



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA

CAMPUS ZACATECAS

“Sistema robótico automatizado para depósito y extracción de bienes de un almacén”

Trabajo escrito correspondiente a la opción de titulación Curricular

Que para obtener el grado de
Ingeniero en Mecatrónica

Presentan:

C. Misael Salvador Delgado Martínez

C. Billy Jazrael Hernández Pérez

Asesores:

M. en C. Fernando Olivera Domingo

MHPE. Héctor Alejandro Acuña Cid



Febrero 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA

CAMPUS ZACATECAS

“Sistema robótico automatizado para depósito y extracción de bienes de un almacén”

Trabajo escrito correspondiente a la opción de titulación Curricular

Que para obtener el grado de Ingeniero en Mecatrónica

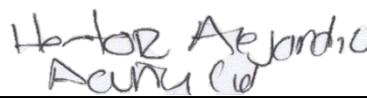
Presentan:


Misael Salvador Delgado
Martínez

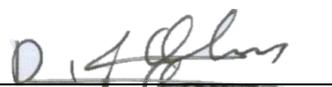

Billy Jazrael Hernández
Pérez

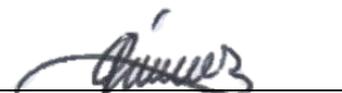
Asesores:


M. en C. Fernando Olivera
Domingo


MHPE. Hector Alejandro
Acuña Cid

Revisores:


M. en C. Omar Désiga
Orenday


Dr. Miguel Fernando Delgado
Pamanes



Febrero 2021

Folio
UPIIZ/ESA/037/2021

85 Aniversario del Instituto Politécnico Nacional
70 Aniversario del CECyT 11 "Wilfrido Massieu"
60 Aniversario de la Escuela Superior de Física y Matemáticas
50 Aniversario del CECyT 12 "José Ma. Morelos" y del CECyT 13 "Ricardo Flores Magón"

Asunto

DESIGNACIÓN
BILLY JAZZAEL HERNÁNDEZ PÉREZ
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOLETA: 2014670042
GENERACIÓN: 2013-2017

Zacatecas, Zac., a 05 de febrero de 2021

**C. BILLY JAZZAEL HERNÁNDEZ PÉREZ
PRESENTE**

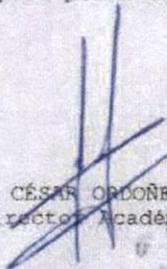
Mediante el presente se hace de su conocimiento que este Departamento acepta que el **M. en C. Fernando Olivera Domingo** y el **M. en c. Héctor Alejandro Acuña Cid**, sean **Asesores** en el tema que propone usted a desarrollar como prueba escrita de la opción de Curricular, con el título y contenido siguiente:

"Sistema robótico autorizado para depósitos y extracción de bienes de un almacén "

Se concede un plazo de máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el jurado asignado.



M. EN C. JULIA JANETH ROSALES MARES
Jefa del Departamento de Evaluación y
Seguimiento Académico



M.A.E. MARIO CÉSAR ORDÓÑEZ GUTIÉRREZ
Subdirector Académico



Folio

UPIIZ/ESA/050/2021

85 Aniversario del Instituto Politécnico Nacional
70 Aniversario del CECyT 11 "Wilfrido Massieu"
60 Aniversario de la Escuela Superior de Física y Matemáticas
50 Aniversario del CECyT 12 "José Ma. Morelos" y del CECyT 13 "Ricardo Flores Magón"

Asunto

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN
BILLY JAZZAEL HERNÁNDEZ PÉREZ
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOLETA: 201467042
GENERACIÓN: 2013-2018

Zacatecas, Zac., a 8 de febrero de 2021

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el trabajo de titulación que presenta con fines de titulación denominada:

"Sistema robótico automatizado para depósito y extracción de bienes de un almacén"

Encontramos que el citado **Trabajo de Titulación**, reúne los requisitos para **autorizar** la impresión y proceder a la presentación del Examen Profesional debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se hicieron

M. en C. Fernando Olivera Domingo

M. en C. Héctor Alejandro Acuña Cid



Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el C. Billy Jazrael Hernández Pérez y el C. Misael Salvador Delgado Martínez, estudiantes del programa de Ingeniería en Mecatrónica, con numero de boleta 2014670042 y 2014670129 respectivamente, adscritos a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Zacatecas; manifestamos ser los autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Sistema robótico automatizado para depósito y extracción de bienes de un almacén en adelante “El Trabajo de Titulación” de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales “El Trabajo de Titulación” por un periodo de un año contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a “El IPN” de su terminación.

En virtud de lo anterior, “El IPN” deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de “La Tesis o El Trabajo de Titulación”.

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de “La Tesis o El Trabajo de Titulación”, manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de “La Tesis o El Trabajo de Titulación”, por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de “La Tesis o El Trabajo de Titulación” o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Zacatecas, Zac., noviembre del 2020.

Atentamente



Billy Jazrael Hernández Pérez



Misael Salvador Delgado Martínez

Agradecimientos

Familia, amigos, profesores y personajes especiales que conocimos a lo largo de la vida, todos son seres queridos que suponen benefactores de gran importancia hacia nosotros. Es de grata satisfacción el haber contado con su mejor apoyo desde el inicio de este viaje que termina.

Este logro es en gran parte gracias a ustedes. Se concluye con éxito un proyecto que a primera vista podría parecer una tarea interminable.

Muchas gracias a aquellos seres que han brindado su calidez cuando fue necesario.

Índice

Índice de figuras	V
Índice de tablas.....	VI
Resumen.	VII
Palabras clave.	VII
Abstract.....	VIII
Keywords.....	VIII
Introducción	IX
Capítulo 1. Marco teórico.....	1
1. Antecedentes	1
1.1. Diseño de almacenes	1
1.2. Automatización de farmacias.....	1
1.3. Robótica	3
1.4. Robots cartesianos	4
1.5. Elemento final.....	5
1.6. Cinemática.....	5
Capítulo 2. Planteamiento del problema.....	7
Capítulo 3. Desarrollo del trabajo	8
3.1 Diseño conceptual.....	8
3.1.1 Sistema de almacenaje	10
3.1.2 Sistema de agarre	11
3.1.3 Sistema de traslación	14
3.1.4 Sistema seguridad.....	20
3.1.5 Sistema de control.....	21
3.1.6 Sistema informático.....	23
3.2 Parámetros de diseño	24
3.2.1 Sistema de agarre y Transmisión en eje Z.....	25
3.2.2 Sistema de transmisión en eje X.....	26
3.2.3 Sistema de transmisión eje Y	27
3.2.4 Circuito eléctrico.....	29

3.3	Análisis de materiales.....	32
3.3.1	Análisis estructura del estante.....	32
3.3.2	Análisis sistema de translación horizontal	33
Capítulo 4.	Construcción del robot y desarrollo de interfaz.....	35
4.1	Prototipo de robot cartesiano	35
4.2	Ensamble del estante	37
4.3	Ensamble de espátula	41
4.4	Interfaz Gráfica.....	44
4.3.1	Ventana de venta.....	49
4.3.2	Ventana de registro	51
4.3.3	Ventana de eliminación	54
4.3.4	Ventana de búsqueda detallada	56
Capítulo 5.	Análisis y validación de resultados	57
Capítulo 6.	Conclusiones y resultados.....	58
Capítulo 7.	Trabajo a futuro	59
Costos.....		60
Fuentes de consulta		61
Anexos.....		64

Índice de figuras

Figura 1.1. Sistema Stocklight [3].	2
Figura 1.2. Sistema MACH 4 [3].	2
Figura 1.3. Sistema de KLS [4].	3
Figura 1.4. Aplicaciones de Robot Cartesiano más comunes [8].	4
Figura 3.1. Diseño conceptual de estructura.	9
Figura 3.2. Contenedores a comprar.	11
Figura 3.3. Estante metálico.	11
Figura 3.4. Pinza [14].	12
Figura 3.5 Ejemplo de sujeción con electroimán [14].	12
Figura 3.6. Sistema de agarre	13
Figura 3.7. Gráfico de distancias a recorrer.	14
Figura 3.8. Guía lineal v-slot [15].	16
Figura 3.9. Eje lineal de varilla circular [16].	17
Figura 3.10. Transmisión por cadena [17].	17
Figura 3.11 Transmisión por correa dentada [15].	18
Figura 3.12. Tornillo sin fin de 4 hilos [18].	18
Figura 3.13. Motor de dc [19].	19
Figura 3.14. Motor a pasos Nema 17 [15].	19
Figura 3.15. Láminas de policarbonato [20].	21
Figura 3.16. Arduino Uno [21].	22
Figura 3.17. Launchpad MSP430 TI [22].	22
Figura 3.18. Diagrama entidad – relación extendido (EER) de la BD.	23
Figura 3.19. Sistema Automatizado de almacenamiento.	24
Figura 3.20. Sistema Automatizado de almacenamiento.	25
Figura 3.21. Modelo CAD sistema de agarre.	26
Figura 3.22. Sistema de transmisión eje X.	26
Figura 3.23. Carro sobre perfil v-slot.	27
Figura 3.24. Sistema de transmisión eje Y.	27
Figura 3.25. Motor a pasos y soporte.	28
Figura 3.26. Carro y soporte.	28
Figura 3.27. Driver DRV8825 [23].	29
Figura 3.28. Final de carrera.	30
Figura 3.29. Esquemático de circuito eléctrico.	31
Figura 3.30. Esfuerzo de von Mises estructura del estante.	32
Figura 3.31. Desplazamiento estructura del estante.	33
Figura 3.32. Deformación unitaria guía lineal.	34
Figura 3.33. Esfuerzo de von Mises en la guía lineal.	34
Figura 4.1. Prototipo del robot.	35

Figura 4.2. Pruebas de movimiento.....	36
Figura 4.3. Estante y bandejas.....	37
Figura 4.4. Refuerzo de acero.....	38
Figura 4.5. Sección soldada A.....	39
Figura 4.6. Sección soldada B.....	39
Figura 4.7. Empaque para fina del carrera.....	40
Figura 4.8. Estructura terminada.....	40
Figura 4.9. Abrazadera de motor.....	41
Figura 4.10. Abrazadera de rodamiento.....	42
Figura 4.11. Base de espátula.....	42
Figura 4.12. Sistema de agarre terminado.....	43
Figura 4.13. Prototipo final.....	43
Figura 4.14. Diagrama UML de casos de uso.....	44
Figura 4.15. Diagrama de secuencia de venta.....	45
Figura 4.16. Diagrama de secuencia de registro.....	46
Figura 4.17. Diagrama de secuencia de eliminación.....	47
Figura 4.18. Diagrama de secuencia de búsqueda detallada.....	48
Figura 4.19. Pantalla de venta.....	49
Figura 4.20. Prueba de venta con mensaje de diálogo.....	50
Figura 4.21. Prueba de venta al terminar.....	51
Figura 4.22. Ventana de registro.....	52
Figura 4.23. Producto añadido correctamente.....	52
Figura 4.24. Prueba de registro con error.....	53
Figura 4.25. Producto actualizado correctamente.....	53
Figura 4.26. Producto actualizado incorrectamente.....	54
Figura 4.27. Ventana de eliminación.....	54
Figura 4.28..Producto eliminado correctamente.....	55
Figura 4.29. Error al eliminar.....	55
Figura 4.30. Ventana de búsqueda detallada.....	56

Índice de tablas

Tabla 1.1 Sistemas de sujeción para robots [6].....	5
Tabla 2.1 Comparación de contenedores.....	9
Tabla 3.1 Distancia recorrida y tiempo.....	51
Tabla 4.1 Costo de materiales.....	53

Resumen.

Diversos entornos como lo son las farmacias, refaccionarias, tiendas de electrónica y en general, aquellos establecimientos en los que el encargado es quien tiene que buscar el producto solicitado, suelen tener un tiempo de espera prolongado, esto es, desde que se entra hasta el momento en el cual se obtiene el producto. Muchas veces debido a mala organización o personal no familiarizado con los productos, generando así descontentos e incluso pérdida de clientes. La construcción de un sistema robótico automatizado para depósito y extracción de bienes de un almacén resultaría beneficiosa para ambas partes, puesto que habría ahorro de tiempos, que es el principal problema en cuestión. Para la demostración de su uso, este trabajo fue implementado en el tipo de almacén que es utilizado en farmacias, debido a la gran cantidad de mercancía que se maneja. Los bienes fueron acomodados en bandejas, dentro de un estante, y la máquina tuvo por tarea trasladar dichas bandejas a un área de acceso, en la cual el usuario puede tomar o depositar la mercancía. Se lleva un registro de entrada y salida de los productos, por lo que el inventario se mantendrá actualizado, ayudando de esta manera al encargado a detectar un posible déficit de unidades, para que así se solicite un reabastecimiento en caso de ser necesario.

Palabras clave.

Robótica, Automatización, Almacén, Robot Cartesiano, AS/RS.

Abstract.

Several environments like hardware stores, repair shops, electronic shops, and in general, all establishments where the attendant is the one who has to look for the products, have a prolonged waiting time, starting from the moment a customer enters to the store until he or she receives the good or goods. Most of the time this is due to a bad organization or unexperienced staff, carrying discontent and even loss of clients. The construction of an automated robot system for the deposit and extraction of goods in a storage would be beneficial for both parties, since there would be time savings, which is the main problem. For demonstration purposes, the system was implemented in the kind of storage that is used in pharmacies due to the great quantity of articles managed. The goods were accommodated in trays, inside of a repository and the machine carried the containers to an access area, which can be reached by the user in order to manage the commodities. It is possible to maintain a record of the products so the inventory stays updated, helping the manager to detect a lack of supplies, so they can request a restock if needed.

Keywords.

Robotics, Automation, Storage, Cartesian Robot, Products, AS/RS.

Introducción

La robótica y la automatización han ayudado a mejorar varios aspectos en la industria, puesto que, al pasar del tiempo, estas dos ramas han crecido tanto en investigación como en aplicación. Hoy en día la mayoría de las industrias cuentan con robots, los cuales mejoran la calidad de los trabajos, haciendo tareas de manera autónoma, de modo que se mejoran varios aspectos, como son la calidad, la velocidad de producción, el volumen de producción, etcétera [1].

Uno de los propósitos contemplados es que este sistema de almacenaje automático sea una herramienta para hacer más eficiente los tiempos de operación en las tareas realizadas a la hora de gestionar un almacén.

Por lo tanto, para este trabajo se diseñó y construyó un robot de tipo cartesiano para ser implementado en un estante con contenedores donde se guardan los bienes, teniendo por finalidad la automatización de la búsqueda y traslado de los elementos almacenados.

Esta máquina es una herramienta útil para llevar un inventario más detallado de mercancía, en concreto para mejorar el servicio en una farmacia, ayudando a las personas que atienden a reducir el tiempo de búsqueda de los medicamentos, además de mantener organizado el almacén.

Se usa un robot de tipo cartesiano debido a que su configuración se ajusta en gran medida a la necesidad del problema, ya que puede abarcar una gran área, además de ser rápido y preciso.

Objetivos Generales

Diseñar y construir un sistema de almacenaje, con forma de estante, automatizado por medio de un robot cartesiano, con un mínimo de tres grados de libertad para el traslado de contenedores de almacenaje y un sistema de gestión para mantener un inventario actualizado.

Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema de almacenaje automatizado para reducir tiempos de búsqueda o ingreso de un elemento de un estante; para esta gestión de entrada y salida de bienes se desarrollará una interfaz hombre máquina.
- Desarrollar una interfaz gráfica que sea amigable con el usuario.
- Desarrollar base de datos para hacer más eficiente el control de la información.
- Diseñar y construir un estante de almacenaje especial de aproximadamente 200 cm x 250 cm x 40 cm. Que permita el uso de bandejas de aproximadamente 20 cm x 20 cm.
- El robot cartesiano tendrá una capacidad de carga menor a 5 Kg.
- Transportar la bandeja más lejana a la zona especificada en un máximo de 30 s.
- Implementar medidas de seguridad para la zona de trabajo del robot cartesiano en el perímetro estante para evitar posibles accidentes.
- Diseñar el sistema robótico para que tenga el menor costo posible.

Capítulo 1. Marco teórico

1. Antecedentes

Gracias a los almacenes automáticos podemos gestionar un almacén de forma fácil y conseguir una optimización en los procesos derivados del almacenaje, preparación y expedición de mercancías [2].

Estos sistemas de almacenaje están diseñados para ser operados automáticamente por medio de transelevadores para el almacenaje de cajas (tipo *Miniload*), paletas e incluso prendas textiles colgadas en perchas (este sistema de almacenaje es conocido como sistema de prenda colgada) [2].

Ventajas:

A la hora de gestionar un almacén, si lo hacemos de forma automatizada podemos conseguir las siguientes ventajas:

1. A nivel de costes, éstos se reducen gracias al almacenaje compacto.
2. Máximo control de stock.
3. Preparación de los pedidos con gran rapidez.
4. Mayor eficacia en la gestión de entradas y salidas de mercancía.
5. Ahorro de espacio, tiempo y dinero.
6. Incremento de la productividad de la actividad logística.
7. Menores costes de mantenimiento gracias a la reducción de daños.
8. Incremento de la seguridad del personal humano y de las mercancías. [2]

1.1. Diseño de almacenes

La necesidad de diseño de almacenes o su rediseño está condicionada por el vertiginoso cambio que experimentan las actividades relacionadas con el propio almacén. Los costes asociados al almacén, ya sean estructurales o de actividad, tienen un impacto directo en la eficiencia de la cadena de suministro, lo que hace necesaria una gestión correcta de los mismos. [2]

1.2. Automatización de farmacias

Entre algunas de las empresas destacadas en este rubro, se puede hacer mención de las siguientes:

La empresa Apopteka cuenta con dos robots diseñados para la gestión de medicamentos en una farmacia, el primero es Stocklight EVO, un robot diseñado para todo tipo de farmacia, con un precio que oscila entre los \$20,000 y \$50,000.

Tiene por objetivo reducir el espacio necesario para el almacenamiento de los productos, hacer más eficiente la búsqueda de bienes y llevar un mejor inventario. Este almacén ilumina la parte en la que se encuentra acomodado el medicamento que se busca, esto mediante una pantalla táctil colocada como se muestra en la figura 1.1 [3].



Figura 1.1. Sistema Stocklight [3].

El segundo robot tiene por nombre MACH 4, es presentado principalmente para farmacias de mayor tamaño, teniendo un costo aproximado de \$100,000 a \$150,000. Este almacén elimina la necesidad de buscar un medicamento en un gran número de estantes, ya que además de contar con un software de gestión, también tiene un brazo robótico que toma un medicamento específico y lo lleva hasta la zona designada por el encargado. En la figura 1.2 podemos apreciar una instalación con esta máquina [3].



Figura 1.2. Sistema MACH 4 [3].

KLS Pharma Robotics es una compañía alemana especializada en la robotización de farmacias. Desde su fundación en 1998 ha participado en la automatización de grandes proyectos para el sector de automoción y aeroespacial. Para atender la necesidad creciente de farmacéuticos alemanes de optimizar espacio y tiempo. KLS utiliza la tecnología de almacén caótico y un sistema de cajoneras tradicionales con doble eje de manipulación. Llegando a tener un precio de hasta \$100,000, por lo que está pensado principalmente para grandes instalaciones [3]. Esta máquina se muestra en la figura 1.3.



Figura 1.3. Sistema de KLS [4].

1.3. Robótica

La definición más aceptada de robot es la de la Asociación de Industrias Robóticas (RIA), según la cual:

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

Tipos de robot (clasificación según AFRI¹):

- Tipo A: manipulador con control manual o telemando
- Tipo B: manipulador automático con ciclos preajustados; regulación con fines de carrera o topes; control por PLC, accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.
- Tipo C: robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno.
- Tipo D: robot capaz de obtener datos de su entorno, readaptando su tarea en función de estos [6].

¹ Asociación Francesa de Robótica Industrial

1.4. Robots cartesianos

Aunque en la actualidad los robots polimórficos² están en auge, en algunas ocasiones no son la solución más adecuada, por eso los robots cartesianos suponen una herramienta fundamental para realizar la mayoría de tareas de movimientos, manejo y clasificación de productos [7].

La combinación lineal en direcciones “X”, “Y” y/o “Z” permite un movimiento libre en el plano vertical y horizontal o en el espacio. Lo que hace posible una gran variedad de soluciones robóticas.

Las herramientas de trabajo tales como agarre, soldadura o pegado (dependiendo de su aplicación) se pueden adaptar fácilmente y pueden ser manejados mediante drivers [8].

La aplicación de los robots cartesianos está en su mayoría en la industria, teniendo un gran número de aplicaciones, como se observa en la figura 1.4, al ser un sistema muy fiable.

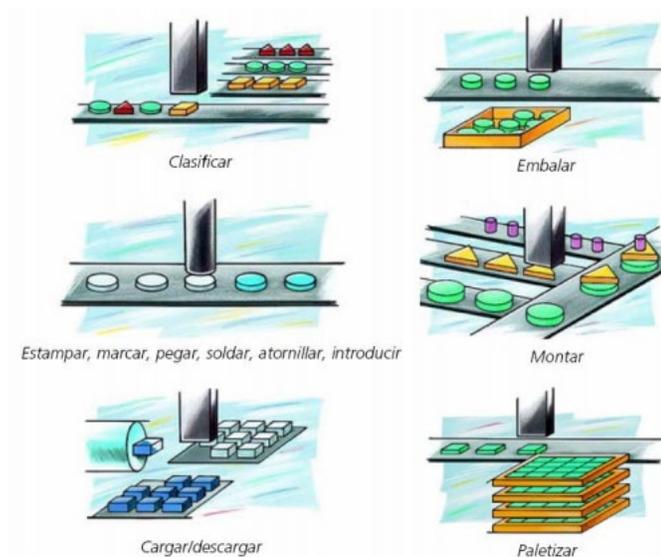


Figura 1.4. Aplicaciones de Robot Cartesiano más comunes [8].

² Robots capaces de adaptar diferentes formas de manera autónoma

1.5. Elemento final

Los elementos finales son los destinados a interactuar directamente con el ambiente de trabajo y estos pueden ser desde sistemas de aprehensión hasta herramientas, esto dependiendo de la tarea a realizar. [6]

En cuanto a los sistemas de aprehensión, se encuentra la siguiente clasificación mostrada en la tabla 1, en donde cada tipo de sujeción tiene un tipo de accionamiento y uso. [6]

Tipo de sujeción	Accionamiento	Uso
Pinzas de presión <ul style="list-style-type: none">Desplazamiento angularDesplazamiento lineal	Neumático o eléctrico	Transporte y manipulación de piezas sobre las que no importa presionar
Pinza de enganche	Neumático o eléctrico	Piezas de grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión
Ventosas de vacío	Neumático	Cuerpos con superficie lisa o poco porosa
Electroimán	Eléctrico	Piezas ferromagnéticas

1.6. Cinemática

La cinemática es la ciencia del movimiento que trata el tema sin considerar las fuerzas que lo ocasionan. Dentro de esta ciencia se estudian la posición, la velocidad, la aceleración y todas las demás derivadas de alto orden de las variables de posición (con respecto al tiempo o a cualquier otra variable). En consecuencia, el estudio de la cinemática se refiere a todas las propiedades geométricas y basadas en el tiempo del movimiento. Las relaciones entre estos movimientos, las fuerzas y momentos de torsión que los ocasionan constituyen el problema de la dinámica [9].

Cinemática Directa (FK Forward Kinematics): La posición y rotación de cada hueso de la cadena se indica explícitamente. Los huesos hijos heredan de los padres la rotación, pero es necesario especificar estos parámetros para cada hueso de la cadena. La posición del extremo de la cadena (el efector) se obtiene de concatenar las rotaciones de cada elemento [10].

Cinemática Inversa (IK Inverse Kinematics): Se especifica la posición en el espacio que queremos alcanzar y se calcula automáticamente una posible configuración de rotaciones de los eslabones [10].

La cinemática inversa busca encontrar los valores que tienen que tomar las articulaciones del robot para que su elemento final se encuentre en una posición y

orientación dada. La metodología para resolver este problema a partir de la matriz de transformación homogénea se describe a continuación [6]:

1. Obtener la matriz de transformación homogénea T.
Para un robot cartesiano, se tiene que $T = A_1^0 A_2^1 A_3^2$
2. Se procede a determinar la inversa de cada una de las matrices A_i^{i-1} , para estos casos la inversa está dada por la siguiente matriz:

$$(A_i^{i-1})^{-1} = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & -n^T P_x \\ n_y & s_y & a_y & -s^T P_y \\ n_z & s_z & a_z & -a^T P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Por lo tanto

$$(A_1^0)^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(A_2^1)^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(A_3^2)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para determinar la cinemática inversa se utiliza el siguiente procedimiento partiendo de la transformación homogénea:

$$(A_1^0)^{-1} T = A_2^1 A_3^2$$

$$(A_1^0)^{-1} (A_2^1)^{-1} T = A_3^2$$

No hay alto grado de complejidad para determinar la cinemática inversa debido a que la configuración del robot es cartesiana, sólo es necesario saber las coordenadas en el plano cartesiano en las cuales se encuentra ubicado el objeto y con estos valores se determina la distancia que debe desplazar.

Capítulo 2. Planteamiento del problema

Un problema en los almacenes es el tiempo invertido en la búsqueda y acomodo de los elementos, por lo cual se vuelve una tarea tardada y repetitiva ya que en éstos siempre están entrando y saliendo elementos, lo que hace sencillo perder el control del almacén, o tener que estar realizando inventarios durante cortos periodos de tiempo.

La satisfacción del usuario es un componente integral de la calidad de atención en los servicios de salud. Un alto nivel de satisfacción promueve conductas positivas tales como conformidad y continuidad con los proveedores de salud; de esta manera, la evaluación de la satisfacción del usuario puede ayudar a la mejora continua de la calidad de atención [11].

El tiempo de espera en el ámbito de la farmacia, ha sido definido como la cantidad de tiempo desde que el usuario ingresa hasta que recibe su medicamento [12].

Estudios realizados en centros de salud demuestran que ante un menor tiempo de espera aumenta la percepción de satisfacción por parte de los pacientes [13]. Esto también es aplicable a los usuarios que acuden a los servicios de farmacia.

Para poder hacer frente a esta problemática se diseñó un robot cartesiano y un estante, mediante estos dos se creó un sistema de almacenaje automatizado donde el robot cartesiano tiene la tarea de mover los contenedores del estante a una zona de acceso.

De igual forma se diseñó un software con interfaz hombre – máquina para la gestión del almacén. Éste puede llevar un control de los bienes extraídos y nuevos ingreso, pudiendo también alertar al encargado cuando haya pocas unidades de un producto.

Capítulo 3. Desarrollo del trabajo

3.1 Diseño conceptual

En la presente etapa se optó por subdividir el sistema en las partes fundamentales que lo conforman, dando de esta forma los siguientes subsistemas:

- Sistema de almacenaje (cajas, estante)
- Sistema de agarre
- Sistema de traslación
- Sistema de seguridad
- Sistema de control
- Sistema informático

En la figura 3.1, se muestra una idea generalizada de la estructura, con la finalidad de dar un esquema de las dimensiones y del posicionamiento de cada sistema.

- Estructura de transmisión
- Estructura de soporte
- Estante

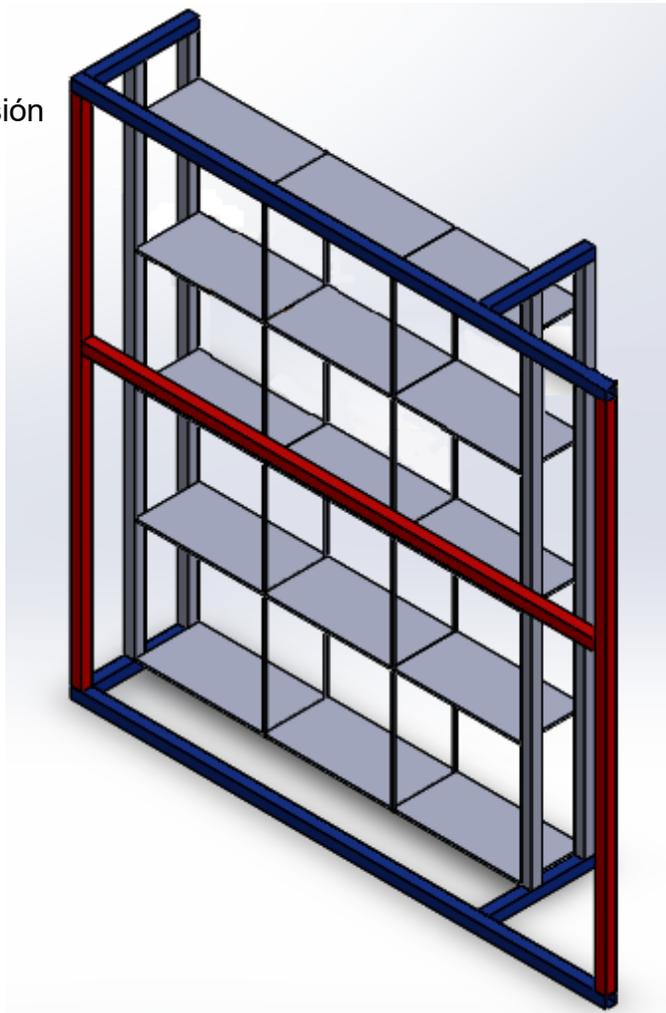


Figura 3.1. Diseño conceptual de estructura.

Siendo las barras rojas la ubicación de los sistemas de transmisión, la parte azul la estructura de soporte y el estante la parte gris.

3.1.1 Sistema de almacenaje

Para comparar entre las diferentes cajas ofrecidas en el mercado, se hizo una tabla comparativa como la que se presenta a continuación y en la figura 8 vemos las cajas mencionadas:

Contenedor	Material	Peso	Dimensiones (cm)	Capacidad (kg)	Precio
Rubbermaid (A)	Polietileno	1 kg	50 x 38 x 12.7 in	16 kg	\$ 240.00
Gaveta (B)	Polietileno	0.5 kg	23 x 14 x 13 cm	5 kg	\$ 57.00
Caja de MDF (C)	MDF	0.7 kg	20 x 20 x 10 cm	10 kg	\$ 25.00



Figura 3.2. Contenedores a comparar [14].

La caja escogida fue la C puesto que por su tamaño, el número de cajas propuesto en un inicio y el número de cajas que podemos acomodar en el estante es el más acercado, además de ser la opción más barata, lo cual reduce los costos significativamente.

Mientras que para el estante metálico, como el que se muestra en la figura 3.3, por ser el más abundante en el mercado y que además cuenta con mayor facilidad de adaptación, se decidió usar uno como el que se especifica a continuación:

Postes de 2.20 m de alto, con troquelado a 1 pulgada, capacidad máxima de 200 Kg. Entrepaños con refuerzo de canaleta para cargas de hasta 40 kg (a lo largo de toda la repisa), medidas de 85 x 30 x 5 cm.



Figura 3.3. Estante metálico [14].

3.1.2 Sistema de agarre

El sistema de agarre será el encargado de sostener las cajas para introducirlas o sacarlas del estante, como ya se vio en el apartado **1.5 Elemento final**, por lo cual, siguiendo el objetivo de dimensiones y capacidad de carga, tiene que ser un sistema capaz de soportar 7 kg en contenedores de aproximadamente 30 cm de largo, 22 cm de ancho y 15 cm de alto.

En base a lo anterior se generaron 3 posibles soluciones las cuales son:

- Agarre por pinza.

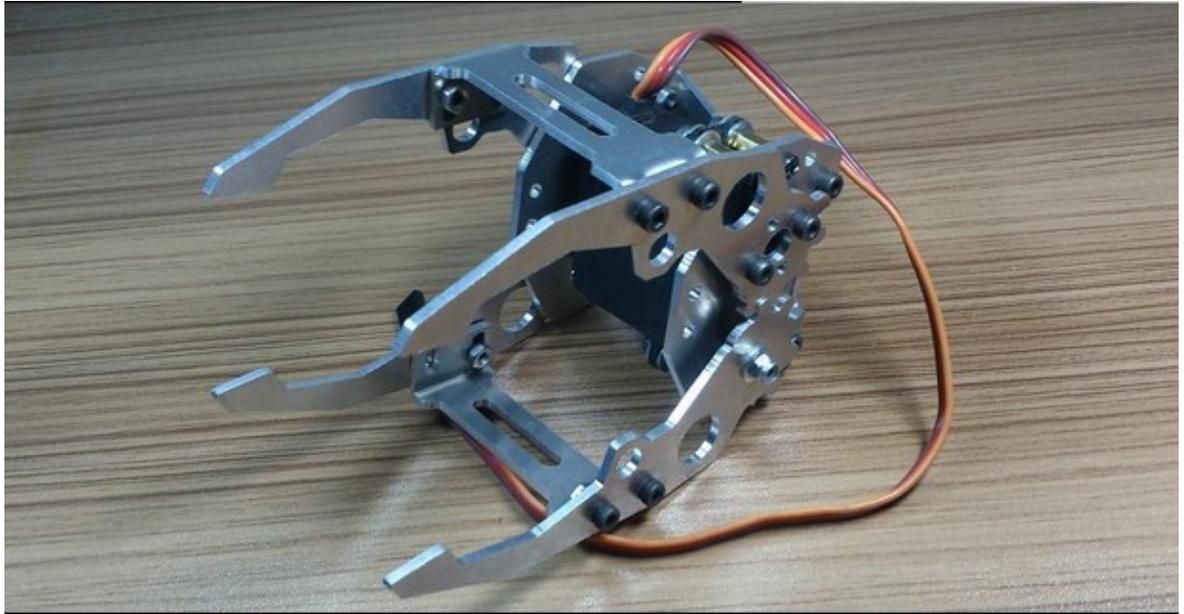


Figura 3.4. Pinza [15].

En la figura 3.4 se muestra un ejemplo de pinza, dada su forma de construcción, realizarlo para que cumpliera los objetivos propuestos para el presente trabajo era costoso además de tener dificultad al sujetar la carga, por lo cual se decidió no optar por esta solución.

- Agarre con electroimán.

Para este sistema, ejemplo en la figura 3.5, era necesario dotar de una barra metálica a las cajas de almacenamiento además de que para este sistema, al igual que en el siguiente, era necesario agregar una base, por lo cual se eligió descartarlo.



Figura 3.5. Ejemplo de sujeción con electroimán [15].

- Agarre con espátula.

El agarre por espátula fue el mecanismo que decidimos utilizar, esto por la versatilidad que tiene para sostener la carga y su fácil construcción.

Este sistema consiste en deslizar una espátula por debajo de las cajas, para ser levantada aproximadamente 3 mm y así poder ser extraída por la espátula.

Se propone el diseño mostrado en la figura 3.6.

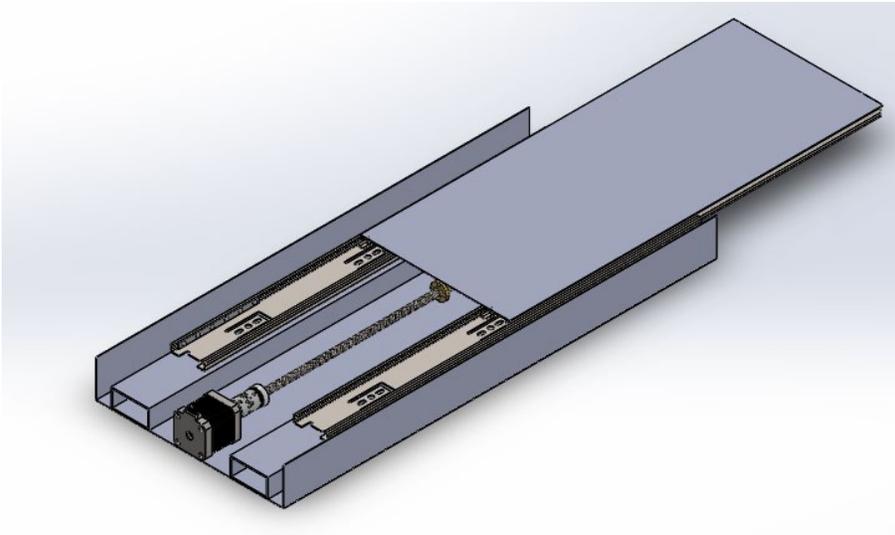


Figura 3.6. Sistema de agarre

3.1.3 Sistema de traslación

Para poder comenzar a hacer el análisis, primero se delimita los recorridos según las distancias más alejadas y ejes, para hacer más entendible esto, se propone el gráfico de la figura 3.7.

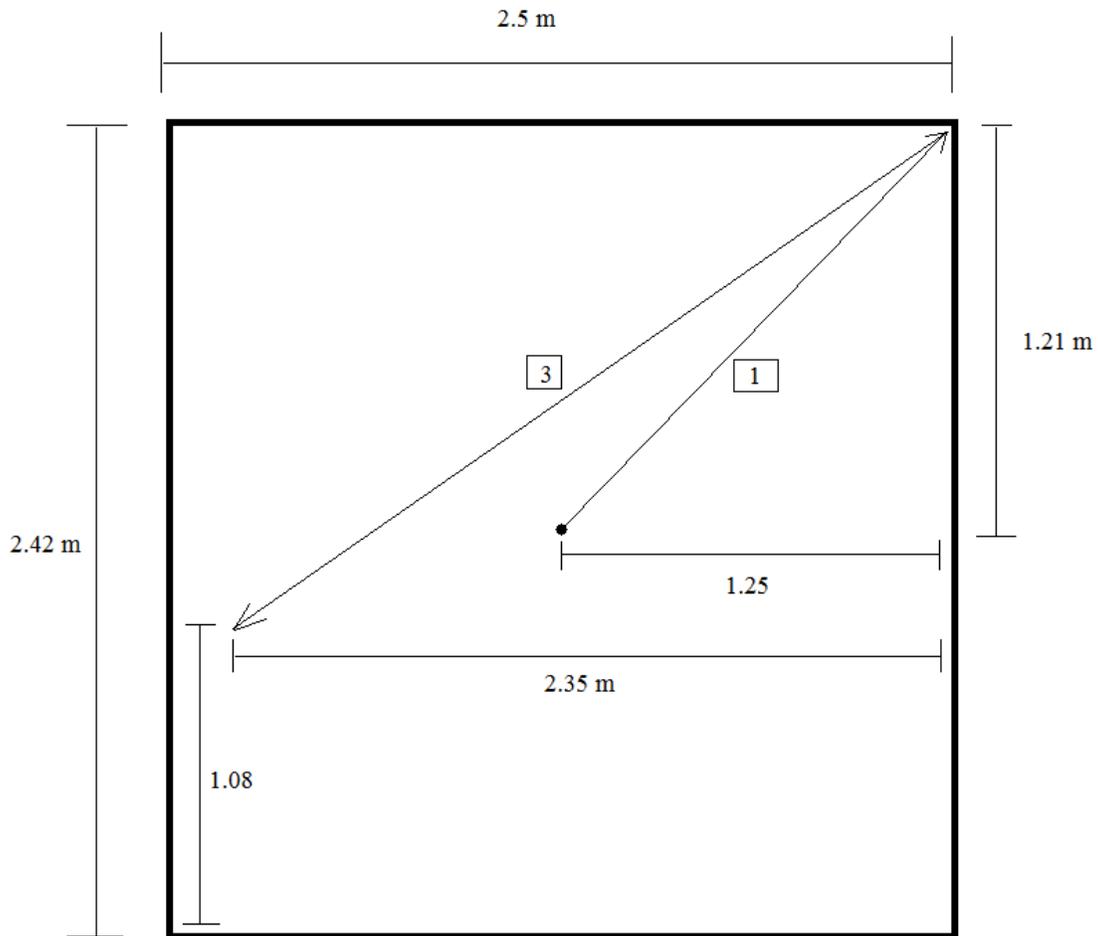


Figura 3.7. Gráfico de distancias a recorrer.

Teniendo en el eje X

$$1.25 \text{ m} + 2.35 \text{ m}$$

En el eje Y

$$1.21 \text{ m} + 1.34 \text{ m} + 0.01 \text{ m}$$

En el eje Z

$$0.20 \text{ m} + 0.20 \text{ m}$$

Se tienen tres trayectos, uno para llegar del inicio a la caja que se desea sacar, el segundo es exclusivo del eje Z, que es tomar la caja y el último que es

llevar la caja a la zona de acceso. Se les asignó un tiempo en el cuál se tienen que llevar a cabo para lograr transportar la caja en 20 segundos o menos:

Primer trayecto (6 segundos):

$$1.25 \text{ m en } X + 1.21 \text{ m en } Y$$

Segundo trayecto (3 segundos):

$$0.20 \text{ m en } Z - 0.20 \text{ m en } Z$$

Tercer trayecto (10 segundos):

$$-2.35 \text{ m en } X - 1.34 \text{ m en } Y$$

Para obtener la velocidad mínima necesaria se toma la mayor distancia a recorrer:

$$V = \frac{d}{t} = \frac{2.35 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 0.235 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20.35 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Se transforma a RPM para un motor con eje de 17.6 mm

$$l = \pi \times D = 5.529 \text{ cm}$$

Se calcula el número de vueltas que hay en 20 cm:

$$n = \frac{V}{l} = 3.617 \text{ vueltas}$$

Por lo que la velocidad angular es de:

$$w = 3.617 \times 60 \text{ s} = 217 \text{ RPM}$$

Cálculo de torque

La masa total que subirán y bajarán los dos motores en el eje Y es de 12 Kg.

El torque para un motor con eje de 17.6 mm es entonces:

$$T_y = F(r) = 58.86 \text{ N} (0.0088 \text{ m}) = 0.518 \text{ N m}$$

Para el motor encargado del movimiento en el eje X es necesario conocer la aceleración:

$$a = \frac{v_f - v_i}{t} = \frac{0.2}{10} = 0.0235 \frac{m}{s^2}$$

Al utilizar guías lineales comerciales, suponemos una fricción de cero, por lo que sólo se contemplará la fuerza necesaria para imprimirle la aceleración deseada al mecanismo de recolección de cajas. La masa a desplazar es de 10 Kg.

$$F = masa * aceleración = 10 \text{ kg} (0.02) \frac{m}{s^2} = 0.235 \text{ N}$$

$$T_x = 0.235 \text{ N} (0.88 \text{ cm}) = 0.2068 \text{ N cm}$$

Para realizar el sistema de translación se tuvieron en cuenta los datos anteriores y se propusieron las siguientes opciones que se muestran a continuación con una breve descripción de sus ventajas:

Eje guía

- v-slot

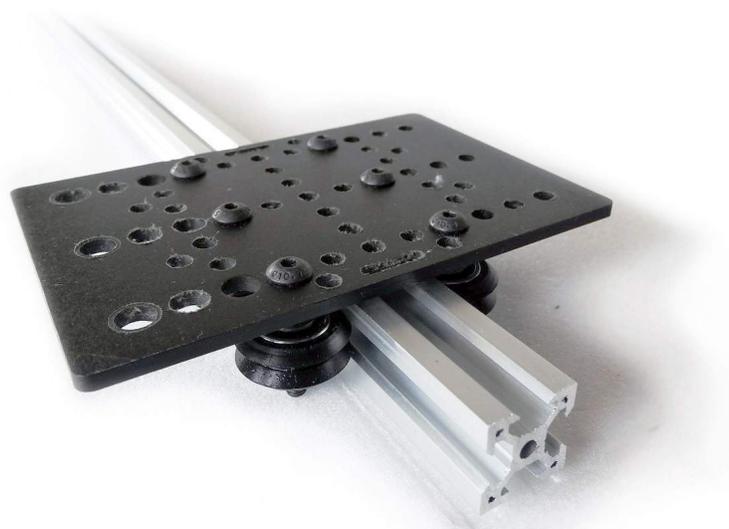


Figura 3.8. Guía lineal v-slot [16].

El sistema de la figura 3.8 tiene como ventaja la integración del sistema de transmisión con correa dentada, lo cual facilita su implementación y reduce costos.

- Eje lineal

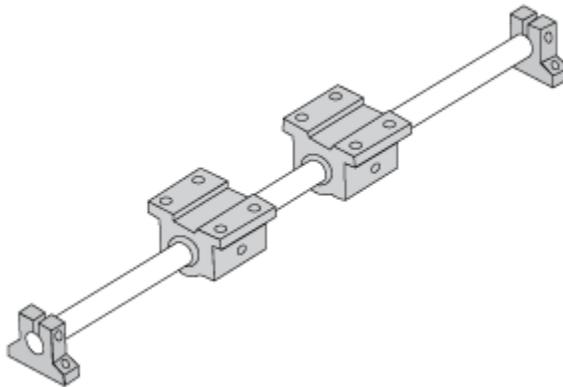


Figura 3.9. Eje lineal de varilla circular [17].

Para el sistema mostrado en la figura 3.9 se utiliza acero, lo que lo hace muy resistente pero esta característica eleva los costos.

Transmisión

- Cadena



Figura 3.10. Transmisión por cadena [18].

El uso de cadena dentada (figura 3.10) permite un alto torque, pero debido a sus características, solo soporta bajas velocidades por lo que en una aplicación en la que se quieren mejorar tiempos de operación. No es el sistema más viable.

- Correa dentada

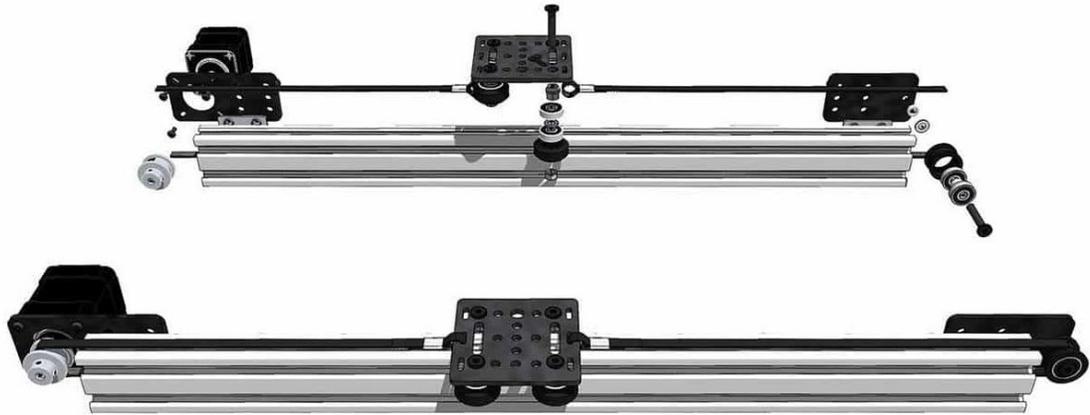


Figura 3.11. Transmisión por correa dentada [16].

Una de las ventajas del uso de correa dentada (figura 3.11) es que puede usarse para grandes distancias, además de soportar altas velocidades.

- Tornillo sin fin



Figura 3.12. Tornillo sin fin de 4 hilos [14].

La mayor ventaja del tornillo sin fin, como el que se observa en la figura 3.12, es que al ser de 4 hilos permite un mayor desplazamiento por vuelta, mientras que por su poca holgura no genera demasiado ruido.

Motor

Debido a que es una aplicación en la cual las cargas a manejar son pequeñas, sólo se contemplan motores eléctricos, uno de corriente directa, como el mostrado en la figura 17 y a pasos, el cual se observa en la figura 3.13.

La desventaja de los motores de dc es que su control de posición no es muy preciso por lo que se tiene que recurrir a la implementación de sensores para estar controlando esta, además de su bajo torque por lo que sería necesario la implementación de un sistema de engranajes para poder aumentar el torque.



Figura 3.13. Motor de dc [19].

Al contrario de los motores de dc, los motores a pasos, figura 3.14, son fáciles de controlar ya que estos son manejados por pulsos, además de contar con gran torque.



Figura 3.14. Motor a pasos Nema 17 [16].

Selección

En base a los resultados obtenidos en los cálculos al inicio de la sección, se empleará un motor a pasos NEMA 17 76 oz (anexo C) para los 4 motores ya que cumplen con el torque necesario y que además que se ofrece precio especial en algunas páginas de venta de componentes eléctricos.

En este sistema es de vital importancia la precisión y rapidez, por lo cual después de varios diseños conceptuales entre los cuales destaca transmisión por cadena, por banda dentada y tornillo sin fin, se decidió utilizar un sistema por banda dentada, ya que fue la que podía soportar la carga e ir a altas velocidades.

Para esta transmisión se usará un perfil de aluminio extruido en v-slot, el cual sirve tanto de soporte para la transmisión como de guía lineal lo cual ayuda a reducir costos.

Tanto la transmisión horizontal como la vertical serán de esta forma, teniendo como diferencia que la vertical llevara dos con la finalidad de distribuir la carga y reducir el torque necesario de cada motor.

Por otra parte, para la traslación en el actuador final se decidió usar un tornillo sin fin por permitir una velocidad de desplazamiento rápida, además de generar poco ruido lo cual permite el manejo de los contenedores con mayor cuidado.

3.1.4 Sistema seguridad

Al momento de diseñar la aplicación de un sistema robótico para la realización de una tarea, además de buscar el cumplimiento de la actividad a realizar, se debe que tener en cuenta la seguridad, tanto del sistema como de las demás partes que interactúan con él, siendo en este caso el usuario. Para esto se propone recubrir toda la parte móvil del sistema para evitar que el usuario pueda sufrir algún accidente mientras el robot está trabajando.

Para el recubrimiento se consideraron dos materiales los cuales son el policarbonato (A) y acrílico (B) que se observan en la Figura 3.15, de los cuales el más resistente al impacto es el policarbonato, siendo este el elegido para ser el recubrimiento de seguridad.

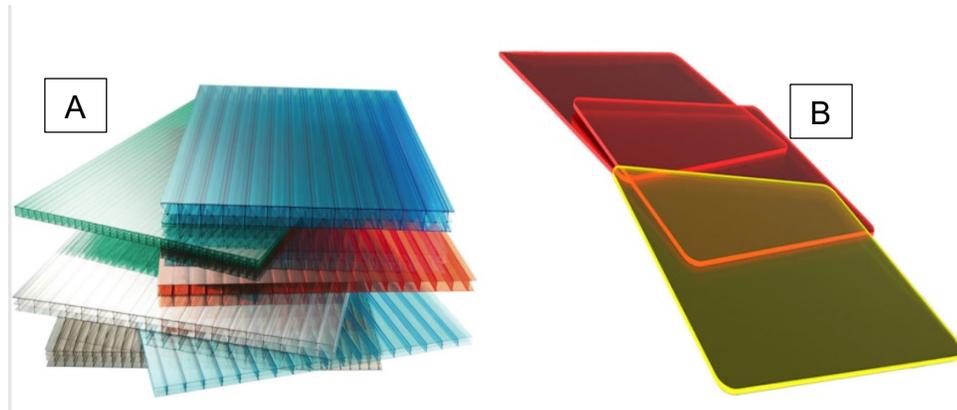


Figura 3.15. Láminas de policarbonato [20].

También se propone el uso de un botón de emergencia con la finalidad de detener todo el sistema al instante.

3.1.5 Sistema de control

Es el encargado de controlar la parte electrónica, por lo que su correcta elección es de gran importancia. Debido a esto y después de haber reflexionado de manera lógica las tareas que tendrá que llevar a cabo, se escogerá un dispositivo sencillo, puesto que éste será usado para mover 4 motores y **sen**sar 6 finales de carrera, lo que es un conjunto de tareas sencillas. No será necesaria una gran capacidad de procesamiento, ni un número de pines mayor a 12.

Una de las placas de programación más famosas es Arduino, ilustrada en la figura 3.16, el cual permite un entorno de programación amigable y de fácil acceso ya que es de código abierto. En cuanto a esta placa se refiere, es muy básica ya que cuenta con tan solo unos pocos pines; aunque un gran punto a favor es que dada su gran popularidad hay una comunidad muy extensa en internet, lo cual facilita la comprensión de este dispositivo para el desarrollo de aplicaciones.

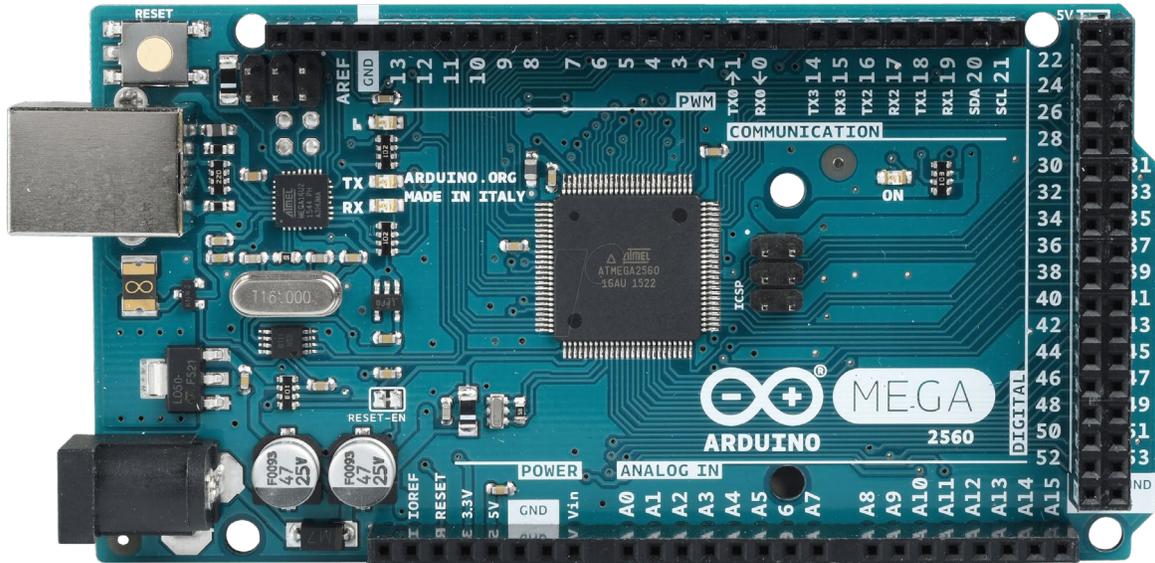


Figura 3.16. Arduino MEGA [21]

La placa presentada en la figura 3.17 es el competidor directo del Arduino ofreciendo casi las mismas características, aunque esta placa no es tan famosa como la anterior por lo cual una de sus desventajas es que se tiene menos información en foros de ayuda y sitios afines, aunque por otro lado permite una versatilidad mayor ya que este puede ser programado desde Code Composer Studio, lo que permite configurar bastantes parámetros, aunque esto dificulta la programación por lo que si se desea hacer una aplicación sencilla esta placa no es lo más ideal.



Figura 3.17. Launchpad MSP430F5529 TI [22].

Por todo lo mencionado hasta ahora en este apartado, se optó por seleccionar la placa Arduino uno sobre la opción que presenta *Texas Instruments* debido a su sencillez.

3.1.6 Sistema informático

Para poder llevar a cabo la administración de los elementos que son depositados en el almacén, es necesario contar con una base de datos que nos permita representar de una manera fácil nuestro problema y administrar los datos de manera dinámica.

El tipo de base de datos que permite llevar a cabo estas tareas de manera satisfactoria es la Base de Datos Relacional (BDR). Tiene por ventaja el no tener relevancia el lugar y la forma en que se almacenan los datos, lo que facilita al usuario el entender cómo es que funciona esta herramienta. Otra ventaja es que la información se almacena o se recupera mediante consultas, ofreciendo una gran flexibilidad de administración.

El lenguaje a utilizar es el SQL (Structured Query Language o Lenguaje Estructurado de Consultas), ya que es el estándar para un gran número de sistemas de gestión.

En la siguiente figura podemos apreciar la estructura de la base de datos diseñada para la administración del establecimiento.

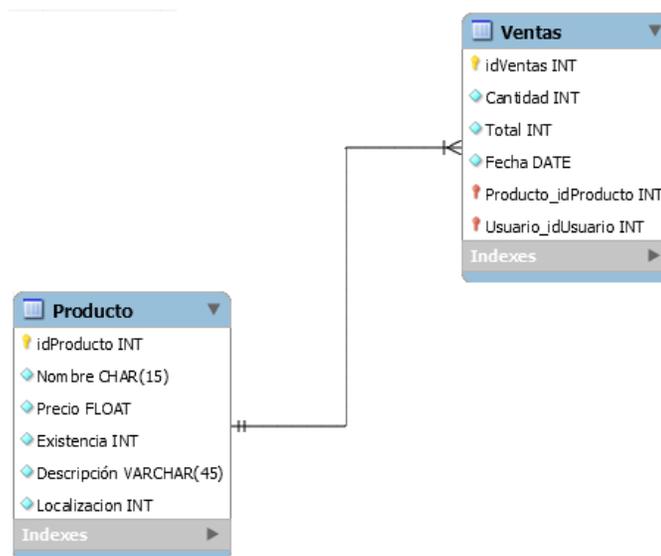


Figura 3.18. Diagrama entidad – relación extendido (EER) de la BD.

La base de datos presentada es completamente funcional, pudiendo almacenar la información de la manera deseada. En la figura 3.19 se presenta una prueba de consulta hecha con ayuda del software Navicat.

```
1 SELECT idProducto, Nombre, Precio, Existencia, Localizacion from producto
```

Mensaje	Resultado1	Perfil	Estado		
	idProducto	Nombre	Precio	Existencia	Localizacion
	1	Paracetamol	50	10	10
	2	Salbutamol	100	7	7
	3	XL3	53	20	9

Figura 3.19. Prueba de consulta.

3.2 Parámetros de diseño

El robot cuenta con 3 grados de libertad, los cuales están determinados por tres uniones prismáticas, las cuales permiten el desplazamiento lineal a lo largo de los 3 ejes (X, Y, Z). El robot está montado sobre una estructura conformada por tres secciones de estantes y soportes hechos con perfil cuadrado de acero AISI 1020 sobre los cuales se fijan los sistemas de transmisión X y Y. Cuenta con un cancel de policarbonato para evitar accidentes en el área de trabajo del robot, además de un paro de emergencia para detener el sistema, esto con el propósito de hacer al sistema automatizado lo más seguro posible.

Para el eje Y se usan dos sistemas de transmisión idénticos con la finalidad de distribuir las fuerzas generadas por las cargas y así permitir un funcionamiento eficiente de los motores, mientras que para el eje X sólo se usa un sistema de transmisión, sobre el cual es implementado el sistema de agarre, que consiste en una espátula, que es donde reposarán los contenedores al ser transportados. En la figura 3.20 se muestra el diseño CAD del sistema de almacén automatizado y en el anexo A se muestran las medidas generales correspondientes al sistema.

Cabe resaltar que debido a que no fue posible conseguir estantes con las medidas propuestas en un inicio, se optó por hacer un rediseño en este apartado, teniendo como resultado final un modelo como el que se muestra a continuación.

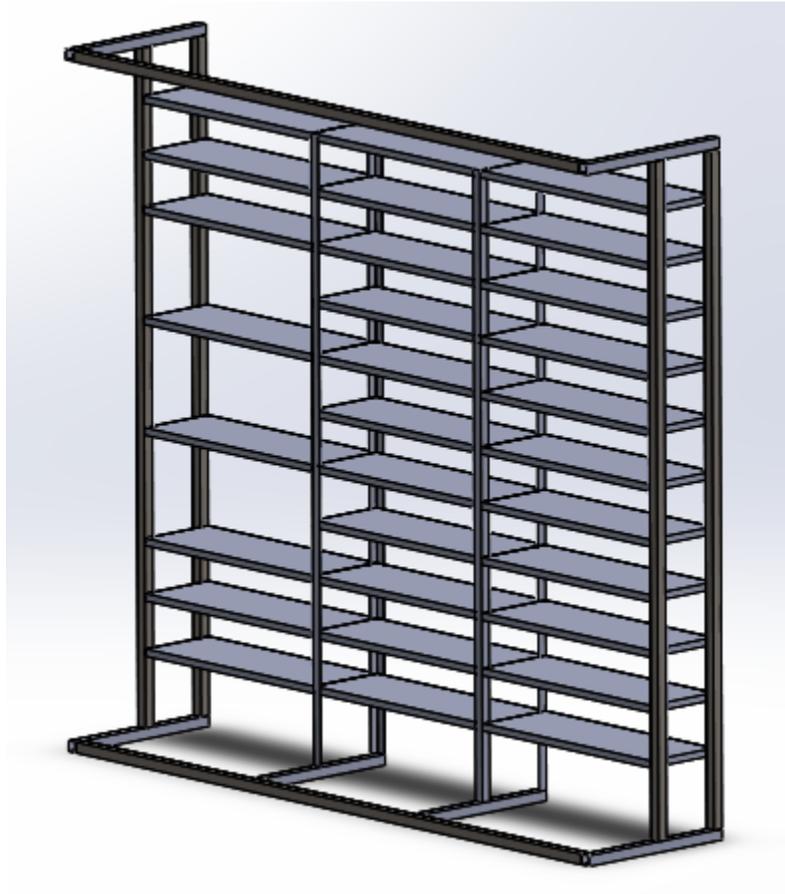


Figura 3.20. Sistema Automatizado de almacenamiento.

3.2.1 Sistema de agarre y Transmisión en eje Z

El sistema de agarre, el cual corre sobre el eje Z, consta de una plancha sujeta a un sistema de transmisión por medio de un tornillo sin fin fijado a un motor a pasos, ya que ofrece la posibilidad de un control preciso para la correcta sujeción de la carga al momento de ingresarla o extraerla, para tener un desplazamiento con poca fricción se usan correderas telescópicas debido a que ofrecen una amplia zona de agarre, al igual que la extensión necesaria para llegar al punto donde se encuentran los contenedores. La figura 3.21 muestra el modelo CAD del sistema y en el anexo B se muestran las dimensiones sobre las cuales se basa la construcción del modelo físico.

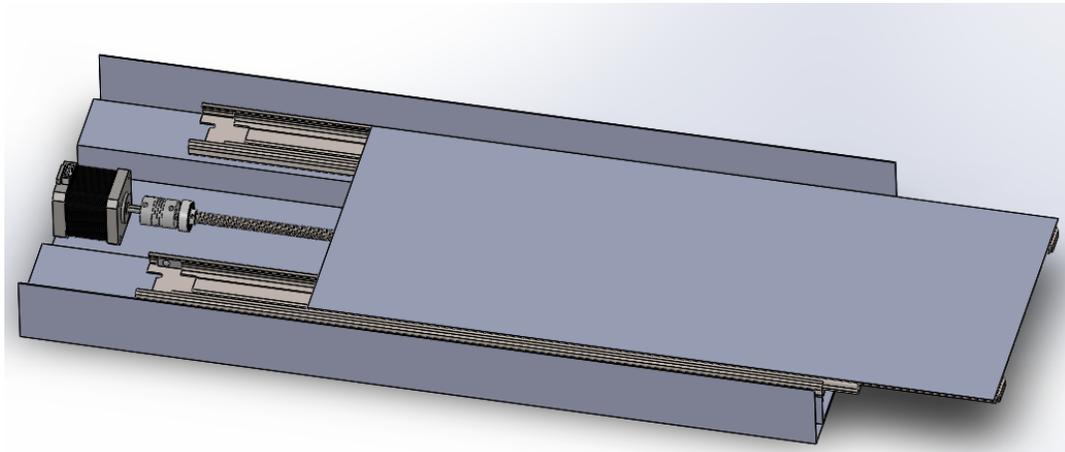


Figura 3.21. Modelo CAD sistema de agarre.

3.2.2 Sistema de transmisión en eje X

La transmisión para el eje X está conformada por un perfil conocido como v-slot de 60 x 20 x 2500 mm de aluminio 6061-T6, la ventaja de usar este perfil de aluminio es que por su forma permite la integración de un sistema de guía lineal, lo cual ahorra costos ya que no es necesario crear dos sistemas distintos, lo que optimiza el espacio de uso. Para la transmisión se usa un motor a pasos unido a un perfil, como se muestra en la figura 3.22, el cual genera el movimiento por medio de una correa de sincronización dentada. Se usa un carro con rodamientos, figura 3.23, sobre el cual se monta el sistema de agarre.

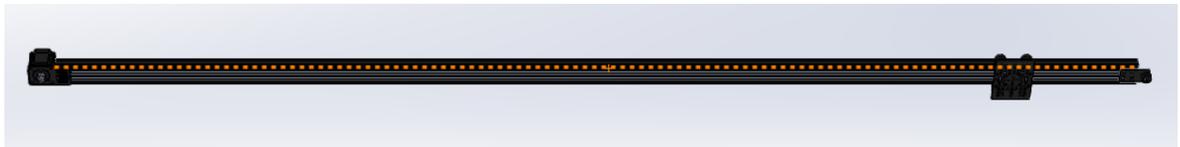


Figura 3.22. Sistema de transmisión eje X.

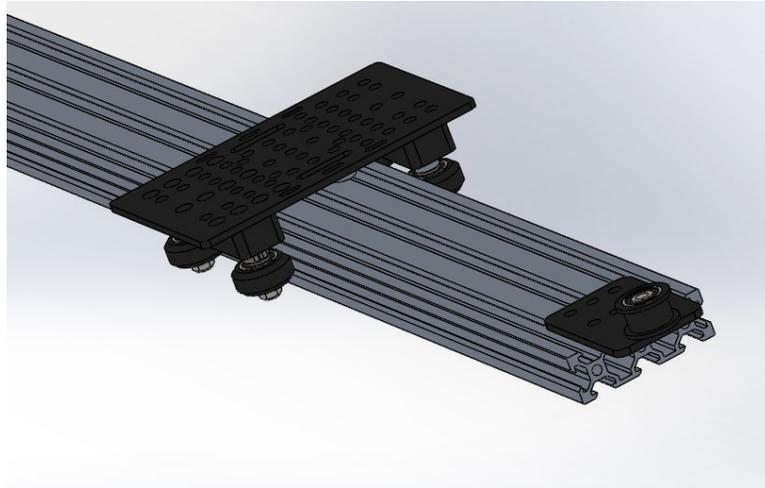


Figura 3.23. Carro sobre perfil v-slot.

3.2.3 Sistema de transmisión eje Y

La transmisión del eje Y es muy similar a la del eje x anteriormente descrita con algunas variantes, el perfil v-slot a utilizar será uno de 60 x 20 x 2 430 mm, se usa de igual forma correa dentada unida a un motor a pasos con un cambio en los soportes, se utilizan dos sistemas de transmisión dispuestos en paralelo, con la finalidad de distribuir la carga en dos motores y así tener un manejo más eficiente. De la figura 3.24 a la 3.26 se muestra el sistema en el eje Y.



Figura 3.24. Sistema de transmisión eje Y.

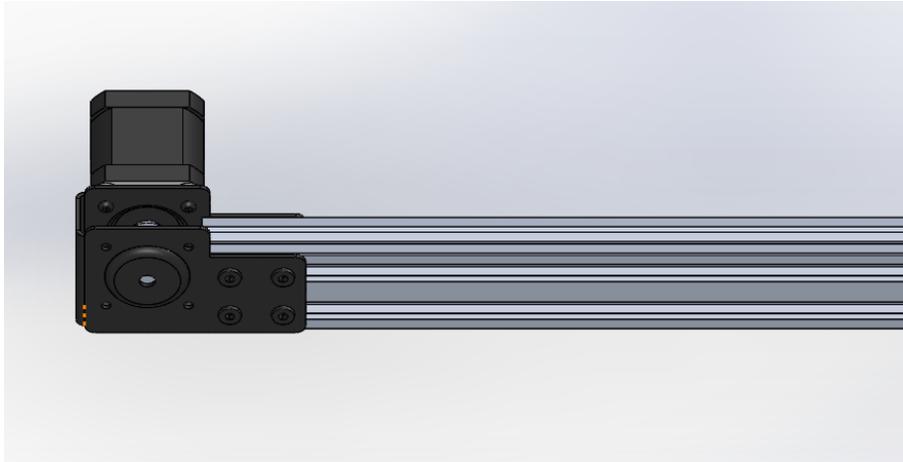


Figura 3.25. Motor a pasos y soporte.

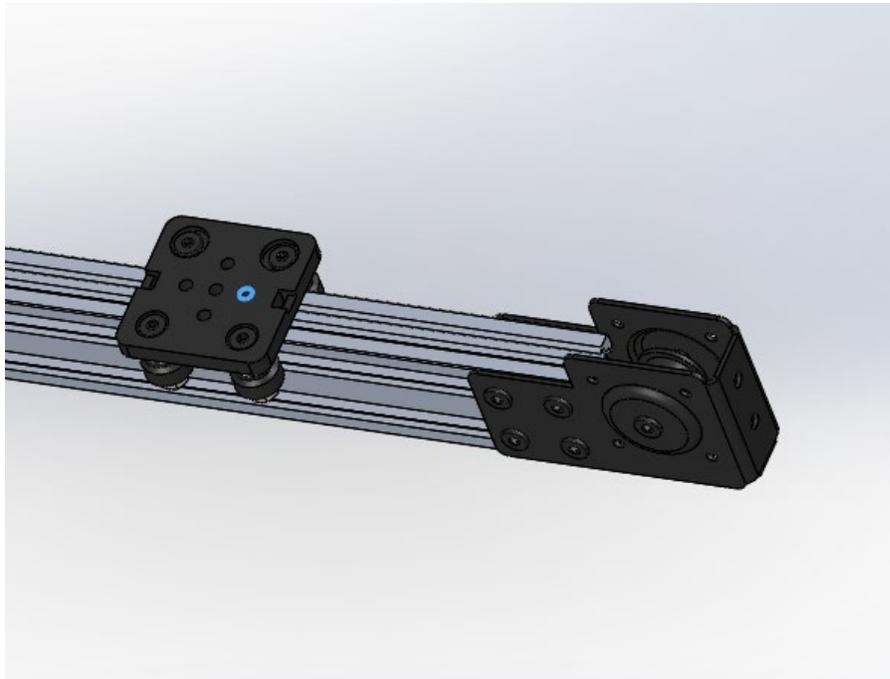


Figura 3.26. Carro y soporte.

3.2.4 Circuito eléctrico

La electrónica a implementar es muy básica ya que para el control de los motores a pasos se usan drivers, lo que simplifica el circuito eléctrico y el control.



Figura 3.27. Driver TB6560 [23].

Se usa el driver TB6560, mostrado en la figura 3.27, el cual reduce el número de conexiones necesarias con el microcontrolador y otros elementos electrónicos para poder manipular los motores. Este driver nos permite entonces el control de los motores mediante únicamente dos pines, uno de dirección y otro de paso.

Como ya se describió en el apartado anterior, se pretende usar un Arduino mega para el control. Además de los motores, serán conectados 6 sensores de final de carrera (figura 3.28) para evitar accidentes; además de brindar una forma de recalibración en caso de que el sistema robótico fuese descalibrado.



Figura 3.28. Final de carrera [14].

En la figura 3.29 se muestra el circuito de conexión de los elementos correspondientes que son en total cuatro drivers, seis finales de carrera y cuatro motores a pasos. Se puede observar que la placa satisface las conexiones necesarias. No fue necesario conectar ningún tipo de resistencia entre los diferentes elementos que conforman el circuito eléctrico ya que en la programación del microcontrolador se configuraron las entradas como Pull-Up.

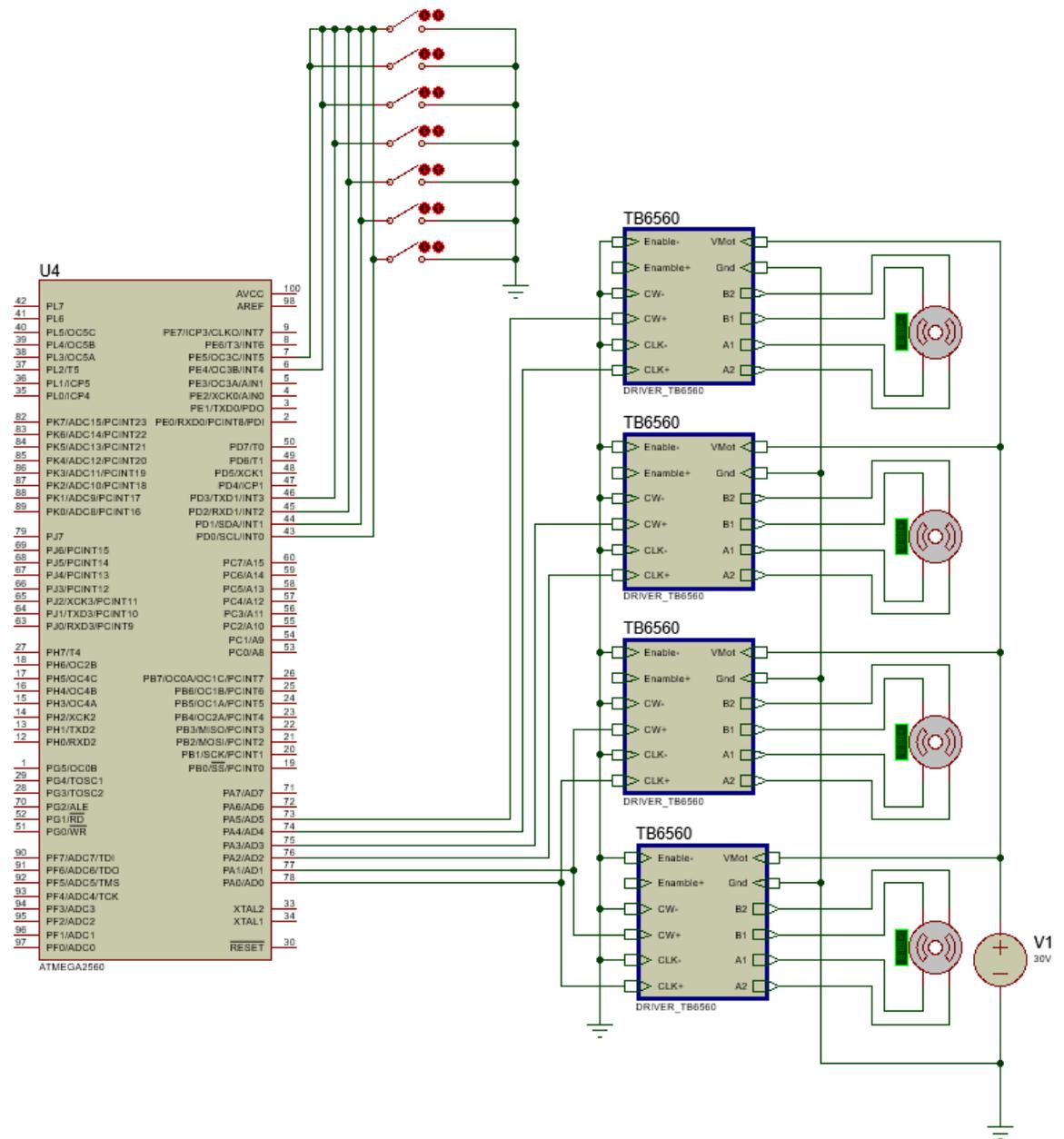


Figura 3.29. Esquemático de circuito eléctrico.

El botón de paro será programado de tal manera que funcione como si todos los finales de carrera fueran presionados, con el fin de ya no utilizar más pines y al ser una situación imposible de realizar por el robot, no supone ningún inconveniente,

3.3 Análisis de materiales

Con la finalidad de comprobar que el sistema diseñado resistiera los esfuerzos a los cuales será sometido, se realizaron análisis de los materiales de los diferentes componentes, priorizando el estudio de la estructura del estante y del sistema de translación horizontal, los cuales son los que están sometidos a las mayores cargas.

3.3.1 Análisis estructura del estante

El análisis de la estructura del estante se realizó contemplando la carga máxima que sería de aproximadamente 6,180.3 N, configurando para este análisis los distintos elementos correspondido al material de su construcción, para el estante aluminio 6061-t6 y acero AISI 1020 para el refuerzo; generando los resultados mostrados en las figuras 3.30 y 3.31.

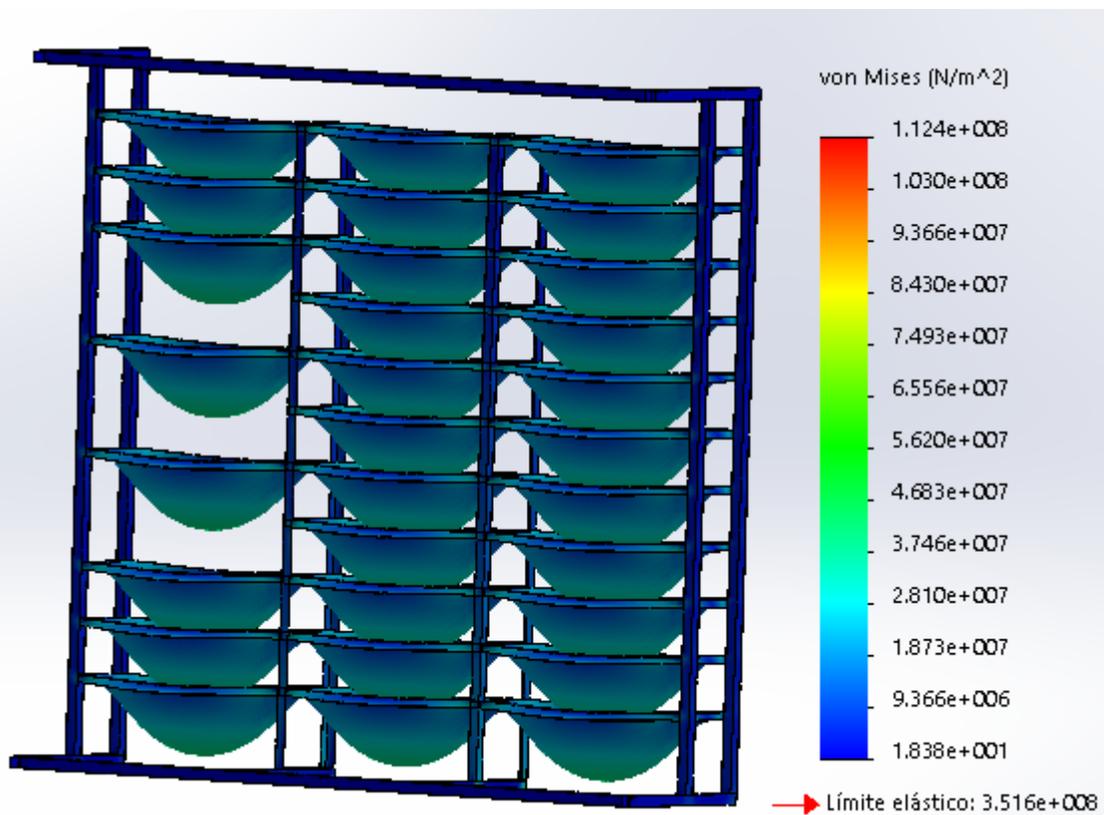


Figura 3.30. Esfuerzo de von Mises estructura del estante.

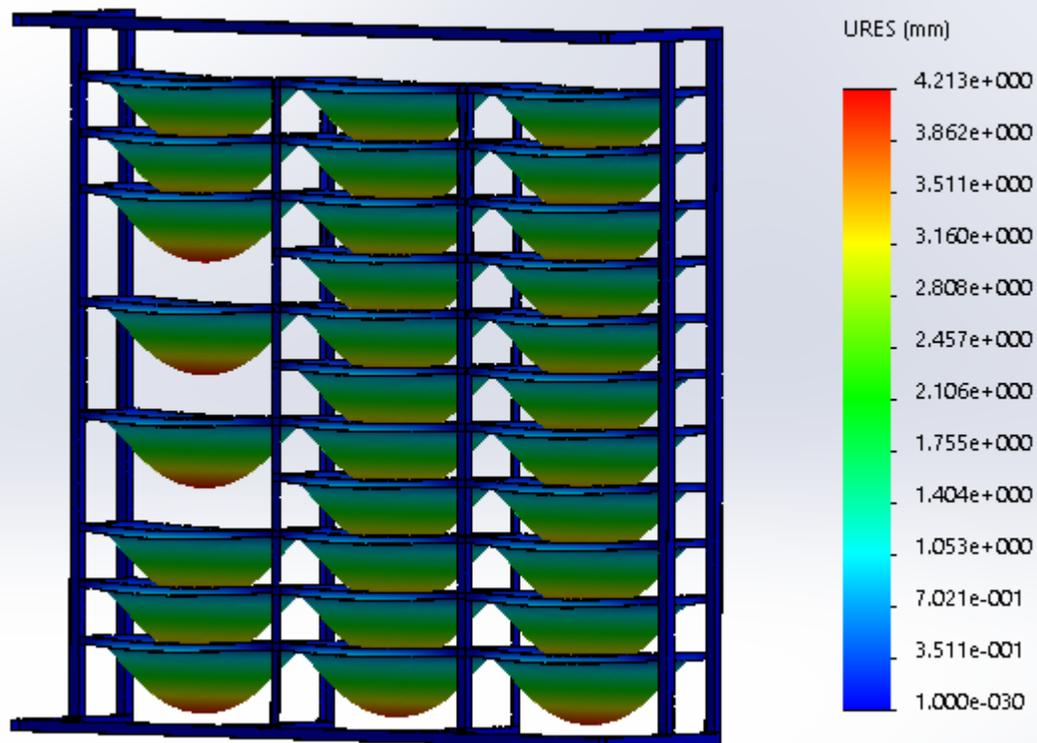


Figura 3.31. Desplazamiento estructura del estante.

Como se observa en la figura 3.30, el esfuerzo de von Mises no supera el límite elástico, lo que nos indica que el material soportará la carga máxima, y en cuanto a al desplazamiento, figura 3.31, se aprecia que el máximo será de 4.2 mm lo cual es una deformación muy pequeña lo que en general no afectaría el funcionamiento del sistema.

3.3.2 Análisis sistema de translación horizontal

Este análisis solo fue realizado en la guía lineal la cual es de aluminio 6061-T6 ya que es la que carga el peso de los bienes cuando éstos son extraídos del estante.

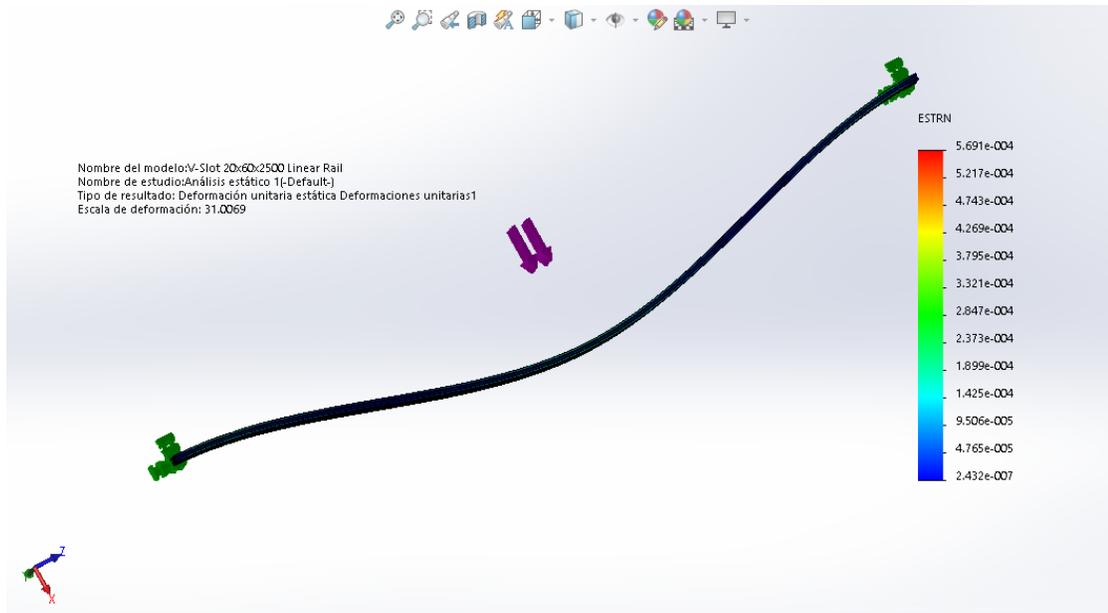


Figura 3.32. Deformación unitaria guía lineal.

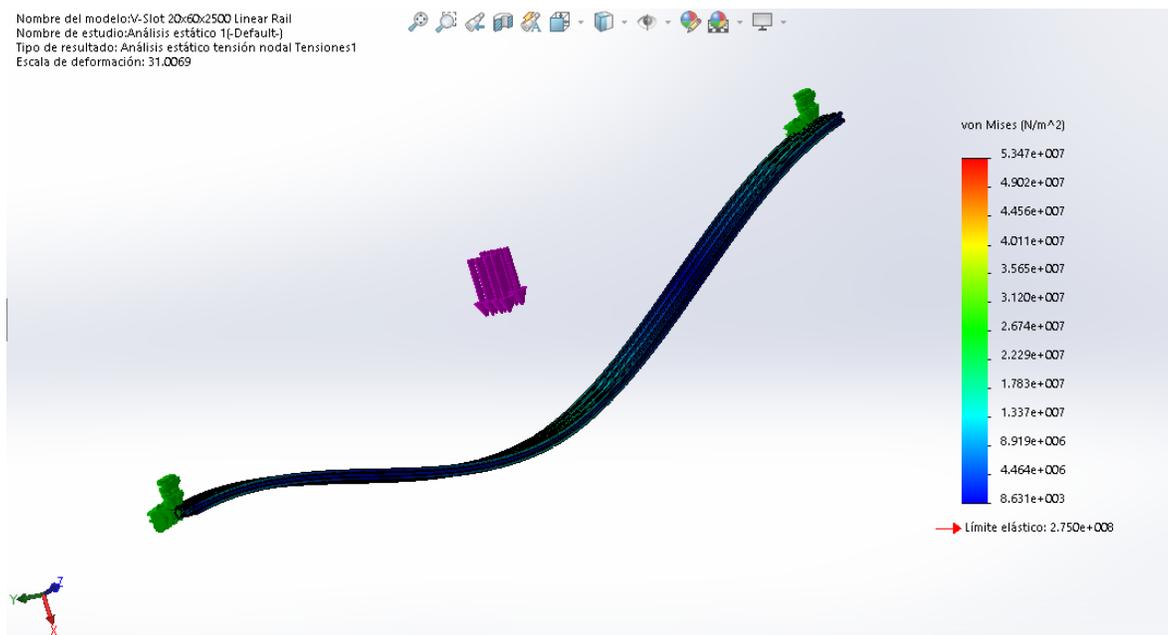


Figura 3.33. Esfuerzo de von Mises en la guía lineal.

Con los resultados obtenidos en la figura 3.32 se aprecia que la guía soporta en el punto crítico, que es cuando la carga está en el centro, ya que el esfuerzo de von Mises no supera el límite elástico, en cuanto a la deformación unitaria, figura 3.33, se obtiene que el sistema no será altamente deformado lo que permite deducir que esta deformación no afectara el desplazamiento del sistema.

Capítulo 4. Construcción del robot y desarrollo de interfaz

4.1 Prototipo de robot cartesiano

Después de haber conseguido los materiales necesarios para la realización de esta etapa, se procedió a ensamblar el robot cartesiano, utilizando sólo la mitad de los perfiles, como se observa en la figura 4.1, puesto que sólo se llevarán a cabo algunas pruebas que nos demuestren el correcto funcionamiento de los motores y drivers.



Figura 4.1. Prototipo del robot.

Tras comprobar que tanto los motores así como los drivers funcionaban de manera correcta, se comenzó a programar la placa Arduino uno para probar la

sincronía de los motores (figura 4.2), así como la tensión de las bandas cuando los motores se mueven.

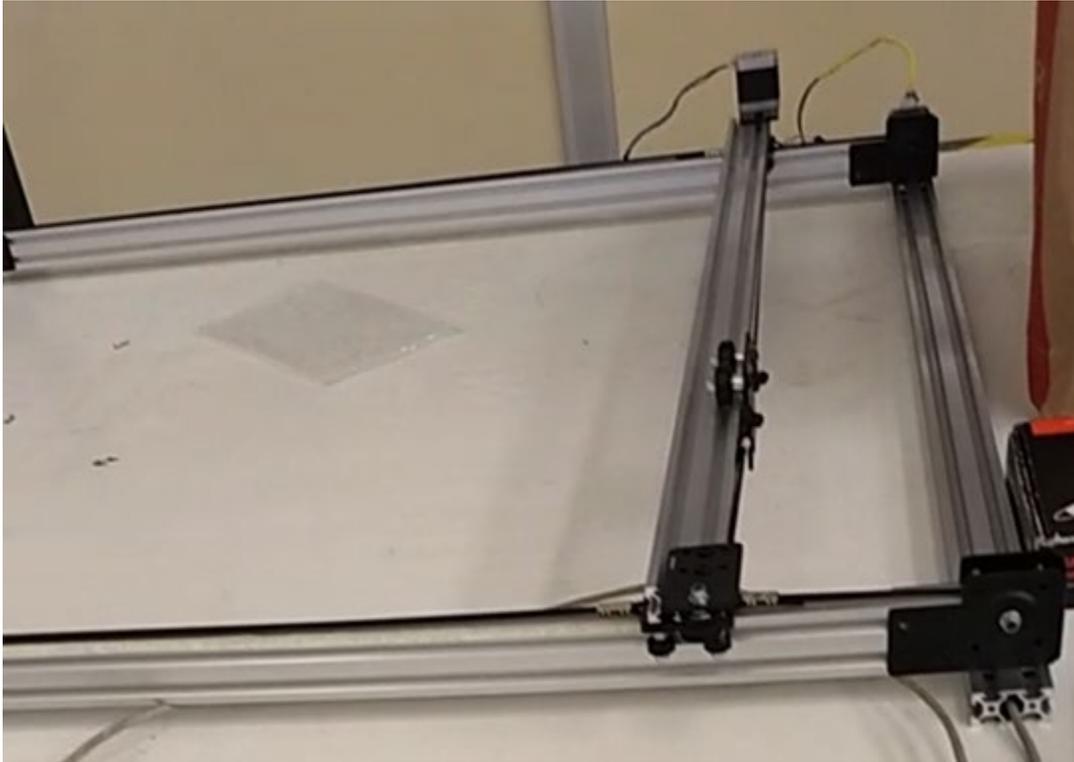


Figura 4.2. Pruebas de movimiento.

4.2 Ensamble del estante

Este apartado comprende el haber colocado las bandejas necesarias en la estructura, como se muestra en la figura 4.3.



Figura 4.3. Estante y bandejas.

También se acondicionaron los refuerzos que se le añadirán al almacén, como es apreciable en la figura 4.4, para darle más soporte.



Figura 4.4. Refuerzo de acero.

Al haber completado las preparaciones, se procedió a soldar los soportes, de la manera en que se muestra en las figuras 4.5 y 4.6 para darle mayor estabilidad a la estructura.



Figura 4.5. Sección soldada A.



Figura 4.6. Sección soldada B.

Fue necesario soldar los perfiles que son utilizados como guías debido a que las uniones mecánicas proporcionadas por el proveedor no cumplían con los requerimientos necesarios para soportar el peso al que será sometida la estructura.

Los finales de carrera fueron colocados al final de cada uno de los motores y para acondicionarlos fue necesario diseñar un empaque con el que se muestra a continuación:

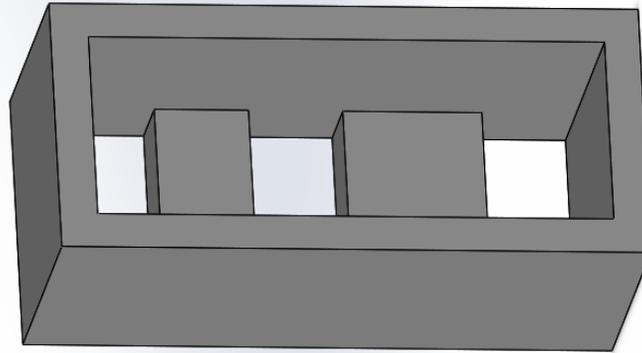


Figura 4.7. Empaque para final de carrera.

Debido a que se busca que estos empaques sean precisos y resistentes, se optó por hacer uso de una impresora 3D con filamento de tipo PLA.

Por medio de estos pasos previos, se logró completar la estructura del estante que se muestra a continuación:



Figura 4.8. Estructura terminada.

4.3 Ensamble de espátula

Para llevar a cabo la construcción de esta herramienta, fue necesario tomar en cuenta el peso máximo que anteriormente se propuso, ya que los motores fueron escogidos en base a esto, por lo que se optó por hacer uso de materiales livianos que fueran capaces de soportar las cargas exigidas.

Para la base, se utilizó tablero MDF de $\frac{1}{4}$ de pulgada debido a que es casi tan ligero como una lámina de aluminio de calibre 22 pero no se pandeaba tanto como ésta. Para poder fijar el motor a la base y sostener los rodamientos que sirven como guía para el tornillo sin fin, se optó por diseñar abrazaderas que nos permitieran una sujeción precisa, para más tarde poder imprimirlas. A continuación se muestran los modelos de los diseños utilizados:

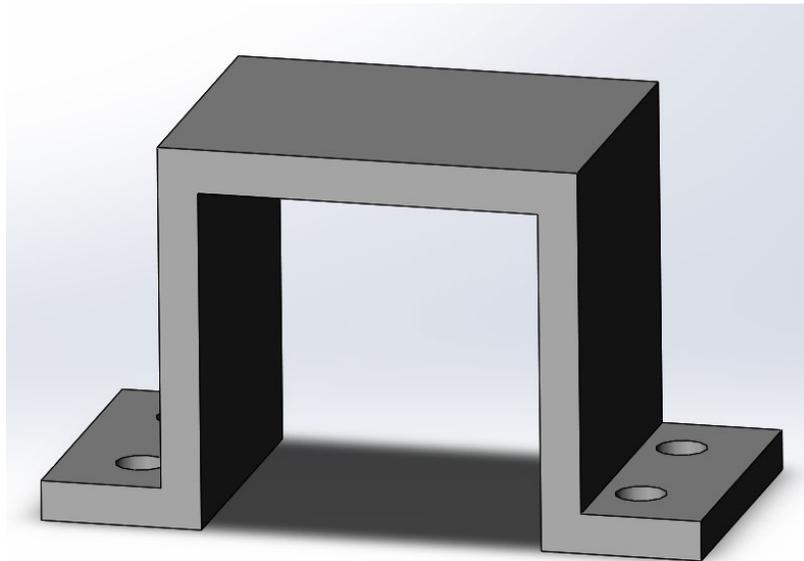


Figura 4.9. Abrazadera de motor.

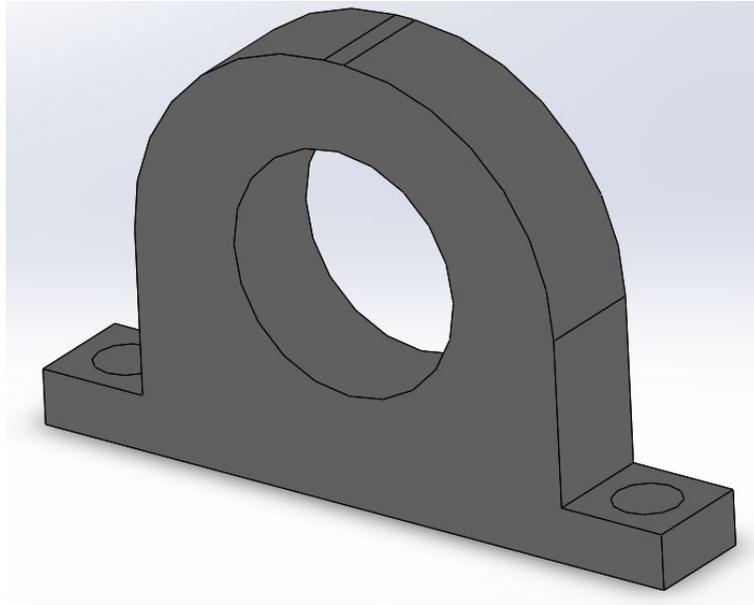


Figura 4.10. Abrazadera de rodamiento.

Se utilizaron diferentes métodos de unión en la base. Para los elementos de madera, se emplearon clavos a lo largo de las esquinas y para darle mayor soporte, se implementaron 4 ángulos de unión cerca de los extremos. Para fijar las diferentes abrazaderas con las que se contaba, sólo se requirió de unos cuantos tornillos y tuercas. Dando como resultado una base como la que se muestra a continuación:



Figura 4.11 Base de espátula.

Para concluir, las correderas telescópicas fueron montadas sobre tramos de tubo para hacer que estuvieran a la altura correcta y sobre estas se fijó una lámina de acero calibre 16, concluyendo así el sistema de agarre que se presenta a continuación:



Figura 4.12 Base de espátula.

Al concluir esto, se unió a la estructura y se hizo el cableado final. Siendo el prototipo final el siguiente:

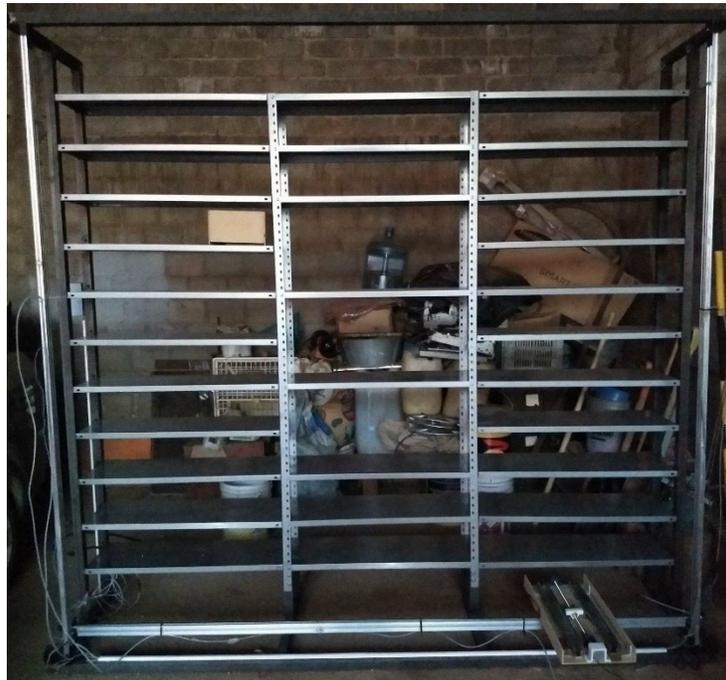


Figura 4.13 Base de espátula.

4.4 Interfaz Gráfica

De manera paralela, se realizó la interfaz gráfica por medio del distribuidor de JAVA conocido como NetBeans IDE. Se presenta a continuación un diagrama de casos de uso del software:

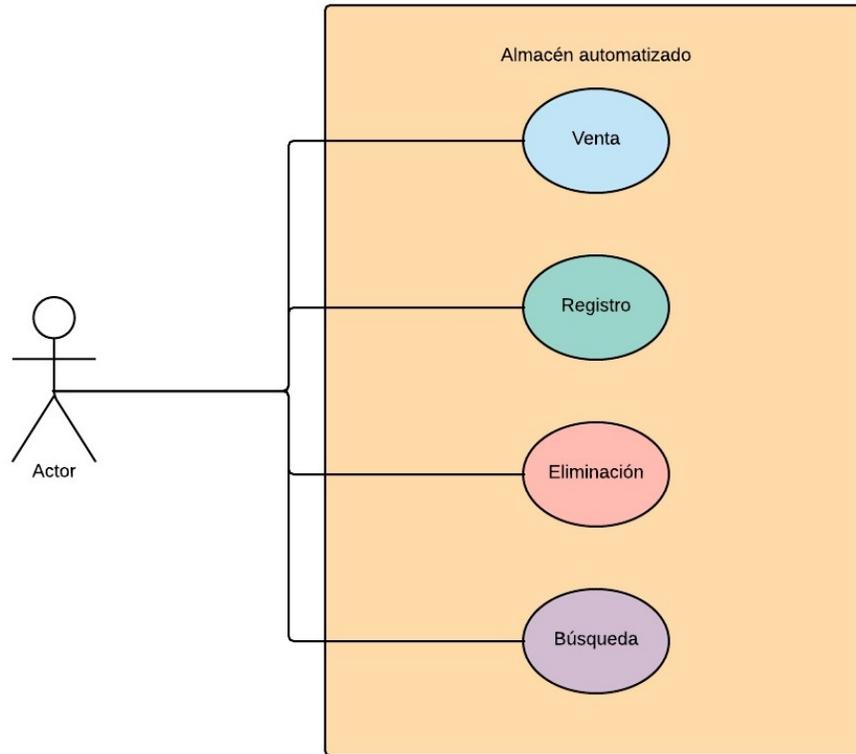


Figura 4.14 Diagrama UML de casos de usos.

Para el programa "Almacén automatizado" existen 4 casos que son "Venta", "Registro", "Eliminación" y "Búsqueda". A éstos un "Actor", en este caso el encargado del negocio, puede acceder para así realizar las tareas necesarias para llevar a cabo la parte de la venta o administración.

Para poder detallar cómo es que funciona cada uno de los casos de uso presentados en la página anterior, es necesario hacer un diagrama de secuencia. En seguida se presenta el de venta que es donde se realiza la actividad primordial, la transacción entre cliente y vendedor:

VENTA

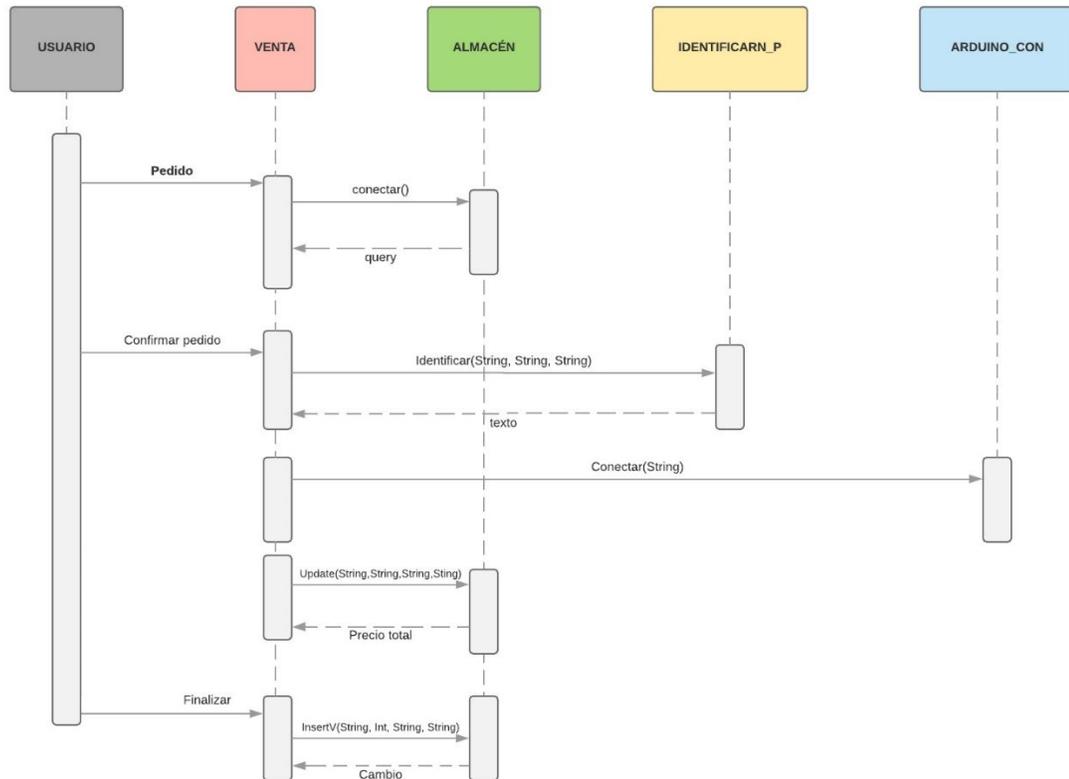


Figura 4.15 Diagrama de secuencia de venta.

El proceso inicia con un pedido realizado por el usuario, en seguida se realiza la actividad y de manera automática se llama a la clase “Almacén” que nos proporciona un texto que será interpretado por el usuario al confirmar el pedido, para que el programa puede reconocer mediante la acción “Identificar” a cada elemento que conforma el mensaje anterior y una vez hecho esto, se procede a enviar un comando mediante “Arduino_Con” de manera tal que el robot empiece la tarea. Después de haberse realizado esto, se procede a actualizar la información con ayuda de la función “Update”. Una última instrucción del usuario es necesaria para terminar el proceso, para así hacer el registro de la venta con “InsertV” que nos da un mensaje con el cambio que se debe de entregar al comprador.

El siguiente caso es el de registro, en el cuál puede haber dos actividades, un registro de nuevo producto o una actualización uno ya existente.

REGISTRO

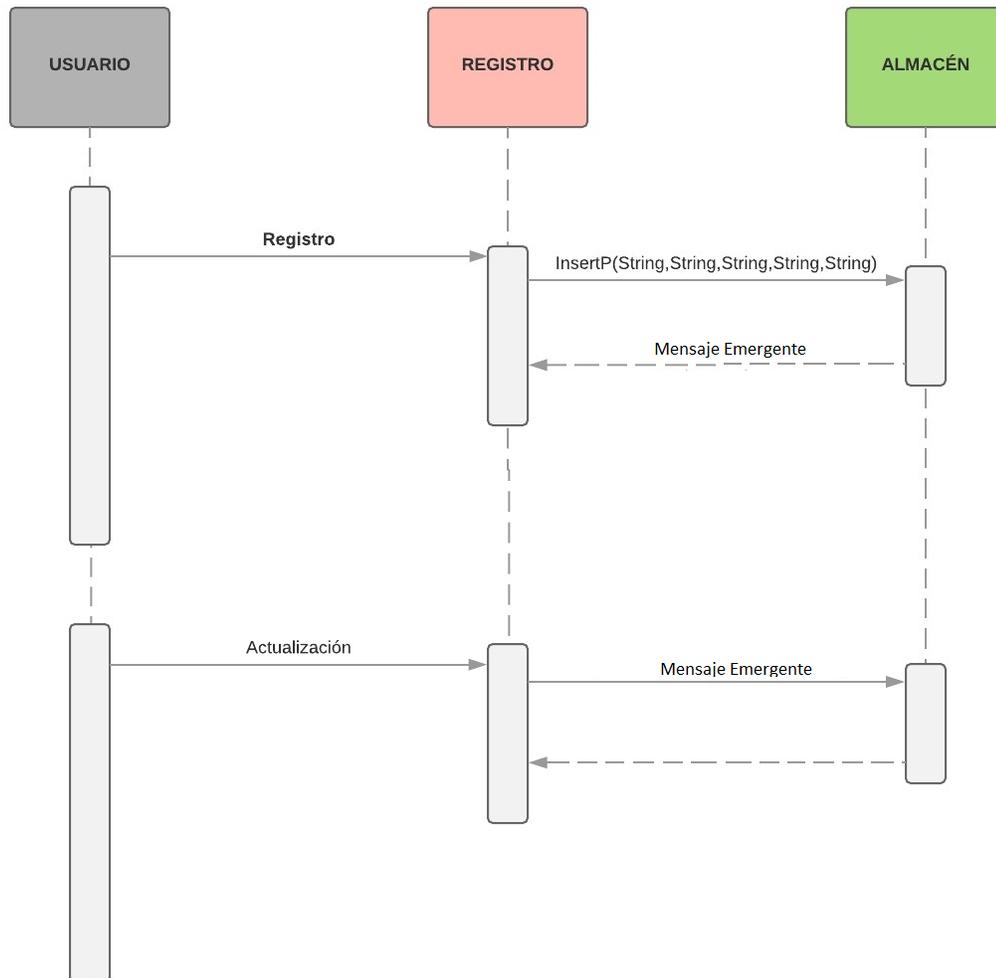


Figura 4.16 Diagrama de secuencia de registro.

Para ambas actividades sólo se precisa la interacción del usuario una vez y al dar la orden, los cambios que se harán en la base de datos son realizados de manera inmediata, teniendo como respuesta un mensaje emergente, que indica si el registro o actualización se llevó a cabo de manera exitosa o no.

El tercer caso es la eliminación de un producto, este es el más simple de ejecutar, esto se puede apreciar a continuación:

ELIMINACIÓN

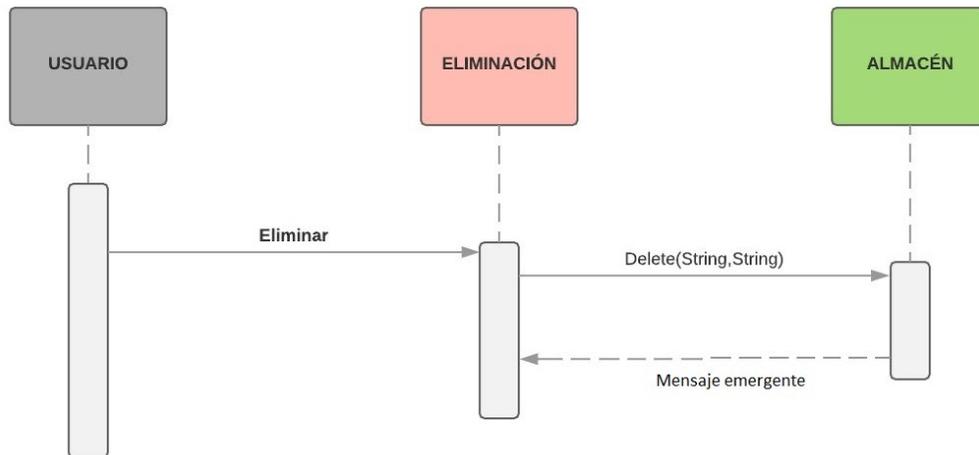


Figura 4.17 Diagrama de secuencia de eliminación.

Consta de una única instrucción proporcionada por el usuario a la ventana de eliminación, que tiene como consecuencia el llamado de la función "Delete", la cual elimina la información pertinente. Como respuesta se tiene un mensaje emergente que notifica al usuario si el producto se eliminó correctamente o no.

El último caso corresponde a la función de búsqueda detallada. Existen dos actividades que el usuario puede realizar, la búsqueda de todos los productos con los que la base de datos cuenta y la de las ventas realizadas en una fecha específica.

BÚSQUEDA DETALLADA

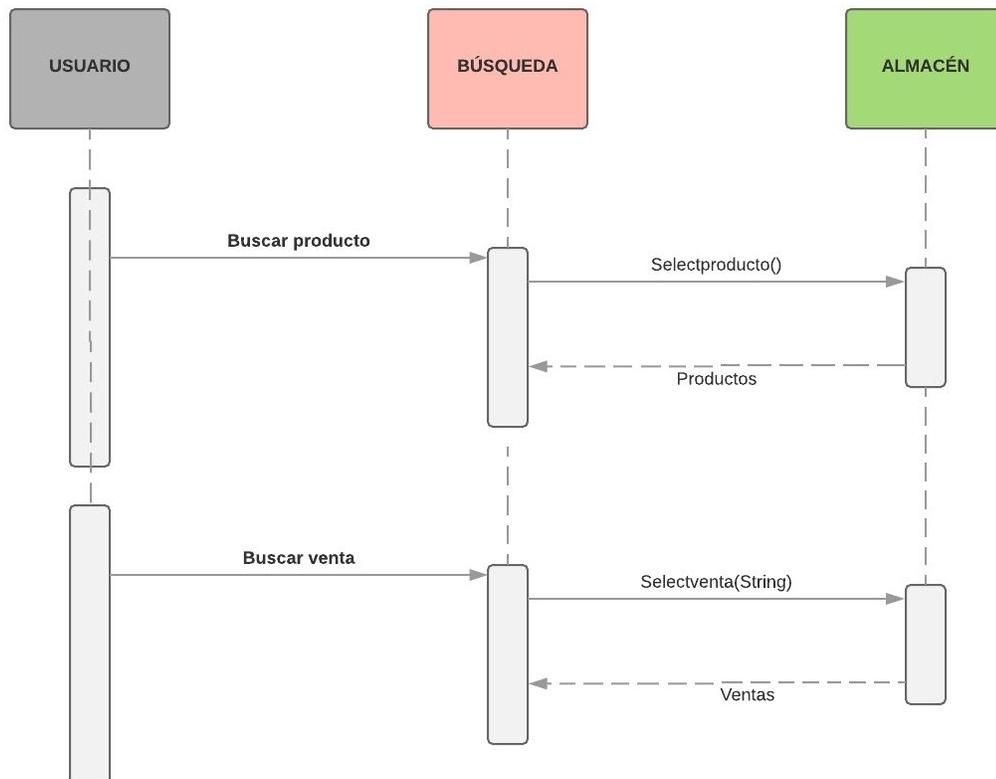


Figura 4.18 Diagrama de secuencia de búsqueda detallada.

En ambas actividades el usuario da la orden de búsqueda, cabe resaltar que la búsqueda es llevada a cabo mediante dos funciones diferentes, esto es debido a la naturaleza de cada uno de los objetos que conforman la base de datos. Como resultado de la primera se muestra una tabla con todos los productos mientras que la respuesta de la segunda son las ventas hechas en la fecha especificada.

4.3.1 Ventana de venta

The screenshot shows a software interface for a sales window. At the top, there are navigation tabs: 'Venta', 'Registro', 'Eliminar', and 'Búsqueda Detallada'. Below the tabs is a search section with a 'Buscar' button and a text input field labeled 'Nombre del producto'. Underneath is a large empty rectangular area. Below that is another text input field labeled 'Introduzca número de contenedor' and an 'Enviar' button. The main part of the interface is a table with 12 rows. Each row has three input fields for product details and a 'Cantidad' label with an input field. At the bottom left is a 'Finalizar' button. To its right are labels for 'Total', 'Paga con', and 'Cambio', each followed by an input field.

Figura 4.19 Pantalla de venta.

En este apartado (figura 4.19) la persona encargada de hacer la búsqueda de los bienes almacenados puede ingresar el Nombre del producto en el cuadro de texto llamado “Nombre del producto” y dar clic en el botón buscar para llevar a cabo la búsqueda. En la siguiente caja de texto aparecen todos los estantes que contengan el artículo deseado, presentando también el nombre, precio y existencia del mismo. Para proceder se debe escribir el número del contenedor en el cuadro de texto nombrado “Introduzca número de contenedor” y en seguida clic en el botón “enviar”. Al hacer esto, se envía una señal a la tarjeta de control para que así el robot entre en funcionamiento y lleve la caja a la zona especificada. A continuación emergerá un nuevo apartado en donde se hace el registro de los elementos buscados. En esta sección se debe especificar el número de elementos que se van a tomar.

Después de haber concluido con la búsqueda, se debe dar clic al botón “finalizar”, esto hará que se muestre el precio total de los elementos buscados y al mismo tiempo de hacer el registro de la venta en la base de datos; en seguida se debe poner el monto con el cuál se desea pagar y para terminar la operación, se procede a pulsar el botón “Cambio”. Este botón se encargará de realizar el cálculo para saber cuánto dinero hay que devolver. En caso de que se pague con menos, aparecerá un mensaje de diálogo especificándolo (figura 4.20).

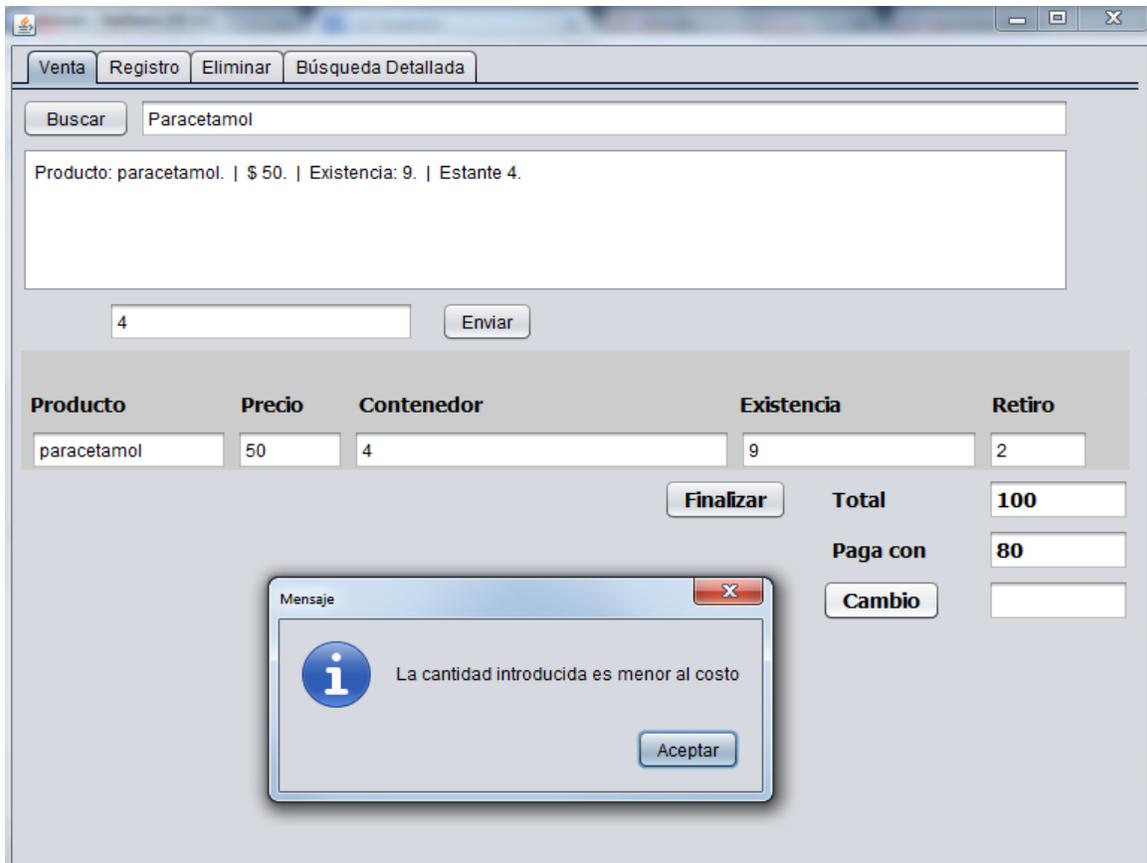


Figura 4.20. Prueba de venta con mensaje de diálogo.

Al concluir, la pantalla de venta permanecerá como se muestra en la figura 4.21 por un breve momento para después reiniciarse y así limpiar todos los campos.

Venta Registro Eliminar Búsqueda Detallada

Buscar Alcohol 90%

Producto: Alcohol 90%. | \$ 40. | Existencia: 30. | Estante 2.

2 Enviar

Producto	Precio	Contenedor	Existencia	Retiro
Alcohol 90%	40	2	30	1

Finalizar Total 40

Paga con 100

Cambio 60

Figura 4.21. Prueba de venta al terminar.

4.3.2 Ventana de registro

Si se desea añadir un nuevo producto o actualizarlo, se debe acceder a esta ventana (figura 4.22). Cualquiera que sea el caso, es necesario llenar el formato según se pide. Al terminar de llenar los cuadros con la información pertinente, se debe pulsar el botón añadir. Si algún parámetro falta, el programa advertirá al usuario sobre esto, como se observa en las figuras 4.24 y 4.26, y una vez se haya realizado la tarea de manera correcta, se abrirá una nueva ventana en donde se informará que el registro se llevó a cabo con éxito, apreciable en las figuras 4.23 y 4.25.

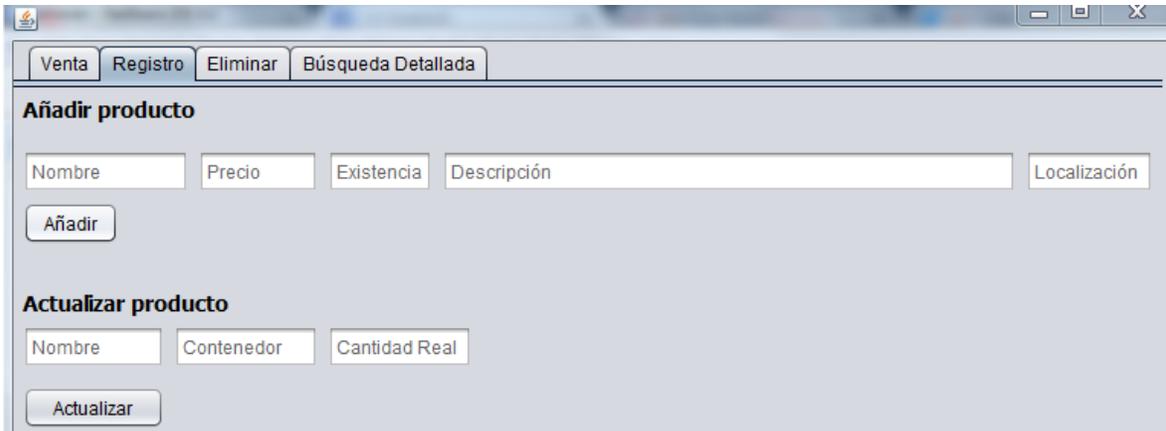


Figura 4.22. Ventana de registro.

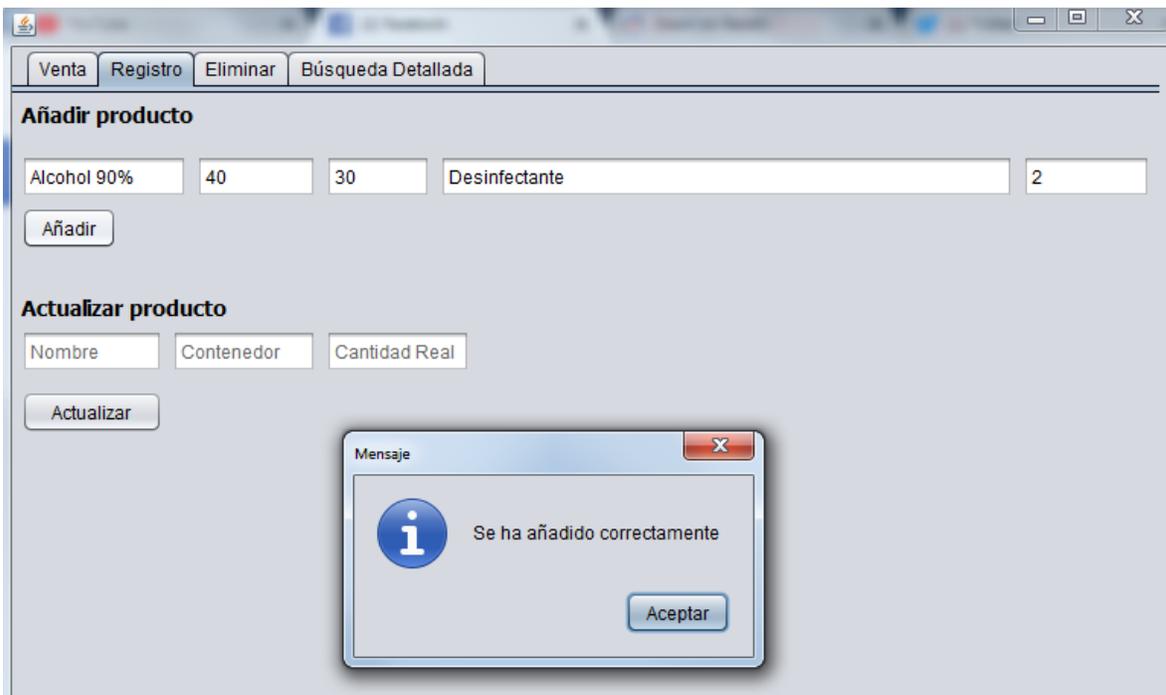


Figura 4.23. Producto añadido correctamente.

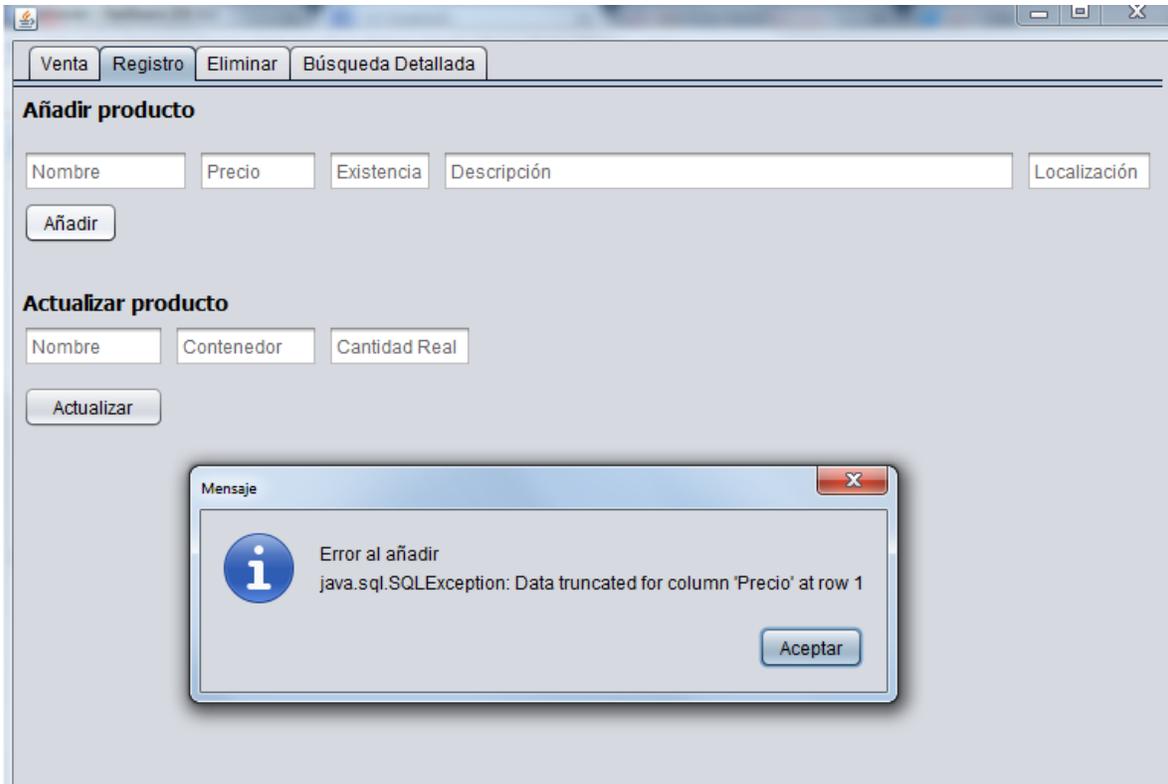


Figura 4.24. Prueba de registro con error.

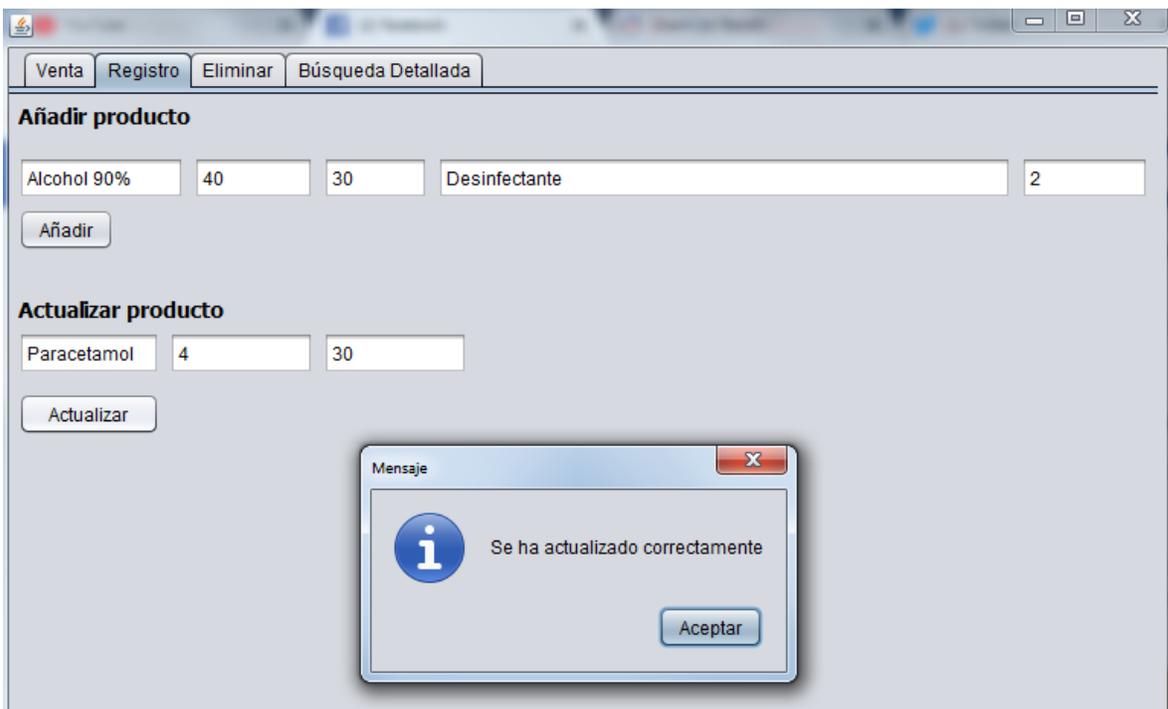


Figura 4.25. Producto actualizado correctamente.

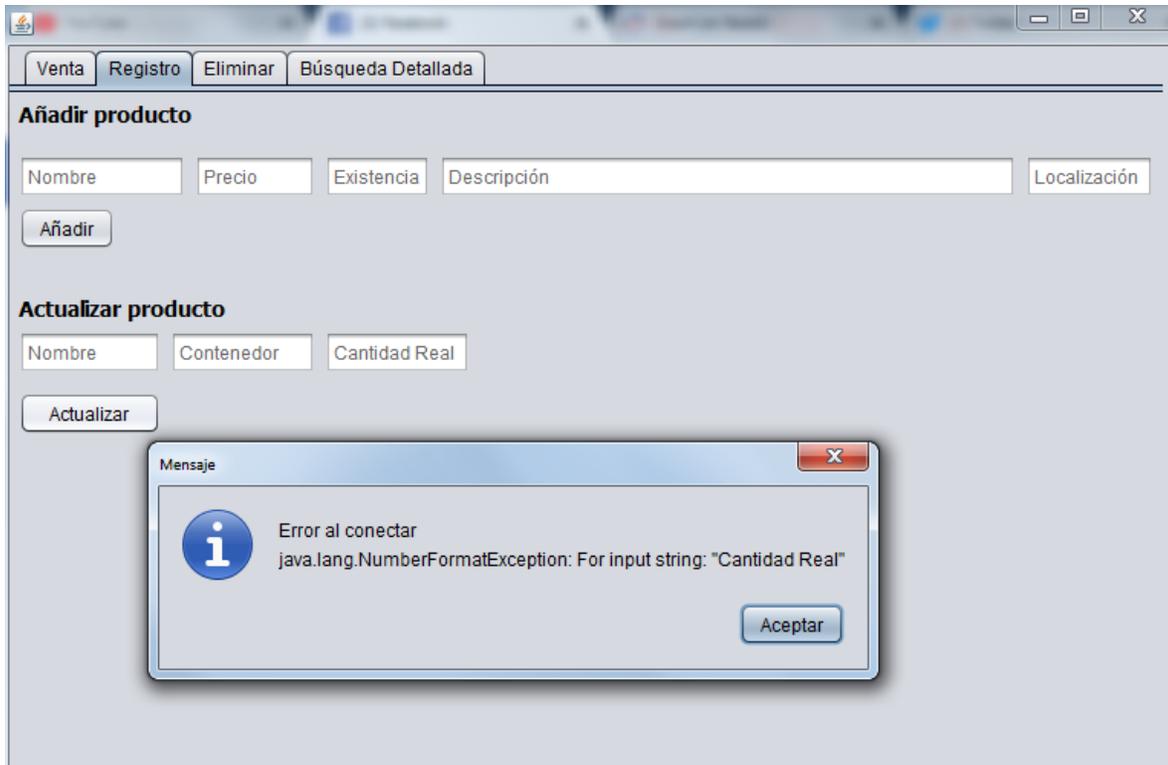


Figura 4.26. Producto actualizado incorrectamente.

4.3.3 Ventana de eliminación

De ser necesario, es posible eliminar del sistema un producto registrado, para esto se debe dar clic en la pestaña “Eliminar” (figura 4.27). Bastará con escribir el nombre del producto y el contenedor en donde éste se almacena.

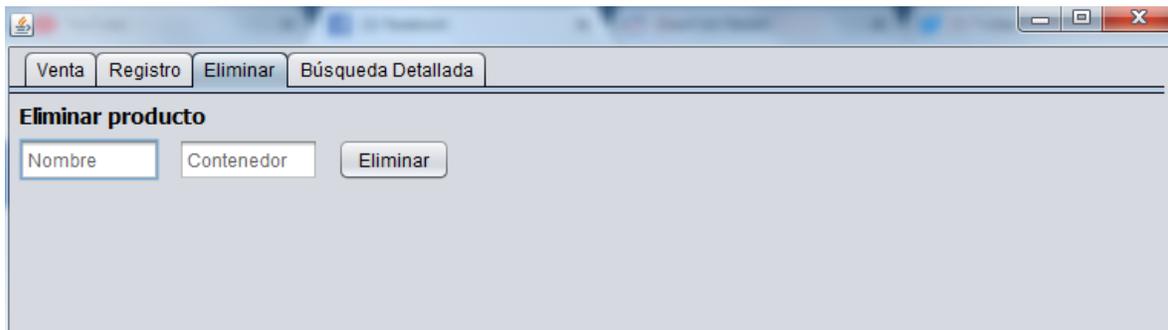


Figura 4.27. Ventana de Eliminación.

Al llevar a cabo la tarea de manera satisfactoria, se generará un mensaje de diálogo que lo indicará, como se muestra en la figura 4.28.

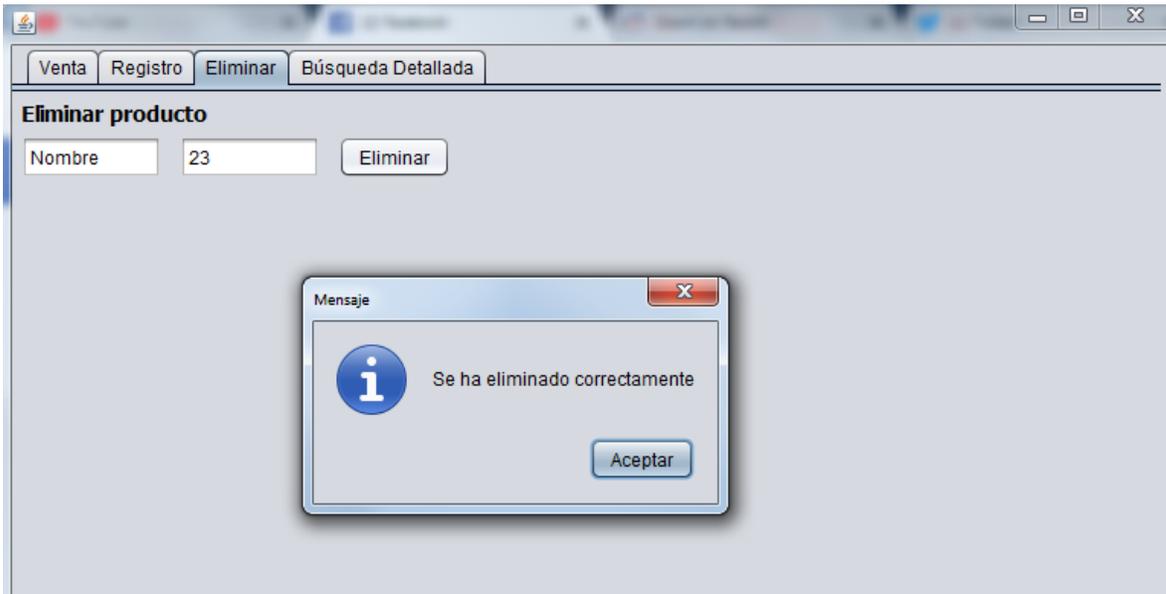


Figura 4.28. Producto eliminado correctamente.

En caso de que falte de llenar uno o ambos campos, se le informará al operador (figura 4.29).

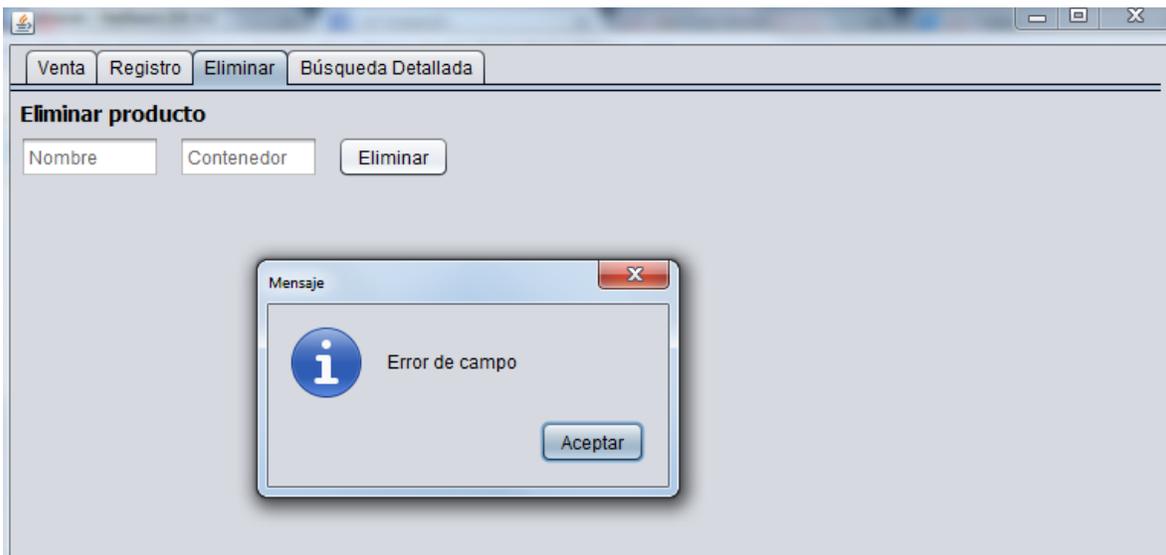


Figura 4.29. Error al eliminar.

4.3.4 Ventana de búsqueda detallada

Por último, si se desea ver toda la información referente a los productos o ventas de una fecha específica, se tendrá esta pestaña. Sólo será necesario pulsar el botón cargar en caso de que se requiera conocer la información sobre los bienes. En caso de que se desee consultar las ventas, se deberá escribir la fecha en la cual ocurrieron las ventas. La información aparecerá en los recuadros de abajo, como se aprecia en la figura 4.30.

The screenshot shows a software window with a title bar and four tabs: 'Venta', 'Registro', 'Eliminar', and 'Búsqueda Detallada'. The 'Búsqueda Detallada' tab is active. Below the tabs, there is a section titled 'Inventario completo' with a 'Cargar' button. A table displays inventory items with columns for 'Nombre', 'Precio', 'Existencia', 'Descripcion', and 'Localizacion'. Below this is a section titled 'Buscar ventas' with a 'Buscar' button and a date input field containing '26/11/2017'. A second table shows search results with columns for 'Cantidad', 'Total', 'Fecha', and 'Producto'.

Nombre	Precio	Existencia	Descripcion	Localizacion
paracetamol	50	30	caja	4
Zapato	350	38	Zapato café para dama	37
Alcohol 90%	40	30	Desinfectante	2

Cantidad	Total	Fecha	Producto
2	100	26/11/2017	paracetamol
2	100	26/11/2017	paracetamol
3	168	26/11/2017	Nombre
2	100	26/11/2017	paracetamol

Figura 4.30. Ventana de Búsqueda detallada.

Capítulo 5. Análisis y validación de resultados

Una vez finalizado el software y armado el proyecto, se procedió a realizar distintas pruebas al sistema.

Se comenzó con la verificación del correcto funcionamiento de todos los motores con sus respectivos drivers, así como el desplazamiento adecuado del sistema de agarre por las guías de la estructura, para esto se midió el voltaje en todas las entradas y salidas de los drivers y después de ver que eran alimentadas de manera adecuada se le mandaron las coordenadas pertenecientes a la ubicación de diferentes contenedores para que llevara a cabo la tarea.

Se decidió mover la zona de acceso al centro de la estructura debido a que los cálculos hechos para conocer el peso máximo se hicieron a la mitad de la estructura. Por esta razón al intentar mover la carga a uno de los extremos, ya sea izquierdo o derecho, no es posible para los motores soportarlo puesto que es como si un motor estuviera cargando todo el peso por sí solo.

En las pruebas realizadas también se utilizaron diversos objetos de diferente peso y distribución para analizar el comportamiento del robot, el cual fue satisfactorio.

Debido al presupuesto limitado y a que por ahora el robot sólo es para fines demostrativos, se construyeron tres cajas contenedoras de artículos y se rotaron entre diferentes posiciones del estante para así verificar que el desplazamiento sea adecuado.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

La interfaz hombre máquina se logró desarrollar de manera exitosa, se pueden cumplir las necesidades que necesita cualquier tipo de negocio en el que el dependiente es quien tiene que hacer la búsqueda de los bienes solicitados. Debido a que es lo más minimalista posible, la interfaz no presenta un reto a la hora de aprender a utilizarla, lo que la hace muy amigable. La base de datos se logró implementar de manera satisfactoria, englobando todo lo necesario para la hora de administrar

En cuanto a la construcción del estante especial, con el objetivo de generar el menor costo posible, se optó por fusionar 3 estantes comerciales y sólo cambiar los soportes principales de tal manera que se cumplieran nuestros objetivos en la manera más acercada posible, dando como resultado un estante de 250 cm x 250 cm x 60 cm. Cumpliendo de manera satisfactoria nuestro objetivo.

Debido a que dos de los motores propuestos en un principio resultaron defectuosos, y al existir al momento de la compra una mejor oferta de otro proveedor, se optó por utilizar motores NEMA 23 de alto torque, dando como resultado una capacidad máxima de hasta 5 kg en la parte central del almacén, mientras que en los extremos es de 1.5 kg.

El tiempo que tarda en llevar a cabo la tarea más exigente fue de 29 segundos, logrando así reducir el tiempo propuesto en un inicio, esto gracias al cambio de motores.

Las medidas de seguridad implementadas fueron un paro de emergencia y el delimitar la zona de trabajo de la estructura. Debido a cuestiones de tiempo y falta de recursos no fue posible el recubrir la estructura con plástico corrugado o con algún otro tipo de material.

El costo efectivo final de nuestro sistema robótico automatizado para depósito y extracción de bienes de un almacén fue de \$ 14 000.00 MXN, lo cual es menor a los \$ 15 000.00 MXN propuestos al inicio del proyecto, pero teniendo en cuenta que para poder completar la compra de todas las cajas hacen falta aproximadamente \$1 100.00 MXN, el costo final del proyecto sería de \$15 100.00 MXN que es una cifra muy cercana a la establecida en un principio, por lo que se puede afirmar que este objetivo se cumplió de manera satisfactoria.

Se recomienda el poner la estructura cercana a una pared para evitar riesgos.

Capítulo 7. Trabajo a futuro

El implementar la barrera de seguridad que cubre a toda la estructura es una de las principales actividades que se pueden llevar a cabo si se desea continuar con este proyecto, puesto que la única razón por la que no se implementó fue por la falta de tiempo.

Al estar trabajando constantemente en este proyecto y realizar pruebas, se llegó a la conclusión de que varias mejoras pueden ser implementadas. Entre ellas está la implementación de una segunda guía en el eje x. De esta forma el torque que tiene que soportar el perfil en este eje es reducido, lo que disminuiría en gran medida el pequeño giro que presenta el robot al levantar una caja de su posición en el almacén.

En cambio, si se deseara dejar la estructura como está actualmente, se puede cambiar el sistema de agarre por una pinza mecánica que tiene por función el tomar una caja de medicamento y no todo un lote, lo que hace que se disminuya el torque originado al levantar uno de los bienes almacenados.

Otra de las ideas que surgieron al hacer pruebas, es el implementar un sensor de presencia en el sistema de agarre. De esta manera el robot sólo podrá llevar a cabo la tarea de regresar algo a su posición si el usuario verdaderamente colocó el producto en la espátula del robot.

Costos

Tabla 4. Costo de materiales		
Descripción	Costo estimado	Cantidad
Caja MDF	\$ 25.00 C/U	3
Estructura de Almacén	\$ 389.00	3
Final de carrera	\$ 5.00 C/U	6
Paquete (Guías lineales, motores NEMA 17, Banda)	\$ 2800.00 C/U	2
Guías lineales (1 m)	\$ 351.00	4
Doble tuerca V-Slot	\$ 17.55 C/U	4
Policarbonato	N/A	N/A
Aceros varios	\$ 3,500.00	1
Motor Nema 23	\$ 750.00	2
Cables varios	\$ 400.00	1
Tramo MDF ¼"	\$ 70.00	1
Guías para cajón	\$ 120.00	1
Tornillería	\$ 130.00	1
total	\$ 13 983.00	

Fuentes de consulta

- [1] M. G. M. Garza, *El impacto de la robótica en la industria Mexicana*, Cd. de México, 2008.
- [2] Noega Systems, *Catálogo Almacenes Automáticos*, Gijón, 2014.
- [3] Apohteka, «Apohteka,» [En línea]. Available: http://apotheka.com/wp-content/uploads/2016/01/Catalogo-Automatizaci%C3%B3n-StockLight_APOTHEKA_WEB.pdf.
- [4] KLS Pharma Robotics, «Imfarmacias,» 2015. [En línea]. Available: http://www.imfarmacias.es/uploads/quotlas_farmacias_automatizadas_9603_09110842.pdf.
- [5] Universidad de Guadalajara, «Robótica,» [En línea]. Available: <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/>.
- [6] A. Barrientos Cruz, *Fundamentos de robótica*, Segunda ed., España: Mc Graw Hill, 1997.
- [7] IDPSA, «IDPSA,» [En línea]. Available: <http://www.idpsa.com/GantryRobots.aspx>. [Último acceso: 08 09 2016].
- [8] Schneider Electric, «equiposdidacticos,» [En línea]. Available: http://www.equposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY_WEB.pdf. [Último acceso: 06 09 2016].
- [9] J. J. Craig, *Robótica*, México: Pearson Educación, 2006.
- [10] C. G. Morcillo, «Centro de excelencia de software libre,» [En línea]. Available: <http://www.esi.uclm.es/www/cglez/fundamentos3D/04.05.FKIK.html>. [Último acceso: 2016].
- [11] W. R. M. U. Ericson Gutierrez, «Rev. Perú. med. exp. salud pública,» *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, pp. 61-65, 2009.

[12] S. J. Worley MM, «Pharmacist Patient Relationship: Factors Influencing Quality and Commitment,» *Journal of Social and Administrative Pharmacy*, p. 158, 1999.

[13] A. R. S. A. J. A. H. P. Camacho F, «The relationship between patients perceived waiting time and office based practice satisfaction,» *N C Med J.*, pp. 406-13, 2006.

[14] Mercadolibre, «Mercadolibre,» [En línea]. Available:
http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-568750170-thsl-210-8d-tornillo-acme-husillo-varilla-roscada-_JM.

[15] A. O. Baturone, *Robótica: manipuladores y robots móviles*, España: Boixareu Editores, 2001.

[16] Openbuilds, «Openbuilds México,» [En línea]. Available:
<https://openbuilds.com.mx/tienda>.

[17] Thomson, «Thomson,» [En línea]. Available:
<http://www.thomsonlinear.com/website/esm/esm/index.php>.

[18] Rodamont, «Rodamont,» [En línea]. Available:
<http://www.rodamontt.cl/>.

[19] Maxon Motor, «Maxon Motor,» Maxon Motor, [En línea]. Available:
http://www.maxonmotor.es/maxon/view/content/DC-max-Detailsite;JSESSIONID=8A92CFE9E8B687B311FF17B0A69BBD9A.node1?etcc_med=Product&etcc_cmp=%2fmaxon%2fview%2fcontent%2fDC-max-Detailsite%3fnoMobile&etcc_cu=onsite&etcc_var=%5bes%5d%23es%23_d_&etcc_plc=product.

[20] «Plastitec,» Plastitec Acrílicos y Policarbonato, [En línea]. Available:
<https://www.plsatitec.com.mx/laminas-policarbonato.html>. [Último acceso: 30 Mayo 2017].

[21] Arduino, «Arduino,» Arduino, [En línea]. Available:
<https://www.arduino.cc/>.

Texas Instruments, «Texas Instruments,» Texas Instruments, [En
[22] línea]. Available: <http://www.ti.com/tool/msp-exp430g2>. [Último acceso:
Mayo 2017].

Pololu Robotics & Electronics, «Pololu Robotics & Electronics,» Pololu
[23] Robotics & Electronics, [En línea]. Available:

<https://www.pololu.com/product/2133/pictures>.

Plastitec, «Plastitec Acrilicos y Policarbonato,» Plastitec, [En línea].
[24] Available: <http://www.plastitec.com.mx/laminas-policarbonato.html>.

Anexos

Anexo A. Dimensiones de estructura

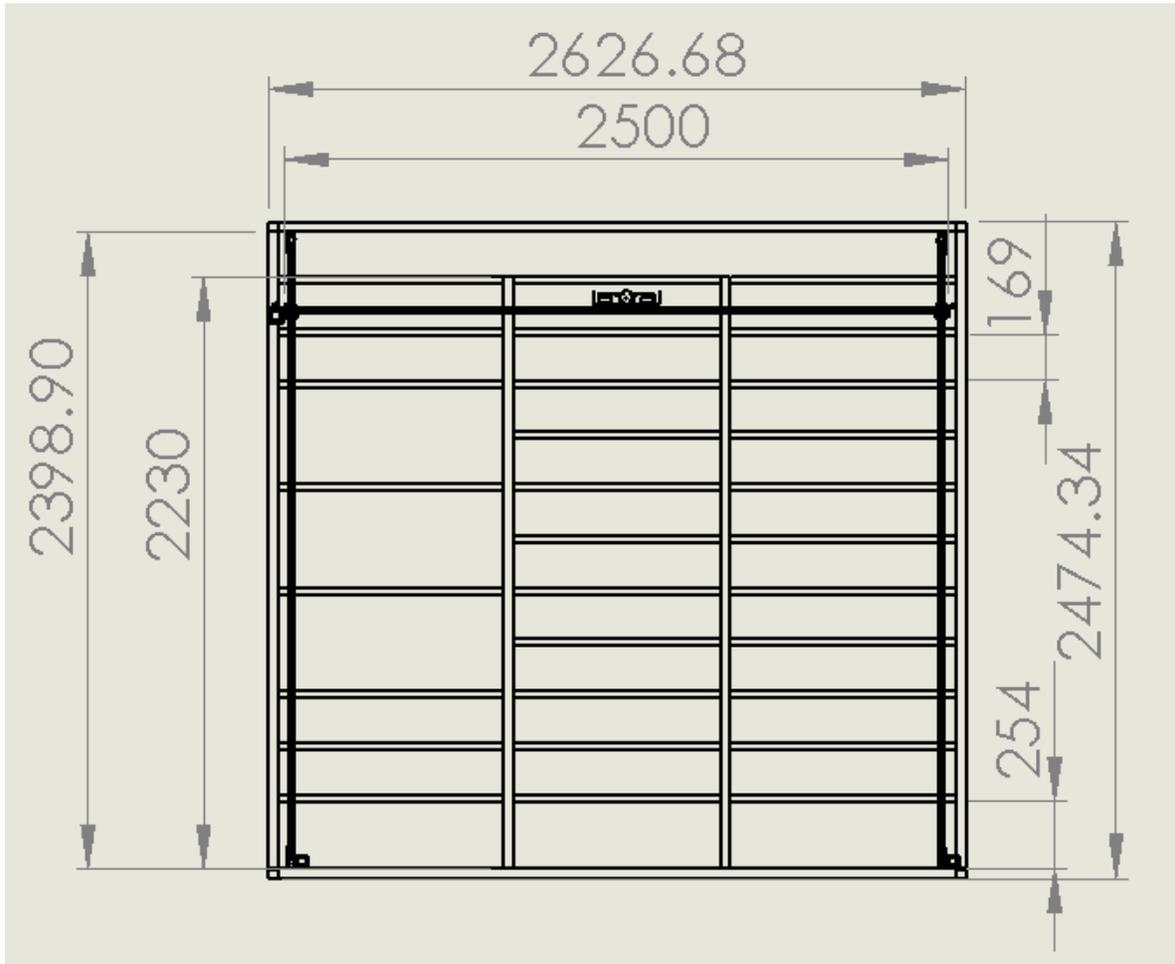


Figura A.1. Vista frontal de la estructura.

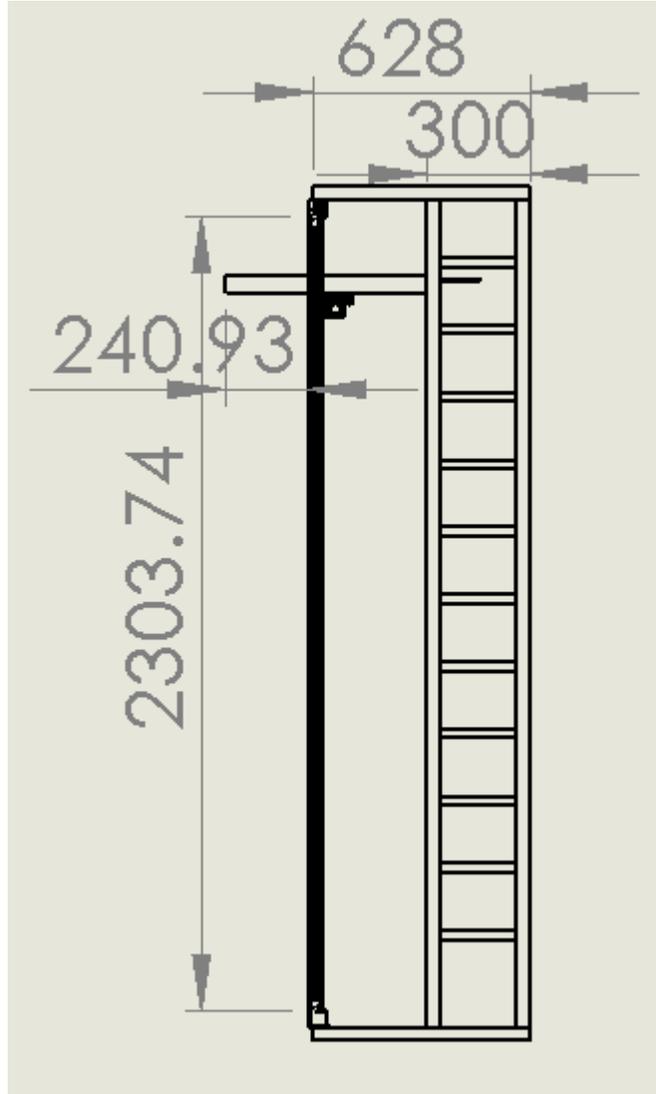


Figura A.2. Vista lateral de la estructura.

Anexo B. Dimensiones de espátula

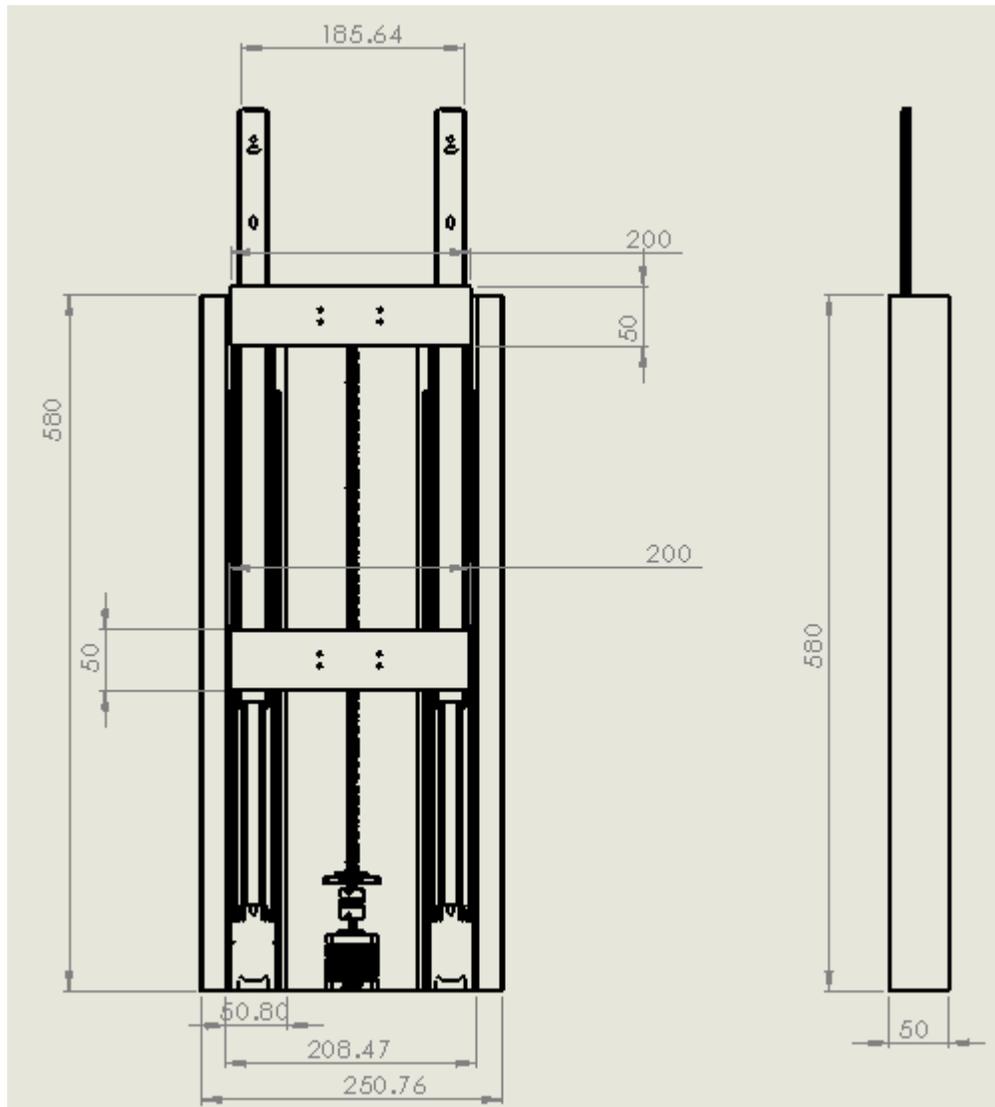


Figura B.1. Vista superior y lateral de la espátula.

Anexo C. Motor a pasos NEMA 17

Anexo D. Motor a pasos NEMA 23