



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Escola Tècnica  
Superior d'Enginyeria  
Informàtica



etsinf

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica  
Universitat Politècnica de València

7 de junio de 2024

# PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN PREPARACIÓN DE PEDIDOS

PROYECTO RII 2 - PROGRAMACIÓN DE ROBOTS | PR2-A04  
Grado en Informática Industrial y Robótica

## ***Autores/Autoras:***

Marcos Belda Martínez | [mbelmar@etsinf.upv.es](mailto:mbelmar@etsinf.upv.es)

Ángela Espert Cornejo | [aespcor@etsinf.upv.es](mailto:aespcor@etsinf.upv.es)

Lourdes Francés Llimerá | [lfralli@epsa.upv.es](mailto:lfralli@epsa.upv.es)

Carla Hidalgo Aroca | [chidaro@etsii.upv.es](mailto:chidaro@etsii.upv.es)

## ***Tutores/Tutoras:***

Juan Francisco Blanes Noguera | [pblanes@ai2.upv.es](mailto:pblanes@ai2.upv.es)

Joan Josep Fons Cors | [jfons@dsic.upv.es](mailto:jfons@dsic.upv.es)

Marina Vallés Miquel | [mvalles@isa.upv.es](mailto:mvalles@isa.upv.es)

Eduardo Vendrell Vidal | [even@upv.es](mailto:even@upv.es)

# RESUMEN

---

En este documento se define el proyecto de automatización planteado para una empresa ficticia de dispositivos tecnológicos. La propuesta se enfoca en mejorar el proceso de realización de pedidos de una determinada sección del almacén, proponiendo como solución una automatización robotizada parcial. Se analizan los beneficios esperados, como la reducción de errores, del tiempo de producción y del espacio ocupado por el proceso, también la mejora en las condiciones laborales para los trabajadores. Además, se describe la estructura del equipo, objetivos, impactos, límites, restricciones, y la planificación del proyecto, incluyendo el uso de herramientas como diagramas de Gantt. Se describe el proceso una vez automatizado y el espacio requerido para ello, también se concretan las tareas de cada uno de los elementos que intervienen. Se presenta un listado detallado de los dispositivos y componentes software. Además, se muestra un presupuesto técnico y los beneficios económicos esperados, los cuales han podido ser calculados mediante la realización de una simulación realista del entorno en RoboDK. Asimismo, se lleva a cabo un análisis de las normativas y regulaciones actuales relacionadas con la robótica industrial y colaborativa, con el fin de implementar las medidas pertinentes en el diseño del nuevo proceso.

**Palabras clave:** automatización, BBDD, cobot, industrial, MQTT, programación avanzada, simulación.

---

# ABSTRACT

---

This document defines the automation project proposed for a fictitious technological devices company. The proposal focuses on improving the order fulfillment process for a certain section of the warehouse, proposing partial robotic automation as a solution. The expected benefits are analyzed, such as the reduction of errors, production time and space occupied by the process, as well as the improvement in working conditions for workers. In addition, the team structure, objectives, impacts, limits, restrictions, and project planning are described, including the use of tools such as Gantt charts. The process once automated and the space required for it are described, as well as the tasks of each of the elements involved. A detailed list of the devices and software components is presented. In addition, a technical budget and the expected economic benefits are shown, which have been calculated by performing a realistic simulation of the environment in RoboDK. An analysis of current regulations and standards related to industrial and collaborative robotics is also carried out in order to implement the relevant measures in the design of the new process.

**Key words:** advanced programming, automation, cobot, database, industrial, MQTT, simulation.

---



# TABLA DE CONTENIDOS

---

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
CONTEXTO GENERAL .....	4
JUSTIFICACIÓN.....	4
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	5
<b>2. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN</b> .....	<b>6</b>
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....	6
OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO TRAS LA AUTOMATIZACIÓN .....	7
CRITERIOS Y METAS (KPI) .....	8
OTROS ASPECTOS AFECTADOS O MEJORADOS.....	9
IMPACTOS ADICIONALES .....	9
LÍMITES Y RESTRICCIONES DEL PROYECTO .....	9
<b>3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN</b> .....	<b>10</b>
ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS .....	10
MONTAJE DE LAS CAJAS .....	10
PICK & PLACE DE LOS DISPOSITIVOS .....	12
TRANSPORTE DE LAS CAJAS.....	15
SENSORIZACIÓN Y ACTUADORES .....	16
PRIMERA ESP32 .....	17
SEGUNDA ESP32.....	17
DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO DE TRABAJO .....	17
MONTAJE DE LAS CAJAS .....	17
PICK & PLACE DE LOS DISPOSITIVOS .....	18
TRANSPORTE DE LAS CAJAS.....	19
SENSORIZACIÓN Y ACTUADORES .....	20
ESTRATEGIAS Y ALGORITMOS.....	21
DISEÑO DE LA PERSISTENCIA DE INFORMACIÓN.....	23
DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE INTEGRACIÓN.....	24
<b>4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN</b> .....	<b>28</b>
GESTIÓN DEL PROYECTO.....	28
PLAN DE IMPLEMENTACIÓN .....	28
PLAN DE GESTIÓN Y DESARROLLO .....	31
ENTREGABLES DEL PROYECTO.....	35
PRUEBAS Y VALIDACIÓN .....	36
ESTRATEGIA DE PRUEBAS.....	36
CRITERIOS DE ÉXITO .....	37

DESCRIPCIÓN DE LA SIMULACIÓN .....	37
PROCEDIMIENTOS DE VALIDACIÓN .....	38
RESULTADOS ESPERADOS .....	38
<b>COSTES Y BENEFICIOS .....</b>	<b>39</b>
PRESUPUESTO DETALLADO .....	39
ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO .....	41
ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN (ROI) .....	42
<b>5. NORMATIVA Y REGULACIÓN. SEGURIDAD .....</b>	<b>43</b>
IMPACTO EN LOS PUESTOS DE TRABAJO .....	43
CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD .....	43
REGULACIONES Y ESTÁNDARES.....	45
<b>6. DESARROLLO DE SOFTWARE Y ALGORITMOS.....</b>	<b>47</b>
LISTADO TECNOLÓGICO.....	47
DESCRIPCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	48
ESTRUCTURA DE LOS PROGRAMAS.....	48
ALGORITMOS Y ESTRUCTURAS DE DATOS .....	51
ESQUEMA DE LA BBDD UTILIZADA .....	52
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
DIFICULTADES, PROBLEMAS Y ENLACES.....	54
RESUMEN Y RECOMENDACIONES .....	55
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>55</b>
BIBLIOGRAFÍA .....	55
DOCUMENTOS PREVIOS.....	55
APLICACIONES EMPLEADAS .....	56
ELEMENTOS DE REFERENCIA.....	56
DOCUMENTOS Y VÍDEOS DE REFERENCIA.....	56
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>57</b>
ANEXO I.....	57
POSIBLES ESCENARIOS .....	58
PARÁMETROS .....	58
ANEXO II.....	60

---

---

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## CONTEXTO GENERAL

La empresa de tecnología X cuenta con un almacén en el cual guardan los dispositivos tecnológicos que posteriormente son repartidos a las tiendas de la propia empresa. En el presente, cuenta con tres sucursales en marcha. Esta repartición se lleva a cabo mediante pedidos que realizan las tiendas al almacén para reabastecerse de dispositivos. En la actualidad, este proceso de realización de pedidos se procesa de la siguiente forma:

1. Una tienda realiza un pedido y se manda un aviso al almacén.
2. Un trabajador con la función de preparador de pedidos recoge los dispositivos de las estanterías en las que están situados y los coloca en una caja del tamaño correspondiente.
3. La caja es cerrada y etiquetada por el personal de etiquetado y embalaje.
4. El empleado de envío coloca el pedido en el camión de transporte para su posterior distribución.

Este último año, la empresa ha observado un incremento notable en sus ventas el cual ha conllevado un aumento en la cantidad de pedidos y el tamaño de estos por parte de las tiendas. Además, la empresa tiene planeado abrir nuevas sucursales.

Debido a este aumento de demanda, la empresa cree necesario agilizar el proceso de preparación y paletizado de los pedidos con tal de poder proveer satisfactoriamente a todas las tiendas. Es por ello por lo que han contactado con el departamento de logística de la empresa, representado por los integrantes del grupo A4 de la asignatura de PROYECTO RII 2, en busca de una solución a este problema de logística.

Al departamento, por tanto, se le pide que idee una propuesta realista de automatización parcial o total del proceso de preparación de pedidos de una sección del almacén encargada del procesamiento de pedidos de ciertos productos (auriculares, pulseras, fundas de teléfono, teléfonos, fundas de *e-readers*, *e-readers*, fundas de tablet y tablets).

## JUSTIFICACIÓN

Esta propuesta aparece como una solución a la problemática planteada por la empresa en lo referente a la preparación de pedidos de una sección del almacén. Mediante la implementación de la misma, se pretende alcanzar todos los objetivos que se expondrán a continuación en el documento de forma satisfactoria.

Llevar a la realidad el proyecto mejorará exponencialmente la velocidad de preparación de los pedidos. Además, el espacio requerido para su implementación es relativamente pequeño en comparación con el tamaño del almacén, por lo que será posible realizar el proyecto sin reducir el *stock* del almacén.

Actualmente, se plantea implementar la automatización en tan solo una sección del almacén, aun así, esta propuesta podría ser ampliada a una sección mayor del almacén mediante la implementación de más estaciones de *pick and place*.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA

### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Actualmente, el proceso de preparación de los pedidos consta de tres fases bien definidas: selección y montaje de la caja para el pedido, llenado de las cajas con los dispositivos y transporte de la caja para su etiquetado y posterior paletizado.

- El operario recoge la caja o cajas del tamaño adecuado para el pedido que va a preparar. Las cajas están desmontadas y apiladas una encima de otra. Después de seleccionar una caja, el operario la abre, dobla las solapas inferiores y las encinta.
- Uno a uno va introduciendo los dispositivos del pedido de forma que todos quepan en la caja. En un caso ideal, el trabajador los introduce de forma óptima yendo desde el producto más grande y pesado al más pequeño y liviano. Todos los productos se encuentran distribuidos por las estanterías del almacén y el operario desplaza la caja mediante una carretilla de almacén.
- Una vez se han introducido los ítems en la caja, el operario se dirige a la zona de etiquetado y sellado de la caja, donde otro empleado se encarga de realizar estas tareas. Esta fase ya no forma parte del proceso que se pretende automatizar.

### OPORTUNIDADES DE MEJORA

#### TIEMPOS DE EJECUCIÓN

Actualmente hay 8 operarios dedicados a esta sección del almacén, divididos en dos jornadas laborales. Cada trabajador tarda una media de 15,5 minutos en realizar cada encargo. Todo esto supondría la elaboración de aproximadamente 108 pedidos por cada jornada laboral de 8 horas, suponiendo un total de 217 pedidos por día. El cálculo de esta información puede ser consultado en el [Anexo I](#).

#### PRECISIÓN

Al tener que coger los dispositivos de uno en uno, el empleado puede perder la cuenta de cuantos ítems lleva. Esto puede causar que los envíos se realicen con cantidades erróneas. Además, el trabajador podría colocar los objetos conforme los va recogiendo de las estanterías sin buscar una optimización del espacio empleado, lo que puede suponer el uso de más embalajes de los que realmente se requieren.

#### ESPACIO REQUERIDO PARA LA AUTOMATIZACIÓN

El proceso actual ocupa un espacio aproximado de 6 x 7 metros cuadrados. Esto se debe a que las estanterías deben dejar un espacio suficiente como para que el operador pueda trabajar cómodamente, pudiendo emplear tanto la carretilla de almacén como una escalera en caso de necesidad. Además, las cajas y carretillas no utilizadas tienen un área reservada que también resta espacio al almacén.

## BIENESTAR DE LOS TRABAJADORES

Hoy en día, como se ha mencionado anteriormente, los operarios transportan las cajas de pedidos en carretillas a lo largo del almacén mientras recogen los dispositivos de las estanterías. Además, deben coger los ítems de las estanterías uno a uno para disminuir el riesgo de rotura del producto por caída, esto puede suponer la repetición de un mismo movimiento múltiples veces seguidas dependiendo del pedido. Después, deben llevar el pedido a la siguiente fase del proceso. Todo esto supone un esfuerzo por parte del trabajador, el cual puede terminar desarrollando un trastorno músculo-esquelético (al cual se hará referencia a lo largo del documento como TME).

---

## 2. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN

---

### ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

A la hora de realizar la propuesta, se planteó una única solución. Aun así, esta sufrió varias modificaciones hasta llegar al punto actual.

En un principio, se planteó una distribución de estanterías distinta, en la cual, las estanterías rodeaban al robot industrial por tres de sus lados, quedando el otro lado a su vez bloqueado por la cinta transportadora. Aun así, con el objetivo de reducir el tamaño del robot sin reducir su rango de actuación, se optó por colocarlo sobre un eje lineal. Esto produjo la necesidad de modificar la distribución de las estanterías, colocándolas de forma paralela a los laterales del robot. Esta distribución será mejor definida en el [layout](#).

### OBJETIVOS DEL PROYECTO

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

La propuesta de automatización debe abarcar desde el proceso de montaje de las propias cajas de los pedidos y su llenado, hasta su transporte a la zona de paletizado, y todo esto cumpliendo con los objetivos siguientes:

- Reducir el tiempo necesario para realizar cada pedido con el fin de poder elaborar un mayor número de pedidos por día.
- Aprovechar el espacio de las cajas de pedidos al máximo a la hora de distribuir los productos y disminuir la cantidad de errores por pedido.
- Reducir el espacio empleado para la preparación de los pedidos para así poder aumentar el *stock* de productos disponible al máximo.
- Evitar que los trabajadores padezcan de TME al reducir la cantidad de movimientos repetitivos que deben realizar y las cargas que deben soportar al desplazar los paquetes de una sección del almacén a otra.
- Mantener en la empresa a la mayor cantidad de personal posible de la zona susceptible de automatizar, ofreciéndoles nuevas tareas a realizar.

- Que el coste de la automatización no suponga un coste más elevado de lo que supondría contratar más trabajadores, ampliar el almacenamiento de *stock* o mejorar las condiciones laborales.

## DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO TRAS LA AUTOMATIZACIÓN

La automatización que se plantea está formada por tres fases bien definidas: selección y montaje de la caja para el pedido, llenado de las cajas con los dispositivos y transporte de la caja para su etiquetado y posterior paletizado.

### **APERTURA DE CAJAS VACÍAS Y SU TRANSPORTE A LA ZONA DE PICK & PLACE**

Después de recibir una orden de pedido, todo el sistema se pone en marcha y el primer paso es preparar la caja donde posteriormente se irán introduciendo los dispositivos tecnológicos demandados en el pedido. Los pedidos pueden ser de cantidades y tipos de producto diversos, por eso, se han establecido tres tamaños de caja distintos (durante el proyecto se denominarán S, M y L) para poder distribuir de la forma más eficiente posible los distintos pedidos sin desaprovechar espacio.

Una zona de la celda está destinada a la apertura de las cajas de forma automatizada, cuenta con un robot colaborativo con una herramienta especial para la manipulación de cajas. Estas están dispuestas alrededor del robot para reducir el área de trabajo de este y permitir que alcance sin problema alguno los tres tipos de cajas. Las cajas se encuentran desmontadas y la tarea del robot es seleccionar una de ellas y, mediante la ayuda de una máquina especializada, abrir las cajas, doblar las solapas inferiores y encintarlas. Para su utilización, es necesario un robot que se encargue de transportar las cajas dobladas por las distintas secciones de la máquina. Durante este proceso de montaje, se realiza un grabado de un código QR en la caja. Dicho código contendría el identificador de pedido para saber el contenido de la propia caja. Posteriormente se explicará con más detalle el funcionamiento y los elementos que intervienen en esta fase.

Por último, una vez montada y encintada, la caja se coloca en una cinta transportadora que comunica con la siguiente fase del proceso, el *pick and place* de los dispositivos.

### **PICK & PLACE DE LOS DISPOSITIVOS**

Se parte desde la última situación, la caja montada ha sido colocada en la cinta y comienza a avanzar hasta que llega a la zona donde se realizará el *place* de los dispositivos. Para asegurar que llegan con la orientación adecuada, las cajas se sujetan y se reorientan en la posición adecuada mediante un sistema mecánico para así conseguir el correcto *place* de los dispositivos en su interior. Este mecanismo será explicado posteriormente en mayor detalle.

Una vez la caja está preparada para ser rellenada, se escanea el código QR de la caja para saber su contenido. Entonces, un robot industrial realiza el *pick and place* de los dispositivos tecnológicos. Los dispositivos se encuentran dispuestos en bandejas colocadas en unas estanterías que serán explicadas con posterioridad.

Para terminar, mediante software, el robot será capaz de localizar cualquier dispositivo, sabiendo en que estantería, balda y bandeja se encuentra. La colocación de los objetos pedidos en la caja estará automatizada de forma que la distribución sea óptima, colocando los objetos de forma que ocupen el mínimo espacio de la caja posible sin dejar huecos desaprovechados. Estas dos tareas serán mejor explicadas en el [Apartado 3](#).



## **TRANSPORTE DE LAS CAJAS LLENAS**

Cuando una caja ha sido llenada satisfactoriamente, la cinta transportadora se reactiva. En esta última fase, una nueva cinta transportadora se encarga de llevar los pedidos a la zona de etiquetado y paletizado. Para permitir que la caja llena se desplace de la fase anterior a la nueva cinta, se usan unos rodillos que permiten el descenso por gravedad de las cajas y un posicionador, que reorienta la caja correctamente.

## **CRITERIOS Y METAS (KPI)**

### **TIEMPO DE EJECUCIÓN**

El primer objetivo es el de aumentar la cantidad de pedidos realizados por día, es decir, disminuir el tiempo de ejecución del proceso de preparación de pedidos.

En el proceso actual, como se ha mencionado antes, cuatro operarios realizan en total una media de 217 pedidos por día. Con la automatización se pretende aumentar la producción en mínimo un 40% y reubicar a los trabajadores para que la producción en otras secciones también se incremente.

### **PRECISIÓN**

Otro de los objetivos es el de disminuir la cantidad de errores por pedido y aprovechar el espacio de los paquetes al máximo a la hora de distribuir los productos. Actualmente, hay un porcentaje de error de un 2% a la hora de realizar los pedidos. Además, se emplean un 5% más de cajas de las necesarias debido a errores de distribución que generan desaprovechamientos de espacio. Con la propuesta se pretende reducir al máximo estos porcentajes de error.

### **ESPACIO REQUERIDO PARA LA AUTOMATIZACIÓN**

El tercer objetivo hace referencia al espacio empleado por la automatización. Con el objetivo de aumentar el *stock* de productos, la empresa busca que no se emplee una gran cantidad de espacio para implementar el nuevo proceso y, preferiblemente, que la instalación pueda establecerse dentro de las dimensiones que ocupa la sección de almacén actualmente. Es decir, se busca que la automatización no requiera de un espacio superior a 6 x 7 m<sup>2</sup>.

### **BIENESTAR DE LOS TRABAJADORES**

Otro objetivo es el de disminuir la probabilidad de que los operarios desarrollen TME a causa de levantar cargas pesadas o realizar tareas repetitivas. Actualmente, hay una media de una baja anual por problemas de salud relacionados con esta materia. Con la automatización se busca reducir el número de bajas.

### **COSTES DE IMPLEMENTACIÓN, OPERATIVOS Y RETORNO DE LA INVERSIÓN**

La implementación de una automatización suele suponer una gran inversión ya que deben colocarse diversos elementos que suponen un coste bastante elevado. Aun así, como se ha mencionado anteriormente, la empresa está observando un aumento importante en la cantidad de ventas y de pedidos. Es por este motivo por el que puede permitirse un presupuesto relativamente elevado mientras que la inversión salga rentable. Por tanto, la empresa busca que, dentro de un coste que no sea excesivamente elevado, la automatización termine generando un beneficio mayor que el coste inicial al permitir abastecer a todas las tiendas de la empresa sin retrasos.

## OTROS ASPECTOS AFECTADOS O MEJORADOS

Esta modificación del proceso, como se ha mencionado, varía el espacio requerido en planta. Esto puede llevar a que, el espacio ahorrado, pueda ser empleado para otros procesos del almacén o para almacenar un mayor número de recursos y reducir la cantidad de pedidos realizados para rellenar inventario.

A su vez, también se requerirá una menor cantidad de mano de obra y no se necesitará de una constante presencia humana durante el proceso. Por ello, se podrán destinar más operarios a otros sectores del almacén, aumentando así la velocidad de ejecución de tareas en otras áreas.

## IMPACTOS ADICIONALES

La implementación de la automatización propuesta supondría un cambio tanto logístico, como tecnológico, como salarial en el sector del almacén afectado.

En cuanto a la logística, la implantación del nuevo proceso supondría una modificación completa del proceso de preparación de los productos. Sería necesario reestructurar el proceso posterior, cierre y paletizado de las cajas, con el objetivo de evitar cuellos de botella en caso de que la velocidad de este segundo proceso no fuese suficiente como para seguir el ritmo al nuevo método de preparación de las cajas.

Por otra parte, sería necesario modificar el sistema de recepción de pedidos de la empresa con tal de poder realizar el proceso de forma totalmente automatizada. Esto supondría la necesidad de implementar un mecanismo mediante *software* que fuese capaz de procesar los pedidos que fuesen llegando. El *software* se comunicaría con los robots mediante conexiones indirectas (MQTT), enviando las órdenes oportunas.

Por último, como se ha mencionado en apartados anteriores, la cantidad de empleados y sus funciones en esta sección del almacén cambiaría completamente: no se requeriría gente montando ni rellenando las cajas sino realizando el mantenimiento de los robots y reponiendo dispositivos y cajas. Es por esto que los salarios se verían afectados, ya fuera reasignando a los empleados en otras áreas de la empresa o cambiando sus funciones, sería necesario realizar un análisis para modificar los salarios acordes a las nuevas tareas a ejecutar por estos operarios.

## LÍMITES Y RESTRICCIONES DEL PROYECTO

Esta propuesta podría haberse visto restringida por varios motivos. Para comenzar, el tamaño de la fábrica podría llegar un factor limitante. Esto se debe a que, la implementación, debería implantarse en el área designada para el proceso en cuestión si se quiere evitar perjudicar otras actividades de la empresa. Este factor es gestionado fácilmente con la propuesta aportada puesto que, como se ha mencionado anteriormente, ocupa un menor espacio que la estación actual.

Otro factor restrictivo podría ser el presupuesto, ya que un coste muy elevado podría llegar a ser perjudicial a la hora de realizar una automatización. Como se ha comentado al principio del documento, la empresa busca abrir nuevas sucursales y agilizar el proceso de preparación de pedidos debido al incremento notable en sus ventas. Es por ello que el factor económico no supone un riesgo o restricción en este caso en concreto mientras que la propuesta no exceda los límites expuestos por la empresa.

Por último, el número de despidos también podría ser un factor determinante ya que, al automatizar el proceso, no se requiere mano de obra para realizar la preparación de los pedidos. Aun así, la empresa puede reubicar a estos trabajadores a otras secciones del almacén o modificar sus puestos de trabajo para reabastecer tanto las cajas como los dispositivos o realizar el mantenimiento de la estación.

Por tanto, se puede concluir que, aunque hay varios factores que, en un principio podrían haber sido limitantes, la propuesta permite evitar que estos se conviertan en un problema o una restricción.

---

## 3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

---

### ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS

La celda automatizada está distribuida en tres estaciones, las dos primeras, independientes entre sí y, la tercera, con función de intermediaria entre las otras dos. En la primera estación se realiza el montaje de las diferentes cajas para los pedidos. En la siguiente estación se realiza el *pick and place* de los dispositivos, los cuales se colocan en las cajas. Para comunicar esta estación con la mencionada anteriormente, se hace uso de un sistema de cintas transportadoras que funcionan como intermediarias. Estas cintas realizan, además, la tarea de transportar las cajas llenas hacia su siguiente destino, el sellado y paletizado.

A continuación, se explicarán con detalle cada una de las estaciones, mencionando todos los dispositivos y elementos que las conforman. Además, se explicará en profundidad el funcionamiento deseado de cada estación y de la celda al completo. Por último, se explicarán los distintos elementos de sensorización y actuadores empleados. Asimismo, se nombrarán las funciones de los dos dispositivos embebidos (modelo ESP32-S3) requeridos para gestionar y controlar los sensores y actuadores.

### MONTAJE DE LAS CAJAS

En esta estación intervienen los siguientes elementos:

#### CAJAS PARA LOS PEDIDOS

Se han establecido tres tamaños de caja distintos dependiendo del tamaño del pedido, consultar Figura 3.1 y 3.2. Estas cajas cuentan con una modificación en las solapas superiores que permiten que el robot acceda con mayor facilidad y evitando colisiones al interior de las mismas, consultar Figura 3.3.

DIMENSIONES DE LAS CAJAS	
CAJA S	240x300x240 mm
CAJA M	300x320x240 mm
CAJA L	300x480x240 mm

Figura 3.1: Dimensiones de las cajas.

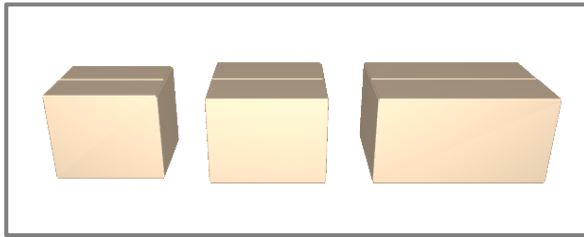


Figura 3.2: Modelos de cajas S, M y L.

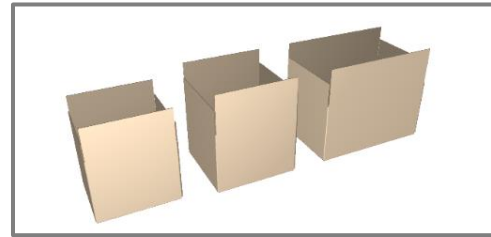


Figura 3.3: Modelos con solapas abiertas.

### MESAS DE SOPORTE DE LAS CAJAS DOBLADAS

Las cajas están situadas en pila sobre unas mesas. De esta forma, se permite un mejor acceso por parte del robot y la herramienta a las cajas. Estas mesas miden 500x800x420 mm, consultar Figura 3.4.

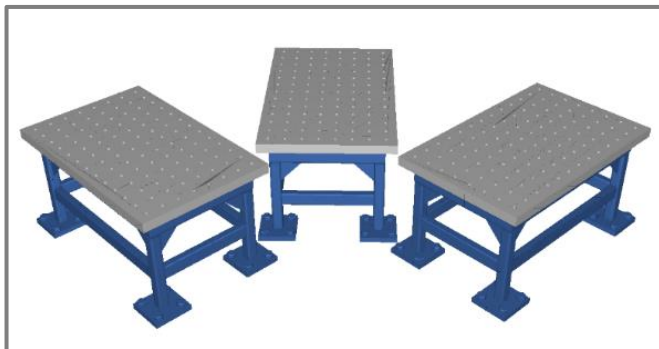


Figura 3.4: Mesas modificadas de RoboDK.

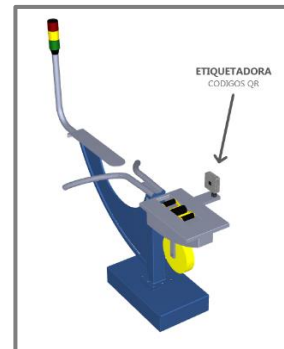


Figura 3.5: Box Erector Station de RoboDK + etiquetadora.

### MÁQUINA DE APERTURA DE CAJAS + ETIQUETADORA

Para la apertura de las cajas dobladas es necesaria la utilización de una máquina especializada en esta clase de procesos. Para el proyecto planteado se ha empleado el modelo de la librería de RoboDK. La etiquetadora se encarga de grabar el identificador de la caja como un código QR, consultar Figura 3.5.

### ROBOT COLABORATIVO + PEDESTAL

Para el proceso de apertura de cajas, además de la máquina mencionada anteriormente, también es necesario un robot que se encargue de montar las cajas de pedidos y colocarlas en la cinta.

Tras estudiar los distintos brazos robóticos disponibles en el mercado se propuso, en un principio, el uso de robots de un alcance de entre 500 y 800 mm, pero, tras analizar la estructuración de la estación más detenidamente, se contempló la necesidad de un robot con un alcance mayor para poder alcanzar con cierta libertad las distintas posiciones requeridas para la



Figura 3.6: Omron TM5X-900 de RoboDK.

apertura de las cajas. Debido a esto, se seleccionó el Omron TM5X-900, consultar Figura 3.6.

El Omron TM5X-900 tiene un alcance de 900 mm y una capacidad de carga máxima de 4 kg, suficiente para soportar el peso de las cajas y la herramienta. Existían otras opciones con alcance

similar, pero estas excedían por mucho la carga máxima necesaria, lo que supondría un coste añadido innecesario.

Para conseguir un mayor alcance al instalar el robot, se optó por colocarlo sobre un pedestal, consultar Figura 3.7.

### **HERRAMIENTA DE APERTURA DE CAJAS**

Como se ha mencionado anteriormente, el robot cuenta con una herramienta la cual se encarga de coger las cajas dobladas y transportarlas por el proceso de apertura hasta la primera cinta. Esta herramienta tiene cuatro ventosas que se encargan de sujetar la caja y un mecanismo metálico que sirve para mantener la caja abierta a 90°. Para que las ventosas aspiren correctamente, se requeriría una bomba de vacío. La herramienta empleada ha sido extraída de la librería de RoboDK, consultar Figura 3.8.

### **PRIMERA CINTA TRANSPORTADORA**

La cinta empleada tiene unas dimensiones aproximadas de 1500x600x800 mm, consultar Figura 3.9. Las cajas, una vez montadas, son colocadas en esta cinta, donde un sensor de presencia las detecta y activa la cinta para transportarlas hasta la zona de *pick and place*. En esta área, otro sensor detecta su presencia y detiene la cinta.

## **PICK & PLACE DE LOS DISPOSITIVOS**

En esta estación intervienen los siguientes elementos:

### **PRIMERA CINTA TRANSPORTADORA + RETENEDOR**

Esta cinta se ha mencionado en la fase anterior. Al llegar la caja a la zona del *pick and place*, como se ha comentado, la cinta se detiene. Además, mediante una señal digital enviada por las ESP32 responsables de la comunicación entre dispositivos, se activa el retenedor encargado de sujetar las cajas. El retenedor se emplea para asegurar que las cajas lleguen con la orientación adecuada y así conseguir un correcto *place* de los dispositivos en su interior, consultar Figura 3.10. Por otra parte, antes de comenzar el *pick and place*, una cámara lee el código QR colocado en la caja para que así el robot pueda empezar el proceso sabiendo los dispositivos que debe introducir.

### **ESTANTERÍAS DE ALMACENAJE DE LOS PRODUCTOS + BANDEJAS**

La estación cuenta con dos estanterías de 2000x800x1800 mm. Cada estantería dispone de seis alturas, aunque solo hay bandejas con dispositivos en las cinco inferiores.



Figura 3.7: Pedestal H20in de RoboDK.

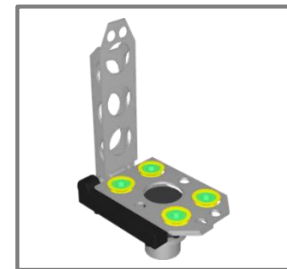


Figura 3.8: Generic Box Erector Gripper de RoboDK.

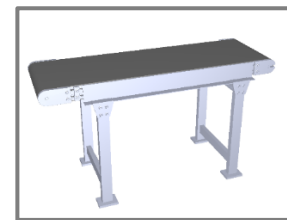


Figura 3.9: Cinta Transportadora de RoboDK.

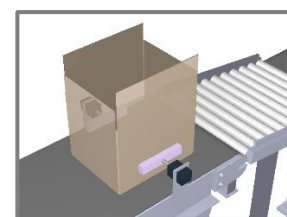
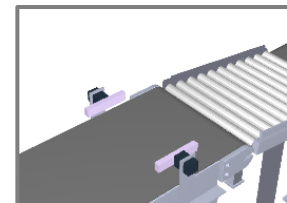


Figura 3.10: Arriba, Retenedor apagado, abajo, Retenedor en funcionamiento.

Los dispositivos se almacenan en las bandejas separándolos por modelo y variante. El tipo de bandeja que se propone empuja automáticamente mediante cintas o resortes los dispositivos de atrás hacia adelante, por lo que es ideal para tareas de *pick and place* como la que se plantea en este proyecto, consultar Figura 3.11 y Figura 3.12.



Figura 3.11: A la izquierda, [Estantería de Acero Galvanizado con 5 Baldas de Makro](#), a la derecha, modelo 3D basado en la estantería anterior.

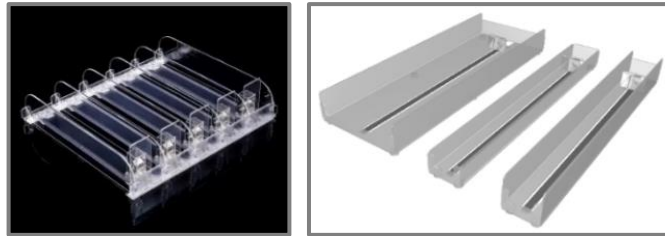


Figura 3.12: A la izquierda, [Supermarket Shelf Pusher de Alibaba](#), a la derecha, modelo 3D realizado basado en las bandejas anteriores.

*“La mayoría de los elementos de la estación han sido modificados o modelados desde cero. El proyecto pretende simular un contexto muy concreto, el proceso de preparación de pedidos de una sección del almacén encargada de ciertos productos, es por ello por lo que surgía la necesidad de diseñar las estanterías, las bandejas y los productos desde cero, siempre basándose en ejemplos reales. En la Figura 3.13 se muestran las dimensiones de cada dispositivo.”*

DIMENSIONES DE LOS DISPOSITIVOS	
RELOJ	80x75x60 mm
PULSERA	80x75x30 mm
FUNDA_TELEFONO	80x150x20 mm
TELEFONO	80x150x60 mm
FUNDA_EREADER	120x150x20 mm
EREADER	120x150x40 mm
FUNDA_TABLET	240x150x20 mm
TABLET	240x150x40 mm

Figura 3.13: Dimensiones de los dispositivos.

## ROBOT INDUSTRIAL + EJE LINEAL

Este robot tiene la función de esperar una orden de pedido (mediante MQTT), comprobar que hay caja vacía en la zona de *place* (en la cinta) y, si la hay, empezar a llenarla. Es decir, es el encargado de realizar el *pick and place* de los dispositivos situados en las estanterías.

La selección del robot ha sido estudiada con mucho detenimiento. Se compararon brazos robóticos de todas las marcas y modelos presentes en la librería de RoboDK. Finalmente se escogió el Denso VS-6577G-B debido a la forma de su muñeca y su movilidad, consultar Figura 3.14.

Además, se justifica el uso de un robot industrial en vez de uno colaborativo ya que el acceso a la zona de trabajo del robot es casi nulo y los operarios reponen las bandejas por la parte de atrás de las estanterías, por lo que no es necesario el uso de un robot colaborativo para esta parte del proceso.

Por último, para aumentar su alcance, se ha colocado sobre un eje lineal de 1500 mm de largo el cual le permite desplazarse y alcanzar todos los dispositivos de las estanterías independientemente de su colocación en las mismas, consultar Figura 3.15.



Figura 3.14: Denso VS-6577G-B de RoboDK.

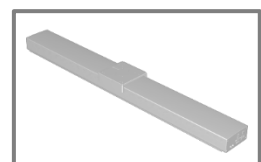


Figura 3.15: Brooks Preciseflex Linear Rail 1500 de RoboDK.



## HERRAMIENTA PARA MANIPULAR PRODUCTOS

El robot requiere una herramienta que le permita coger los dispositivos que, como se ha mencionado anteriormente, son de tamaños y pesos diversos. Es por ello por lo que cuenta con una triple ventosa que permite la activación independiente de cada una de ellas. Para los objetos más pequeños se usa una sola ventosa, para los siguientes con dimensiones mayores se usan dos ventosas, y para los más grandes y pesados se utilizan las tres ventosas. Con todo esto se asegura que se realice un correcto *pick* de los dispositivos, consultar Figura 3.16.

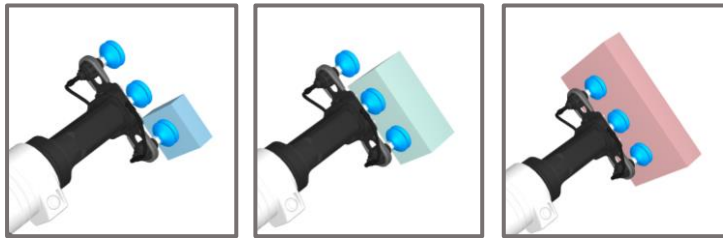


Figura 3.16: Tres tipos de *pick* para los dispositivos.

En la librería de RoboDK no hay ninguna herramienta que se adapte a las necesidades del proyecto, por lo que fue preciso diseñar una herramienta con las características deseadas partiendo de un modelo ya existente, consultar Figura 3.17. Las dimensiones aproximadas de la herramienta son 180x80x204 mm, con ventosas de 40 mm de diámetro. La herramienta tiene una forma alargada para poder llegar mejor a las bases de las cajas, facilitando así el *place* de los productos, consultar Figura 3.18. Por último, cabe mencionar que, al igual que con la herramienta de la primera fase, para que las ventosas funcionen correctamente, sería necesaria una bomba de vacío.

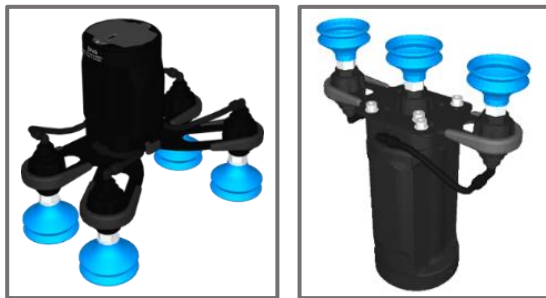


Figura 3.17: A la izquierda, EPick Vacuum Gripper (4 Cups) de RoboDK. A la derecha, modelo 3D realizado basado en la herramienta anterior.

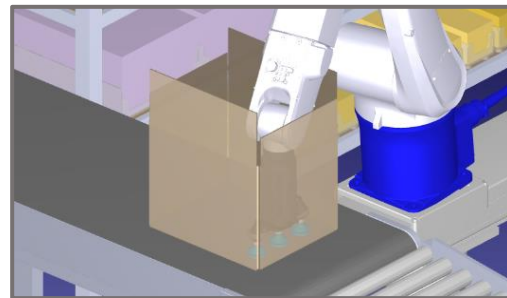


Figura 3.18: Solapas superiores reducidas y la herramienta alargada, para reducir colisiones.

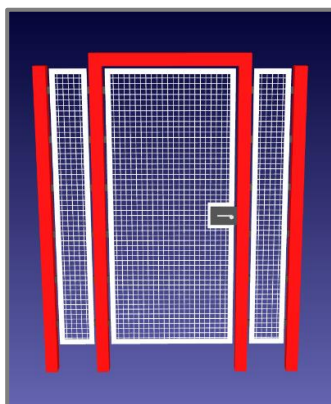


Figura 3.19: Valla de seguridad.

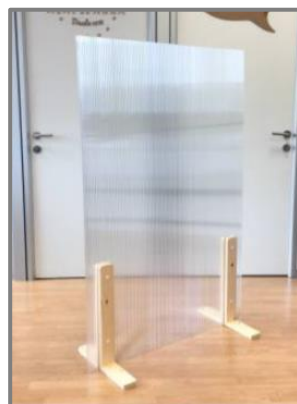
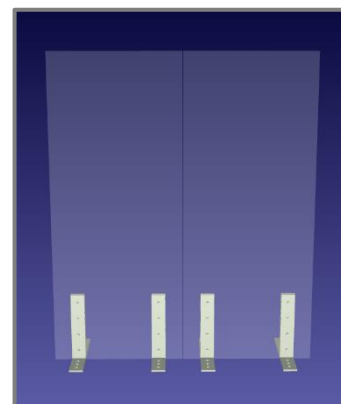


Figura 3.20: A la izquierda, [Mampara separación policarbonato celular](#); a la derecha, modelo 3D basado en la mampara anterior.



## MAMPARA + VALLA DE SEGURIDAD

Debido a que el robot empleado es industrial, es necesario poner medidas de seguridad suficientes como para reducir los riesgos a los que se exponen los operarios al máximo. Es por ello que esta estación cuenta con una valla de seguridad con puerta de 1500x1800 mm y dos mamparas de 750x1800 mm que dificultan el contacto erróneo con el robot. La localización de ambos elementos será definida más adelante. Consultar Figura 3.19 y Figura 3.20.

## TRANSPORTE DE LAS CAJAS

En esta estación intervienen los siguientes elementos:

### RODILLOS INCLINADOS + POSICIONADOR + BARRERA ANTICAÍDA

La cinta no se reactiva y el retenedor no se desactiva hasta que el robot le envía una señal indicando que el proceso de llenado de la caja ha finalizado.

Una vez ha sido llenada la caja, el robot envía una señal indicando que el proceso de llenado de caja ha finalizado. En ese momento, se desactiva el retenedor y se reactiva el movimiento de la primera cinta. Cuando la caja llega al extremo, se desliza por unos rodillos inclinados para cambiar a la segunda cinta, consultar Figura 3.21.

Para reorientar la caja se utiliza el propio movimiento que realiza la caja en contacto con la cinta, la cual va avanzando hacia la derecha desde la perspectiva de la Figura 3.21. Además, para terminar de orientar la caja y evitar que quede torcida, se emplea un posicionador. Por otra parte, para evitar que la caja se salga de la segunda cinta al descender por los rodillos, por un exceso de velocidad, se emplea una barrera anticaída, consultar Figura 3.22.

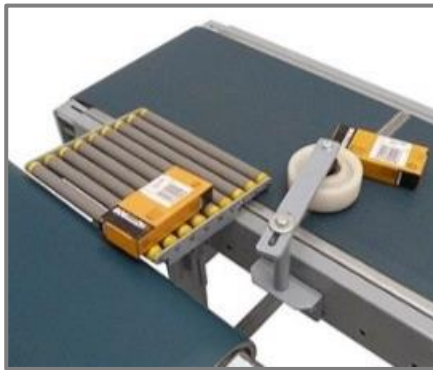


Figura 3.21: A la izquierda, [Sistema de desviación – Ferplast](#). A la derecha, modelo 3D basado de un Transportador de Rodillos Inclinado basado en la imagen anterior.

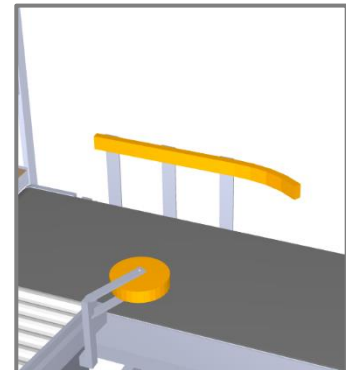


Figura 3.22: Modelo 3D de la barrera anticaída.

## SEGUNDA CINTA TRANSPORTADORA

La cinta empleada tiene unas dimensiones aproximadas de 600 mm de ancho y 800 mm de alto, consultar Figura 3.23. Una vez realizado el cambio de cinta mediante el uso de los rodillos mencionados anteriormente, las cajas son transportadas a través de esta cinta a la siguiente fase del proceso, es decir, el sellado y paletizado. En el proyecto realizado se ha establecido con una longitud de 3000 mm, aun así, esta medida es solo orientativa ya que, si se llevase a cabo la simulación completa del proceso de realización del pedido, esta cinta tendría una longitud mucho mayor al tener que pasar por la máquina de sellado de la caja y la zona de paletizado.



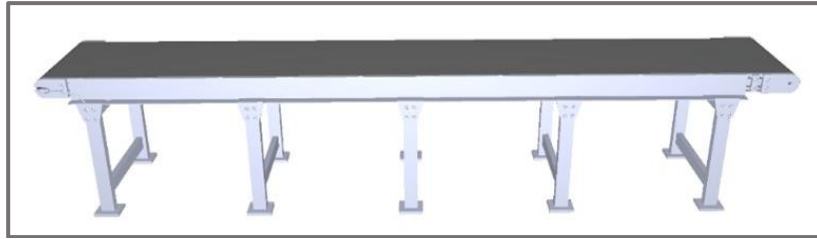


Figura 3.23: Cinta transportadora de RoboDK.

## SENSORIZACIÓN Y ACTUADORES

### **SENSOR DE PRESENCIA DE CAJAS**

Este sensor se encarga de detectar la presencia de las cajas plegadas. En caso de que no detecte presencia, se enviará un aviso a los operarios para que repongan las cajas. Este sensor será gestionado por el robot colaborativo y avisará al personal cuando queden pocas cajas, consultar Figura 3.22.

### **SENSOR AL INICIO DE CINTA**

Este sensor de presencia será gestionado por la primera ESP32, la cual será mencionada más adelante. Detectará si está libre o no la zona de *place* de las cajas recién montadas por el *cobot*, consultar Figura 3.22.

### **SENSOR AL FINAL DE CINTA**

Este sensor será gestionado por la primera ESP32. Detectará si está libre o no la zona donde se posiciona la caja para llenarla, consultar Figura 3.22.

### **RETENEDOR**

Se trata de un actuador mecánico o neumático gestionado por la primera ESP32. Como se ha mencionado, cuando el sensor al final de la cinta detecte presencia, el retenedor se activará para sujetar la caja y asegurar un correcto llenado de la misma. Cuando finalice el proceso de llenado, se enviará una señal para desactivar el retenedor.

### **CÁMARA PARA LA LECTURA DE CÓDIGOS QR**

Quando se monta y encinta una caja, también se le coloca un código QR. Este contiene el identificador de caja, asociado a un pedido, y es leído mediante una cámara gestionada por la primera ESP32, consultar Figura 3.23. Con el identificador se sabrá el contenido y orden con el que se debe llenar la caja.

### **BOTONES DE EMERGENCIA**

La estación requiere de botones de emergencia que permitan detener los distintos elementos móviles del proceso.

Es decir, se requiere un botón para detener cada una de las cintas y cada uno de los robots en caso de emergencia. Estos estarían gestionados por las propias cintas y robots.

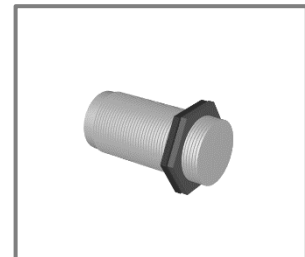


Figura 3.22: Modelo 3D de los sensores de presencia.



Figura 3.23: Modelo 3D de la cámara para lectura de QR.

Además, debido a que cada una de las estaciones depende del funcionamiento tanto de la fase anterior como de la posterior, se incluye un botón de emergencia general que detenga todo el proceso de producción. Este estaría gestionado por la primera ESP32.

## PRIMERA ESP32

La primera ESP32 se encarga de gestionar los sensores y actuadores mencionados anteriormente. La gestión se hará mediante comunicaciones indirectas PubSub (con MQTT).

Las lecturas de los sensores se publican por cuatro *topics* distintos, uno por cada sensor: sensor de presencia del principio de la cinta, el del final de la cinta, la cámara y el botón de emergencia. Para controlar el retenedor de cajas y la cinta, la ESP32 se suscribirá a un topic distinto para cada uno.

## SEGUNDA ESP32

Esta ESP32 llevará a cabo la tarea de controladora. Estará suscrita a los *topics* de los sensores y, dependiendo de los valores que se publiquen en estos, publicará las ordenes requeridas en el topic del retenedor o de la cinta. En cuanto a la cámara, con el identificador de caja que reciba, se consultará en una base de datos la información sobre el llenado de las cajas y se la enviará al robot industrial.

Además, esta ESP32 estará suscrita al topic del botón de emergencia general y, cuando este se accione, provocará la parálisis general de la celda al completo, consultar Figura 3.24 para ver los dispositivos embebidos.

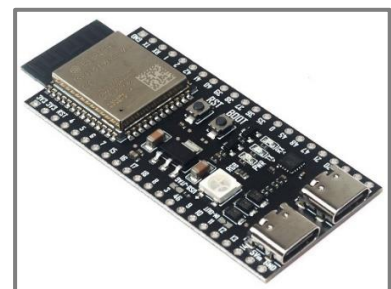


Figura 3.24: ESP32s3 empleada para la gestión y control de los dispositivos.

## DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO DE TRABAJO

Como se ha mencionado anteriormente, la celda se divide en tres estaciones. A continuación, se mencionará la ubicación de cada uno de los dispositivos y elementos que conforman cada una de las estaciones y que han sido mencionados en apartados anteriores.

### MONTAJE DE LAS CAJAS

#### **CAJAS PARA LOS PEDIDOS + MESAS DE SOPORTE DE LAS CAJAS**

Las cajas de pedidos se sitúan inicialmente desdobladas en pila en tres mesas según el tamaño que tengan. Las mesas se encuentran rodeando al robot tal y como puede observarse en la Figura 3.25. Esta distribución permite que, con un robot con un alcance relativamente corto, se puedan alcanzar todas las posiciones requeridas para el montaje de la caja.

#### **MÁQUINA DE APERTURA DE CAJAS + ETIQUETADORA**

Esta máquina se encuentra localizada cerca del robot colaborativo para permitir que este pueda ejecutar el proceso de montaje sin problemas de alcance. Además, se encuentra situada de forma que el robot no debe realizar movimientos innecesarios para pasar las cajas de las mesas a la cinta. Su ubicación puede ser consultada en la Figura 3.26.

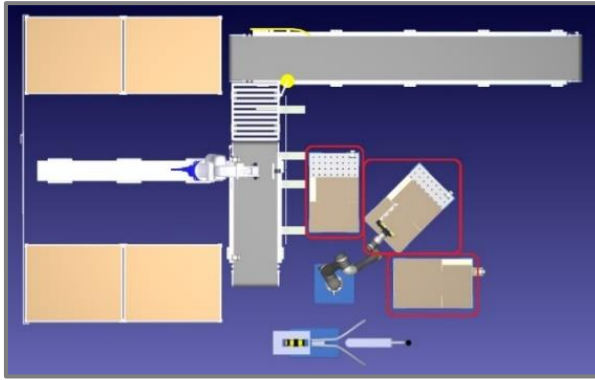


Figura 3.25: Ubicación de las cajas y mesas.

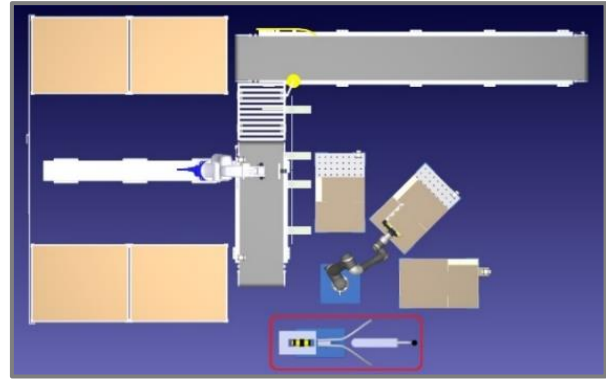


Figura 3.26: Ubicación de la máquina de apertura y etiquetadora.

### **ROBOT COLABORATIVO + PEDESTAL**

El robot colaborativo se encuentra rodeado, como se ha mencionado anteriormente, por las mesas donde están las cajas dobladas, la máquina de apertura de cajas y la primera cinta. Además, se sitúa sobre un pedestal, de forma que la base del robot se encuentra a la misma altura que las cajas dobladas. Para conocer su ubicación exacta en la estación, consultar Figura 3.27.

## PICK & PLACE DE LOS DISPOSITIVOS

### **PRIMERA CINTA TRANSPORTADORA**

La cinta está situada a la izquierda de la estación de montaje de las cajas como puede observarse en la Figura 3.28. A su vez, a su izquierda, se localizan el resto de los elementos de esta estación que serán mencionados a continuación.

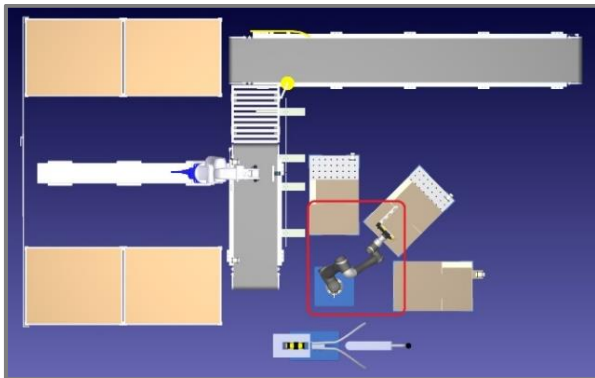


Figura 3.27: Ubicación del robot colaborativo y el pedestal.

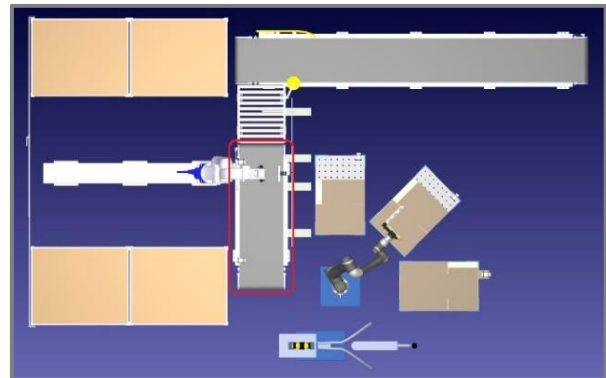


Figura 3.28: Ubicación de la primera cinta transportadora.

### **ESTANTERÍAS DE ALMACENAJE DE LOS PRODUCTOS + BANDEJAS**

Las estanterías se encuentran localizadas de forma paralela a los lados del robot. Cada estantería dispone de cinco baldas útiles en las que se colocan las bandejas de dispositivos según modelo y variante. Para conocer la ubicación de todos los elementos mencionados consultar Figura 3.29.

### **ROBOT INDUSTRIAL + EJE LINEAL**

El robot industrial se encuentra, como se ha mencionado, entre las estanterías de dispositivos. Además, consultando la Figura 3.30, se puede observar que se encuentra rodeado también por la primera cinta transportadora a su derecha y una valla de seguridad a su izquierda. Cabe añadir que

está situado sobre un eje lineal que permite que el robot alcance todas las ubicaciones requeridas para el proceso de *pick and place*.

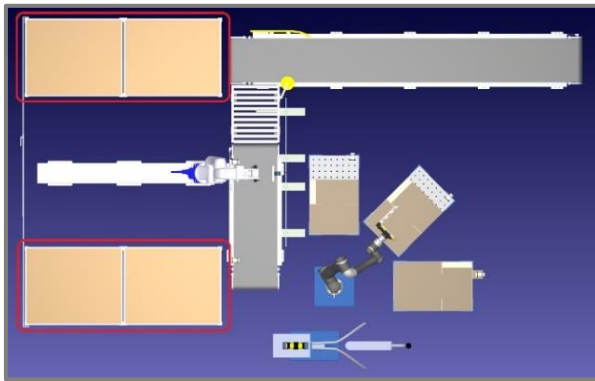


Figura 3.29: Ubicación de las estanterías y bandejas.

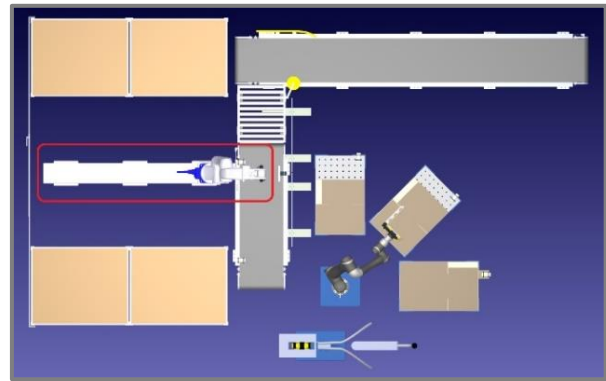


Figura 3.30: Ubicación del robot industrial y el eje lineal.

### **MAMPARAS + VALLA DE SEGURIDAD**

Las mamparas de seguridad se encuentran localizadas en el lateral derecho de la primera cinta y actúan como barrera entre la estación de montaje de cajas y la de *pick and place*, reduciendo el riesgo de que, en caso de que un trabajador reponga las cajas desdobladas, pueda entrar en contacto con el robot industrial.

Las mamparas protegen de errores humanos, ya que el robot industrial ya estaría limitado por *software*, acotándose así su área de trabajo.

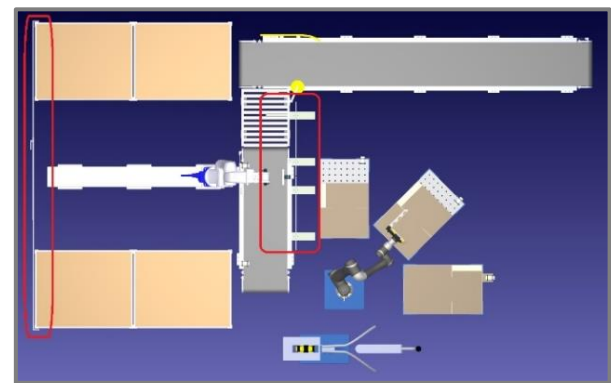


Figura 3.31: Ubicación de las mamparas y la valla de seguridad.

La valla de seguridad mencionada se localiza en el extremo izquierdo de la estación, unida a las estanterías. Para conocer la ubicación exacta de estos elementos consultar la Figura 3.31.

## TRANSPORTE DE LAS CAJAS

### **RODILLOS INCLINADOS + POSICIONADOR + BARRERA ANTICAÍDA**

El transportador de rodillos inclinados se localiza al final de la primera cinta e inicio de la segunda. El posicionador se encuentra sujeto al lado derecho del transportador de rodillos. La barrera anticaída se sitúa al inicio de la segunda cinta a la misma altura que los rodillos.

Para conocer la ubicación exacta de estos elementos, consultar la Figura 3.32.

### **SEGUNDA CINTA TRANSPORTADORA**

Esta cinta, como se puede contemplar en la Figura 3.33, se sitúa en la zona norte de la estación y se extiende hacia la derecha hasta llegar a la siguiente fase, el sellado y paletizado de las cajas, la cual no se ve reflejada en esta propuesta.

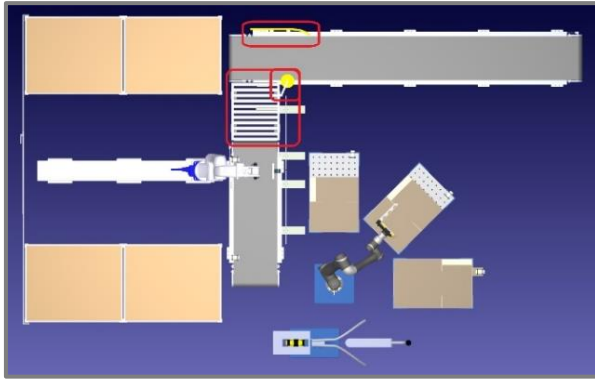


Figura 3.32: Ubicación de los rodillos, el posicionador y la barrera anticaída.

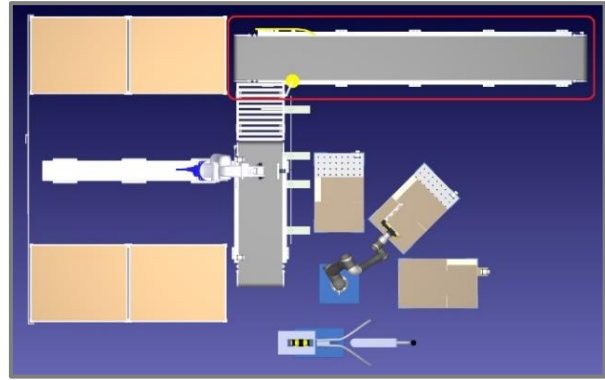


Figura 3.33: Ubicación de la segunda cinta transportadora.

## SENSORIZACIÓN Y ACTUADORES

### SENSORES DE DETECCIÓN DE PRESENCIA

Como se ha mencionado en apartados anteriores, hay cinco sensores de presencia. Los tres primeros, los sensores de presencia de cajas, se encuentran en las mesas que soportan las cajas y estarán colocados a una cierta altura sobre la mesa (unos 6 cm) para que, entre que se recibe el aviso y se reponen las cajas, no sea necesario detener la producción, consultar Figura 3.34.

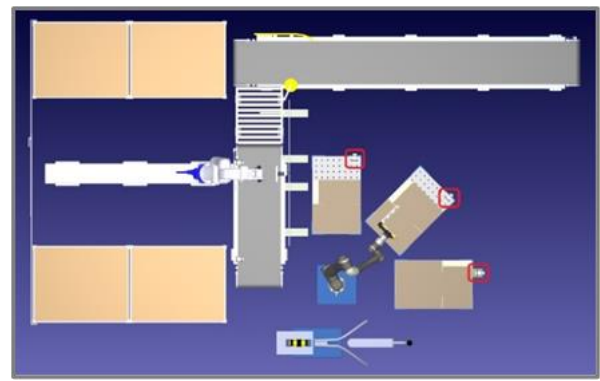


Figura 3.34: Ubicación de los sensores de presencia de las mesas.

Los tres primeros, los sensores de presencia de cajas, se encuentran en las mesas que soportan las cajas y estarán colocados a una cierta altura sobre la mesa (unos 6 cm) para que, entre que se recibe el aviso y se reponen las cajas, no sea necesario detener la producción, consultar Figura 3.34.

El cuarto, el sensor al inicio de cinta, se coloca al inicio de la primera cinta, a la altura en que se dejan las cajas montadas, consultar Figura 3.35.

El quinto, el sensor al final de cinta, se sitúa en la misma zona que el retenedor, el cual se menciona a continuación, consultar Figura 3.36.

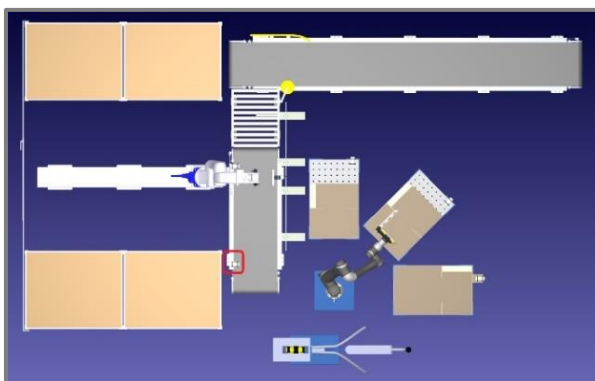


Figura 3.35: Ubicación del sensor de presencia de inicio de cinta.

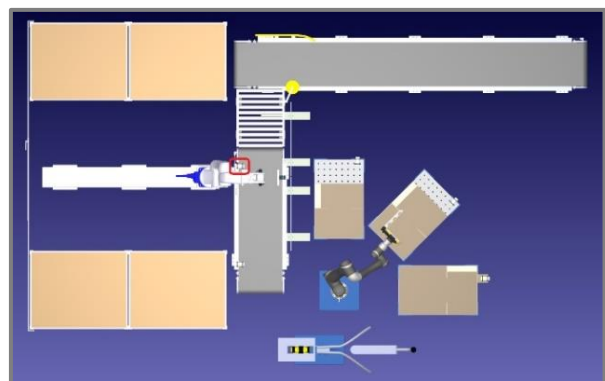


Figura 3.36: Ubicación del sensor de presencia de final de cinta.

## RETENEDOR

Este se encuentra localizado en la zona de *pick and place* de los dispositivos como puede observarse en la Figura 3.37.

## CÁMARA

La cámara se encuentra en la misma zona que el retenedor, consultar Figura 3.38.

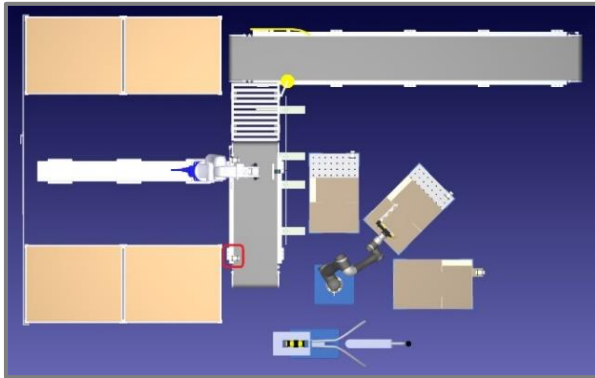


Figura 3.37: Ubicación del retenedor.

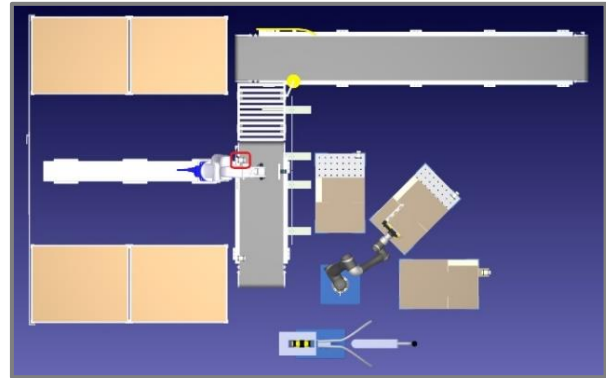


Figura 3.38: Ubicación de la cámara.

## BOTONES DE EMERGENCIA

Los botones de emergencia se situarían en una zona accesible y segura para evitar que, en caso de necesidad, se imposibilite el acceso a los mismos. Aun así, no han sido implementados en la simulación de RoboDK por lo que no se puede proporcionar una imagen de su localización.

## ESTRATEGIAS Y ALGORITMOS

En apartados anteriores se ha mencionado que la empresa cuenta con un sistema de realización de pedidos, y que este deberá ser modificado para poder integrar la automatización adecuadamente.

El sistema actual se encarga de gestionar los pedidos que se realizan en las sucursales de la propia empresa. Estos pedidos son almacenados en una base de datos y mediante una cola ordenada por preferencias se asigna la tarea de realización de los pedidos a los diferentes trabajadores.

La modificación consiste en el desarrollo de un nuevo software basado en el actual, con el objetivo de conseguir que los pedidos realizados en las sucursales puedan llevarse a cabo de forma totalmente automatizada.

El nuevo software se divide en dos paquetes, preparación de pedidos y gestión de pedidos. Estas serán explicadas a continuación, justificando su necesidad, estrategias y algoritmos que requieran cada una de las partes.

## SOFTWARE PARA LA PREPARACIÓN DE PEDIDOS

Este primer paquete *software* recoge todo el código necesario para que los robots, sensores y demás elementos de la estación funcionen y se comuniquen adecuadamente. En la lista que se encuentra a continuación se mencionan los componentes del paquete junto a una breve explicación.

- **Base de datos:** Se requiere la ampliación y mejora de la base de datos existente en la empresa para que pueda llevarse a cabo la implementación, esta será explicada posteriormente.



- **Cálculo de las cajas necesarias para el pedido:** Se trata de un programa que calcula el número de cajas necesarias para realizar un pedido. Tras realizar el cálculo, dicha información se guarda en la base de datos, las cajas necesarias están vinculadas a un identificador de pedido único.
- **Cálculo de la secuencia de llenado de una caja:** Este programa calcula la distribución óptima de los dispositivos para llenar una caja. Para llevar a cabo esta labor es necesario un algoritmo que haga uso de programación dinámica, para así conseguir la secuencia de llenado que utilice mejor el espacio disponible de la caja. Una vez ha sido calculada la secuencia, esta se guarda en la base de datos para ser consultada posteriormente, cada secuencia está vinculada a un identificador de caja único.

La solución aportada se trata de una versión simplificada del algoritmo final. El cálculo de la colocación se realiza mediante programación voraz, y no se tienen en consideración muchas de las situaciones que en la versión final sí que se contemplarían. En la Figura 3.39, se muestra el pseudocódigo de lo que sería el programa. Este será explicado con mayor detalle en el apartado [Algoritmos y Estructuras de Datos](#).

```

procedure place_items_in_box (Candidates itemsToPlace)
  ▷ pseudo-código del programa encargado de llenar las cajas ◁

  sort_by_size(itemsToPlace)

  While (itemsToPlace != {}) do
    Seleccionar(C) { aux = itemsToPlace->it
    + Usable(x, C) { If is_valid_space(aux.size)
    Añadir(x, S) {   x = itemsToPlace.pop()
                   placedItems.push(x)
                   update_spaceInUse(x.size)
                   it = itemsToPlace.first
                   Else
                     ++it
                   end While
  end place_items_in_box

```

Figura 3.39: Pseudocódigo del programa para el llenado de cajas (programación voraz).

- **Gestión de los sensores y actuadores:** Consiste en el desarrollo del código necesario para la gestión de los sensores y actuadores de la estación. Para ello es necesaria la programación (en C++) de los dispositivos embebidos ESP32-S3.
- **Mecanismos de comunicación:** La implementación de mecanismos de comunicación indirecta, es necesaria para reportar las mediciones de los sensores y para enviar las órdenes de acción para los actuadores y los robots. Esta comunicación se realiza de manera indirecta a través de *brokers* de mensajes donde se implementa el protocolo MQTT para mensajería IoT.

## SOFTWARE PARA LA GESTIÓN DE PEDIDOS

Este segundo paquete *software* abarca todo el proceso previo de recepción de los pedidos. Procesa los pedidos que van llegando de las sucursales e inserta toda la información necesaria en la base de datos.

Este paquete se combina con el anterior *software* mencionado para generar toda la información necesaria del pedido, la finalidad es que pueda ser consultada por procesos posteriores como el llenado de cajas por el robot industrial.

Las órdenes de los pedidos se van almacenando en una cola ordenada por alguna preferencia como la fecha de pedido o alguna adicional, el *software* establece la preferencia oportuna. Estas órdenes se van ejecutando secuencialmente por el robot colaborativo.

Por último, en el momento que se ejecuta alguna de las órdenes para el montaje de cajas, el *software* genera un código QR que será colocado en la caja, el contenido del QR indica el identificador de la caja en la base de datos, de esta manera se consigue saber el contenido de la caja y su secuencia de llenado, esta información será enviada al robot industrial.

## DISEÑO DE LA PERSISTENCIA DE INFORMACIÓN

Como se ha mencionado en el apartado anterior, es necesario el uso de una base de datos para llevar a cabo la automatización. Actualmente la empresa cuenta con una base de datos, en la cual la estructuración de la información no es suficiente.

Para solucionar este problema se ha diseñado una nueva estructuración para almacenar los datos. Esta nueva organización se ajusta a un modelo relacional (SQL). A continuación se muestra un diagrama explicativo junto a una breve descripción de su contenido, consultar Figura 3.40.

### MODELO ENTIDAD-RELACIÓN DE LA BASE DE DATOS (SQL)

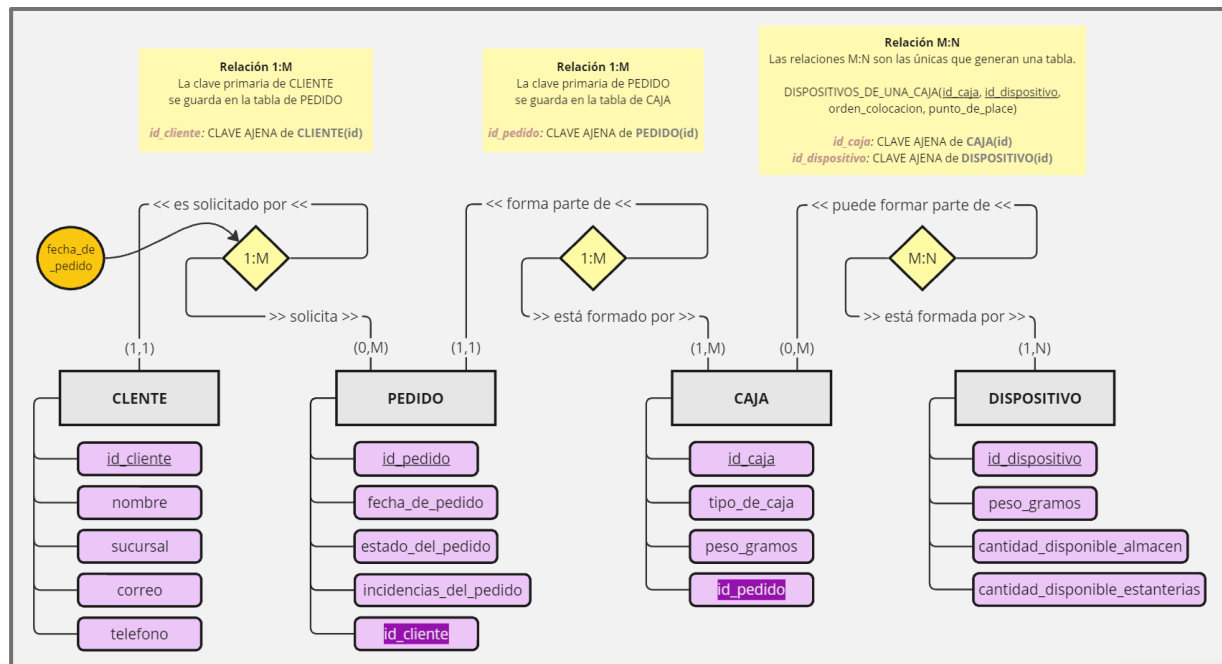


Figura 3.40: Diagrama Entidad-Relación de la Base de Datos.

El nuevo esquema de la base de datos se basa en la relación de cuatro entidades fundamentales, dichas entidades son clientes, pedidos, cajas y dispositivos. En la Figura 3.40 se presentan las diferentes relaciones mediante una notación sencilla, los atributos de entidad, las claves primarias, las claves ajenas, etc.



Para la propuesta de proyecto se sugiere utilizar [PostgreSQL](#) para la creación de la base de datos. Cada entidad se trasladará como una tabla y en el caso de relaciones de tipo muchos a muchos (M:N), también será necesaria una tabla para reunir dichas relaciones.

Para obtener más información sobre la base de datos, se sugiere que se consulte el apartado sobre el [Esquema de la BBDD Utilizada](#).

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE INTEGRACIÓN

En este apartado se definen las características de la comunicación entre los diferentes elementos de la estación, para ello se adjuntan varios diagramas de comunicación indirecta, con los que se pretende aportar una correcta comprensión de las relaciones de forma sencilla.

Cada cola de mensajería se identifica con un *topic*, y los documentos de intercambio que se envíen por ellas deberán ajustarse a una estructura de datos concreta, esta será explicada posteriormente.



Figura 3.41: Esquema simplificado del proceso de preparación de pedidos automatizado.

En primer lugar, se muestra un esquema simplificado del proceso de preparación de pedidos automatizado, consultar Figura 3.41. Del esquema surgen las siguientes agrupaciones:

- **Realización de Pedidos Online:** Esta se comunica con el Procesado de Pedidos.
- **Procesado de Pedidos:** En ella se gestionan los pedidos que se hayan ido realizando. Se almacena toda la información necesaria sobre los pedidos dentro de la Base de Datos.
- **Montaje de Cajas:** A este proceso llegan las órdenes (vía MQTT) para el montaje de las cajas.
- **Llenado de Cajas en las Estanterías:** Durante esta parte del proceso se realizan consultas en la Base de Datos, y con esas consultas se consigue saber el contenido de las cajas y como llenarlas. La comunicación de los dispositivos que participan se realiza vía MQTT.

- **Base de Datos:** Para cada pedido, en la Base de Datos se introducen todos los datos necesarios durante el Procesado de Pedidos. Posteriormente, esa información se utiliza para el Llenado de Cajas.

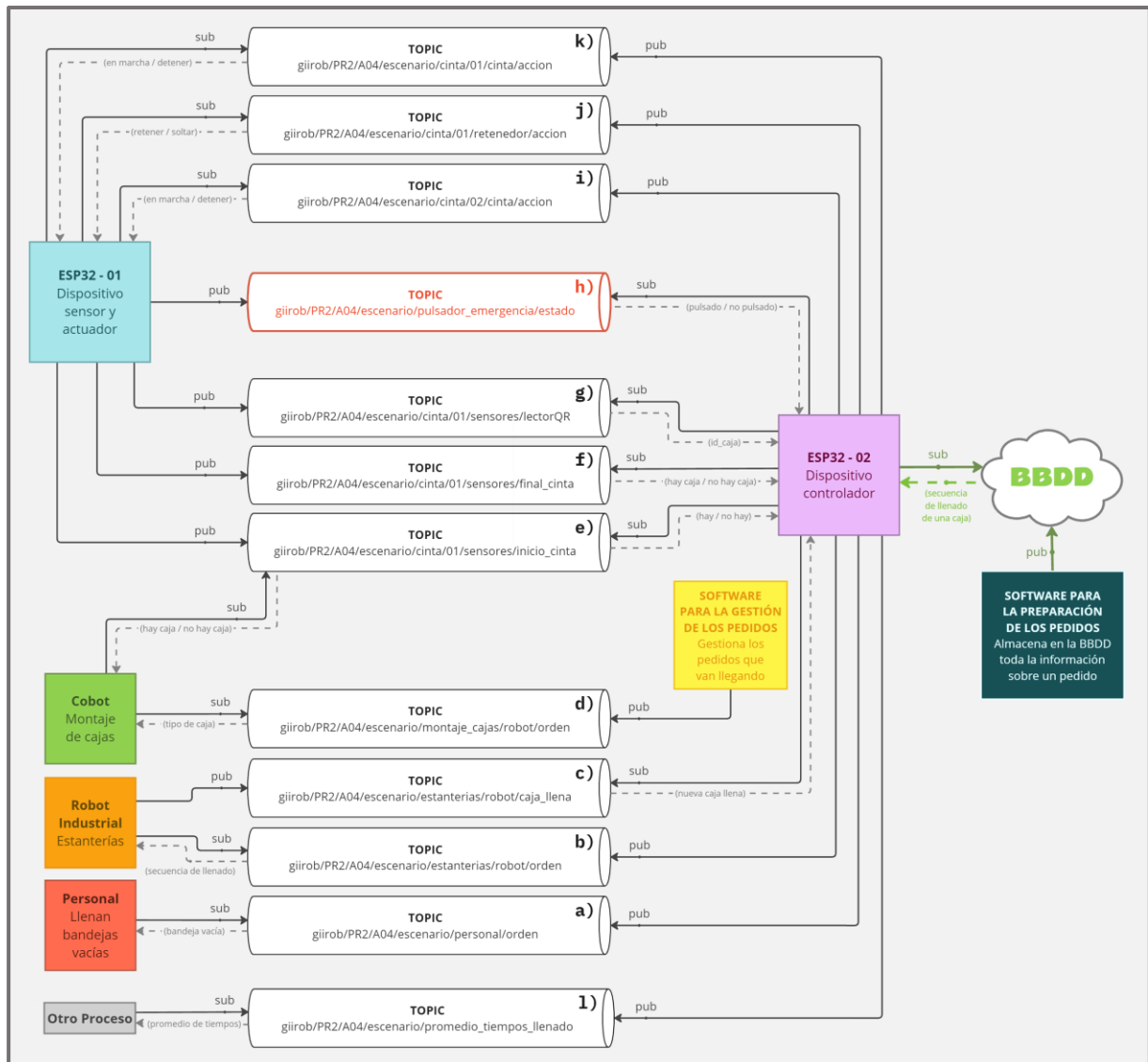


Figura 3.42: Diagrama de relaciones entre los dispositivos, robots y el personal de zona de automatizado.

Todos los mensajes enviados por los *topics* son documentos JSON, dependiendo del *topic* puede que el documento contenga más de un mensaje almacenado. En la Figura 3.42 cada *topic* está identificado con una letra (de la 'a' hasta la 'l'), a continuación se van a definir los formatos de los mensajes para cada uno de ellos. Asimismo, se realiza una breve explicación de los *topics* con los que interactúa cada dispositivo, robot o personal de la estación.

## ESP32 - 01 Dispositivo sensor y actuador

La **ESP32 - 01** publica el estado de cuatro sensores:

El primero de ellos es el '**sensor\_inicio\_cinta**' que indica si hay una caja colocada al inicio de la primera cinta.

El segundo es el '**sensor\_final\_cinta**' que indica si hay una caja colocada en la zona de llenado de cajas.

Cuando hay una caja en la zona de llenado de cajas, el tercer sensor se activa. Es una cámara (lector de QR), y la lectura proporciona el "**id\_caja**" para que la ESP32-02 (Controladora) pueda consultar el contenido de la caja en la BBDD.

Por último, la **ESP32 - 01** se encarga de sensorizar el pulsador de emergencia (para detener todo el proceso). Esta ESP32 se limita a reportar el estado, la **ESP32 - 02** es la que detiene el proceso.

Además esta **ESP32 - 01** está suscrita a tres *topics* más, donde recibe mensajes sobre acciones que debe ejecutar sobre sus tres actuadores: retenedor, cinta 1 y cinta 2.

Mensaje de tipo JSON (un solo mensaje) **e) y f)**

```
{
  "presencia": "hay caja / no hay caja"
}
```

Mensaje de tipo JSON (un solo mensaje) **g)**

```
{
  "id_caja": "CAJ0002"
}
```

Mensaje de tipo JSON (un solo mensaje) **h)**

```
{
  "pulsador": "presionado / liberado"
}
```

Mensaje de tipo JSON (un solo mensaje) **i) y j)**

```
{
  "accion": "en marcha / detener"
}
```

Mensaje de tipo JSON (un solo mensaje) **k)**

```
{
  "accion": "retener / soltar"
}
```

## Cobot Montaje de cajas

La '**orden**' indica al **cobot** (zona de montaje de cajas) que debe montar una nueva caja.

Procede a la ejecución del subprograma de RoboDK que simula el montaje de caja del tipo indicado en "**tipo\_caja**".

Con el "**id\_caja**" se imprime la código QR correspondiente en la caja.

El **cobot** está suscrito al *topic* del '**sensor\_inicio\_cinta**' ya que si ya hay una caja montada tiene que esperar a que se libere el espacio para montar la siguiente.

Mensaje de tipo JSON (un solo mensaje) **d)**

```
{
  "tipo_caja": "S",
  "id_caja": "CAJ0001"
}
```

Mensaje de tipo JSON (un solo mensaje) **a)**

```
{
  "bandeja_vacia": "reloj_A_02"
}
```

## Personal Llenan bandejas vacías

La '**orden**' indica al **personal** qué dispositivo de las estanterías se va a quedar sin existencias pronto.

El personal llenará de nuevo la bandeja con el dispositivo indicado en el mensaje "**bandeja\_vacia**".

## Robot Industrial Estanterías

La '**orden**' indica al robot industrial (zona de estanterías con dispositivos) que hay una caja lista para ser llenada.

Mediante un *script* en Python (ejecutado y simulado en RoboDK), el mensaje es analizado para así conseguir la secuencia de llenado de la caja.

El robot sabe qué tipo de caja va a llenar, ya que lo indica en el mensaje "**tipo\_caja**".

Para el llenado se realiza una iteración de "**num\_dispositivos**" veces, para así acceder a todos los "**item\_x**".

En cada iteración se realiza el pick del "**dispositivo**" y se lleva el TCP del robot a la "**posicion\_place**" indicada.

b)

Mensaje de tipo JSON  
(múltiples mensajes)

```
{
  "tipo_caja": "S",
  "num_dispositivos": 2,
  "item_1": {
    "dispositivo": "tablet_A_01",
    "posicion_place": "120.0, 75.0, 40.0, -180.0, 0.0, 180.0"
  },
  "item_2": {
    "dispositivo": "tablet_D_02",
    "posicion_place": "120.0, 225.0, 40.0, -180.0, 0.0, 0.0"
  },
  "item_3": {
    "dispositivo": "tablet_D_02",
    "posicion_place": "120.0, 75.0, 80.0, -180.0, 0.0, 180.0"
  },
  "item_3": {
    "dispositivo": "tablet_D_02",
    "posicion_place": "120.0, 75.0, 80.0, -180.0, 0.0, 180.0"
  }
}
```

El *topic* de '**caja\_llena**' es el método que usa el robot para indicar a la ESP32 de que la caja ya está llena, lo que significa que está lista para seguir su transcurso por las cintas.

La ESP32 recibe esta información, libera el retenedor y pone en marcha las cintas 1 y 2.

Mensaje de tipo JSON  
(un solo mensaje)

```
{
  "caja_llena": "nueva caja llena"
}
```

c)

## ESP32 - 02 Dispositivo controlador

La **ESP32 - 02** está pendiente del estado de todos los sensores y con esa información publica los mensajes oportunos (acciones de los actuadores).

Está conectada a la base de datos, y cuando recibe un "**id\_caja**" consulta los dispositivos necesarios, el orden de colocación y la posición de place.

Mensaje de tipo JSON  
(múltiples mensajes)

```
{
  "promedio_caja_s": {
    "unidad": "milsegundos (tipo unsigned long)",
    "valor": "240.0"
  }
}
```

1)

Si no hay dispositivos suficientes en las estanterías para realizar el pedido, o de alguno quedan pocas unidades, genera un aviso para el **personal** (gracias a la base de datos sabe cuantas unidades hay de cada dispositivo).

Con todo esto genera un JSON que envía al **robot industrial** como una '**orden**'.

Por último, la **ESP32 - 02** está pendiente de tres colas internas que almacenan mediciones sobre los tiempos de llenado de las cajas. Hay una cola para cada tipo de caja, cuando hay 10 medidas disponibles, se realiza el promedio y se publica el '**valor**' indicando la '**unidad**' de medida.

## 4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

### GESTIÓN DEL PROYECTO

#### PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

La implementación de la propuesta de automatización de la sección destinada a la preparación de pedidos ha sido dividida en tres fases. Estas serán desglosadas y explicadas a continuación.

##### IDEA INICIAL Y ANÁLISIS DEL ENTORNO

Esta etapa engloba todo el proceso inicial de definición de la idea, el análisis de los elementos y dispositivos requeridos para llevarla a cabo y la adaptación de la idea al contexto dado.

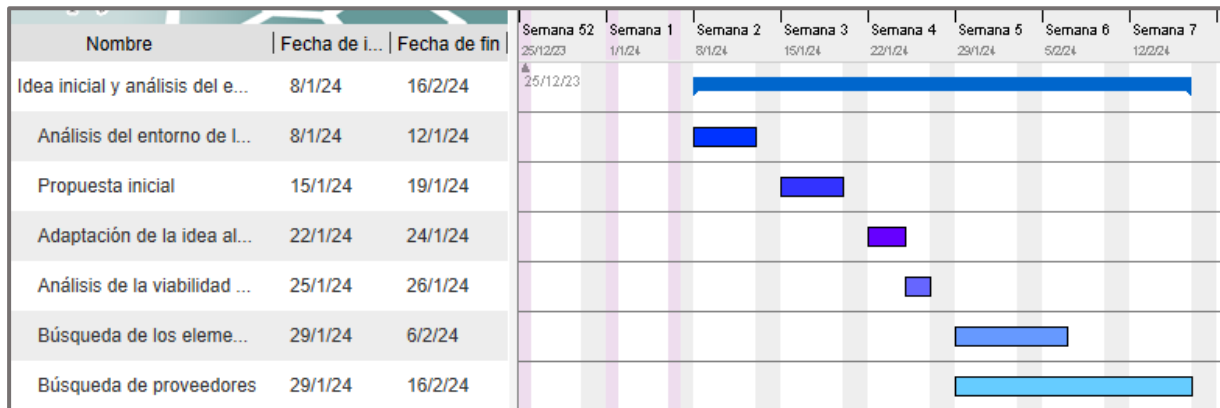


Figura 4.1: Idea inicial y análisis del entorno.

##### ANÁLISIS DEL ENTORNO DE LA EMPRESA

Estudio del espacio de trabajo actual y análisis de las necesidades de la empresa con el objetivo de conocer cómo debe enfocarse el proyecto.

##### PROPUESTA INICIAL

Supone el comienzo del proyecto, en esta fase se proponen diversas ideas hasta llegar a una viable.

##### ADAPTACIÓN DE LA IDEA AL ENTORNO DE LA EMPRESA

Se adapta la idea propuesta a las necesidades de la empresa y se definen de forma genérica los elementos que tomarán parte en la misma.

##### ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA PROPUESTA

Se analiza la rentabilidad de la idea de forma aproximada para confirmar la utilidad de la misma. Este cálculo se lleva a cabo teniendo en cuenta únicamente los datos del proceso actual y una estimación del tiempo que tardaría en realizarse el proceso de forma automatizada.



## BÚSQUEDA DE LOS ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS

Análisis de las distintas herramientas, dispositivos y elementos requeridos para poder implementar la propuesta. Para esta fase, es indispensable conocer las necesidades de la estación, entre ellas, las medidas de los objetos, conexiones requeridas y las cargas que deberán levantar los robots de la celda.

## BÚSQUEDA DE PROVEEDORES

Una vez analizados los distintos elementos y dispositivos, es necesario buscar proveedores que los suministren, todo esto teniendo en cuenta el presupuesto. En esta propuesta, además, se plantea la creación de herramientas, lo que supondrá una fase adicional de fabricación de las mismas.

## GESTIÓN DEL ENTORNO SOFTWARE, SIMULACIÓN Y PRUEBAS

En esta etapa, en la que ya se ha decidido qué propuesta va a llevarse a cabo, se procede a realizar toda la programación y pruebas que permitan saber si el código funciona y si la celda planteada es operativa, es decir, si realmente realizar la automatización supone una mejora del proceso.

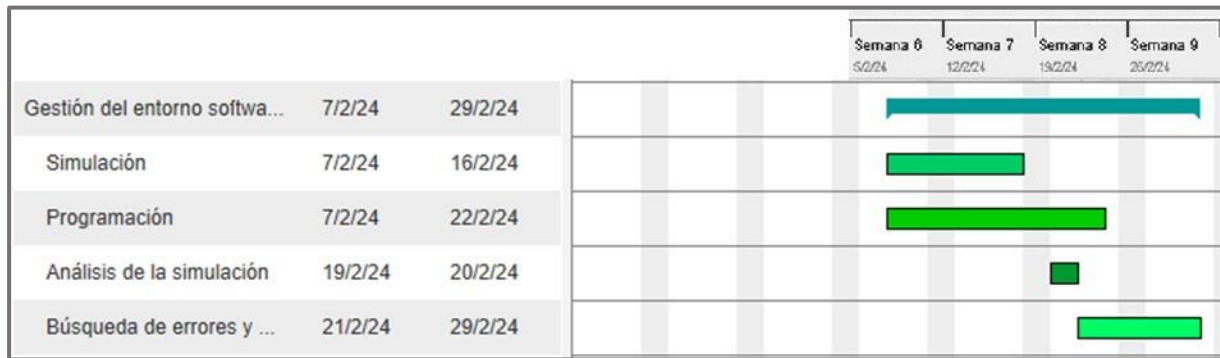


Figura 4.2: Gestión del entorno software, simulación y pruebas.

## REALIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN

Para comprobar el funcionamiento de la celda automatizada y poder realizar unos cálculos de tiempos más exactos, se requiere la realización de una simulación del proceso. En esta se integran todos los elementos de la propuesta y se prueba la eficiencia de la propuesta.

## ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN

Una vez realizada la simulación, es necesario comprobar si el proyecto sigue suponiendo un beneficio superior al coste estimado. Para esto, se comparan los tiempos obtenidos mediante la simulación con los del proceso actual.

## REALIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN

Se requiere de la realización de diversos programas que permitan que la estación funcione correctamente y los elementos se comuniquen entre sí. Además, aunque la empresa ya cuenta con un sistema de realización de pedidos, este deberá ser modificado para poder integrar la automatización adecuadamente.

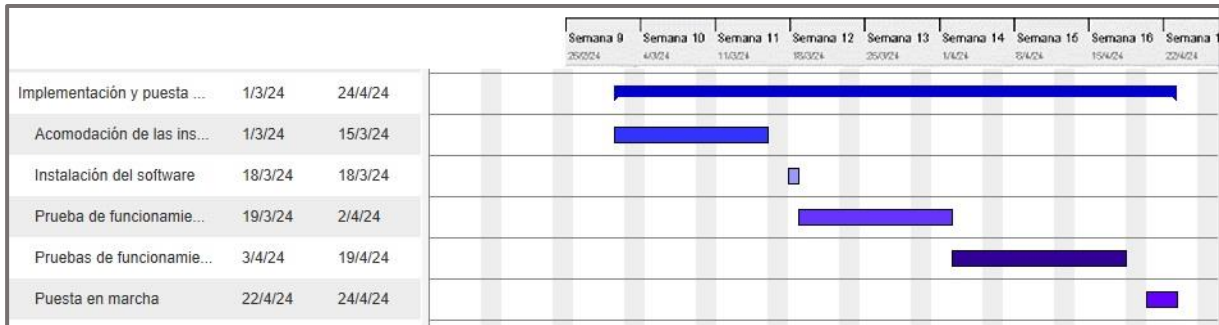
## PRUEBAS DE LA PROGRAMACIÓN Y BÚSQUEDA DE ERRORES

Una vez realizada la programación, es necesario depurar el código y comprobar que todos los programas funcionen bien. Para esto, se emplea la simulación o, en el caso de la sensorización, se

realizan pruebas con los distintos sensores que van a ser empleados una vez la propuesta se implemente.

### **IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA**

Una vez toda la celda ha sido programada y se conoce completamente qué se requiere para la implementación, es hora de realizar el montaje y las pruebas posteriores.



5.3: Implementación y puesta en marcha.

### **ACOMODACIÓN DE LAS INSTALACIONES Y MONTAJE DE LA ESTACIÓN**

Esta fase supone la retirada de la celda no automatizada y la colocación de todos los nuevos dispositivos, elementos y cableados una vez recibidos. En esta se incluyen tanto el montaje de los robots y las cintas como la de los sensores.

### **INSTALACIÓN DEL SOFTWARE**

Esta fase supone la retirada de la celda no automatizada y la colocación de todos los nuevos dispositivos, elementos y cableados. En esta se incluyen tanto el montaje de los robots y las cintas como la de los sensores.

### **PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES DE LA CELDA**

Una vez programados todos los elementos de la celda, es recomendable probarlos por separado antes de unificar el proceso. Una vez probados individualmente, es conveniente probar también el funcionamiento de las tres estaciones sin conectar los procesos.

### **PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CELDA COMPLETA**

Tras probar el funcionamiento individual de cada una de las estaciones, es hora de unificar todos los procesos para comprobar que no surjan errores de comunicación.

### **PUESTA EN MARCHA**

Una vez verificado el correcto funcionamiento de la celda automatizada, podría ponerse en marcha el proceso de forma definitiva.

### **SUPERVISIÓN Y MANTENIMIENTO**

Para asegurar el correcto funcionamiento de la estación, es necesario, sobre todo durante los primeros meses, llevar una supervisión de su estado y rendimiento.

Será necesario, además, realizar un adecuado mantenimiento de la celda automatizada, llevando a cabo revisiones del equipamiento de forma periódica para evitar posibles errores y solucionarlos de forma rápida.

## PLAN DE GESTIÓN Y DESARROLLO

A continuación, se exponen las fases del desarrollo del proyecto realizado por el grupo PR2-A04, su organización y reparto de responsabilidades. Se separará el trabajo en seis fases, las mismas empleadas en el tablero de Trello del grupo, además de una fase inicial.

### FASES

#### FASE 0. PRUEBA DE CONCEPTO

U Esta primera fase engloba todo el proceso de realización de la prueba de concepto llevada a cabo durante la primera parte de la asignatura de PR2. Esta fase supone la idea inicial del proyecto y a partir de la cual se ha partido para la realización de la propuesta descrita en este documento.

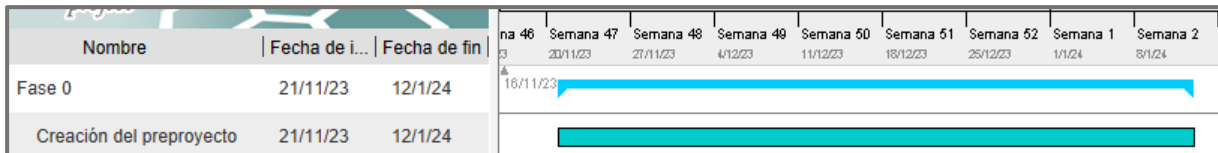


Figura 4.4: Prueba de concepto.

#### FASE 1. ANÁLISIS Y DEFINICIÓN

Esta fase supone la redefinición de la idea inicial planteada en la prueba de concepto, cambiando ciertos aspectos para ajustarse a las nuevas necesidades del proyecto. En este apartado se definen las distintas tareas que deben realizar los robots de la estación y se establecen los sensores y actuadores requeridos para implantar la automatización, así como las conexiones que deben llevarse a cabo.

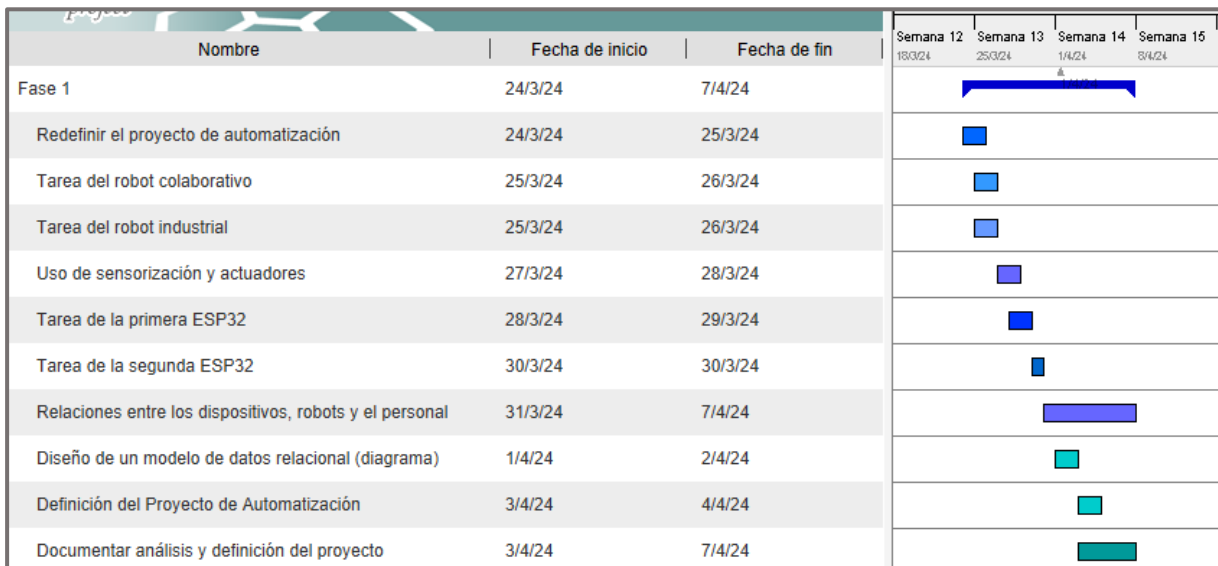


Figura 4.5: Análisis y definición.



## FASE 2. EQUIPAMIENTO Y LAYOUT

En esta fase se realiza la tarea de buscar los distintos elementos requeridos para la automatización: robots, sensores, herramientas, etc. Además, se establece la localización de estos dispositivos. Al no existir ciertos elementos, también se procede con el diseño 3D de los mismos.

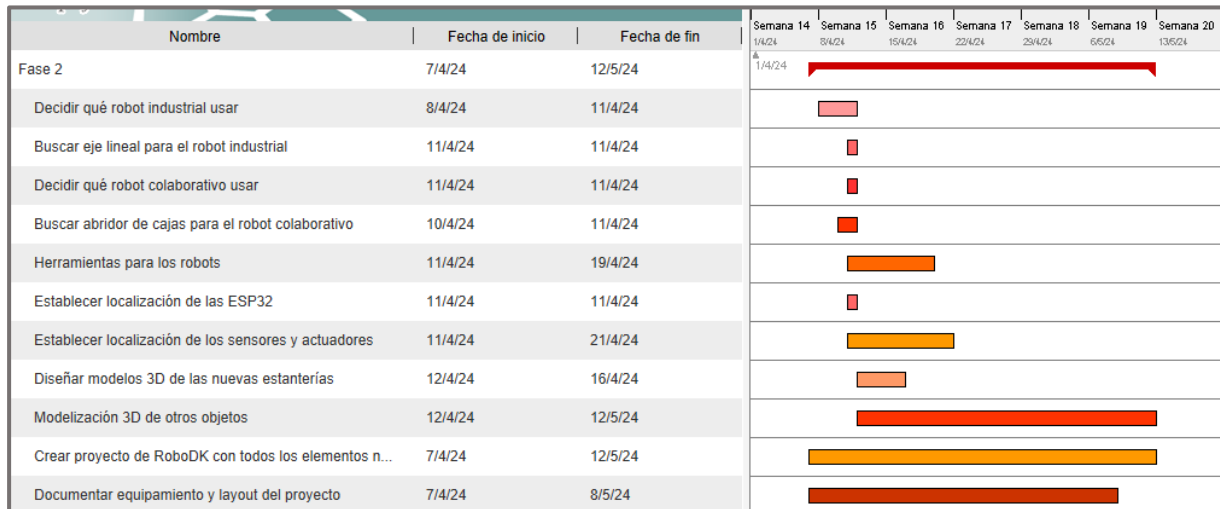


Figura 4.6: Equipamiento y layout.

## FASE 3. PROGRAMACIÓN

Toda la programación se realiza en esta fase. Tanto la programación por Python, como la modificación de la simulación realizada para la prueba de concepto, como la programación de las ESP32-S3 y la sensorización. Además de toda la programación, este apartado incluye también las pruebas de funcionamiento y documentación de los programas realizados; es decir, la realización del manual del programador y de usuario.



Figura 4.7: Programación.

## FASE 4. DOCUMENTACIÓN

Esta fase supone la documentación del proyecto al completo y revisión de los documentos escritos con anterioridad en otros apartados. En esta se acaba la memoria del proyecto, los manuales de usuario y del programador y se calcula el presupuesto.



Figura 4.8: Documentación.

## FASE 5. PRESENTACIÓN

Una vez finalizada toda la documentación, es necesario realizar la presentación de la propuesta. En esta fase, por tanto, se sintetiza la información más importante del proyecto y se prepara una presentación.

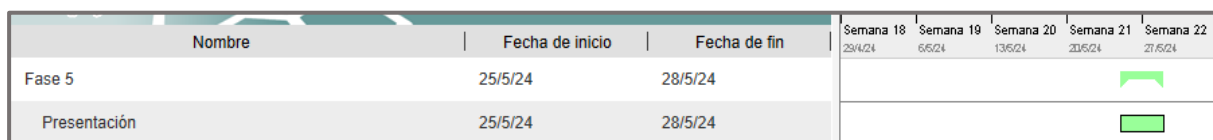


Figura 4.9: Presentación.

## FASE 6. FERIA DE PROYECTOS

En esta fase se crean el cartel informativo, díptico y página web que serán mostrados en la feria de proyectos que se realizará con posterioridad.



Figura 4.10: Feria de proyectos.

## REPARTO DE LAS TAREAS

Se procede a mostrar qué tareas ha realizado cada miembro del equipo. Mediante las capturas de la aplicación Gantt.

Se puede observar que hay momentos en los que los miembros aparecen con más de un 100% de su capacidad. Esto se debe a que las tareas se dividen entre los miembros del equipo dependiendo de cuánta cantidad de trabajo se ha realizado en cada una. Por eso, hay tareas que están asignadas solo a una persona y, por tanto, esa persona tiene el 100% de ese trabajo asignado.

## LOURDES

Las tareas principales realizadas por este miembro del equipo han sido la documentación del proyecto y la programación en RoboDK, siendo la documentación la tarea más notoria; puesto que, esta persona es la responsable principal de dicha labor.

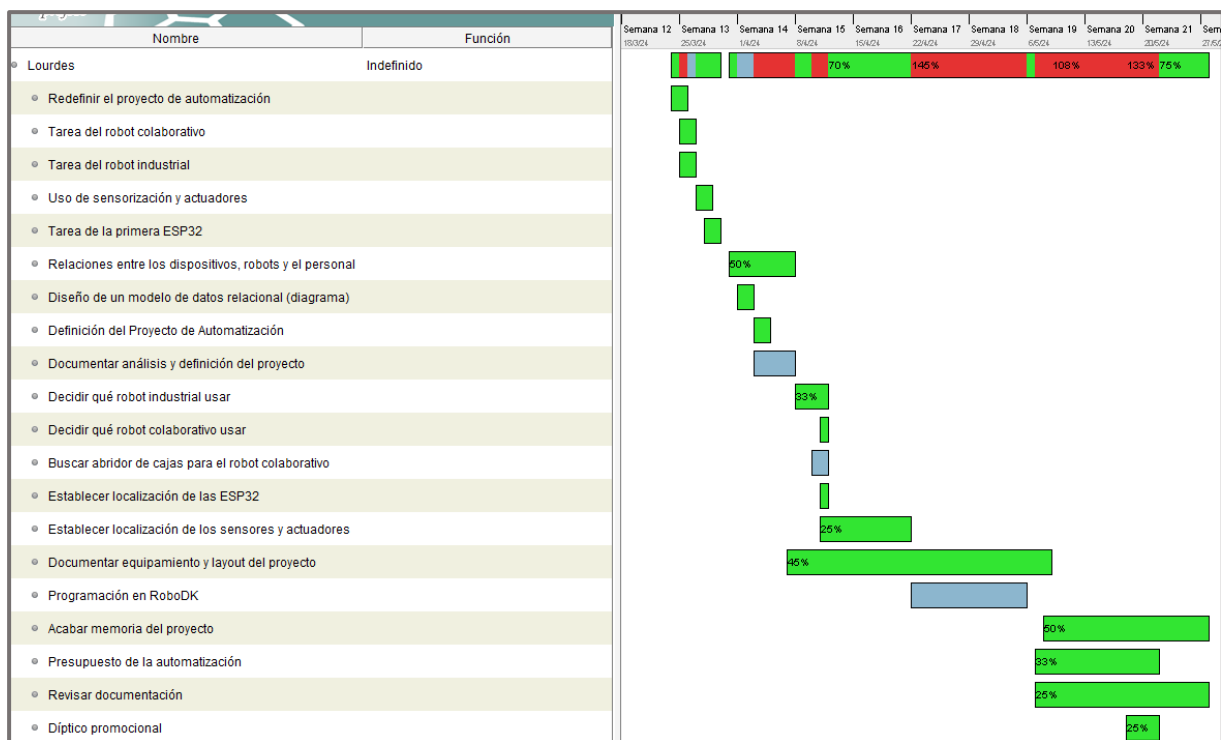


Figura 4.11: Responsabilidades de Lourdes.

## ÁNGELA

En relación con las tareas realizadas por este miembro del equipo, destacamos principalmente la creación de elementos 3D, una tarea ardua y longeva; puesto que, se requerían muchos elementos para la simulación. Además, esta integrante del grupo fue totalmente responsable de la creación del PowerPoint relacionado con el proyecto, así como la creación del díptico y de la página web.

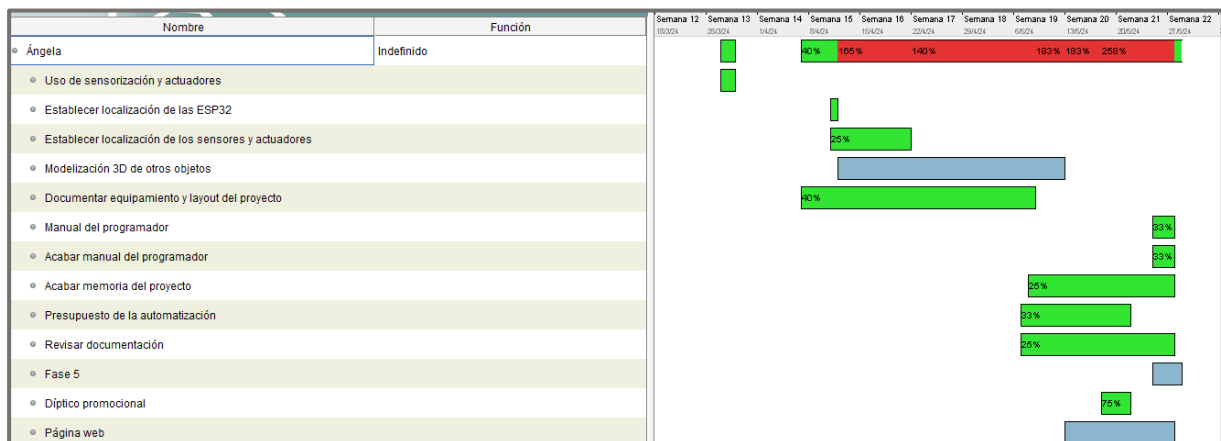


Figura 4.13: Responsabilidades de Ángela.

## MARCOS

Respecto a las tareas realizadas en este caso, se destaca la programación del proyecto, ya que, este miembro ha sido el responsable principal del desarrollo de los algoritmos y su implementación tanto en las ESP32 como en RoboDK. Asimismo, ha contribuido al diseño 3D de los elementos empleados.

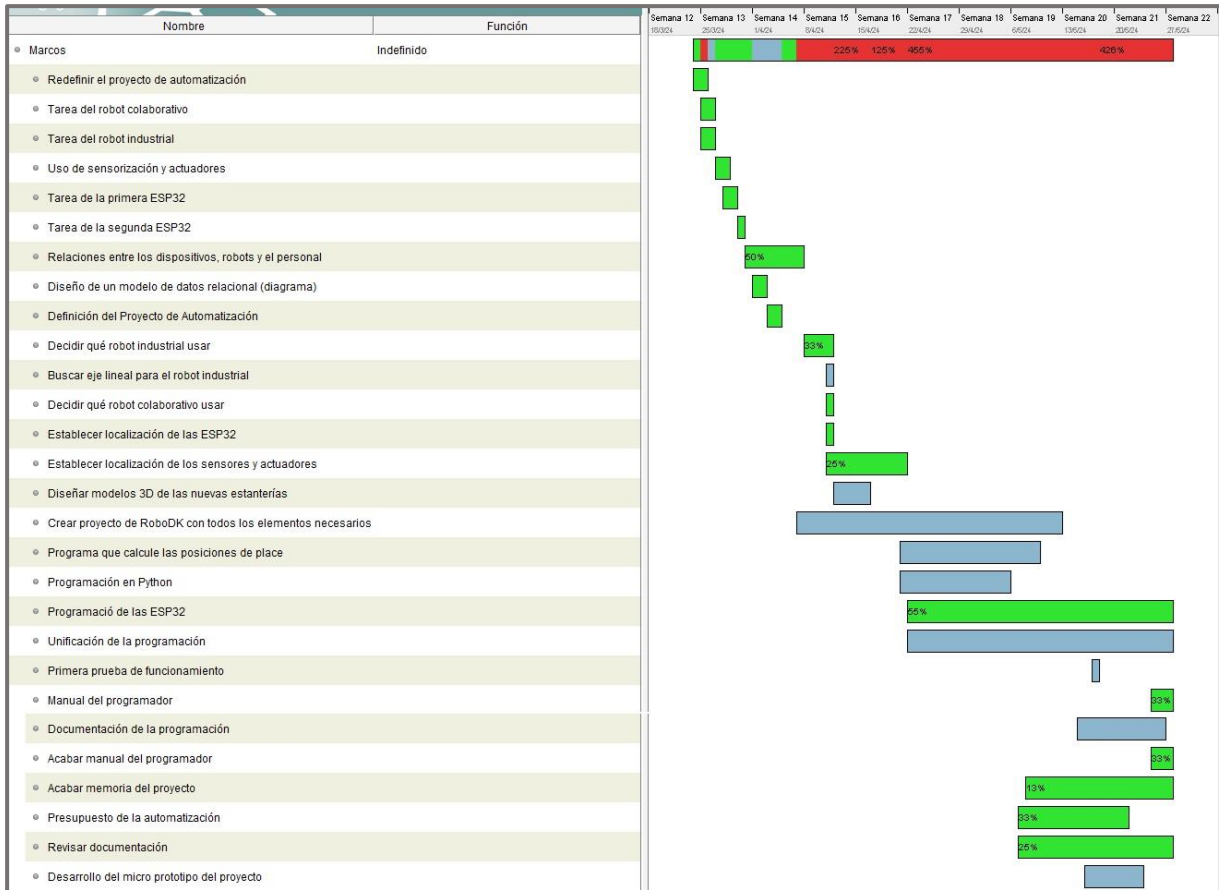


Figura 4.12: Responsabilidades de Marcos.

## CARLA

Por último, este miembro ha sido el encargado de la creación de los Gantt. Asu vez, ha participado como soporte en otras labores tales como la programación de las ESP32.

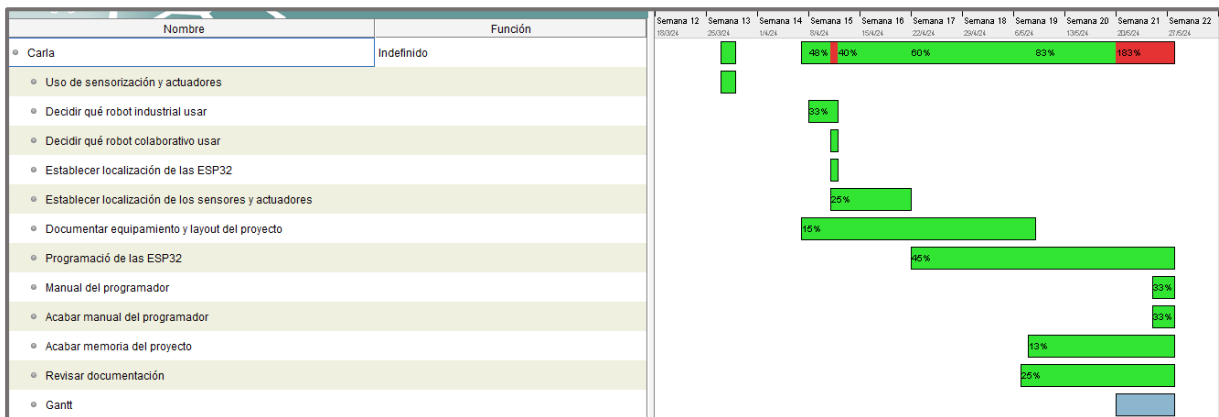


Figura 4.14: Responsabilidades de Carla.

## ENTREGABLES DEL PROYECTO

Para llevar a cabo esta propuesta de automatización sería necesario entregar diversos documentos que facilitasen a la empresa el trabajo de puesta en marcha del nuevo proceso. Estos serían:

- Arquitectura de control: representación gráfica de todos los elementos de control, comunicaciones y supervisión de una planta, proceso o subproceso. Permite entregar una visión global del proyecto.
- Diagrama de instrumentación y proceso: diagrama detallado del proceso a monitorear con sus distintos componentes y la forma en que están interconectados.
- Listado de entradas y salidas: documento que contiene las correspondencias de las entradas y salidas con los elementos de terreno, el número de lazo y de cable correspondiente, el módulo del controlador en el que están conectados, etc.
- Filosofía de control: documento que describe la operación del sistema de control, es decir, que detalla el sistema y los equipos y la lógica de control, explicando las secuencias de operación, modos de control, etc.
- Diagrama de lazo: ampliación del diagrama de instrumentación y proceso en el que pueden apreciarse en detalle las conexiones, especificando información importante para la instalación o mantenimiento del sistema.
- Listado de alarmas, *interlocks* y permisivos: documento que indica las condiciones que generan las alarmas, las condiciones de operación normal y cuáles son las detenciones programadas de acuerdo con distintas condiciones anormales.
- Diagramas eléctricos: diagrama de fuerza y control y planos de montaje.
- Manuales de operación: documento técnico que sintetiza la filosofía de control, explicando la operación normal del sistema de control. También aporta información para solventar los posibles fallos.
- *Datasheets*: carpeta con las hojas de datos de los principales componentes del sistema de control.
- *Software* para la gestión de pedidos, el cual ya ha sido mencionado anteriormente.
- *Software* para la preparación de pedidos, el cual ya ha sido explicado con anterioridad.
- Manual de usuario: este contempla las especificaciones de instalación, puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento de los sistemas robotizados y los programas desarrollados.

## PRUEBAS Y VALIDACIÓN

### ESTRATEGIA DE PRUEBAS

Para comprobar la rentabilidad de la automatización se han llevado a cabo una serie de pruebas previas.

Primero, se han analizado las distintas alternativas comparando los costes que supondría realizar una automatización o cualquier otra clase de propuesta. Tras confirmar la propuesta planteada de llevar a cabo una automatización, se ha efectuado una simulación en RoboDK con los elementos básicos requeridos en la automatización, sin prestar mucha atención a los detalles como marcas o dispositivos de comunicación. Esta sirvió para realizar un cálculo aproximado de tiempos y asegurar la eficacia de la propuesta. Por último, se desarrolló una última simulación en la que se incluyen todos

los elementos que conforman la celda para comprobar que todo el montaje pueda ser ejecutado y correctamente implementado sin problemas.

## CRITERIOS DE ÉXITO

### **TIEMPO DE EJECUCIÓN**

Como se ha mencionado anteriormente, se pretende aumentar el número de pedidos en un 40% como mínimo. Es decir, producir más de 304 pedidos por día.

### **PRECISIÓN**

También se pretende disminuir la cantidad de errores tanto a la hora de realizar los pedidos como a la de optimizar el espacio de las cajas.

### **ESPACIO REQUERIDO PARA LA AUTOMATIZACIÓN**

La empresa busca que la celda automatizada no emplee una cantidad de espacio superior a la destinada para el proceso actualmente.

### **COSTES DE IMPLEMENTACIÓN, OPERATIVOS Y RETORNO DE LA INVERSIÓN**

Como se ha mencionado, llevar a cabo una automatización supone una inversión inicial importante. La empresa busca que, mediante la implementación, se logre obtener un beneficio futuro y se agilice el proceso de preparación de pedidos para evitar que las tiendas se queden sin suministrar.

## DESCRIPCIÓN DE LA SIMULACIÓN

En este apartado se va a realizar una breve explicación del funcionamiento de la simulación realizada en RoboDK sin incidir demasiado en la programación realizada o la estructura seguida.

- [Vídeo de ejemplo de la simulación en RoboDK.](#)

La estación de RoboDK se divide en tres secciones, apertura de cajas, *pick and place* de los dispositivos y transporte de las cajas. Esta última sección comunica la primera y segunda zona.

### **APERTURA DE CAJAS**

En esta área, se lleva a cabo la selección de la caja (de tamaño S, M o L según el tamaño del pedido a realizar) y el montaje de la misma. El doblado se efectúa una vez se ha detectado que no hay ninguna caja al inicio de la cinta. Este proceso supone que el robot seleccione la caja, se aproxime, active las ventosas y la transporte por la máquina de desdoblado siguiendo el camino fijado para cada tamaño de caja. Una vez doblada, la caja se coloca en el inicio de la cinta y el sensor detecta su presencia, lo que pone en marcha la cinta siempre que no haya una caja siendo rellenada en la zona del *pick and place*. Tras dejar la caja, el robot vuelve a su posición inicial.

### **PICK AND PLACE**

Una vez se ha puesto en marcha la cinta, esta no se detiene hasta que el sensor de presencia colocado junto al retenedor detecta presencia de caja. Una vez la caja llegue a esta zona, el retenedor se activa para sujetar la caja y evitar que se mueva durante el llenado. Además, tras la lectura del código QR por la cámara, se envía una señal al robot industrial, el cual comienza el proceso de selección de los dispositivos y colocación de los mismos en la caja. Para la realización de esta selección y colocación, se

ha empleado Python como método de programación. Esto se debe a que RoboDK proporciona una API que se puede programar mediante este lenguaje. Gracias a ella, se pueden enviar al robot órdenes mediante conexiones indirectas (vía MQTT). En el caso de la simulación realizada, se envía un JSON que es analizado en los scripts de Python y que permite realizar el correcto llenado de las cajas. Una vez finalizado el *pick and place*, el robot envía una señal para que se desactive el retenedor y se reactive la cinta para que la caja pueda seguir avanzando.

### **TRANSPORTE DE LAS CAJAS**

Tras el llenado, la caja avanza hasta unos rodillos que permiten que descienda suavemente hasta la siguiente cinta. En esta, la caja realiza una rotación de noventa grados con ayuda de un posicionador que permite que esté bien orientada y no se salga de la cinta. Esta segunda cinta es la encargada de transportar la caja hasta la siguiente fase, el sellado y paletizado.

## PROCEDIMIENTOS DE VALIDACIÓN

### **TIEMPO DE EJECUCIÓN**

Para comprobar si el proyecto es viable o no en este ámbito, se empleará la simulación mencionada anteriormente, la cual nos proporcionará información de utilidad como los tiempos de ejecución.

### **PRECISIÓN**

Para verificar si se ha logrado alcanzar este objetivo, se realizarán pruebas para confirmar la fiabilidad del código desarrollado encargado de la selección y colocación de los dispositivos.

### **ESPACIO REQUERIDO PARA LA AUTOMATIZACIÓN**

Para poder comprobar que se cumple con este objetivo, se empleará la simulación realizada en RoboDK, verificando el tamaño de la celda diseñada con las necesidades declaradas por la empresa.

### **COSTES DE IMPLEMENTACIÓN, OPERATIVOS Y RETORNO DE LA INVERSIÓN**

Para comprobar si la automatización resulta rentable en estos ámbitos, se hará uso de la simulación para poder calcular los presupuestos. Después de analizar todos los elementos de la celda y el coste de implementación y mantenimiento, se podrá estudiar si el beneficio futuro supera al gasto ocasionado.

## RESULTADOS ESPERADOS

### **EJECUCIÓN**

Gracias a los datos extraídos de la simulación, y comparándolos con el proceso actual, se considera que la cantidad de pedidos realizados por día aumenta de 217 a 409, aumentando la producción hasta en un 88,85%, consultar [Anexo I](#). Además, los trabajadores encargados de la preparación de los pedidos de esa sección del almacén podrían ser reasignados a otras secciones, aumentando así también la velocidad de ejecución de esas áreas.

Por tanto, se supera el 40% solicitado por parte de la empresa.

## **PRECISIÓN**

Al automatizar el proceso, no se perderá la cuenta de los ítems colocados en cada caja y se optimizará en mayor medida el espacio empleado. Esto disminuirá la cantidad de envíos con cantidades erróneas y la cantidad de cajas extra requeridas para realizar cada pedido prácticamente a cero, cumpliendo con el objetivo marcado.

## **ESPACIO REQUERIDO PARA LA AUTOMATIZACIÓN**

Este proyecto, supondría la implantación de dos robots, una máquina de apertura de cajas, dos estanterías y dos cintas a grandes rasgos. Se reduciría el número de estanterías utilizadas para almacenar los productos de esta sección, ya que ahora las bandejas podrían estar más próximas unas de otras. Además, no sería necesario tener pasillos amplios para que los operarios pudiesen desplazarse.

Gracias a la simulación mencionada anteriormente, se cuenta con que el conjunto de elementos implicados puede implementarse en un área aproximada de 5 x 6 metros cuadrados. Por tanto, este objetivo puede darse por satisfecho considerando que no supone un aumento del espacio empleado para el proceso.

## **BIENESTAR DE LOS TRABAJADORES**

Al sustituir al operario que transporta la caja y coger los ítems por una cinta y robot, se evita que tenga que realizar tareas repetitivas y cargar con estos pesos que, por pequeños que sean, pueden ocasionar problemas de salud en el trabajador a largo plazo.

Por tanto, al implementar esta automatización, se logra que los operarios reciban una menor carga física y, con ello, se logra cumplir el objetivo establecido.

## **COSTES Y BENEFICIOS**

### **PRESUPUESTO DETALLADO**

A la hora de realizar el presupuesto, se han analizado distintos factores. Estos serán definidos a continuación.

### **LISTADO DE DISPOSITIVOS Y ELEMENTOS**

Los elementos y dispositivos empleados para el proyecto de automatización se dividen en dos grupos.

#### **ELEMENTOS HARDWARE**

La celda automatizada emplea un robot industrial y uno colaborativo. Además, incluye varios sensores de presencia, una cámara de lectura QR, una etiquetadora, dos cintas transportadoras y diversos elementos de seguridad tales como una valla de seguridad, mamparas y botones de emergencia entre otros. Para observar todos los elementos *hardware* considerados, consultar Figura 4.15.



HARDWARE					
DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	COSTE	CANTIDAD	COSTE TOTAL
6 ejes, 7 kg carga máx., 854 mm alcance	Denso	VS-6577G-B	28.750,00 €	1	28.750,00 €
1500 mm alcance	Brooks	PreciseFlex Linear Rail 1500	400,00 €	1	400,00 €
Tres ventosas independientes	Propia	Ventosa triple	15,00 €	3	45,00 €
6 ejes, 4 kg carga máx., 900 mm alcance	Omron	TM5X-900	28.750,00 €	1	28.750,00 €
Herramienta con ventosas para manipular cajas	—	—	3.000,00 €	1	3.000,00 €
Máquina que sirve para montar cajas	Flex-Line Automat.	Boxez Box Erector Station	175,00 €	1	175,00 €
Mesas para dejar las cajas S, M y L	—	—	80,00 €	3	240,00 €
Primera cinta de 1400 - 1500 mm aprox.	—	—	4.908,00 €	1	4.908,00 €
Primera cinta de 2000 - 4000 mm aprox.	—	—	5.076,00 €	1	5.076,00 €
Generador de vacío	—	—	180,00 €	2	360,00 €
Estantería de 2000 x 800 x 1800 mm (6 baldas)	—	—	250,00 €	2	500,00 €
Bandejas	—	—	1,00 €	112	112,00 €
ESP32	—	—	20,00 €	2	40,00 €
Sensores	—	—	10,00 €	5	50,00 €
Retenedor de cajas	—	—	250,00 €	1	250,00 €
Etiquetadora	—	—	8.500,00 €	1	8.500,00 €
Cámara	—	—	300,00 €	1	300,00 €
Botón emergencia general	RS	CEPY1-2001	56,93 €	1	56,93 €
Puerta seguridad	—	—	292,00 €	1	292,00 €
Vallado de seguridad	—	—	144,00 €	1	144,00 €
Mampara de seguridad	—	—	100,00 €	2	200,00 €
Barrera anticaída de cajas	—	—	50,00 €	1	50,00 €
<b>TOTAL</b>					<b>82.198,93 €</b>

Figura 4.15: Presupuesto de elementos hardware.

## ELEMENTOS SOFTWARE

En cuanto al *software* realizado, se ha dividido en dos paquetes. El primer paquete, “Preparación de pedidos”, abarca todo el proceso principal. Este recoge todo el código necesario para que los robots, sensores y demás elementos de la estación funcionen y se comuniquen adecuadamente. El segundo paquete, “Gestión de pedidos”, abarca todo el proceso previo de recepción de los pedidos, procesado de los mismos y creación del código QR, consultar Figura 4.16.

SOFTWARE	
DESCRIPCIÓN	COSTE
Software estación (preparación de pedidos)	12.000,00 €
Software estación (gestión de pedidos)	10.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>22.000,00 €</b>

Figura 4.16: Presupuesto de elementos software

## GASTOS DE INSTALACIÓN Y FORMACIÓN

Además de los gastos causados por los elementos y dispositivos que conforman la celda, también deben tenerse en cuenta los gastos de instalación de la celda y la formación de los trabajadores, consultar Figura 4.17 y Figura 4.18.

INSTALACIÓN	
DESCRIPCIÓN	COSTE
Instalación de la celda	5.250,00 €
Desplazamiento (20 - 90 km)	500,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>5.750,00 €</b>

Figura 4.17: Presupuesto de instalación.

FORMACIÓN	
DESCRIPCIÓN	COSTE
Formación operarios	2.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>2.000,00 €</b>

Figura 4.18: Presupuesto de formación.

## COSTES OPERATIVOS Y MANTENIMIENTO

Por último, hay que tener en cuenta los costes operativos y de mantenimiento de la propuesta, consultar Figura 4.19 y 4.20.

MANTENIMIENTO	
DESCRIPCIÓN	COSTE / AÑO
Mantenimiento	1.400,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>1.400,00 €</b>

Figura 4.19: Presupuesto de mantenimiento.

COSTE OPERATIVO	
DESCRIPCIÓN	COSTE / DIA
Coste energético	120,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>120,00 €</b>

Figura 4.20: Presupuesto de operatividad.

## ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO

La propuesta realizada supondría un coste inicial de aproximadamente 112.000€, consultar Figura 4.21. Esta cifra ha sido calculada realizando la suma de los distintos elementos y factores que deben tenerse en cuenta a la hora de implementar la automatización.

INVERSIÓN INICIAL	
DESCRIPCIÓN	COSTE
HARDWARE	82.198,93 €
SOFTWARE	22.000,00 €
INSTALACIÓN	5.750,00 €
FORMACIÓN	2.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>111.948,93 €</b>

Figura 4.21: Previsualización de la inversión inicial.

Por otra parte, se prevé que el mantenimiento y operatividad de la celda suponga un gasto anual estimado de 45.000€, consultar Figura 4.22.

GASTOS ANUALES	
DESCRIPCIÓN	COSTE / AÑO
MANTENIMIENTO	1.400,00 €
COSTES OPERATIVOS	43.200,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>44.600,00 €</b>

Figura 4.22: Previsualización de los gastos anuales.

La automatización supondría la redistribución de los ocho operarios destinados a esta sección. Esto eliminaría la necesidad de contratar más operarios en otras áreas del almacén para aumentar la productividad. Además, se evitaría tener que aumentar el número de trabajadores encargados de la tarea de preparación de pedidos. Por lo tanto, se puede estimar el ahorro de más de 8 sueldos por año. Suponiendo que el sueldo medio mensual de un operario de almacén es de 1.350€, la empresa se ahorraría aproximadamente 85.000€ anuales en salarios. Únicamente con esto, podemos probar que el gasto anual de la celda automatizada es inferior al coste anual que supondría aumentar el número de operarios de esta sección del almacén, consultar Figura 4.23.

SUELDO / OPERARIO	1.350,00 €
NÚMERO DE OPERARIOS	8
SUELDO OPERARIOS / MES	10.800,00 €
SUELDO OPERARIOS / AÑO	129.600,00 €
GASTOS ANUALES	44.600,00 €
AHORRO / AÑO	85.000,00 €

Figura 4.23: Previsualización del ahorro en salarios.

## ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN (ROI)

Esta propuesta no supone unos ingresos directos, es decir, el aumento de la producción de pedidos no genera ventas por lo que no se puede calcular de forma clara el beneficio generado por la automatización. Esto se debe a que los pedidos son realizados por las propias tiendas de la empresa dependiendo del número de dispositivos que vendan. Por tanto, si las ventas continúan aumentando como establece la empresa, se puede prever que la rentabilidad de la automatización sea grande. Aun así, no puede conocerse esta información con exactitud.

Es por ello que, aunque no hay forma directa de conocer el retorno de inversión, ya que no se puede conocer con exactitud cuál sería el beneficio generado en tienda, se pueden realizar cálculos estimativos suponiendo el número de ventas actuales y previstas por la empresa. Para el cómputo de estas estimaciones se van a proponer tres casos distintos, en los cuales se emplean tres cifras diferentes de ventas diarias y se calcula el número de dispositivos que podrían llegar a recibirse teniendo en cuenta el aumento de la producción del 88,85%, consultar Figura 4.24 y Figura 4.25.

VENTAS DIARIAS	NÚMERO DE TIENDAS	VENTAS TOTALES / DÍA	VENTAS TOTALES / AÑO
10	3	30	10800
15		45	16200
20		60	21600

Figura 4.24: Número de ventas actuales estimadas.

Con estos cálculos se puede comprobar que la inversión realizada supone un beneficio. Esto se debe a que, aunque los resultados obtenidos no reflejan completamente los beneficios reales que se obtendrían, sí se puede prever que no se tardaría más de un año o dos en retornar la inversión dependiendo de cómo se distribuyesen las ganancias extra generadas en tienda. Ya que se supone que, dentro de ese beneficio extra, una parte iría destinada a los gastos de las tiendas o los gastos que supone obtener los dispositivos; por tanto, el beneficio dirigido al almacén, aunque no sería tan grande, seguiría siendo suficiente como para que la automatización saliese rentable.

A la hora de realizar los casos, también se han llevado a cabo cálculos suponiendo que, en vez de implementar la automatización, se aumentase el número de jornadas laborales a tres, incrementando el número de operarios. El beneficio no alcanzaría un aumento de producción del 40%, pero de todas formas aumentaría la producción en un 25%. Este caso será mejor explicado en el [Anexo II](#).

---

## 5. NORMATIVA Y REGULACIÓN. SEGURIDAD

---

### IMPACTO EN LOS PUESTOS DE TRABAJO

Al realizar la automatización, los puestos de trabajo, como se ha mencionado anteriormente, se verían alterados. El operario que se encargaba de abrir, transportar y rellenar la caja para su posterior sellado y paletizado, se ocuparía de reponer las cajas y los dispositivos o sería trasladado a otra sección agilizar otros procesos del almacén. Además, se requeriría de personal de mantenimiento que controlase el correcto funcionamiento de todos los dispositivos de la celda automatizada.

Por tanto, el impacto en los puestos de trabajo de la sección del almacén dedicada a la preparación de pedidos sería considerable. Aun así, se espera que ningún trabajador sea despedido, sino reubicado a otra zona del almacén o a otra tarea del proceso automatizado.

Por otra parte, será necesario formar a los trabajadores que permanezcan en esta área del almacén para que sepan colaborar con los elementos de la celda y evitar cualquier peligro que pueda producirse al realizar la reposición de materiales o las tareas de mantenimiento. Será necesario que conozcan las zonas de acceso restringido, la ubicación de los botones de emergencia, la distribución de los dispositivos en las estanterías y la colocación de las cajas en las mesas para que no se ocasione ningún problema en el proceso de preparación de pedidos automatizado.

### CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

#### RIESGOS

En este apartado se examinan los distintos riesgos que pueden llegar a correr los empleados que trabajen en la zona designada a la automatización y cómo poder prevenirlos.

Para la valoración de riesgos de seguridad, se han de tener en cuenta las normativas mostradas en la Figura 5.1.

<a href="#">Norma EN ISO 12100</a>	Para la seguridad de los trabajadores.
<a href="#">EN ISO 13849-1</a>	Para la seguridad de las máquinas y sistemas de mando.

Figura 5.1: Normativas de prevención de riesgos.

#### RIESGOS ERGONÓMICOS

A la hora de crear la cinta, se tuvo en cuenta el bienestar de los trabajadores, por lo que no hay ningún riesgo ergonómico en la misma. Ningún operario realiza trabajos pesados o repetitivos, tampoco realiza acciones que puedan ser perjudiciales para su cuerpo. De esta forma, se evitan este tipo de riesgos.

#### RIESGOS MECÁNICOS

Estos son unos de los riesgos más importantes a tener en cuenta al realizar una automatización que involucra robots y dispositivos mecánicos. Para la prevención de los mismos, como ha sido comentado

anteriormente, el robot industrial ha sido situado entre dos estanterías, una cinta transportadora y una valla de seguridad. Esto permite evitar que los trabajadores accedan a la zona operativa del robot y se produzcan colisiones o daños al operario. Por otra parte, el robot colaborativo ha sido colocado de forma que, aun siendo un *cobot* y, por tanto, suponiendo un riesgo inferior, tampoco es de fácil acceso, por lo que el riesgo para los operarios también se ve reducido.

Por otra parte, las cintas y los robots, como ha sido comentado con anterioridad, cuentan con botones de emergencia individuales que detienen la actividad de los mismos en caso de riesgo. Además, hay un botón de parada general que detiene todo el proceso, tanto cintas como robots.

### RIESGOS ELÉCTRICOS

El personal que vaya a manejar todos los elementos eléctricos de la celda (cableado, sensores, etc.), deberá llevar la protección adecuada estipulada en las normativas que se mencionarán en el apartado siguiente. Todos los riesgos eléctricos se verán minimizados entonces por dos factores: las normativas UE que deben cumplir todas las máquinas y la distribución de la celda, la cual limita el contacto que tendrán los trabajadores con las cintas y los robots.

### RIESGOS DE SUSTANCIAS

Estos riesgos vienen dados por sustancias peligrosas, tales como gases o líquidos corrosivos, que deberán mantenerse fuera del alcance de los operarios. Los robots, cintas y objetos manipulados, sin embargo, no poseen ni desprenden ninguna clase de sustancia nociva que tenga que tratarse con precaución. Por tanto, aunque los trabajadores estén cerca de los mismos, no correrán ningún riesgo de esta clase.

### CONSIDERACIONES

A continuación, se exponen las zonas y espacios en que se divide la celda en lo que respecta a las consideraciones de seguridad adoptadas.

### ESPACIOS SEGUROS

Los espacios seguros son aquellos en los que los trabajadores pueden estar sin correr riesgos dentro de la celda, consultar Figura 5.2. Gracias a las mamparas, el operario puede acercarse a la cinta transportadora sin peligro de colisión, consultar Figura 5.3.

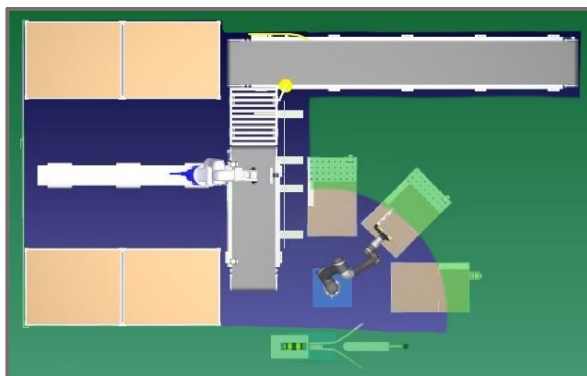


Figura 5.2: Zonas libres de peligro.



Figura 5.3: Mampara de seguridad para trabajadores.

## ACCESOS

Las zonas de acceso son aquellas por las que se puede aproximar el operario a la celda, consultar Figura 5.4. En el caso de las zonas alrededor del robot industrial, es decir, el acceso mediante la puerta y valla de seguridad, es necesario detenerlo antes de entrar, por seguridad y normativa. Este acceso solo se realizará en ocasiones excepcionales, como que el robot requiera de reparaciones. El resto de accesos, gracias a la mampara y el uso del robot colaborativo, pueden considerarse seguros.

## ZONAS DE INTERACCIÓN HUMANO-MÁQUINA

Estas áreas son aquellas en las que el personal del almacén interactúa con los elementos de la celda. Las zonas marrones, observables en la Figura 5.5, son las de peligro; es decir, aquellas áreas a las que el operario debe acceder con precaución y cuando la celda no esté en funcionamiento. Las verdes, corresponden al espacio seguro explicado anteriormente.

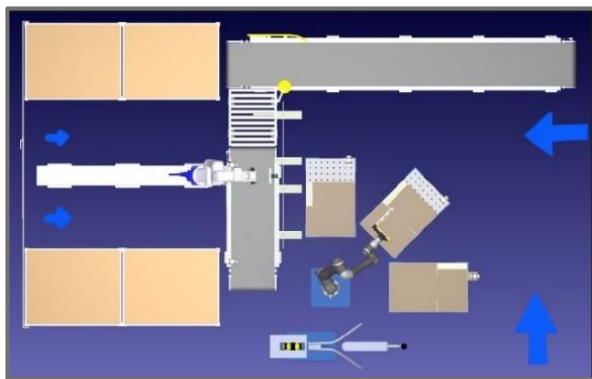


Figura 5.4: Accesos a la celda.



Figura 5.6: Zonas de intersección entre robots.

## ESPACIO OPERATIVO DE LOS ROBOTS

Estas áreas son aquellas por las cuales los robots pueden desplazarse. Como se puede observar en la Figura 5.6, los robots podrían llegar a colisionar (zona marcada en amarillo). Aun así, gracias a la mampara y a que el robot industrial no opera en este sector, esta posibilidad no supondría ningún riesgo. Por otra parte, al ser uno de los robots un *cobot*, en caso de colisión, se detendría el movimiento del mismo, reduciendo así cualquier posibilidad de dañar el equipo o robot industrial.

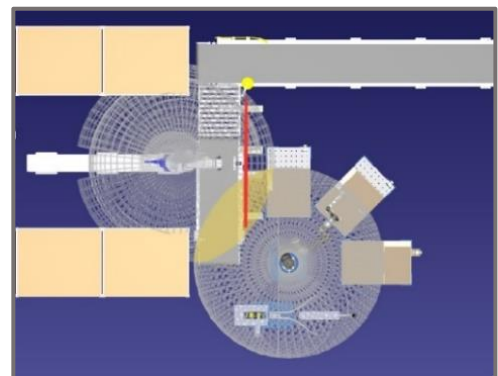


Figura 5.6: Zonas de intersección entre robots.

## REGULACIONES Y ESTÁNDARES

A continuación, se explican las distintas normativas y estándares que afectan a la propuesta llevada a cabo y que deben tenerse en cuenta a la hora de implementarla. Además, se añadirán planos detallados de las zonas de riesgo y peligro y una explicación de cómo se han cumplido los estándares, los cuales han conducido a esa disposición de elementos, en concreto, dentro de la celda.

<a href="#">EN ISO 10218 1-2</a>	Relativo a la seguridad de robots industriales y colaborativos
<a href="#">Directiva europea de máquinas 2006/42/CE</a>	Relativa a la seguridad de las máquinas en el ámbito europeo y español
<a href="#">ISO 12100:2010</a>	Relativo a la seguridad de las máquinas en España (variación española de la directiva europea)
<a href="#">Norma ISO/TS 15066:2016</a>	Relativa a la seguridad y la forma de trabajo de los robots colaborativos

Figura 5.7: Normativas y estándares.

Para comenzar, se tratarán las normativas aplicables al robot industrial, el cual supone el mayor riesgo dentro de la celda.

Al tratarse de un robot de la marca Denso, que es una marca europea (de Alemania), el robot queda sujeto a las normativas europeas que se aplican a las máquinas o cuasi máquinas. En este caso tenemos la “Directiva europea de máquinas 2006/42/CE”, que regula la creación y fabricación de máquinas para evitar y prevenir riesgos cuando estas sean usadas. Al tener el certificado CE, sabemos que cumple dichos estándares y, por tanto, es más segura que otras máquinas del mercado.

La norma “ISO 12100”, para la seguridad de las máquinas en España especifica los principios para la evaluación y reducción del riesgo, describiendo procedimientos para identificar peligros, eliminarlos o reducirlos.

La primera norma que se puede observar en la Figura 5.7 se divide en dos apartados. El primero habla de robots y dispositivos robóticos. Este cubre los requisitos de seguridad necesarios para crear un diseño seguro y con medidas de protección y proporciona información para el uso de los robots industriales, así como para la integración de dichos robots y sistemas en la industria. También dicta que los componentes robóticos deben diseñarse para reducir los riesgos en caso de rotura y que deben contar con, al menos, una parada de emergencia y otra de seguridad.

Para los robots colaborativos, los cuales son menos peligrosos y, por tanto, tienen menos restricciones, será importante tener en cuenta la “EN ISO 10218 1-2”. Esta habla sobre la monitorización de la velocidad del brazo robótico colaborativo y otras normas de seguridad. También será importante consultar la norma “ISO/TS 15066”, ya que trata las directrices adicionales para integrar y adecuar los *cobots* al entorno. Cabe añadir que, a pesar de suponer un riesgo menor, los robots colaborativos no quedan exentos de someterse a normativas o directivas como la “Directiva europea de máquinas 2006/42/CE”.

Por otra parte, estos ofrecen cuatro modos distintos de funcionamiento:

- Parada por cercanía: el robot se detiene cuando los sensores detectan que hay un trabajador cerca.
- Parada por contacto: si el robot detecta que está ejerciendo más fuerza de la requerida para moverse, se detiene.



- Maestro-esclavo: el operario mueve el robot manualmente para que este aprenda las posiciones a las que debe desplazarse.
- Control de velocidad: si el robot detecta que un objeto se mueve a demasiada velocidad dentro de su alcance, se detiene.

En la propuesta diseñada, el robot emplearía el método de parada por contacto como modo de funcionamiento principal. Esto se debe a que, el caso más peligroso se daría en caso de colisión entre operario y máquina.

---

## 6. DESARROLLO DE SOFTWARE Y ALGORITMOS

---

En este apartado se puede encontrar la información relativa a la programación del proyecto de automatización, en concreto aspectos como el listado de componentes tecnológicos requeridos, y de forma sintetizada, la descripción de la implementación, aludiendo aspectos como la estructura de los programas, algoritmos y estructuras de datos. Para obtener más información sobre la estructuración de los programas y sus funciones principales, se sugiere que se consulte la documentación relativa a la programación, [Preparación de Pedidos - Manual de Programación - Grupo A4](#).

Para concluir con esta sección, se especifica el esquema de la base de datos necesaria para el proyecto.

### LISTADO TECNOLÓGICO

A continuación, se indican los componentes a desarrollar y tecnologías de implementación utilizadas en cada uno de los casos. En el listado se muestran las soluciones tecnológicas que combinadas entre sí aportan las herramientas necesarias para realizar la automatización exitosamente.

- **Dispositivo embebido ESP32-S3 (sensor/actuador):** Microcontrolador encargado de sensorizar la estación y de gestionar los actuadores que se encuentran en ella. El lenguaje de programación utilizado es C++, a través del entorno de [Arduino IDE 2.0](#).
- **Dispositivo embebido ESP32-S3 (controlador):** Microcontrolador que recibe las lecturas de los sensores y dependiendo de ellas envía diferentes órdenes a los demás dispositivos. El lenguaje de programación utilizado es C++, a través del entorno de [Arduino IDE 2.0](#).
- **Omron TM5X-900:** Robot colaborativo encargado del montaje de las cajas. Este elemento se programa a través de [RoboDK](#), por medio de la realización de subprogramas y *scripts* de Python que a posteriori permiten generar el programa del robot.
- **Robot industrial Denso VS-6577G-B:** Robot industrial encargado del llenado de las cajas. Este elemento se programa a través de [RoboDK](#), por medio de la realización de subprogramas y *scripts* de Python que a posteriori permiten generar el programa del robot.
- **Algoritmo de colocación de dispositivos:** Este programa se encarga de calcular el orden de colocación de los dispositivos dentro de las cajas. En él se implementarían algoritmos de programación avanzada, en concreto programación dinámica, de esta forma se consigue

calcular una distribución de los dispositivos óptima. El lenguaje de programación utilizado es C++, a través del entorno de [MVSC](#).

La solución aportada se trata de una versión simplificada del algoritmo final. El cálculo de la colocación se realiza mediante programación voraz, y no se tienen en consideración muchas de las situaciones que en la versión final sí que se contemplarían.

- **Base de datos:** Se trata de una BBDD que sigue un modelo relacional, más adelante se indicará más información sobre ella. Se crea mediante [PostgreSQL](#), sistema de base de datos relacionales de código abierto.
- **Mecanismos de comunicación:** Durante el desarrollo de cada uno de los componentes mencionados anteriormente, se incluyen mecanismos de comunicación indirecta (vía MQTT) para los dispositivos. En el caso de las consultas/inserciones en la base de datos, se hace uso de librerías que proporcionen integración con [PostgreSQL](#).

## DESCRIPCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN

### ESTRUCTURA DE LOS PROGRAMAS

Para cada una de las soluciones, se mencionan los ficheros por las que están formadas, además, se muestran en una tabla las funciones principales de la solución, indicando el fichero de origen y una breve descripción. Para obtener más información sobre todas las funciones, se sugiere que se consulte el del documento [Preparación de Pedidos - Manual de Programación - Grupo A4](#).

#### **ESP32-01. SENSORA/ACTUADORA**

El componente consta de los siguientes ficheros: config.h, c\_logger.ino, ESP32\_01.ino, d\_wifi\_lib\_no\_tocar.ino, e\_mqtt\_lib\_no\_tocar.ino, f\_funciones.ino, g\_tareas.ino, h\_comunicaciones.ino, s\_setup.ino y por último w\_loop.ino.

<b><i>FUNCIONES PRINCIPALES</i></b>		
<b>Nombre de la función</b>	<b>Fichero de origen</b>	<b>Descripción</b>
<b>isr()</b>	f_funciones.ino	Gestor de interrupción para el pulsador de emergencia. Esta función se aloja en la memoria RAM (hay que usar la directiva de IRAM_ATTR).
<b>getUsDistance()</b>	f_funciones.ino	Función para conocer la distancia detectada por el ultrasonido.
<b>camera_init()</b>	f_funciones.ino	Función para inicializar la cámara de la ESP32.
<b>camera_get_QR()</b>	f_funciones.ino	Función para activar la cámara de la ESP32 para leer un código QR.
<b>retenedor_init()</b>	f_funciones.ino	Función para inicializar el retenedor (servomotor en la demo).
<b>retenedor_set_accion()</b>	f_funciones.ino	Función para accionar el retenedor (servomotor en la demo).

<code>sensor_inicio_cinta_task()</code>	<code>g_tareas.ino</code>	Tarea que se encarga de sensorizar el inicio de la cinta 1.
<code>sensor_final_cinta_task()</code>	<code>g_tareas.ino</code>	Tarea que se encarga de sensorizar el final de la cinta 1.
<code>lectorQR_task()</code>	<code>g_tareas.ino</code>	Tarea que se encarga realizar la lectura del QR cuando hay una caja disponible para ser escaneada.

## ESP32-02. CONTROLADORA

El componente consta de los siguientes ficheros: `config.h`, `c_logger.ino`, `ESP32_02.ino`, `d_wifi_lib_no_tocar.ino`, `e_mqtt_lib_no_tocar.ino`, `f_funciones.ino`, `g_tareas.ino`, `h_comunicaciones.ino`, `s_setup.ino` y por último `w_loop.ino`.

<b><u>FUNCIONES PRINCIPALES</u></b>		
Nombre de la función	Fichero de origen	Descripción
<code>get_item()</code>	<code>buffer_circular_t.h</code>	Método para obtener un elemento del Buffer Circular.
<code>put_item()</code>	<code>buffer_circular_t.h</code>	Método para introducir un elemento en el Buffer Circular.
<code>consultar_BBDD_y_generar_orden()</code>	<code>f_funciones.ino</code>	Función de consulta de la Base de Datos (sin implementar).
<code>retenedor_camara_task()</code>	<code>g_tareas.ino</code>	Tarea que se encarga de sensorizar el inicio de la cinta 1. Tarea que se encarga analizar la lectura del QR. De esta manera se consigue retener la caja correctamente dependiendo de su tamaño y se genera/envía la orden para el robot industrial.
<code>gestion_cintas_task()</code>	<code>g_tareas.ino</code>	Tarea que se encarga de la gestión de las cintas y del retenedor.
<code>promedio_tiempos_llenado()</code>	<code>g_tareas.ino</code>	Esta tarea lee los valores de los siguientes buffers: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 'buffer_tiempos_de_llenado_caja_s'</li> <li>- 'buffer_tiempos_de_llenado_caja_m'</li> <li>- 'buffer_tiempos_de_llenado_caja_l'</li> </ul>

## ROBODK. SCRIPTS DE PYTHON

El componente consta de los siguientes ficheros: `functions.py`, `esp32_mqtt_listener.py`, `cobot_mqtt_listener.py`, `industrial_mqtt_listener.py`, `delete_box_s.py`, `delete_box_m.py` y `delete_box_l.py`.

<b><u>FUNCIONES PRINCIPALES</u></b>		
Nombre de la función	Fichero de origen	Descripción

<b>stop_all()</b>	functions.py	Esta función sirve para detener el cobot, el robot industrial y las cintas en la simulación.
<b>assemble_box()</b>	functions.py	Esta función analiza el mensaje recibido (en concreto la información sobre el tipo de caja) y ejecuta el subprograma de Montaje de Caja + Transporte correspondiente.
<b>fill_box()</b>	functions.py	Esta función analiza el mensaje recibido (tipo de caja, cantidad de dispositivos de la caja, los tipos de dispositivo y su posición de place) y ejecuta el Pick & Place de cada dispositivo dentro de la caja.
<b>on_message()</b>	esp32_mqtt_listener.py	Función que analiza el topic recibido y realiza la acción oportuna.
<b>on_message()</b>	cobot_mqtt_listener.py	Cuando llega un mensaje a través del topic ORDEN_COBOT_TOPIC, se llama a la función assemble_box(), pasándole como parámetro msg sin parsear, ya que el mensaje se analizará dentro de esa función.
<b>on_message()</b>	industrial_mqtt_listener.py	Cuando llega un mensaje a través del topic ORDEN_INDUSTRIAL_TOPIC, se llama a la función fill_box(), pasándole como parámetro msg sin parsear, ya que el mensaje se analizará dentro de esa función.

## ALGORITMO DE COLOCACIÓN DE DISPOSITIVOS

El componente consta de los siguientes ficheros: *logger.h*, *defines.h*, *space\_t.h*, *item\_t.h* y *box\_t.h*.

<b><u>FUNCIONES PRINCIPALES</u></b>		
Nombre de la función	Fichero de origen	Descripción
<b>update_spaceInUse ()</b>	box_t.h	Actualiza el espacio actual en uso de la caja.
<b>place_items_in_box()</b>	box_t.h	Coloca todos los elementos de itemsToPlace dentro de la caja y actualiza la lista placedItems. También establece targetPlace de todos los elementos.
<b>calculate_TCP_poses()</b>	box_t.h	Este método calcula las poses de TCP para todos los elementos para que puedan colocarse correctamente en el simulador RoboDK.
<b>generate_mqtt_order()</b>	box_t.h	Este método genera una orden en formato JSON para enviársela al robot industrial del simulador RoboDK (vía MQTT).

## ALGORITMOS Y ESTRUCTURAS DE DATOS

Durante el desarrollo del proyecto cabe destacar la programación orientada a objetos. Gracias a ella, se ha conseguido desarrollar algoritmo capaz de calcular la secuencia de llenado de una caja.

En cuanto a estructuras de datos se refiere, se han hecho uso indirecto de ellas, como por ejemplo, mediante el uso de diccionarios basados en tablas hash cuando se usan los documentos JSON.

Aunque la solución aportada se trata de una versión simplificada del algoritmo final. El cálculo de la colocación se realiza mediante programación voraz, y no se tienen en consideración muchas de las situaciones que en la versión final sí que se contemplarían.

A continuación se muestra el pseudocódigo detallado de lo que sería el programa.

```
procedure place_items_in_box (Candidates itemsToPlace)
  ▷ itemsToPlace es una lista que almacena los items que se desean colocar
    en el interior de la caja <
  ▷ placedItems es una lista que inicialmente está vacía. En ella se irán
    colocando los items a medida que se vaya llenando la caja <
  ▷ spaceInUse es una variable que inicialmente está vacía. Indica el
    volumen ocupado de la caja. Se actualiza cuando realiza una inserción <
  ▷ it es un iterador que permite recorrer la lista itemsToPlace.
    Inicialmente apunta al primer elemento de la lista <

  // se reordena la lista para colocar los items más voluminosos primero
  sort_by_size(itemsToPlace)

  While (itemsToPlace != {}) do

    // copia del item de la lista itemsToPlace al que apunta it
    aux = itemsToPlace->it

    // si el elemento cabe en el hueco indicado, se inserta el item
    If is_valid_space(aux.size)
      // 1º se extrae el item de la lista
      x = itemsToPlace.pop()
      // 2º se inserta x en la lista placedItems
      placedItems.push(x)
      // 3º se fusiona el volumen de x con el que ya hubiera en uso
      update_spaceInUse(x.size)

      // hacer que el iterador apunta al primer elemento de la lista
      it = itemsToPlace.first

    // si el item no cabe, no se descarta
    Else
      // puede que el item no quepa en el hueco al que se apunta, por lo
      // que se apunta al siguiente de la lista. El siguiente item tendrá
      // las mismas dimensiones o inferiores, si se da el segundo caso
```

```
// puede que ese nuevo item sí que quepa en el hueco indicado
++it
```

```
end While
```

```
end place_items_in_box
```

## ESQUEMA DE LA BBDD UTILIZADA

Como se ha mencionado anteriormente, es necesaria una base de datos para llevar a cabo la implementación de la automatización. Actualmente en la empresa hay una base de datos en uso, pero a esta se le aplicarían ciertos cambios para que pueda adaptarse a la automatización.

El nuevo esquema de la base de datos se basa en la relación de cuatro entidades fundamentales, dichas entidades son clientes, pedidos, cajas y dispositivos. En la Figura 6.1 se presentan las diferentes relaciones mediante una notación sencilla. Los atributos de cada entidad están indicados con el color **lavanda**, en caso de ser la clave primaria, esta se encuentra subrayada, mientras que los atributos que son claves ajenas están indicados con el color **púrpura oscuro**.

Para la propuesta de proyecto se sugiere utilizar [PostgreSQL](https://www.postgresql.org/) para la creación de la base de datos. Cada entidad se trasladará como una tabla y en el caso de relaciones de tipo muchos a muchos (M:N), también será necesaria una tabla para reunir dichas relaciones. De la Figura 6.2 a la Figura 6.6 se muestran las tablas necesarias con contenido de ejemplo, el contenido no usa datos personales reales.

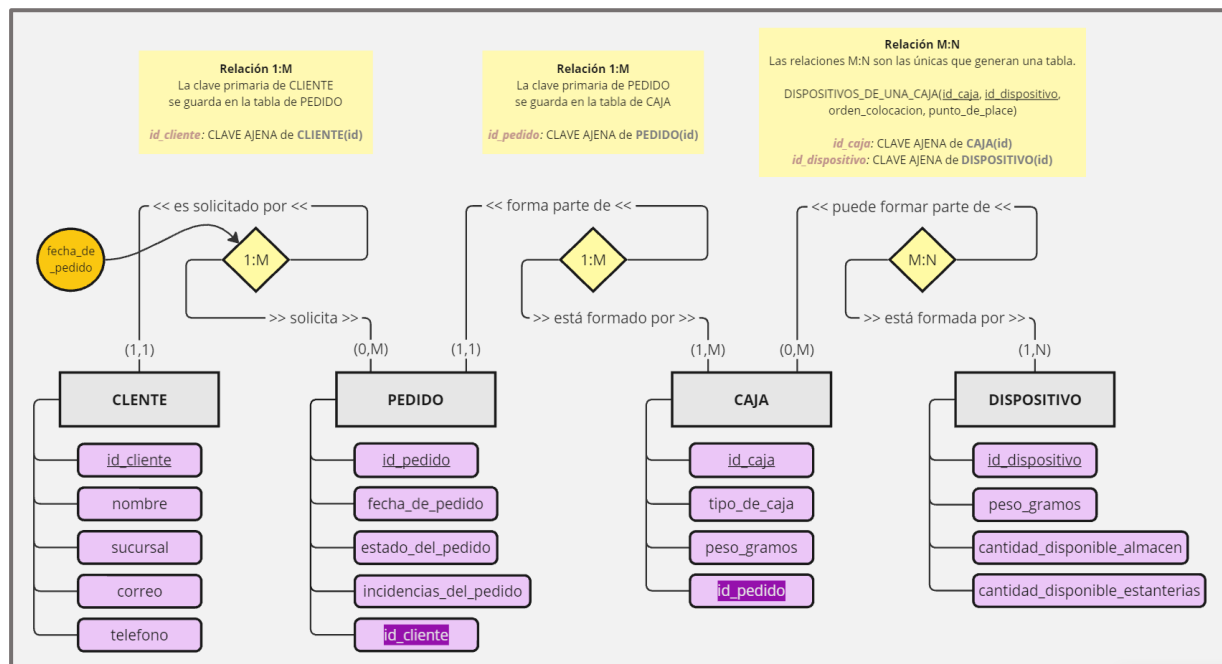


Figura 6.1: Diagrama Entidad-Relación de la Base de Datos.

CLIENTES				
id_cliente	nombre	sucursal	correo	telefono
CLNT001	Eduardo Moreno García	1	emorgar@empleado.hydra.es	+34 600 12 34 56
CLNT002	Lucrecia Martínez Campos	1	lmarcam@empleado.hydra.es	+34 600 61 23 45
CLNT003	Ana López Sureño	1	alopsur@empleado.hydra.es	
CLNT004	María Granell Rodrigo	1	mgrarod@empleado.hydra.es	
CLNT005	Rubén Ruiz Martínez	2	rruimar@empleado.hydra.es	+34 600 56 12 34
CLNT006	Paco Peláez Díaz	2	ppeldia@empleado.hydra.es	+34 600 45 61 23
CLNT007	Lucía Silvert Castañeda	2	lsilcas@empleado.hydra.es	
CLNT008	Daniel Belda Llimerá	3	dbelli@empleado.hydra.es	+34 600 34 56 12
CLNT009	Aroa Cornejo Hidalgo	3	acorhid@empleado.hydra.es	
CLNT010	Jose Vendrell Perles	3	jvenper@empleado.hydra.es	+34 600 23 45 61
CLNT011	Roberto Cañón Abierto	3	rcaabi@empleado.hydra.es	

Figura 6.2: Contenido de la tabla de Clientes.

PEDIDOS				
id_pedido	fecha_de_pedido	estado_del_pedido	incidencias_del_pedido	id_cliente
PDI0001	2024/05/03 17:32:56	finalizado	ninguna	CLNT001
PDI0002	2024/05/03 14:00:32	cancelado	sin stock de lo solicitado	CLNT005
PDI0003	2024/05/03 19:24:01	finalizado	ninguna	CLNT005
PDI0004	2024/05/06 09:56:07	finalizado	ninguna	CLNT004
PDI0005	2024/05/06 10:22:03	finalizado	sin stock de reloj_A_02	CLNT005
PDI0006	2024/05/06 10:28:48	finalizado	ninguna	CLNT008
PDI0007	2024/05/07 08:03:07	finalizado	ninguna	CLNT007
PDI0008	2024/05/07 08:04:09	finalizado	ninguna	CLNT008
PDI0009	2024/05/10 15:30:12	finalizado	ninguna	CLNT001
PDI0010	2024/05/10 15:41:38	en progreso	ninguna	CLNT005
PDI0011	2024/05/10 15:42:13	en progreso	ninguna	CLNT011

Figura 6.3: Contenido de la tabla de Pedidos.

DISPOSITIVOS_DE_UNA_CAJA			
id_caja	id_dipositivo	orden_colocacion	punto_de_place
CAJ0001	tablet_A_01	1	120.0, 75.0, 40.0, -180.0, 0.0, 180.0
CAJ0001	tablet_A_01	2	120.0, 225.0, 40.0, -180.0, 0.0, 0.0
CAJ0001	tablet_A_01	3	120.0, 75.0, 80.0, -180.0, 0.0, 180.0
CAJ0001	ereader_B_02	4	60.0, 190.0, 80.0, -180.0, 0.0, -90.0
CAJ0001	ereader_A_02	5	180.0, 190.0, 80.0, -180.0, 0.0, -90.0
...	...	...	...
CAJ0001	telefono_B_funda	26	200.0, 190.0, 220.0, -180.0, 0.0, -90.0
CAJ0002	tablet_B_02	1	120.0, 75.0, 40.0, -180.0, 0.0, 180.0
CAJ0002	telefono_A_02	2	280.0, 110.0, 60.0, -180.0, 0.0, 90.0
CAJ0002	tablet_B_02	3	120.0, 225.0, 40.0, -180.0, 0.0, 0.0
CAJ0002	telefono_A_02	4	280.0, 190.0, 60.0, -180.0, 0.0, -90.0
CAJ0002	tablet_A_funda	5	120.0, 75.0, 60.0, -180.0, 0.0, 180.0
...	...	...	...
CAJ0002	tablet_D_funda	32	120.0, 75.0, 240.0, -180.0, 0.0, 180.0
CAJ0004	tablet_D_02	1	120.0, 75.0, 40.0, -180.0, 0.0, 180.0
CAJ0004	tablet_D_02	2	360.0, 75.0, 40.0, -180.0, 0.0, 180.0
CAJ0004	tablet_D_02	3	120.0, 225.0, 40.0, -180.0, 0.0, 0.0
CAJ0004	tablet_C_02	4	360.0, 225.0, 40.0, -180.0, 0.0, 0.0
CAJ0004	tablet_C_02	5	120.0, 75.0, 80.0, -180.0, 0.0, 180.0
...	...	...	...
CAJ0004	telefono_B_funda	48	440.0, 190.0, 240.0, -180.0, 0.0, -90.0

Figura 6.4: Contenido de la tabla de Dispositivos de una Caja.



CAJAS			
id_caja	tipo_de_caja	peso_gramos	id_pedido
CAJ0001	S	12020	PDI0001
CAJ0002	M	18800	PDI0003
CAJ0003	M	17300	PDI0003
CAJ0004	L	20120	PDI0004
CAJ0005	S	9050	PDI0005
CAJ0006	S	10250	PDI0005
CAJ0007	M	13500	PDI0005
CAJ0008	M	15260	PDI0006
CAJ0009	L	22540	PDI0007
CAJ0010	S	13040	PDI0008
CAJ0011	S	11230	PDI0008

Figura 6.5: Contenido de la tabla de Cajas.

DISPOSITIVOS			
id_dispositivo	peso_gramos	cantidad_disponible_almacen	cantidad_disponible_estanterias
pulsera_A_01	150	500	40
reloj_A_02	200	600	20
telefono_C_funda	50	200	90
telefono_F_01	300	1000	20
ereader_A_funda	80	400	60
ereader_B_02	1000	sin stock	30
tablet_A_funda	100	300	60
tablet_D_01	2000	750	30
pulsera_A_02	150	500	40
reloj_A_01	200	50	20
telefono_H_funda	50	250	60

Figura 6.6: Contenido de la tabla de Dispositivos.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### DIFICULTADES, PROBLEMAS Y ENLACES

A la hora de seleccionar una idea para un proyecto de automatización, se optó desde un inicio por un planteamiento centrado en la logística. Esto se debe a que este es el campo en que más nos interesaba enfocarnos debido a que, dentro de las posibles problemáticas, parecía la más interesante y la que más variedad de oportunidades ofrecía. Una vez decidido en qué se centraría el proyecto, faltaba conocer qué clase de elementos iban a manipularse. Después de una larga lluvia de ideas, se llegó a la conclusión de que lo más cómodo sería manipular elementos lisos, poco moldeables y no relacionados con la distribución de alimentos o fármacos. Esto se debe a que, a la hora de seleccionar herramientas o tener en cuenta normativas, cualquier otra opción supondría un trabajo mucho más exhaustivo. Así es como se llegó a la propuesta actual, la cual supone la manipulación de dispositivos tecnológicos.

Este proyecto ha supuesto un desafío muy grande ya que, en este, se debían aplicar los conocimientos adquiridos en múltiples asignaturas y relacionarlos de forma tal que se lograra una propuesta coherente, funcional y rentable. La parte más desafiante del proyecto, aun así, ha sido un factor externo, el tiempo. Esto se debe a que, por mucho que el proyecto tuvo sus complicaciones, lo más difícil del mismo era lograr sacar suficiente tiempo para compaginar la realización de este trabajo con otros entregables de otras asignaturas.

Por tanto, a lo largo del desarrollo de este proyecto, además de poner en uso y mejorar nuestros conocimientos adquiridos en asignaturas como programación avanzada y sistemas empotrados, también ha sido posible mejorar aspectos como la gestión del tiempo y la organización.

Como se ha mencionado, se ha podido poner en práctica lo aprendido durante el curso en otras asignaturas:

- Programación avanzada: realización de los programas de selección de dispositivos.
- Sistemas empotrados: programación de las ESP32 y la sensorización.
- Gestión de datos para la industria: realización de la base de datos.
- Marco legal de la empresa: búsqueda de las normativas aplicables.

- Programación de robots: realización de la simulación.
- Proyecto RII 1: realización de los presupuestos entre otros.

## RESUMEN Y RECOMENDACIONES

Esta propuesta, como se ha explicado a lo largo del documento, supone la automatización de una sección del almacén de una empresa dedicada a la preparación de pedidos de dispositivos tecnológicos. Estos pedidos son realizados por las propias tiendas de la empresa, las cuales han aumentado el número de ventas y, con ello, la demanda de pedidos. El proceso propuesto se divide en dos etapas y una etapa intermedia de transporte. La primera etapa engloba el desdoblado de la caja de pedidos y se realiza con la ayuda de un robot colaborativo. La segunda, engloba el proceso de *pick and place* de los dispositivos en las cajas, y se realiza con la ayuda de un robot industrial. La automatización, como se ha explicado, cumple los objetivos establecidos por la empresa y, además, genera beneficios para la empresa si el número de ventas sigue aumentando como se había estipulado. Por tanto, puede concluirse que la propuesta planteada cumple con todo aquello requerido por la empresa.

Por último, cabe remarcar que, aunque la propuesta se ha sugerido para una única sección del almacén, podría llegar a implementarse en otras áreas. Es decir, dependiendo de la rentabilidad obtenida, se sugeriría que la automatización se extendiese a otros procesos del almacén.

---

## 8. REFERENCIAS

---

### BIBLIOGRAFÍA

#### DOCUMENTOS PREVIOS

Para la realización de este proyecto se ha empleado información de los documentos entregados durante la carrera tanto para la asignatura de PR1, PR2 y PRR. Estos documentos serían:

#### **PROYECTO RII 1: ORGANIZACIÓN Y ESCENARIOS 1**

- TR4 – Propuesta de equipamiento y presupuesto
- TR5 – Propuesta de layout y normativa
- [TR7 – Propuesta empresarial](#)
- [TR7 – Propuesta técnica](#)

#### **PROYECTO RII 2: DESARROLLO Y PROGRAMACIÓN**

- Prueba de Concepto – Contexto – Grupo A4
- Prueba de Concepto – Cálculo de tiempos – Grupo A4
- Preparación de Pedidos – Prueba de Concepto – Grupo A4
- Preparación de Pedidos – Definición del Proyecto – Grupo A4

## PROGRAMACIÓN DE ROBOTS

- Preparación de Pedidos – Memoria – Grupo A4

## APLICACIONES EMPLEADAS

- [RoboDK - Simulator for industrial robots and offline programming](#)
- [Blender - Free and Open 3D Creation Software](#)
- [SketchUp Free - Software de modelado en 3D gratuito](#)
- [Excel - Microsoft](#)
- [Paint - Microsoft](#)

## ELEMENTOS DE REFERENCIA

- [Robot Library | RoboDK](#)
- [Carro de Servicio 2 Estantes | Zeta Trades](#)
- [Estanteria Acero Galvanizado con 5 Baldas | MAKRO Marketplace](#)
- [Sistema de desviación | Ferplast](#)
- [Supermarket Shelf Pusher | Alibaba](#)
- [Mampara de seguridad | Alapizarra](#)
- [Etiquetadora | Direct Industry](#)
- [Vallado Industrial | Ferax](#)

## DOCUMENTOS Y VÍDEOS DE REFERENCIA

- [Puestos en un almacén | Esmelux](#)
- [Cobot vs Humano | Universal Robots](#)
- [Sawyer Robotic Box Erector | YouTube](#)
- [Robotic Case Erector and Case Packer | ONExia Inc. - YouTube](#)
- [Principales documentos para un proyecto de automatización | LinkedIn](#)
- [Costes de mantenimiento | Cronoshare](#)
- [Costes de instalación | NavesMadrid](#)
- [Salario medio operario de almacén | Talent](#)

## 9. ANEXOS

### ANEXO I

En este apartado se justifica la procedencia de ciertos datos mencionados a lo largo de este documento. Ciertos parámetros de éxito se basan en el contraste de cifras posteriores y anteriores a la automatización. Para el caso que se presenta, la preparación de pedidos, se presupone que las dimensiones de los dispositivos y las cajas para los pedidos que se van a manipular no son modificadas tras la automatización, consultar Figura 9.1.

Partiendo de esta premisa, para conseguir, entre otras cosas, la cantidad de pedidos antes y después de la automatización, se considerarán como ejemplo las dimensiones de los dispositivos y cajas que han sido utilizadas para realizar la simulación de susodicha automatización. En cuestión de tiempos, se plantea que un trabajador actualmente tarda una media de 15 segundos en localizar un dispositivo en la estantería, cogerlo y colocarlo dentro de la caja. El resto del tiempo del proceso, desde que coge la caja para montarla, la dobla y la encinta, se desplaza hacia diferentes estanterías y la transporta a la zona de sellado y paletizado, supone una media de 5 minutos por pedido. Por último, se propone una cifra aproximada de 4 trabajadores en esta sección del almacén, cifra basada en ejemplos reales de contactos cercanos trabajando en entornos similares.

DIMENSIONES DE LOS DISPOSITIVOS	DIMENSIONES DE LAS CAJAS
<b>RELOJ:</b> 80x75x60 mm (360 cm <sup>2</sup> )	<b>CAJA S:</b> 240x300x240 mm (17280 cm <sup>2</sup> )
<b>PULSERA:</b> 80x75x30 mm (180 cm <sup>2</sup> )	<b>CAJA M:</b> 300x320x240 mm (23040 cm <sup>2</sup> )
<b>FUNDA DE TELÉFONO:</b> 80x150x20 mm (240 cm <sup>2</sup> )	<b>CAJA L:</b> 300x480x240 mm (34560 cm <sup>2</sup> )
<b>TELÉFONO:</b> 80x150x60 mm (720 cm <sup>2</sup> )	<b><u>VOLUMEN MEDIO CAJA:</u></b> 24960 cm <sup>2</sup>
<b>FUNDA DE E-READER:</b> 120x150x20 mm (360 cm <sup>2</sup> )	<b>DIMENSIONES DE LOS PEDIDOS</b>
<b>E-READER:</b> 120x150x40 mm (720 cm <sup>2</sup> )	<b>PEDIDO MÁXIMO:</b> 192 pulseras
<b>FUNDA DE TABLET:</b> 240x150x20 mm (720 cm <sup>2</sup> )	<b><u>PEDIDO MEDIO:</u></b> 42 dispositivos variados
<b>TABLET:</b> 240x150x40 mm (1440 cm <sup>2</sup> )	<b>PEDIDO MÍNIMO:</b> 12 tablets
<b><u>VOLUMEN MEDIO DISPOSITIVOS:</u></b> 592,5 cm <sup>2</sup>	

Figura 9.1: Dimensiones de los elementos que intervienen en el *pick and place*.

Todos estos datos junto con los de la simulación realizada, consultar Figura 9.2, han servido para realizar un cálculo estimado de los tiempos de cada proceso tanto en la actualidad como después de implementar la automatización.

TIEMPOS EXTRAIDOS DE LA SIMULACIÓN EN ROBODK			
Denso VS-6577G-B + Eje Lineal (configuración estandar)			
	items	tiempo (seg.)	tiempo (min.)
EJEMPLO CAJA S	26	134,4	2,24
EJEMPLO CAJA M	32	157,8	2,63
EJEMPLO CAJA L	48	238,8	3,98
total	<b>106</b>	<b>531</b>	<b>8,85</b>
5,01 = tiempo aprox. de ciclo por objeto (seg.)			

Figura 9.2: Tiempos de los Procesos “P&P” obtenidos con RoboDK.

A continuación, se encuentran explicados los distintos escenarios y parámetros empleados en los cálculos realizados, consultar Figura 9.3.

## POSIBLES ESCENARIOS

**Mínimo:** Este escenario se da cuando el robot llena la “Caja S” con 12 tablets y, como indica su nombre, es el pedido más pequeño que puede realizarse.

**Máximo:** Este escenario se da cuando el robot llena la “Caja L” con 192 pulseras y, como indica su nombre, es el pedido más grande que puede realizarse.

**Ejemplo caja S:** Este escenario ha sido el empleado en el simulador para realizar la preparación de pedidos con la “Caja S”. En este ejemplo, el robot coge 26 dispositivos.

**Ejemplo caja M:** Este escenario ha sido el empleado en el simulador para realizar la preparación de pedidos con la “Caja M”. En este programa, el robot coge 32 dispositivos.

**Programa L:** Este escenario ha sido el empleado en el simulador para realizar la preparación de pedidos con la “Caja L”. En este programa, el robot coge 48 dispositivos.

**Promedio:** Este escenario ha sido calculado empleando los datos de las dimensiones tanto de los dispositivos como de las cajas mostrados en la Figura 9.1. Este presupone que, de media, los pedidos suponen la realización del *pick and place* de 42 dispositivos. Dependiendo de la caja, los objetos varían, pero el tiempo de ejecución sería aproximadamente el mismo para cualquier tamaño.

## PARÁMETROS

**Ítems:** Esta tabla almacena la cantidad de objetos que se cogen a la hora de realizar el *pick and place* en cada uno de los escenarios.

**Transporte:** Esta tabla almacena los tiempos en minutos que tarda en montar y transportar la caja por todo el proceso, en el caso actual, un operario y, en el automatizado, la cinta.

**P&P x Ítem:** Esta tabla almacena los tiempos tanto en minutos como en segundos que tarda en coger y colocar un dispositivo en la caja, en el caso actual, un operario y, en el automatizado, el robot.

**Tiempos P&P:** Esta tabla almacena los tiempos en minutos que tarda en coger y colocar todos los dispositivos en la caja, en el caso actual, un operario y, en el automatizado, el robot. Para contrastar una mayor cantidad de datos, se han efectuado cálculos para comparar el tiempo que tardaría el trabajador en realizar el trabajo del robot y viceversa.

**Tiempos Proceso:** Esta tabla almacena los tiempos en minutos que tarda en realizar todo el proceso de preparado de pedidos, en el caso actual, un operario y, en el automatizado, el robot. Para contrastar

una mayor cantidad de datos, se han efectuado cálculos para comparar el tiempo que tardaría el trabajador en realizar el trabajo del robot y viceversa.

	TIEMPOS P&P (MIN)					
	ACTUAL			AUTOMATIZADO		
	CAJA S	CAJA M	CAJA L	CAJA S	CAJA M	CAJA L
MÍNIMO	3,00			1,03		
MÁXIMO			48,00			15,92
EJEMPLO CAJA S	6,50			2,24		
EJEMPLO CAJA M		8,00			2,63	
EJEMPLO CAJA L			12,00			3,98
PROMEDIO	10,50			3,52		

ÍTEMS	
MÍNIMO (CAJA S)	12
MÁXIMO (CAJA L)	192
EJEMPLO CAJA S	26
EJEMPLO CAJA M	32
EJEMPLO CAJA L	48
PROMEDIO	42

TRANSPORTE (MIN)	
ACTUAL	5,00
AUTOMATIZADO	1,00

P&P x ÍTEM	MINUTOS	SEGUNDOS
ACTUAL	0,25	15,00
AUTOMATIZADO	0,08	5,03

	TIEMPOS PROCESO (MIN)					
	ACTUAL			AUTOMATIZADO		
	CAJA S	CAJA M	CAJA L	CAJA S	CAJA M	CAJA L
MÍNIMO	8,00			2,03		
MÁXIMO			53,00			16,92
EJEMPLO CAJA S	11,50			3,24		
EJEMPLO CAJA M		13,00			3,63	
EJEMPLO CAJA L			17,00			4,98
PROMEDIO	15,50			4,52		

Figura 9.3: Cálculos de Tiempos realizados en Excel.

Todos estos cálculos nos llevan a la conclusión de que el robot realiza casi el triple de pedidos que un operario durante una jornada laboral de 8 horas, suponiendo que el empleado gasta aproximadamente 1h de su tiempo en otras actividades, ya sea comunicarse con miembros del equipo, descansar, comer, etc. Consultar Figura 9.4.

Suponiendo que hay 8 operarios preparando pedidos durante dos jornadas laborales, la automatización durante las primeras 16 horas proporciona un aumento de la producción del 25,90%. Aun así, el robot puede trabajar sin descanso de forma prolongada, es decir, no tiene porqué limitarse a trabajar 16 horas por día. Además, este realiza el proceso de transporte del pedido al mismo tiempo que el *pick and place* de la caja anterior. Esto ahorra un minuto por pedido al ejecutar de forma concurrente los procesos de transporte y *pick and place*.

Por tanto, si la estación automatizada está en funcionamiento durante el mismo tiempo que los operarios, no se cumple con el objetivo de incrementar en un 40% la producción. Como se mencionaba anteriormente, el robot puede trabajar sin descanso; por lo que, si trabaja 24 horas, el aumento de producción es de un 88,85%.

Este incremento supone un aumento aun superior al solicitado por la empresa. Concretamente, aumenta la producción a más del doble de lo estipulado.

PEDIDOS x DÍA			
JORNADA (H)	8	16	24
1 OPERARIO	27	54	-
4 OPERARIOS	108	217	-
AUTOMATIZADO	136	273	409
AUMENTO PRODUCCIÓN	125,90%	125,90%	188,85%

Figura 9.4: Pedidos por Día.

## ANEXO II

Como se ha mencionado anteriormente, ciertos parámetros que nos permiten comprobar la rentabilidad de la automatización se extraen de compararla con el proceso anterior. Aun así, también se ha querido tener en cuenta la posibilidad de, en vez de llevar a cabo una automatización, ampliar el número de jornadas laborales e incrementar el número de operarios en cuatro.

Al aumentar el número de operarios, el gasto anual en salarios aumentaría de 130.000€ a 195.000€. Teniendo en cuenta este dato, se puede estimar que implementar la automatización supondría un ahorro anual de 150.000€, consultar Figura 9.5.

SUELDO / OPERARIO	1.350,00 €
NÚMERO DE OPERARIOS	12
SUELDO OPERARIOS / MES	16.200,00 €
SUELDO OPERARIOS / AÑO	194.400,00 €
GASTOS ANUALES	44.600,00 €
AHORRO / AÑO	149.800,00 €

Figura 9.5: Previsualización del ahorro en salarios.

Respecto al aumento de la producción, durante las primeras dos jornadas no se notaría ningún cambio respecto a lo establecido anteriormente; es decir, se produciría un aumento de la producción del 25,9%, consultar Figura 9.6. Aun así, al incrementar el número de jornadas, el número de pedidos realizados por día mediante el aumento del número de operarios sería de 325, lo que provocaría que el aumento de la producción al realizar la automatización solo fuese de un 25,9% en vez de un 88,85%. Esto supondría que, el objetivo de la empresa de aumentar la producción en un 40%, aun viéndose completado teniendo en cuenta la situación actual del almacén, si se considera la posibilidad de ampliar el número de jornadas, no se alcance en su totalidad.

PEDIDOS x DÍA (comparación si hubiera una jornada nocturna)			
JORNADA (H)	8	16	24
1 OPERARIO	27	54	81
4 OPERARIOS	108	217	325
AUTOMATIZADO	136	273	409
AUMENTO PRODUCCIÓN	125,90%	125,90%	125,90%

Figura 9.6: Pedidos por Día.

No obstante, como se puede observar en la Figura 9.7, la automatización sigue suponiendo un beneficio mayor que realizar el aumento de jornadas, aunque en este caso este beneficio es notoriamente inferior, por lo que se tardaría más en retornar la inversión. Por tanto, se puede concluir



que la automatización supone una rentabilidad suficiente como para optar por esta opción y descartar la idea de aumentar el número de operarios y jornadas.

CASO 1	PRODUCCIÓN ACTUAL	PRODUCCIÓN PROPUESTA
DISPOSITIVOS REPARTIDOS	10800	13597
PRECIO DE VENTA MEDIO	150,00 €	
VENTAS ANUALES	1.620.000,00 €	2.039.550,00 €
GASTOS ANUALES	194.400,00 €	44.600,00 €
INVERSIÓN INICIAL	111.948,93 €	
FLUJO DE CAJA	1.425.600,00 €	1.994.950,00 €
BENEFICIO EXTRA		569.350,00 €
ROI	408,58%	
CASO 2	PRODUCCIÓN ACTUAL	PRODUCCIÓN PROPUESTA
DISPOSITIVOS REPARTIDOS	16200	20395
PRECIO DE VENTA MEDIO	150,00 €	
VENTAS ANUALES	2.430.000,00 €	3.059.250,00 €
GASTOS ANUALES	194.400,00 €	44.600,00 €
INVERSIÓN INICIAL	111.948,93 €	
FLUJO DE CAJA	2.235.600,00 €	3.014.650,00 €
BENEFICIO EXTRA		779.050,00 €
ROI	595,90%	
CASO 3	PRODUCCIÓN ACTUAL	PRODUCCIÓN PROPUESTA
DISPOSITIVOS REPARTIDOS	21600	27194
PRECIO DE VENTA MEDIO	150,00 €	
VENTAS ANUALES	3.240.000,00 €	4.079.100,00 €
GASTOS ANUALES	194.400,00 €	44.600,00 €
INVERSIÓN INICIAL	111.948,93 €	
FLUJO DE CAJA	3.045.600,00 €	4.034.500,00 €
BENEFICIO EXTRA		988.900,00 €
ROI	783,35%	

Figura 9.7: Previsualización del beneficio.