Empresa de automoción		PLANO N° 3 A3

Anexo 4: Distribución en planta

Anexo 4.1 Introducción

Este anexo contiene el layout de la zona de trabajo completa compuesta por la célula de montaje, la inyectora y el pasillo en medio.

Antes de empezar este proyecto se estaba fabricando en la empresa tal y como se muestra en el layout previo mostrado en la siguiente página, y básicamente el proceso consistía en inyectar la pieza, depositarla en la cinta transportadora elevada que conecta con la célula de montaje, realizar la soldadura de la pieza y embalarla en su embalaje final. Si el ritmo de la soldadora o del operario no es suficiente para satisfacer el ritmo de la inyectora, las piezas acumuladas se guardan en las paneras para que más adelante se suelden.

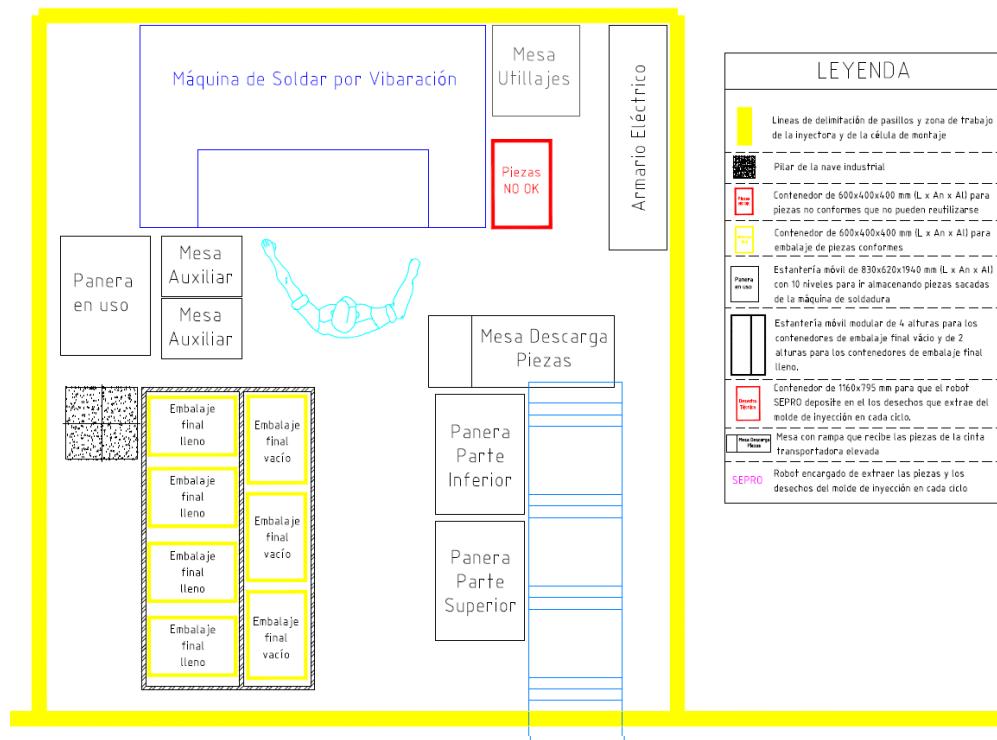
Anexo 4.2: Representación del layout previo y definitivo

En el layout definitivo se sustituye la mesa de descarga de piezas por la diseñada en el capítulo 3 y se utiliza el MIR como sistema de transporte. Las paneras donde se guardan las piezas acumuladas se mueven para no interferir con el movimiento del MIR.

En el layout definitivo se ha colocado la mesa de descarga perpendicular al pasillo y se ha introducido 1 metro dentro de la célula, la distancia justa para que el robot entre a descargar las piezas y no sobresalga nada por la línea del pasillo. Este espacio está representado en el layout como una caja de color cian con la inscripción *zona descarga piezas*. Con esta zona definida queda delimitada la longitud máxima de la mesa de descarga de piezas ya que el espacio mínimo que puede haber entre la mesa y la máquina para el paso de personas es 800mm.

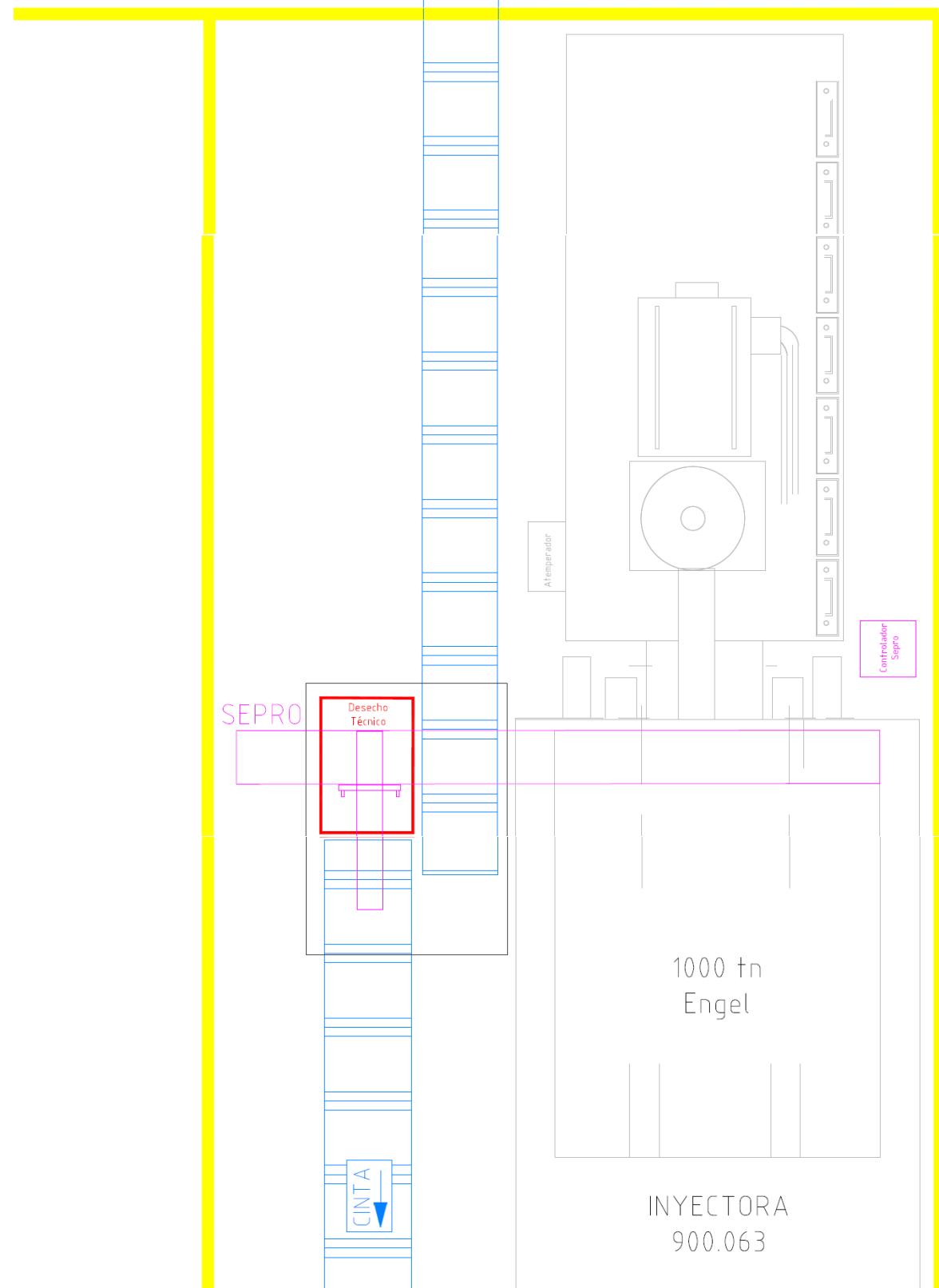
Además, como la inyectora 2 está desplazada respecto a la 1, se ha establecido una zona en el suelo de libre circulación para el MIR, de forma que los trenes que tengan que parar para suministrar piezas a alguna célula paren en las zonas de STOP y mientras realizan tareas, el MIR puede circular sin necesidad de esquivar obstáculos dinámicos.

Por último, en la zona de la inyectora se ha colocado el cargador del MIR junto a ella de forma que no moleste si algún día hay 2 o más robots trabajando simultáneamente.

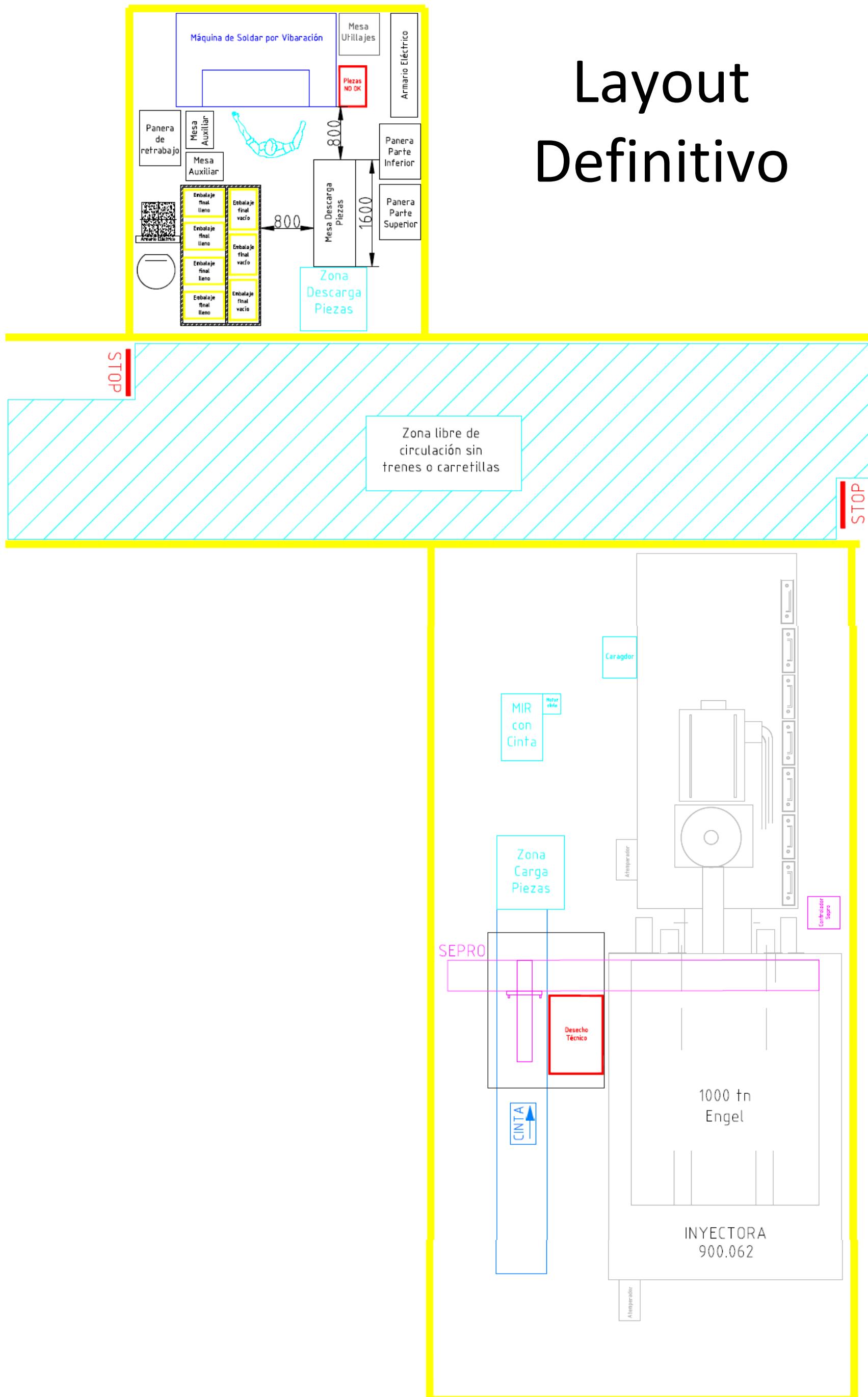


Pasillo

Layout Previo



Layout Definitivo



Anexo 5: Conexión de E/S

Anexo 5.1 Introducción

Las entradas que presenta el driver del motor de la cinta transportadora tienen que conectarse correctamente con el PLC para poder programar la secuencia de trabajo del MIR. Estas entradas del driver, que para el PLC son sus salidas se conectaron mediante un conector Harting como se ha explicado en el capítulo 5.

Anexo 5.2 Entradas del driver del motor

El driver utilizado para gestionar el motor de la cinta transportadora es el modelo BLH5100KC-50 de la empresa *Oriental motor*. Esta empresa tampoco permite la distribución de la ficha técnica de sus productos, por lo que a continuación se muestran las características disponibles del catálogo en su página web.

■ Specifications

● 15 W (1/50 HP), 30 W (1/25 HP), 50 W (1/15 HP), 100 W (1/8 HP)



Product Name	Geared Type/Combination Type – Parallel Shaft Gearhead	BLH015K-□	BLH230KC-□	BLH450KC-□	BLH5100KC-□
Power Source	Combination Type – Hollow Shaft Flat Gearhead	–	BLH230KC-□FR	BLH450KC-□FR	BLH5100KC-□FR
	Round Shaft Type	BLH015K-A	BLH230KC-A	BLH450KC-A	BLH5100KC-A
Rated Output Power (Continuous)	W (HP)	15 (1/50)	30 (1/25)	50 (1/15)	100 (1/8)
Rated Voltage			24 VDC		
Permissible Voltage Range			±10%		
Rated Input Current	A	1.0	2.1	3.1	6.0
Maximum Input Current	A	2.4	3.7	5.4	9.8
Rated Torque	N·m (oz-in)	0.05 (7.1)	0.12 (17)	0.2 (28)	0.4 (56)
Instantaneous Maximum Torque*	N·m (oz-in)	0.075 (10.6)	0.15 (21)	0.24 (34)	0.5 (71)
Rated Speed	r/min	3000		2500	
Speed Control Range	r/min		100~3000		
Round Shaft Type					
Permissible Inertia J	×10 ⁻⁴ kg·m ² (oz-in ²)	0.5 (2.7)	1.8 (9.8)	3.3 (18.1)	5.6 (31)
Rotor Inertia J	×10 ⁻⁴ kg·m ² (oz-in ²)	0.032 (0.175)	0.087 (0.48)	0.23 (1.26)	0.61 (3.3)
Speed Regulation	Load	±0.5% max. (0~Rated torque, at rated speed, at rated voltage, at normal ambient temperature)			
	Voltage	±0.5% max. (Rated voltage ±10%, at rated speed, with no load, at normal ambient temperature)			
	Temperature	±0.5% max. [0~+50°C (+32~+122°F), at rated speed, with no load, at rated voltage]			

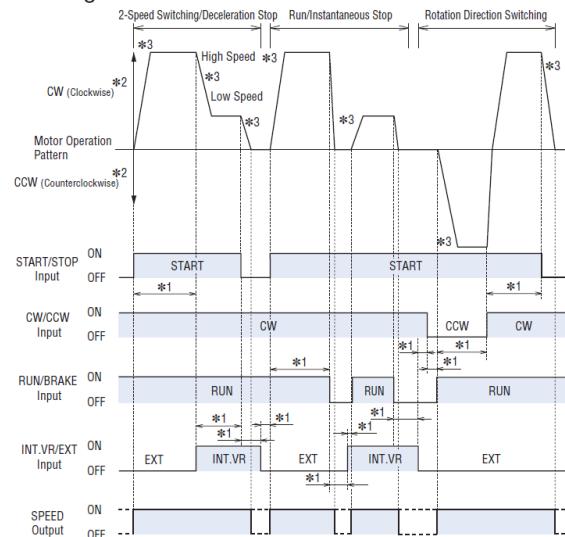
El driver del motor cuenta con las siguientes entradas:

② Input/Output Signals

Indication	Input/Output	Pin No.	Function
CN2	Output	1	ALARM Output
		2	SPEED Output
	I/O Signal Common	3	GND
		4	VRL Input
		5	VRM Input
		6	VRH Input
	Input	7	ALARM-RESET Input
		8	INT.VR/EXT Input
		9	CW/CCW Input
		10	RUN/BRAKE Input
		11	START/STOP Input
		12	NC

El siguiente esquema detalla el modo de funcionamiento de la cinta transportadora según qué entradas del driver estas activadas.

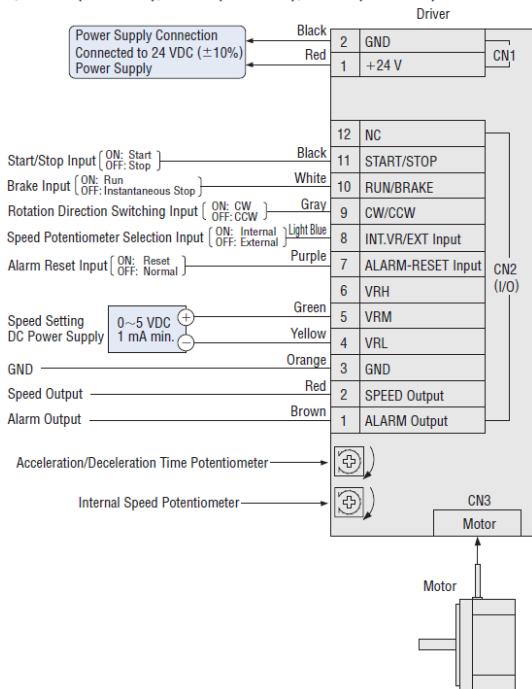
● Timing Chart



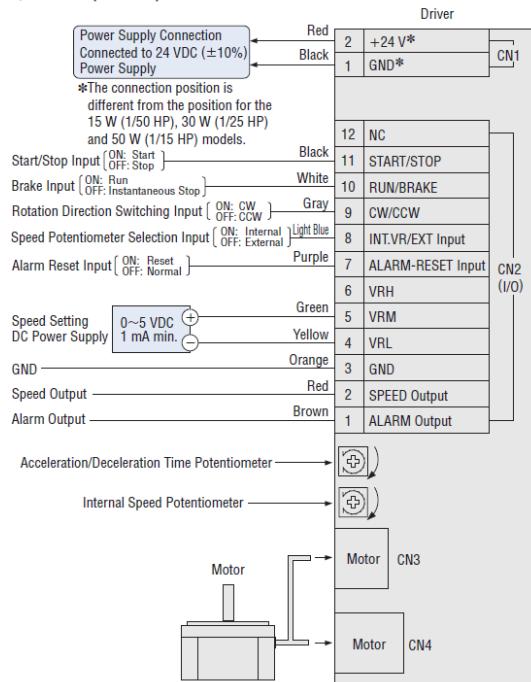
- All operations of run/stop, instantaneous stop and rotation direction switching operations can be controlled with the START/STOP, RUN/BRAKE and CW/CCW signals.
- If both the START/STOP signal and the RUN/BRAKE signal are set to ON, the motor rotates. The motor will accelerate over the time set by the acceleration/deceleration time potentiometer. During this time, if the CW/CCW signal is set to ON, the motor rotates clockwise as viewed from the shaft end of the motor; if the CW/CCW signal is set to OFF, the motor rotates in the counterclockwise direction.
- If the RUN/BRAKE signal is set to OFF while the START/STOP signal is ON, the motor stops instantaneously. If the START/STOP signal is set to OFF while the RUN/BRAKE signal is ON, the motor will stop with deceleration time set by the acceleration/deceleration time potentiometer.
- The duration of each input signal must be 10 ms or longer.
- Do not operate (turn ON/OFF) two or more input signals simultaneously. There must be a minimum interval of 10 ms before another input signal can be operated after an input signal has been operated.

● Connection Diagrams

◇ 15 W (1/50 HP), 30 W (1/25 HP), 50 W (1/15 HP)



◇ 100 W (1/8 HP)



El driver lleva dos potenciómetros incorporados para regular la aceleración y velocidad del motor, sin embargo, debido al difícil acceso para su regulación, se decidió instalar un potenciómetro externo para regular la velocidad aprovechando la entrada nº 8 del driver.

Según esto y la programación del PLC Wago, la relación entre registros del MIR y entradas del driver es la siguiente:

Registro 71 = Run/brake + Start/Stop.

Se han puenteado las señales para tenerlas en un mismo registro ya que la secuencia para mover el motor de la cinta es que las señales start/stop y run/brake estén en ON.

Registro 72 = CW/CCW. Según si la señal está a 1 o 0 el motor girará en sentido horario o anti horario

Registro 73 = Alarm-Reset. Esta señal funciona como rearme del motor de la cinta. Cuando la cinta falla o sufre una parada de emergencia, el registro 73 se tiene que poner a 0 y 1 seguidamente para realizar el rearne. Esta función se utilizará en la programación más adelante.

Anexo 6: Mapeado de la zona de trabajo

Anexo 6.1 Introducción

El proceso de mapeado comienza con el escaneado manual de la zona de trabajo, donde se detectan todos los obstáculos fijos y dinámicos y más tarde manipularlo de forma que cumpla los requisitos del proyecto.

Anexo 6.2 Secuencia de mapeado

La secuencia de mapeado realizada es la siguiente:

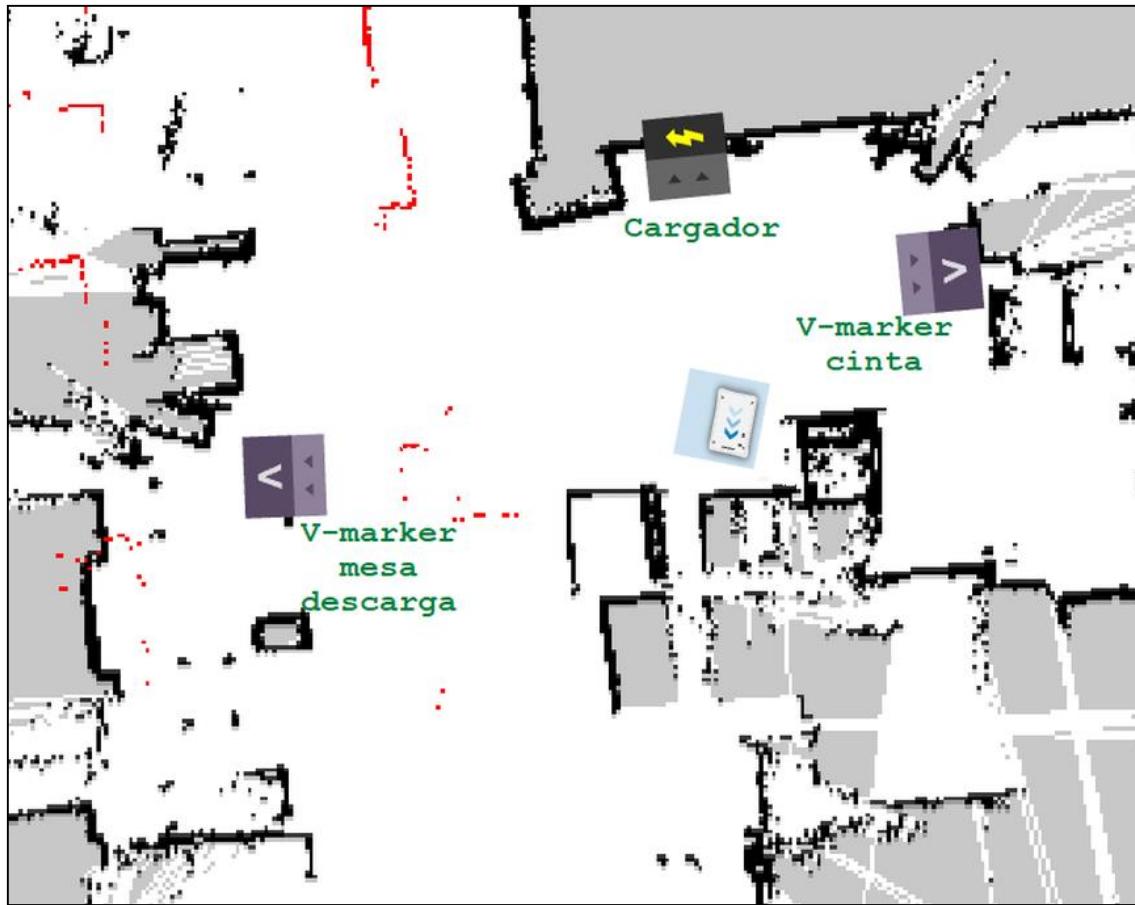
- 1- Detección de objetos estáticos y dinámicos.



(Figura A6.1: Secuencia 1 de mapeado)

En esta captura se puede ver como el robot ha detectado todos los objetos estáticos. En esta secuencia no se captaron objetos dinámicos.

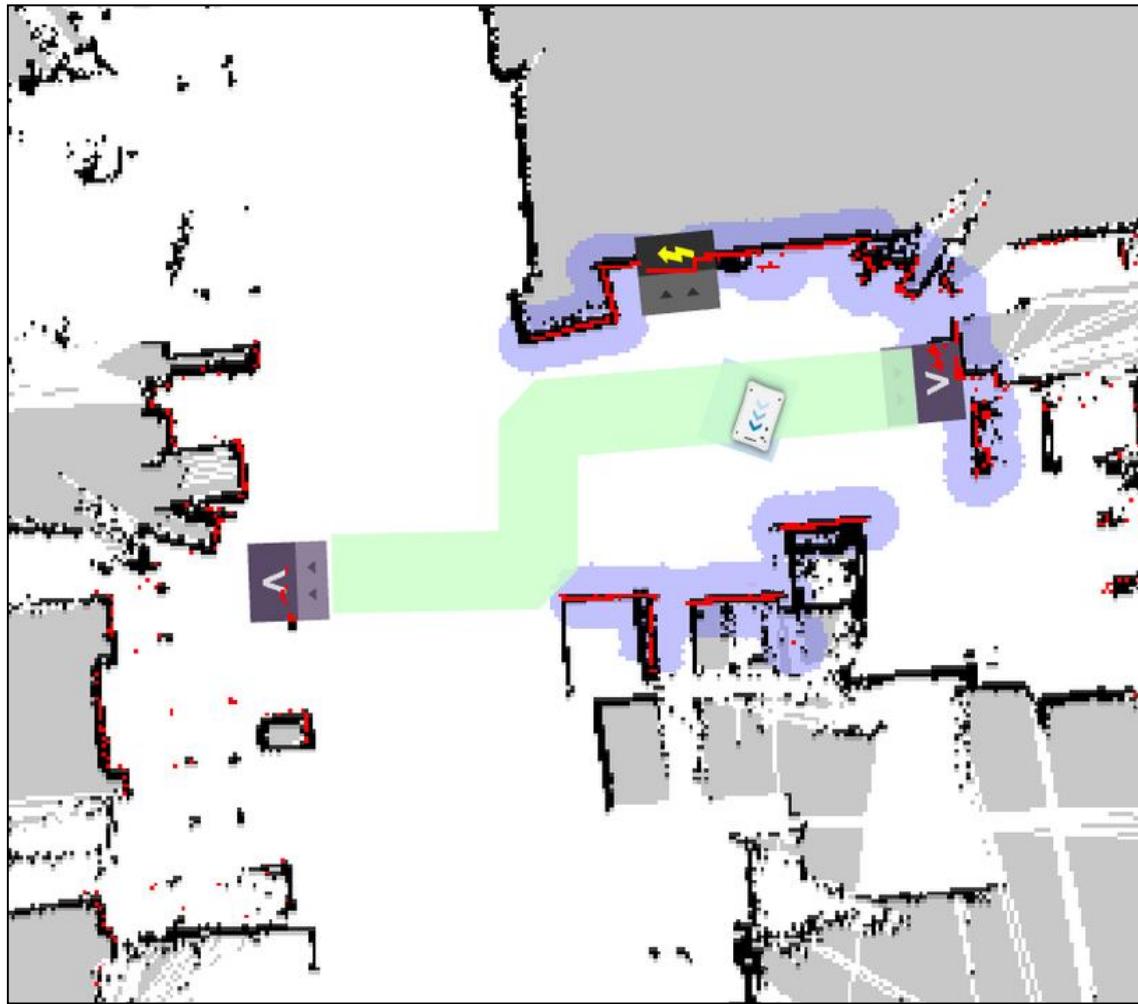
2- Asignación de las posiciones de los marcadores en V y del cargador.



(Figura A6.2: Secuencia 2 de mapeado)

Tanto el cargador como los marcadores se auto-ubican en el mapa posicionando el MIR enfrente de ellos, los detecta automáticamente. Sin embargo, posteriormente es necesario modificar la posición relativa del robot respecto al marcador para realizar correctamente la alineación.

3- Asignación de las zonas de prioridad



(Figura A6.3: Secuencia 3 de mapeado)

El pasillo verde que se observa en la imagen es el camino de preferencia que seguirá el MIR si no encuentra obstáculos. Esto se ha hecho para facilitar la alineación del robot en la cinta y la mesa, ya que si el robot llega recto al marcador realiza más rápido y con menos error la alineación.

Si encuentra algún obstáculo en la zona de preferencia lo esquiva y vuelve lo más rápido posible a la zona verde.

4- Asignación de zonas prohibidas para el robot

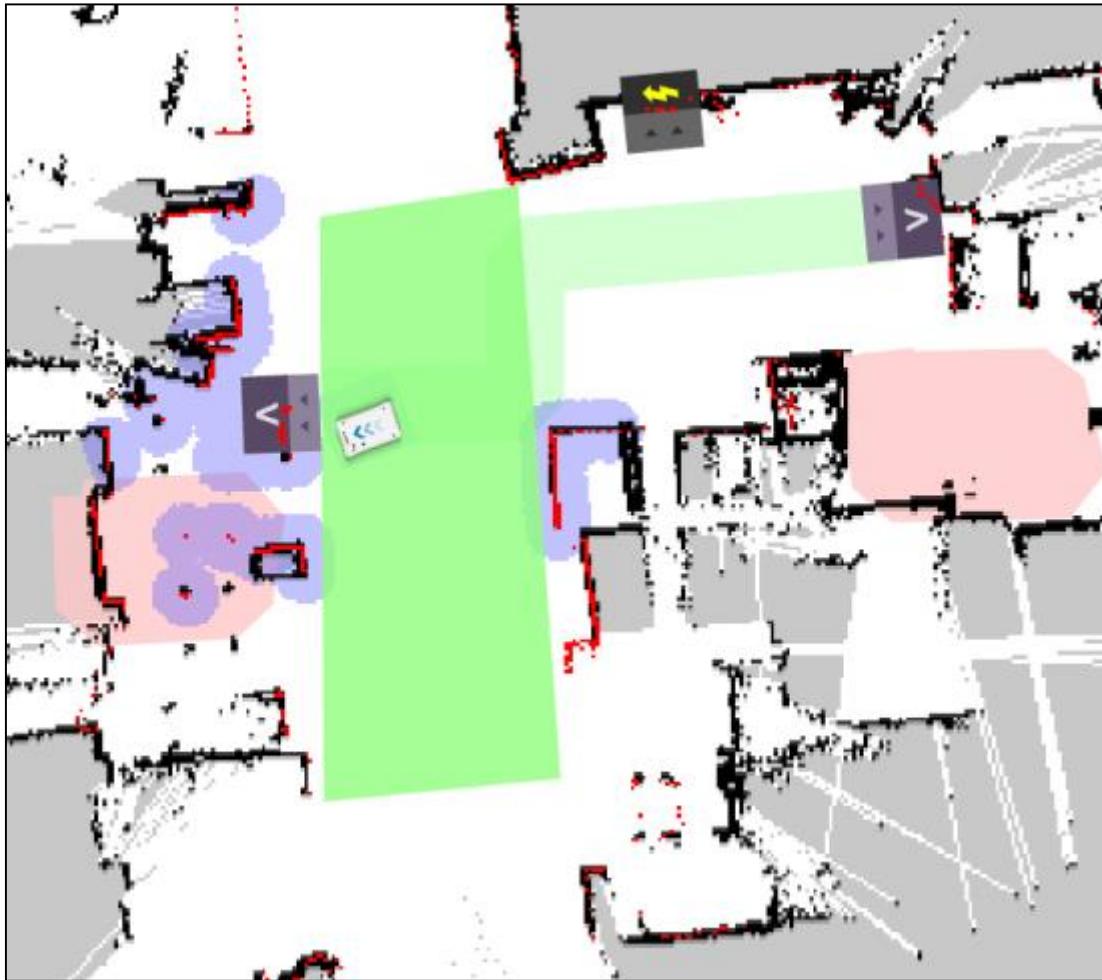


(Figura A6.4: Secuencia 4 de mapeado)

Las zonas en rojo son las zonas a las que el robot nunca accederá. Puede ocurrir que el robot pierda su referencia en el mapa y crea estar en otro lugar de forma que genere un riesgo para operarios que trabajen en las proximidades.

Para evitar que pueda ocurrir algún accidente se han marcado las zonas en las que hay operarios trabajando en rojo y así se asegura que el robot nunca accederá ahí.

5- Asignación de zonas de sonido



(Figura A6.5: Secuencia 5 de mapeado)

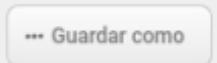
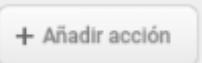
Por último, la zona verde que se observa corresponde a una zona de sonido en la que el MIR emitirá un pitido intermitente en cuanto entre en ella. El objetivo es que cuando comience a entrar en el pasillo empiece a pitar para advertir acústicamente a operario y trenes que puedan pasar por ahí.

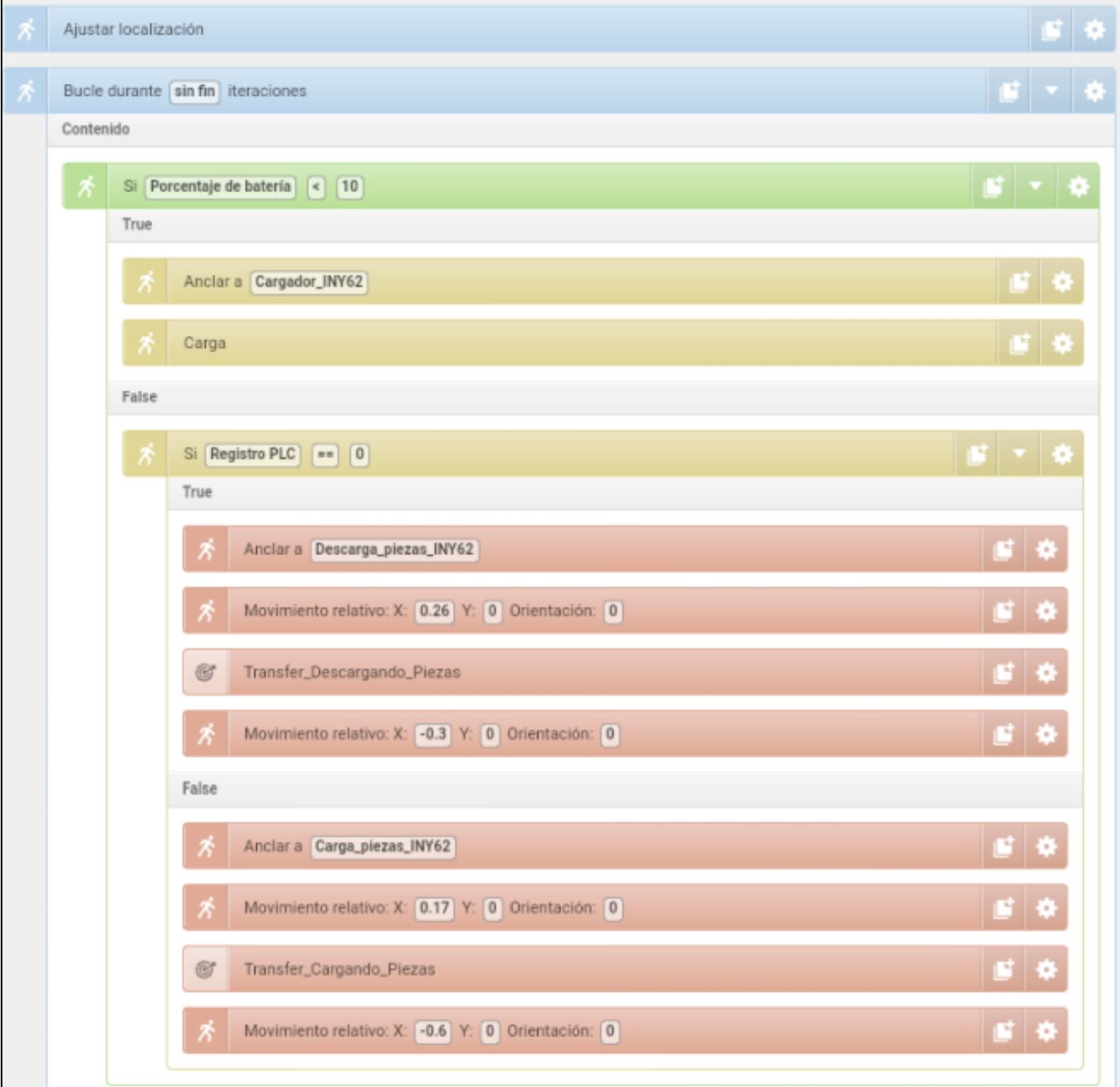
Aunque el MIR es capaz de parar inmediatamente para evitar una colisión, los trenes y carretillas llevan una inercia y no paran inmediatamente, de forma que para evitar al máximo la posibilidad de una colisión se ha establecido esta zona de sonido.

Anexo 7: Programación del MIR

Transfer_INY62

Vea y edite la misión.

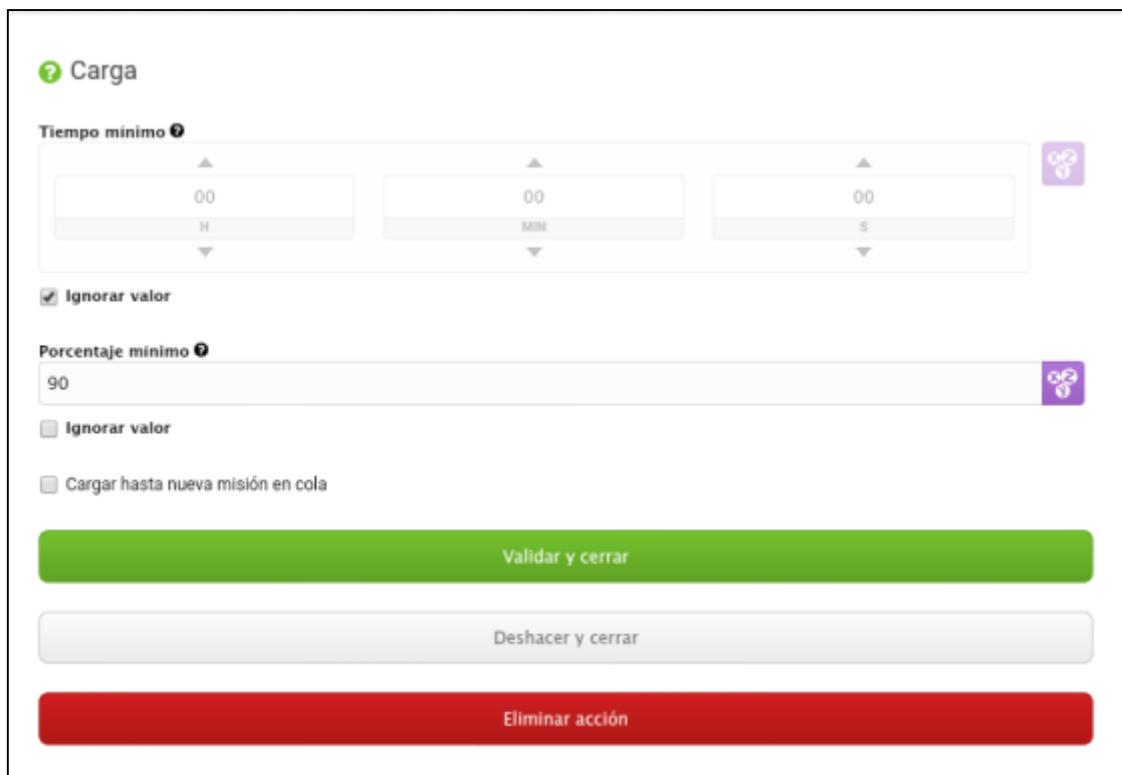
    



(Figura A7.1 Misión Transfer_INY62)

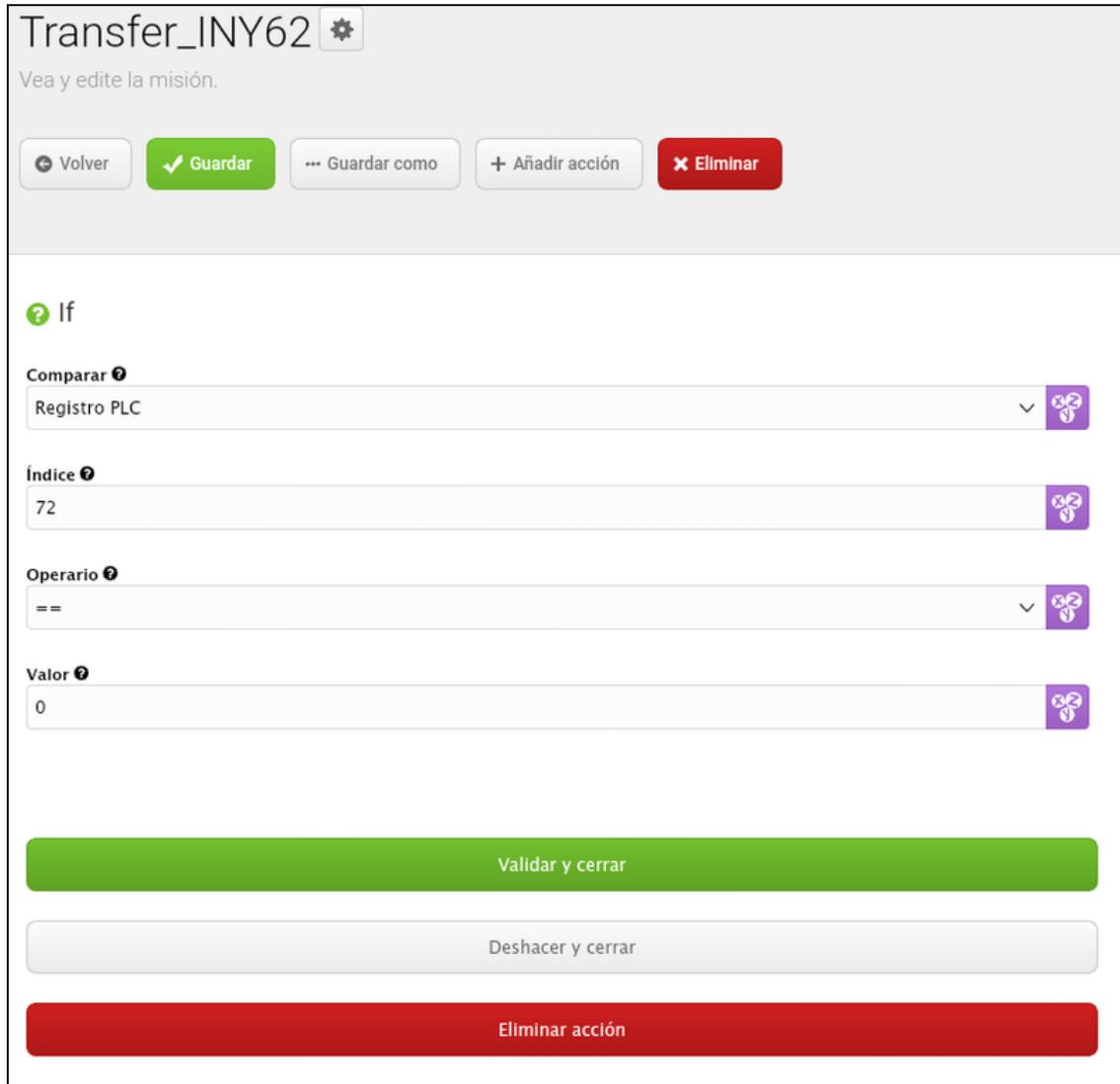
Como se ha comentado previamente, el programa se ha estructurado como un bucle infinito. Previamente a comenzar el bucle el MIR ajusta su localización en el mapa, y se decidió colocar la función de localización antes del bucle porque tarda demasiado tiempo en realizar la función, por lo que, si se metía dentro del bucle, el tiempo de ciclo aumentaría considerablemente. Igualmente, no hizo falta meterlo en el bucle ya que la única opción de que el MIR perdiese su localización es con una colisión, y en ese caso alguien debe ir a rearmarlo y comenzaría de nuevo la misión, empezando por el ajuste de la localización.

Una vez comienza el bucle se programó un condicional para comprobar el estado de la carga de la batería, de forma que si la carga de la batería es inferior al 10% el MIR irá al cargador y comenzará a cargar hasta alcanzar el 90% como se observa en la siguiente figura:



(Figura A7.2 Subprograma de carga)

Si la carga alcanza el 90% o el condicional es FALSE, se hace otro condicional comparando el valor del registro 72 del PLC.



(Figura A7.3 Condicional registro 72)

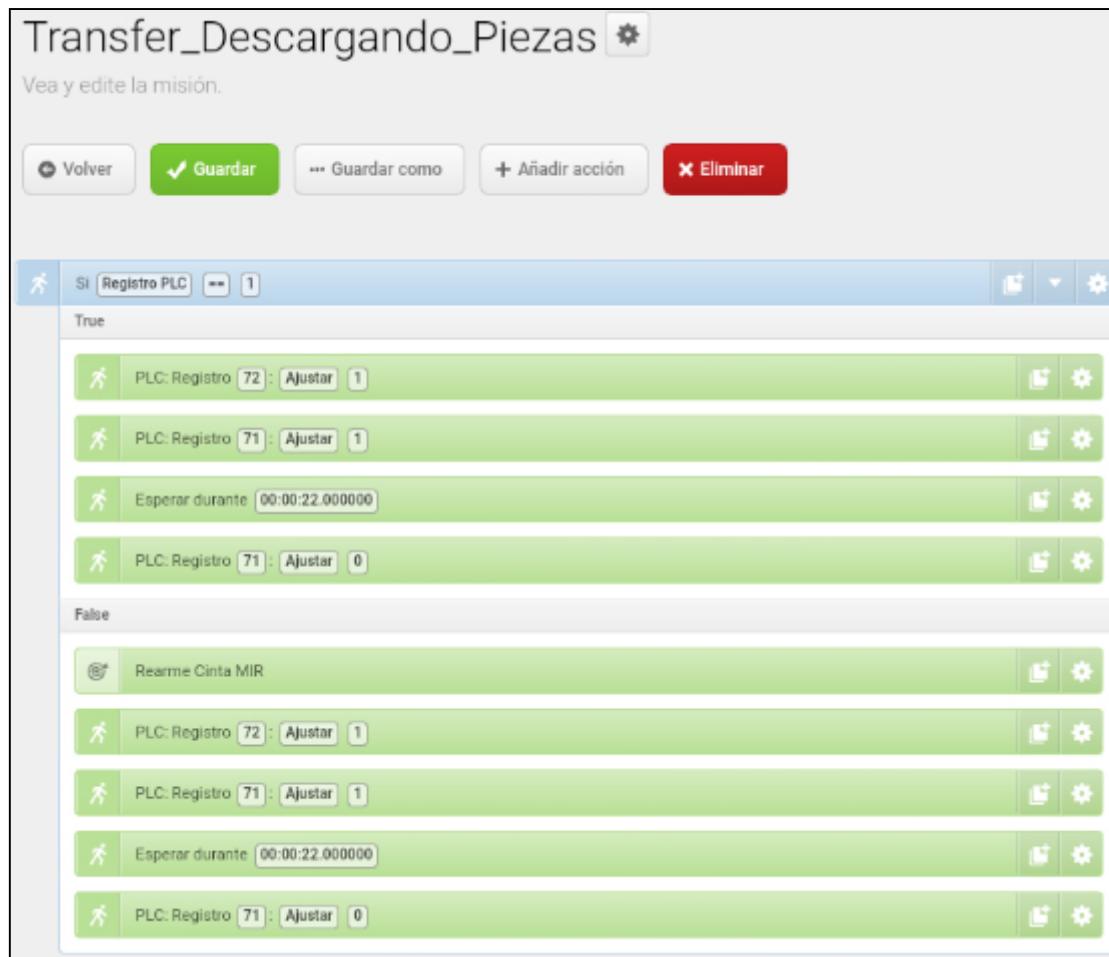
Si el registro 72 = 0, es decir, el último movimiento del motor de la cinta ha sido girar en sentido anti horario (CCW), quiere decir que el MIR ha recogido piezas de la inyectora, por lo tanto, el condicional es TRUE y va a descargar piezas a la mesa de descarga. Si por el contrario el registro 72 = 1, el último movimiento del motor ha sido girar en sentido horario (CW) y el condicional es FALSE por lo que ya habrá descargado las piezas y se dirigirá a cargar piezas en la inyectora.

Tanto si el condicional es TRUE o FALSE, el MIR va desde su posición sea cual sea a la posición de descarga o carga respectivamente. Cuando está cerca de la posición final, el MIR se orienta con las V-marker utilizando los escáneres y fija suposición, pero la fija a una distancia determinada de la posición final de carga o descarga. Esto se hizo así porque el MIR lleva una barra de plástico blando en el frontal que sobresale por delante del MIR cuya función es cortar la barrera de la fotocélula situada con la V-marker. Si el

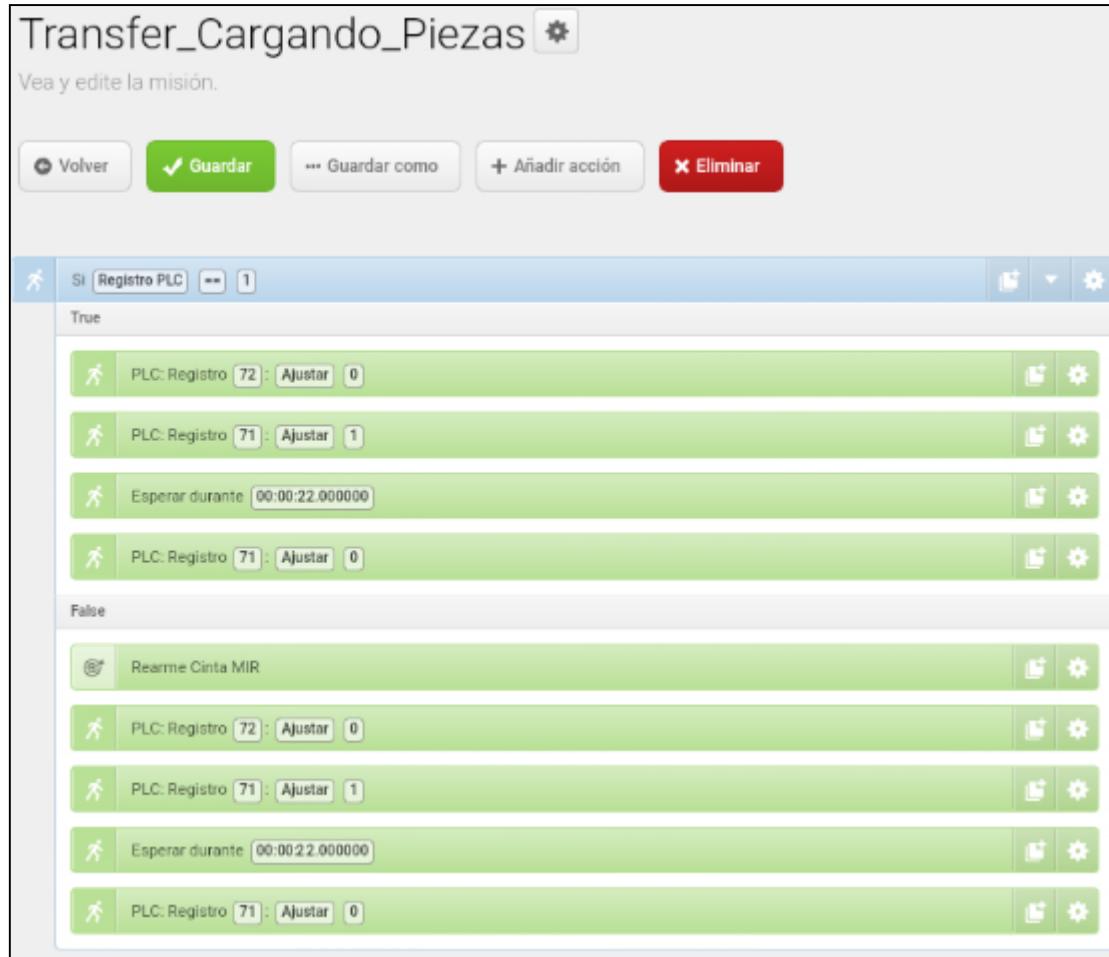
MIR fuese directamente a la posición final, durante las maniobras de anclaje podría chocar la barra de plástico con el sensor. De esta manera el MIR se queda perfectamente alineado, pero a una distancia segura.

Una vez está alineado se le manda moverse en línea recta una distancia determinada. Esta distancia se ajusta manualmente para que la posición final sea perfecta. Este movimiento lineal es lo que aparece en la programación como movimiento relativo, que al final es un movimiento relativo en el eje X respecto a la posición del robot.

El siguiente paso es invocar el programa *transfer_descargando_piezas* o *transfer_cargando_piezas* respectivamente. Estos programas son los encargados de activar el movimiento de la cinta transportadora del MIR y mantener el movimiento el tiempo suficiente para cargar o descargar las piezas:

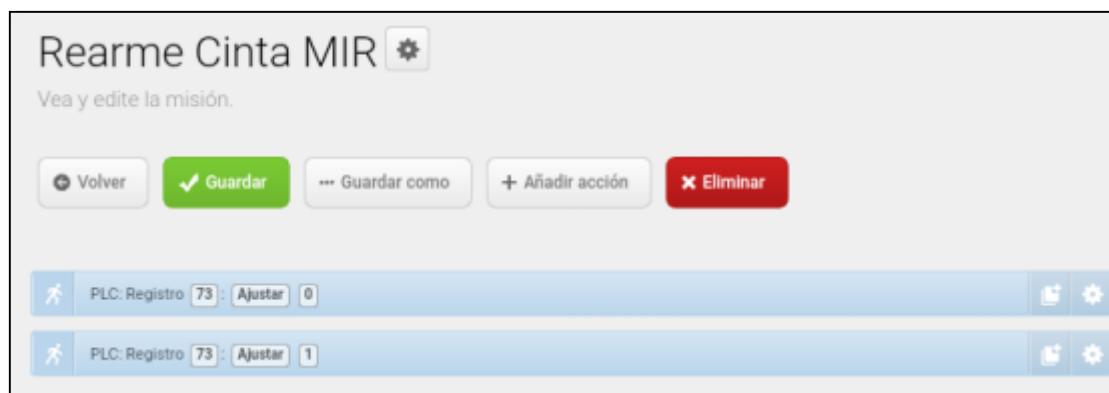


(Figura A7.4 Programa *transfer_descargando_piezas*)



(Figura A7.5 Programa transfer_cargando_piezas)

En el primer condicional de ambos programas se comprueba el registro 101 que recibe el valor de la salida ALARM del driver del motor. Si este registro es igual a 0, el motor de la cinta está en fallo, el condicional es FALSE y se activa el programa *Rearme cinta MIR*



(Figura A7.6 Programa Rearme Cinta MIR)

Justo después de realizar el programa *Rearme cinta MIR* se ajusta el registro 72 a 1 o 0 en cada programa para seleccionar el movimiento CW o CCW. Después se ajusta el registro 71 a 1 y se activa un temporizador de espera de 22 segundos. En este punto la

cinta está recogiendo o descargando piezas durante 22 segundos, después de los cuales se ajusta el registro 71 a 0 para detener la cinta.

Finalmente, tras acabar el programa de carga o descarga, solo falta el último paso, que es retroceder linealmente para salir de la posición de carga o descarga. En este momento el bucle se inicia de nuevo.

Anexo 8: Ensayos finales: video y toma de tiempos

Anexo 8.1 Introducción

Este capítulo muestra un video del ciclo completo del MIR y aborda el estudio del ciclo completo junto a los fallos y problemas que tiene el MIR.

Anexo 8.2 Video

El video se puede ver directamente desde este enlace o desde el DVD proporcionado junto con el proyecto.

https://drive.google.com/open?id=1sC-5Bi_vvpw9yjU16OUDTr4bd8a5zt1O1

Anexo 8.3 Análisis del tiempo de ciclo

Durante el desarrollo de este proyecto se hicieron varias pruebas para reducir el tiempo de ciclo del MIR y se llegó al tiempo de ciclo de 110 segundos, pudiendo hacerlo más rápido cambiando la forma de anclar el robot en la posición de carga y descarga. Finalmente se decidió usar las V-marker debido a la mayor precisión, aunque eso implicara aumentar el tiempo de ciclo. El tiempo de ciclo mencionado de 110 segundos es el tiempo que tarda en realizar el ciclo completo sin encontrar ningún obstáculo dinámico que le obligue a cambiar la ruta

Otra forma era fijar las coordenadas del punto de carga y descarga en el mapa y mandar al robot a esa posición de forma que lo hacía más rápido que usando las V-marker, pero tenía errores de posición de hasta 10 cm ya que fija su posición usando los escáneres comparando con lo que tiene a su alrededor. Debido a la baja repetibilidad en la posición de anclaje, las piezas a veces se caían al suelo cuando el robot iba a cargar las piezas porque se quedaba demasiado lejos de la cinta transportadora de la inyectora o también ocurría que el robot se acercaba demasiado a la cinta transportadora o a la mesa de descarga, colisionaba y sufría una parada de emergencia.

El uso de las V-marker mejoró considerablemente la repetibilidad en el anclaje, aunque no se consiguió una repetibilidad del 100% y en algún ciclo aislado volvía a ocurrir el error en el posicionamiento para la carga o descarga. Es por esto que en capítulo 10 se analizarán alternativas para evitar estos fallos.

El MIR puede alcanzar una velocidad máxima de 1,5m/s y esa es la velocidad que se le da en todo el recorrido, a excepción de los movimientos relativos, donde la velocidad máxima permitida es 0,5m/s. En este aspecto no se puede recortar tiempo ya que la velocidad asignada al robot es la máxima y no se puede cambiar la trayectoria para hacerla más rápida.