

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AS/RS PARA
ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE ARTÍCULOS ELECTRÓNICOS DE
UNA BODEGA**

AUTORES:

NATALIA BAHOS LEON

BRAULIO JOSÉ BLANCO CABALLERO

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIA
BUCARAMANGA**

2019

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA AS/RS PARA
ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE ARTÍCULOS ELECTRÓNICOS DE
UNA BODEGA**

AUTORES:

**NATALIA BAHOS LEON
BRAULIO JOSÉ BLANCO CABALLERO**

DIRECTOR:

DARIO JOSÉ HERNÁNDEZ BOLÍVAR

CODIRECTOR:

JOHANN BARRAGÁN GÓMEZ

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIA
BUCARAMANGA**

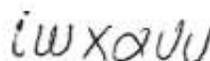
2019

Notas de Aceptación



M. Sc. Darío Hernández Bolívar

Director



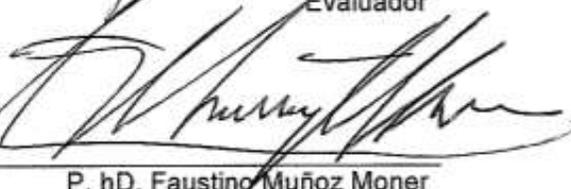
M. Sc. Johann Barragán Gómez

Codirector



M. Sc. Carlos Forero Gonzales

Evaluador



P. hD. Faustino Muñoz Moner

Evaluador

Bucaramanga, 09 de Julio 2019.

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios por darme la fuerza para continuar, y seguir adelante para poder terminar esta etapa de mi vida.

Dedico de manera especial este trabajo de grado a mi Abuelo (q.e.p.d) por todos los momentos que estuviste conmigo, compartiendo tus experiencias, por tu alegría y amor, gracias.

A mi familia por el apoyo incondicional, especialmente a mi madre por creer en mí y darme la motivación para concluir mi carrera.

A los profesores por los conocimientos compartidos y la formación dada durante el transcurso de mi carrera.

A mi compañero de grado por brindarme su amistad y trabajar a mi lado, siempre con una actitud positiva y divertida.

Natalia Bahos León

Le agradezco a Dios por siempre estar a mi lado, poniendo en mi camino nuevas y diferentes formas de superación espiritual e intelectual.

También dedico este trabajo de grado a mis padres por su apoyo incondicional durante el transcurso de la carrera, ayudándome directa e indirectamente a concluir estos años de esfuerzo y dedicación.

A Gabriel Franco por su interminable paciencia y colaboración, de todo corazón muchísimas gracias.

Finalmente a mi compañera Natalia por trabajar junto a mí no solo en el proyecto sino en toda la carrera, forjando una amistad invaluable.

Braulio Blanco Caballero

AGRADECIMIENTOS

Queremos dar gracias a la Universidad Autónoma de Bucaramanga, por acogernos en la facultad durante el tiempo de aprendizaje como ingenieros. A todos los profesores que contribuyeron a nuestra formación compartiendo su conocimiento con nosotros, también a los auxiliares de los laboratorios de electrónica y manufactura por ayudarnos con la instrumentación y realización de nuestros proyectos.

En especial dar nuestra gratitud a la empresa de artículos electrónicos Vistronica® por el apoyo económico brindado para la realización de este proyecto, y más aún agradecer a el director Darío Hernández Bolívar y codirector Ms.c. Johann Barragán Gómez, por sus asesorías y acompañamiento continuo durante la realización del proyecto y evaluadores M. Sc. Carlos A. Forero y el PhD. Faustino Muñoz por sus aportes que ayudaron a mejorar y poder cumplir a cabalidad con el proyecto propuesto.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	12
2.	OBJETIVOS.....	13
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3.	ANTECEDENTES.....	14
4.	ESTADO DEL ARTE.....	15
4.1.	PATENTES.....	15
4.2.	PROYECTOS DE GRADO	18
5.	MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO	20
5.1.	SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO	20
5.2.	NORMATIVA	30
6.	DISEÑO MECANICO.....	33
6.1.	MODELAMIENTO MATEMÁTICO	33
6.1.1.	CINEMÁTICA DIRECTA	33
6.2.	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA	35
6.3.	ESTANTERÍA	36
6.4.	DIMENSIONAMIENTO DE CAJAS.....	36
6.5.	SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA.....	37
6.6.	DISEÑO DE ACTUADOR FINAL.....	38
6.6.1.	ANÁLISIS DEL SOPORTE PARA EL SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA	40
6.7.	SISTEMA DE GENERACIÓN DE MOVIMIENTO POR EJES	41
6.8.	SISTEMA PARA GARANTIZAR QUE NO HALLA DEFORMACIÓN	42
6.9.	ANÁLISIS ESTÁTICO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD	43
6.10.	SISTEMAS DE SUJECIÓN	53
6.11.	DISEÑO DEL MECANISMO.....	53
7.	DISEÑO ELECTRÓNICO	55

7.1.	VELOCIDAD ANGULAR DEL MOTOR.....	55
7.2.	TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO	55
7.3.	PAR CONTINUO Y PAR DE ACELERACIÓN	56
7.4.	PAR NECESARIO PARA EJERCER MOVIMIENTO	57
7.5.	MOTOR PASÓ A PASO NEMA 17	59
7.6.	CONTROLADOR PARA EL MOTOR PASÓ A PASO	60
7.6.1.	ESQUEMA DE CONEXIONES DE Y PINES	61
7.7.	CONTROL A LAZO ABIERTO	63
8.	BASE DE DATOS	64
8.1.	INVENTARIO	64
8.2.	MATRIZ DE ENVIÓ	65
9.	INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA.....	66
9.1.	SOFTWARE	66
9.2.	PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ EN VBA EXCEL	67
9.3.	FUNCIONES DE LOS COMANDOS.....	68
9.4.	LIBRERÍAS PARA LA COMUNICACIÓN SERIAL	69
10.	METODOLOGÍA	70
11.	RESULTADOS ESPERADOS	72
12.	PLAN DE PRUEBAS PARA LA VALIDACION.....	73
12.1.	PRUEBAS DE CORRIENTE NOMINAL	73
12.1.1.	ANALISIS DE RESULTADOS	75
12.1.2.	DATOS DE CORRIENTE PARA EL ACTUADOR FINAL.....	75
12.1.3.	ERROR PERMITIDO EN FUNCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO.....	75
12.2.	PLAN DE DESLIZAMINETO	76
12.3.	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN BASE DE DATOS	80
12.4.	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN INTERFAZ-CONTROLADO	80
14.	PRESUPUESTO.....	82
15.	CONCLUSIONES	84
16.	BIBLIOGRAFÍA.....	85
17.	ANEXOS.....	90
17.1.	CODIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO.....	90

17.2. PLANOS DE DISEÑO (SOLIWORKS)	97
17.3. MANUAL DE OPERACIÓN	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Patente nº 9.856.083 de Estados Unidos [4]	15
Figura 2. Patente N° 9.796.527 de Estados Unidos [5].....	16
Figura 3. Patente N° 27.05.2015 de Estados Unidos [6].....	17
Figura 4. Patente 4456587 de estados Unidos [7]	17
Figura 5. Almacenamiento de bulto [17]	21
Figura 6. Almacenamiento en estantería [17]	21
Figura 7. Almacenamiento en cajones [17].....	21
Figura 8. Sistema de almacenamiento por acumulación [18]	22
Figura 9. Sistema de almacenamiento dinámico [18]	22
Figura 10. Sistema de almacenamiento convencional [18].....	23
Figura 11. Sistema de almacenamiento móvil [18]	23
Figura 12. Almacén Automatizado [15]	25
Figura 13. Transelevadores Westfila® [21].....	26
Figura 14. Mini-load ATOX [23].....	27
Figura 15. FRS (Almacenamiento de rotación rápida) [18]	28
Figura 16. Sistema de elevación vertical [18]	28
Figura 17. Coordenadas para análisis de cinemática [Autores]	33
Figura 18. Diagrama de bloques para función de trasferencia [Autores]	35
Figura 19. Estantería definida por Vistronica® [Autores]	36
Figura 20. Base propuesta para almacenar cajas [Autores]	38
Figura 21. Diseño de actuador final [Autores]	38
Figura 22. Diagrama de cuerpo libre de actuador final [Autores].....	39
Figura 23. Estudio de deformación acrílico [Autores].....	39
Figura 24. Análisis de deformación en Aluminio [Autores].....	40
Figura 25. Análisis de deformación del soporte [Autores].....	41
Figura 26. Sistema para evitar deformación [Autores].....	42
Figura 27. Simulación estática para carga máxima [Autores]	43
Figura 28. Análisis de deformación [Autores].....	44
Figura 29. Estudio de pandeo [Autores].....	45
Figura 30. Deformación en ejes verticales [Autores].....	46
Figura 31. Diseño de dos soportes [Autores].....	46
Figura 32. Diseño de columnas base [Autores]	47
Figura 33. Medidas establecidas para la columna [Autores].....	48
Figura 34. Diseño del actuador que genera movimiento [Autores]	50
Figura 35. Diagrama de momentos y esfuerzos realizado en Beam Diagrams Module [Autores].....	51
Figura 36. Simulación de deformación [Autores]	52
Figura 37. Chumacera con rodamiento de 8 [mm] [Autores]	53

Figura 38. Cojinete para eje de deslizamiento lineal de 8 [mm].....	53
Figura 39. Diseño Mecánico [Autores]	54
Figura 40. Motor NEMA 17 [39]	59
Figura 41. Motor pasó a paso NEMA [[40]]	60
Figura 42. Driver DRV8825 [41].....	60
Figura 43. Esquema de conexiones [40].....	61
Figura 44. Conexión a arduino [40].....	62
Figura 45. Esquemático del circuito integrando todos los elementos [Autores]	62
Figura 46. Control a lazo abierto [Autores]	63
Figura 47. Entorno grafico del inventario [Autores]	64
Figura 48. Ejemplo de selección [Autores].....	65
Figura 49. Interfaz gráfica [Autores].....	66
Figura 50. Código orientado a objetos [Autores].....	67
Figura 51. Imagen de interfaz final [Autores]	67
Figura 52. Botón de inicio [Autores]	68
Figura 53. Botón de ComboBox [Autores]	68
Figura 54. Botón Borrar [Autores]	68
Figura 55. Botón Ingresar [Autores]	68
Figura 56. Botón Extraer [Autores].....	68
Figura 57. Botón Eliminar [Autores]	69
Figura 58. Botón ListBox [Autores]	69
Figura 59. Botón conectar [Autores]	69
Figura 60. Botón IR [Autores].....	69
Figura 61. Metodología modelo en V [46]	70
Figura 62. Diagrama de bloques [Autores]	73
Figura 63. Disposición de la estantería [Autores].....	77
Figura 64. Desplazamiento a la izquierda [Autores].....	77
Figura 65. Comprobación de desplazamiento [Autores]	78
Figura 66. Comprobación del desplazamiento vertical Ascendente [Autores]	78
Figura 67. Comprobación del desplazamiento del actuador [Autores].....	79
Figura 68. Base de datos e interfaz [Autores]	80
Figura 69. Visualización del puerto serial arduino [Autores]	80
Figura 70. Primera parte del cronograma [Autores]	81
Figura 71. Segunda parte del cronograma [Autores]	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de almacenamientos básicos [17]	21
Tabla 2. Tabla de ángulos por Denavit-Hartenberg [Autores].....	33
Tabla 3. Evaluación QFD [Autores].....	37
Tabla 4. QFD sistema de generación de movimiento [Autores]	42
Tabla 5. Calculo de módulo elástico [Autores]	49
Tabla 6. Resumen columnas [Autores]	52
Tabla 7. Descripción Motor NEMA [39].....	59
Tabla 8. Resolución de cada paso del motor [42]	61
Tabla 9. Funciones de comandos parte 1 [Autores].....	68
Tabla 10. Funciones de comandos parte 2 [Autores].....	69
Tabla 11. Tablas de corriente para eje 'x' [Autores].....	73
Tabla 12. Tablas de corriente para eje "Y" [Autores]	74
Tabla 13. Tablas de corriente para eje 'x' con carga [Autores]	74
Tabla 14. Tablas de corriente para eje 'y' con carga [Autores]	74
Tabla 15. Tabla de corriente eje "Z" [Autores]	75
Tabla 16. Error en milímetros del desplazamiento [Autores]	76

1. INTRODUCCIÓN

En un escenario donde la globalización de los mercados y la alta competitividad imponen cada día nuevos retos y exigencias a las empresas que desarrollan sus actividades en el ámbito de servicio y distribución de productos, la implementación de un sistema de automatización se vuelve un elemento esencial que contribuye al aumento de la productividad, eficiencia y disminución de costos en sus distintos procesos.

Para el año 2020 se proyecta que el grado de automatización en el sector empresarial colombiano será de entre el 25% al 30%, lo cual implica un enorme reto en materia de apropiación de la tecnología y mejoramiento de las competencias de los empleados. [1]

Vistronica® es una empresa colombiana creada en el municipio de Fusagasugá, Cundinamarca, dedicada a la venta de componentes electrónicos en todo el territorio colombiano a través de internet. Se caracteriza por brindar los mejores precios del mercado, gracias a la red de proveedores que se han adquirido en Asia, Europa y América, permitiendo así tener contacto directo con diversos fabricantes, quienes cumplen con los más altos estándares de calidad y a los mejores precios, al ser importadores directos. [2] Actualmente la empresa observa que se maneja de una forma ineficiente el almacenamiento de sus productos, dada la gran cantidad de artículos que esta empresa ofrece, no le permite fácilmente llevar una organización por métodos convencionales, esto se deriva en pérdida de materiales y en tiempos excesivos a la hora de buscar, encontrar y recoger un producto lo cual puede incrementar el tiempo de espera del cliente para recibir el artículo encargado y hoy en día el mercado exige disminuir el tiempo de despacho además para esta empresa es importante acortar los tiempos de espera de sus clientes.

El proyecto propuesto se basa en la necesidad de mejorar los tiempos de almacenamiento y extracción de los artículos de la bodega, optimizando la búsqueda y manipulación de los elementos disponibles en la bodega, en conjunto a la creación de una base de datos la cual llevará el conteo de inventario y orden de despachos, además un manual de operaciones y/o mantenimiento para que se pueda aplicar el debido manejo tanto a la máquina AS/RS (Sistema de Almacenamiento y Recuperación Automatizado) como a la interfaz propuesta, de esta forma se piensa satisfacer la necesidad planteada por el propietario de la empresa bogotana.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una máquina AS/RS para la automatización del almacenamiento y extracción de artículos de una bodega.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un mecanismo que efectúe un desplazamiento en un plano vertical para almacenar y extraer los elementos de una bodega de mínimo de un área de un metro cuadrado.
- Seleccionar la instrumentación electrónica para generar el movimiento de la máquina AS/RS para almacenar y extraer los elementos de una bodega de máximo un kilogramo de peso.
- Desarrollar la interfaz hombre-máquina para manipular la máquina AS/RS y contar los artículos de una bodega, así como generar una base de datos
- Validar el funcionamiento de la maquina AS/RS y su interfaz.

3. ANTECEDENTES

Proyecto planteado durante el desarrollo y puesta en marcha del laboratorio de automatización Industrial de la universidad Autónoma de Bucaramanga, se pensó en el Diseño de un AS/RS (*Automated Storage & Retrieval System*), para implementación didáctica. [3] Debido a las necesidades presentadas en cuanto a material didáctico en aplicaciones industriales reales, la característica primordial de este es ser didáctico y presentar módicos costos.

El AS/RS construido se acoplaría dentro de una celda de manufactura la cual se ubicará en dicho laboratorio, con el objetivo de plantear el diseño como un estudio económico encaminado a la construcción de un sistema de almacenamiento automático.

4. ESTADO DEL ARTE

Para la elaboración de este proyecto se realizó una revisión de literatura sobre investigaciones previas de sistemas AS/RS (Sistema de Recuperación y Almacenamiento Automático) que puedan proporcionar aportes para el mismo en cuanto diseño, programación, generación de movimiento y pruebas de validación.

En los últimos años, se han realizado diversos proyectos sobre sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación automática, diversificando su metodología de diseño de acuerdo a las necesidades que desean suplir cada uno de los autores. Los trabajos de mayor importancia en el diseño e implementación de máquinas AS/RS se detallan a continuación:

4.1. PATENTES

- Patente: “*Storage and retrieval system*”, [4] de Estados Unidos, consiste en un sistema automatizado, como se puede observar en la Figura 1. El cual incluye un vehículo de transporte autónomo, una plataforma que transporta el vehículo, un ascensor, una primera y una segunda estación de interfaz de lengüetas conectadas a la plataforma y separadas una de otra. Cada estación formando una interconexión entre el vehículo en la plataforma y el elevador en cada estación para que se transfiera la carga entre el elevador y el vehículo, este último está configurado para elegir una primera carga en la primera estación, atravesando la plataforma y amortiguador la primera llegada. o al menos la posición de la misma en la segunda estación, de modo que tenga múltiples opciones de almacenamiento.

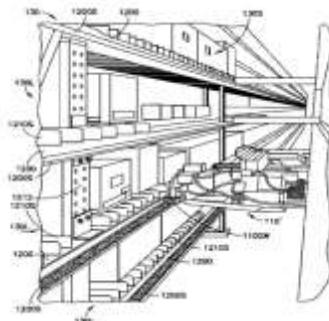


Figura 1. Patente nº 9.856.083 de Estados Unidos [4]

- Patente: “*High density automated storage and retrieval system*”, [5] de Estados Unidos se proporciona un sistema de almacenamiento y recuperación automatizado multidimensional que permite el almacenamiento eficiente de espacio de contenedores dentro de una estructura reticular tridimensional, ver en la Figura 2. Cada contenedor incluye uno o más controladores para enganchar con los rieles de la estructura tridimensional, lo que permite que el contenedor se deslice a lo largo de los rieles en función de un sistema de propulsión, también se proporciona un dispositivo de control para acoplar selectivamente cada contenedor a un carril deseado de la estructura, y para proporcionar energía al sistema de propulsión, moviendo de ese modo el contenedor a una ubicación deseada dentro de la estructura.

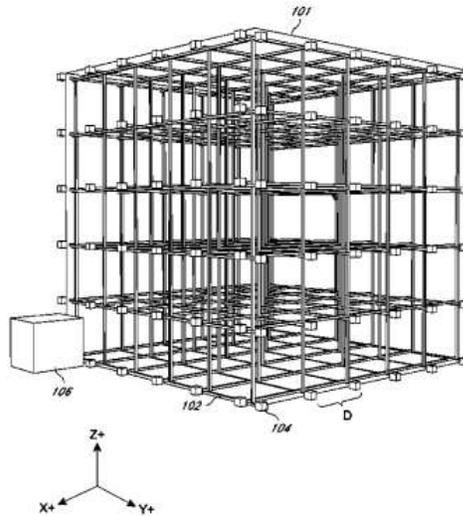


Figura 2. Patente N° 9.796.527 de Estados Unidos [5]

- En la patente titulada: “*Máquina automática de almacenamiento y comisionado para bultos pequeños*”, [6] de Estados Unidos, se diseña una máquina automática de almacenamiento y comisionado para bultos pequeños con al menos una estantería de almacenamiento dotada de superficies para una ubicación ordenada de los bultos pequeños, como se observa en la Figura 3, al menos un aparato de manejo de estantería que puede desplazarse junto a la estantería de almacenamiento y que puede retirar cada vez uno o varios bultos pequeños de una superficie de almacenamiento y transportarlos hasta al menos un lugar de entrega, y un transportador que presenta una cinta y que puede recibir los bultos pequeños, en una sección de recogida del transportador de cinta asociada al lugar de entrega y transportarlos hasta un dispositivo de entrega.

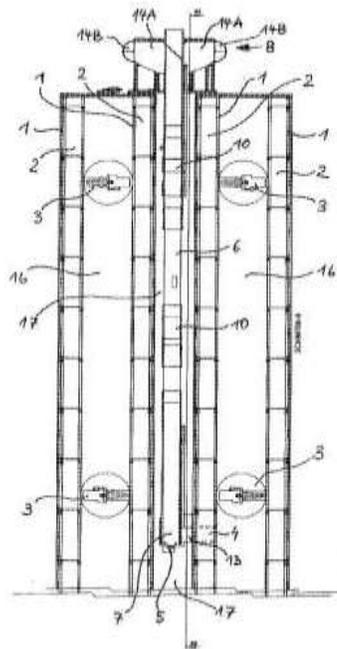


Figura 3. Patente N° 27.05.2015 de Estados Unidos [6]

- Patente: “*Storage and retrieval system rover interface*” [7] de Alemania, se desarrolló un sistema automatizado de almacenamiento y recuperación que incluye al menos un móvil autónomo para transferir carga dentro del sistema e incluye un comunicador y una estructura de almacenamiento multinivel. Observe en la Figura 4. Cada nivel permite el cruce de un móvil autónomo, una estación de registro puesta en ubicaciones predeterminadas y configurado para comunicarse con el receptor para recibir información de identificación móvil, y un controlador enlazado con una estación de registro y configurado para recibir la información de identificación móvil.

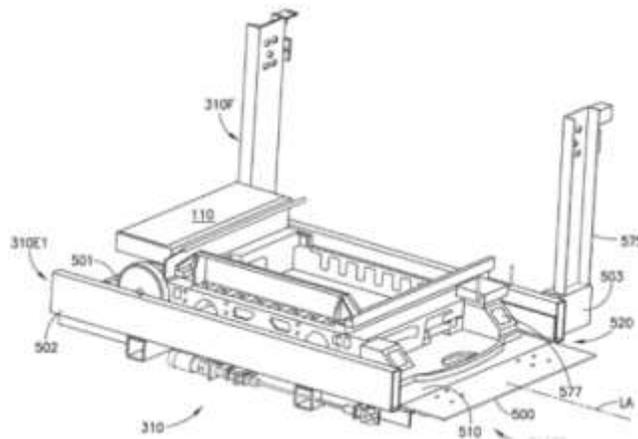


Figura 4. Patente 4456587 de estados Unidos [7]

4.2. PROYECTOS DE GRADO

- El proyecto de grado “Control de un almacén de AS/RS desarrollado en una herramienta gráfica para pruebas y control” [8], realizado por estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá, permite el control y la administración del almacén “*Automated Storage and Retrieval System*” del centro tecnológico de automatización industrial de dicha Universidad. En la cual se maneja un PLC de la empresa FESTO®, donde se utiliza un servidor OPC para la comunicación con la interfaz gráfica desarrollada en LabView® versión 8.5, que permite un control de inventarios, tiempos de recorridos, tiempos de espera y otras variables que permiten medir la eficiencia del sistema.
- Proyecto de grado “Diseño y construcción de un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento/recuperación (AS/RS), para sistemas flexibles de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes” [9] realizado en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE (Escuela Politécnica del Ejército) de Ecuador desarrolló el diseño y construcción de un prototipo de AS/RS, para sistemas flexibles de manufactura en el laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes. Por otro lado, la aplicación también monitorea el estado del proceso de manufactura, por medio de entradas digitales, y atiende sus necesidades en cuanto a materia prima y almacenamiento de productos terminados. Permite identificar materia prima rectangular, cilíndrica y cuadrada mediante el procesamiento de imágenes.
- En el proyecto “Diseño de la estructura física de un AS/RS para fines didácticos” [10] realizado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca de México, este proyecto abarca únicamente el diseño de la estructura física del sistema de almacenamiento tipo AS/RS, de esto se obtiene un modelo virtual desarrollado en “*SolidWorks*”, en este se comprobaron materiales y se mejoró el diseño mediante el uso de análisis por elementos finitos para sustentar dichos elementos y cambios en el modelo.

- En el proyecto “Diseño de un sistema de almacenamiento automático mediante Arduino” [11] realizado en la Universidad de Valladolid de España se trabajó el diseño de un sistema de almacenamiento automático mediante Arduino. Se diseñó y construyó un pequeño almacén de 9 depósitos automatizado utilizando un microcontrolador Arduino MEGA 2560, el sistema cuenta con dos modos de funcionamiento manual y automático con la posibilidad de manejo mediante “joystick” y botones comunicación monitor serial Arduino y aplicación “Android”.
- En el proyecto “Proyecto mecatrónico de brazo robot cartesiano integrado a una celda de almacenamiento y recuperación automatizada AS/RS de un FMS (Sistema Flexible de Manufactura)” [12] se realizó un proyecto de investigación donde se presentan modelos, diseño, simulación e integración de un robot cartesiano para el posicionamiento de piezas en una celda de almacenamiento y recuperación automatizado. Está constituido por un robot cartesiano, un sistema de visión artificial en 3D con software inteligente para la identificación y clasificación de partes prismáticas y cilíndricas.
- En el proyecto “Diseño del sistema automatizado de almacén paletizado” [13] realizado en la Universidad Politécnica de Valencia se desarrolló el diseño, programación, construcción, implementación y ejecución de un sistema de almacenamiento automático mediante una maqueta a escala. El funcionamiento de este sistema de almacenamiento está basado en una maqueta, donde un dispositivo móvil apila las unidades de carga, ya sean “palets” o bultos, en las posiciones que componen la estructura automáticamente, en función de la posición que le corresponda. Dicho sistema de almacenamiento se conoce como paletizado inteligente o automatizado.
- En el artículo “*A scalable low-cost automated storage and retrieval system*”. [14] El propósito de este trabajo es el diseño y el desarrollo de un sistema de bajo costo de AS/RS apropiado para pequeñas y medianas empresas. Primero se realizó una investigación de mercado y se analizaron los sistemas existentes para determinar las especificaciones del nuevo AS/RS. El movimiento del sistema se basa en tres motores de CA uno para cada dirección del movimiento “X”, “Y” y “Z” controlados a través de un PLC. El control de los motores “X” y “Y” a lo largo de la longitud y la altura de una hilera de estantes, respectivamente, se realiza con un inversor y un encoder incremental.

5. MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO

5.1. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Un almacén es una instalación que, junto con los equipos de almacenaje, de manipulación, medios humanos y de gestión, nos permite regular las diferencias entre los flujos de entrada de mercancía (la que se recibe de proveedores, centros de fabricación, etc.) y los de salida (aquella mercancía que se envía a la producción, la venta, etc.). Estos flujos suelen no estar coordinados y esa es una de las razones por las que se precisa definir una óptima logística de almacenamiento. [15]

El almacén es una parte fundamental en cualquier proceso de manufactura o de distribución de productos, ya que de su eficiencia depende en gran parte el desempeño tanto de los procesos de producción y de distribución de producto terminado.

Los indicadores para medir la eficiencia de un almacén son:

- Capacidad de almacenamiento: Cuanto material/producto puedo mantener en mi almacén.
- Densidad de almacenamiento: Relación entre la cantidad de espacio que se requiere para almacenar una determinada cantidad de producto.
- Accesibilidad: Capacidad y facilidad para acceder a cualquier producto almacenado.
- Rendimiento del sistema: Cantidad de operaciones de almacenamiento o entrega que se está en capacidad de realizar en un tiempo determinado.
- Utilización: Cuánto tiempo utilizo el sistema para realizar operaciones de almacenamiento o recuperación de producto, contra el tiempo disponible.
- Disponibilidad: El tiempo en que puedo acceder o almacenar un producto.

Dependiendo de la naturaleza del material, las instalaciones, el equipo y las técnicas de almacenamiento varían mucho, por lo tanto, a la hora de diseñar los sistemas de almacenaje es estrictamente necesario tomar en consideración las características del material como son: su tamaño, el peso, la durabilidad, tamaño de los lotes, aspectos económicos. [16] Por lo tanto se muestra a continuación en la tabla tipos básicos de almacenamiento en bodegas.

Tabla 1. Tipos de almacenamientos básicos [17]

Almacenamiento de bulto (“Bulk Storage”): En este método se dispone de un espacio para un determinado producto, y sobre este se apilan caja sobre caja del producto, Este método se utiliza principalmente para productos de gran volumen o bastante pesados, que dificultan el almacenamiento en otro tipo de sistemas Figura 5.



Figura 5. Almacenamiento de bulto [17]

Almacenamiento en estantería (“Rack Systems”): Este sistema provee una buena densidad de almacenamiento ya que no estaríamos limitados por el apile máximo por caja, y además nos es posible disponer de una caja ubicada en la parte inferior de la estantería, lo que permite almacenar mayor diversidad de productos en un espacio del almacén Figura 6.



Figura 6. Almacenamiento en estantería [17]

Almacenamiento en cajones: En este almacenamiento se dispone de cajones para almacenar diferentes productos en un sistema de cajones, lo que permite obtener una alta densidad de almacenamiento, cuando se tienen diferentes tipos de productos de un tamaño relativamente pequeño Figura 7.



Figura 7. Almacenamiento en cajones [17]

En término de **sistemas de almacenamiento** existen distintas posibilidades, según las características de los materiales que van a ser almacenados, el espacio con que se cuente (y que ahora pasa a ser una restricción) y la necesidad de fluidez (nivel de servicio) del almacén. [18] La ubicación física de los materiales en los almacenes debe ser establecida de manera que permita la localización rápida y sin errores de las unidades. Dentro de los sistemas de almacenamiento más utilizados se encuentran:

- Sistemas de almacenamiento compacto: Esta sistema de almacenamiento también conocido como sistema de almacenamiento por acumulación, facilita la máxima utilización del espacio disponible, tanto en superficie como en altura. Este sistema está desarrollado para el almacenamiento de “*pallets*” que contengan unidades homogéneas, con gran cantidad de paletas por referencia ver Figura 8.

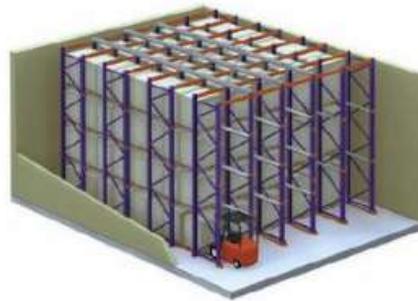


Figura 8. Sistema de almacenamiento por acumulación [18]

- Sistema de almacenamiento dinámico: (ver Figura 9) Es el almacenamiento más utilizada para unidades de rotación perfecta, puesto que su gestión de carga cumple perfectamente con cualquier criterio de entrada y salida. Las estanterías dinámicas para el almacenaje de unidades paletizadas son estructuras compactas que incorporan caminos de rodillos, colocados con una ligera pendiente que permite el deslizamiento de las paletas sobre ellos [18]

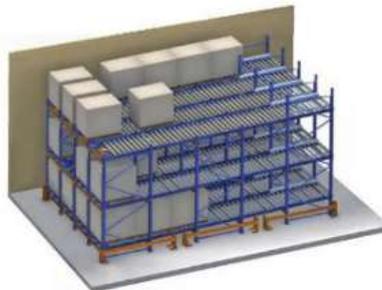


Figura 9. Sistema de almacenamiento dinámico [18]

- Sistema de almacenamiento convencional: (Ver Figura 10) Este tipo de sistema de almacenamiento es el más universal para el acceso directo y unitario a cada paleta. Este es el sistema de almacenamiento industrial por excelencia y consiste en almacenar las unidades combinando mercancías paletizadas con artículos individuales. Los niveles altos se pueden destinar para el almacenamiento de paletas completas y los más bajos para la preparación manual de expediciones o “*picking*”. Este sistema es el más utilizado en aquellos almacenes que necesitan almacenar gran variedad de referencias paletizadas de cada producto ya que permite el acceso directo y unitario a cada paleta almacenada. [18]



Figura 10. Sistema de almacenamiento convencional [18]

- Sistema de almacenamiento móvil: El sistema de almacenamiento móvil consigue compactar las estanterías y aumentar considerablemente la capacidad del almacén, principalmente de paletas, sin perder el acceso directo a cada referencia. Las bases móviles disponen de motores, elementos de traslación, equipos electrónicos y varios sistemas de seguridad que garantizan un funcionamiento seguro y eficaz. (ver Figura 11) [18]

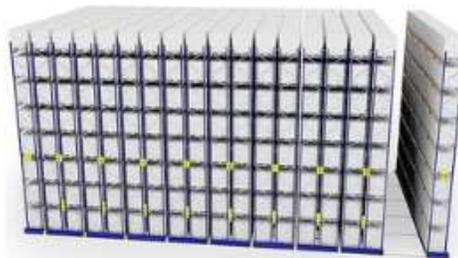


Figura 11. Sistema de almacenamiento móvil [18]

En los métodos de almacenamiento mencionados anteriormente, siempre era requerido que un operador almacenara o buscara el producto para su entrega. Sin embargo, en otro tipo de aplicaciones, este sistema ha sido automatizado de tal manera que la función del operador sea mínima o en algunos casos la intervención es nula.

- Sistema de almacenamiento automático: Los sistemas automáticos de almacenamiento y recuperación han servido a la industria por décadas. Los AS/RS son sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación pensados para minimizar el espacio utilizado en los almacenes y obtener un más alto nivel de eficiencia y productividad. [19]

Estos sistemas modernos son más rápidos, con movimientos más suaves, y avances en el sistema de informática siguen siendo un enfoque primario en la industria. En el futuro inmediato, el movimiento de la paleta completa seguirá como el modo de distribución de cervecerías y otros embotelladores a gran escala. [20]

Integran dispositivos electrónicos que facilitan estos procesos. Este tipo de sistemas requiere disponer de:

- Un espacio apropiado en el almacén
- Una estructura de almacenamiento o estantería especialmente diseñada
- Una máquina AS/RS para realizar las operaciones de almacenamiento y recolección
- Contenedores estándar para cada tipo de carga
- Una estación de recolección/entrega de productos
- Un sistema de control de inventarios.

Los almacenes automatizados se basan en el principio de la mercancía al hombre, consistente en que los productos agrupados en unidades de carga se transportan mediante trans-elevadores desde las estanterías hasta los puestos de cabecera donde se ponen a disposición del operario o hasta sistemas de clasificación, transporte o expedición. Los elementos principales que integran los almacenes automáticos son los sistemas de movimiento de las cargas, las estanterías en las que se almacenan, el software de control que ordena todo el proceso y los sistemas de preparación de pedidos.

En la Figura 12. Se observa una imagen general de un almacén automatizado típico. Donde cada uno de los numerales corresponde respectivamente a:

1. Edificio de oficinas y servicios.
2. Muelles de carga y descarga.
3. Recepción y verificación.
4. Expediciones.
5. Almacén de alta rotación o producto voluminoso.
6. "Picking" de alta rotación sobre paletas.
7. Almacén de productos irregulares.
8. Almacén de componentes de media rotación.
9. Almacén de componentes de alta rotación.
10. Almacén de componentes de baja rotación.
11. Almacén de productos de alto valor.
12. Zona de embalaje y consolidación.

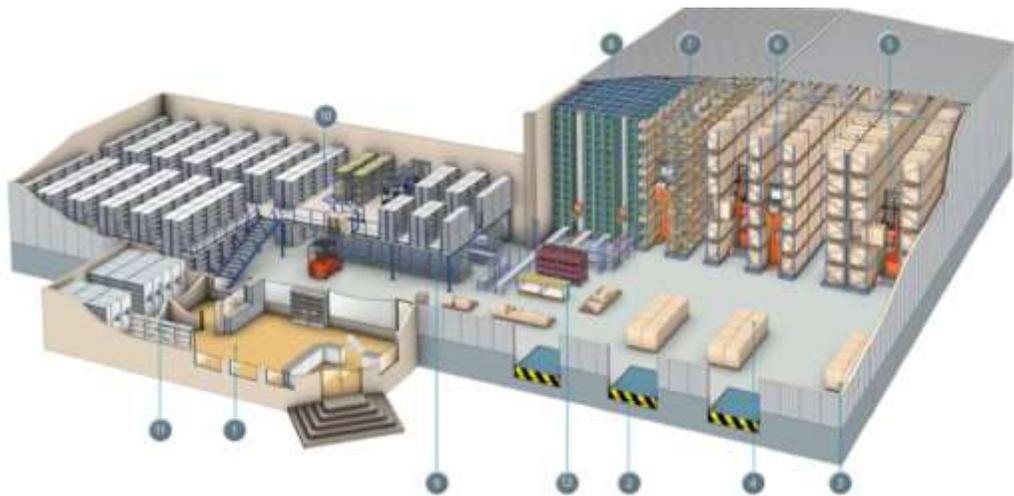


Figura 12. Almacén Automatizado [15]

Para la selección de la configuración de almacén más adecuada de entre las posibilidades del mercado, una industria debe realizar un estudio técnico previo en el que se aborden cuestiones como la base de carga (contenedor, caja, bandeja...), la disposición de las estanterías según el espacio disponible y las características del flujo de productos, la frecuencia de operaciones o la velocidad necesaria para cumplir con los requerimientos.

A continuación, se detallan las formas más comunes de almacenaje automatizado presentes en el mercado actual desde sistemas AS/RS hasta carruseles rotatorios:

- **Traselevadores:** Los transelevadores ver Figura 13, automatizan las operaciones de entrada y salida de los productos, garantizando rápidos y precisos controles de las existencias en el almacén y eliminando los errores en las operaciones manuales. [21]

Los transelevadores automatizan las operaciones de entrada y salida de los productos, garantizando rápidos y precisos controles de las existencias en el almacén y eliminando los errores en las operaciones manuales.

Diseñados para el almacenamiento automático de materiales, los transelevadores se mueven longitudinalmente en el interior de los carriles entre los estantes del almacén donde entran, colocan la carga y extraen los materiales. Las UDC (unidades de carga) por lo tanto se manipulan a través de la recogida de las estaciones correspondientes del sistema de desplazamiento ("*handling*") y sucesivo depósito en las cámaras de almacenamiento y viceversa. [22]

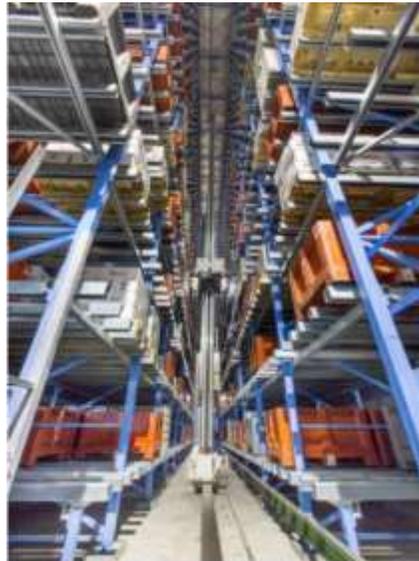


Figura 13. Transelevadores Westfila® [21]

- **Mini-Load:** “*Miniload*” (ver Figura 14) es un sistema de automatización del almacén basado en elementos de estanterías metálicas para “*picking*” diseñados para funcionar con transelevadores. Se da servicio a operaciones de mantenimiento con cajas o contenedores de cargas ligeras, normalmente entre 5 y 50 Kg por caja. Las cajas se colocan sobre angulares atornillados en el costado del puntal permitiendo que la plataforma del transelevador se coloque bajo la carga para su extracción. Un sistema de arriostrados verticales y horizontales confieren gran robustez a la estructura. [23]

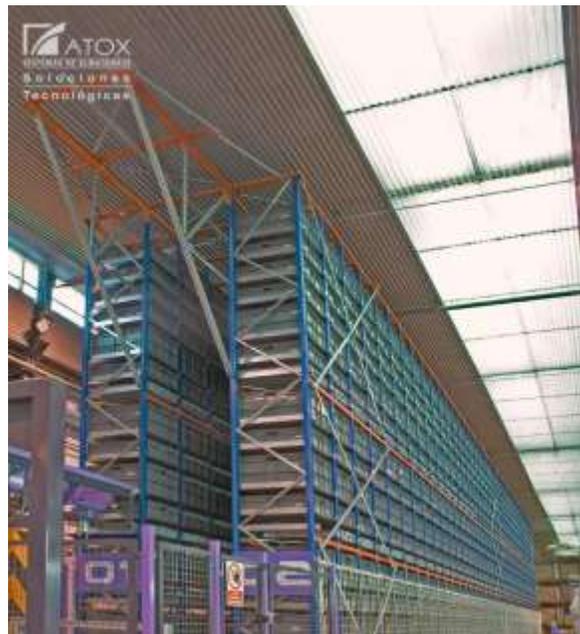


Figura 14. Mini-load ATOX [23]

- **FRS (“Fast Rotation Storage”):** (Ver Figura 15) El almacenamiento de rotación rápida consiste en lanzaderas lineales de alta velocidad. El sistema usa tecnología satelital de profundidad múltiple y permite una mayor capacidad de almacenamiento en un área pequeña. El almacenamiento de rotación rápida es ideal para la producción de rodamientos antes de las soluciones de envío y almacenamiento con alta densidad. [24]

El sistema FRS se basa en el uso combinado de lanzaderas rectilíneas y tecnología satélite de profundidad múltiple, y permite alcanzar niveles muy elevados de transporte y almacenamiento en pequeños espacios.



Figura 15. FRS (Almacenamiento de rotación rápida) [18]

- **VLS (“Vertical Lift Sequencer”)**: Los sistemas de elevación vertical de VLS se utilizan en almacenes y centros de distribución para actuar como amortiguador entre la toma de producción y el cumplimiento de pedidos. Mediante el uso de secuenciadores de búfer, el VLS separa automáticamente los SKU que se mueven rápidamente de los paquetes destinados a las estaciones de paletización para permitir el “pick-up” de mayúsculas más eficiente. Al igual que el sistema “Mini-Load” AS/RS, las unidades VLS se usan con mayor frecuencia en aplicaciones de selección remota. El VLS tiene un propósito diferente en comparación. En las aplicaciones de selección remota, el VLS se usa comúnmente para almacenar los artículos requeridos para los pedidos con mayor frecuencia y puede ofrecer mejores tasas de recolección como se observa en la Figura 16. [25]



Figura 16. Sistema de elevación vertical [18]

Entre las principales ventajas de la elección de almacenes automatizados AS/RS pueden mencionarse las siguientes:

- La superficie necesaria para el almacén es considerablemente menor a la de los convencionales puesto que las estanterías pueden llegar hasta gran altura al no tener las limitaciones de las carretillas elevadoras. Además, los pasillos cuentan con una anchura mucho menor pues es suficiente con que sean ligeramente más anchos que las cargas que se mueven por ellos consiguiendo así un alto aprovechamiento del espacio.
- Alto rendimiento y ahorro del tiempo gracias a la elevada velocidad de los desplazamientos consiguiendo ciclos de alimentación y extracción muy reducidos dando lugar a un gran número de movimientos diarios. [26]
- Gestión automática mediante un sistema de control que permite registrar las entradas y salidas de productos, así como su ubicación y otros datos como prioridades en la extracción de mercancías. Además, los recorridos de las máquinas se optimizan para conseguir el mayor rendimiento en el proceso.
- Versatilidad: los almacenes automáticos son utilizables en gran variedad de sectores pues se pueden almacenar mercancías de todo tipo desde materias primas hasta productos listos para la venta siempre que se puedan agrupar en unidades de carga transportables por los transelevadores. [27]
- Seguridad: al ser sistemas automatizados, la presencia de operarios en el almacén en contacto con las máquinas y cargas es mínima por lo que el riesgo de accidentes laborales es mucho menor al de los sistemas de almacenaje tradicional. [28]
- Rendimiento: Este sistema se define según la tasa por horas de acciones de almacenamiento y recuperación que un sistema de almacenamiento puede hacer. Una acción viene a ser, o bien almacenar una carga, o bien, recuperar una carga. En un ciclo de mando simple se ejecuta sólo una de las acciones, en cambio, en un ciclo de mando doble se ejecuta ambas acciones; esto reduce el tiempo de viaje por acción, y el rendimiento aumenta en los ciclos de mando doble. [29]

5.2. NORMATIVA

Se presentan algunos de los criterios de seguridad fundamentales para tener un almacenamiento óptimo en bodegas con el fin de disminuir la probabilidad de accidentes, daños a la propiedad y/o al ambiente, conociendo las técnicas de almacenamiento e identificando riesgos que generan la disposición y almacenamiento inadecuado de elementos. [30]

Legislación y normalización

- **La Resolución 002400 de mayo de 1979 “Normas sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo”. En el título VI.**

Artículo 218: Los locales de trabajo, los pasillos y patios alrededor de las edificaciones, los patios de almacenamiento y lugares similares, deberán mantenerse libres de basuras, desperdicios y otros elementos susceptibles de encenderse con facilidad. [31] [32]

- **LEY 9a - ENERO 24 DE 1979**

Artículo 91. Los establecimientos industriales deberán tener una adecuada distribución de sus dependencias, con zonas específicas para los distintos usos y actividades, claramente separadas, delimitadas o demarcadas y, cuando la actividad así lo exija tendrán espacios independientes para depósitos de materias primas, elaboración, procesos especiales, depósitos de productos terminados y demás secciones requeridas para una operación higiénica y segura. [33]

- **LEY 1.10.5 MANEJO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES**

Artículo 120. Los vehículos, equipos de izar, bandas transportadoras y demás elementos para manejo y transporte de materiales, se deberán mantener y operar en forma segura. [33]

Artículo 121. El almacenamiento de materiales u objetos de cualquier naturaleza deberá hacerse sin que se creen riesgos para la salud o el bienestar de los trabajadores o de la comunidad. [33]

A continuación se muestran otros aspectos que es muy importante tenerlos en cuenta y que son normativa general en cuanto al almacenamiento en bodegas:

CONSTITUCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LAS CARGAS.

- Disponer los productos sobre elementos normalizados preferentemente "estibas"
- Reemplazar y destruir las estibas viejas o deterioradas.
- Los objetos depositados no deben sobrepasar los límites perimetrales, altura y peso máximo.
- Cuando la forma y tamaño de los objetos no permita una carga de suficiente cohesión, estas serán inmovilizadas con dispositivos de retención. [34]

CONDICIONES DE USO.

- Limpiar de polvo las luminarias de forma regular y proceder a su sustitución si hace falta.
- Mantener libre de todo obstáculo los pasillos y zonas de acceso a las estanterías.

NORMAS GENERALES

- No transportar pesos superiores a los límites para cada máquina.
- Operar maquinas en buen estado.
- Revisar las maquinas antes de operar.
- Operar mercancías a altura con buen campo de visión. [31]

EQUIPOS AUXILIARES PARA ELEVACION (ESCALERAS O PLATAFORMAS)

- Para acceder a cargas en niveles superiores de una estantería, hay que utilizar como equipos complementarios de elevación escaleras y plataformas.
- Estos equipos deben disponer de las correspondientes revisiones y utilizarlos según los procedimientos.
- Está estrictamente prohibido subirse a las estanterías.

- Se debe cumplir con la normatividad de trabajo en alturas de ser necesario subirse. Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en Trabajo en Alturas Resolución 1409 del 23 de Julio de 2012. [35]

Normas generales según la FM Global en el manual “PROTECTION FOR AUTOMATIC STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEMS”

2.1 Construcción y localización

2.1.1.3 Anclar adecuadamente todas las estructuras del ASRS para evitar que los bastidores cercanos se caigan. Tener en cuenta los efectos de cargas en bastidor, la carga adicional creada por la recolección de agua de protección contra incendios por parte del producto de almacenamiento

2.1.1.4 Diseñe estructuras soportadas por el bastidor ASRS teniendo en cuenta los efectos del clima (viento, nieve, lluvia, granizo, etc.), cargas en rack y condiciones sísmicas. [36]

6. DISEÑO MECANICO

6.1. MODELAMIENTO MATEMÁTICO

Se basa en un conjunto de ecuaciones diferenciales con las cuales se puede predecir el comportamiento de la máquina. Implica la asignación de coordenadas de las articulaciones y el análisis de la cinemática directa e inversa.

6.1.1. CINEMÁTICA DIRECTA

El Sistema de coordenadas según el método de Denavit-Hartenberg se desarrolla estableciendo coordenadas para análisis cinemático ver Figura 17.

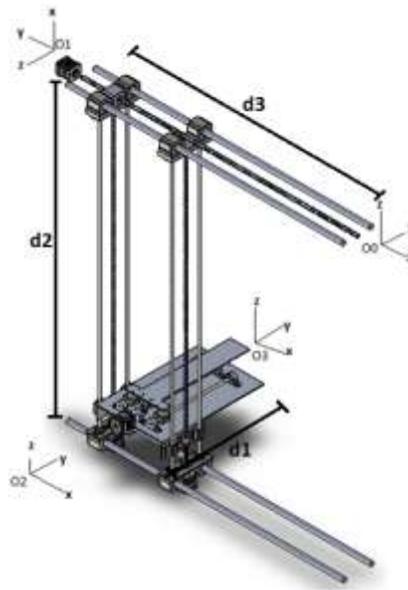


Figura 17. Coordenadas para análisis de cinemática [Autores]

Tabla 2. Tabla de ángulos por Denavit-Hartenberg [Autores]

Eslabón	α	θ	d	a
1	-90	90	D1	0
2	90	-90	D2	0
3	0	0	D3	0

Con la siguiente Ecuación 1 se obtienen las matrices homogéneas para cada eslabón obtenidas por los ángulos que fueron definidos en la

$$T = A_1^0 A_2^1 A_3^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

Siendo:

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

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

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

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz T define la posición y orientación a partir del sistema de coordenadas de la base de la máquina.

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 1 & 1 & d_2 \\ 1 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

6.2. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

A continuación, se plantean dos ecuaciones sencillas que describen el desplazamiento lineal en función de los pasos del motor.

X = Numero de pasos del motor

Y = Numero de vueltas del eje del motor

Z = Distancia lineal recorrida

La ecuación 1 sale de la relación:

$$200 \text{ pasos del motor} = 1 \text{ Vuelta en el eje}$$

$$y = \frac{x}{200 \text{ Pasos}} \quad \text{Ecuación 2}$$

La ecuación 2 sale de la relación:

$$1 \text{ Vuelta} = 2\text{mm de distancia lineal recorrida}$$

$$z = \frac{y \cdot 2\text{mm}}{1\text{Vuelta}} \quad \text{Ecuación 3}$$

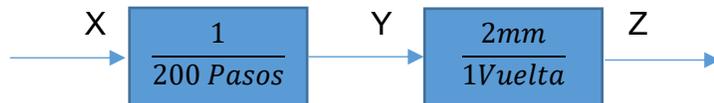


Figura 18. Diagrama de bloques para función de transferencia [Autores]

Siguiendo las operaciones de diagramas de bloque encontramos la Ecuación 4,

$$\frac{z}{x} = G \quad \text{Ecuación 4}$$

La cual es nuestra función de transferencia dando como resultado:

$$G = \frac{x \cdot y \cdot (2)\text{mm}}{(200)\text{Pasos} \cdot (1)\text{Vuelta}}$$

6.3. ESTANTERÍA

La empresa Vistrónica® define las dimensiones de la estantería como base para el diseño de la maquina AS/RS. La estantería tiene (0.92) [m] de ancho por (1.5) [m] de largo, teniendo (0.5) [m] de distancia desde el suelo hasta el primer, con (0.3) [m] de profundidad, cada piso está separado por (0.3) [m] y finalmente un espacio designado a la entrega de los artículos con la capacidad de albergar (18) cajas pequeñas y (6) cajas grandes. El material con el que está construido es de acero para sus placas o laminas base y hierro para las patas del estante como se observa en la Figura 19.



Figura 19. Estantería definida por Vistrónica® [Autores]

6.4. DIMENSIONAMIENTO DE CAJAS

- **Cajas pequeñas:** La empresa Vistrónica® define las dimensiones de las cajas pequeñas que contienen componentes de diferentes tipos con un máximo de ocho (8) centímetros [cm] de ancho por cinco (5) centímetros [cm] de largo por ocho (8) centímetros [cm] de profundidad de tal manera que dentro de un piso se dispongan de tres artículos por fila y diez artículos a lo ancho como máximo, teniendo en cuenta que el peso máximo de cada caja es de un (1) kilogramo [Kg].
- **Cajas grandes:** Vistrónica® define las dimensiones de cajas pequeñas que contienen componentes de diferentes tipos con un máximo de trece (13)

centímetros [cm] de ancho por diez (10) centímetros [cm] de largo por trece (13) centímetros [cm] de profundidad de tal manera que dentro de un piso se disponga de dos artículos por fila y seis artículos a lo ancho como máximo, teniendo en cuenta que el peso máximo de cada caja es de un (1) kilogramo [Kg].

6.5. SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA

- Disposición de cajas:

Tabla 3. Evaluación QFD [Autores]

ACTUADOR FINAL		Cerradura electromagnética	Generador de vacío	Carga con paletas
Criterios				
Fuerza de agarre	3	9	9	9
Facilidad de acople	4	3	1	9
Integridad de la caja	5	3	3	9
Bajo costo	3	9	1	9
Valor Final		81	49	135

Teniendo en cuenta las dimensiones tanto de la estantería como el de cada una de las cajas, ya sean grandes o pequeñas, se opta por la generación de bases con una ranura en la parte inferior, para que un actuador tipo pallet se encarga de disponer de cada uno de los artículos (ver Figura 20). Ya que este es el método más común para facilitar la carga y la descarga de la maquina AS/RS y es el óptimo dada la evaluación propuesta en el QFD de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, teniendo en cuenta su facilidad de acople, bajo costo e integridad de la caja que contienen los elementos.

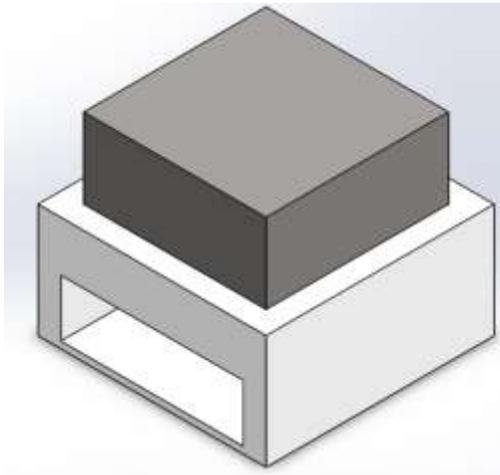


Figura 20. Base propuesta para almacenar cajas [Autores]

6.6. DISEÑO DE ACTUADOR FINAL

El actuador final deberá ser capaz de disponer de máximo tres (3) artículos al mismo tiempo en el caso de cajas pequeñas y de máximo dos (2) para cajas grandes, por lo tanto, el “*pallet*” diseñado recorrerá una distancia máxima de treinta (30) [cm]. Este movimiento será realizado por un sistema tornillo-tuerca gracias a su gran precisión a la hora de tomar del número de cajas que el operario requiera almacenar o extraer de la estantería esto quiere decir que recorrerá distancias de diez (10) centímetros [cm], veinte (20) centímetros [cm] y treinta (30) centímetros [cm] respectivamente ver Figura 21.

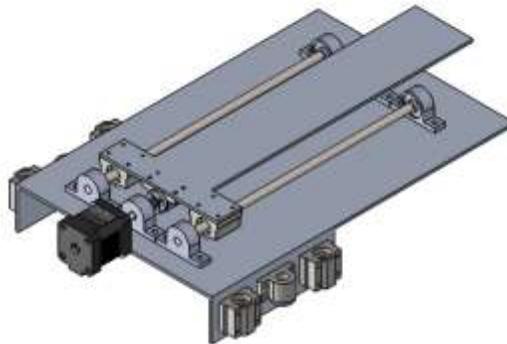


Figura 21. Diseño de actuador final [Autores]

Para comprobar que el sistema planteado en la Figura 21, sea capaz de sostener tres cajas simultáneamente lo que significa un (1) kilogramo de peso, se simulan las paletas como una viga en voladizo, primero simulando una sola carga como se observa en la Figura 22.

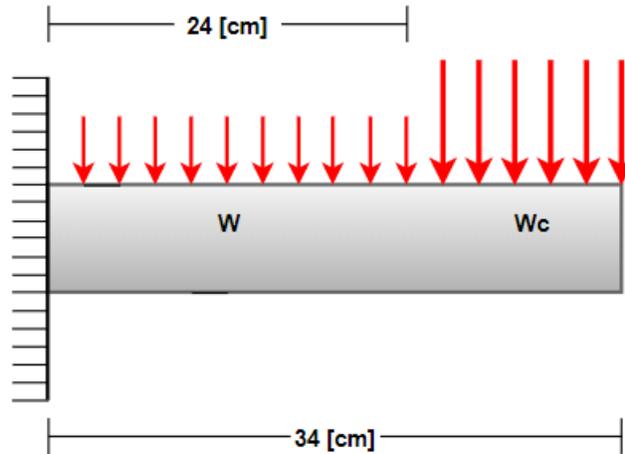


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre de actuador final [Autores]

Sabiendo que:

W = El peso de las paletas, simulado como una carga distribuida.

Wc = El peso de la carga, suponiendo sobre peso de tres (3) [Kg].

Se realiza un análisis de materiales en el cual mediante Solidworks se hace un estudio de deformación para ello se usa como referencia el acrílico (ver figura 5) y el aluminio 1060 ver Figura 23 debido a que son utilizados en la industria y son asequibles fácilmente en el mercado local.

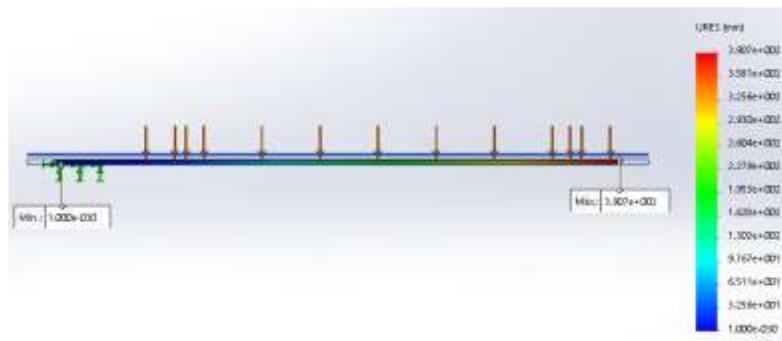


Figura 23. Estudio de deformación acrílico [Autores]

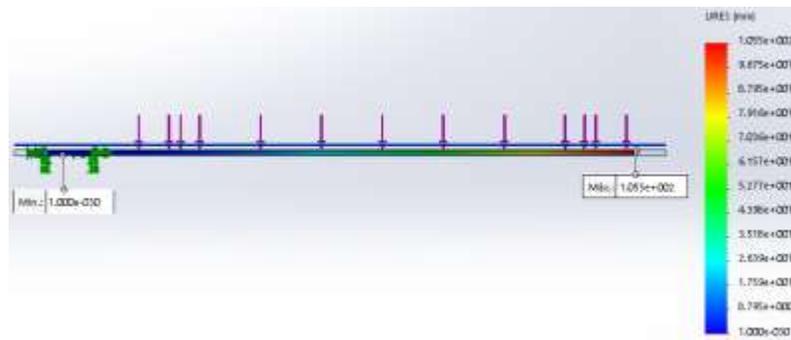


Figura 24. Análisis de deformación en Aluminio [Autores]

Como resultado de ambos análisis se puede concluir que el mejor material para la construcción de las paletas es en aluminio ver Figura 24 ya que su deformación es mínima, ideal para que el sistema funcione correctamente.

6.6.1. ANÁLISIS DEL SOPORTE PARA EL SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA

Es necesario analizar diversos materiales para la construcción de una base adecuada que sea capaz de soportar el peso de todo el sistema, más las cargas ejercidas por los artículos. Siendo el peso simulado igual a (8,76) [Kgf] sumado con las cargas para un total de doce (12) [Kgf] redondeado, en su punto más crítico que es cuando el sistema está totalmente por fuera.

Se fija en un extremo con una distancia de quince (15) centímetros [cm] el cual es el valor del ancho de la sección lateral donde está dispuesto el sistema de movimiento vertical, las cuales son las vías para el sistema de desplazamiento descrito más adelante, debido a que todo el peso irá concentrado la base de las chumaceras que sostienen todo el peso del sistema que genera el movimiento en la paleta, se simuló las fuerzas en dicha zona.

Como último factor importante para la simulación, se determinó que el material a usar para la base del sistema como paletas es el aluminio 1020, ya que se consigue fácilmente en el mercado local, y es la mejor manera de anclar varios sistemas a este, evitando deformaciones.

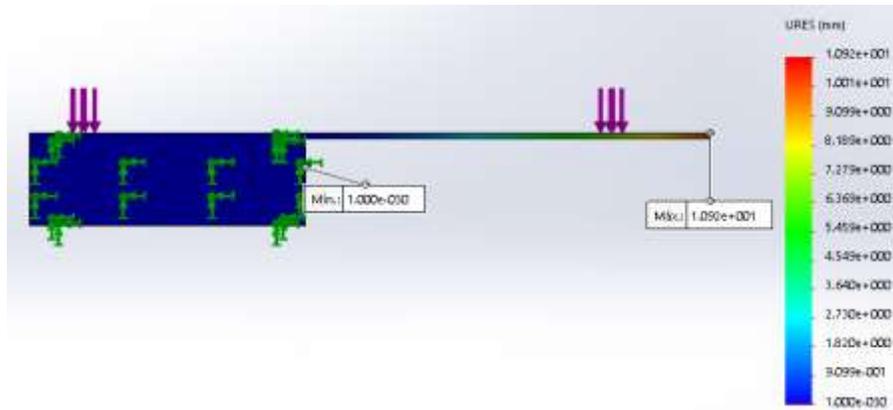


Figura 25. Análisis de deformación del soporte [Autores]

El resultado del análisis de deformación simulado (ve Figura 25) nos muestra que este material con dichas características de estructura es apto para lo que se requiere ya que posee unas deformaciones mínimas con las cargas máximas.

6.7. SISTEMA DE GENERACIÓN DE MOVIMIENTO POR EJES

Una maquina AS/RS cuenta con un sistema cartesiano de dos ejes que realizan movimientos independientes, uno vertical y otro horizontal. Teniendo en cuenta como base el estado del arte de los diferentes mecanismos usados tanto como para maquinas CNC como para máquinas AS/RS, se plantea una matriz de evaluación QFD (Tabla 4) Comparando así tres sistemas seleccionados como los más comunes para la realización del movimiento en los ejes de la maquina con cinco criterios, todos de alto valor para la posterior construcción de la máquina.

El análisis nos deja ver que el sistema más conveniente para este proyecto es el tornillo sin fin con tuerca, debido a que su sistema tan simplificado lo hace liviano y fácil de mover por cualquier tipo de motor, sumado a esto en el mercado local encontramos husillos de distintos largos y diámetros, permitiendo de esta manera un fácil acople con el sistema básicamente construido. En el mercado se encuentra con la referencia de “Varilla roscada trapezoidal” de ocho (8) [mm] de diámetro con rosca.

Tabla 4. QFD sistema de generación de movimiento [Autores]

MECANISMO		Tornillo sin fin	Piñón-Cremallera	Poleas con correa
Criterios				
Velocidad de desplazamiento	3	3	3	3
Esfuerzo necesario	2	9	3	3
Disponibilidad en el mercado local	3	9	3	9
Facilidad de acople	4	9	3	3
Bajo costo	4	3	3	9
Valor final		102	48	90

6.8. SISTEMA PARA GARANTIZAR QUE NO HALLA DEFORMACIÓN

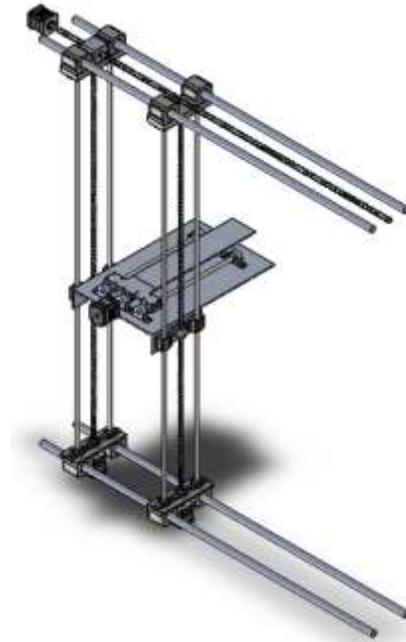


Figura 26. Sistema para evitar deformación [Autores]

Para el eje horizontal y vertical se tomó en consideración el peso de la máquina y se optó por invertir en un sistema de seguridad anexo al de movimiento, que se basa en un par de varillas ancladas de lado a lado del perfil las cuales venden con chumacera incluida donde irá acoplado el mecanismo para garantizar que con el paso del tiempo, el mismo peso del mecanismo deforme los sistemas de movimiento como se puede evidenciar en algunos casos en algunas impresoras 3D (ver Figura 26).

6.9. ANÁLISIS ESTÁTICO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD

Para minimizar las deflexiones, el acero es el material óptimo para formar ejes de resistencia debido a su módulo de elasticidad. [37] Por lo cual esta manera comprobamos gracias a una simulación estática ver Figura 27, por elementos finitos que con una carga máxima de (16) [N] (Fuerza ejercida por el sistema completo) las barras de acero se deforman ($3.795e-002$ mm) lo cual es óptimo para garantizar que el sistema no corra el riesgo de quiebre por peso.

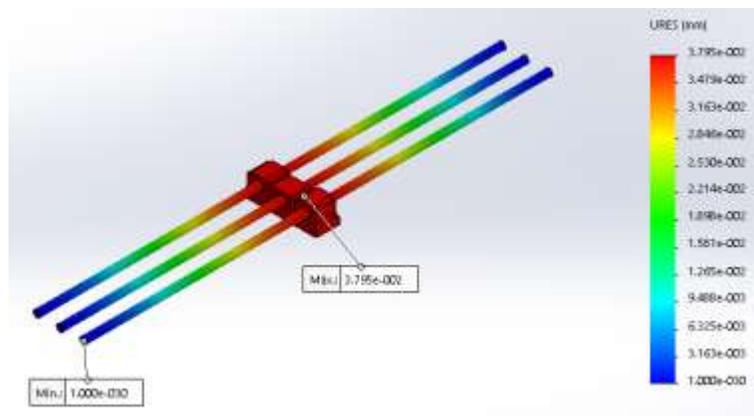


Figura 27. Simulación estática para carga máxima [Autores]

– Esfuerzo admisible y sometido a los ejes de desplazamiento horizontal

El cálculo de los esfuerzos es necesario para garantizar que los ejes no se deformen irreversiblemente, para ellos debemos conocer la resistencia a la

tensión del material o el esfuerzo admisible del material, el cual para el acero inoxidable AISI 201 tiene un valor de $7.50 \times 10^7 \left[\frac{N}{m^2} \right]$.

Para calcular el esfuerzo al cual está sometido el material se dispone de la siguiente ecuación 5:

$$\sigma = \frac{M}{I} c \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde M es el momento máximo en el eje, el cual se calcula con la ayuda de MDSolid, simulando los ejes como una viga (ver Figura 28) y aplicando una carga vertical de $0.292044 [N]$ determinada con anterioridad ya que es la suma de pesos de todo el sistema, obtenemos que el momento máximo es de $0.07302 \left[\frac{N}{m} \right]$.

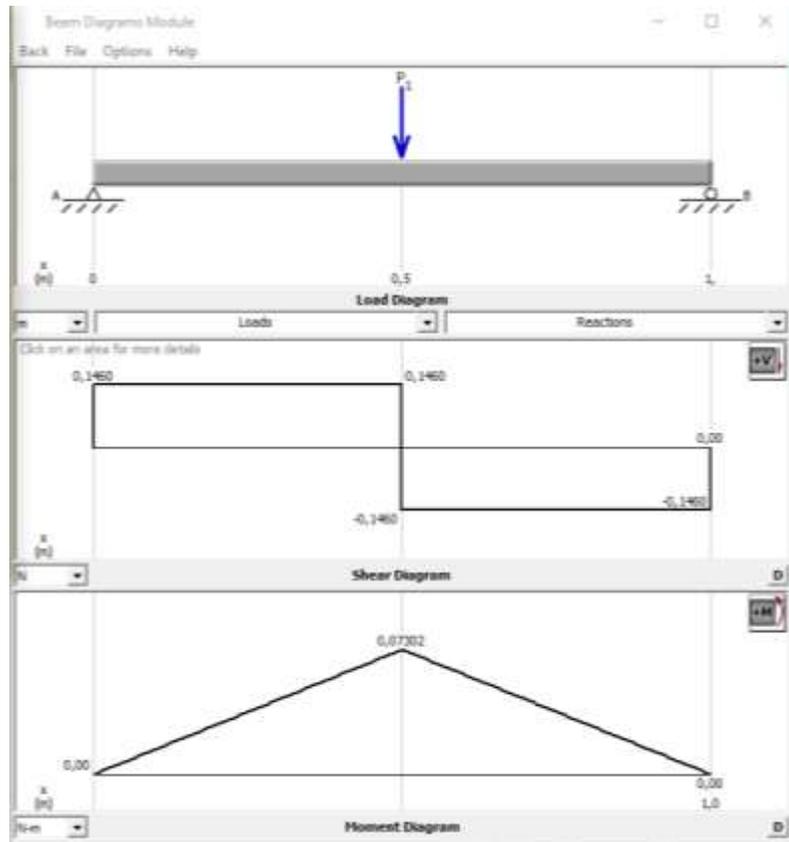


Figura 28. Análisis de deformación [Autores]

Y donde $\frac{I}{c}$ es el módulo de resistencia de la sección transversal, el cual cambia según la sección transversal de la figura, en este caso por ser una sección circular la formula está dada por la Ecuación 6.

$$S = \frac{\pi D^3}{32} \quad \text{Ecuación 6}$$

Reemplazando estos valores en la primera ecuación, obtenemos el resultado del esfuerzo sometido

$$\sigma = 1452683.35 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Concluyendo de esta manera que el esfuerzo sometido es mucho menor que el esfuerzo admisible, esto para nuestras necesidades quiere decir que el diámetro de los ejes y el material del cual están constituidos son los adecuados para el trabajo que realiza la máquina.

– **Sistema anti-pandeo y correcto deslizamiento en el eje vertical**

Este estudio es necesario para determinar si el eje que se mantiene en movimiento de la maquina se panea o deforma los ejes verticales al cargar con los elementos de la bodega (ver Figura 29).

En el primer caso se destinó una carga total de 12 [Kgf] en dirección vertical posicionados en donde irían los cojinetes del tornillo de potencia

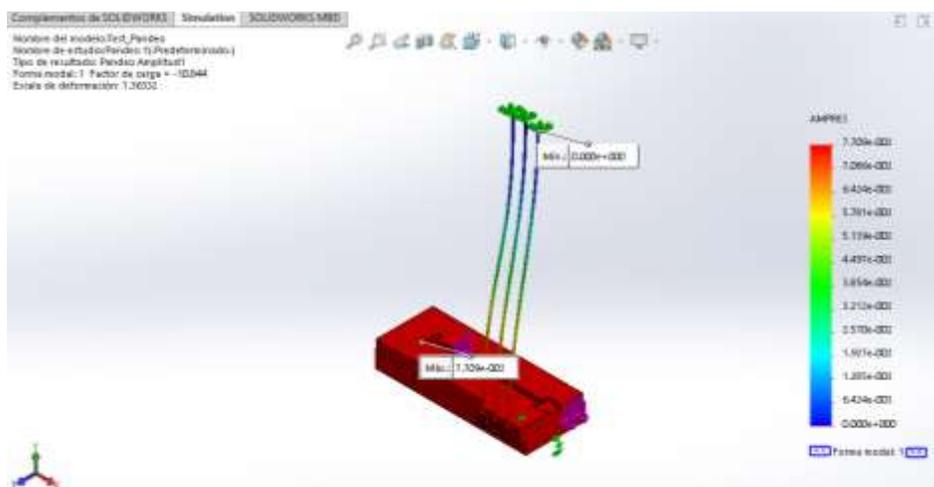


Figura 29. Estudio de pandeo [Autores]

Para el segundo caso se destinó la misma carga pero en una posición crítica donde el pandeo sea el máximo posible, en este caso, el borde extremo de la base donde va fijo el husillo o tornillo de potencia (ver Figura 30).

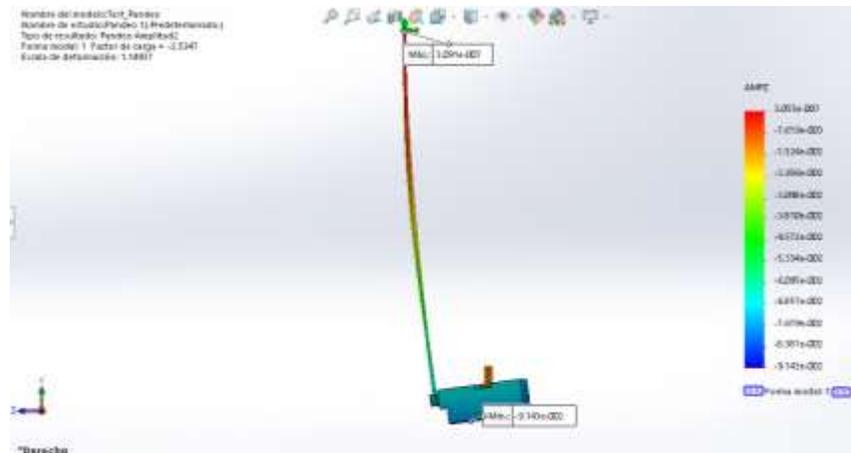


Figura 30. Deformación en ejes verticales [Autores]

Como podemos observar en cualquiera de los dos casos la deformación o pandeo de los ejes verticales no supera los $3.055 \times 10^{-7} \text{ mm}$.

Más sin embargo en la práctica el efecto del desfase del diámetro de los cojinetes con respecto al diámetro de las varillas lisas provoca una caída del sistema y genera un mayor rozamiento en el sistema, por lo cual va a generarse el movimiento con mayor dificultad.

Este problema se solucionó al generar un nuevo soporte al lado opuesto donde está destinado el sistema de movimiento vertical como se observa en la Figura 31

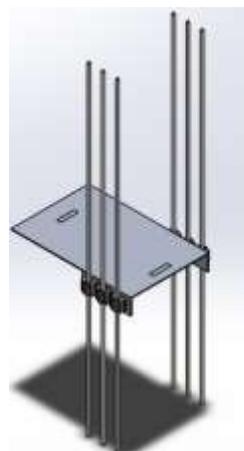


Figura 31. Diseño de dos soportes [Autores]

– **Análisis estático de las columnas base**

Las columnas base constan de perfiles tipo canales en C las cuales servirán tanto de recubrimiento del tornillo de potencia y sus dos varillas de acero correspondientes como para la sujeción axial de las mismas, como se aprecia en la Figura 32.

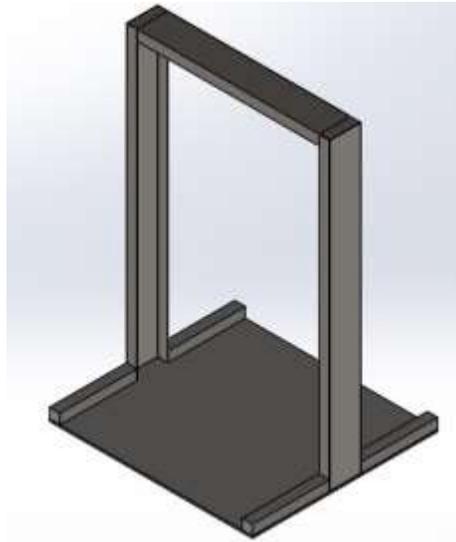


Figura 32. Diseño de columnas base [Autores]

En primera instancia como sugiere el libro de diseño de elementos de Robert Norton debemos conocer qué clase de columna es para realizar los respectivos cálculos de resistencia y esfuerzos de acuerdo a como se clasificó. Esto se determina gracias a la razón de esbeltez determinada por la siguiente fórmula:

$$S_r = \frac{l}{k} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde k es:

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Teniendo en cuenta que I es el menor momento de inercia de la sección transversal y A es el área de la misma sección transversal de la Figura 33.

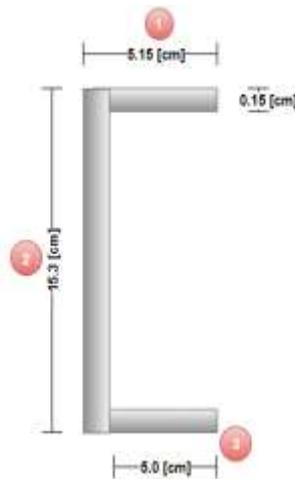


Figura 33. Medidas establecidas para la columna [Autores]

Obtenemos en primera instancia el menor momento de inercia que se obtiene gracias al Teorema de Steiner por ser una figura compuesta y no encontrarse en tablas convencionales de momentos de inercia.

$$I_t = I_0 + A_f * d^2$$

Ecuación 9

Donde I_0 es la ecuación que define cada una de las figuras, A_f es el área de las figuras independientes y d es la distancia entre el centroide de la figura compuesta hasta cada uno de los centroides de las figuras independientes. Dando como resultado:

$$I_x = 130.843463 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 9.14404003 \text{ cm}^4$$

Esto quiere decir que el menor momento de inercia se encuentra en el eje y por lo cual se procede a realizar los cálculos con este valor.

A Es el área total de la figura compuesta con un valor de $3.795 \text{ [cm}^2\text{]}$, dando un valor final a k

$$k = 1.552255$$

Finalmente l es la longitud de la columna, siendo 150.15 [cm] , obteniendo una razón de esbeltez de:

$$S_r = 96.7302$$

De acuerdo con el libro de Norton por tener un valor mayor a 10 la razón de esbeltez, la columna se considerará como una columna larga y fallará por

pandeo, por lo cual se debe calcular cual es la carga crítica axial que puede soportar.

– **Carga crítica máxima que puede soportar la columna base antes de que esta falle**

La carga crítica máxima que puede soportar la columna fundamental, o lo que significa articulada-articulada, está dada por la siguiente expresión:

$$P_{cr} = \frac{\pi \cdot E \cdot I_{min}}{L^2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde E es el modulo de elasticidad del material, I_{min} es el momento de inercia mínimo de la sección transversal y L es la longitud de la columna.

Para este caso como tenemos una columna empotrada-empotrada, la ecuación varia de la siguiente manera

$$P_{cr} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot E \cdot I_{min}}{L^2} \quad \text{Ecuación 11}$$

El modelo de elasticidad se puede obtener fácilmente en el software de Solidworks (ver Tabla 5. Calculo de módulo elástico [Autores]) con el que se realizó posteriormente el análisis por elementos finitos la determinación de la carga crítica aplicada en la columna.

Tabla 5. Calculo de módulo elástico [Autores]

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2090405.5	kgf/cm ²

Como ya se determinó el valor de la inercia mínima y la longitud de la columna, procedemos a calcular el valor de la carga crítica máxima que se le puede aplicar a la columna:

$$P_{cr} = 10654.3967 \text{ Kgf}$$

– **Carga máxima aplicada a la columna base**

Este cálculo se realizó con la ayuda de un software llamado MDSolid, el cual nos facilita los resultados del análisis estático en primera instancia de la viga que soportan las dos columnas para obtener las fuerzas en cada uno de sus extremos verticalmente y que corresponderían a la carga máxima aplicada axialmente a la columna.

Se simuló la viga soportando una carga máxima de $0,29N$ muy cerca de un extremo, lo cual es en un caso crítico donde la maquina se posiciona más cerca a las columnas, como este caso. (ver Figura 34)

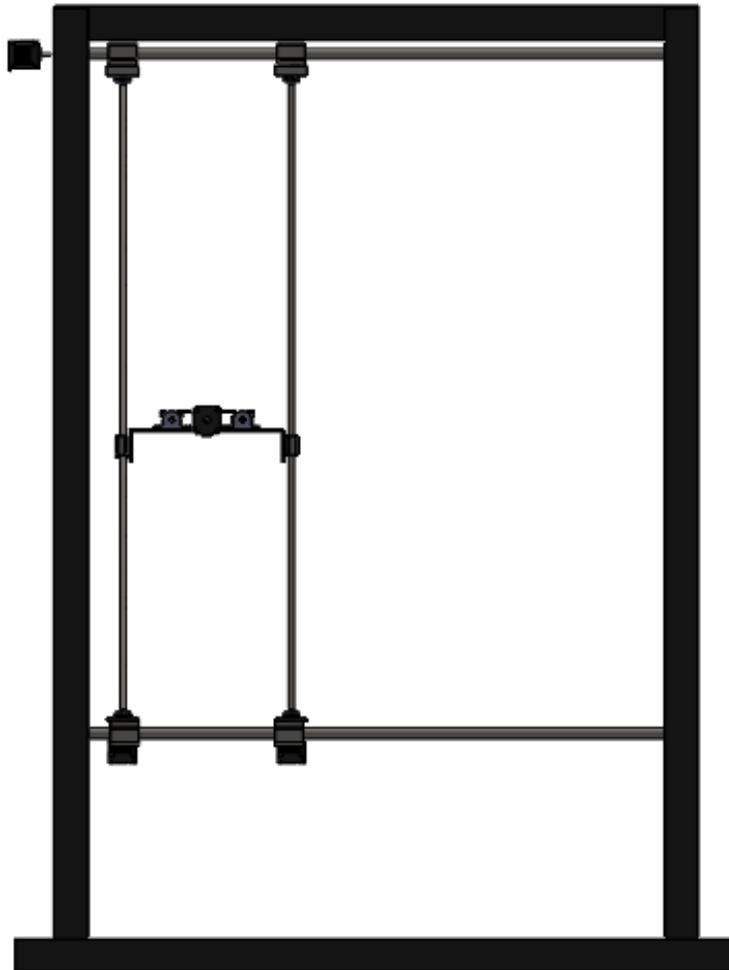


Figura 34. Diseño del actuador que genera movimiento [Autores]

Realizando la simulación se obtuvo:

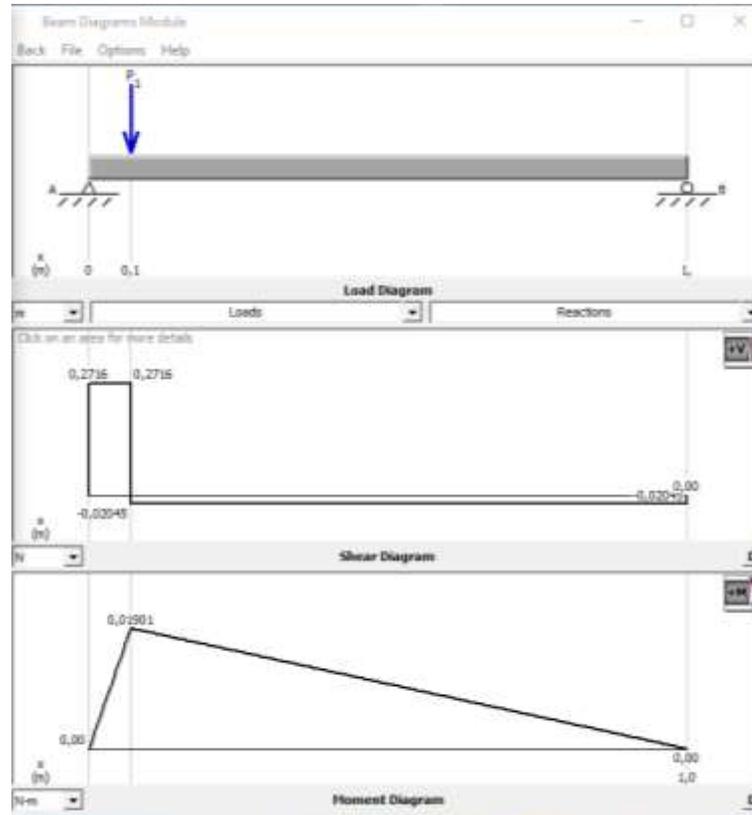


Figura 35. Diagrama de momentos y esfuerzos realizado en Beam Diagrams Module [Autores]

La fuerza vertical en el extremo es de 0.2716 N lo que significan 0.0277 *Kgf* de este resultado podemos comprobar que la fuerza aplicada axialmente a la columna es mucho menor que la carga máxima que puede soportar la columna. (ver Figura 35)

– **Esfuerzo admisible y sometido para las columnas base**

Este análisis se realiza para garantizar que la columna no tenga deformaciones irreversibles, por lo cual debemos conocer la resistencia a la tensión máxima del material o el esfuerzo admisible. En este caso el Acero AISI 1020 tiene un valor de $5.0 \times 10^8 \left[\frac{N}{m^2} \right]$.

Para calcular el esfuerzo al que es sometido el material, se procede a un análisis estático por elementos finitos con la ayuda del software SolidWorks, el cual aplicando una fuerza igual a la carga crítica calculada anteriormente, nos da como resultado un valor de $80620 \left[\frac{N}{m^2} \right]$. (Ver Figura 37)

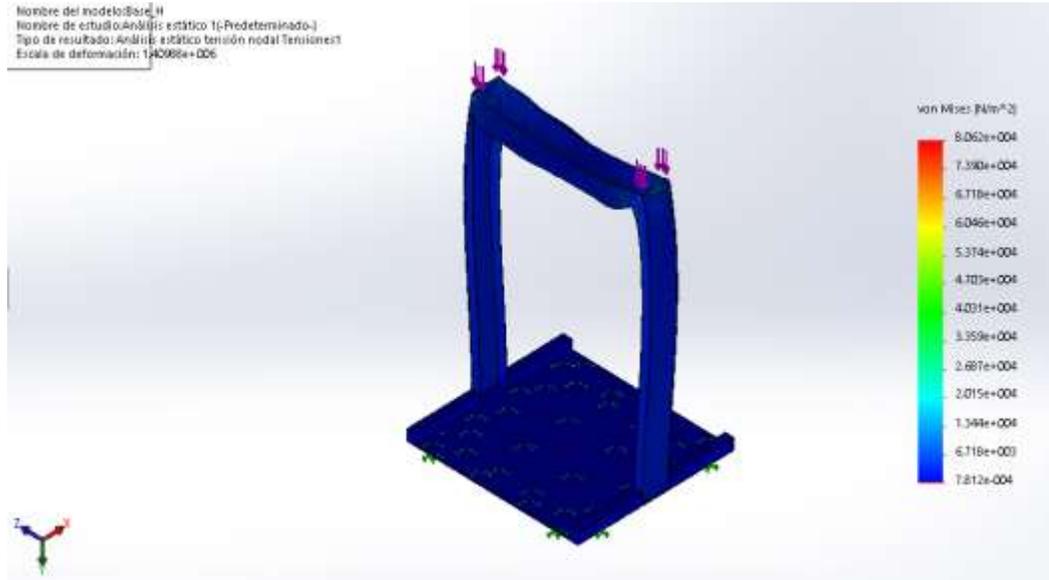


Figura 36. Simulación de deformación [Autores]

Garantizando también una deformación en términos de distancia en el eje y mínima de $1.082 \times 10^{-4} [mm]$, la cual es la óptima para que la maquina realice el trabajo correctamente. (Tabla 6. Resumen columnas [Autores])

Tabla 6. Resumen columnas [Autores]

COLUMNAS					
Componente	Material	σ Admisible	σ Sometido	Pcr MAX	Pcr
Columnas base	AISI 1020	$5,0 \times 10^8 [N/m^2]$	$80620 [N/m^2]$	10654,3967	0,00277

6.10. SISTEMAS DE SUJECCIÓN

Se usan cojinetes y chumaceras para la sujeción de estos componentes con los perfiles de base puesto que son los ideales, cada uno diseñado específicamente para este sistema y son fácilmente asequibles en el mercado local (ver Figura 37 y Figura 38 respectivamente).

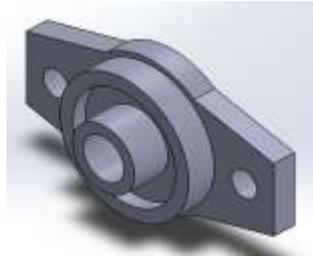


Figura 37. Chumacera con rodamiento de 8 [mm] [Autores]

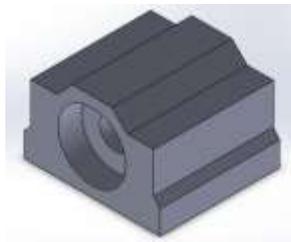


Figura 38. Cojinete para eje de deslizamiento lineal de 8 [mm]

6.11. DISEÑO DEL MECANISMO

En la siguiente imagen se puede apreciar el diseño en CAD de la máquina, finalmente con sus respectivas medidas y su simulación de colores para los diferentes materiales, teniendo en cuenta cada uno de los aspectos estudiados anteriormente (ver Figura 39. Diseño Mecánico [Autores]).

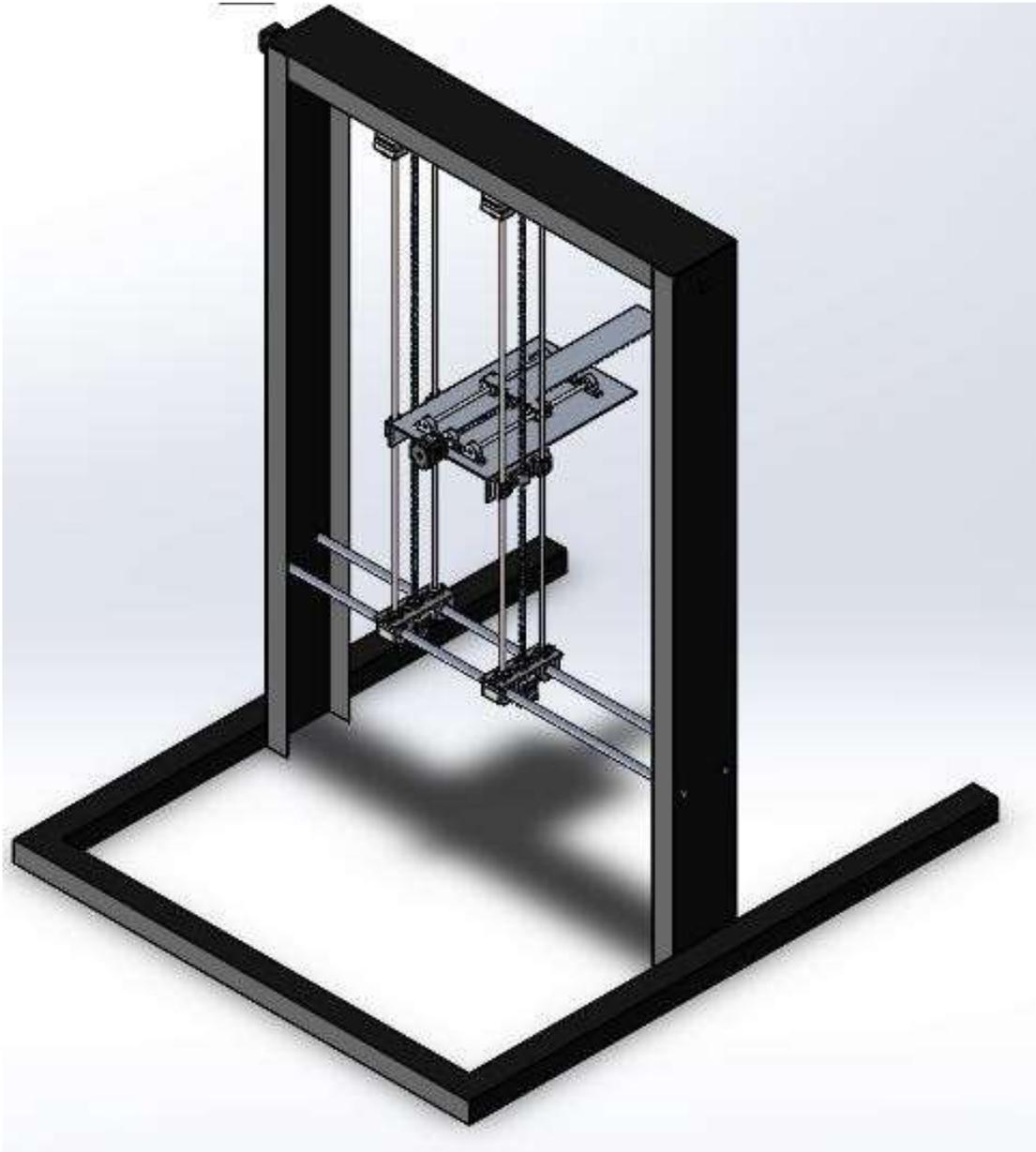


Figura 39. Diseño Mecánico [Autores]

7. DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico y de control le da al usuario la capacidad de operar la máquina, ejecutando una serie de instrucciones a través de una interfaz de usuario, a su vez tomando medidas de ciertos elementos de control como lo son los sensores de proximidad para la verificación de la existencia y cantidad de cajas almacenadas.

7.1. VELOCIDAD ANGULAR DEL MOTOR

Esta velocidad se calcula gracias a la siguiente ecuación 11. Donde se relaciona el paso del husillo (p) definida por dos (2) [mm] y la velocidad lineal (v) de la tuerca, teniendo en cuenta que la mayoría de máquinas giratorias se diseñan para operar a rapidez constantes, esto según el libro de Robert Norton que en este caso suponemos una velocidad necesaria de cincuenta (50) [mm/s]

$$V = \frac{p \cdot n}{60} \quad \text{Ecuación 12}$$

Despejando la ecuación 12 para hallar el valor de n :

$$n = \frac{60}{p} v \quad \text{Ecuación 13}$$

Dando como resultado

$$n = 1500 [rpm]$$

7.2. TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO

Teniendo en cuenta que la distancia máxima que debe recorrer la tuerca (L) es de treinta (30) [cm] nos guiamos de la ecuación 14 para calcular el tiempo que tarda en llegar al final de la tercera caja en la estantería.

$$t = \frac{L}{v} \quad \text{Ecuación 14}$$

Dando como resultado:

$$t = 6 [s]$$

7.3. PAR CONTINUO Y PAR DE ACELERACIÓN

Para el cálculo del par que necesita el motor para mover el husillo con toda su carga, se tiene la ecuación 15.

Se debe tener en cuenta los siguientes parámetros adicionales como la fuerza de carga (Fl) que está definida en la ecuación 16.

$$T_c = \frac{p \cdot Fl}{2\pi\eta} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$Fl = \mu \cdot m \cdot g \quad \text{Ecuación 16}$$

La masa total del sistema (m) donde el aluminio da un valor según el software CAD Solidworks de 893,21 [g] y el coeficiente de rozamiento entre la tuerca y el husillo, teniendo en cuenta los materiales, es decir, latón y acero sería 0,1.

Sabiendo que:

$m = 893.21$ [g] (masa total del sistema)

$\mu = 0.1$ (coeficiente de rozamiento entre la tuerca y el husillo)

Dando como resultado:

$$Fl = 0,87 \text{ [N]}$$

La eficiencia de motores pasó a paso (η) que ronda el 88%, dando resultado a la ecuación 14, del par necesario dando como resultado:

$$T_c = 0,31 \text{ [N.mm]}$$

Este valor se debe sumar al llamado par de aceleración el cual está definido por la ecuación 16.

$$T_a = \left(J + \frac{m_{carga} \cdot p^2}{\eta \cdot 4\pi^2} \right) \cdot \frac{\pi \cdot n}{30 \cdot t} \quad \text{Ecuación 17}$$

Para ello debemos hallar el momento de inercia de los husillos (J) definidos por la ecuación 17:

$$J = \frac{1}{2}m(\text{husillo}).r^2 \quad \text{Ecuación 18}$$

Los husillos tienen una masa de 10,60 [g] según fabricante, dando así un momento de inercia de:

$$J = 3,39 \times 10^{-7} [\text{Kg}.m^2]$$

Donde finalmente reemplazando todos los valores se obtiene el valor del par de aceleración definido en la ecuación 16:

$$Ta = 2,69 [\text{N}.mm]$$

La suma directa de ambos tipos de par es el resultante que el necesita tener el motor a seleccionar

$$Tt = 2,69 + 0,31$$

Dando como resultado:

$$Tt = 3,01 [\text{N}.mm]$$

Como el valor del par máximo es mucho menor que el encontrado en motores paso a paso en el mercado, este criterio de selección será de poca importancia.

7.4. PAR NECESARIO PARA EJERCER MOVIMIENTO

De la ecuación 12 para el movimiento horizontal el parámetro Fl dado en la ecuación 13 se ve afectado por el cambio de masa del sistema, la masa total del sistema (m) está compuesta por la masa de las paletas ($m1$), la masa de la base para las paletas ($m2$), la masa del mecanismo vertical ($m3$) y la masa del perfil en c ($m4$). Este último fue encontrado en el mercado local hecho de acero.

Planteamos la sumatoria:

$$m = m1 + m2 + m3 + m4$$
$$m = 2411.68[g] + 9967.99[g] + 10.6014 [g] + 2986.67[g]$$

Obteniendo como resultado:

$$m_{cargaTotal} = 15470,34 [g]$$

Una vez obtenemos la masa de la carga total reemplazamos los valores en la ecuación 14 dando como resultado:

$$Fl = 15,17 [N]$$

Se obtiene que el par necesario para mover el husillo, el cual es igual a:

$$Tc = 5,48 [N. mm]$$

Para determinar el valor de la inercia total se reemplazan la ecuación 14 y ecuación 12 en la ecuación 11, dando como resultado:

$$J = 3,39 \times 10^{-7} [Kg. m^2]$$

La velocidad angular de la tuerca por el husillo será de n suponiendo una velocidad lineal de 10 [cm/s] dada la ecuación 5, Despejando la ecuación 6 para hallar el valor de n Obteniendo como resultado:

$$n = 3000 [rpm]$$

Tiempo de desplazamiento suponiendo que debe recorrer una distancia de un (1) [m] dada por la ecuación 22. Dando como resultado:

$$t = 10 [s]$$

Par de aceleración para el sistema horizontal dado por la ecuación 16.

$$Ta = 55,95 [N. mm]$$

Sumando el par de aceleración junto con el par continuo obtenemos el par necesario que debe tener como mínimo el motor paso a paso, la sumatoria da como resultado:

$$T = 55,95 + 5,48 = 61,44 [N. mm] = 0.657 [Kg. Cm]$$

Por esta razón se opta por seleccionar un motor paso a paso (ver Figura 40) de 5.6 [Kg.cm] NEMA 17, tanto para la guía horizontal como la vertical ya que el par que necesita ejercer el sistema con mayores cargas necesita un motor

de las más mínimas características que se encuentran en el mercado, por lo tanto, el eje vertical tendrá el mismo motor NEMA.

7.5. MOTOR PASÓ A PASO NEMA 17

Este motor cuenta con características bipolares ya que al momento de energizar las bobinas del estator se genera simultáneamente dos polos magnéticos, esto a su vez es una gran ventaja para el mecanismo ya que gracias a la energización de dos bobinas genera un anclaje, lo que significa que el rotor no se moverá hasta que otras bobinas no sean encendidas. (Ver Figura 41) [38]

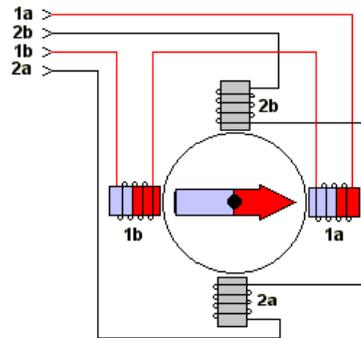


Figura 40. Motor NEMA 17 [39]

Dicho anteriormente este motor cuenta con un torque de 5.6 [Kgr.cm], suficiente para el correcto movimiento de la máquina. (Ver Tabla 7. Descripción Motor NEMA)

Tabla 7. Descripción Motor NEMA [39]

CARACTERISTICAS		
Descripción	Valor	Und
Angulo de paso:	1,8	°
Voltaje nominal:	2,8	[V]
Voltaje máximo:	45	[V]
Corriente nominal:	1,68	[A]
Corriente máxima:	2,5	[A]
Inercia del motor:	68	—
Peso:	350	[g]

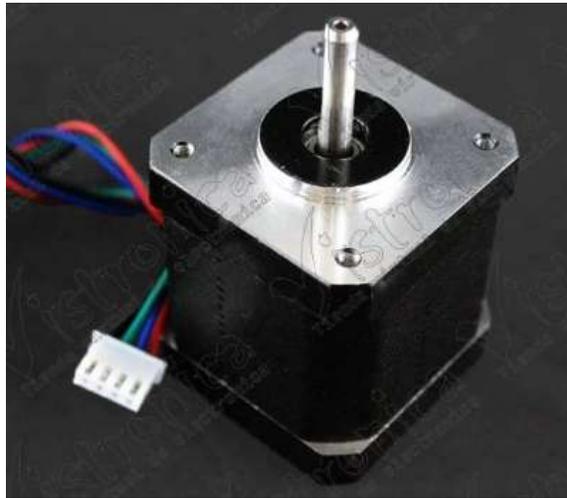


Figura 41. Motor pasó a paso NEMA [40]

7.6. CONTROLADOR PARA EL MOTOR PASÓ A PASO

El driver DRV8825 ver en la Figura 42 es el óptimo para realizar las tareas de dirección de giro, corriente aplicada al motor y velocidad, que son los 3 parámetros más importantes para la realización de este proyecto.

El driver puede manejar altos voltajes e intensidades que requiere el motor, también regula la intensidad y el *microstepping* que es la obtención de pasos inferiores al paso nominal. [40]

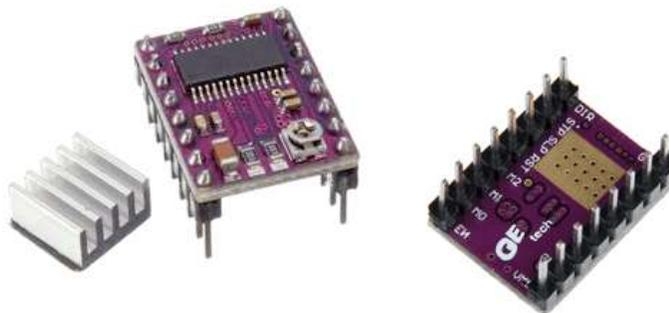


Figura 42. Driver DRV8825 [41]

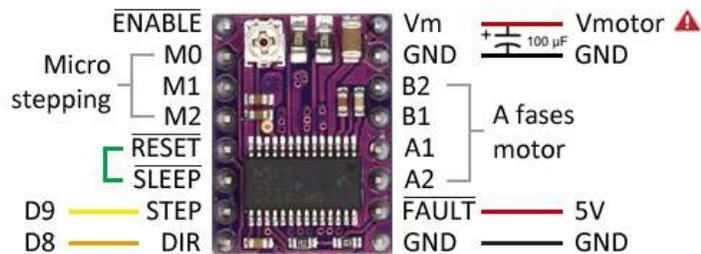
La resolución de pasos con la que va a trabajar el motor se puede regular gracias al controlador (Ver *Tabla 8. Resolución de cada paso del motor*), se usó una configuración de Fullstep para una mayor precisión.

Tabla 8. Resolución de cada paso del motor [42]

DRV8825	MODE0	MODE1	MODE2
Full step	Low	Low	Low
1/2 step	High	Low	Low
1/4 step	Low	High	Low
1/8 step	High	High	Low
1/16 step	Low	Low	High
1/32 step	High	Low	High
1/32 step	Low	High	High
1/32 step	High	High	High

7.6.1. ESQUEMA DE CONEXIONES DE Y PINES

Para poder realizar el correcto esquema de conexiones (ver Figura 43 y Figura 44) debemos saber en dónde están ubicados y que función tiene cada uno de los pines del controlador.



! Vmotor entre 8 y 35V. Al usar alimentación externa SIEMPRE poner con GND común.

Figura 43. Esquema de conexiones [40]

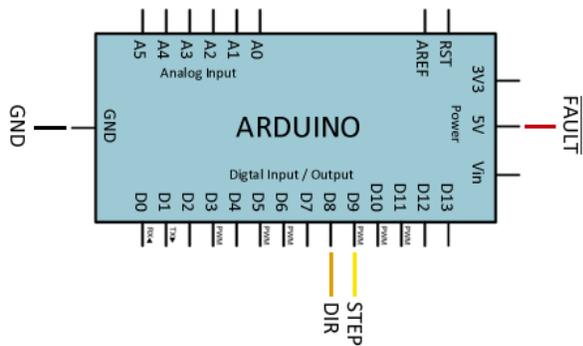


Figura 44. Conexión a arduino [40]

Integrando todos los elementos, el esquemático del circuito final para cada uno de los tres motores paso a paso propuestos quedaría de la siguiente manera como se observa en la Figura 45:

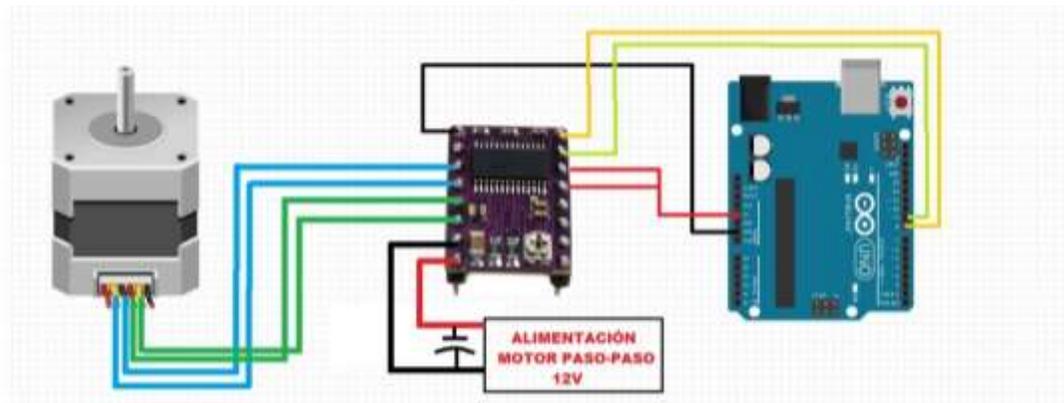


Figura 45. Esquemático del circuito integrando todos los elementos [Autores]

Para regular la corriente limite es necesario modificar el valor de un potenciómetro integrado a la placa del driver y realizar los cálculos para la siguiente formula descrita a continuación por la ecuación 18:

$$I_{max} = 2 \cdot V_{ref} \quad \text{Ecuación 18}$$

Siendo V_{ref} = la tensión que existe del pin V_{ref} y tierra. El cual varía modificando el valor del potenciómetro.

7.7. CONTROL A LAZO ABIERTO

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto (Figura 46) no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

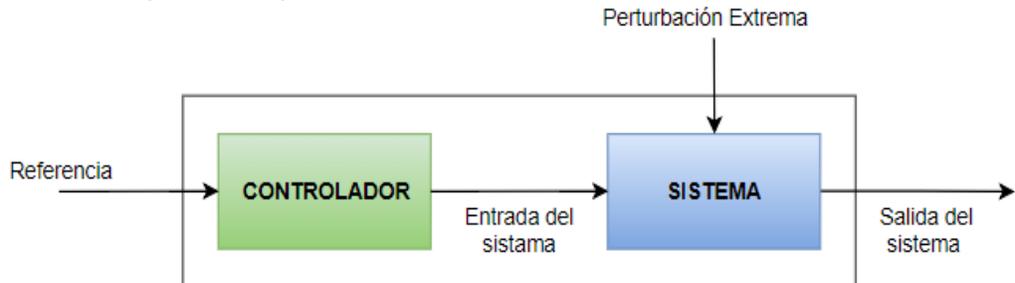


Figura 46. Control a lazo abierto [Autores]

Las ventajas fundamentales de los sistemas de control en lazo abierto son las siguientes:

- Construcción simple y facilidad de mantenimiento.
- Menos costosos que el correspondiente sistema en lazo cerrado.
- No hay problemas de estabilidad.
- Convenientes cuando la salida es difícil de medir o cuando medir la salida de manera precisa no es económicamente viable. [43]

Un sistema de lazo abierto utiliza motores de escalonamiento para crear movimientos de la máquina. Motores tesis giran una cantidad fija, normalmente $1,8^\circ$, cada impulso recibido. Motores de paso ping son conducidos por las señales eléctricas procedentes de la MUC. Los motores están conectados a la máquina mesa tornillo tuerca y husillo. El regulador del motor envíe señales indicando que los motores han completado el movimiento. Sin embargo, la regeneración, no se utiliza para comprobar el movimiento de la máquina real como cerrado viene el movimiento exacto programado. [44]

En este proyecto aseguramos la correcta tanto la sujeción como la deposición del artículo en cualquier posición de la bodega al tener unos desfases o porcentajes de error en la posición en los cuales la maquina pueda entrar sin que esto afecte el funcionamiento de la máquina.

8. BASE DE DATOS

La base de datos es el conjunto de todos los productos que posee la empresa Vistronica® almacenados en su bodega, cada artículo va referenciado con su respectivo nombre, un código único para cada producto (SKU), el precio y la cantidad que dispone de cada uno. La base de datos tiene la capacidad de albergar un número total de 1'048.576 productos que corresponde al número máximo de filas de los que dispone una hoja de Excel 2017.

Para el proyecto fueron seleccionados ochenta y siete artículos al azar tomados directamente de la base de datos de Vistronica® que pueden servir como ejemplo para la validación del mismo. Sin embargo, la estantería propuesta para el desarrollo del proyecto cuenta con una capacidad para un total de ciento once artículos entre los cuales ciento cinco son artículos pequeños y seis artículos grandes.

8.1. INVENTARIO

Por razones de economía y eficiencia se optó por albergar solo diez artículos pequeños y cuatro grandes para el desarrollo de la validación.

En la siguiente figura se puede evidenciar como están caracterizados cada uno de los productos en la hoja de Excel. (Ver Figura 47)

	A	B	C	D	E	F
1	Nombre del Producto	SKU	Precio	Disponibilidad	x	y
2	Microcontrolador Pickit 3 MPLAB	E5-04B	\$ 64.974	5	1	6
3	Microcontrolador PIC12F508 I/P	E1-01K	\$ 3.300	13	2	6
4	Microcontrolador ATMEGAB8A-PU	E8-01H-2	\$ 7.735	7	3	6
5	Microcontrolador Adaptador zocalo zif 40p icsp pickit 2 o pickit 3	E7-10H	\$ 11.900	6	4	6
6	Microcontrolador PIC16F84A SMD	E1-04W	\$ 5.593	7	5	6
7	Microcontrolador PIC16F877A I/P	E8-03D-2	\$ 11.280	6	6	6
8	Microcontrolador PIC16F1827	E9-06A-2	\$ 7.735	6	7	6
9	Microcontrolador PIC18F2550 I/SP	E8-03B-2	\$ 16.920	AGOTADO		
10	Microcontrolador PIC16F628A	E8-03D-3	\$ 8.330	AGOTADO		
11	Microcontrolador Programador PICKIT 3 Microchip Genérico	E7-01D	\$ 71.250	AGOTADO		
12	Microcontrolador PIC16F84	E8-09D	\$ 13.090	AGOTADO		
13	Microcontrolador PICKIT 2 Genérico	E5-02B-2	\$ 69.972	AGOTADO		
14	Microcontrolador PIC18F4550 I/P	E8-03C-2	\$ 24.990	AGOTADO		
15	Microcontrolador PIC16F73 I/SP	E8-03D-1	\$ 5.950	AGOTADO		
16	Microcontrolador PIC16F73 I/SP	E8-03b-1	\$ 8.455	AGOTADO		
17	Microcontroladores PIC / K150 Conector USB	E10-08E	\$ 42.840	AGOTADO		
18	Microcontrolador ATMEGA328P-PU	E8-03I-2	\$ 7.973	AGOTADO		
19	Transistor PNP 2N2907	E9-11G	\$ 77	90	1	5
20	Transistor 2N3904 NPN	E1-03D	\$ 100	90	2	5
21	Transistor NPN TIP31C TO-220	E9-02B-3	\$ 600	90	3	5
22	Transistor PNP TIP32C TO-220	E9-02C-1	\$ 1.000	90	4	5

Figura 47. Entorno grafico del inventario [Autores]

Las columnas 'E' y 'F' de que se observan en la Figura 48, albergan las respectivas coordenadas 'x' y 'y' donde se encuentra ese artículo en la estantería, siendo la parte inferior izquierda la coordenada '0-0' o el origen.

8.2. MATRIZ DE ENVIÓ

La matriz de envío se define como una alternativa para albergar los productos que el operario ha seleccionado desde la interfaz que quiere extraer o ingresar a la bodega, con el fin de tener una visualización clara y segura de los productos con los que se va a interactuar.

En la siguiente figura se puede observar un ejemplo de cuatro artículos seleccionados por el operario a los cuales quiere interactuar.

	A	B	C	D	E	F
1	Nombre del Producto	SKU	Precio	Disponibilidad	x	y
2	Microcontrolador Pickit 3 MPLAB	E5-04B	\$ 64.974	5	1	6
3	Microcontrolador PIC12F508 I/P	E1-01K	\$ 3.300	13	2	6
4	Transistor PNP 2N2907	E9-11G	\$ 77	90	1	5
5	Transistor 2N3904 NPN	E1-03D	\$ 100	90	2	5

Figura 48. Ejemplo de selección [Autores]

La máquina realizará un barrido de únicamente las coordenadas de los productos los cuales van a extraer o ingresar respectivamente y hará un cálculo para determinar cuál es la manera óptima en tiempo para poder acceder a ellos.

9. INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA

La interfaz de usuario permite que el operario interactúe con los procesos que realiza la máquina, a su vez proporciona información sobre la base de datos a la cual puede acceder y administrar con facilidad.

9.1. SOFTWARE

El desarrollo de la interfaz se implementó en VBA Visual Basic para Aplicaciones ya que posee un enlace directo con Excel 2017. En otras palabras, con nuestra base de datos. Esto implica unas ventajas significativas ya que con este programa cuentan la mayoría de ordenadores a nivel mundial y es de fácil acceso.

En la siguiente figura se puede observar cómo se desarrolló la interfaz que se puede ver en la (Figura 49) desde la aplicación de Visual Basic para Excel 2017.

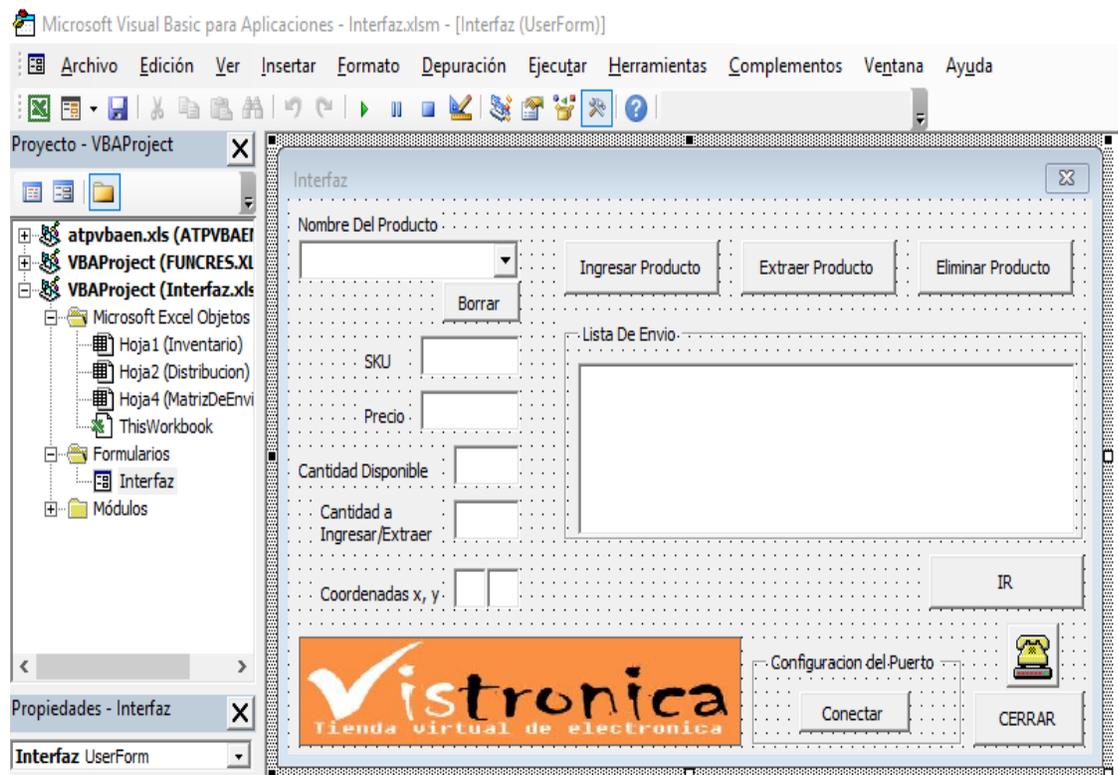


Figura 49. Interfaz gráfica [Autores]

9.2. PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ EN VBA EXCEL

Visual Basic está diseñado para crear productivamente aplicaciones seguras y orientadas a objetos [45], útil para el desarrollo de aplicaciones, ya que lo que realiza este tipo específico de lenguaje es esperar una acción del usuario para proceder a activar la programación asignada a un botón específico. (Libro Visual Basic orientado a base de datos)

En la Figura 50 podemos ver un claro y sencillo ejemplo de lo que significa “programación orientada a objetos”:

```
Private Sub Cerrar_Click()  
End  
End Sub
```

Figura 50. Código orientado a objetos [Autores]

Un botón llamado “Cerrar” está a la espera de que el usuario de click sobre dicho botón para así realizar la operación “End” que finaliza la aplicación y por ende cierra la interfaz prevista en la Figura 51

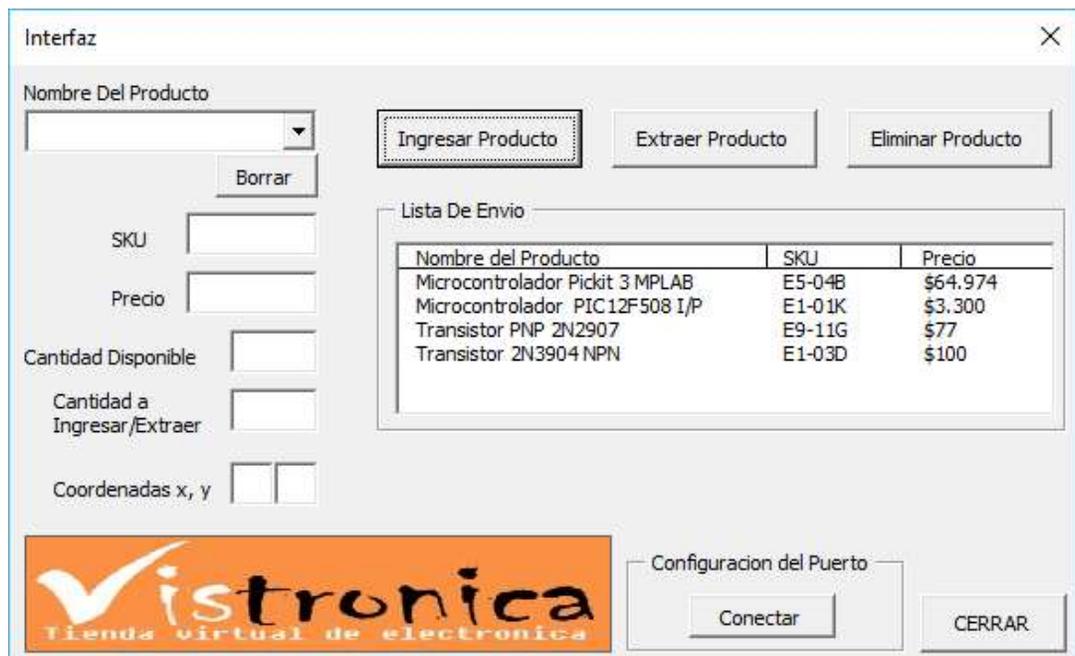


Figura 51. Imagen de interfaz final [Autores]

9.3. FUNCIONES DE LOS COMANDOS

Se presenta en la Tabla 9. Funciones de comandos parte 1 [Autores], el conjunto de funciones (botones) descritas por cada uno de los botones presentas en la interfaz de la Figura 51.

Tabla 9. Funciones de comandos parte 1 [Autores]

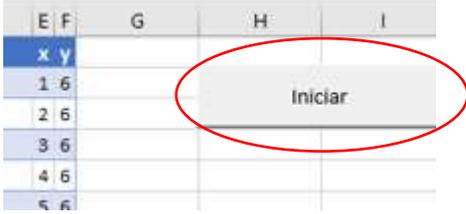
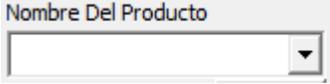
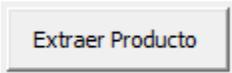
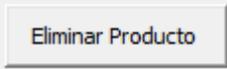
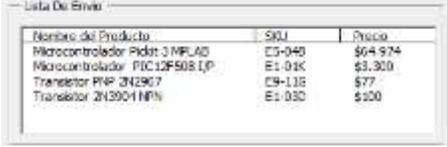
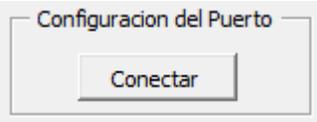
Descripción	Botón
<p>Botón ‘iniciar’: Está ubicado en la primera hoja de Excel con el fin de acceder a la interfaz más rápidamente sin necesidad de ingresar a la sección de “programador” de Excel 2017.</p>	 <p>Figura 52. Botón de inicio [Autores]</p>
<p>ComboBox ‘Nombre del producto’: Está destinado a mostrar en el orden definido en la hoja de Excel todos los productos puestos en la base de datos, como también permite escribir y buscar un artículo específico.</p>	 <p>Figura 53. Botón de ComboBox [Autores]</p>
<p>Botón ‘Borrar’: Elimina toda la palabra escrita sobre el ComboBox “Nombre de producto”.</p>	 <p>Figura 54. Botón Borrar [Autores]</p>
<p>Botón ‘Ingresar producto’: Se le especifica a la máquina que su labor es Ingresar los artículos de la estantería que seleccionó posteriormente.</p>	 <p>Figura 55. Botón Ingresar [Autores]</p>
<p>Botón ‘extraer producto’: Se le especifica a la máquina que su labor es extraer los artículos de la estantería que seleccionó posteriormente.</p>	 <p>Figura 56. Botón Extraer [Autores]</p>

Tabla 10. Funciones de comandos parte 2 [Autores]

<p>Botón ‘eliminar producto’: Elimina de la base de datos el producto seleccionado.</p>	 <p>Figura 57. Botón Eliminar [Autores]</p>
<p>ListBox ‘Lista de envío’: Muestra los artículos seleccionados por el operario para ingresar o extraer de la estantería.</p>	 <p>Figura 58. Botón ListBox [Autores]</p>
<p>Botón ‘conectar’: Permite la comunicación entre la CPU y el microprocesador para proceder a realizar el trabajo encomendado.</p>	 <p>Figura 59. Botón conectar [Autores]</p>
<p>Botón ‘ir’: Envía las coordenadas correspondientes de los artículos puestos en la matriz de envío al microprocesador para generar movimiento.</p>	 <p>Figura 60. Botón IR [Autores]</p>

9.4. LIBRERÍAS PARA LA COMUNICACIÓN SERIAL

Es fundamental en ciertos casos tener apoyo de librerías predefinidas para un desarrollo más óptimo del programa, en este caso se empleó una librería llamada “*MSComm*” esta permite la comunicación por puerto serie con el microprocesador Arduino.

Para poder trabajar con esta librería se deben definir ciertos parámetros tales como: Velocidad de envío de datos, cantidad de bits que se envían, entre otros, los cuales deben tener idéntica configuración la placa Arduino. Por default el formato con el que envía los datos por el puerto serie es tipo “*String*”. Los datos que se envían por el puerto serial con esta librería son las coordenadas en “x”, “y” y “z” de cada uno de los productos, uno a la vez. Un dato importante sobre esta librería es que solo está disponible para Excel de 32 bits y si no se encuentra en la barra de herramientas debe activarse desde la opción “*Herramientas*” de la barra de tareas de VBA.

10.METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se realizará basado en la metodología del modelo en V aplicado al diseño mecatrónico como se muestra en la *Figura 61*, que consta de una pendiente decreciente de definición de especificaciones y de parámetros a tener en cuenta durante el desarrollo luego la fase llana de consolidación de un prototipo terminando con una pendiente creciente de integración y validación donde se revisa que se cumplan con las especificaciones y parámetros propuestos en la planeación inicial y al mismo tiempo corrección de los mismos.

El propósito de la implementación de esta metodología es definir las distintas fases intermedias que se requieren para validar el desarrollo de este proyecto. Es decir garantizar que cumpla los requisitos para la aplicación y verificación de los procedimientos de desarrollo. [46]

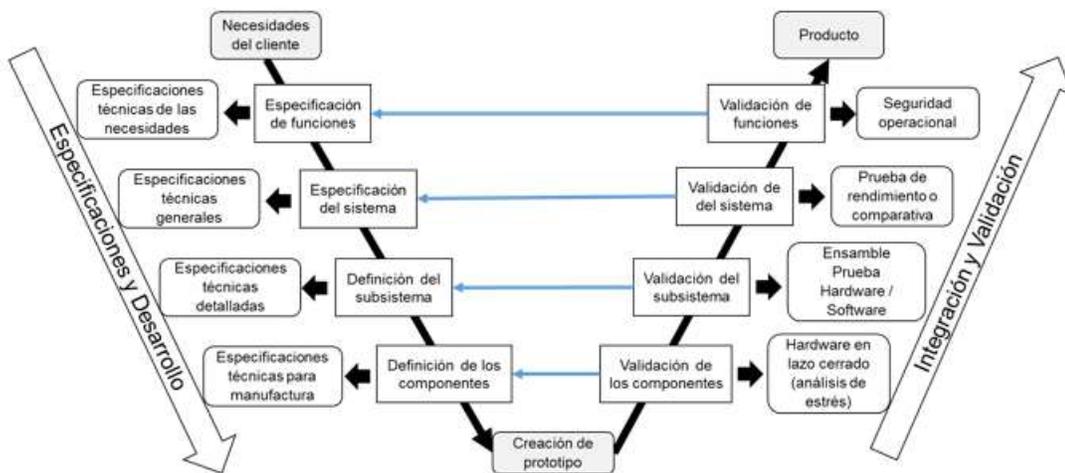


Figura 61. Metodología modelo en V [46]

Fases de aplicación de la metodología en V para este proyecto:

- **Fase 1:** Está orientada al cliente. El inicio y el fin del proyecto se comienza encontrando la problemática o necesidad que se desea satisfacer seguido a esto se lleva a cabo una revisión del estado del arte o de posibles soluciones que han utilizado para la problemática, se tiene en cuenta la información relevante de dicha búsqueda bibliográfica y se comienza a plantear diversas soluciones que puedan subsanar la necesidad.

- **Fase 2:** Basado en las características funcionales del sistema propuesto, una vez consolidada la alternativa a aplicar se pasa a la fase de diseño mecatrónico. Este consta de tres etapas de diseños que deben ser hechas teniendo en cuenta cada aspecto de estas entre sí, se lleva a cabo un diseño mecánico, diseño electrónico y un diseño de control siguiendo la misma metodología del modelo en v descrito anteriormente dando como resultado el prototipo a evaluar.

- **Fase 3:** Define los componentes (hardware y Software) del sistema final a este conjunto se le denomina arquitectura del sistema se llega a la etapa de simulación, donde se valida que los diseños cumplan con las especificaciones planteadas y sí no es así se inicia el rediseño y de nuevo la validación de estos hasta que se cumple satisfactoriamente con cada parte de las especificaciones.

- **Fase 4:** Esta es la fase de implementación, en la que se desarrollan completamente el proyecto en este caso se pasa a fase de construcción donde se acoplan los resultados de la parte de diseño mecatrónico, se llevan a cabo pruebas de ensamble entre el hardware y el software, seguido a pruebas de funcionamiento, ajustes y refinamiento. Todo esto conlleva al producto final especificado por el cliente.

11.RESULTADOS ESPERADOS

- Prototipo funcional de la máquina ASRS con desplazamiento en plano vertical de mínimo de un metro cuadrado para almacenamiento y extracción de artículos de una bodega de máximos un kilogramo de peso.
- Un actuador para la máquina ASRS tipo brazo articulado que permita extraer y almacenar componentes en el anaquel.
- Interfaz hombre-máquina para guiar el mecanismo y computar los artículos de la bodega.
- Elaboración de un manual de operación.
- Elaboración de un manual de mantenimiento.

12. PLAN DE PRUEBAS PARA LA VALIDACION

Para la validación de la maquina AS/RS se deben realizar un seguimiento con base a su diagrama de bloques (ver Figura 62), el cual nos ayuda a verificar su correcto funcionamiento analizando su entrada con respecto a la salida.

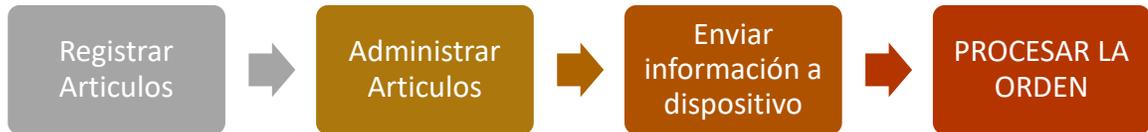


Figura 62. Diagrama de bloques [Autores]

12.1. PRUEBAS DE CORRIENTE NOMINAL

Para contrarrestar los picos de corrientes se usaron condensadores mayores de 47 [μf] como lo establecido en el datasheet del integrado DRV8825.

Se realizaron tres tomas de datos para para cada movimiento tomando como punto de referencia la parte inferior izquierda con el fin de determinar la corriente nominal cada vez que se mueve 5 [cm] y asi lograr determinar el valor de la fuente de poder y la linealidad de las varillas roscadas en cada punto, esto ultimo se determina gracias a la corriente ya que si la varilla se encuentra deformada en alguna zona generará un mayor rozamiento con la tuerco y por ende necesitará ejercer una mayor fuerza el motor paso a paso.

En la Tabla 11. Tablas de corriente para eje 'x' [Autores] se realiza para eje "X".

Tabla 11. Tablas de corriente para eje 'x' [Autores]

Izquierda -> Derecha				Derecha -> Izquierda			
Prueba [cm]	In [A]			Prueba [cm]	In [A]		
0-5	2,23	2,11	1,94	35-40	2,23	2,21	2,16
5-10	2,17	2,16	1,95	30-35	2,07	2,11	2,08
10-15	2,1	2,08	1,95	25-30	2,13	2,09	2,03
15-20	2,14	2,14	2,04	20-25	1,97	2,1	1,99
20-25	2,1	2,1	1,97	15-20	2,01	2,03	2,06
25-30	2,12	2,03	1,96	10-15	1,96	2,05	2,08
30-35	2,15	2,08	1,97	5-10	1,96	2,02	2,13
35-40	2,05	2,1	1,98	0-5	1,96	2,07	2,07

En la *Tabla 12. Tablas de corriente para eje "Y" [Autores]* se presentan las pruebas de movimiento en eje 'y':

Tabla 12. Tablas de corriente para eje "Y" [Autores]

Abajo -> Arriba				Arriba -> Abajo			
Prueba [cm]	In [A]			Prueba [cm]	In [A]		
0-8	2,16	2,17	2,33	56-64	1,94	2,14	2,19
8-16	2,13	2,15	2,3	48-56	1,98	2,11	2,16
16-24	2,09	2,15	2,35	40-48	2,02	2,1	2,23
24-32	2,06	2,17	2,32	32-40	2,01	2,17	2,22
32-40	2,07	2,15	2,28	24-32	2,01	2,18	2,24
40-48	2,11	2,22	2,31	16-24	2,01	2,16	2,21
48-56	2,14	2,21	2,33	8-16	2	2,13	2,19
56-64	2,23	2,23	2,42	0-8	2,01	2,15	2,18

A continuación en la *Tabla 13. Tablas de corriente para eje 'x' con carga [Autores]* y *Tabla 14. Tablas de corriente para eje 'y' con carga [Autores]* se observan los datos de las pruebas con carga de 1[Kg]

Tabla 13. Tablas de corriente para eje 'x' con carga [Autores]

Izquierda -> Derecha				Izquierda -> Derecha			
Prueba [cm]	In [A]			Prueba [cm]	In [A]		
0-5	2,16	2,18	2,21	35-40	2,07	2,22	2,28
5-10	2,06	2,16	2,11	30-35	2,04	2,17	2,23
10-15	2,04	2,06	2,05	25-30	1,95	2,15	2,22
15-20	2,06	2,06	2,06	20-25	1,92	2,13	2,15
20-25	2,04	2,08	2,06	15-20	1,98	2,16	2,27
25-30	2,05	2,07	2,03	10-15	1,95	2,15	2,19
30-35	2,02	2,2	2,08	5-10	1,96	2,18	2,25
35-40	2,03	2,15	2,09	0-5	1,98	2,13	2,2

Tabla 14. Tablas de corriente para eje 'y' con carga [Autores]

Abajo -> Arriba				Arriba -> Abajo			
Prueba [cm]	In [A]			Prueba [cm]	In [A]		
0-8	2,27	2,18	2,33	56-80	1,95	2,05	2,1
8-16	2,16	2,3	2,22	48-56	1,99	2,04	2,12
16-24	2,11	2,11	2,17	40-48	2,02	2,08	2,15
24-32	2,07	2,05	2,17	32-40	1,99	2,03	2,12
32-40	2,06	2,07	2,13	24-32	2,04	2,04	2,1
40-48	2,07	2,06	2,12	16-24	2,03	2,06	2,11
48-56	2,12	2,03	2,16	8-16	2,01	2,05	2,19
56-80	2,16	2,16	2,15	0-8	1,98	2,14	2,18

12.1.1. ANALISIS DE RESULTADOS

Se eligió como dato de referencia para una buena selección de la fuente de alimentación la corriente 2.42 [A] vista en la prueba realizada en el eje 'y' con un movimiento de abajo hacia arriba en la distancia de 56 a 64 [cm], esto se genera ya que en este punto se encuentra el mayor pandeo de la varilla roscada, el cual genera un mayor esfuerzo al motor. Por lo tanto, se opta por una fuente de 2.5 [A] para el funcionamiento de un solo motor al mismo tiempo.

12.1.2. DATOS DE CORRIENTE PARA EL ACTUADOR FINAL

Para este caso se planteó como prueba la clase de trabajo que requiere hacer el actuador final, el cual van a existir dos casos vistos a continuación. Tabla 15. Tabla de corriente eje "Z" [Autores]

Tabla 15. Tabla de corriente eje "Z" [Autores]

Entrando sin carga y saliendo con carga			Entrando con carga y saliendo sin carga		
Prueba [cm]	In [A]		Prueba [cm]	In [A]	
1	1,88	1,88	1	1,87	1,82
2	1,86	1,87	2	1,82	1,9
3	1,85	1,85	3	1,86	1,84
4	1,86	1,86	4	1,88	1,85

Como se puede observar la carga no influye en el consumo de corriente del actuador que manipula la paleta.

12.1.3. ERROR PERMITIDO EN FUNCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO

Para comprobar que la paleta llegue al lugar correspondiente se debe hacer un análisis del porcentaje de error relativo, ya que ese porcentaje va a ser diferente en cada uno de los puntos que seleccionen.

La paleta tiene de ancho 70 [mm] y el orificio por donde el actuador final entra y retira el artículo de la estantería es de 80 [mm] esto nos da un error en milímetros permitido de 5[mm] a la derecha y a la izquierda.

La paleta tiene de grosor 3 [mm] y el orificio por donde el actuador final entra y retira el artículo de la estantería es de 15 [mm] esto nos da un error en milímetros permitido de 12 [mm] a la derecha y a la izquierda.

Se realizó una prueba la cual la maquina recorrió cuatro distancias distintas y se procedió a medir cuanto era el desfase en cada una de ellas para poder finalmente sumar cada uno de los errores en milímetros y verificar que la paleta si es capaz de disponer del artículo en este caso en la posición 400 [mm] en el eje 'x' y exactamente igual para el eje 'y' con la diferencia de que su posición final es la de 600 [mm], en pocas palabras, en la parte superior derecha. Tabla 16. Error en milímetros del desplazamiento [Autores]

Tabla 16. Error en milímetros del desplazamiento [Autores]

X	Dato 1 [mm]	Error en [mm]	y	Dato 2 [mm]	Error en [mm]
		100		3	
	200	0		300	0
	300	0		450	0
	400	2		600	2

Con esto se comprueba que el error en desplazamiento está entre los límites permisibles.

12.2. PLAN DE DESLIZAMINETO

El eje roscado trapezoidal tiene un paso de 2mm por vuelta para la varilla de diámetro 12mm y de 2mm para la varilla de diámetro 8mm de diámetro.

Un motor bipolar se logra programar correctamente en Arduino configurando sencillamente la dirección de giro poniendo en 'Alto' o en 'bajo' un pin de salida digital y el número de vueltas la cual exige al usuario que digite un numero de pulsos para que el motor pueda tomando como referencia que 200 pulsos es una vuelta completa.

La distancia mínima que puede recorrer el sistema lo obtenemos teniendo en cuenta que el motor NEMA 17 usado para el proyecto tiene 200 pasos de resolución por vuelta, esto quiere decir que con 1 paso recorre una distancia de $\frac{2}{200} = 0.01$ [mm]

La máquina realiza un recorrido total de 49 [cm] en el eje 'x', 67 [cm] para el eje 'y' y 20 [cm] para el eje 'z'. Por lo cual el espacio de trabajo se dividió de como se muestra en la Figura 63.

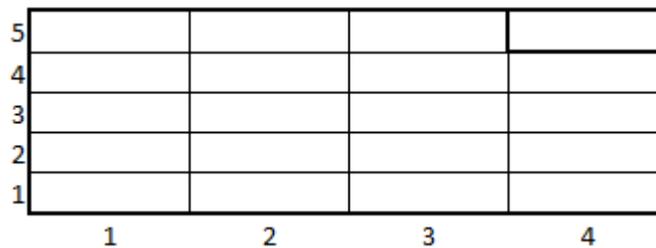


Figura 63. Disposición de la estantería [Autores]

Donde la coordenada (1,1) es la coordenada origen y cada una de las restantes es un espacio destinado para 3 artículos exceptuando la coordenada (4,5) que es el lugar destinado para que la máquina deje el artículo requerido y pueda disponer el operario.

- **Eje x:** 23 cm a la izquierda es igual a 7666 pulsos en el código de arduino.

```
for(int x = 0; x < 7666; x++){
    digitalWrite(stepPin,HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepPin,LOW);
    delayMicroseconds(1000);
}
```



Figura 64. Desplazamiento a la izquierda [Autores]



Figura 65. Comprobación de desplazamiento [Autores]

- **Eje y:** 23 cm a la izquierda es igual a 5750 pulsos en el código de Arduino, esto varía con respecto al anterior pues el paso de la varilla roscada es de 2mm.

```
for(int y = 0; y < 5750; y++){
  digitalWrite(stepPin2,HIGH);
  digitalWrite(stepPin3,HIGH);
  delayMicroseconds(1500);
  digitalWrite(stepPin2,LOW);
  digitalWrite(stepPin3,LOW);
  delayMicroseconds(1500);
}
```

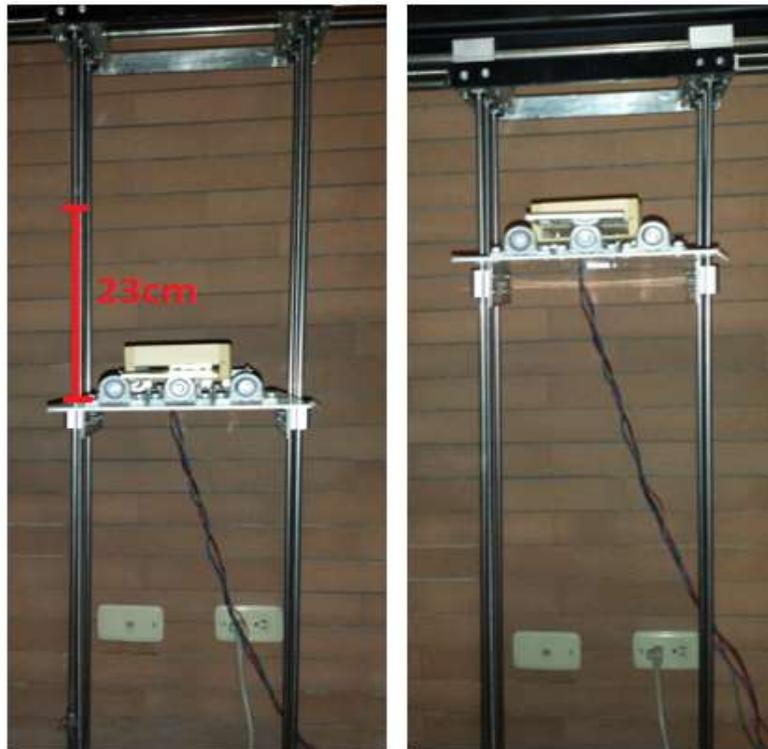


Figura 66. Comprobación del desplazamiento vertical Ascendente [Autores]

- **Eje z:** 15 cm a la izquierda es igual a 3750 pulsos en el código de Arduino

```
for(int z = 0; z < 3750; z++){  
  digitalWrite(stepPin4,HIGH);  
  delayMicroseconds(2000); //  
  digitalWrite(stepPin4,LOW);  
  delayMicroseconds(2000);  
}
```

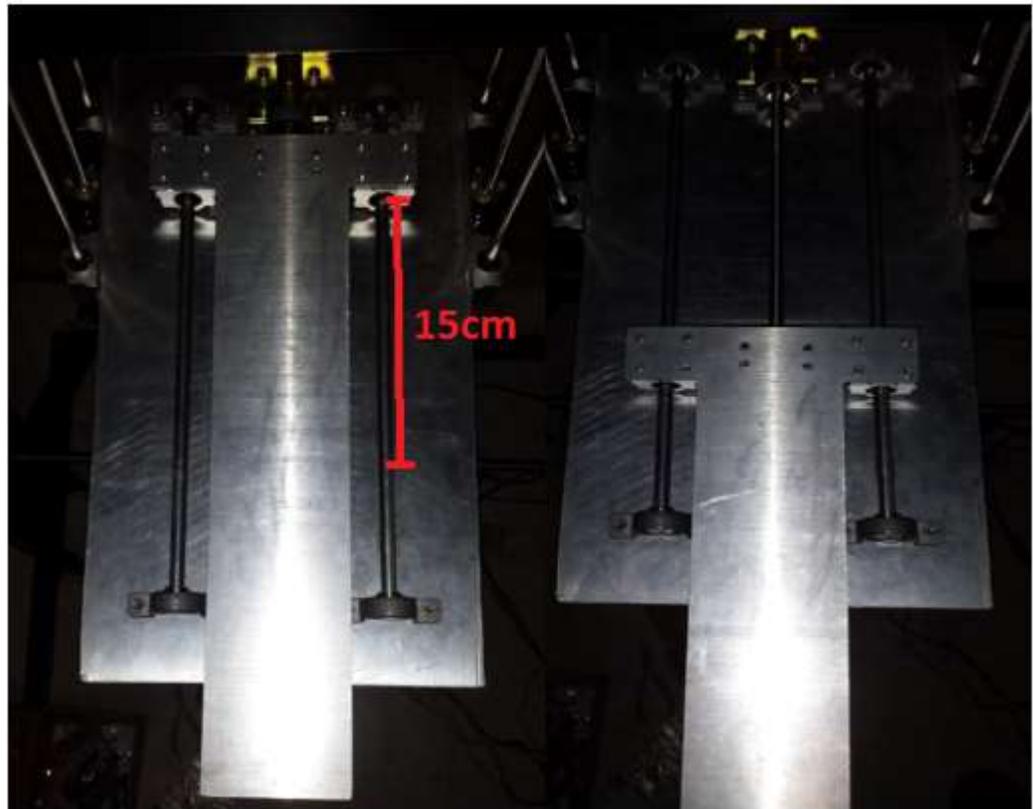


Figura 67. Comprobación del desplazamiento del actuador [Autores]

12.3. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN BASE DE DATOS-INTERFEZ

Se valida la comunicación si los datos de cada uno de los artículos dispuestos en la base de datos son exactamente los mismos que aparecen en la interfaz de usuario. Ver Figura 68

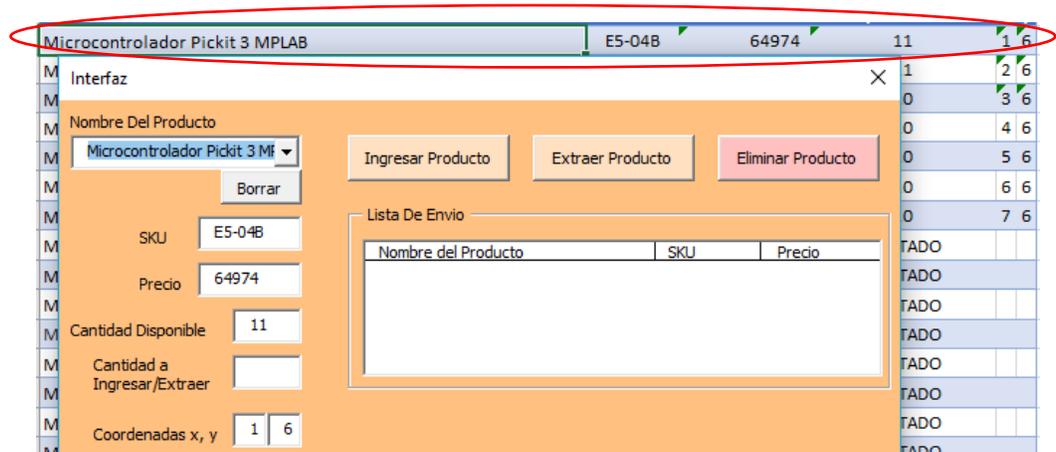


Figura 68. Base de datos e interfaz [Autores]

12.4. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN INTERFAZ-CONTROLADO

Para este caso la validación se realiza al verificar que los datos de coordenadas 'x' y 'y' presentes en la interfaz, son las mismas que se envían por puerto serial al Arduino. Ver



Figura 69. Visualización del puerto serial arduino [Autores]

Figura 69.

13. CRONOGRAMA

PRIMER SEMESTRE DEL 2018

Actividades	< Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Revisión de literatura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2 Realizar documentación de anteproyecto	X	X	X	X	X																			
3 Entrega de anteproyecto a director					X																			
4 Correcciones de anteproyecto					X	X																		
5 Entrega de anteproyecto a evaluadores					X																			
6 Sustentación de Anteproyecoto						X																		
7 Selección de sensores y actuadores								X																
8 Realizar el modelamiento matemático									X	X	X	X	X											
9 Realizar el diseño mecánico conceptual									X	X	X	X	X	X										
10 Realizar el diseño mecánico conceptual									X	X	X	X	X	X										
11 Realizar el diseño electrónico y eléctrico													X	X	X	X	X	X						
12 Correcciones según consideraciones de director																	X							
13 Cotizaciones																	X							
14 Entrega documento a evaluadores																	X							
15 Sustentación final del documento																		X						
16 Cálculos y consideraciones en caso de rediseño																					X	X	X	X

Figura 70. Primera parte del cronograma [Autores]

SEGUNDO SEMESTRE DEL 2018

Actividades	Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
16 Cálculos y consideraciones en caso de rediseño	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
17 Construcción del sistema mecánico	X	X	X	X	X	X																		
18 Elaboración del libro de proyecto de grado		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
19 Diseño y creación de interfaz				X	X	X	X	X	X															
20 Entrega de anteproyecto a evaluadores								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
21 Sustentación de Anteproyecoto														X	X	X								
22 Selección de sensores y actuadores																	X	X						
23 Realizar el modelamiento matemático																	X	X	X					
24 Realizar el diseño mecánico conceptual																		X						
25 Realizar el diseño mecánico conceptual																		X	X	X				
26 Prototipo final terminado																						X		

Figura 71. Segunda parte del cronograma [Autores]

14. PRESUPUESTO

COMPONENTES	CANT	Precio c/u	SUBTOTAL
<i>Chumacera con rodamiento 8MM KP08</i>	6	\$ 10.115	\$ 60.690
<i>Chumacera con rodamiento 12MM KP08</i>	4	\$ 12.912	\$ 51.648
<i>Rodamientos 12MM SC12UU</i>	8	\$ 16.422	\$ 131.376
<i>Chumacera con rodamiento 8MM KFL08</i>	12	\$ 10.115	\$ 121.380
<i>Cojinete para eje de deslizamiento lineal SC8UU</i>	8	\$ 10.710	\$ 85.680
<i>Arduino Mega 2560 R3 Compatible</i>	1	\$ 44.030	\$ 44.030
<i>Driver Para motor paso a paso DRV8825</i>	4	\$ 13.000	\$ 52.000
<i>Motor paso a paso 5.6Kgcm NEMA 17 para impresora 3D</i>	4	\$ 55.930	\$ 223.720
<i>Varilla lisa de acero inoxidable 16 mm para eje lineal 1m</i>	4	\$ 32.000	\$ 128.000
<i>Varilla lisa acero inoxidable 8 mm para eje lineal 1 metro</i>	6	\$ 22.015	\$ 132.090
<i>Varilla roscada trapezoidal 8MMX300MM con rosca</i>	1	\$ 30.702	\$ 30.702
<i>Varilla roscada trapezoidal 8MMX1000MM con rosca</i>	2	\$ 101.150	\$ 202.300
<i>Soporte rosca T8 de varilla trapezoidal 8MM</i>	3	\$ 11.900	\$ 35.700
<i>Perfil en C de acero 1M</i>	2	\$ 11.700	\$ 23.400
<i>Transporte</i>	3	\$ 20.000	\$ 60.000
<i>Cajas</i>	12	\$ 5.100	\$ 61.200
<i>Perfil en C de acero 1,5M</i>	2	\$ 17.600	\$ 35.200

<i>Bloque duralon</i>	1	\$ 50.000	\$ 50.000
<i>Prisioneros y llave bristol</i>	10	\$ 300	\$ 3.000
<i>Machuelos 5/32</i>	2	\$ 4.600	\$ 9.200
<i>Machuelos 3/16</i>	2	\$ 5.000	\$ 10.000
<i>Brocas 4/32</i>	2	\$ 3.600	\$ 7.200
<i>Brocas 3/16</i>	2	\$ 5.600	\$ 11.200
<i>Estanteria Fixer</i>	1	\$ 149.900	\$ 149.900
<i>Tornilleria 3/16" cabeza bristol 1/4"</i>	12	\$ 450	\$ 5.400
<i>Tornillo 3/6" de 1"</i>	30	\$ 390	\$ 11.700
<i>Remaches*</i>	60	\$ 500	\$ 30.000
<i>Placa metalica T</i>	1	\$ 8.000	\$ 8.000
<i>Placa metalica Base</i>	1	\$ 20.000	\$ 20.000
<i>Acrilico Base</i>	1	\$ 45.000	\$ 45.000
<i>Impresión 3D (PLA)</i>	1	\$ 96.400	\$ 96.400
<i>Acrilico T</i>	1	\$ 25.000	\$ 25.000
<i>Material para impresión (PLA)</i>	1	\$ 80.000	\$ 80.000
<i>Cartón 1x1</i>	10	\$ 4.200	\$ 42.000
TOTAL			\$ 2.083.116

15. CONCLUSIONES

- Se tuvieron problemas mecánicos en el sistema pues los elementos usados para la construcción del proyecto no fueron ideales como se habían planteado en función de medidas, como lo visto en el diámetro de los cojinetes y en el espesor de las varillas lisas, estas poseen una diferencia bastante considerable que hace que el sistema por su propio peso caiga y no permita un buen deslizamiento a la hora de desplazarse sobre los ejes, sobre todo verticalmente.
- El pandeo que se observa en cada una de las varillas roscada viene de fábrica y esto ocasiona que en algunos puntos el motor tenga que consumir más corriente de la que se había planteado y genera pequeñas averías en el desplazamiento, esto se soluciona ejecutando una rectificación en cada una de las varillas roscadas.
- La parametrización de la comunicación serial fue muy importante a la hora de la programación en Arduino, ya que esta es la base para generar un código que tenga comunicación tanto con la base de datos como con el microprocesador que envía las señales a cada uno de los motores.
- Se tuvo constancia de la importancia de seleccionar correctamente los softwares para este proyecto, pues se realizó con más facilidad la programación y el establecimiento de la relación entre cada una de las partes del sistema gracias a que los softwares eran compatibles entre si de fábrica y con protocolos de comunicación ya existentes.
- Al poseer un lazo de control abierto el desarrollo de plan de pruebas fue un paso crucial para la validación del funcionamiento de la máquina pues se revisaron los aspectos mas importantes de la misma como lo son las corrientes máximas y el desplazamiento en cada uno de los ejes.
- La implementación de esta clase de maquinas en las industrias modernas las cuales abarcan una gran cantidad de productos en sus bodegas listos para despachar al cliente resulta ser una necesidad y de gran ayuda para la mejora de tiempos y administración de artículos, esto se vio plasmado en el funcionamiento del prototipo y como tenia una relación directa con su base de datos y el movimiento de la máquina.

16. BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Dager, «Dinero,» 17 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.dinero.com/emprendimiento/articulo/automatizacion-en-las-empresas-colombianas-en-el-2020-segun-deloitte/242846>.
- [2] E. cambiar, «Vistronica S.A.S,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/>.
- [3] L. F. Garcia-Herreros Patiño, I. Lache Salcedo y S. A. Rodriguez Flores, Diseño de un AS/RS (Automated storage y retrieval system), para implementación didáctica, Bucaramanga, 2005.
- [4] J. D. Conrad, R. Hsiung, K. K. Pankratov, R. Sullivan y L. M. Sweet, «Storage and retrieval system». Estados Unidos Patente 9856083, 18 Enero 2016.
- [5] C. V. Kaukl, X. Cai, A. S. Bhat y M. Eng, «High density automated storage and retrieval system». Estados Unidos Patente 9796527, 29 Septiembre 2015.
- [6] C. Hellenbrand, «Maquina automatica de almacenamiento y comisinado para bultos pequeños». Alemania Patente ES2536685, 27 Mayo 2015.
- [7] E. A. MacDonald, T. A. Apgar, T. A. Schaefer, M. Ziegler, R. G. Barbour y F. B. Buzan, «Storage and retrieval system rover interface». Estados Unidos Patente 15598969, 07 Septiembre 2017.
- [8] C. C. Vañejo Castañeda, Control de un almacén de AS/RS desarrollado en una herramienta gráfica para pruebas y control, Bogota DC: Pontificia Universidad Javeriana, 2010.
- [9] C. A. Capilla Falcón y J. L. Pulloquina Zapata, Diseño y construcción de un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento / recuperación (AS /RS), para sistemas flexibles de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes, Latacunga : Universidad de las fuerzas armadas, 2014.
- [10] K. Lopez Hayna, Diseño de la estructura física de un AS/RS para fines didácticos, Mixteca: Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), 2015.

- [11] A. Alonso Hermosilla, Diseño de un sistema de almacenamiento automatico mediante arduino, Valladolid - España: Universidad de Valladolid, 2017.
- [12] J. H. Carvajal Rojas, R. D. Godoy Hernández y W. Rodríguez Quintero, Proyecto mecatrónico de brazo robot cartesiano integrado a una celda de almacenamiento y recuperación automatizada AS / RS de un Sistema Flexible de Manufactura FMS, Brasil : UNICAMP, 2009.
- [13] A. Rosales Martin, Diseño de un sistema automatizado de almacen paletizado, España: Universidad Politecnica de Valencia , 2016.
- [14] D. Bargiotas, A. Ktena, C. Manasis y O. Ladoukakis, «A scalabe low-cost Automated Storage & Retrival System,» de *16th International Conference in System, Signals and Image Processing*, Chalkida, Greece, 2005.
- [15] MECALUX S.A., «Mecalex Nwes,» Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.mecalux.es/manual-almacen/almacen>. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [16] NOEGA Systems [Soluciones de almacenaje], «Sistema de almacenamiento compacto y versátil,» 18 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://www.noegasystems.com/blog/almacenaje/sistema-de-almacenamiento-compacto>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [17] B. Salazar Lopez, «Ingenieria Industrial Online,» Creative Commons, 2016. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-de-almacenes/sistemas-de-almacenamiento/>. [Último acceso: 30 Julio 2018].
- [18] SYSTEM Logistic, «Systemlogistic,» System Logistics Spa, Noviembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.systemlogistics.com/spa/productos/asrs>. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [19] Viastore Systems, «Sistemas de almacenaje automatico,» Guaranteed Success, Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.viastore.com/es-es/sistemas-logistica-interna/>. [Último acceso: Marzo 2018].
- [20] C. A. Rodriguez Arroyave, P. Lora y A. Lopez, «Sistema de almacenamiento,» de *XIII Reunion de centros de informacion - CLADEA, Universidad EAFIT*, Medellin, Colombia, 2015.

- [21] WESTFALIA Our innovation your solution, Westfalia Technologies, Inc, Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.westfaliausa.com/es>. [Último acceso: 2 Agosto 2018].
- [22] P. N. Romero Anturi, «Automatización de almacenes mediante el uso de transelevadores en empresas de consumo masivo en Colombia,» Universidad de la Nueva Granada, Colombia, 12 Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12619>. [Último acceso: 30 Septiembre 2018].
- [23] ATOX Sistema de almacenaje, S.A, «Grupo ATOX,» 03 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.atoxgrupo.com/website/automatizacion-del-almcen/miniload>. [Último acceso: 19 Abril 2018].
- [24] BGO S.R.L, «GBO Processing, filling & packaging plants,» GIM UNIMPRESA, 2016. [En línea]. Available: <https://www.gbo-group.com/complete-lines-and-intralogistic/automated-storage-system/fast-rotation-storage-frs>. [Último acceso: 06 Junio 2018].
- [25] OUTSOURCE EQUIPMENT, «OUTSOURCEEQUIPMENT.COM,» BBB Accredited Bussines, 2015. [En línea]. Available: <http://www.osequip.com/products/carousels-and-vertical-storage-systems/vertical-lift-sequencer/>. [Último acceso: 1 Octubre 2018].
- [26] Logística y competitividad de las PYME, «Secretaria general de la industria,» Dirección General de Política de la Pequeña y Mediana Empresa, Mayo 2007. [En línea]. Available: <http://josesanlogistica.blogspot.com/>. [Último acceso: 09 Septiembre 2018].
- [27] Aptean Where Software Works, «Gestion de almacén mejorada,» Aptean, 2017. [En línea]. Available: <http://www.aptean.es/products/imi-supply-chain/gestion-de-almacen-mejorada>. [Último acceso: 02 Julio 2018].
- [28] A. Sanchez, «operaciondebodegasasm,» Artículo ARR, 05 Octubre 2012. [En línea]. Available: <https://operaciondebodegasasm.wordpress.com/2012/10/05/ventajas-y-desventajas-de-los-sistemas-automatizados-de-almacenamiento/>. [Último acceso: 21 Abril 2018].
- [29] G. Kenneth y C. T. Pope, «Aplicaciones de la seguridad en almacenamiento,» Enciclopedia de seguridad, 2006. [En línea]. [Último acceso: Agosto 2018].
- [30] C. c. d. seguridad, «Seguridad en bodegas de almacenamiento,» ICONTEC - Certificado de gestion de calidad, 2017. [En línea]. Available:

- <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/seguridad%20en%20bodegas%20de%20almacenamiento.pdf>. [Último acceso: 12 Julio 2018].
- [31] Congreso de Colombia, «Medidad Sanitarias,» Congreso de Colombia, 16 Julio 1976. [En línea]. Available: https://www.arsura.com/files/ley9_1979.pdf. [Último acceso: 19 Junio 2018].
- [32] Ministerio de trabajo y seguridad social, «Resolución 2400 de 1979,» Congreso de Colombia, [En línea]. Available: <http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/Res.2400-1979.pdf>. [Último acceso: 02 Agosoto 2018].
- [33] Congreso de Colombia, «Ley 9 de 1979,» [En línea]. Available: https://www.arsura.com/files/ley9_1979.pdf. [Último acceso: 01 Agosto 2018].
- [34] Estate compensation insurance fund, «Materiales de seguridad específicos de la industria,» 2010. [En línea]. Available: <https://content.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingArticle.aspx?ArticleID=281>. [Último acceso: 03 Junio 2018].
- [35] SURA | ARL, «Seguro de riesgos laborales suramericana S.A.,» de *Componentes vitales para una empresa segura*, Bogota, Colombia, 2013.
- [36] F. G. P. L. P. D. SHEETS, «Factory Mutual Insurance Company,» Protection for Automatic Storege, 2017. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Nata/Downloads/FMDS-0834%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Nata/Downloads/FMDS-0834%20(2).pdf).
- [37] R. L. Norton, Diseño de elementos de maquias, Mexico: McGraw Hill, 2004.
- [38] j. Bertolome, J. Gercia, M. Gomez y F. Granados, «MOTOR PASO A PASO,» Maquinas e instalaciones electricas , 2014. [En línea]. Available: http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs2/PaP/MOTOR_PaP_FINAL.pdf.
- [39] Tinchorton, «Patagonia TEC,» MOTORES PASO A PASO - , 2015. [En línea]. Available: <https://saber.patagoniatec.com/2014/06/motores-paso-a-paso-arduino-argentina-ptec/>.
- [40] ELECTROPRO, «Driver DRV8825,» Piura - Peru, [En línea]. Available: <https://electropro.pe/image/data/imgProductos/252.%20Driver%20DRV8825%20para%20motor%20Paso%20a%20Paso%20PaP/ManualDRV8825.pdf>. [Último acceso: 27 Agosto 2018].

- [41] F. d. J. Rodríguez Mendez, «Sistema de adquisición de datos y control automático del proceso de medición para la determinación de gradientes de densidad de materiales estructurales por medio de radiación gamma,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, 16 Noviembre 2016. [En línea]. Available:
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7263/Sistema_adquisicion_datos_control_automatgico_proceso_medicion_determinacion_gradientes_densidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 27 Agosto 2018].
- [42] J. Llamas, «Motores paso a paso con arduino y driver A4988 o DRV8825,» Ingeniería informática y diseño, 23 Agosto 2016. [En línea]. Available:
<https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>.
- [43] K. Ogata, Ingeniería de control moderno, Madrid, España: Pearson Hall, 2010.
- [44] J. V. Valentino y J. Goldenberg, Introduction to computer numerical control (CNC), Columbus, Ohio: Prentice Hall, 2003.
- [45] C. Rodríguez Bucarely y P. A. Rodríguez Bucarely, Visual Basic 6.0 (Orientada a Base de Datos), República Dominicana: Desarrollado grupo Experto Bucarely, 2008.
- [46] E. Ortigón, J. F. Pacheco y A. Prieto, Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas, Santiago, Chile: Naciones Unidas, 2015.

17.ANEXOS

17.1. CODIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO

```
int dato;
int dato1;
int dato2;
int dato3;
long regx;
long coorx;
long regy;
long coory;
long regz;
long coorz;

// VARIABLES GLOBALES

int j = 0;
int Dx = 163;
int Dy = 167;
int Dz = 66;

int depox = 3;
int depoy = 4;
int depoz = 3;
int bodegx = 0;
int bodegy = 0;
int bodegz = 0;

long desx = 0;
long desy = 0;
long desz = 0;
```

```

const int stepPin = 11;
const int dirPin = 10;
const int stepPin2 = 9;
const int dirPin2 = 8;
const int stepPin3 = 7;
const int dirPin3 = 6;
const int stepPin4 = 5;
const int dirPin4 = 4;

void setup() {

    pinMode(stepPin,OUTPUT);
    pinMode(dirPin,OUTPUT);
    pinMode(stepPin2,OUTPUT);
    pinMode(dirPin2,OUTPUT);
    pinMode(stepPin3,OUTPUT);
    pinMode(dirPin3,OUTPUT);
    pinMode(stepPin4,OUTPUT);
    pinMode(dirPin4,OUTPUT);
    Serial.begin(9600);

}

void loop() {

    ////////////LECTURA DE COORDENADAS//////////7

    if(Serial.available()){
        dato = Serial.read()-48;
        j++;
    }
}

```

```

    }else{
        dato = 0;
        j = 0;
    }
    if(dato == -35){
        dato = 0;
    }

    //////////////////////////////////////
    //////////////////////////////////////MOVIMIENTO DE EJES////////////////////////////////////

    if(j == 1){
        datol= dato;
        coorx = Dx*datol;
        regx = 200*coorx;
        desx = regx/8;
        digitalWrite(dirPin,HIGH); //X HIGH derecha, LOW izquierda

        movx();

        Serial.print("X=");
        Serial.print(desx);
        Serial.println('\t');

    }

    if(j == 2){
        dato2 = dato;
        coory = Dy*dato2;
        regy = 200*coory;
        desy = regy/8;

        digitalWrite(dirPin2,LOW); //Y HIGH abajo, LOW arriba
        digitalWrite(dirPin3,LOW); //Y

```

```

movy();

Serial.print("Y=");
Serial.print(desy);
Serial.println('\t');

}

if(j == 3){
dato3 = dato;
coorz = Dz*dato3;
regz = 200*coorz;
desz = regz/8;
digitalWrite(dirPin4,LOW); //Z HIGH entrando, LOW saliendo

movz();

Serial.print("Z=");
Serial.print(desz);
Serial.println('\t');

digitalWrite(dirPin4,HIGH);

movz();

Serial.print("Z=");
Serial.print(desz);
Serial.println('\t');

memoria();
}

```

```

    if(j == 3){
    j = 0;
    }
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////MEMORIA////////////////////////////////////
void memoria(){
bodegx = depox-dato1;
coorx = Dx*bodegx;
regx = 200*coorx;
desx = regx/8;
digitalWrite(dirPin,HIGH); //X HIGH derecha, LOW izquierda
movx();
Serial.print("Xmem=");
Serial.print(desx);
Serial.print('\t');
regx = 0;
coorx = 0;
desx = 0;

////////////////////////////////////
bodegy = depoy-dato2;
coory = Dy*bodegy;
regy = 200*coory;
desy = regy/8;
digitalWrite(dirPin2,LOW); //Y HIGH abajo, LOW arriba
digitalWrite(dirPin3,LOW); //Y
movy();

```

```

Serial.print("Ymem=");
Serial.print(desy);
Serial.print('\t');
regy = 0;
coory = 0;
desy = 0;

////////////////////////////////////
digitalWrite(dirPin4,LOW); //HIGH entrando, LOW saliendo
movz();
Serial.print("Zmem=");
Serial.print(desz);
Serial.print('\t');
digitalWrite(dirPin4,HIGH);
movz();
Serial.print("Zmem=");
Serial.print(desz);
Serial.print('\t');
regz = 0;
coorz = 0;
desz = 0;

regreso();
}
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////REGRESO A ORIGEN////////////////////////////////////
void regreso(){
digitalWrite(dirPin,LOW); //X HIGH derecha, LOW izquierda
//X=5
for(int x = 0; x < 12225; x++){//POR DEFINIR
digitalWrite(stepPin,HIGH);

```

```

delayMicroseconds(1000);
digitalWrite(stepPin,LOW);
delayMicroseconds(1000);
}
Serial.print("X0=");
Serial.print("5");
Serial.print('\t');
////////////////////////////////////
digitalWrite(dirPin2,HIGH); //Y HIGH abajo, LOW arriba
digitalWrite(dirPin3,HIGH); //Y
//Y=2
for(int y = 0; y < 16700; y++){
digitalWrite(stepPin2,HIGH);
digitalWrite(stepPin3,HIGH);
delayMicroseconds(1200);
digitalWrite(stepPin2,LOW);
digitalWrite(stepPin3,LOW);
delayMicroseconds(1200);
}
Serial.print("Y0=");
Serial.print("2");
Serial.println('\t');

delay(2000);
}
////////////////////////////////////
void movx() {
for(int x = 0; x < desx; x++){
digitalWrite(stepPin,HIGH);

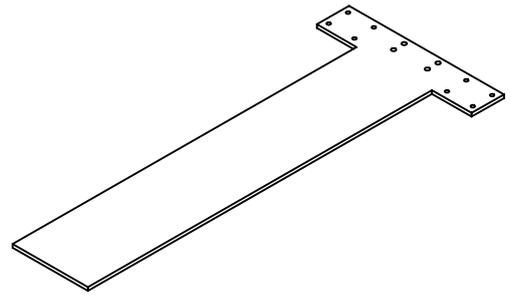
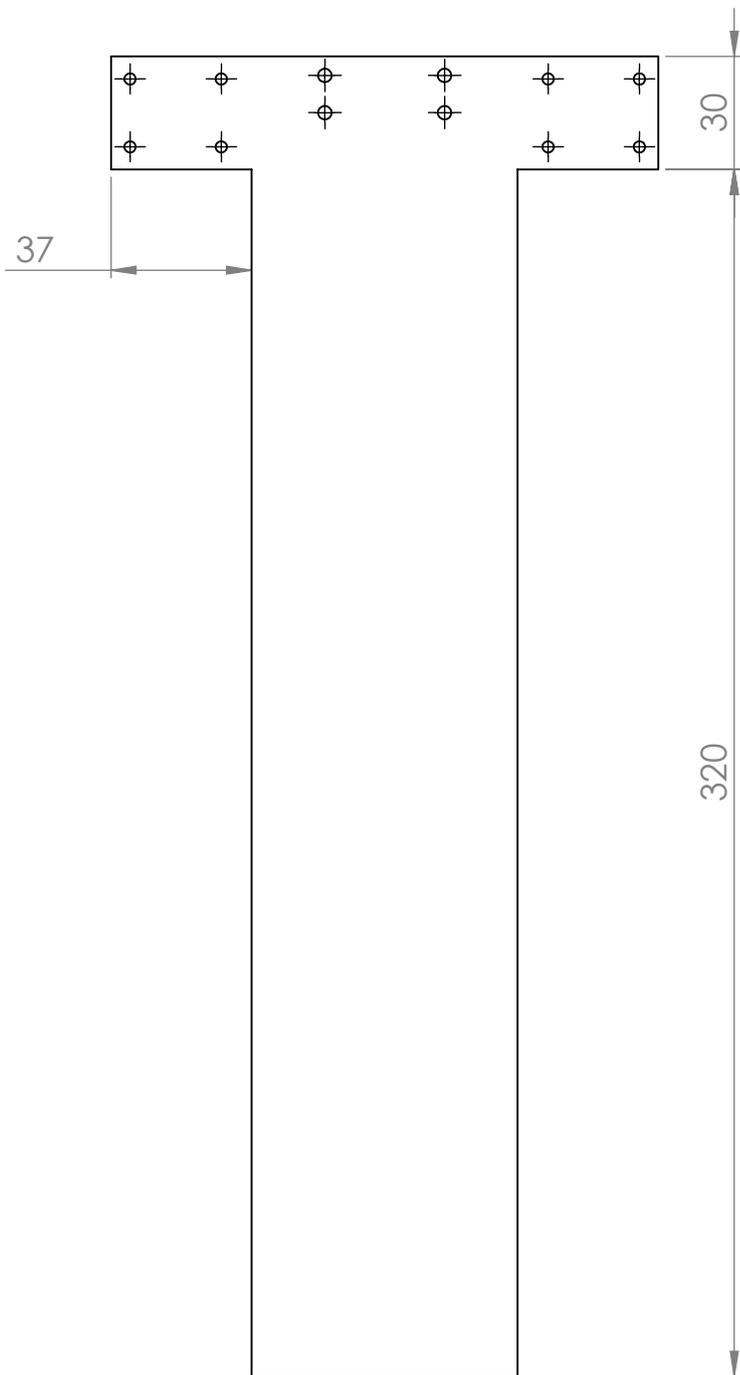
```

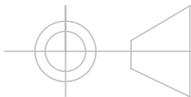
```
delayMicroseconds(1000); // EJE X [1000]
digitalWrite(stepPin,LOW);
delayMicroseconds(1000);
}
}
```

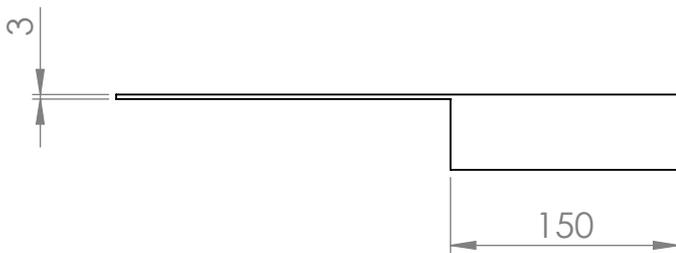
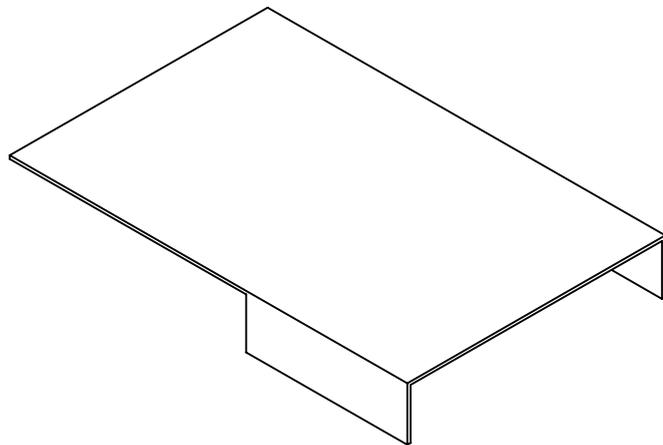
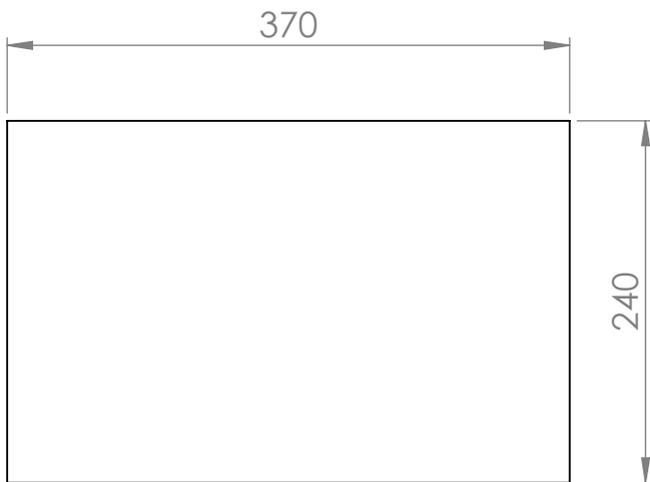
```
void movy(){
    for(int y = 0; y < desy; y++){
        digitalWrite(stepPin2,HIGH);
        digitalWrite(stepPin3,HIGH);
        delayMicroseconds(1200);
// EJE Y [2000]
        digitalWrite(stepPin2,LOW);
        digitalWrite(stepPin3,LOW);
        delayMicroseconds(1200);
    }
}
```

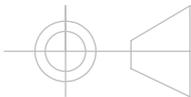
```
void movz(){
    for(int z = 0; z < desz; z++){
        digitalWrite(stepPin4,HIGH);
        delayMicroseconds(2000); //
        digitalWrite(stepPin4,LOW);
        delayMicroseconds(2000);
    }
}
```

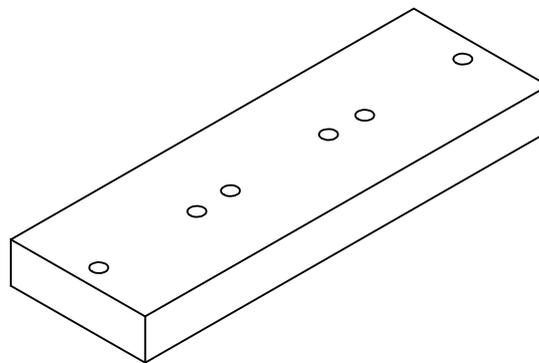
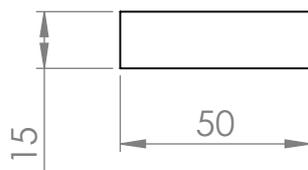
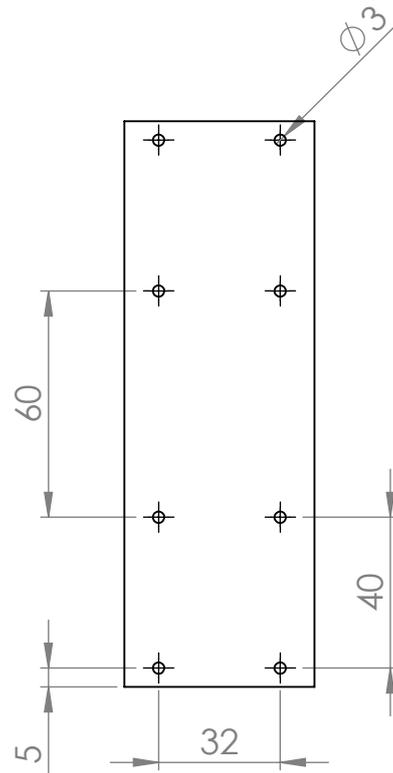
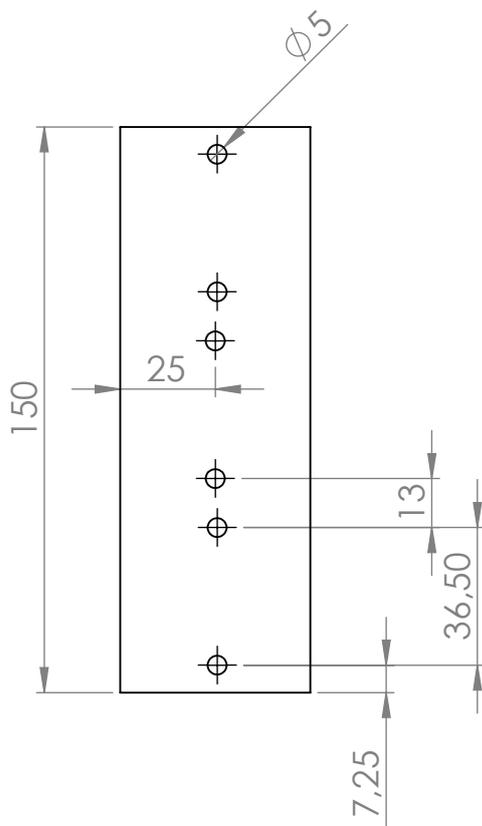
17.2. PLANOS DE DISEÑO (SOLIWORKS)



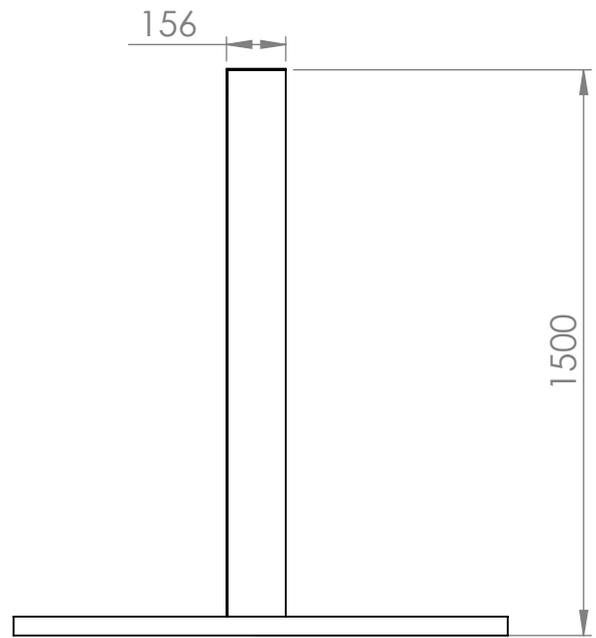
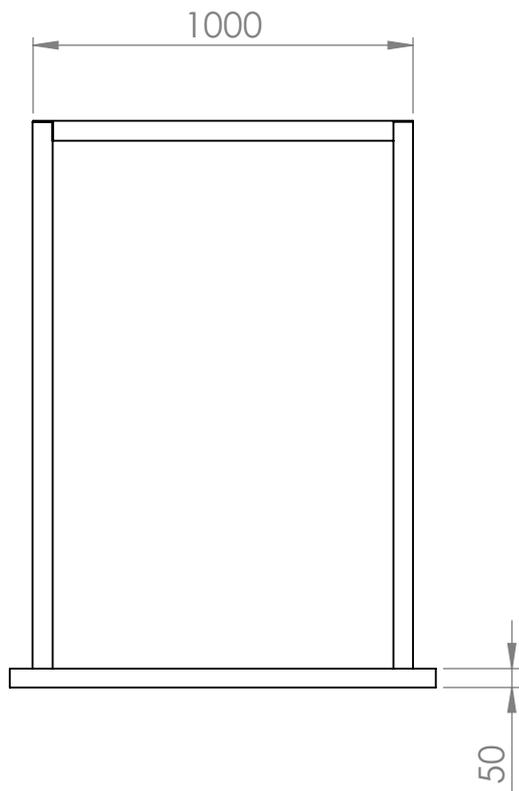
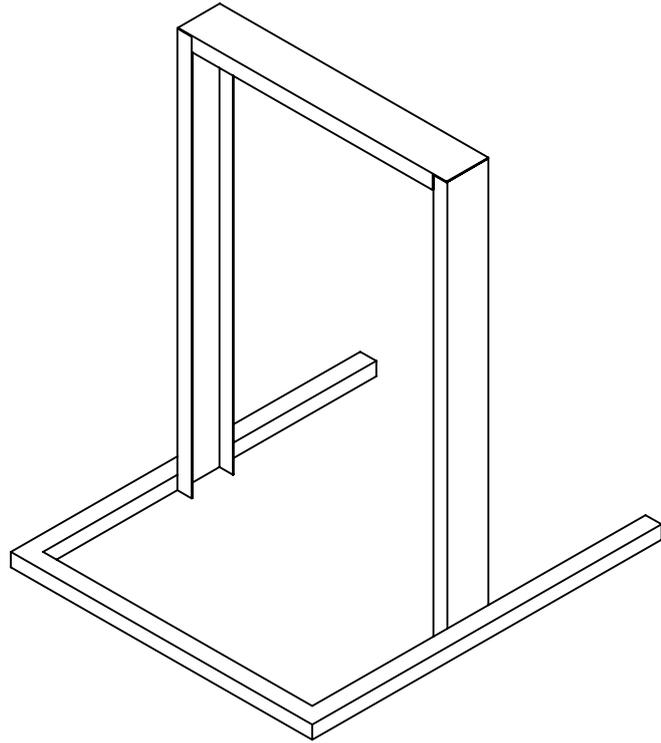
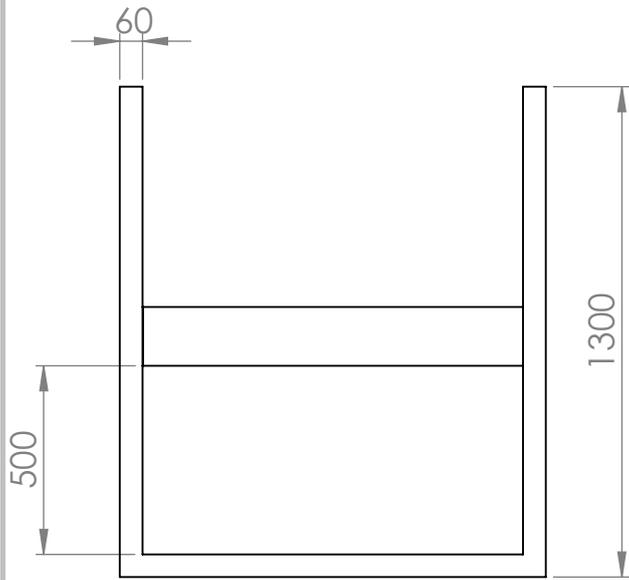
Autores: Braulio José Blanco Caballero Natalia Paola Bahos León		Título del proyecto: Diseño y construcción de una máquina AS/RS para almacenamiento y extracción de artículos electrónicos de una bodega	
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados.		Material: Aluminio	Tolerancias: Dimensión Lineal: +/- 0.5 mm Dimensión Angular: +/- 1°
Docente: Darío José Hernández Bolívar	FECHA: 7/01/2019	NOMBRE DE DIBUJO: Actuador Final	ESCALA: 1:5
PESO:		A4	
PESO:		HOJA 1 DE 1	



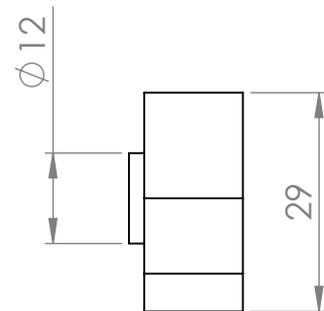
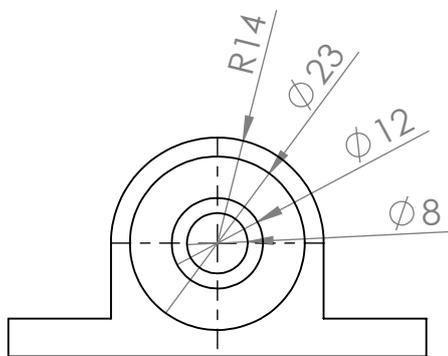
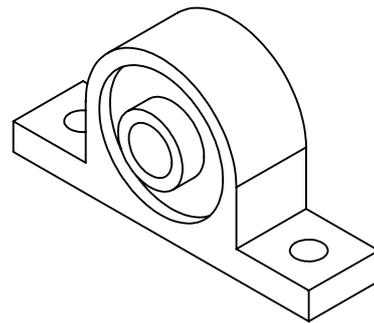
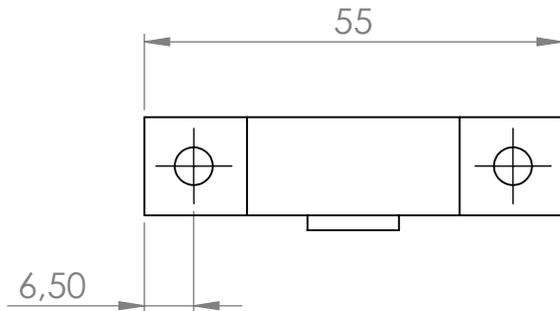
Autores: Braulio José Blanco Caballero Natalia Paola Bahos León		Título del proyecto: Diseño y construcción de una máquina AS/RS para almacenamiento y extracción de artículos electrónicos de una bodega	
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados.		Material: Aluminio	Tolerancias: Dimensión Lineal: +/- 0.5 mm Dimensión Angular: +/- 1°
Docente: Darío José Hernández Bolívar	FECHA 7/01/2019	NOMBRE DE DIBUJO: Base Actuator	ESCALA: 1:10
PESO:			A4
			HOJA 1 DE 1



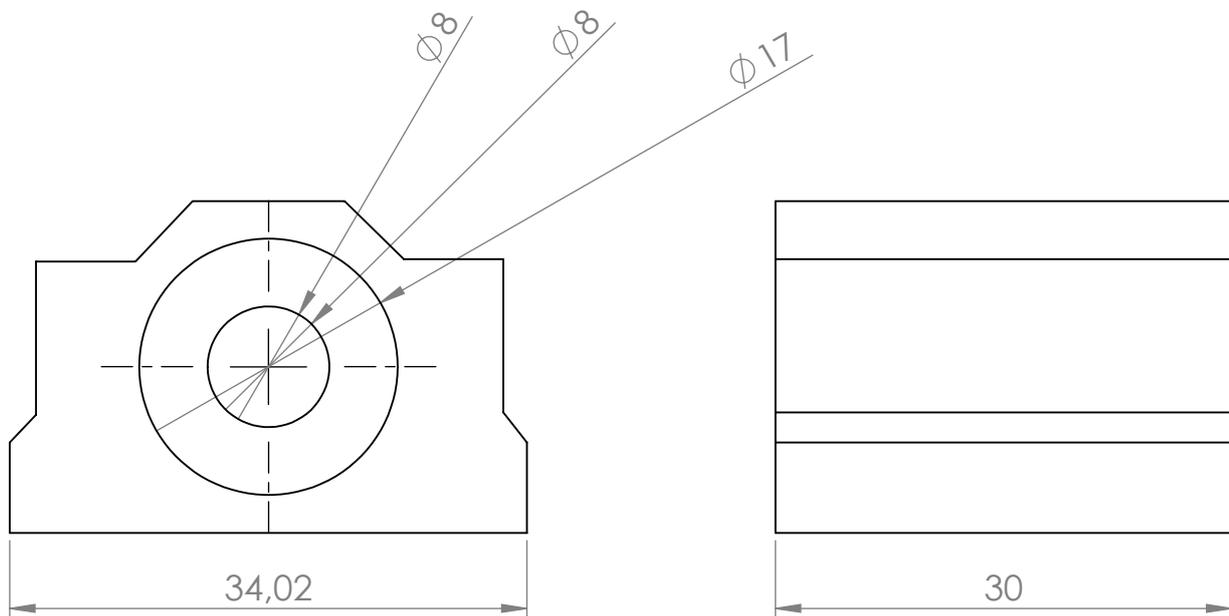
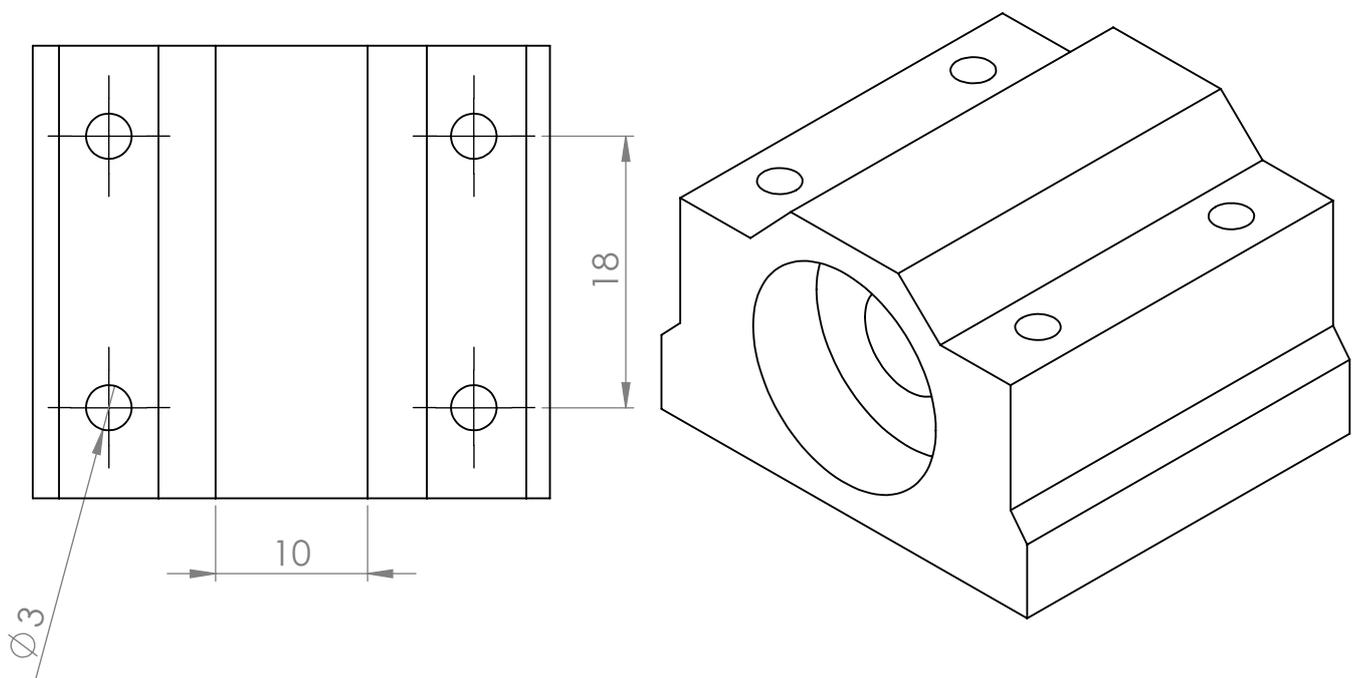
Autores: Braulio José Blanco Caballero Natalia Paola Bahos León		Título del proyecto: Diseño y construcción de una máquina AS/RS para almacenamiento y extracción de artículos electrónicos de una bodega	
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados.		Material: Aluminio	Tolerancias: Dimensión Lineal: +/- 0.5 mm Dimensión Angular: +/- 1°
Docente: Darío José Hernández Bolívar	FECHA 18/01/2019	NOMBRE DE DIBUJO: Base desplazamiento	
PESO:		ESCALA: 1:2 A4	
ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1	

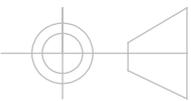


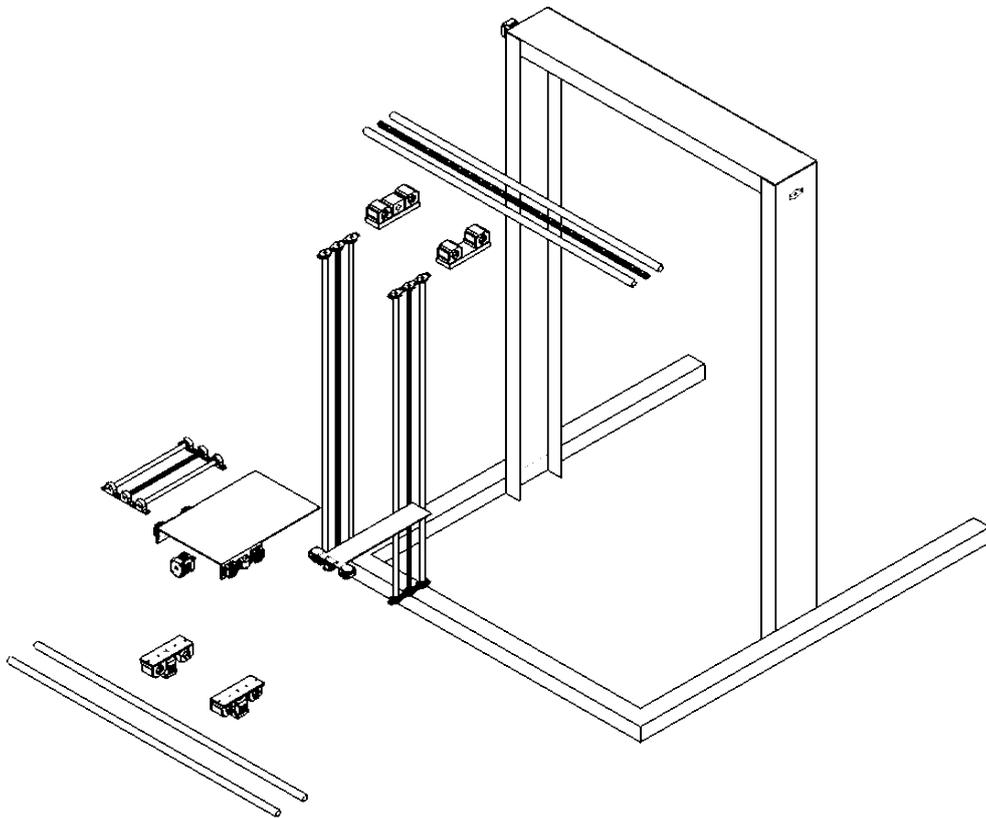
Autores: Braulio José Blanco Caballero Natalia Paola Bahos León		Título del proyecto: Diseño y construcción de una máquina AS/RS para almacenamiento y extracción de artículos electrónicos de una bodega	
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados.		Material: Acero	Tolerancias: Dimensión Lineal: +/- 0.5 mm Dimensión Angular: +/- 1°
Docente: Darío José Hernández Bolívar	FECHA: 7/01/2019	NOMBRE DE DIBUJO: Base H	ESCALA: 1:50 A4
PESO:	ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1	HOJA 1 DE 1



Autores: Braulio José Blanco Caballero Natalia Paola Bahos León		Título del proyecto: Diseño y construcción de una máquina AS/RS para almacenamiento y extracción de artículos electrónicos de una bodega	
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados.		Material: Aluminio	Tolerancias: Dimensión Lineal: +/- 0.5 mm Dimensión Angular: +/- 1°
Docente: Darío José Hernández Bolívar	FECHA 18/01/2019	NOMBRE DE DIBUJO: Chumacera eje Z	ESCALA: 1:1 A4
PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1	HOJA 1 DE 1



Autores: Braulio José Blanco Caballero Natalia Paola Bahos León		Título del proyecto: Diseño y construcción de una máquina AS/RS para almacenamiento y extracción de artículos electrónicos de una bodega	
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados.		Material: Aluminio	Tolerancias: Dimensión Lineal: +/- 0.5 mm Dimensión Angular: +/- 1°
Docente: Darío José Hernández Bolívar	FECHA 18/01/2019	NOMBRE DE DIBUJO: Cojinete	ESCALA: 1:1
PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1	A4



Autores: Braulio José Blanco Caballero Natalia Paola Bahos León		Título del proyecto: Diseño y construcción de una máquina AS/RS para almacenamiento y extracción de artículos electrónicos de una bodega	
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados.		Material: Acero y Aluminio	Tolerancias: Dimensión Lineal: +/- 0.5 mm Dimensión Angular: +/- 1°
Docente: Darío José Hernández Bolívar	FECHA 11/01/2019	NOMBRE DE DIBUJO: Vista Explosionada	
PESO:		ESCALA: 1:50	
ESCALA: 1:50		HOJA 1 DE 1	

A continuación, se muestra el manual de operación para la maquina AS/RS de manera que el usuario pueda operarla de forma fácil y óptima.

MANUAL DE OPERACIÓN

Diseño y construcción de una maquina AS/RS para almacenamiento y extracción de artículos electrónicos de una bodega

Natalia P. Bahos León
Braulio J. Blanco Caballero

1. PUESTA EN MARCHA

Presione el **switch** para energizar el sistema, este switch también funciona como parada de emergencia si el caso lo amerita.



Figura 1. Botón de inicio [Autores]

2. MANEJO DE LA BASE DATOS

- I. Ingresar en el archivo de Excel donde están administrados los datos de los productos.



Figura 2. Documento de Excel [Autores]

- II. Revise la base de datos esta se observa en la figura 1, del sistema para conocer si el elemento que necesita está disponible en la estantería frente a la máquina (*Escriba el nombre del producto en la barra de fórmulas*).

	A	B	C	D	E	F
1	Nombre del Producto	SKU	Precio	Disponibilidad	x	y
2	Microcontrolador Pickit 3 MPLAB	E5-04B	\$ 64.974	5	1	6
3	Microcontrolador PIC12F508 I/P	E1-01K	\$ 3.300	13	2	6
4	Microcontrolador ATMEGA8A-PU	E8-01H-2	\$ 7.735	7	3	6
5	Microcontrolador Adaptador zocalo zif 40p icsp pickit 2 o pickit 3	E7-10H	\$ 11.900	6	4	6
6	Microcontrolador PIC16F84A SMD	E1-04W	\$ 5.593	7	5	6
7	Microcontrolador PIC16F877A I/P	E8-03D-2	\$ 11.280	6	6	6
8	Microcontrolador PIC16F1827	E9-06A-2	\$ 7.735	6	7	6
9	Microcontrolador PIC18F2550 I/SP	E8-03B-2	\$ 16.920	AGOTADO		
10	Microcontrolador PIC16F628A	E8-03D-3	\$ 8.330	AGOTADO		
11	Microcontrolador Programador PICKIT 3 Microchip Genérico	E7-01D	\$ 71.250	AGOTADO		
12	Microcontrolador PIC16F84	E8-090	\$ 13.090	AGOTADO		
13	Microcontrolador PICKIT 2 Generico	E5-02B-2	\$ 69.972	AGOTADO		
14	Microcontrolador PIC18F4550 I/P	E8-03C-2	\$ 24.990	AGOTADO		
15	Microcontrolador PIC16F73 I/SP	E8-03D-1	\$ 5.950	AGOTADO		
16	Microcontrolador PIC16F73 I/SP	E8-03b-1	\$ 8.455	AGOTADO		
17	Microcontroladores PIC / K150 Conector USB	E10-08E	\$ 42.840	AGOTADO		
18	Microcontrolador ATMEGA328P-PU	E8-03I-2	\$ 7.973	AGOTADO		
19	Transistor PNP 2N2907	E9-11G	\$ 77	90	1	5
20	Transistor 2N3904 NPN	E1-03D	\$ 100	90	2	5
21	Transistor NPN TIP31C TO-220	E9-02B-3	\$ 600	90	3	5
22	Transistor PNP TIP32C TO-220	E9-02C-1	\$ 1.000	90	4	5

Figura 3. Base de datos [Autores]

- III. Seguido a esto abra el archivo Excel donde están administrados los datos de los productos. Pulse el botón **“Inicio”** que se encuentra en la parte superior derecha de la pantalla para abrir la interfaz de usuario.

MANEJO DE INTERFAZ

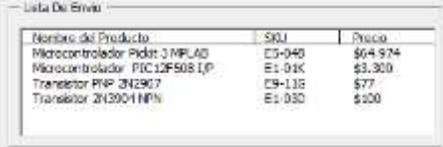
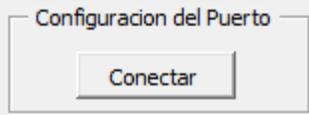
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Nombre del Producto:	SKU	Precio	Disponibilidad	x	y				
2	Microcontrolador PIC16F628A	E9-048	\$ 64974	2	1	1				
3	Microcontrolador PIC12F508 V/P	E1-01K	\$ 3300	1	2	1				
4	Microcontrolador ATMEGA8A-PU	E8-01N-2	\$ 7735	0	3	1				
5	Microcontrolador Adaptador zcabo zif 40p uss pickit 2 o pickit 3	E7-10H	\$ 11900	5	4	1				
6	Microcontrolador PIC18F2550 V/P	E9-038-2	\$ 16.930	AGOTADO						
7	Microcontrolador PIC16F628A	E9-03D-3	\$ 8.330	AGOTADO						
8	Microcontrolador Programador PICKIT 3 Microchip Genérico	E7-01D	\$ 71.250	AGOTADO						
9	Transistor PNP 2N2907	E9-11G	\$ 77	5	1	2				
10	Transistor 2N3904 NPN	E1-05D	\$ 100	5	2	2				
11	Transistor NPN TIP31C TO-220	E9-02B-3	\$ 600	5	3	2				
12	Transistor PNP TIP32C TO-220	E9-02C-2	\$ 1.000	5	4	2				

Figura 4. Ubicación de botón de inicio [Autores]

Para el manejo de la interfaz debe tener en cuenta la tabla 1. La cual explica cada uno de los comandos que la conforman.

Tabla 1. Tabla de comandos de la interfaz [Autores]

Descripción	Botón
Botón ‘iniciar’: Está ubicado en la primera hoja de Excel con el fin de acceder a la interfaz más rápidamente sin necesidad de ingresar a la sección de “programador” de Excel 2017.	
ComboBox ‘Nombre del producto’: Está destinado a mostrar en el orden definido en la hoja de Excel todos los productos puestos en la base de datos, como también permite escribir y buscar un artículo específico.	
Botón ‘Borrar’: Elimina toda la palabra escrita sobre el ComboBox “Nombre de producto”.	
Botón ‘Ingresar producto’: Se le especifica a la máquina que su labor es Ingresar los artículos de la estantería que seleccionó posteriormente.	
Botón ‘extraer producto’: Se le especifica a la máquina que su labor es extraer los artículos de la estantería que seleccionó posteriormente.	

<p>Botón ‘eliminar producto’: Elimina de la base de datos el producto seleccionado.</p>																
<p>ListBox ‘Lista de envío’: Muestra los artículos seleccionados por el operario para ingresar o extraer de la estantería.</p>	 <table border="1" data-bbox="878 384 1321 531"> <thead> <tr> <th>Nombre del Producto</th> <th>SKU</th> <th>Precio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Microcontrolador Pídat 3 MPLAD</td> <td>E3-040</td> <td>\$64.974</td> </tr> <tr> <td>Microcontrolador PIC 12F508 LP</td> <td>E1-01K</td> <td>\$3.300</td> </tr> <tr> <td>Transistor PNP 2N2907</td> <td>E9-11B</td> <td>\$77</td> </tr> <tr> <td>Transistor 2N3904 NPN</td> <td>E1-03D</td> <td>\$200</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre del Producto	SKU	Precio	Microcontrolador Pídat 3 MPLAD	E3-040	\$64.974	Microcontrolador PIC 12F508 LP	E1-01K	\$3.300	Transistor PNP 2N2907	E9-11B	\$77	Transistor 2N3904 NPN	E1-03D	\$200
Nombre del Producto	SKU	Precio														
Microcontrolador Pídat 3 MPLAD	E3-040	\$64.974														
Microcontrolador PIC 12F508 LP	E1-01K	\$3.300														
Transistor PNP 2N2907	E9-11B	\$77														
Transistor 2N3904 NPN	E1-03D	\$200														
<p>Botón ‘conectar’: Permite la comunicación entre la CPU y el microprocesador para proceder a realizar el trabajo encomendado.</p>																
<p>Botón ‘ir’: Envía las coordenadas correspondientes de los artículos puestos en la matriz de envío al microprocesador para generar movimiento.</p>																

- I. Una vez haya verificado la disponibilidad del producto. Proceda a elegir entre **“Ingresar”** o **“Extraer un producto de la estantería”**, y se desplegará una barra que se puede observar en la figura 5.

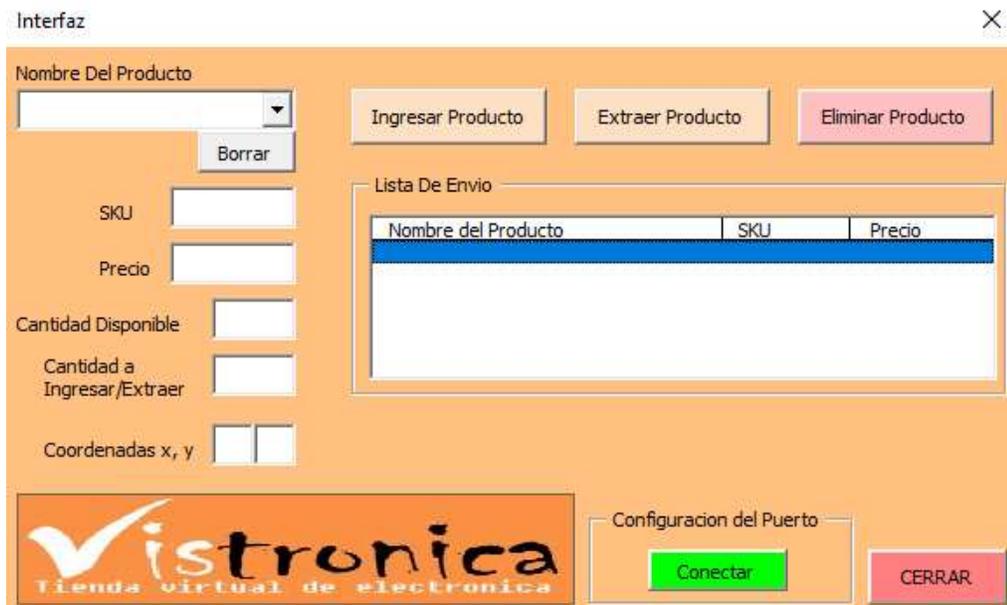


Figura 5. Interfaz [Autores]

- II. Si optó por la opción de **“Ingresar”** tenga en cuenta que en esta operación puede modificar los datos de un elemento que ya exista en la base de datos y agregar uno nuevo.

Interfaz

Nombre Del Producto
Microcontrolador Pickit 3 MF

Ingresar Producto Extraer Producto

Borrar

SKU E5-04B

Precio 64974

Cantidad Disponible 2

Cantidad a Ingresar/Extraer 1

Coordenadas x, y 1 1

Lista De Envio

Nombre del Producto	SKU

Vistronica
Tienda virtual de electronica

Configuracion del Puerto
Conectar

Figura 6. Menú ingresar [Autores]

NOTA: Solo se pueden máximo 3 al mismo tiempo por las limitantes físicas del actuador final.

- III. Si optó por la opción **“Extraer”** lo que hará será traerle los artículos dispuestos en la estantería que seleccione hasta su lugar de trabajo.

Interfaz

Nombre Del Producto
Microcontrolador Pickit 3 MF

Ingresar Producto Extraer Producto

Borrar

SKU E5-04B

Precio 64974

Cantidad Disponible 2

Cantidad a Ingresar/Extraer 1

Coordenadas x, y 1 1

Lista De Envio

Nombre del Producto	SKU

Vistronica
Tienda virtual de electronica

Configuracion del Puerto
Conectar

Figura 7. Menú Extraer producto [Autores]

3. COMUNICACIÓN PC – CONTROLADOR

- I. Oprima la opción **“Conectar”** para establecer la comunicación con el microcontrolador. Como se observa en la figura 8.



Figura 8. Conectar botón de interfaz [Autores]

- II. Al instante aparecerá un botón que es el responsable de finalmente enviar toda la información en coordenadas al microcontrolador. **“Ir”**.



Figura 9. Menú de conexión [Autores]

NOTA: Cada artículo que desee ingresar o extraer será guardado automáticamente en una **“matriz de envío”** esta generará los datos correspondientes en coordenadas donde están dispuestos los artículos para después ser enviados al microcontrolador el cual enviará una señal en pasos al motor para generar el movimiento a la coordenada deseada.



Figura 10. Microcontrolador [Autores]