
Integración de interfaz gráfica y base de datos en sistema de transelevador para acomodamiento de cargas en bodega de GRUPO ROCAFUERTE

Juan Pablo Gomes Villela



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Integración de interfaz gráfica y base de datos en sistema de
transelevador para acomodamiento de cargas en bodega de
GRUPO ROCAFUERTE**

Trabajo de graduación presentado por Juan Pablo Gomes Villela para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Integración de interfaz gráfica y base de datos en sistema de
transelevador para acomodamiento de cargas en bodega de
GRUPO ROCAFUERTE**

Trabajo de graduación presentado por Juan Pablo Gomes Villela para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2023

Vo.Bo.:



(f) _____
Ing. Christopher Antonio Chiroy Miranda

Tribunal Examinador:



(f) _____
Ing. Christopher Antonio Chiroy Miranda



(f) _____
MAEB. Otto Armando Girón González



(f) _____
Ing. Pamela Godoy

Fecha de aprobación: Guatemala, 3 de enero 2023

El siguiente trabajo está dedicado a Dios por siempre darme fuerzas y sabiduría para seguir adelante apesar de todas las adversidades, a mi mamá Mayra Azucena de Gomes por siempre guiarme, apoyarme, aconsejarme, quererme y amarme durante todo estos años, a mi papá Rafael Gomes Sicajá por siempre apoyarme, aconsejarme, quererme, guiarme y amarme durante todo estos años y nunca dejarme solo, a mi hermano Rafael Eduardo Gomes por apoyarme y ayudarme desde pequeño, a mi abuelita Olga Esperanza Lara por aconsejarme, quererme y guiarme, a mi tía y primos por su apoyo y cariño, a mi novia Luz Aracely Galindo por amarme, quererme, apoyarme y aconsejarme durante la última etapa de mi carrera, a mis amigos de la carrera José Pablo de León, Erick Daniel Aquino, Gustavo Solorzano y Rodrigo Franco por siempre apoyarnos durante toda la carrera, a mi profesor Ingeniero Christopher Antonio Chiroy Miranda por guiarme durante este periodo, al departamento de Mecatrónica por darnos la oportunidad y brindarme el apoyo incondicional durante todo este período, a Cementos Progreso por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de graduación y a la Universidad del Valle de Guatemala por la oportunidad de estudiar y adquirir todos los conocimientos recibidos.

Prefacio	III
Lista de figuras	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1. Hayat Kimya	2
2.2. Bem Brasil	2
2.3. SAM Outillage	3
3. Justificación	4
4. Objetivos	5
4.1. Objetivo general	5
4.2. Objetivos específicos	5
5. Alcance	7
6. Marco teórico	8
6.1. Gestión de almacenamiento	8
6.2. Principio del almacenaje	9
6.2.1. Maximizar el espacio	9
6.2.2. Fácil acceso a las existencias	9
6.2.3. Minimizar la manutención del producto	10
6.2.4. Fácil control de las existencias	10
6.3. Tipos de almacenes	10
6.3.1. Según las necesidades de la empresa	11
6.3.2. En función de la organización de la empresa	11
6.3.3. En función de las características del almacén	12

6.4. Almacenes automatizados	12
6.5. Tipos de bodegas automatizadas	13
6.6. Sistema de gestión de almacenes	15
6.6.1. Funciones de entrada	16
6.6.2. Función de ubicación	17
6.6.3. Funciones de control del <i>stock</i>	18
6.6.4. Funciones de salida	18
6.6.5. Otras funciones	19
6.7. Base de datos	20
6.7.1. Base de datos SQL	20
6.7.2. Base de datos NoSQL	21
7. Diseño de estanterías	22
7.1. Toma de mediciones para diseño estanterías	22
7.2. Diseño de estanterías en software	23
7.2.1. Validaciones de mediciones	23
7.3. Fabricación de estanterías	27
8. Selección de hardware para el sistema del transelevador	30
8.1. Selección de microcontrolador	30
8.2. Selección de componentes para comunicación inalámbrica	31
9. Desarrollo de algoritmo comunicación inalámbrica para transelevador automatizado	33
9.1. Algoritmo Maestro y esclavo	33
9.1.1. Código Maestro	33
9.1.2. Código Esclavo	36
10. Implementación de base de datos e interfaz gráfica en el transelevador automatizado	39
10.1. Base de datos	39
10.2. Interfaz gráfica	40
10.2.1. Pantalla ingreso al sistema	40
10.2.2. Pantalla registro de datos	41
10.2.3. Pantalla actualizar datos	41
10.2.4. Pantalla eliminar datos	42
10.2.5. Pantalla enviar datos	43
10.2.6. Pantalla consultar datos	43
11. Resultados finales	45
11.1. Pruebas realizadas para la validación del prototipo	45
11.1.1. Prueba y validación de comunicación	45
11.1.2. Prueba y validación interfaz gráfica	49
11.2. Prueba de integración	50
11.3. Desarrollo de manual de usuario final	51
12. Conclusiones	52
13. Recomendaciones	53

14. Bibliografía	54
15. Anexos	55
15.1. Código maestro	55
15.2. Código esclavo	56
15.3. Interfaz gráfica	56
15.4. Manual de usuario final	57
15.5. Resultados finales	57
16. Glosario	58

Lista de figuras

1. Ejemplo de bodega en la industria [2]	9
2. Principios básicos en la industria [2]	10
3. Ejemplo de bodega para producto finales [2]	11
4. Ejemplo de bodega de alta densidad [2]	12
5. Diagrama de operaciones WMS [4]	15
6. Lectura del código de barras [4]	17
7. Ejemplo de implementación de WMS [4]	20
8. Visita a bodega Cementos Rocafuerte	22
9. Vista isométrica – Estanterías de bodega Cementos Rocafuerte	23
10. Vista superior - Distancia entre estanterías	24
11. Vista frontal - Distancia entre estanterías	24
12. Vista superior - Ancho de estantería	25
13. Vista superior - Ancho de estantería	25
14. Vista frontal - Ancho de estanterías	26
15. Vista superior - distancia entre estantería y riel	26
16. Vista frontal - Altura de estanterías	27
17. Vista frontal - largo total de estanterías	27
18. Corte de estanterías	28
19. Piezas unidas	28
20. Piezas pintadas de gris	29
21. Estanterías armadas	29
22. Arduino UNO - Microcontrolador maestro [5]	31
23. Arduino MEGA - Microcontrolador esclavo [5]	31
24. Módulo HC05 [5]	32
25. Diagrama de flujo - código Maestro	34
26. Diagrama de flujo - código Maestro	35
27. Diagrama de flujo - código Esclavo	37
28. Diagrama de flujo - código Esclavo	38
29. Pantalla de inicio a Usuario	40
30. Pantalla registro de datos	41

31. Pantalla actualizar datos	42
32. Pantalla eliminar datos	42
33. Pantalla enviar datos	43
34. Pantalla enviar datos	44
35. Prueba No1	46
36. Prueba No2	47
37. Prueba No3	48
38. Validación de interfaz gráfica	49
39. Validación de interfaz gráfica	49
40. Validación de prototipo	50
41. Validación de prototipo final	51
42. Algoritmo maestro	55
43. Algoritmo esclavo	56
44. Imágenes interfaz gráfica	56
45. Manual de usuario final	57
46. Resultados finales	57

El flujo de entradas y salidas dentro de una bodega puede conllevar una serie de pasos a seguir desde la recepción del producto, hasta la entrega de este mismo al cliente final. Este flujo de entrada y salida además de tener una serie de pasos, cuenta con tiempos que son el principal motivo de una recepción y entrega exitosa dentro de la bodega.

Este trabajo se enfoca en la implementación de un algoritmo de comunicación capaz de integrar el sistema WMS de Cementos Rocafuerte, con el montacargas automatizado diseñado y realizado por el equipo de trabajo. Con el fin de automatizar y reducir por completo las operaciones y los tiempos de acomodamiento de cargas dentro de la bodega, como los tiempos de entrega del producto final.

Para poder alcanzar esta eficiencia de tiempos, se desarrolló un algoritmo, en lenguaje Python y C, capaz de recibir la información que la base de datos le manda, procesarlo y posteriormente mandar dicha información al montacargas automatizado para que este haga las acciones necesarias para moverse de manera controlada dentro de la bodega para el acomodamiento y despacho del producto. Toda la comunicación entre la base de datos y el Montacargas automatizado se realizó mediante dos microcontroladores y una conexión Wireless mediante un módulo que fue capaz de intercomunicar estas dos unidades centrales de procesamiento.

The flow of inputs and outputs within a warehouse can lead to a series of steps to follow from the reception of the product, to its delivery to the final customer. This entry and exit flow, in addition to having a series of steps, has times that are the main reason for a successful reception and delivery within the warehouse.

This work focuses on the implementation of a communication algorithm capable of integrating the data base system of Cementos Rocafuerte, with the automated forklift designed and carried out by the work team. In order to completely automate and reduce the operations and load accommodation times inside the warehouse, such as the delivery times of the final product.

In order to achieve this time efficiency, an algorithm was developed, in Python and C language, capable of receiving the information that the database sends, processing it and later sending said information to the automated forklift so that it can take the necessary actions to move. in a controlled manner inside the warehouse for the accommodation and dispatch of the product. All communication between the database and the automated forklift was carried out through two micro-controllers and a wireless connection through a module that was capable of intercommunicating these two central processing units.

La carga y descarga de una carga dentro de una bodega debe pasar por un flujo de control para poder llegar al cliente final. Este flujo de control es una serie de pasos que cada uno cumple con una función en específico dentro del proceso y son de suma importancia que cada uno de estos se realicen con éxito ya que si no se cumplen llega a representar pérdidas de recursos, tiempo y dinero. Cada paso realiza la tarea de verificación de una parte del flujo para saber si el producto que ingresa o egresa es el correcto para posteriormente ser colocado y almacenado dentro de la bodega.

Tanto como la implementación de cada una de las partes como la verificación de la integración del software con la máquina son partes fundamentales en el flujo de la operación completa, ya que da la seguridad del funcionamiento deseado de la operación final.

Este trabajo se enfoca en desarrollar y documentar la implementación de un algoritmo capaz de unificar los datos de WMS de Cementos Rocafuerte, con el montacargas automatizado para el almacenaje y entrega de carga dentro de la bodega para eficientizar los tiempos de estos mismos.

Actualmente en 2022, en Guatemala no existe una bodega totalmente automatizada, existe una minoría que se encuentran semi automatización, pero el resto aún siguen con métodos manuales de carga y descarga de productos dentro de ella. Por lo cual no se tiene un historial o antecedentes de esta implementación. Sin embargo, existen antecedentes en países industrializados como Estados Unidos, China, Alemania, etc. Algunos ejemplos de estas implementaciones se presentaran a continuación.

2.1. Hayat Kimya

Esta bodega automatizada es una de las bodegas más grande de Europa, más específico en Turquía. El almacén del fabricante líder en el mercado euroasiático de productos de higiene y limpieza mide 120 metros de largo, 105 de ancho y 46 de alto [\[1\]](#).

Esta bodega automatizada, está conformada por estanterías que conforman la estructura que sostiene el edificio. Este tipo de construcciones tienen la ventaja de ser más económicas y ofrecer una mayor capacidad de almacenaje. Además, al erigirse en una zona con una elevada actividad sísmica, hubo que reforzar especialmente la estructura, para lo que se utilizaron 10.000 toneladas de acero. Con espacio para albergar 161.000 tarimas, la empresa ha centralizado su elevado volumen de pedidos en un único almacén completamente robotizado en el que 15 transelevadores mueven una media de 6.500 tarimas de entrada y 7.000 tarimas de salida.

2.2. Bem Brasil

Este tipo de bodega automatizada, está automatizada mediante Pallet Shuttle para gestionar 100.000 toneladas de patata congelada. Ya que Bem Brasil, fabricante de patata

prefrita congelada, porque utiliza un transelevador (similar a una grúa) lleva un carro motorizado hasta el principio del canal de la estantería. El carro, de manera automática, se introduce en su interior y extrae o deposita las tarimas. El almacén de Bem Brasil, que utiliza este sistema, aloja más de 33.000 tarimas con las materias primas empleadas en los procesos de producción y con productos terminados listos para la expedición.

También cuenta con tres pasillos de 143 metros de longitud con un bloque de estanterías de 25 m de altura. Al gestionar alimentos congelados, la instalación también es una cámara de congelación y trabaja a una temperatura constante de -30°C . Como explica João Emílio Rocheto, director presidente de Bem Brasil, el sistema Pallet Shuttle es ideal para reducir el consumo de energía necesaria para generar frío [1].

2.3. SAM Outillage

Este tipo de bodega es automatizado para cajas que incrementan en un 25 por ciento la productividad. Esta implementado en Francia, ya que SAM Outillage transformó su almacén de Saint-Etienne por completo, pasando de un almacén saturado y desactualizado a aprovechar cada milímetro y multiplicar su rendimiento. Los almacenes automáticos de los ejemplos anteriores movían mercancía paletizada. En este caso, se trata de un almacén automático para piezas pequeñas, organizadas en cajas [1].

Este almacén automatizado para cajas está formado por tres pasillos de 40 metros de longitud con estanterías de doble profundidad. Las cajas se recogen y depositan en las estanterías gracias a transelevadores miniload (similares a las tarimas, pero de menor tamaño). Gracias a esta configuración, se pueden almacenar hasta 20.000 cajas, por lo que es una solución perfecta para compactar el stock. Prueba de ello es que ahora SAM almacena el 80 por ciento de sus referencias en el almacén automático para cajas. Además, la agilidad que otorga la automatización ha permitido a la compañía experimentar un crecimiento del 25 por ciento en la productividad de todas las operativas, pudiendo entregar sus pedidos en tan solo 24 horas.

En la industria desde hace muchos años, existen almacenes (bodegas) en las cuales su principal función es la de acumulación de mercancías durante un período de tiempo. Por su parte, el manejo de las mercancías comprende todas las actividades de carga y descarga, el traslado de los productos a las diferentes zonas del almacén y la preparación de los pedidos [2]. El inventario de todo un almacén se encuentra comprendido dentro de una base de datos, la cual cada minuto es actualizada por cada pedido nuevo que se realiza, por cada entrega realizada y por cada entrada nueva de mercadería. Pero en la actualidad, los tiempos de entrega con un montacarga convencional se han vuelto muy largos y tediosos para el cliente final, que llega a ser un punto de dolor para las empresas que lo utilizan.

Por lo cual a través del proyecto se plantea darle una solución a estos tiempos de entrega y así poder aliviar este punto de dolor de las empresas que en cierto punto llega a representarles pérdida de tiempo y clientes potenciales. Esto se hará posible con la implementación de un algoritmo capaz de procesar y tomar toda la data de inventario almacenada en WMS, para poder ser analizada y luego de ser analizarla pasar esta información a la interfaz de la máquina (montacargas) para que posteriormente esta realiza la entrega del producto en un tiempo menor a la que se tomaría un montacargas convencional. Esto con el fin de automatizar la bodega para lograr tiempos de entrega más eficientes.

4.1. Objetivo general

Desarrollar un algoritmo capaz de comunicar e integrar la data de la base de datos de Cementos Rocafuerte mediante dos microcontroladores integrados en transelevador, para que este sea capaz de almacenar y ordenar el inventario dentro de las bodegas de Cementos Rocafuerte

4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar código en lenguaje C++ que contega el algoritmo y los parámetros de comunicación entre el transelevador y la base de datos.
- Desarrollar e implementar una interfaz gráfica encargada de comunicar la base de datos con el transelevador
- Implementar la comunicación mediante wireless entre la interfaz gráfica y transelevador
- Cotizar componentes necesarios para la implementación de interfaz gráfica al transelevador
- Validar el algoritmo desarrollado en la parte de la comunicación, máquina y base de datos mediante la creación de un prototipo.
- Validar cada uno de los microcontroladores y componentes wireless seleccionados mediante pruebas de comunicación dentro del prototipo.
- Conectar la interfaz gráfica con el transelevador, para que esta envíe datos al movimiento horizontal, vertical y recolector de pallets, posteriormente estos movimientos harán la función de acomodamiento y entrega de producto dentro de la bodega.

- Desarrollar un manual de usuario para que el operario encargado sea capaz de consultar la forma de operar el transelevador

En este trabajo pretende integrar la base de datos de Cementos Rocafuerte, al montacargas automatizado diseñado por el grupo de trabajo, para poder automatizar la bodega de Cementos Rocafuerte con el objetivo de eficientizar los tiempos de carga, acomodamiento y descarga de los productos dentro de la bodega. Además, se busca implementar una solución que sea rentable y escalable para cualquier tipo de bodega. Para mejorar los tiempos dentro de esta.

Para la realización de la unión de la base de datos con el montacargas automatizado, se desarrolló una interfaz gráfica la cual tenía la función de mandar datos al montacargas y este posteriormente moverse a la posición deseada donde se encuentra el producto a despachar o almacenar. Se planeó que después de desarrollar el prototipo, se empezaría a realizar a una escala real. Lo cual conllevaría el cambio de programar en lenguajes de programación como Python, C etc. Se tendría que programar en lenguaje STL o Assembler para utilizar PLC.

6.1. Gestión de almacenamiento

Primero que todo, es importante definir que es un almacén o una bodega de almacenamiento, según [2] el almacén es un espacio delimitado que puede ser abierto, al aire libre (una campa), o cubierto, sin paredes, con alguna pared o totalmente cerrado con el fin de recibir, almacenar, custodiar, proteger, controlar, manipular, reacondicionar y expedir productos, ya sean materias primas, productos semielaborados o terminados.

Dicho lo anterior, el almacenaje de materia prima es una necesidad primordial que las empresas industriales, comerciales o de servicio es de suma importancia. Es una actividad, que estas organizaciones necesitan compensar los desequilibrios entre la oferta y la demanda de productos. Normalmente, estas no coinciden en cantidad y tiempo, ya sea por la demora en su despacho, producción o entrega para el cliente final. De esta manera, el almacenamiento constituye un recurso primordial para las empresas y para equilibrar las compras y las ventas mediante la regulación de los flujos de adquisiciones de materias primas y las entregas de dicha materia a los clientes finales en el menor tiempo posible.

En la actualidad, las empresas para poder competir entre ellas y así sobrevivir intentan que los costos de almacenamiento sean menores que el gasto que habría que repercutir en el precio del material o producto si la bodega no existiera. También buscan que el cliente este satisfecho con el producto y con la forma de entrega del producto, por lo que las empresas buscan que los tiempos de entregan sean los menores posibles. Por último, para conseguir costos reducidos en un producto se suele buscar la mejor relación calidad-precio en los suministros. Pero para alcanzar un equilibrio positivo, también hay que tener siempre presente el costo del almacenaje [2]. En la imagen siguiente se muestra un ejemplo de una bodega utilizada para almacenaje y logística de distribución de materia prima para el cliente final.



Figura 1: Ejemplo de bodega en la industria [2]

6.2. Principio del almacenaje

En el almacenamiento de materias primas, se deben de seguir unos principios básicos que han de estar alineados con los objetivos globales de la empresa y especialmente, con sus procesos logísticos. Algunos principios son los siguientes:

6.2.1. Maximizar el espacio

El precio de mantener almacenado la materia prima regularmente es elevado, por lo que las empresas buscan aprovechar al máximo el espacio con el que cuentan. Por lo cual el objetivo principal es almacenar la mayor cantidad de mercancía en el mínimo espacio posible, buscando el equilibrio entre las necesidades del mercado, el tiempo de entrega y la calidad del servicio.

6.2.2. Fácil acceso a las existencias

El principal objetivo es poder acceder a la materia prima almacenada de una manera directa y eficiente, de modo que, al momento de entregar el producto final al cliente, esto se haga en el menor tiempo posible. También facilitar el acceso a las existencias reduce los tiempos de entrada y salida, así como los de preparación de pedidos, y evita accidentes que puedan afectar a los operarios y clientes. Como resultado de ello, aumenta la productividad global en la empresa y con esto aumentar las ganancias.

6.2.3. Minimizar la manutención del producto

El principal objetivo es poder garantizar la accesibilidad de la materia prima. Al limitar los movimientos al mínimo se reduce la posibilidad de accidentes y el deterioro del producto.

6.2.4. Fácil control de las existencias

El principal objetivo es evitar errores en el servicio, pérdidas de tiempo en la entrega del producto y llevar un mejor control de productos caducados, faltantes o con exceso dentro de la bodega. Esto con el fin de disminuir lo máximo posible el costo de almacenaje.

La siguiente imagen engloba y muestra los principios básicos antes mencionados



Figura 2: Principios básicos en la industria [2]

Cabe recalcar que es indispensable recordar que el objetivo de la logística empresarial es suministrar al cliente lo que demanda, cuando lo necesita y donde lo requiere, añadiendo valor a la entrega y optimizando de manera global el nivel de costos e inversiones.

6.3. Tipos de almacenes

Dependiendo de la naturaleza de la materia prima, así es el tipo de bodega a implementar. Algunos tipos de bodega son los siguientes:

6.3.1. Según las necesidades de la empresa

- Materias primas: este tipo de bodegas están enfocadas en las necesidades y características de los productos base que se utiliza para producir otros artículos diferentes. Son implementados en empresas productoras o fabricantes.
- Materiales consumibles: este tipo de bodegas están enfocadas para productos auxiliares del producto final o para materiales de uso diario. Todas las empresas y organizaciones como de embalaje.
- Productos finales: este tipo de bodegas están enfocadas para productos preparados para su entrega al cliente final. Son utilizadas para empresas productoras, distribuidoras, de operación y de comercio.



Figura 3: Ejemplo de bodega para producto finales [2]

6.3.2. En función de la organización de la empresa

- De servicio: este tipo de bodega están dedicadas a albergar el producto mínimo necesario para un espacio corto de tiempo. Por ejemplo, las bodegas de los restaurantes y de los productos semielaborados.
- De depósito: este tipo de bodega están dedicadas a albergar mercancías de empresas que no cuentan con el espacio necesario para albergar su propio producto.
- Reguladores y de distribución: este tipo de bodega están dedicadas a albergar productos para el consumidor final, que su tasa de rotación es elevada.
- Logístico: este tipo de bodegas están dedicadas a albergar productos con una tasa alta de rotación de diferentes tipos. Este tipo de bodega tiene que ser capaz de disponer varias funciones de almacenaje.

6.3.3. En función de las características del almacén

- Convencional: este tipo de bodega tiene la característica de tener una altura de 6-7 m, donde se utilizan monta cargas para el almacenaje, carga y descarga del producto en estanterías.
- De alta densidad: este tipo de bodega tiene la característica de tener una altura de 10-15 m, donde se utilizan monta cargas, sistemas semiautomáticos para el almacenaje, carga y descarga del producto en las estanterías.
- Automático: este tipo de bodega tiene la característica de tener una altura de 20 m, donde se utilizan transelevadores y sistemas automatizados para el almacenaje, carga y descarga del producto en las estanterías



Figura 4: Ejemplo de bodega de alta densidad [2]

6.4. Almacenes automatizados

Primero que todo es importante definir que es un almacén o una bodega automatizada, según [3] Un almacén automático es una instalación logística donde máquinas y sistemas automáticos se encargan de llevar a cabo operaciones como la recepción de mercancías, el almacenaje, la preparación de pedidos o las expediciones con agilidad y seguridad.

Las características de estas bodegas automatizadas es que se componen de racks donde se almacenan los productos y equipos de mantenimiento automáticos: principalmente, transelevadores, encargados de ubicar y extraer las unidades de carga de los racks, y transportadores, que comunican las entradas y salidas con cada pasillo de los racks. Además, en cualquier tipo de almacén automático, ya sea de tarimas o de cajas, es indispensable contar con un sistema de gestión de almacenes que gestione y dirija todas las operativas. Este software tiene la función de planificar los movimientos y organizar la mercancía de una forma lógica buscando un mayor rendimiento.

6.5. Tipos de bodegas automatizadas

Cuando se tiene que abastecer continuamente áreas de producción o de picking, automatizar estos procesos es un factor decisivo para muchas empresas, sobre todo en aquellas donde se mueven un gran volumen de productos. Por lo mismo, actualmente existen varios tipos de bodegas automatizadas en el mercado tomando en cuenta unos criterios [3].

- Según su edificación: este criterio nos dice que una bodega automatizada se puede emplear o instalar en el interior de una bodega ya hecha solo haciéndole unas modificaciones o construir la misma bodega para que cumpla con los requisitos de instalación de la máquina.
 - Bodega existente: este tipo de bodegas es un edificio que suele medir entre 13 y 15 m de altura. En su interior se instalan racks, calculadas específicamente para soportar los esfuerzos de los transelevadores. En la parte superior de los pasillos, se colocan estructuras adicionales para sujetar el carril superior de los transelevadores.
 - Bodega construida: este tipo de bodegas están formadas e implementado sus propios racks, sobre las que se apoyan la cubierta y los cerramientos laterales. A la hora de construirlos, se debe tener en cuenta factores como esfuerzo de las cargas a colocar, los esfuerzos de los equipos de mantenimiento, la fuerza del viento etc. Las dimensiones de este tipo de bodega son distintas a las demás, ya que su altura puede superar los 40 metros.
- Por tipo de mercancía: se sabe que en este tipo de bodegas se puede almacenar cualquier tipo de producto, desde un tornillo hasta perfiles. Pero comúnmente se almacenan tarimas y cajas.
 - Tarimas: este tipo de carga son las más usuales en el sector industrial, pues se emplean para mover todo tipo de artículos. Por lo cual existe una bodega automatizada para este tipo de cargas, dicha bodega está formada por racks dimensionados para dar espacio a los productos paletizados.
 - Cajas: este tipo de carga posee características similares a los de tarimas, por lo cual existen una bodega automatizada para moverlas. Las características de esta bodega es que los racks tienen una altura variable, desde los 3 m hasta alcanzar una máxima de 15 m. Los pasillos de este tipo de bodega son relativamente estrechos y la separación entre niveles es la mínima. Como resultado, se consigue una gran capacidad de almacenaje en un espacio reducido.

- Según el nivel de compactación: las bodegas de sistemas por compactación o de acceso directo se implementa según la cantidad de productos que se deben almacenar, el número de referencia y el espacio disponible. Estas bodegas tienen racks de acceso directo que suelen implementarse en compañías que gestionan múltiples referencias con pocas tarimas. Algunos ejemplos de estas tarimas son:
 - Simple profundidad: este tipo de opción es cuando el transelevador accede directamente a todos y cada uno de las tarimas en el pasillo donde opere.
 - Doble profundidad: este tipo de opción se colocan las tarimas en cada ubicación. Esto para poder alcanzar a los que estén ubicados en segundo término, se han de reubicar las tarimas de la primera posición. Gracias a esto, la capacidad de almacenaje es mayor respecto a los racks de simple profundidad. Como se leyó anteriormente, la ventaja que predomina en implementar este tipo de bodega es el echo que son capaces de alojar tarimas en canales de hasta 40 metros de profundidad, aumentando la capacidad de almacenaje.
- Por tipo de Pallet Shuttle: este tipo de bodega se encuentra en los tipos de compactación, donde es que aporta mayor volumen y aprovechamiento del espacio. Este tipo de bodega es común que se instale en un lugar con una alta rotación de productos y donde sea imprescindible aprovechar el espacio disponible. Los lugares donde puede implementarse son de dos formas:
 - Con transelevadores: es el encargado de mover las tarimas hasta cualquier canal de almacenaje y, una vez allí, un carro motorizado los traslada por el interior del canal.
 - Con lanzaderas: este tipo es cuando se instala una estructura a modo de pasarela para que una lanzadora se desplace por cada nivel.
- Por nivel de automatización: esto depende de cada una de las empresas que desean implementar, ya que va desde una bodega manual con bajo nivel de automatización hasta otros con operativas completamente automáticas. Algunos ejemplos de estas son:
 - Bodegas semiautomático: esta opción su característica es tener un carro motorizado que realiza los movimientos de la mercancía dentro de los canales de almacenaje con total autonomía, aunque requiere que un operario deposite o extraiga la mercancía en cada ubicación y tenga la capacidad de moverse entre canales cuando se precise.
 - Bodegas de automatización de la toma de decisiones: este tipo de bodegas son las que se implementa algún WMS que ayuda a dirigir y optimizar los procesos indicando a los operarios los pasos que den de seguir. Se emplea dispositivos como voice picking para potenciar la preparación de pedidos.
- Por número de transelevador por pasillo: este tipo de bodega, no importa si los racks sean de simple o doble profundidad, su objetivo es poder alcanzar un mayor número de ciclos y al mismo tiempo exija una inversión inicial.
 - Puente de transbordo: cuando el transelevador se coloca sobre una plataforma que desplace el transelevador de un pasillo a otro.
 - Giro en curva: cuando el accionamiento mecánico que realiza la maniobra de un pasillo a otro.

Estos dos tipos depende de cuando la rotación sea muy elevada o no y al volumen de almacenaje.

6.6. Sistema de gestión de almacenes

Un software de gestión de almacenamiento es una herramienta que se utiliza para controlar, coordinar y optimizar los movimientos, procesos y operativas propios de un almacén [4]. Este tipo de gestión de almacenamiento depende de cada una de las empresas, del software que utilizarán y la utilidad que se le dará, lo que condicionará el ajuste y parametrización específica del WMS. Pero aún así, hay funciones básicas que es imprescindible que realice cualquier.

- Gestión de entradas
- Gestión de la ubicación de las unidades de carga
- Gestión de control de stock
- Gestión del control de las salidas

Dicho lo anterior, en la siguiente Figura [45] se puede observar el diagrama de las funciones que tiene una gestión de información y de las operaciones básicas que debería de cubrir.

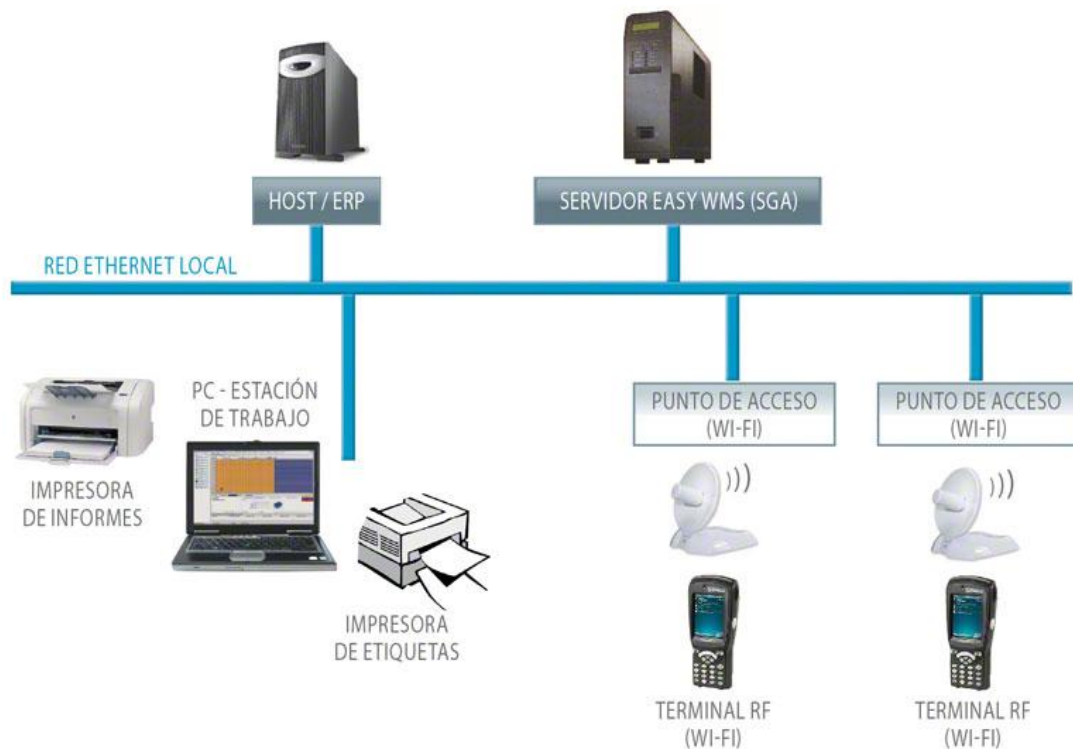


Figura 5: Diagrama de operaciones WMS [4]

Luego de observar la Figura [45], se procede a detallar cada función que tiene WMS para la gestión y manejo de inventario dentro de la industria.

6.6.1. Funciones de entrada

Dentro de la función de entrada, destacan tres operaciones gestionables que son las siguientes:

- **Recepción:** Esta operación consiste que se reciben los productos sin paletizar y estos son consolidados en distintos contenedores, a la vez que se registran sus características y atributos logísticos para, posteriormente, ser ubicados dentro del almacén.

Otra forma de recibir la mercancía es mediante contenedores en los que la mercancía llega paletizada al almacén, con lo que no se requiere su consolidación y solo es necesario realizar la validación de los atributos logísticos y las cantidades de la mercancía recibida para, después, proceder a su ubicación.

La última forma de recibir se puede dar en un almacén donde se devuelven artículos. Si bien es similar a cualquiera de las anteriores recepciones comentadas, presenta características particulares como puede ser la aplicación de estados y bloqueos de mercancía en el proceso de entrada a la instalación. Estos estados y bloqueos pueden indicar, por ejemplo, la necesidad de pasar por el control de calidad, quedar pendiente de revisión, etc. Posteriormente habrá que realizar la ubicación dentro del almacén en zonas específicas o determinadas para este tipo de mercancía.

- **Captura de datos logísticos:** Los datos tomados al momento que ingresa un nuevo cargamento van desde el lote al que pertenece la carga, su caducidad, su peso, su temperatura, el número de serie, etc. La captura de estos datos en el momento de realizar el proceso de recepción proporciona al stock una trazabilidad. Los atributos logísticos, como la identificación del lote o el número de serie, permiten conocer a posteriori qué mercancía se ha servido exactamente a cada cliente en concreto.
- **Etiqueta de contenedores y mercancía:** Esta función tiene la tarea que se implementado en la empresa debe poder generar etiquetas de código de barras para todos los contenedores y mercancías que se almacenen. Gracias a ello, todos los procesos y operativas que se lleven a cabo dentro del almacén se validarán, con exactitud, mediante la lectura de estos códigos, lo que elimina los posibles errores y confusiones que se puedan generar en la manipulación de la mercancía.



Figura 6: Lectura del código de barras⁴

Otra manera es mediante el etiquetado por códigos de cada uno de los artículos que se recepciona de manera que, más tarde, se realicen los procesos de salida con una mayor agilidad y eficiencia. Todo esto mediante un código de barras. La documentación de las recepciones permite, además, obtener informes en los que quedan reflejadas las diferencias entre la mercancía prevista y la que realmente se ha recibido, así como otras cuestiones, como pueden ser el cumplimiento de las franjas horarias de recepción.

6.6.2. Función de ubicación

Dentro de la función de ubicación, destacan tres operaciones gestionables que son las siguientes:

- La gestión de la ubicación mediante reglas y estrategias: Esta operación es la encargada de localización idónea en el almacén para una mercancía concreta. Para ello, el software tiene en cuenta parámetros como la rotación de artículos, los tipos de pallets empleados para la consolidación de la mercancía, las familias o tipos de productos que se manejan, la peligrosidad o incompatibilidad de unos productos u otros a fin de que no queden juntos o cercanos, las presentaciones de los artículos, el volumen de estos, etc.
- *Cross docking*: Esta operación se encarga de ahorrar movimientos con la carga. Si llega al almacén una mercancía de la que se debe extraer producto que formará parte de un pedido que está activo y en el que falta stock, se procede a alojarla en la zona de preparación de pedidos, directamente desde el área de recepción. Una vez que la

mercancía necesaria se ha preparado para salida, se procede a la ubicación libre dentro del almacén.

- La gestión de la reposición y la consolidación: Esta operación es la encargada de ahorrar movimientos de la mercancía dentro de la instalación. Se aplica, al igual que en el *cross-docking*, antes de proceder a la ubicación definitiva de la carga. Esta función se lleva a cabo en centros en los que se han establecido posiciones de *picking*; si en éstas queda poco producto, se ha de reponer con la mercancía que acaba de llegar, de manera que haya stock suficiente para la realización de los pedidos. Posteriormente, se procede a la ubicación de la carga que sobre de esta operación.

6.6.3. Funciones de control del *stock*

En la gestión de la mercancía almacenada, el sistema debe ser capaz de proporcionar información completa y útil sobre el *stock*. Para ello, están las siguientes operaciones:

- Visualización del mapa del almacén: Esta operación es la encargada de acceder mediante una pantalla, a una representación gráfica de la instalación en la que se detallan cada una de las ubicaciones y su composición, tanto en lo que respecta al contenedor, como a la propia mercancía.
- Gestión de ubicaciones: Esta operación es la encargada de obtener y editar la información sobre las posiciones como el tipo de ubicación, los bloqueos que tenga aplicados, sus dimensiones, sus características, las zonas de almacenaje a las que pertenece, etc. También debe poder realizar la gestión de estados del stock con el fin de consultar y modificar los datos relativos a las cuarentenas, roturas, pérdidas, bloqueos, reservas, etc
- Recuento e inventario. Esta operación es la encargada de llevar a cabo desde un inventario global de todo el almacén, a un inventario específico de un artículo, una ubicación o una zona en concreto. En el caso de que se encuentren diferencias de stock se informa de ellas automáticamente al ERP.

6.6.4. Funciones de salida

Dentro de la función de salida, destacan operaciones gestionables a través del WMS que son las siguientes:

- Gestión de la preparación de la carga: Esta operación es la encargada de gestionar la salida del producto de las instalaciones. Esta operación cubre las agrupaciones de pedidos y las asignaciones de los mismos, entre otras cuestiones. Esto permite el control sobre cómo se ejecutan los pedidos y quién se encarga de ello: la asignación de los muelles de expedición, los operarios que realizan la preparación, la manera de realizar el agrupamiento de los pedidos y la franja horaria en que se produce, etc.
- WMS: Puede gestionar a un nivel muy detallado las operaciones que se tienen que llevar a cabo, como es el caso de los procesos de *picking*. El sistema se encargará de definir

y guiar los recorridos del personal asignado a esta tarea, así como la presentación de los artículos. Una de las ventajas más importantes derivadas de la gestión del *picking* por parte del WMS es que el sistema es capaz de optimizar el proceso a fin de que éste se ejecute en el más breve tiempo posible y con el menor número de movimientos a la vez que se respetan los parámetros especificados para el pedido que han sido enviados por el ERP [4].

- Etiquetado de despachos: Esta operación es la encargada de revisar la salida del producto, mediante la identificación de los bultos de pedido.
- Documentación de los despachos: Esta operación facilita la generación de documentos tales como el *packing list* (listado de los artículos que componen el pedido) [4], la documentación para el transportista y los informes que reflejan las discrepancias que hayan encontrado.
- Carga de los despachos en los vehículos: Esta operación es la encargada de controlar la calidad del envío, de tal forma que se evitan errores tales como, por ejemplo, el despacho de un material a un cliente que no lo ha solicitado.
- Comunicación al ERP del cierre de despacho: Esta función es la encargada de realizar una comunicación mediante una interfaz entre los dos sistemas. Con esta función, se informa al gestor de recursos de la empresa de cuántas unidades y de qué referencias ha conestado la expedición, así como qué bultos se han despachado en cada una de las órdenes de salida que se han ejecutado. Con estos datos, el ERP puede gestionar los procesos administrativos con los clientes.

6.6.5. Otras funciones

Dentro de estas funciones, destacan algunas operaciones dependiendo del tipo de bodega y empresa. Pero son tres funciones que destacan que se pueden implementar en el resto de la empresa y son las siguientes:

- Gestión de los flujos de mercancía (entradas y salidas) a las líneas de producción: Gracias a esta función, se puede obtener un flujo óptimo (tanto en salidas como en entradas) a las líneas de producción o fabricación, lo que agiliza los procesos internos.
- Gestión de multi almacenes: Es la encargada de administrar varios almacenes. Gracias a esta función, una misma empresa puede gestionar todos sus almacenes de manera única y global y así se optimizan los recursos (así como los sistemas informáticos) y se facilitan los procesos de traspasos de mercancía entre las instalaciones.
- Gestión multi organización: Esta función como su nombre indica, distintas organizaciones pueden ser administradas por el mismo sistema.

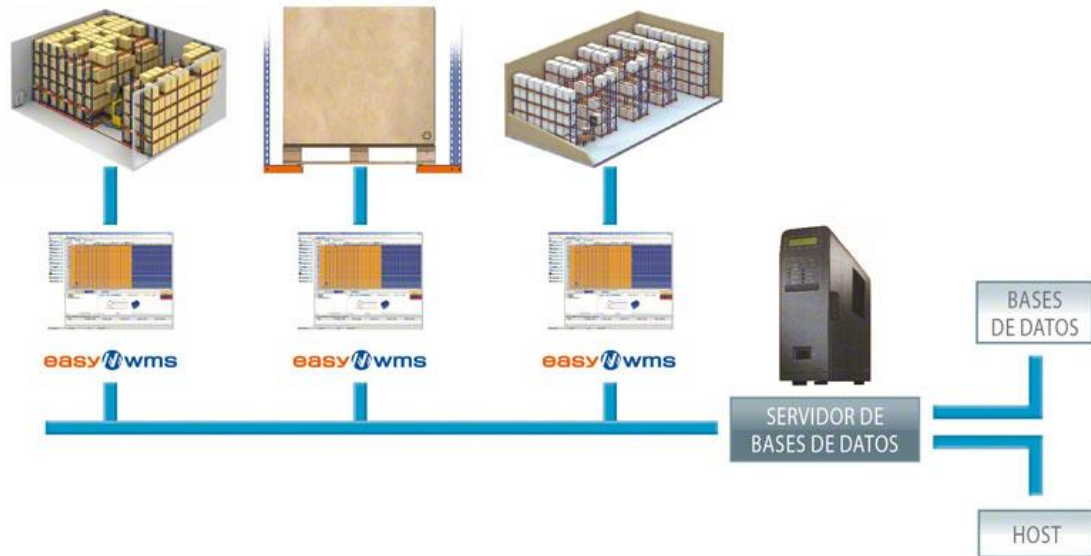


Figura 7: Ejemplo de implementación de WMS [4]

6.7. Base de datos

Una base de datos es una recopilación organizada de información o datos estructurados, que normalmente se almacena de forma electrónica en un sistema informático. Los datos de los tipos más comunes de bases de datos en funcionamiento actualmente se suelen utilizar como estructuras de filas y columnas en una serie de tablas para aumentar la eficacia del procesamiento y la consulta de datos. Así, se puede acceder, gestionar, modificar, actualizar, controlar y organizar fácilmente los datos. La mayoría de las bases de datos utilizan un lenguaje de consulta estructurada (SQL) para escribir y consultar datos.

Dentro de las bases de datos existen base de datos relacionales (SQL) y no relacionales (NoSQL). A continuación, se conocerá más sobre estos dos tipos de base de datos.

6.7.1. Base de datos SQL

Una base de datos SQL es una base de datos relacional. Esto significa que, dentro de ella sus elementos son relacionados entre sí en las diferentes tablas que existan.

Las bases de datos SQL disponen de una serie de ventajas que las han convertido en el tipo de base de datos más utilizada. Las principales son:

- Dispone de herramientas que permiten evitar la duplicidad de registros, garantizando la integridad de la referencia.
- Al momento de eliminar un registro, por se una base de datos relacional, se eliminan todos los registros relacionados dependientes del mismo

- Dispone de un sistema estándar bien definido (SQL) para las operaciones con la base de datos, como inserción, actualización o consultas. Este sistema es sencillo de comprender ya que se adapta al lenguaje común.

6.7.2. Base de datos NoSQL

Una base de datos NoSQL, es una base de datos no relacional, este tipo de base de datos no cuentan con un identificador que relacione un conjunto de datos con otro. En este tipo de BD, la información se organiza generalmente como documentos y no requiere que los datos estén estructurados para ser manipulados.

Las bases de datos NoSQL disponen de una serie de ventajas que son:

- Son base de datos versátiles que permiten agregar información o hacer cambios en el sistema sin necesidad de agregar configuraciones extras.
- Permiten guardar datos de cualquier tipo, en cualquier momento, sin requerir una verificación previa.
- Dispone de un sistema estándar bien definido (SQL) para las operaciones con la base de datos, como inserción, actualización o consultas. Este sistema es sencillo de comprender ya que se adapta al lenguaje común.

7.1. Toma de mediciones para diseño estanterías

Para poder crear y simular las estanterías en tamaño escala para la validación del prototipo, primero se realizó una visita presencial a la bodega de Cementos Rocafuerte [8](#) con el fin de poder tomar mediciones reales de cada una de la estantería, validar los espacios de la bodega y visualizar el espacio para el transelevador automatizado. Se tomaron medidas de cada una de las estanterías de alto y ancho, así como el espacio entre cada una de ellas.



Figura 8: Visita a bodega Cementos Rocafuerte

7.2. Diseño de estanterías en software

Luego de haber tomado las medidas de las estanterías para la validación del prototipo, se realizó el diseño de las estanterías a tamaño escala 1:20 de la bodega de Cementos Rocafuerte para poder simular dicha bodega completa. Todo esto se realizó en el software [Autodesk Inventor](#); y [Autodesk Fusion360](#). El modelo final se puede observar en [9](#)

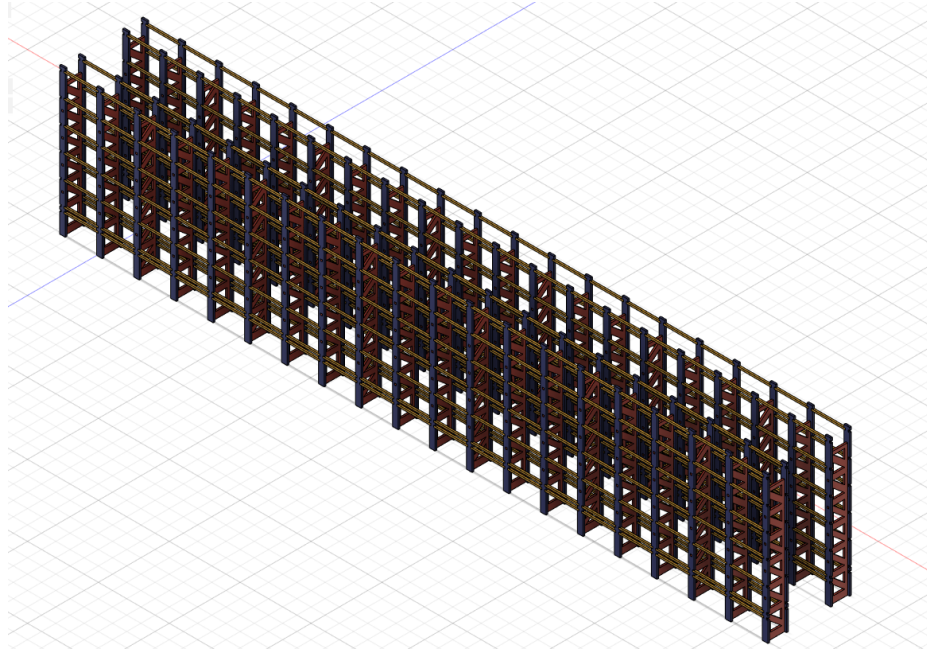


Figura 9: Vista isométrica – Estanterías de bodega Cementos Rocafuerte

7.2.1. Validaciones de mediciones

Luego de haber diseñado y simulado la bodega completa con cada una de las estanterías dentro de Fusion 360, se validó dentro del mismo software las medidas del diseño completo. Primero se validó la distancia entre cada una de las estanterías como se puede observar en las figuras [10](#) y [11](#), el ancho de una estantería [13](#) [14](#), la distancia entre la estantería y el carril del transelevador [15](#), la altura de las estanterías [16](#) y el largo total de todas las estanterías [17](#). Esto con el fin de poder visualizar que cada una de las medidas y verificar que estuvieran correctas para su fabricación y posteriormente para la validación del prototipo.

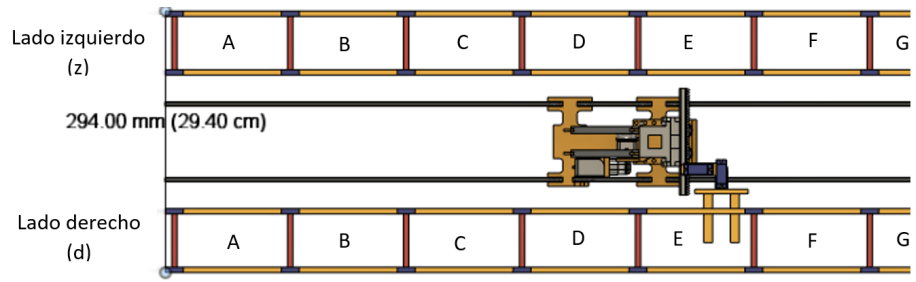


Figura 10: Vista superior - Distancia entre estanterías

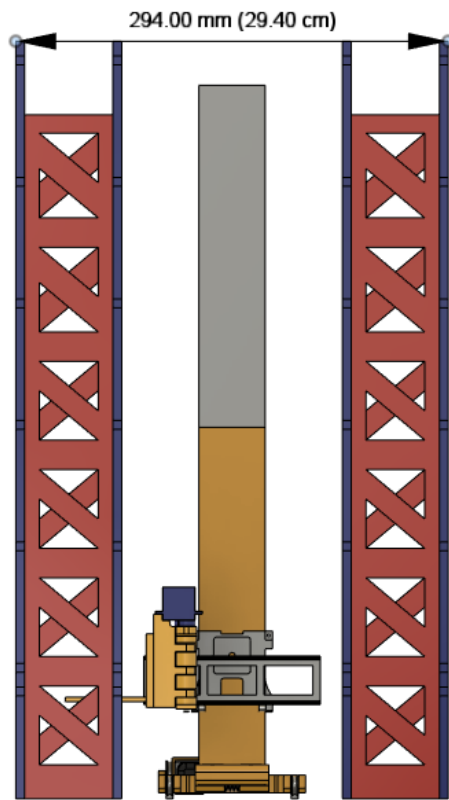


Figura 11: Vista frontal - Distancia entre estanterías

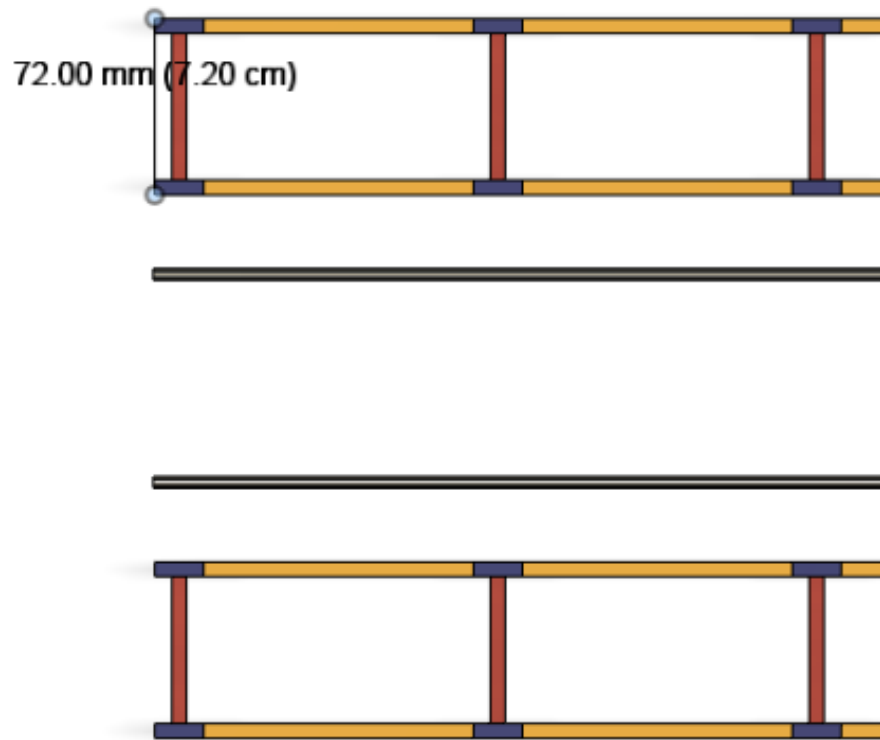


Figura 12: Vista superior - Ancho de estantería

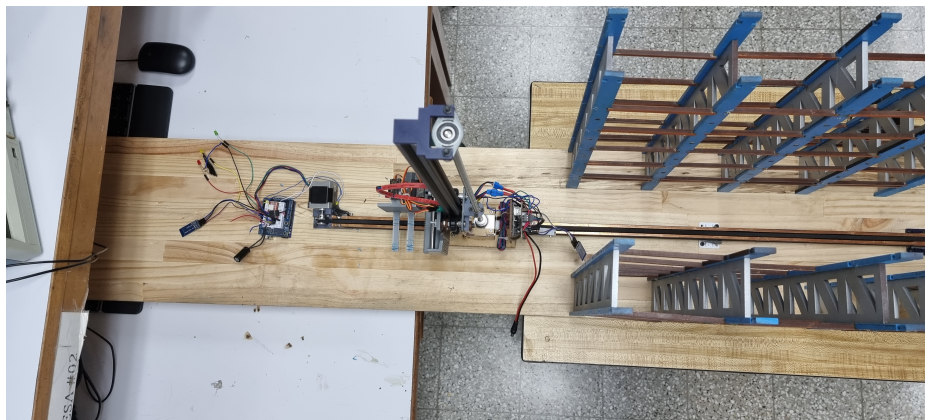


Figura 13: Vista superior - Ancho de estantería

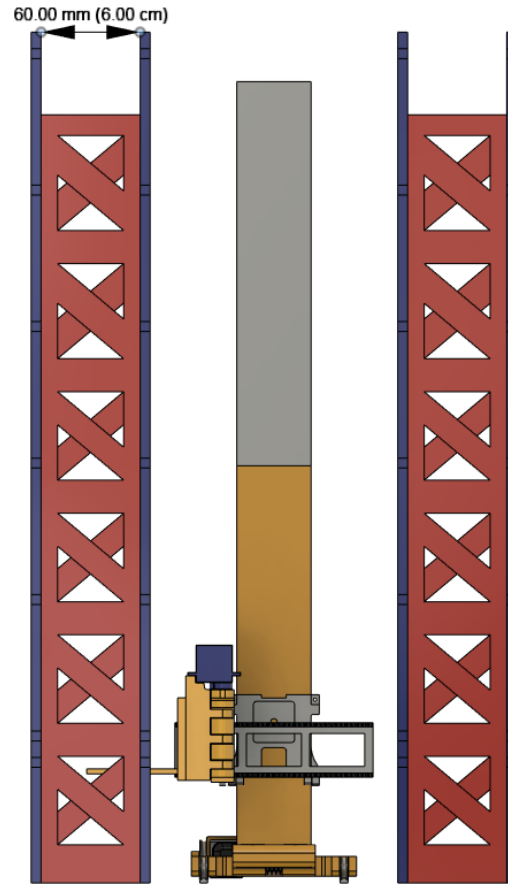


Figura 14: Vista frontal - Ancho de estanterías

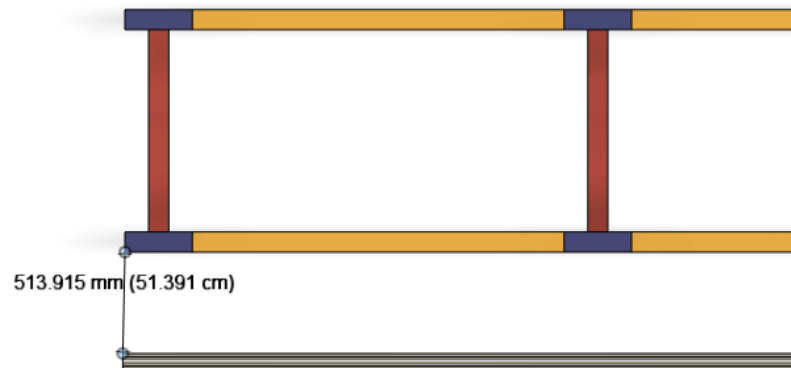


Figura 15: Vista superior - distancia entre estantería y riel

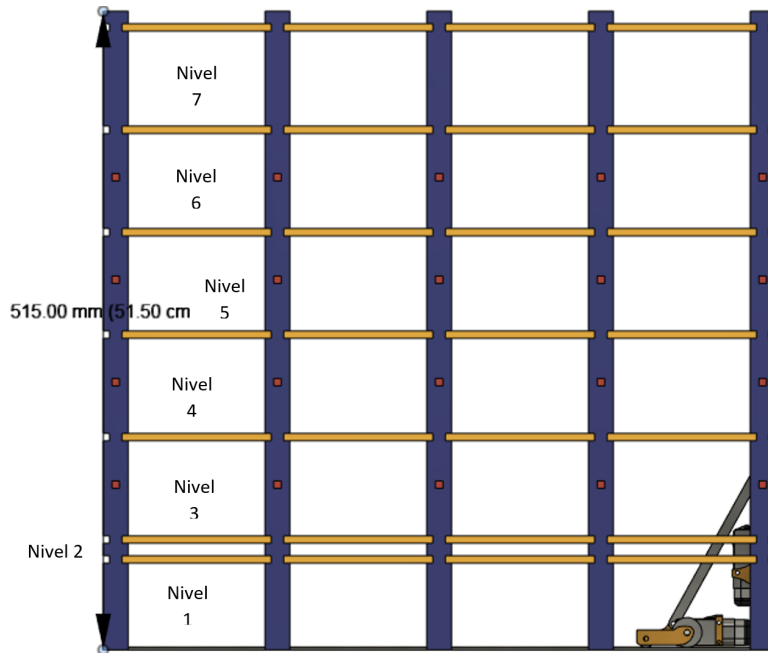


Figura 16: Vista frontal - Altura de estanterías

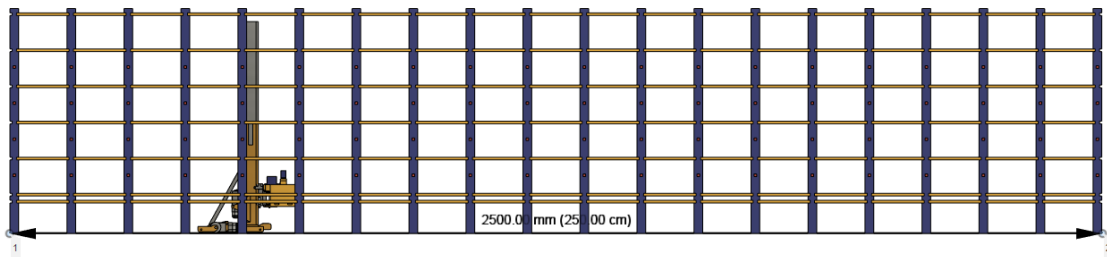


Figura 17: Vista frontal - largo total de estanterías

7.3. Fabricación de estanterías

Luego del diseño y verificación del modelo CAD, se procedió a cortar cada una de las piezas diseñadas en MDF de 3.2 mm en cortadora laser. Algunos de los cortes realizados se pueden observar en la siguiente Figura 18. Luego del



Figura 18: Corte de estanterías

Terminado de cortar cada una de las partes de las estanterías, se procedió al armado de la estantería física, para ello se pinto cada una de las partes de distintos colores como se puede observar en las siguientes figuras [19](#), [20](#) y [21](#).



Figura 19: Piezas unidas

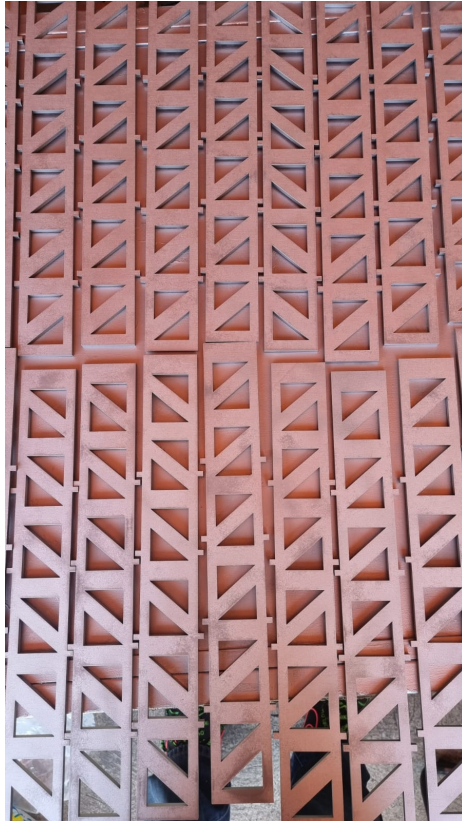


Figura 20: Piezas pintadas de gris



Figura 21: Estanterías armadas

Selección de hardware para el sistema del transelevador

Para el desarrollo de la comunicación inalámbrica del transelevador con la interfaz gráfica, se seleccionaron componentes electrónicos que cumplieran con dicha función. Para esto se seleccionaron los siguientes componentes.

8.1. Selección de microcontrolador

Para el desarrollo del algoritmo de la comunicación inalámbrica, se tomaron en cuenta varios factores para la selección adecuada de los microcontroladores. El primer factor para tomar en cuenta en la selección, fue el tamaño del prototipo antes diseñado. Ya que como se menciono antes, el prototipo se realizo a una escala 1:20. Por lo cual se tenía que escoger microcontroladores que se adaptarán a este tamaño de las piezas. Otro factor fue le hecho que un microcontrolador funcionaría como “Maestro” y este era el encargado de mandarle instrucciones al transelevador y el otro microcontrolador funcionaría como “Esclavo” y este era el encargado de poder recibir las instrucciones y ejecutarlas.

Todo esto con el fin de poder comunicar la interfaz gráfica con el transelevador. Además de esto, los microcontroladores tenían que contar con entradas y salidas analógicas y digitales para poder conectar una serie de motores los cuales eran los encargados de mover el transelevador de forma horizontal y vertical.

Tomando en cuenta las condiciones y criterios anteriores, se escogió un Arduino UNO (22) como el microcontrolador maestro, ya que este cuenta con 6 pines análogos y con 14 pines digitales. Los cuales eran suficientes para la conexión de los motores de la parte horizontal del transelevador.



Figura 22: Arduino UNO - Microcontrolador maestro [5]

Para el microcontrolador esclavo, se escogió un Arduino Mega [23] ya que este cuenta con 16 pines análogos y con 54 pines digitales. Los cuales eran suficientes para la conexión de los motores de la parte vertical del transelevador.



Figura 23: Arduino MEGA - Microcontrolador esclavo [5]

8.2. Selección de componentes para comunicación inalámbrica

Luego de haber seleccionado los microcontroladores adecuados para el desarrollo del algoritmo, se seleccionaron los componentes electrónicos para la comunicación de la interfaz gráfica y el transelevador. Para ello, primero se definió que la comunicación sería mediante bluetooth, esto debido a que es un prototipo a escala y se adecua bien a los componentes antes seleccionados.

Luego de haber definido la comunicación, se seleccionó los componentes electrónicos adecuados para poder cumplir con esta necesidad. Por lo cual se procedió a hacer una tabla comparativa de los posibles componentes. Los campos a comparar fueron, precio, accesibilidad y funcionalidad.

Módulos bluetooth			
Módulo	Precio	Funcionalidad	Accesibilidad
HC06	Q. 112.00	Esclavo	Inmediata
HC05	Q. 96.00	Maestro y esclavo	Inmediata

Módulos bluetooth			
Módulo	Precio	Funcionalidad	Accesibilidad
HC06	Q. 112.00	Esclavo	Inmediata
HC05	Q. 96.00	Maestro y esclavo	Inmediata

Con los factores anteriores, el módulo que se escogió para poder implementar la comunicación inalámbrica fue el Módulo HC05 [24] por el precio y funcionalidad de maestro y esclavo que este tiene. Se escogió un módulo HC05 en modo maestro para el microcontrolador Arduino UNO y se escogió un módulo HC05 en modo esclavo para el microcontrolador Arduino Mega.



Figura 24: Módulo HC05 [5]

Desarrollo de algoritmo comunicación inalámbrica para transelevador automatizado

9.1. Algoritmo Maestro y esclavo

Para poder alcanzar el objetivo de comunicar la interfaz gráfica con el transelevador automatizado, se desarrolló dos distintos algoritmos. Uno para el microcontrolador maestro y el segundo para el microcontrolador esclavo. Ya que la interfaz gráfica esta conectada al microcontrolador maestro y de este se envían todas las instrucciones necesarias para los movimientos del transelevador.

9.1.1. Código Maestro

Para poder desarrollar el algoritmo del microcontrolador maestro y alcanzar la comunicación hacia el otro microcontrolador, se utilizo lenguaje C++. A continuación se explica y detalla el algoritmo desarrollado.

Primero se instaló una biblioteca llamada “SoftwareSerial” que permite la comunicación en serial entre pines digitales de una placa Arduino. Esto con el propósito de poner conectar la interfaz gráfica con el microcontrolador maestro. Luego se definieron variables a utilizar dentro del algoritmo para cada uno de los pines digitales y analógicos. Por último para el protocolo de comunicación, se utiliza de referencia la Figura 10, ya que para identificar la posición de cada una de las estanterías se utilizo las letras del abecedario empezando con la A. Para las distintas alturas se utiliza numeración empezando con el 1, como se muestra en la Figura 16.

Para explicar la lógica del código se utiliza el siguiente diagrama.

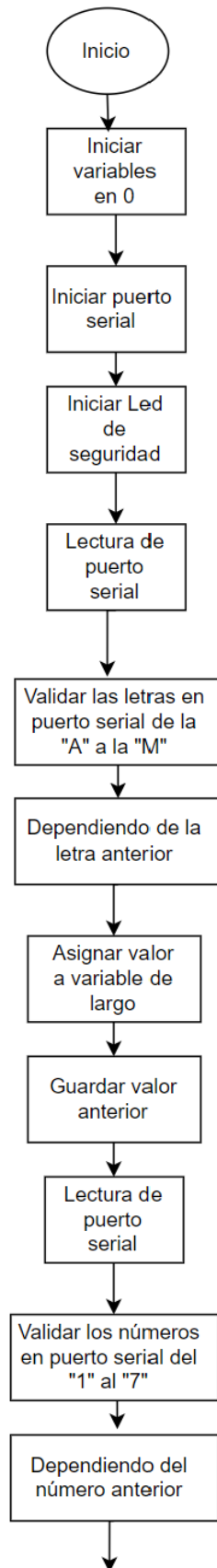


Figura 25: Diagrama de flujo - código Maestro

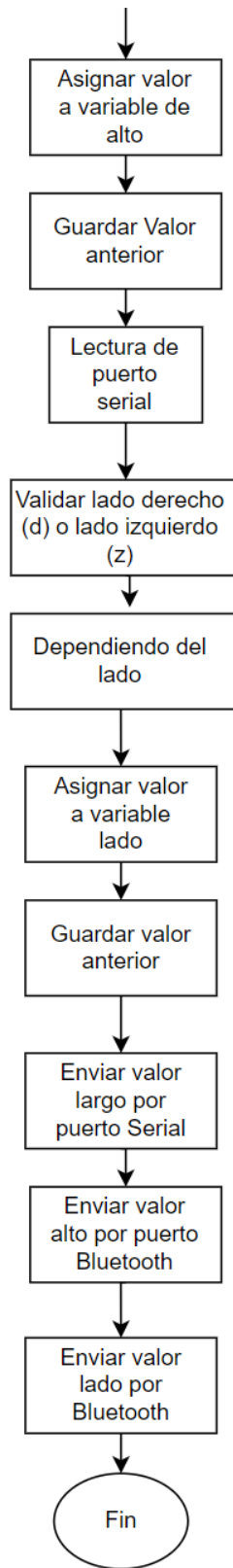


Figura 26: Diagrama de flujo - código Maestro

9.1.2. Código Esclavo

Luego de desarrollar el algoritmo del microcontrolador maestro, se desarrolló un algoritmo específico para el microcontrolador esclavo. Ya que este sería el que estuviera colocado dentro del transelevador. Al igual que el anterior, se definieron variables a utilizar dentro del este para cada uno de los pines digitales y analógicos. Estas variables su propósito eran recibir los datos enviados desde el microcontrolador maestro y almacenarlos dentro de ellas para poder utilizarlos dentro del algoritmo. Se utilizó el mismo protocolo de comunicación que se mencionó en el código del microcontrolador maestro. Para explicar la lógica del código se utiliza el siguiente diagrama.

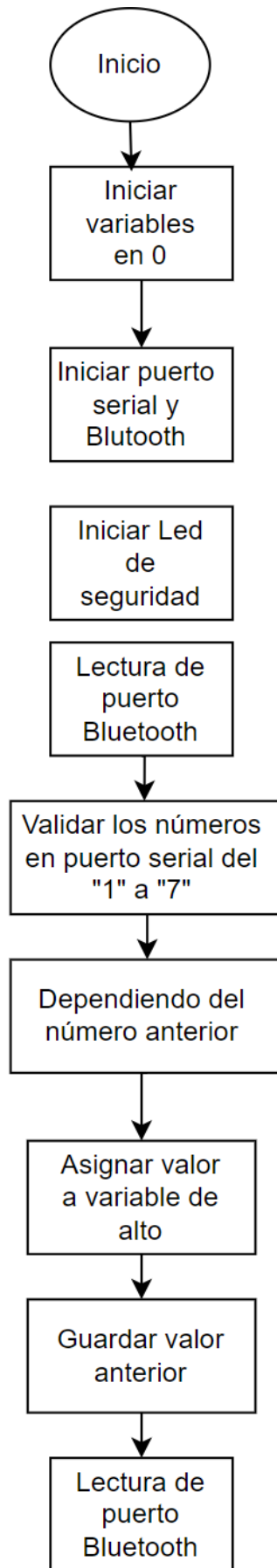


Figura 27: Diagrama de flujo - código Esclavo

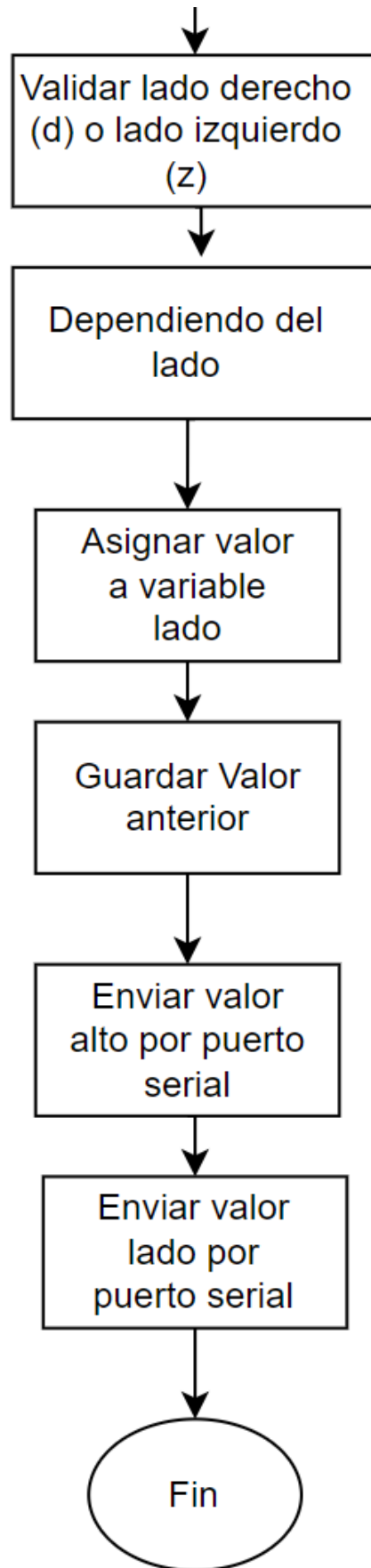


Figura 28: Diagrama de flujo - código Esclavo

Implementación de base de datos e interfaz gráfica en el transelevador automatizado

10.1. Base de datos

Para la implementación del algoritmo y para poder registrar cada uno de los materiales dentro de la bodega, se desarrollo e implemento una base de datos **SQL**. La razón por la cual se utilizo una base de datos SQL relacional y no una NoSQL, fue porque Cementos Rocafuerte es una empresa de retail, por lo cual es necesario que todos sus productos estén colocados con un identificador que relacione un conjunto de datos y productos con otros. Por esta razón se desarrolló e implemento una BD, la cual se colocaron los siguientes campos.

- Tipo: se colocará en el campo el tipo de material que ingresará a la bodega.
- Nombre: en el campo se ingresará el nombre del material que será almacenado en la bodega.
- Código: campo que servirá para llamar los diferentes productos dentro de la bodega.
- Precio: en el campo se registrará el precio del material que ingresará a la bodega.
- Columna: en el campo se indicará la columna en la que se encuentra el material ingresado en la bodega.
- Estanterías: en el campo se especificará la estantería en la que se encuentra ubicado el material ingresado en la bodega.
- Espacio: en el campo se indicará el espacio o ubicación específica donde se encuentra el material ingresado en la bodega.

La razón por la cual se colocaron estos campos dentro de la BD, fue para poder registrar el producto que ingresa a la bodega y saber la posición en que el transelevador la va a colocar para posteriormente ir a traer el mismo producto en la posición asignada.

Luego de haber implementado la BD, se realizó el desarrollo de la interfaz gráfica para poder desplegar la BD y utilizar los algoritmos de la comunicación.

10.2. Interfaz gráfica

Para poder desarrollar la interfaz gráfica, primero se tenía que saber quiénes sería los encargados de manipularla y controlar la máquina. Para ello se habló con los encargados de la bodega de cementos Rocafuerte e indicaron que las personas encargadas de manipular esto sería obreros y operadores de montacargas. Por lo cual se desarrolló una interfaz amigable e intuitiva para los operadores. Para esto se utilizó lenguaje **Python** poder desarrollarla e implementarla en el transelevador automatizado.

La interfaz gráfica consistió en 6 distintas pantallas que a continuación se detallan.

10.2.1. Pantalla ingreso al sistema

Consistía en darle la bienvenida al usuario y que este pudiese familiarizarse con la interfaz gráfica. Como se puede observar en la Figura 29 Solo se muestra el mensaje de bienvenida y las distintas pestañas que este tiene acceso. La razón por la cual se realizó de esta manera esta primera pantalla fue porque regularmente todos los sistemas tienen una pantalla en la cual le da bienvenida al usuario.

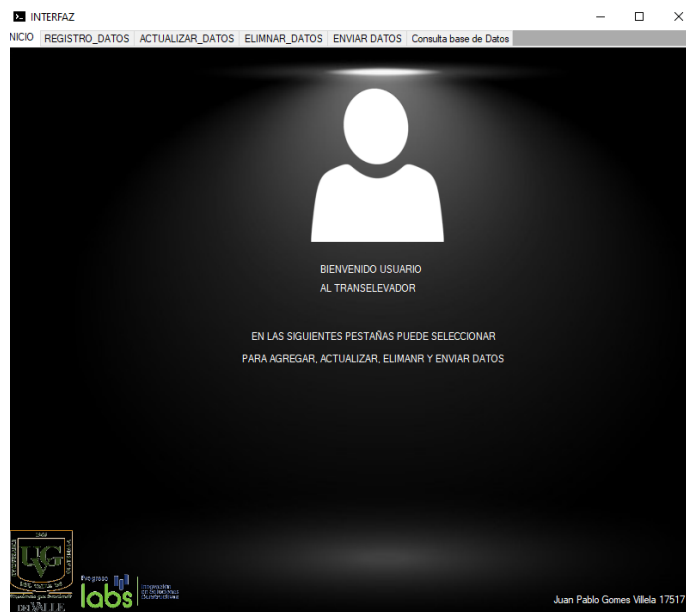


Figura 29: Pantalla de inicio a Usuario

10.2.2. Pantalla registro de datos

Consistía en que el operador pueda ingresar y seleccionar las casillas correspondientes al producto nuevo que ingresa a la bodega, como se observa en la Figura 30 dentro de esta pantalla tiene varios campos que llenar para el correcto almacenamiento del producto en la bodega. La razón por la cual se realizó de esta manera, fue porque el operario podría ingresar los datos del producto que esta ingresando a bodega y así poder actualizar y alimentar la base de datos.

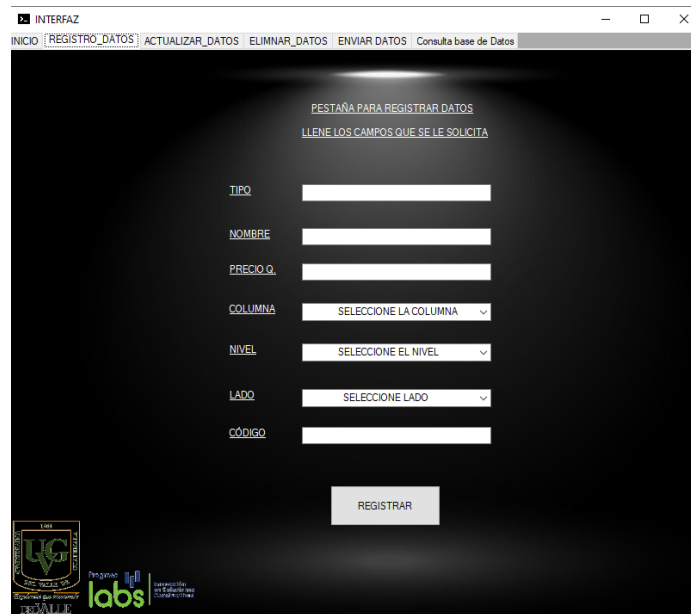


Figura 30: Pantalla registro de datos

10.2.3. Pantalla actualizar datos

Consistía en que el operador pueda ingresar y actualizar los datos de los productos que previamente fueron ingresados a la BD y a la bodega, como se observa en la Figura 31 dentro de esta pantalla tiene varios campos que llenar para la correcta actualización del producto en la bodega. La razón por la cual se realizó de esta manera fue porque el operario podría actualizar los datos previamente ingresados, por si ingreso algún valor erróneo o por si algún precio cambio.

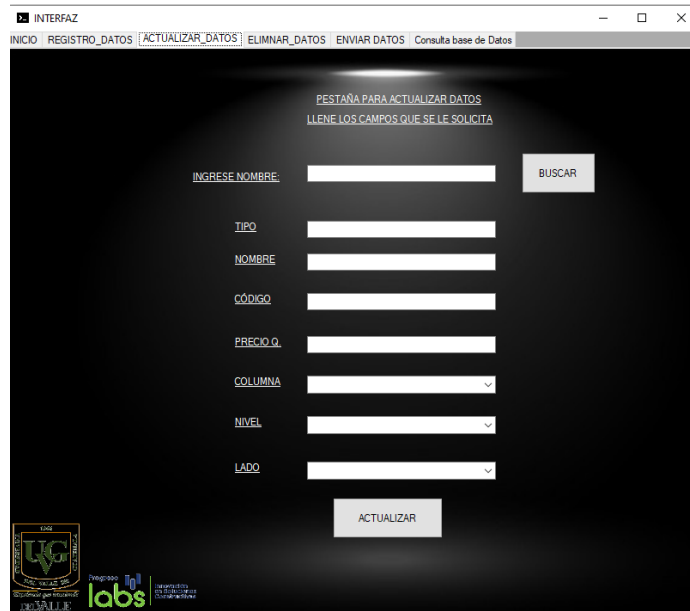


Figura 31: Pantalla actualizar datos

10.2.4. Pantalla eliminar datos

Consistía en que el operador pueda ingresar y eliminar los datos de los productos que previamente fueron ingresados a la BD y a la bodega, como se observa en la Figura 32 dentro de esta pantalla tiene varios campos que llenar para la correcta actualización del producto en la bodega. La razón por la cual se realizó de esta manera fue porque el operario podría eliminar los datos previamente ingresados, por si ingresó algún valor erróneo o por si el producto ya no existe dentro del montacargas automatizado.

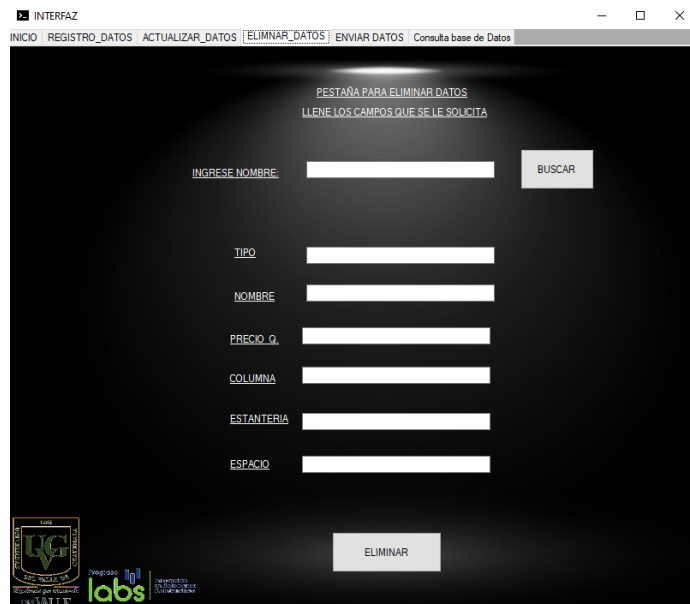


Figura 32: Pantalla eliminar datos

10.2.5. Pantalla enviar datos

Esta pantalla era la más importante dentro de la interfaz gráfica, consistía en que el operador pueda ingresar y con los datos previamente cargados buscarlos y enviarlos al transelevador para que este hiciera los movimientos respectivos para la carga y descarga del producto dentro de la bodega. Como se observa en la Figura 33 dentro de esta pantalla tiene varios campos que llenar para la correcta la búsqueda y envío de los datos. La razón por la cual se realizó de esta manera fue porque el operario podrá enviar el código de ir a traer o de ir a dejar los materiales dentro de la bodega y podrá buscar dicho código si no se recuerda cual es, solo con ingresar el nombre del material.

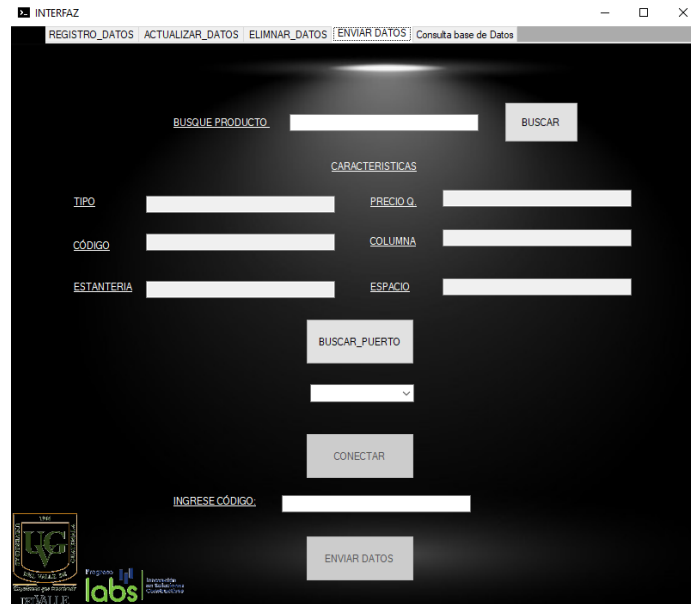


Figura 33: Pantalla enviar datos

10.2.6. Pantalla consultar datos

Esta pantalla consistía en que el operador pueda ingresar y visualizar los datos previamente cargados en la BD, como se observa en la Figura 34 dentro de la pantalla se despliega la tabla con todos los campos y los datos cargados.

TIPO	NOMBRE	CODIGO	PRECIO	COLUMNA	ESTANTERIA	ESPACIO
Piso	Piso Blanco	A3	Q.20.00	G	5	Derecha
Piso	Piso casa	A3d	Q.52.00	A	3	Derecho
Piso	Piso Blanco	A3	Q.20.00	G	5	Derecha
PISOO	PRUEBA	A3D	DSDS	A	AA	DS
Piso	Piso blanco	B4t	20.55	B	4	Izquierda
Piso	Piso prueba	D6d	50.55	D	7	Derecha (d)
Piso	dasdas	dasdas	dasdas	E	dasdas	dasdasdas
csdscsd	csdscd	cdscsd	csdscsd	F	7	csd
Piso	Piso ceramico	A3d	Q.150.20	A	5	Derecha
Piso	Piso Ceramico	D6	Q.30.00	D	6	Izquierda

Figura 34: Pantalla enviar datos

Luego de desarrollar la interfaz gráfica, se realizaron pruebas uniendo el ingreso de datos a la BD mediante la interfaz y enviándolos al transelevador para poder hacer los movimientos de carga y descarga del prototipo.

Se llevo a cabo la verificación y validación física de la comunicación inalámbrica del prototipo, de la interfaz gráfica y del manual de usuario final. Esto con los módulos que se ha trabajado en los demás capítulos, se hizo de dos distintas maneras. A continuación, se detalla cada una de las pruebas y validaciones como también los resultados de estas.

11.1. Pruebas realizadas para la validación del prototipo

11.1.1. Prueba y validación de comunicación

Para poder validar el algoritmo de la comunicación entre la interfaz gráfica y el transelevador automatizado, se mandaron datos consecutivamente para comprobar que durante un envío de datos no se perdiera ninguno y a la vez la máquina realizara correctamente cada una de las instrucciones enviadas. Para ello, se utilizó una métrica de enviar más de 50 veces la misma instrucción y que en ninguna de ellas existiera ningún error. Los puntos para validar la correcta funcionalidad de la comunicación con la interfaz gráfica y el transelevador, fueron que cada una de las instrucciones enviadas las recibiera de forma correcta y ordenada. También se tomó en cuenta que hiciera los mismos tiempos de enviar y recibir durante las 50 pruebas que se realizaron. Con estas métricas se logró tener una medición del 100 por ciento eficiencia, ya que se en cada una de las pruebas, las instrucciones se realizaron correctamente. También para mayor validez, se realizaron otras 50 corridas distintas para comprobar el funcionamiento del algoritmo.

Para poder monitorear cada uno de estos envíos se colocaron textos en cada una de las instrucciones enviadas para poder visualizar y comprobar que el envío de datos estaba siendo el correcto. Estos textos se pueden observar a continuación.

```
20:27:15.488 -> ;HOLA ME CONECTE!  
20:27:17.496 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1  
20:27:17.496 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO  
20:27:30.464 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO  
20:27:32.477 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A  
20:27:38.099 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1  
20:27:38.099 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO  
20:27:51.355 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO  
20:27:53.657 -> LLEGO A SU FINAL  
20:28:07.665 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A  
20:28:13.285 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 2  
20:28:13.285 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO  
20:28:30.570 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO  
20:28:32.772 -> LLEGO A SU FINAL  
20:28:41.769 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA B  
20:28:46.828 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 2  
20:28:46.828 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO  
20:29:03.875 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO  
20:29:05.655 -> LLEGO A SU FINAL  
20:29:14.653 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C  
20:29:20.703 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 2  
20:29:20.703 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO  
20:29:38.218 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO  
20:29:40.562 -> LLEGO A SU FINAL  
20:29:51.611 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C  
20:29:57.659 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 3  
20:29:57.659 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO  
20:30:18.587 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO  
20:30:20.320 -> LLEGO A SU FINAL  
20:31:05.371 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C  
20:31:11.420 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 4  
20:31:11.420 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO  
20:31:43.707 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO  
20:31:46.301 -> LLEGO A SU FINAL  
20:33:02.362 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA B  
20:33:07.365 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 5  
20:33:07.365 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO  
20:33:37.343 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO  
20:33:39.337 -> LLEGO A SU FINAL  
20:33:56.340 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C  
20:34:02.370 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 2  
20:34:02.511 -> ESTA ESCOGIENDO LADO IZQUIERDO  
20:34:18.076 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO  
20:34:21.304 -> LLEGO A SU FINAL  
20:35:30.389 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C
```

Autoscroll Show timestamp

Figura 35: Prueba No1

```
20:35:36.428 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 2
20:35:36.428 -> ESTA ESCOGIENDO LADO IZQUIERDO
20:35:53.334 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:35:59.649 -> LLEGO A SU FINAL
20:36:38.656 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1
20:36:39.684 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:36:40.670 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:36:46.676 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:36:52.331 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 2
20:36:52.331 -> ESTA ESCOGIENDO LADO IZQUIERDO
20:37:37.578 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:37:38.608 -> LLEGO A SU FINAL
20:37:51.615 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:37:57.253 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1
20:37:57.253 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:38:14.566 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:38:16.999 -> LLEGO A SU FINAL
20:38:20.989 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:38:26.651 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1
20:38:26.651 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:38:55.454 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:38:56.620 -> LLEGO A SU FINAL
20:39:02.591 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:39:08.255 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 2
20:39:08.255 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:39:25.843 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:39:28.369 -> LLEGO A SU FINAL
20:39:41.398 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C
20:39:47.442 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 5
20:39:47.442 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:40:18.587 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:40:21.630 -> LLEGO A SU FINAL
20:40:37.682 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:40:43.306 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 4
20:40:43.306 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:41:09.062 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:41:11.593 -> LLEGO A SU FINAL
20:41:33.647 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:41:39.269 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1
20:41:39.269 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:41:51.816 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:41:54.345 -> LLEGO A SU FINAL
20:42:13.381 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:42:18.987 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1
20:42:18.987 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
```

Autoscroll Show timestamp

Figura 36: Prueba No2

```
20:39:47.442 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 5
20:39:47.442 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:40:18.587 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:40:21.630 -> LLEGO A SU FINAL
20:40:37.682 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:40:43.306 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 4
20:40:43.306 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:41:09.062 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:41:11.593 -> LLEGO A SU FINAL
20:41:33.647 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:41:39.269 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1
20:41:39.269 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:41:51.816 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:41:54.345 -> LLEGO A SU FINAL
20:42:13.381 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:42:18.987 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1
20:42:18.987 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:42:31.577 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:42:33.866 -> LLEGO A SU FINAL
20:42:40.837 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C
20:42:46.924 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 4
20:42:46.924 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:43:12.073 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:43:14.416 -> LLEGO A SU FINAL
20:43:22.416 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C
20:43:28.456 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 3
20:43:28.456 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:43:49.444 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:43:51.782 -> LLEGO A SU FINAL
20:44:04.779 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA A
20:44:10.444 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1
20:44:10.444 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:44:23.194 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:44:25.303 -> LLEGO A SU FINAL
20:44:36.316 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C
20:44:42.334 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 4
20:44:42.334 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:45:07.706 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:45:10.009 -> LLEGO A SU FINAL
20:45:54.069 -> ESTA ESCOGIENDO ESTANTERIA C
20:46:00.122 -> ESTA ESCOGIENDO NIVEL 1
20:46:00.122 -> ESTA ESCOGIENDO LADO DERECHO
20:46:12.469 -> LA MÁQUINA ESTA DE REGRESO
20:46:14.759 -> LLEGO A SU FINAL
```

Gracias a estas pruebas realizadas, se pudo comprobar que el algoritmo de comunicación interfaz – máquina funciona correctamente y que no existe ningún error en él. Ya que, como se pudo observar en las imágenes anteriores se muestra que durante las tres distintas corridas no existe ninguna interrupción o dato erróneo. El funcionamiento de estas corridas se pueden observar la parte de anexos.

11.1.2. Prueba y validación interfaz gráfica

Para la validación de la interfaz gráfica, se comprobó mediante la retroalimentación de los operarios de la bodega. Se llevó a cabo una sesión, en la cual se le mostraba al operario la interfaz gráfica, en la cual se tomo varios criterios para poder validar la interfaz. Los criterios que se tomaron en cuenta fueron que los operarios pudieran manipular con facilidad la interfaz y que no tuvieran ningún inconveniente en ingresar y enviar los comandos. Luego de haber manipulado e interactuado con la interfaz gráfica, nos daba su retroalimentación. Gracias a esto, se pudo validar que la interfaz gráfica es intuitiva y amigable con los operarios que manipularan el transelevador automatizado.

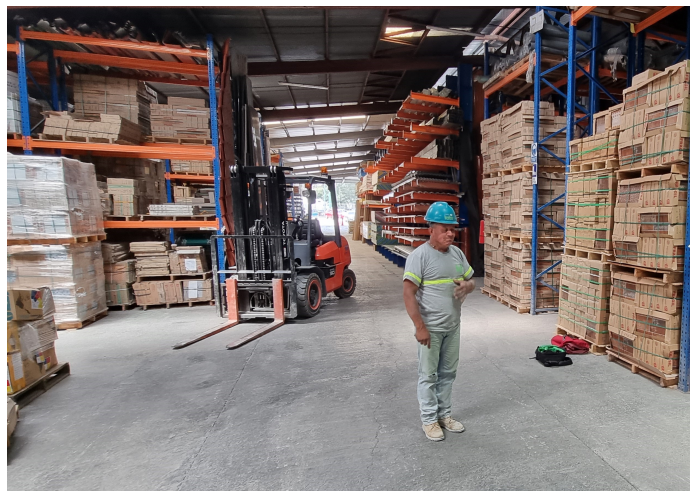


Figura 38: Validación de interfaz gráfica



Figura 39: Validación de interfaz gráfica

11.2. Prueba de integración

Como se mencionó anteriormente, se colocaron criterios para la validación de los módulos antes descritos. Pero para una validación general de la comunicación inalámbrica con el prototipo del transelevador, se realizó una presentación final con la junta directa de Grupo Rocafuerte y de Progreso Labs. En esta presentación final se les presento el funcionamiento general del prototipo así como la interfaz gráfica. Obteniendo excelentes comentarios y una aprobación del prototipo final. Por lo cual esto ayudo a tener una validación final del funcionamiento de la interfaz gráfica con el algoritmo de comunicación.



Figura 40: Validación de prototipo



Figura 41: Validación de prototipo final

11.3. Desarrollo de manual de usuario final

Luego de haber completado las fases de validaciones y resultados del prototipo de la comunicación inalámbrica entre la base de datos y el transelevador automatizado, se desarrolló un manual de usuario final. Este manual se desarrolló mediante el criterio de poder llegar a resolver la mayoría de las dudas que el operario pueda tener al momento de manipular e interactuar con la máquina. Ya que al momento de presentarles la interfaz y el prototipo en funcionamiento surgieron dudas las cuales sirvieron de base para poder desarrollar este manual. Así mismo, objetivo del manual es poder facilitar la manipulación de la máquina y que el margen de error humano se reduzca y llegue a ser nulo. El manual de usuario puede encontrarse en el área de anexos.

- La correcta implementación de la base de datos que tiene Cementos Rocafuerte, con la máquina aumenta la eficiencia de carga y descarga de productos a la bodega.
- La implementación de la máquina en las bodegas de Rocafuerte puede llegar a reducir en un noventa por ciento los errores humanos que pueden llegar a costar vidas y recursos.
- Gracias a la capacidad del algoritmo al cambiar sus parametros el diseño es adaptable y escalable a distintas bodegas.
- Gracias al desarrollar un manual de usuario final, puede llegar a evitarse complicaciones y dudas al momento de manipular el transelevador automatizado.

CAPÍTULO 13

Recomendaciones

- En la bodega que se quiera implementar el transelevador, tiene que contar con una altura homogénea para la fácil y correcta implementación de la máquina.
- Eliminar el área de *picking* en la parte inferior de las estanterías, ya que cuando se implemente el transelevador, esta área será riesgosa para los operadores cuando la máquina este en funcionamiento.
- Poder modificar el espacio entre pasillos para agregar más estanterías y optimizar el espacio.

- [1] Mecalux, “Los almacenes automatizados en 5 ejemplos,” Web page, 2021.
- [2] S. Flamarique, “Gestión de existencia,” en *Manual de gestión de almacenes*, IEEE, 2019, págs. 232-273.
- [3] Mecalux, “Tipos de almacenes automatizados: características y ventajas,” n.º 1, Web page, 2021.
- [4] mecalux, “¿Qué es un WMS?,” n.º 1, Web page, 2022.
- [5] Amazon, “Arduino UNO y MEGA,” Web page, 2022.
- [6] A. J. Marcela M., “SQL y desarrollo de aplicaciones en Oracle 8,” Book, 2016.
- [7] —, “SQL y desarrollo de aplicaciones en Oracle 8,” Book, 2016.
- [8] S. C., “Python 3: los fundamentos del lenguaje,” Book, 2016.
- [9] A. J. Marcela M., “SQL y desarrollo de aplicaciones en Oracle 8,” Book, 2016.

15.1. Código maestro



Figura 42: Algoritmo maestro

Url: <https://github.com/JuanPablogomes17517/CodigoComunicacionTranselevador/blob/main/Master30.ino>

15.2. Código esclavo



Figura 43: Algoritmo esclavo

Url: https://github.com/JuanPablogomes17517/CodigoComunicacionTranselevador/blob/main/ESCLAVO_PRUEBA30.ino

15.3. Interfaz gráfica



Figura 44: Imágenes interfaz gráfica

Url: <https://drive.google.com/drive/folders/1HQ0kc1Tk7zAQt6MJsc9AB1cZ1GKCzgen?usp=sharing>

15.4. Manual de usuario final



Manual de usuario

Figura 45: Manual de usuario final

Url: [https://drive.google.com/drive/folders/
19XWjw9VtGi-gQX2DEh79JjwMeEW0K3Qp?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/19XWjw9VtGi-gQX2DEh79JjwMeEW0K3Qp?usp=sharing)

15.5. Resultados finales



Figura 46: Resultados finales

Url: [https://drive.google.com/drive/folders/1S7-4Cjxe9_uSiREhWsNA3QAWAbVUL52x?
usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1S7-4Cjxe9_uSiREhWsNA3QAWAbVUL52x?usp=sharing)

Autodesk Fusion360: Fusion 360 es una plataforma completa de desarrollo de productos basada en la nube. Comenzamos con un objetivo claro en mente con Fusion 360: ir más allá de las categorías tradicionales de CAD, CAM, simulación y gestión de datos para crear una única herramienta colaborativa capaz de hacerlo todo.. [6] . [23]

Autodesk Inventor; Autodesk Inventor es un paquete de modelado paramétrico de sólidos en 3D producido por la empresa de software autoDesk. Compite con otros programas de diseño asistido por computadora como SolidWorks, Pro/ENGINEER, CATIA y Solid Edge. [7] . [23]

Esclavo: Este dispositivo solo responde a requerimientos enviados desde su nodo maestro y puede enviar y recibir datos solo hacia y desde su nodo maestro. **esclavo** . [30]

Maestro: Este dispositivo es el administra la comunicación inalámbrica y puede conectarse directamente hast con 7 dispositivos esclavo **maestro** . [30]

Python: Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta parcialmente la orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional.[8] . [40]

SQL: SQL es un lenguaje de dominio específico, diseñado para administrar, y recuperar información de sistemas de gestión de bases de datos relacionales. [9] . [39]