



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE
ENTRENAMIENTO CON UN ROBOT CARTESIANO PARA EL
LABORATORIO DE ROBÓTICA Y PLC’S DEL DEPARTAMENTO DE
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DE LA ESPE”**

**ROBERTO CARLOS ANDINO BURBANO
CHRISTIAN JAVIER SALGADO CASTILLO**

SANGOLQUÍ - ECUADOR

2014

Certificado de Tutoría

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

CERTIFICADO

Ing. Alexander Ibarra

Ing. Hugo Ortiz

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE ENTRENAMIENTO CON UN ROBOT CARTESIANO PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA Y PLC’S DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DE LA ESPE**” realizado por el Sr. Roberto Carlos Andino Burbano y el Sr. Christian Javier Salgado Castillo, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat Reader (pdf). Autorizan a Roberto Carlos Andino Burbano y Christian Javier Salgado Castillo que lo entreguen al Ingeniero Luis Orozco Brito, en su calidad de Director de la Carrera.

Sangolquí, 27 de noviembre de 2014

Ing. Alexander Ibarra

DIRECTOR

Ing. Hugo Ortiz

CODIRECTOR

Declaración de Responsabilidad

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

Andino Burbano Roberto Carlos

Salgado Castillo Christian Javier

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE ENTRENAMIENTO CON UN ROBOT CARTESIANO PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA Y PLC’S DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DE LA ESPE”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, con forme las citas que constan en el pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 27 de noviembre de 2014

Andino Burbano Roberto Carlos

Salgado Castillo Christian Javier

Autorización de Publicación

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZA ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Roberto Carlos Andino Burbano y Christian Javier Salgado Castillo

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE ENTRENAMIENTO CON UN ROBOT CARTESIANO PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA Y PLC’S DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DE LA ESPE”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 27 de noviembre de 2014

Andino Burbano Roberto Carlos

Salgado Castillo Christian Javier

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico principalmente a Dios, por su apoyo y bendición; sin duda se lo dedico también a mis padres Marcia y Carlos que son los mejores padres y una bendición completa que me obsequió Dios, que son una muestra de éxito, sacrificio, entrega y amor, que son lo más importante en mi vida junto con mi familia.

A mis abuelitos que están en el cielo que me impulsan a seguir con mis metas, a mis abuelitas por todo su amor y ternura, a mis tías, en especial a Emérita, mi tío, a toda mi familia en general, y a mis amigas y amigos que me apoyaron y brindaron su apoyo en momentos difíciles y me supieron brindar su mano cuando la necesitaba

Roberto Carlos Andino Burbano

Este proyecto es dedicado para mi padre Jacinto, mi madre Amparito, mi hermano Santi, mis primos y primas, mis tíos y tías y en especial para aquellos que ya no están conmigo físicamente pero siempre estarán presentes en toda mi vida. Finalmente este proyecto también se lo dedico a mis amigos y en especial a Gustavo y Jorge mis mejores amigos.

Christian Javier Salgado Castillo

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por la vida y la salud que nos brinda, y con su bendición nos permite
avanzar y crecer cada día.

Mi más profundo agradecimiento a mis padres, que son un pilar fundamental en mi desarrollo y en mi vida en general, que ayudaron en la creación del presente trabajo; agradezco también a mi familia por su apoyo incondicional y su apoyo infaltable.

Un agradecimiento muy cordial a los ingenieros que me supieron brindar su conocimiento, sus anécdotas de superación y sobre todo su amistad.

Y muchas gracias a mis amigas y amigos por su cariño, por su apoyo y por el ánimo que me supieron brindar cuando más lo necesitaba

Roberto Carlos Andino Burbano

Agradezco a mi padre, mi madre y mi hermano que estuvieron presentes en toda mi carrera, a Dios que siempre estuvo en mi vida, a los Ingenieros que me proporcionaron el conocimiento necesario para emprender mi carrera profesional y a todos los que estuvieron en el desarrollo del proyecto amigos y familia.

Christian Javier Salgado Castillo

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. ALCANCE	2
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. General	4
1.4.2. Específicos	4
CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. ROBOT CARTESIANO	5
2.1.1. Definición	5
2.2. OPCIONES DE IMPLEMENTACIÓN DE UN MANIPULADOR ROBÓTICO CARTESIANO	6
2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ROBOTS CARTESIANOS	7
2.3.1. Ventajas de los robots cartesianos	7
2.3.2. Desventajas de los robots cartesianos	7
2.4. ELEMENTOS ESTRUCTURALES	8
2.4.1. Eslabones	8
2.4.2. Articulaciones	9
2.4.3. Actuadores	9
2.4.4. Transmisiones y Reducciones	11
2.4.5. Cadenas porta cables	13
2.4.6. Sistema Sensorial	13
2.4.7. Sistema de Control	14
2.5. APLICACIONES INDUSTRIALES	15
2.6. ENFOQUE DIDÁCTICO	18
CAPÍTULO 3	20
DESARROLLO DEL ROBOT CARTESIANO	20
3.1. DESARROLLO DEL HARDWARE	20

3.1.1.	Parámetros de Diseño.....	20
3.1.2.	Diseño Mecánico del Manipulador Robótico Cartesiano.....	21
3.1.2.1.	Morfología del Manipulador Robótico Cartesiano	21
3.1.2.2.	Sistema Mecánico de Movimiento.....	22
3.1.2.2.1.	Transmisión de Potencia.....	22
3.1.2.2.2.	Actuadores	24
3.1.2.3.	Sistemas de Fijación.....	25
3.1.2.4.	Estructura Final.....	26
3.1.2.4.1.	Estructura del Eje X	26
3.1.2.4.2.	Estructura del Eje Y	31
3.1.2.4.3.	Estructura del Eje Z.....	34
3.1.2.4.4.	Estructura Superior de Soporte del Manipulador Robótico Cartesiano.....	38
3.1.3.	Diseño Eléctrico.....	38
3.1.3.1.	Gabinete Eléctrico	39
3.1.3.1.1.	Parámetros iniciales de diseño del gabinete eléctrico	39
3.1.3.1.2.	Diseño del gabinete eléctrico	39
3.1.3.1.3.	Ensamblaje Total del Gabinete Eléctrico	41
3.1.3.2.	Consola de control.....	41
3.1.3.2.1.	Parámetros iniciales de diseño de la consola de control.....	42
3.1.3.2.2.	Diseño de la consola de control	42
3.1.3.2.3.	Ensamblaje total de la consola de control.....	43
3.1.3.3.	Circuitos de control	44
3.1.3.3.1.	Circuito de alimentación y protección eléctrica.....	44
3.1.3.3.1.1.	Funcionamiento del circuito.....	45
3.1.3.3.1.2.	Componentes del circuito de protección y alimentación	47
3.1.3.3.1.2.1.	Base portafusibles	47
3.1.3.3.1.2.2.	Fuentes de Alimentación DC.....	48
3.1.3.3.1.2.3.	Switch con Llave.....	50
3.1.3.3.1.2.4.	Pulsadores.....	51
3.1.3.3.1.2.5.	Luces Piloto	52
3.1.3.3.2.	Circuito de sensamiento	53
3.1.3.3.2.1.	Selección de elementos de sensamiento	53

3.1.3.3.2.2.	Elementos del circuito de sensamiento.....	55
3.1.3.3.3.	Actuadores eléctricos	56
3.1.3.3.3.1.	Servo Motor	56
3.1.3.3.3.2.	Motor DC.....	56
3.1.3.3.3.3.	Efecto Final.....	57
3.1.3.3.4.	Circuito de control principal	58
3.1.3.3.4.1.	Circuito auxiliar de control	58
3.1.3.3.4.1.1.	Funcionamiento del circuito auxiliar de control	58
3.1.3.3.4.1.2.	Elementos del circuito de control auxiliar	59
3.1.3.3.4.2.	PLC.....	61
3.1.3.3.4.2.1.	Descripción del PLC	61
3.1.3.3.4.2.2.	Cuantificación de entradas y salidas del PLC.....	64
3.1.3.3.4.2.3.	Resumen de conexiones de los módulos del PLC.....	66
3.1.4.	Estructura robótica cartesiana final.....	69
3.2.	SOFTWARE	73
3.2.1.	Comunicación.....	73
3.2.1.1.	PC-PLC	73
3.2.1.2.	PC-HMI.....	74
3.2.2.	Software de Control y Monitoreo	74
3.2.2.1.	PLC	74
3.2.2.2.	HMI.....	75
3.2.2.3.	Visualización de datos.....	76
3.2.3.	Programación.....	76
3.2.3.1.	Diseño de la interfaz HMI	76
3.2.3.1.1.	Desarrollo de la interfaz HMI	77
3.2.3.2.	Diseño del programa en el PLC	82
3.2.3.2.1.	Desarrollo de la lógica de programación para el PLC.....	83
CAPÍTULO 4	95
PRUEBAS Y RESULTADOS	95
4.1.	PRUEBAS (Alicante, 2014).....	95
4.1.1.	Normativa ISO 9283:1998.....	95
4.1.2.	Procedimientos y pruebas aplicadas al manipulador robótico cartesiano	96

4.2. RESULTADOS	104
4.2.1. Análisis de los resultados obtenidos de las pruebas a la estación de entrenamiento robótico cartesiano.	104
CAPÍTULO 5	105
MATERIALES DE APRENDIZAJE	105
5.1. Pasos a seguir al preparar la estación robótica cartesiana.....	105
5.2.1. Práctica 1	111
5.2.2. Práctica 2	113
5.2.3. Práctica 3	115
5.2.4. Práctica 4.....	117
5.2.5. Práctica 5	119
CAPÍTULO 6	121
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
6.1. CONCLUSIONES.....	121
6.2.RECOMENDACIONES.....	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de un robot cartesiano	5
Figura 2. Opciones de implementación de un robot cartesiano y su volumen de trabajo	6
Figura 3. Descripción de las partes principales de un robot cartesiano.....	8
Figura 4. Actuador neumático y sus partes	9
Figura 5. Actuador hidráulico.....	10
Figura 6. Actuador eléctrico	10
Figura 7. Transmisión mecánica	11
Figura 8. Reductor mecánico.....	12
Figura 9. Cadena portacables con cableado en su interior	13
Figura 10. Sistema de control PLC-PC	15
Figura 11. Robot cartesiano de carga	16
Figura 12. Robot cartesiano en paletizado	16
Figura 13. Robot cartesiano usado en corte de piezas.....	17
Figura 14. Robot cartesiano usado en ensamble.....	17
Figura 15. Robot cartesiano en impresora 3D	18
Figura 16. Campo de trabajo de un robot cartesiano.....	19
Figura 17. Morfología del manipulador robótico cartesiano tipo pórtico	22
Figura 18. Ubicación de los ejes guía en el Eje X	26
Figura 19. Ubicación de rodamientos en el Eje X	27
Figura 20. Dimensiones expresadas en milímetros de la placa de sujeción de ejes y tornillo sin fin del Eje X.....	27
Figura 21. Placa de sujeción de los ejes y tornillo sin fin del Eje X.....	28
Figura 22. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la tuerca del Eje X.....	28
Figura 23. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D del soporte de la tuerca del Eje X	29
Figura 24. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la rueda	29
Figura 25. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la placa de sujeción de las ruedas	30
Figura 26. Montaje final del Eje X	30
Figura 27. Ubicación de los ejes guía en el Eje Y	31
Figura 28. Rodamientos del Eje Y	32
Figura 29. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la tuerca del tornillo sin fin del Eje Y.....	32
Figura 30. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la placa de sujeción de la tuerca, referente al Eje Y	33
Figura 31. Montaje total referente al Eje Y	33
Figura 32. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la Cola de Milano utilizada en el Eje Z	34
Figura 33. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la base de la Cola de Milano referente al Eje Z.....	35

Figura 34. Espaciadores ubicados en el soporte del Eje Y	35
Figura 35. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la tuerca del Eje Z	36
Figura 36. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D del soporte de la cola de milano del Eje Z.....	37
Figura 37. Montaje final del Eje Z.....	37
Figura 38. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la estructura superior del Manipulador Robótico Cartesiano	38
Figura 39. Dimensiones expresadas en milímetros del gabinete eléctrico	40
Figura 40. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la consola de control	43
Figura 41. Diagrama de conexiones del circuito de protección y alimentación	46
Figura 42. Base portafusible utilizada.....	48
Figura 43. Fuente de Alimentación 24V DC	49
Figura 44. Fuente de Alimentación estándar de PC.....	49
Figura 45. Fuente de conversión DC-DC	49
Figura 46. Switch con accionamiento por llave de dos posiciones.....	50
Figura 47. Pulsador de Inicio	51
Figura 48. Pulsador de Paro.....	51
Figura 49. Pulsador de parada de emergencia con dimensiones expresadas en milímetros	52
Figura 50. Luces piloto	53
Figura 51. Sensor inductivo blindado	55
Figura 52. Encoder de cuadratura	55
Figura 53. Servo motor HS-815BB	56
Figura 54. Motor DC de 12V.....	57
Figura 55. Efector final tipo taladro de fresado	57
Figura 56. Diagrama de conexiones del circuito auxiliar de control	59
Figura 57. Relé de un polo	59
Figura 58. Relé de tres polos	60
Figura 59. Relé de cuatro polos	60
Figura 60. PLC Modicon Compact A984	61
Figura 61. Módulo DEP 216	62
Figura 62. Módulo ZAE 201	63
Figura 63. Módulo DAP 216	63
Figura 64. Módulo DAP 212	64
Figura 65. Vistas de la parte superior del robot cartesiano	71
Figura 66. Vistas de la estructura robótica cartesiana finalizada	72
Figura 67. Modelo referente al control Hombre - Máquina	73
Figura 68. Ícono de Wonderware I/O Server for Modicon MODBUS	74
Figura 69. Ícono del programa ProWorx NxT.....	74
Figura 70. Logotipo de InTouch de Wonderware.....	75
Figura 71. Utilización de Excel para la visualización de trayectorias.....	76
Figura 72. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 1	78
Figura 73. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 2.	79
Figura 74. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 3.	80

Figura 75. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 4.	81
Figura 76. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 5.	82
Figura 77. Control de velocidad en la generación de trayectorias rectilíneas	88
Figura 78. Control escalonado de velocidad utilizado	88
Figura 79. Figura referente al área de trabajo que posee el robot cartesiano	97
Figura 80. Imagen referente a los puntos de prueba utilizados para la toma de datos	97
Figura 81. Localización del ícono de Modicon MODBUS	106
Figura 82. Localización del ícono de ProWORX NxT	107
Figura 83. Paso 1 a seguir para grabar el programa en el PLC.....	107
Figura 84. Paso 2 para grabar el programa en el PLC.....	108
Figura 85. Paso 3 para grabar el programa en el PLC.....	108
Figura 86. Figura que indica cómo acceder al ícono de InTouch	109
Figura 87. Pantalla de inicio de la HMI realizada.....	109
Figura 88. Menú de las prácticas a realizarse, indicadas en la HMI	110

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Gabinete eléctrico	41
Fotografía 2. Consola de control del sistema robótico.....	44
Fotografía 3. Primer punto a seguir al encender la estación robótica cartesiana	105
Fotografía 4. Imagen referente a como se visualiza cuando la estación robótica cartesiana está activada	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de sensores usados generalmente en robótica.....	14
Tabla 2. Configuración de colores de los cables eléctricos en función del tipo de voltaje.....	47
Tabla 3. Cuantificación de entradas y salidas del sistema de entrenamiento cartesiano	65
Tabla 4. Conexiones del Módulo DEP 216	66
Tabla 5. Conexiones del Módulo ZAE 201	67
Tabla 6. Conexiones del Módulo DAP 216.....	68
Tabla 7. Conexiones en el Módulo DAP 212	69
Tabla 8. Tabla de velocidades en alimentación Baja	89
Tabla 9. Tabla de velocidades en alimentación Alta.....	90
Tabla 10. Puntos programados para la toma de datos	98
Tabla 11. Datos obtenidos en función de los puntos programados, indicados en la tabla 12.....	99
Tabla 12. Tabla referente a los cálculos en repetibilidad de posición del manipulador robótico cartesiano.....	102

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadro comparativo de los sistemas de transmisión	12
Cuadro 2. Comparación de los tipos de transmisión circular - lineal	23
Cuadro 3. Cuadro comparativo de actuadores eléctricos DC	24
Cuadro 4. Normas cumplidas en el gabinete eléctrico de la estación robótica cartesiana	40
Cuadro 5. Cuadro comparativo de sensores de presencia	54
Cuadro 6. Normas de colores empleadas en la estructura robótica cartesiana.	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Prácticas resueltas

Anexo2. Hoja técnica de sensores inductivos IME08

Anexo 3. Hoja técnica de servomotor HS-815BB

Anexo 4. Hoja técnica de encoder HE50B

RESUMEN

El proyecto de titulación contempla realizar una estación de entrenamiento robótica que incluya un manipulador industrial cartesiano de morfología tipo portica para lo cual se realizará un diseño mecánico de todo el sistema subdividido en pequeños subsistemas como: sistemas de fijación, sistemas de movimiento, sistemas de transmisión de potencia, entre otros. Adicionalmente se realizará un diseño eléctrico que cumpla requerimientos de seguridad para protección y control de: los circuitos internos de la estación, actuadores, sensores. Todo esto pasando por un proceso de preselección de cada uno de los elementos tanto mecánicos como eléctricos que conformarán la estación en sí, previo a una implementación física. Posteriormente se implementará un sistema de visualización e interacción denominado HMI, en el cual se relacione al operador con las distintas funcionalidades que se le puedan asignar a la estación de entrenamiento, además de permitir una correcta visualización del estado de la estación cuando esta se encuentre con procesos inicializados. Finalmente se realizarán pruebas que permitan definir de manera cercana las características del manipulador robótico cartesiano siendo las más importantes la característica de precisión y repetibilidad.

Palabras Clave: control de velocidad, precisión, repetibilidad, robot cartesiano, ZAE 201.

ABSTRACT

The titling Project contemplates performing a training robotics station, which includes a Cartesian industrial manipulator that has a portical morphology type for which will be made a mechanic design of the system subdivided into smaller subsystems as: fixing system, motion systems, transmission systems power, among others. Additionally will be made an electric design that satisfy safety requirements for protection and control of: internal circuits of the station, actuators and sensors. All of the mechanic and electric elements that will conform the station must be previously selected before the physical implementation. Afterwards will be included an interaction and visualization system called HMI, in which the operator is related to the different functionalities that will be assigned to the training station and allows a correct view of its state when it is operating. Finally will be made tests that allow to define the characteristics of the cartesian robotic manipulator being the most important feature: the precision and repeatability.

Keywords: accuracy, Cartesian robot, repeatability, speed regulator, ZAE-201.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Actualmente el laboratorio de Robótica y PLC's cuenta con una sola configuración en cuanto a manipuladores robóticos se refiere, esta única configuración es de tipo antropomórfico (manipulador robótico CRS – A255), y un manipulador robótico de característica hidráulica, esto limita a los estudiantes dentro de la cátedra de Robótica Industrial a relacionarse con las distintas configuraciones de manipuladores existentes. Además, el laboratorio cuenta actualmente con un solo módulo funcional, y otro que está siendo habilitado con proyectos de tesis afines, razón por la cual no se puede realizar varias prácticas de laboratorio simultáneas en los diferentes periodos académicos.

Varios proyectos se están desarrollando con la finalidad de obtener más estaciones de entrenamiento funcionales, implementando nuevos controladores para los manipuladores robóticos de configuración antropomórfica existentes en el laboratorio, esto resuelve el problema de la falta de módulos de entrenamiento, pero no resuelve el problema de la falta de manipuladores robóticos con distintas configuraciones.

Adicionalmente el laboratorio de Robótica y PLC's cuenta con elementos de mando y control como son: controladores lógicos programables (PLC's) completamente funcionales que se encuentran en desuso. Estos PLC's poseen módulos de posicionamiento en cuadratura ideales para el control de movimiento de manipuladores de configuración cartesiana.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto pretende aportar con materiales de enseñanza al laboratorio de Robótica y PLC's de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), mediante la realización de una estación de entrenamiento con un robot cartesiano didáctico robusto y elementos de mando y control existentes en el laboratorio previamente indicado, que incluya guías prácticas de laboratorio, las cuales serán fuente de aprendizaje para las nuevas generaciones de estudiantes que cursen por dicho laboratorio.

Con esto se busca, a la vez, aumentar el número de manipuladores robóticos que posee el área de Automática y Robótica, obteniendo así, el equipamiento de un laboratorio de robótica con varias estaciones de entrenamiento que poseen diversas configuraciones de manipuladores robóticos didácticos.

Además, con el desarrollo de estaciones de entrenamiento robótico que manejen distintas configuraciones de manipuladores, se brinda al estudiante destrezas que le permitirán desenvolverse a lo largo de su carrera, ya que, el estudiante tendrá contacto de manera directa con el manipulador robótico en sí, aplicando la teoría en forma práctica.

1.3. ALCANCE

El presente proyecto, plantea realizar el diseño mecánico de un sistema de entrenamiento robótico robusto el cual constará de: un manipulador de configuración cartesiana de característica didáctica que incluirá un panel de control que permita al usuario operar el sistema de manera manual.

En cuanto al diseño de control el sistema de entrenamiento podrá ser operado desde una interfaz humano – máquina (HMI), mediante la cual se podrán visualizar estados actuales del sistema de entrenamiento y cambiar los parámetros inicialmente programados, esta interfaz tendrá comunicación directa con el controlador lógico programable.

En el diseño eléctrico, todo el sistema será comandado a través de un controlador lógico programable (PLC), este PLC manejará un módulo de control de cuadratura.

Todo el sistema eléctrico incluirá un sistema de protecciones eléctricas, dentro de las cuales se encontrarán circuitos de conmutación como: fusibles, contactores, disyuntores, relés, entre otros. El sistema de protecciones eléctricas poseerá indicadores que permitan verificar el estado de la estación; estos indicadores son de tipo lumínico. Todo el sistema contará con un panel de control en el cual se encuentren los indicadores de estado de la estación, los conmutadores de encendido de la estación, y finalmente un pulsador de parada de emergencia que detenga todo el sistema en caso de ocurrir una falla o incidentes con el personal que se encuentre operando la estación de entrenamiento.

En cuanto al diseño de instrumentación, el manipulador robótico de configuración cartesiana contará con sensores como por ejemplo: encoders, sensores de posición y sensores de contacto como fines de carrera para aplicaciones consiguientes.

Finalmente, dentro del proyecto se proporcionará una guía de prácticas de laboratorio detallada, que permitan el correcto manejo del sistema de entrenamiento con la finalidad de evitar averías en el mismo e incentivar a utilizar este módulo como material didáctico.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. General

- Diseñar e implementar una estación de entrenamiento con un robot cartesiano didáctico para el laboratorio de Robótica y PLC's del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE.

1.4.2. Específicos

- Realizar el diseño mecánico, eléctrico y de control, basándose en criterios de seguridad, para obtener una estación de entrenamiento segura.
- Desarrollar la parte mecánica con materiales óptimos que otorguen al sistema robustez.
- Realizar esquemas de monitoreo y control del robot cartesiano con el uso de una HMI.
- Implementar el diseño mecánico, eléctrico y de control ya elaborados, basándose en criterios de robustez y seguridad para la estación de entrenamiento.
- Establecer una guía de prácticas para la operación y desarrollo de actividades de la estación de entrenamiento didáctica.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. ROBOT CARTESIANO

2.1.1. Definición

Los robots cartesianos son un tipo de los robots industriales, los cuales poseen tres brazos o eslabones deslizantes y perpendiculares uno a continuación de otro, que hacen referencia al sistema de coordenadas X, Y, Z, y que forman en su espacio de trabajo una forma tridimensional referente a un cubo o un paralelepípedo recto (rectángulo en 3D) y se lo puede ver en la figura 1, y el volumen o el área de trabajo en la figura 2.

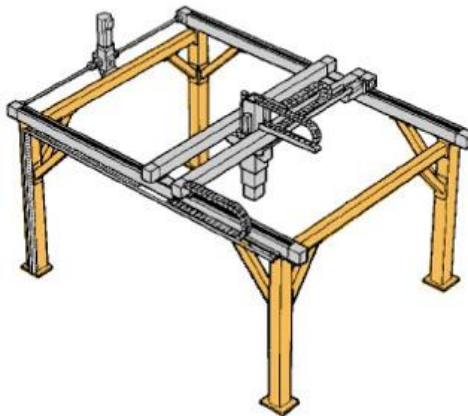


Figura 1. Representación de un robot cartesiano [Imagen de propiedad: (anónimo, 2008)]

2.2.OPCIONES DE IMPLEMENTACIÓN DE UN MANIPULADOR ROBÓTICO CARTESIANO (Electric, 2008)

Dentro de las distintas opciones de implementación de un manipulador robótico cartesiano, se toman en cuenta aspectos como la función a realizar y el espacio de trabajo disponible; según la empresa Schneider Electric, clasifica los robots cartesianos en cuatro tipos, indicados en la figura 2; y sus opciones de implementación son:

- Posicionador Lineal: Ubicado por encima o bajo el área de trabajo; el cual opera en dirección x/z (2D); diseñado para transportar de cargas a grandes distancias.
- Robot Lineal: Posicionado junto al área de trabajo y diseñado para manipular objetos a gran velocidad en trayectorias cortas.
- Robot Portal: Situado sobre el área de trabajo y es factible su uso cuando de ahorrar espacio se trata; puede transportar cargas en trayectorias de largo recorrido.
- Robot Portal de Pared: Diseñado para operar en superficies verticales, con un funcionamiento similar al robot portal.

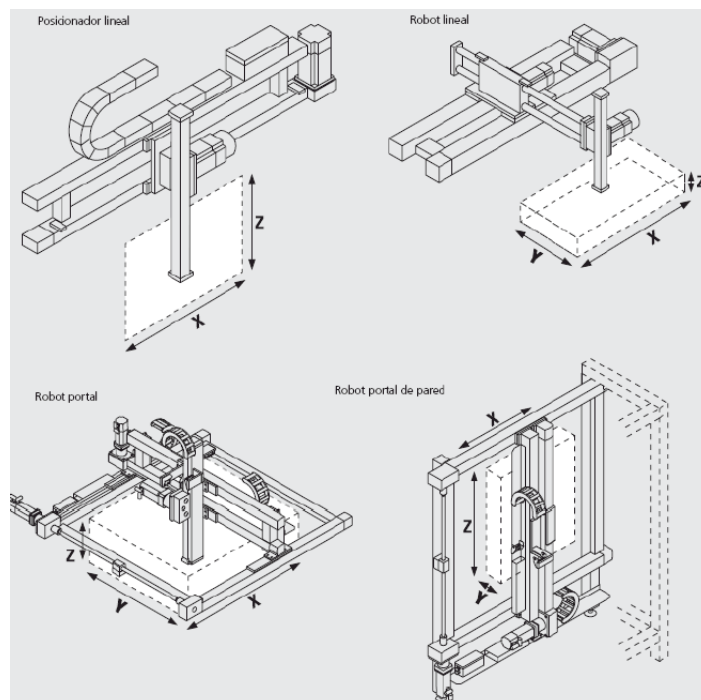


Figura 2. Opciones de implementación de un robot cartesiano y su volumen de trabajo [Imagen de Propiedad: Schneider Electric]

2.3.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ROBOTS CARTESIANOS

2.3.1. Ventajas de los robots cartesianos (Olivares Zaragoza & Rodriguez Lara, 2008)

Entre sus ventajas principales se encuentran las siguientes:

- Poseen estructuras rígidas y su capacidad de carga no depende de la distancia de la última articulación del robot dónde se encuentra la carga.
- Los movimientos sobre su área de trabajo no se dificultan debido a que el robot se desplaza en la parte superior de la estructura.
- La resolución espacial de este tipo de robot es constante en todo su volumen de trabajo.
- La precisión que se puede llegar a obtener con estos robots es muy alta en función de otros tipos de robots.
- Para controlar este tipo de estructuras no se necesita realizar cálculos de transformaciones de coordenadas, por lo que el control de sus articulaciones es más sencillo.

2.3.2. Desventajas de los robots cartesianos (Olivares Zaragoza & Rodriguez Lara, 2008)

En cuanto a sus desventajas se presentan las siguientes:

- Su peso estructural y potencia en motores aumenta en gran medida acorde aumente las cargas a transportar.
- Solo sirven para trabajar en espacios que se encuentren bajo la estructura del robot.
- El volumen de trabajo es menor que el volumen de la estructura del robot.

2.4.ELEMENTOS ESTRUCTURALES

2.4.1. Eslabones (Puente Mendez, 2014)

Son las piezas o miembros estructurales de un robot que se consideran piezas rígidas e indeformables, estos componentes pueden estar formados por varias piezas, como se puede observar en la figura 3.

Los eslabones son los siguientes:

- Las piezas que se encuentran hasta la primera articulación denominadas como base.
- Piezas que se encuentran entre dos articulaciones de un robot.
- Las piezas que se encuentran desde la última articulación hasta el extremo final del robot.

Para generar una respuesta más rápida a un movimiento y a los sistemas de accionamiento, los eslabones que conforman la estructura deben ser lo más ligeros posibles. (Informáticos, 2014).

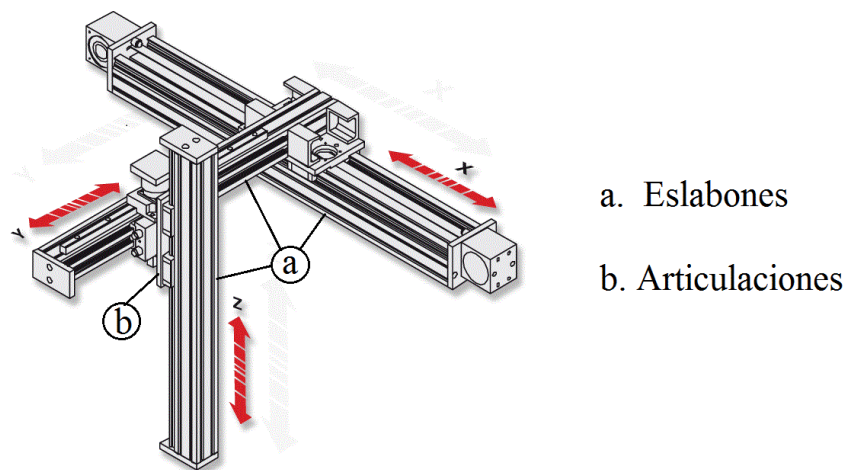


Figura 3. Descripción de las partes principales de un robot cartesiano [Imagen de propiedad: (Anónimo, OPL Manipolazione, 2010)]

2.4.2. Articulaciones

Son lugares o partes donde se unen dos eslabones para permitir el movimiento entre los mismos, y se dividen en tipos que son: prismáticos y rotacionales.

Los manipuladores de características cartesianas poseen articulaciones de tipo prismática o lineal, en la cual el eslabón se apoya en bandas deslizantes o vigas lineales, que actúa desplazándose linealmente mediante los tornillos sin fin o bandas dentadas, acopladas a los motores, como se puede verificar en la figura 3. (González, 2014)

2.4.3. Actuadores (Puente Mendez, 2014)

Estos dispositivos son los encargados de transformar la señal de control tanto de velocidad como de posición en movimiento de las articulaciones del robot. Los accionadores se clasifican en: eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Los actuadores neumáticos son elementos que utilizan una fuente de energía proveniente del aire presurizado entre 5 ba y 10 ba. Estos consiguen su desplazamiento mediante la diferencia de presión en un émbolo cerrado y se lo puede observar en la figura 4.

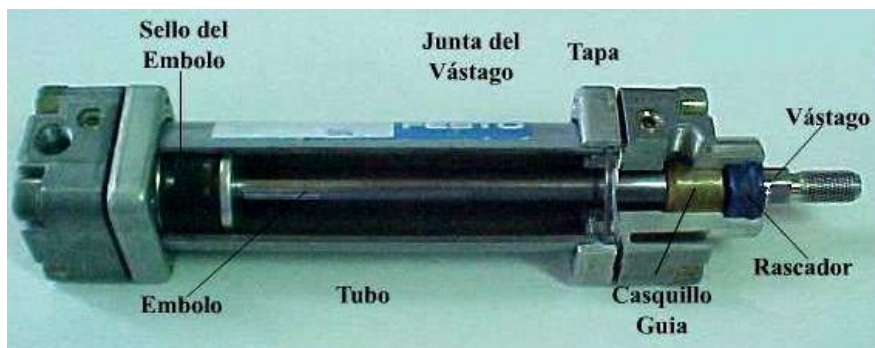


Figura 4. Actuador neumático y sus partes [Imagen de propiedad: (Anónimo, DEMO E-DUCATIVA CATEDU, 2014)]

Los actuadores hidráulicos, como el mostrado en la figura 5, son elementos que emplean una fuente basada en aceite mineral presurizado entre 50 ba y 100 ba, y estos pueden ser: cilindros hidráulicos, aletas rotativas y pistones axiales, al igual que los accionadores neumáticos logran su movimiento mediante la diferencia de presiones.



Figura 5. Actuador hidráulico [Imagen de propiedad: (Anónimo, Direct Industry, 2012)]

Los actuadores eléctricos, como el mostrado en la figura 6, son dispositivos que se alimentan de una fuente de energía eléctrica, los cuales pueden ser: motores de corriente alterna (motores AC), motores de corriente continua (motores CC), motores a pasos y servomotores.



Figura 6. Actuador eléctrico [Imagen de propiedad: (Anónimo, Industrias Mecánicas Welter, 2011)]

2.4.4. Transmisiones y Reducciones (Jabonero Cámara, 2010)

Las transmisiones, como se indica en la figura 7, son elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones, como por ejemplo un motor que tiene acoplado un tornillo sin fin que al girar mueve un engrane o corona; mientras que, las reducciones tal como se ven en la figura 8, son elementos encargados de adaptar el torque y la velocidad de los actuadores a niveles necesarios para el movimiento de los elementos del robot. Ambos elementos deben cumplir las siguientes características:

- De tamaño y peso reducido.
- No deben tener juegos ni holguras considerables.
- Deben ser de gran rendimiento.
- No deben afectar el movimiento que transmiten.
- Deben funcionar de igual manera para torques elevados.

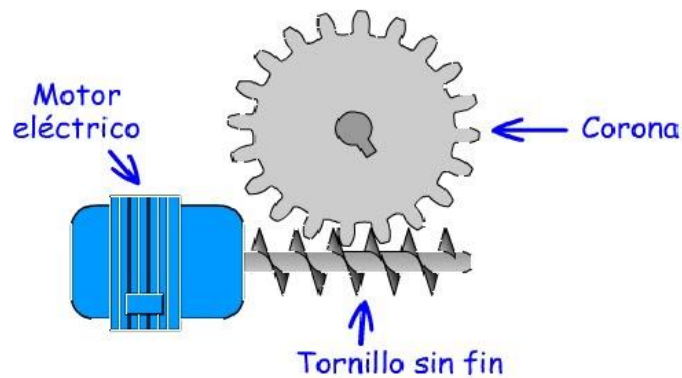


Figura 7. Transmisión mecánica [Imagen de propiedad: (Anónimo, La Electricidad, 2010)]



Figura 8. Reductor mecánico [Imagen de propiedad: (Anónimo, WEIR TRIO, 2014)]

En la cuadro 1 se especifican los distintos tipos de sistemas de transmisión, indicando sus ventajas y desventajas.

Cuadro 1. Cuadro comparativo de los sistemas de transmisión

Entrada / Salida	Denominación	Ventajas	Desventajas
Circular – Circular	Engranaje	Pares altos	Holguras
	Correa dentada	Distancia grande	Desgaste según material
	Cadena	Distancia grande	Ruido
	Cable	---	Deformabilidad
Circular – Lineal	Tornillo sin fin	Poca holgura	Rozamiento
	Cremallera	Poca holgura	Rozamiento
Lineal - Circular	Cremallera	Poca holgura	Rozamiento

Fuente: (Puente Mendez, 2014)

2.4.5. Cadenas porta cables

Son cadenas plásticas formadas a base de polímeros y se las usa industrialmente para transportar el cable en secciones móviles, tanto por estética como por cuidado del cableado eléctrico del robot y viene en diferentes presentaciones acorde al campo y materiales en el entorno donde vaya a estar la cadena porta cables. Un ejemplo de cadena portacables se la puede observar en la figura 9.

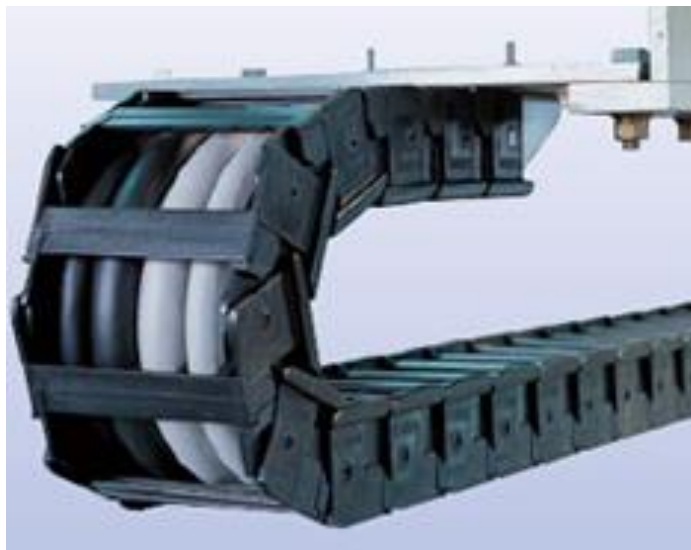














Figura 9. Cadena portacables con cableado en su interior [Imagen de Propiedad: (Anónimo, KURAMO)]

2.4.6. Sistema Sensorial (Puente Mendez, 2014)

Es un conjunto de sensores que permiten al manipulador robótico verificar en qué estado interno y externo se encuentra trabajando. Los sensores que conforman el subsistema sensorial interno ayudan al robot a conocer la posición, orientación, velocidad, aceleración de cada articulación, mientras que los sensores que conforman el subsistema sensorial externo ayudan a detectar y reconocer el entorno, esto puede ser: alcance, proximidad, contacto y orientación espacial, y algunos ejemplos de estos sensores se los puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de sensores usados generalmente en robótica [Tabla de propiedad: (Anónimo, Instituto de Tecnología VON BRAUN, 2014)]

	5225 - Motor LEGO® TECHNIC Gear
	9758 - RCX Sensor de Luz
	9889 - RCX Sensor de Temperatura (9V)
	9891 - RCX Sensor de Ángulo (9V)
	9811 - NXT Sensor de Tacto y cables
	9842- NXT Motor con Tacómetro
	9843- NXT Sensor de Tacto
	9844- NXT Sensor de Luz
	9845- NXT Sensor de Sonido
	9846- NXT Sensor de Ultrasonido
	9694- NXT Sensor de Color
	HiTechnic NXT Sensor de Color V2

2.4.7. Sistema de Control

Este sistema permite realizar el control de los actuadores mediante una señal de seteo de parámetros, que al ser comparados con una señal de sensamiento emiten señales de control. Adicionalmente, estos sistemas permiten verificar estados mediante sistemas SCADA. Dentro del sistema de control se encuentran: un controlador lógico

programable (PLC) que permite el envío y recepción de señales que son de tipo analógica o digital; además posee una PC en donde se encuentra un HMI que permite el control y visualización del operador hacia la estación.

Esta representación se la puede observar en la figura 10.

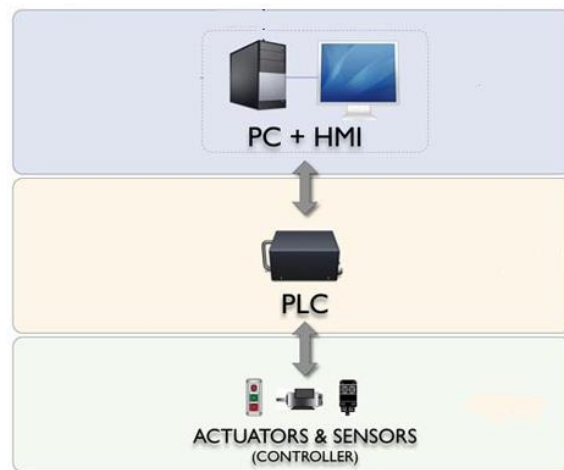


Figura 10. Sistema de control PLC-PC [Imagen de Propiedad: (Anónimo, Panasonic, 2014)]

2.5. APLICACIONES INDUSTRIALES

Dentro de las aplicaciones industriales que tienen los manipuladores robóticos cartesianos se pueden describir varias, las que varían acorde a la necesidad, como por ejemplo: para transporte de cargas, paletizado, corte mediante control numérico (CN), ensamble, impresión en 3D, entre otras.

Las aplicaciones citadas anteriormente se describen a continuación:

- **Transporte:** En ésta área, los robots cartesianos transportan cargas de gran peso de un lugar a otro, pudiendo recorrer grandes distancias dentro de plataformas o hangares; estos robots son usados por ejemplo en el sector de desembarco y en la reubicación de contenedores, o dentro de fábricas para mover grandes piezas; tal y como se muestra en la figura 11.

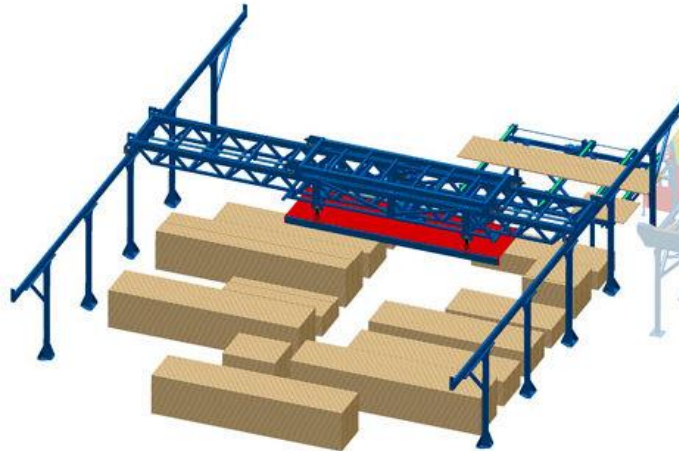


Figura 11. Robot cartesiano de carga [Imagen de Propiedad: (Anónimo, Direct Industry, 2014)]

- **Paletizado:** En este paso, los robots cartesianos son usados para paletizar u ordenar y agrupar diversos objetos dentro de una industria; como por ejemplo se muestra en la figura 12 un robot cartesiano paletizador que puede ser de una empresa de bebidas.

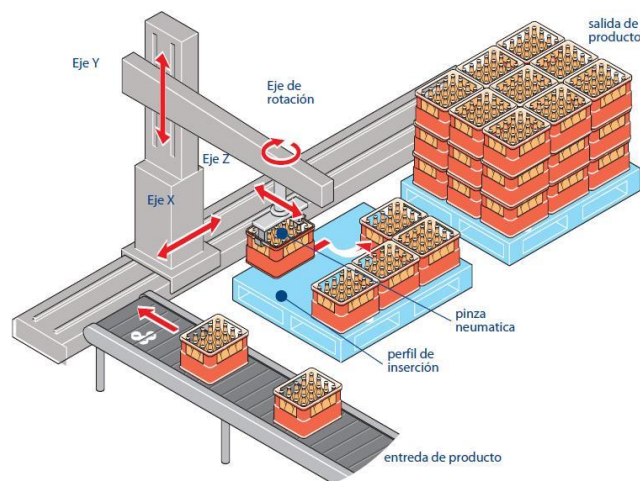


Figura 12. Robot cartesiano en paletizado [Imagen de Propiedad: (Anónimo, ADX INGENIERÍA, 2013)]

- **Corte:** Éste tipo de robots cartesianos generalmente usan modelos de Control Numérico (CN), los cuales mediante un programa realizado en la PC, recorren la trayectoria indicada y van cortando los modelos establecidos, esto

lo realizan de diversas maneras, como son por ejemplo; el corte mediante agua, láser, suelda, etc. y que se lo puede apreciar en la figura 13.

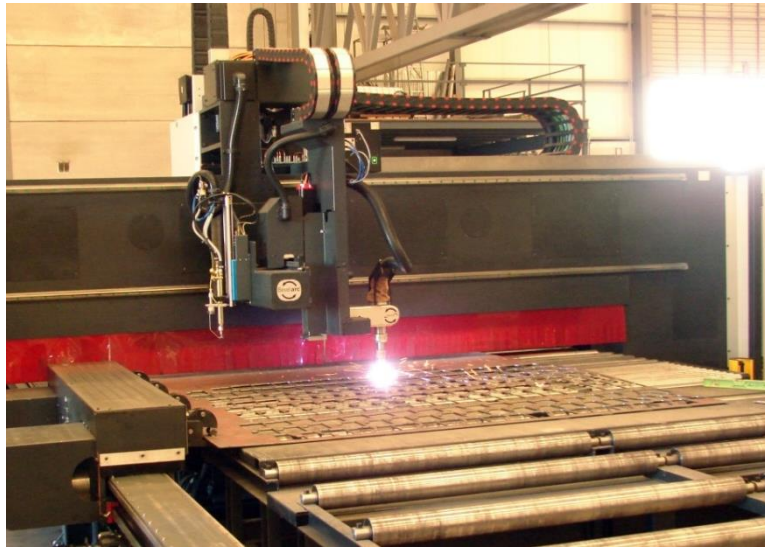


Figura 13. Robot cartesiano usado en corte de piezas [Imagen de Propiedad: (COMMSAL, 2014)]

- **Ensamble:** El ensamble se lo usa frecuentemente en empresas de elaboración de productos tales como: empresas automotrices, industria farmacéutica, industria de elaboración de circuitos electrónicos, entre otras; un ejemplo de esto se lo puede observar en la figura 14.



Figura 14. Robot cartesiano usado en ensamble [Imagen de Propiedad: (LINEAR, 2014)]

- **Impresoras 3D:** En la actualidad se ha desarrollado una nueva aplicación de los robots cartesianos, basada en la creación de objetos previamente diseñados en una PC; esto se lo realiza con un robot cartesiano que va creando objetos, elaborándolos capa por capa mediante la expulsión de cierto material como plásticos; tal y como se puede observar en la figura 15.

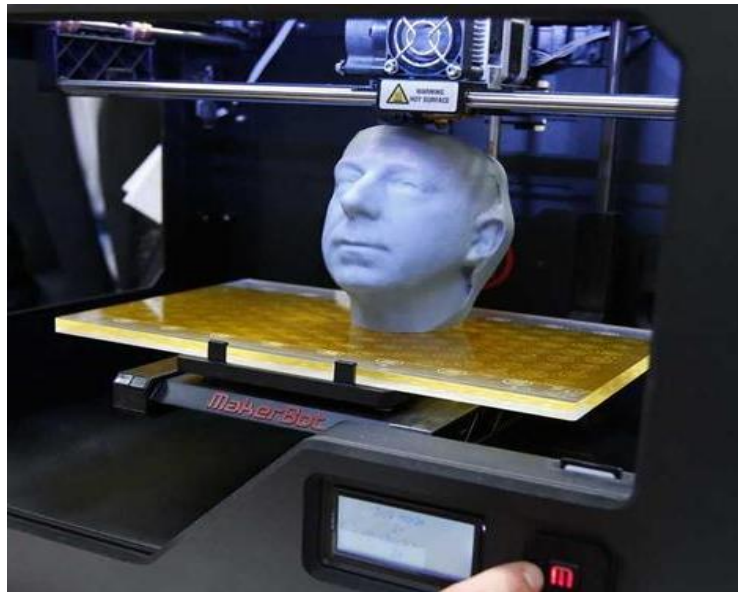


Figura 15. Robot cartesiano en impresora 3D [Imagen de Propiedad: (lanación.com, 2014)]

2.6. ENFOQUE DIDÁCTICO

Se puede destacar que a manera de enseñanza, este tipo de robots permite tener una visión más clara de parámetros usados en robótica, como son: sensibilidad, precisión, repetitividad, exactitud, área de trabajo; también está la manera en que se conforma estructuralmente; su interfaz de control y manipulación; entre otras.

Esto permite obtener en el estudiante un mejor entendimiento y enfoque en el tema de la robótica industrial.

Una apreciación sobre el robot cartesiano, sus ejes, su desplazamiento y su área de trabajo se pueden ver en la figura 16, que como se puede apreciar respecto al volumen de trabajo es de forma paralelepípeda recta y es de fácil entendimiento como se observa.

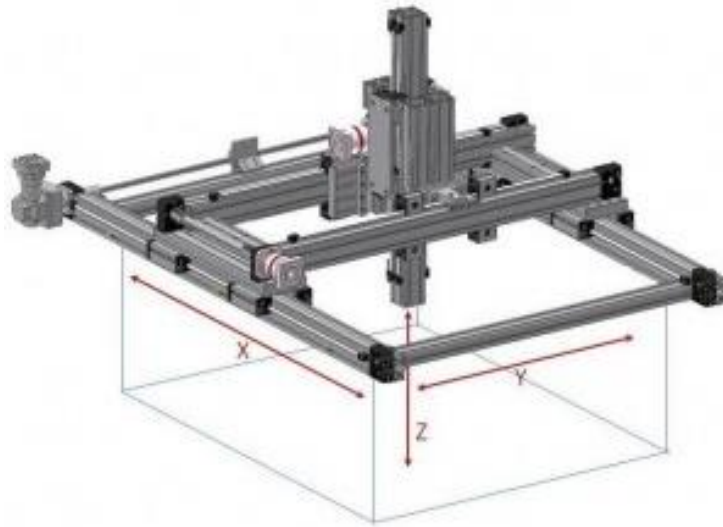


Figura 16. Campo de trabajo de un robot cartesiano [Imagen de Propiedad: (DYNAMICS, 2014)]

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL ROBOT CARTESIANO

En el presente capítulo se describe la parte mecánica del robot, su realización, los materiales, colores utilizados y el porqué de la estructura en su forma; además se describe el gabinete eléctrico, la consola de control, el gripper, sensores, diagramas eléctricos, etc. Posteriormente se explicará la lógica de la programación, dónde se menciona los diferentes softwares utilizados.

3.1. DESARROLLO DEL HARDWARE

En la siguiente sección se describe el diseño de los sistemas mecánicos y eléctricos que se emplearán posteriormente para la construcción de la estación de entrenamiento robótica cartesiana.

3.1.1. Parámetros de Diseño

Los parámetros iniciales de diseño definidos para la estación de entrenamiento cartesiano son los siguientes:

- La morfología del manipulador robótico cartesiano deberá ser estable, es por este motivo que se propone una morfología de tipo pórtico.
- El manipulador robótico cartesiano poseerá tres grados de libertad descritos en tres ejes, adicionalmente de un espacio de trabajo prismático rectangular y sin interrupciones.
- La estación de entrenamiento robótica cartesiana debe ser desmontable en su totalidad.

- Tanto el Eje Y como el Eje X deberán ser ejes controlados, mientras que el Eje Z deberá ser de accionamiento ON/OFF.
- El desplazamiento máximo en el Eje X deberá ser equivalente a 705mm, mientras que para el Eje Y deberá ser de 440mm, y para el Eje Z de 280mm.
- El sistema de sensamiento de la estación de entrenamiento robótica cartesiana deberá permitir la detección de los ejes XYZ en sus posiciones extremas, adicionalmente en los ejes XY deberá permitir la detección de posiciones intermedias.
- La velocidad de desplazamiento dependerá de la aplicación industrial demostrativa final.

3.1.2. Diseño Mecánico del Manipulador Robótico Cartesiano

En esta sección se describen los componentes mecánicos necesarios para la implementación de la estación de entrenamiento.

3.1.2.1. Morfología del Manipulador Robótico Cartesiano

De las morfologías u opciones de implementación del manipulador robótico cartesiano expuestas en el capítulo 2, se optó por la opción del robot tipo portal o pórtico, ya que este permite ahorrar espacio, debido a que ocupa de manera eficiente la mayor parte de su estructura interna.

Adicionalmente en esta estructura se hace más fácil la manera de equilibrar sus ejes, por tanto hay mayor estabilidad. La morfología seleccionada es mostrada en la figura 17.

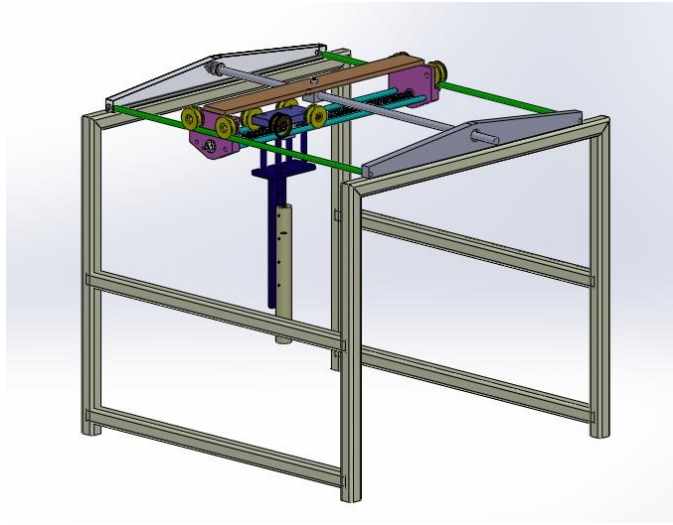


Figura 17. Morfología del manipulador robótico cartesiano tipo pórtico

3.1.2.2. Sistema Mecánico de Movimiento

Este sistema es el encargado de generar movimiento en cada uno de los ejes de la estación robótica, a través de la transmisión de potencia desde los actuadores hacia los elementos móviles del manipulador robótico cartesiano. Este sistema se conforma de transmisiones y actuadores. En este apartado, se describirán las opciones que se tiene para los elementos que formarán parte del sistema mecánico del movimiento.

3.1.2.2.1. Transmisión de Potencia

Para la selección de sistemas de potencia, hay que tomar en cuenta el tipo de movimiento que estos generan, siendo así, que el manipulador robótico cartesiano necesita de sistemas de transmisión de potencia que ejerzan un movimiento lineal partiendo de un movimiento circular, es por este motivo que los únicos sistemas de transmisión de potencia que serán útiles son los siguientes:

- Transmisión tipo piñón – cremallera
- Transmisión tipo tornillo sinfín – tuerca

En la cuadro 2, se verifican las ventajas y desventajas de usar ambos tipos de trasmisiones, partiendo de la misma, se determina cuál es el sistema de transmisión más idóneo.

Cuadro 2. Comparación de los tipos de transmisión circular - lineal

Tipo	Entrada / Salida de movimiento	Ventajas	Desventajas
Piñón - cremallera	Circular / lineal	<ul style="list-style-type: none"> - Soporta pares altos - Fáciles de controlar - Poca holgura - Manejan altas velocidades 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de alto costo de producción - Generan ruido - Mayor complejidad en su producción
Tornillo sin fin - tuerca	Circular / lineal	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de producción - No generan ruido - Fáciles de controlar - Holgura casi nula - Son precisos - Baja complejidad en su producción 	<ul style="list-style-type: none"> - Alcanzan velocidades bajas - Desgaste en la tuerca y/o tornillo dependiendo del material

Una vez verificadas las ventajas y desventajas de los sistemas de transmisión de potencia, se elige el sistema de transmisión de potencia de tipo tornillo sin fin – tuerca, ya que tiene un bajo costo de producción comparado con el otro sistema analizado, además que brinda mayor precisión. Este sistema de transmisión de potencia, será aplicado para los tres ejes de desplazamiento.

3.1.2.2.2. Actuadores

Son elementos que permiten transformar un tipo de energía en otra que se convierte en una acción, como por ejemplo los motores eléctricos, que transforman la energía eléctrica de alimentación en movimiento. Debido a que la estación de entrenamiento robótica cartesiana es netamente eléctrica, se tienen las opciones de actuadores, descritas en el cuadro 3.

Cuadro 3. Cuadro comparativo de actuadores eléctricos DC

Tipo	Ventajas	Desventajas
DC	<ul style="list-style-type: none"> - Su velocidad puede ser ajustable mediante la variación de voltaje - Puede alcanzar altas velocidades - No genera vibraciones y ruido - Son de bajo costo - Señal de control sencilla 	<ul style="list-style-type: none"> - Para realizar el cambio de giro necesita de un control adicional - No posee una buena exactitud y repetición en sus movimientos - Es difícil de frenar - Poseen un bajo torque
Paso a paso	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente respuesta ante parada y reversa - No poseen errores acumulativos entre paso y paso - Poseen un costo medio - Posee un torque medio 	<ul style="list-style-type: none"> - Posee sobre calentamiento - No son diseñados para operar a altas velocidades - Generan vibraciones - Necesitan señales de control específicas - Pueden llegar a ser muy grandes
Servo	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente respuesta ante parada y reversa - Posee un elevado torque - Tienen un error nulo - Su tamaño es reducido 	<ul style="list-style-type: none"> - No son diseñados para operar a altas velocidades - Generan vibraciones - Necesitan señales de control específicas - Generan mayor desgaste y calentamiento - Tiene un alto costo

En base a los parámetros de diseño de la estación de entrenamiento robótica cartesiana se determinó que para los ejes XY se emplearán servomotores, ya que estos soportan torques altos debido a que todo el peso de la estructura está soportado sobre estos dos ejes. Debido a los módulos de control del PLC que se posee, se decide retirar el circuito de control de los servomotores, ya que estos módulos no tienen la capacidad de generar las señales requeridas por los servomotores.

En cuanto al Eje Z del manipulador robótico cartesiano, se elige un motor DC con caja reductora con relación de 15:1, ya que este eje es de características de accionamiento ON/OFF, y no necesita de un controlador de velocidad.

3.1.2.3.Sistemas de Fijación

Los sistemas de fijación le dan a la estación de entrenamiento robótica cartesiana la característica de estabilidad y de fácil montaje/desmontaje de dicha estructura, es por esto que, para la estructura que soporta al manipulador robótico cartesiano, se utilizarán tubos de acero soldados, esto debido a que la estructura del manipulador robótico cartesiano deberá ser firme.

En cuanto al manipulador robótico cartesiano, se utilizarán pernos y tuercas Allen M8 para su sujeción, esto facilita el montaje y desmontaje de la misma, permitiendo tener un mejor acceso a la misma para realizar de mejor manera mantenimientos necesarios.

3.1.2.4. Estructura Final

En este apartado se describirán los componentes que serán parte de cada uno de los ejes XYZ del manipulador robótico cartesiano, detallando sus dimensiones y materiales a emplear para el ensamblaje final del mismo.

3.1.2.4.1. Estructura del Eje X

Para la estructura final del Eje X, se emplearán dos ejes guías que permiten el desplazamiento de la tuerca sobre el tornillo sin fin, los ejes guías serán de un diámetro de 14mm, 875mm de largo, hechos en acero plata, y su ubicación será en los extremos del Eje X, para de esta manera evitar el tambaleo del elemento móvil del Eje X por fricción con los ejes guías, dicha distribución es la mostrada en la figura 18.

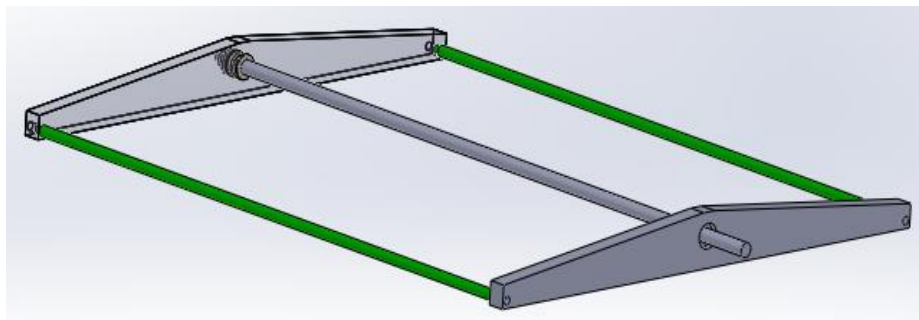


Figura 18. Ubicación de los ejes guía en el Eje X

Como se determinó previamente, el tipo de transmisión que se va a utilizar es un tornillo sin fin y una tuerca, por tanto el diámetro para el tornillo sin fin será de 18mm y 1000mm de largo, ya que hay que tomar en cuenta un espacio para acople de motores y otro espacio para el acople de encoders, el material del cual será hecho el tornillo sin fin es en acero torneable, y este se ubicará en el centro del Eje X como se muestra en la figura 18.

Adicionalmente el tornillo sin fin posee dos rodamientos axiales simples de bolas en cada extremo, ya que este tipo de rodamientos ayuda a soportar cargas que actúen en el mismo sentido del eje de rotación. La ubicación de los rodamientos en el tornillo sin fin del Eje X es mostrada en la figura 19.

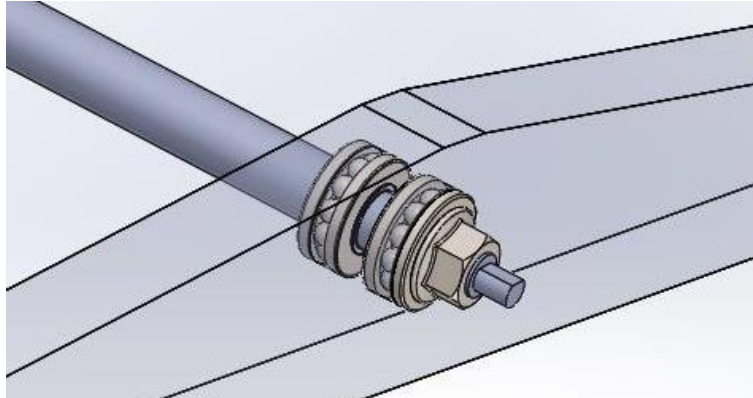


Figura 19. Ubicación de rodamientos en el Eje X

El Eje X poseerá dos placas que permitan la sujeción de los ejes guía, el tornillo sin fin y los rodamientos, esto se muestra en la figura 20 y figura 21.

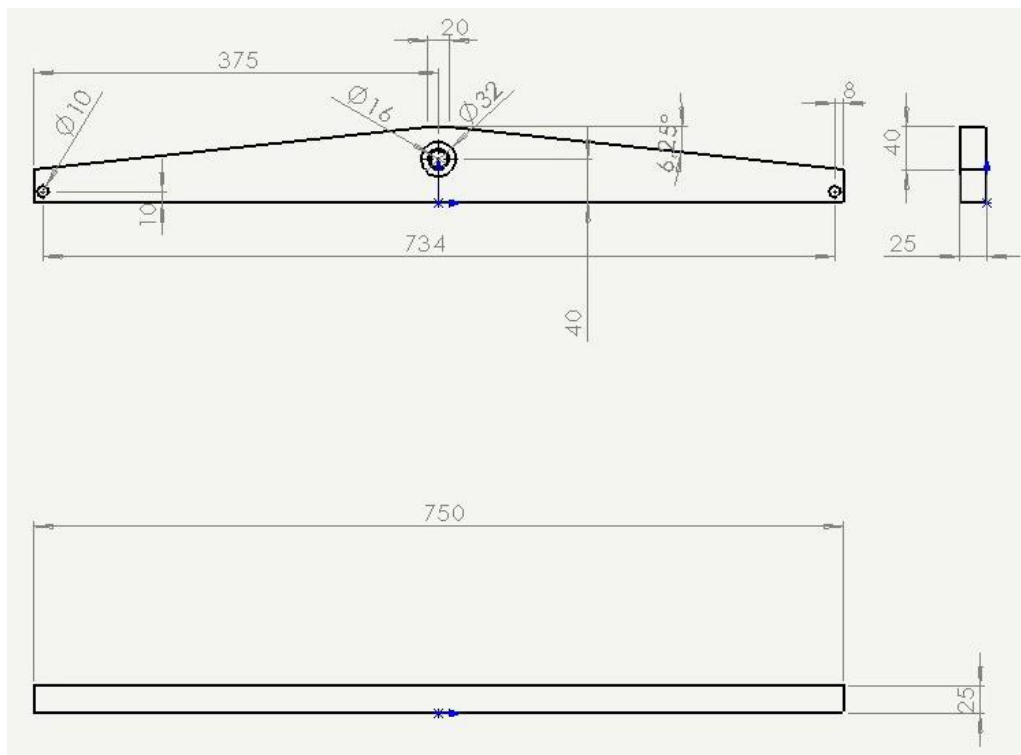


Figura 20. Dimensiones expresadas en milímetros de la placa de sujeción de ejes y tornillo sin fin del Eje X

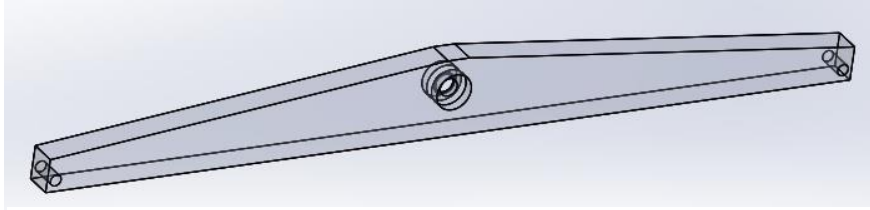


Figura 21. Placa de sujeción de los ejes y tornillo sin fin del Eje X

La tuerca del sistema de transmisión de potencia deberá ser de acrílico y estar sujeta a una placa de acero mediante pernos G8, la tuerca es mostrada en la figura 22 y la placa en la figura 23.

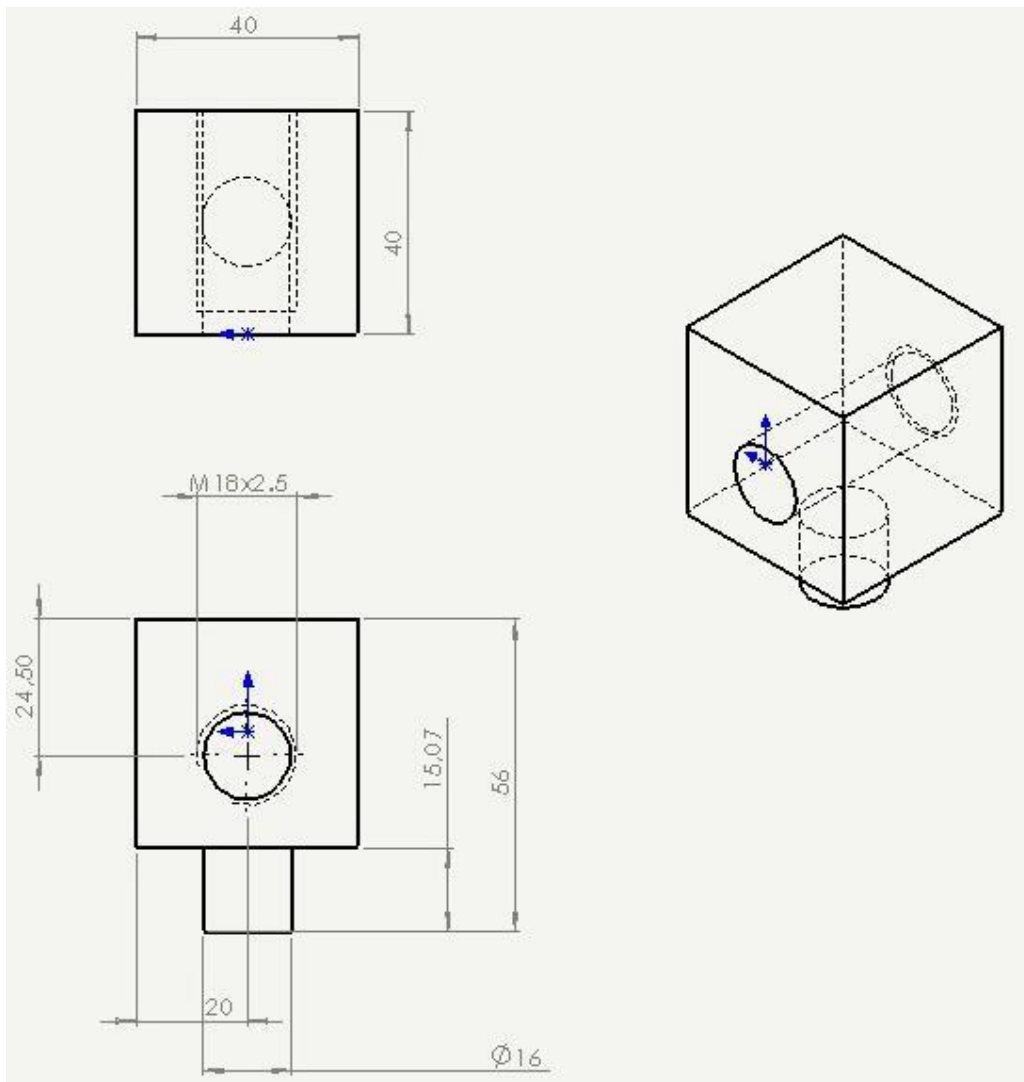


Figura 22. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la tuerca del Eje X

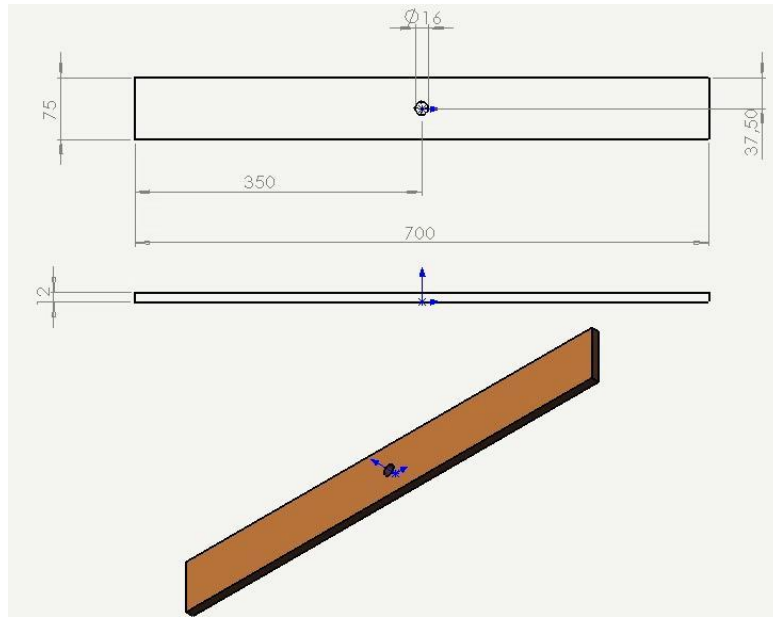


Figura 23. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D del soporte de la tuerca del Eje X

Para desplazarse a través de los ejes guías del Eje X se desarrollarán ruedas que permitan el movimiento, estas estarán sujetas a una placa que adicionalmente soportará el Eje Y, el número de ruedas utilizadas por cada eje guía son dos, las cuales están hechas en acrílico. Las ruedas diseñadas están mostradas en la figura 24.

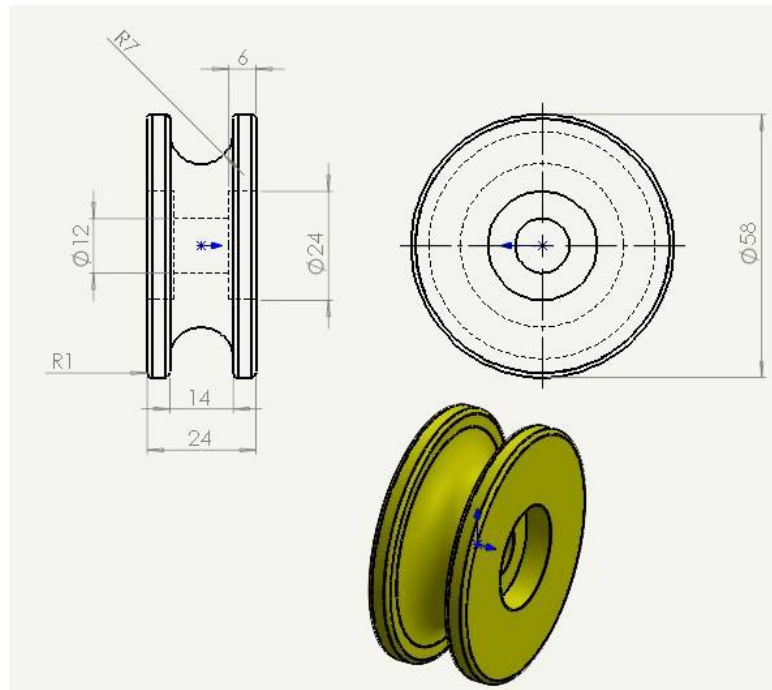


Figura 24. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la rueda

Las placas de sujeción de las ruedas esta mostrada en la figura 25.

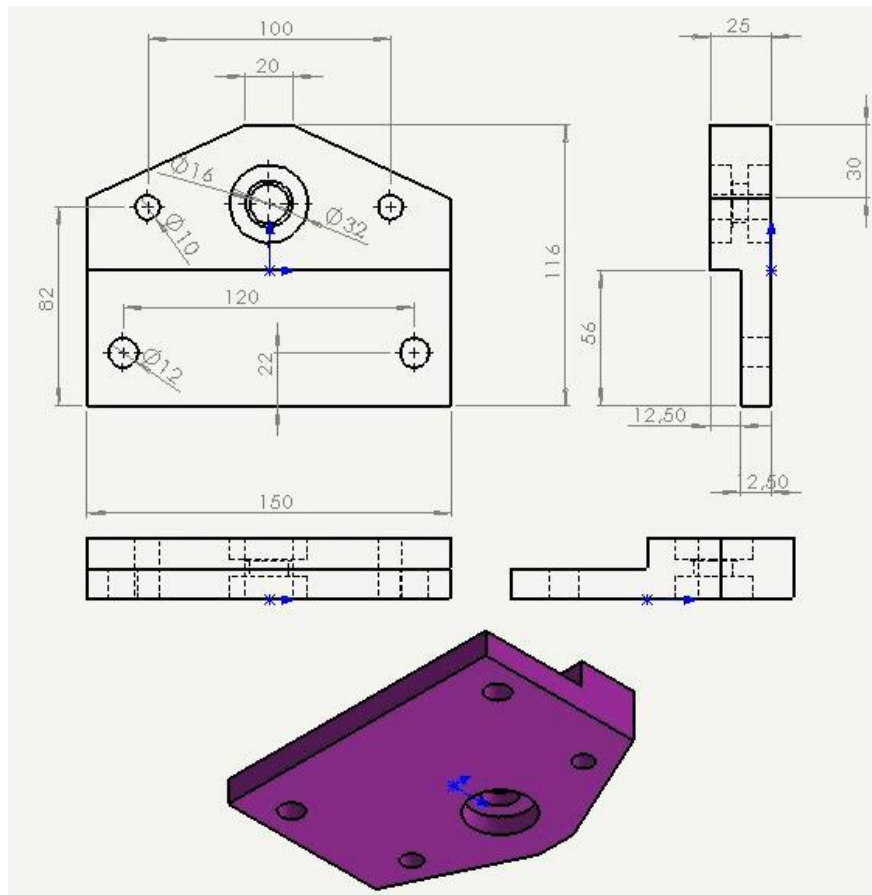


Figura 25. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la placa de sujeción de las ruedas

El montaje total correspondiente al Eje X, se lo realizará uniendo las partes descritas anteriormente, y se muestra en la figura 26.

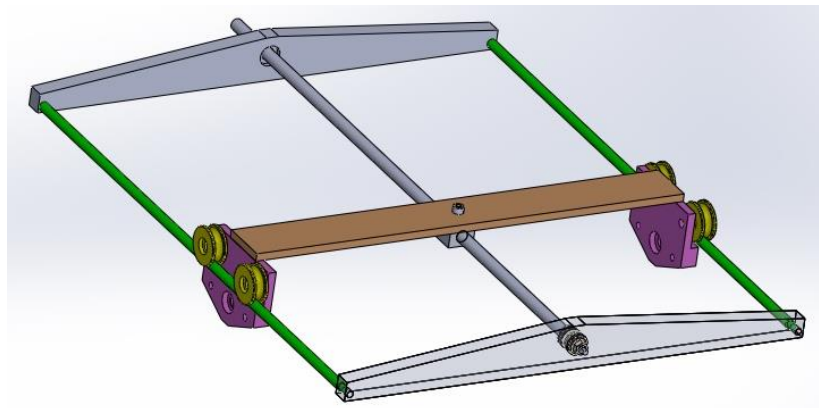


Figura 26. Montaje final del Eje X

3.1.2.4.2. Estructura del Eje Y

De igual manera que el Eje X, la estructura del Eje Y posee dos ejes guía de dimensiones: 14mm de diámetro y 675mm de largo, deben estar hechos en acero plata y se encuentran en los extremos del Eje Y, estos ejes evitan problemas de tambaleo en la estructura del Eje Y. En la figura 27, son mostrados los ejes guía ubicados en el Eje Y.

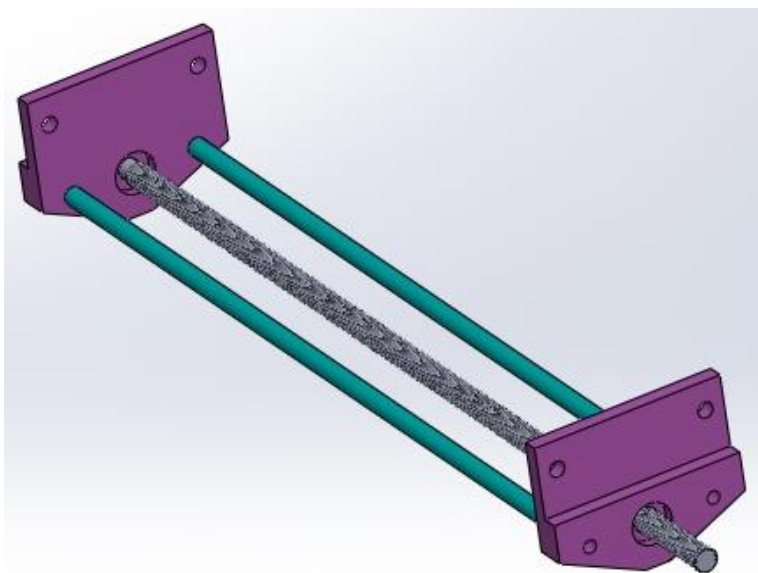


Figura 27. Ubicación de los ejes guía en el Eje Y

El tornillo sin fin del sistema mecánico de movimiento del Eje Y está fabricado en acero, de dimensiones: 18mm de diámetro y 825 mm de largo, esto debido a que se necesitan distancias de acople para motores y encoders, el tornillo sin fin se ubicará en el centro del Eje Y, la cual es mostrada en la figura 27.

Los rodamientos que soportarán el movimiento del Eje Y serán rodamientos de tipo axial, ya que estos soportan cargas en dirección al eje de rotación. Por cada extremo del tornillo sin fin se ubicarán dos rodamientos axiales simples de bola, una tuerca que permita regular la rigidez del tornillo sin fin, los cuales son mostrados en la figura 28.

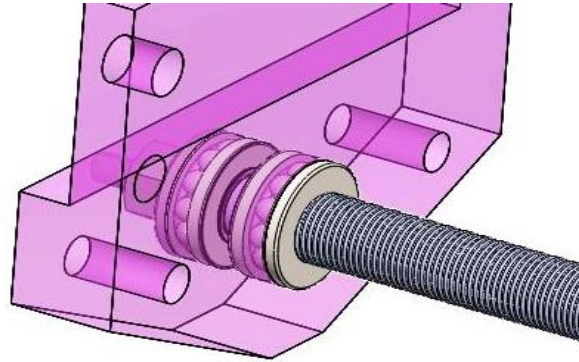


Figura 28. Rodamientos del Eje Y

Las placas de sujeción de los ejes guía, tornillo sin fin, rodamientos, es la descrita en la figura 27.

La tuerca para el desplazamiento sobre el tornillo sin fin del Eje Y será fabricada en acrílico, adicionalmente, deberá sujetarse a una placa de acero mediante un perno G8, la cual es mostrada en la figura 29, mientras que la placa de sujeción de la tuerca es mostrada en la figura 30.

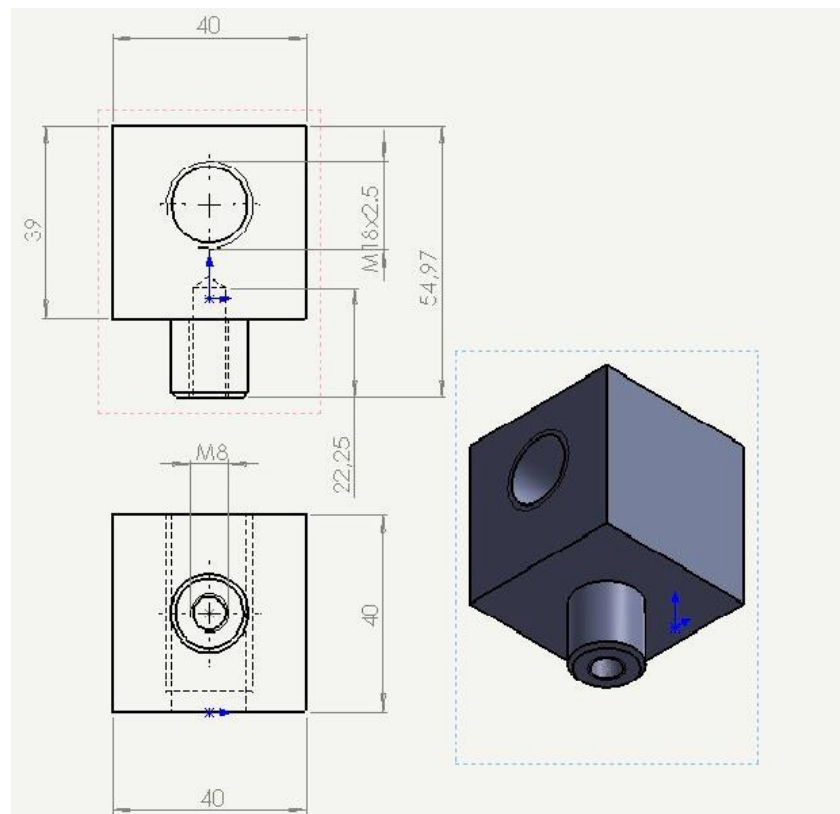


Figura 29. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la tuerca del tornillo sin fin del Eje Y

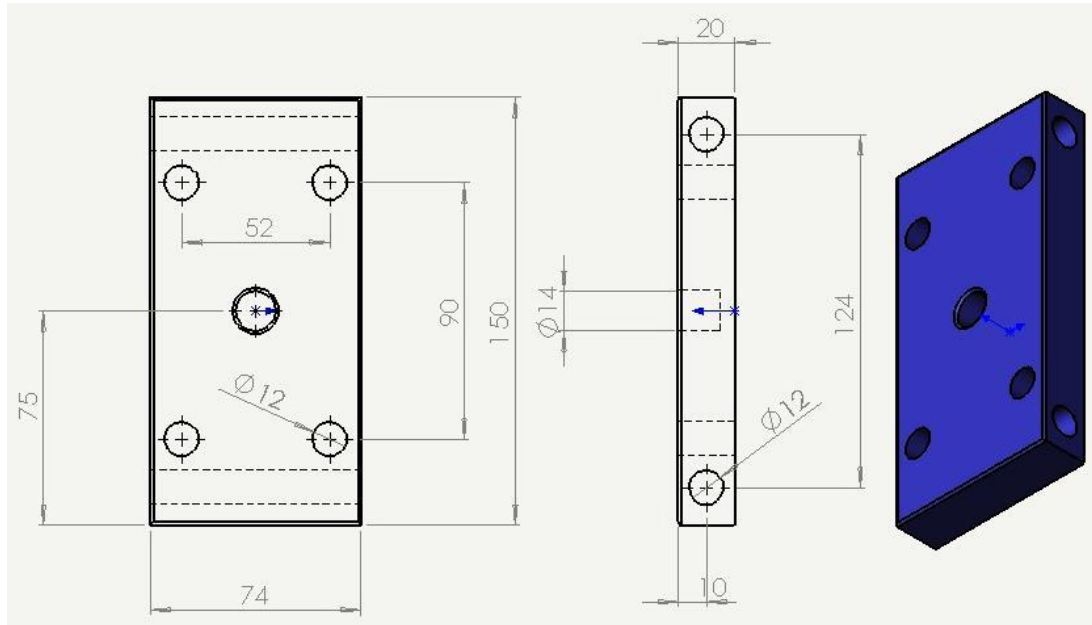


Figura 30. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la placa de sujeción de la tuerca, referente al Eje Y

Las placas mostradas en la figura cumplirán la función adicional de sostener las ruedas de desplazamiento de los ejes guía, mostrados en la figura 24.

El montaje final referente al Eje Y se muestra en la figura 31.

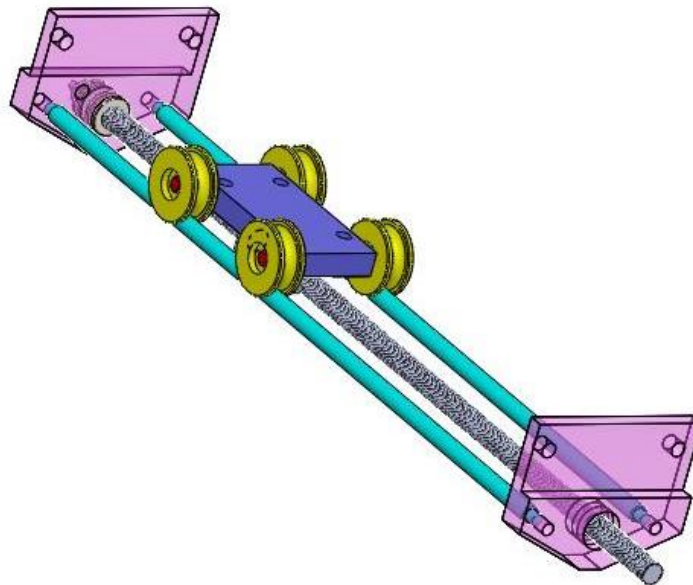


Figura 31. Montaje total referente al Eje Y

3.1.2.4.3. Estructura del Eje Z

La estructura del Eje Z posee un distinto sistema de fijación en comparación a los Ejes XY citados anteriormente, debido a que este no posee espacio suficiente para incluir dos ejes guía, es por esto que el sistema de fijación para el Eje Z es una cola de milano, está hecho en aluminio y se ubica sobre una placa de acero. La cola de milano se muestra a continuación en la figura 32, y la figura de la base de la cola de milano se muestra en la figura 33.

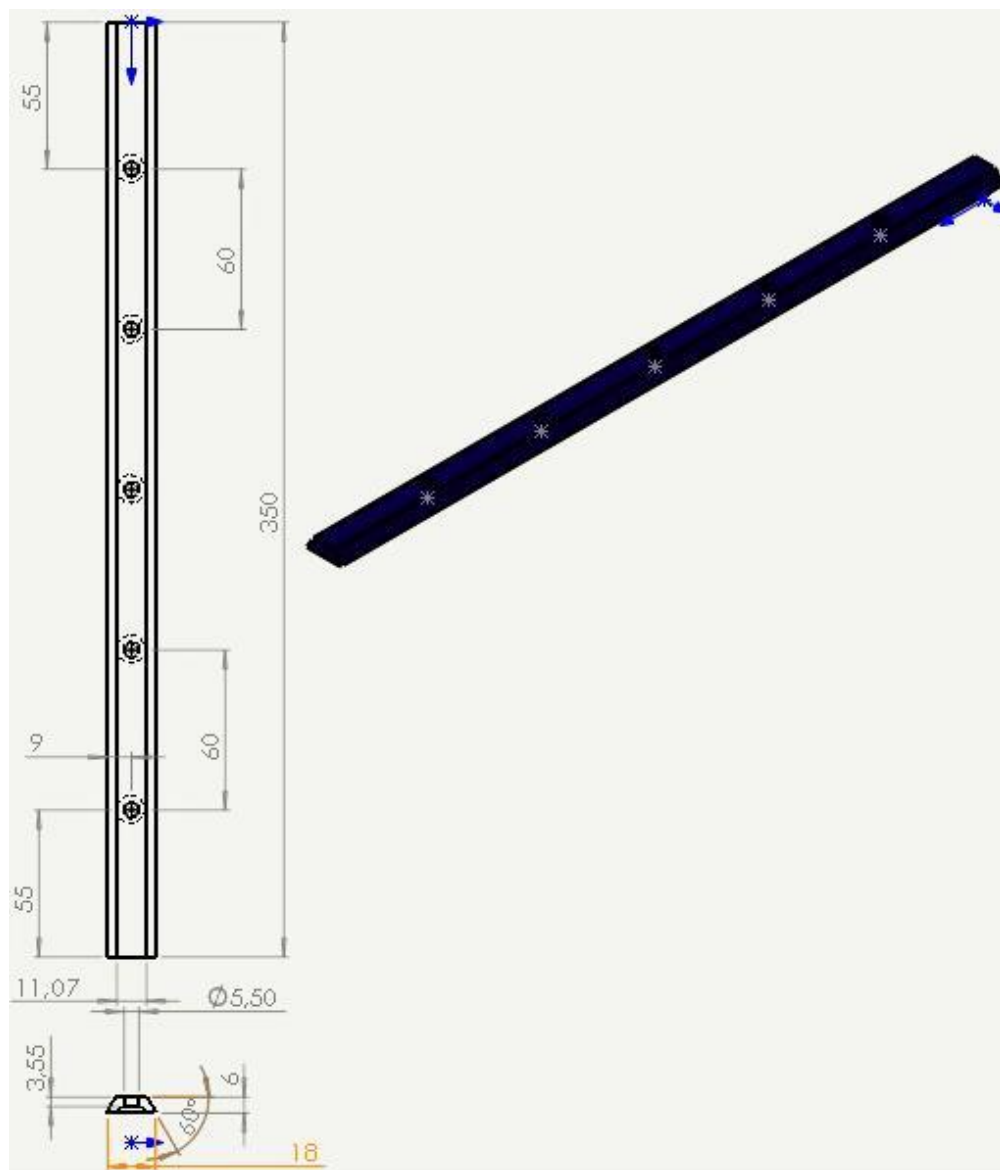


Figura 32. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la Cola de Milano utilizada en el Eje Z

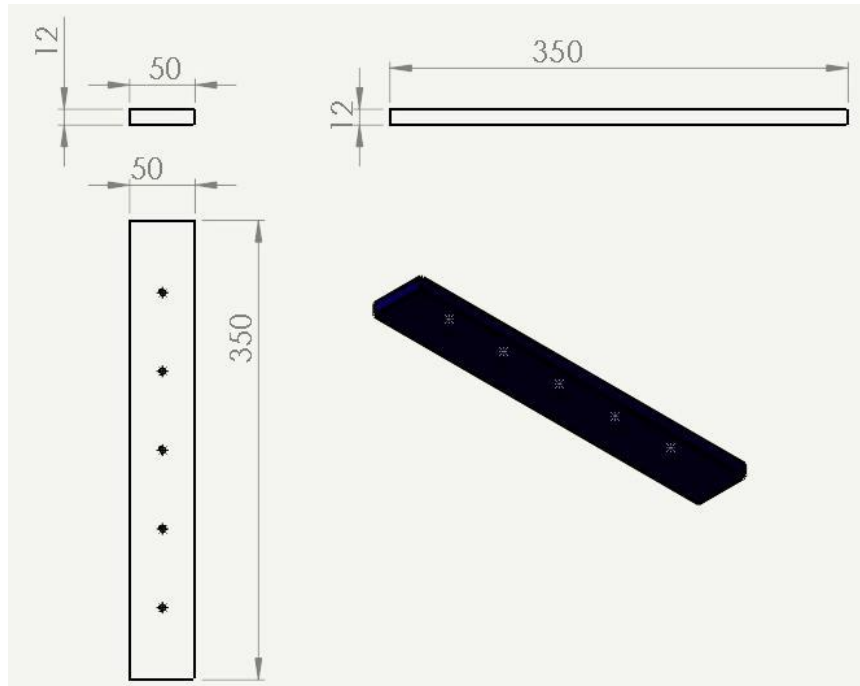


Figura 33. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la base de la Cola de Milano referente al Eje Z

El Eje Z contiene cuatro espaciadores sujetos a la base que soporta la tuerca del Eje Y que es mostrada en la figura 30. Estos espaciadores tienen el objetivo de acoplar el motor que generará movimiento en el Eje Z, los cuales son fabricados en acero, sus dimensiones son: 14mm de diámetro y 160mm de largo. En la figura 34 se muestra la ubicación de dichos espaciadores sobre el soporte del Eje Y.

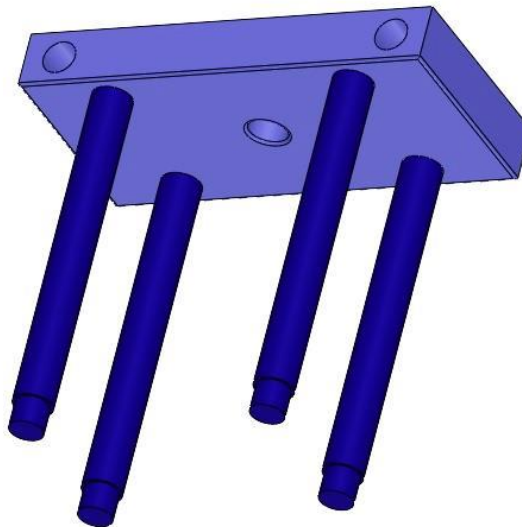


Figura 34. Espaciadores ubicados en el soporte del Eje Y

El tornillo sin fin es de 350mm de largo y de 18mm de diámetro, el cual es fabricado en acero, la tuerca que se desplaza sobre este es de aluminio, debido a que el Eje Z debe ser de menor peso que los demás ejes, sus dimensiones son: 40mm de diámetro y 350mm de alto, la figura 35 muestra un cómo está conformada la tuerca y el tornillo sin fin

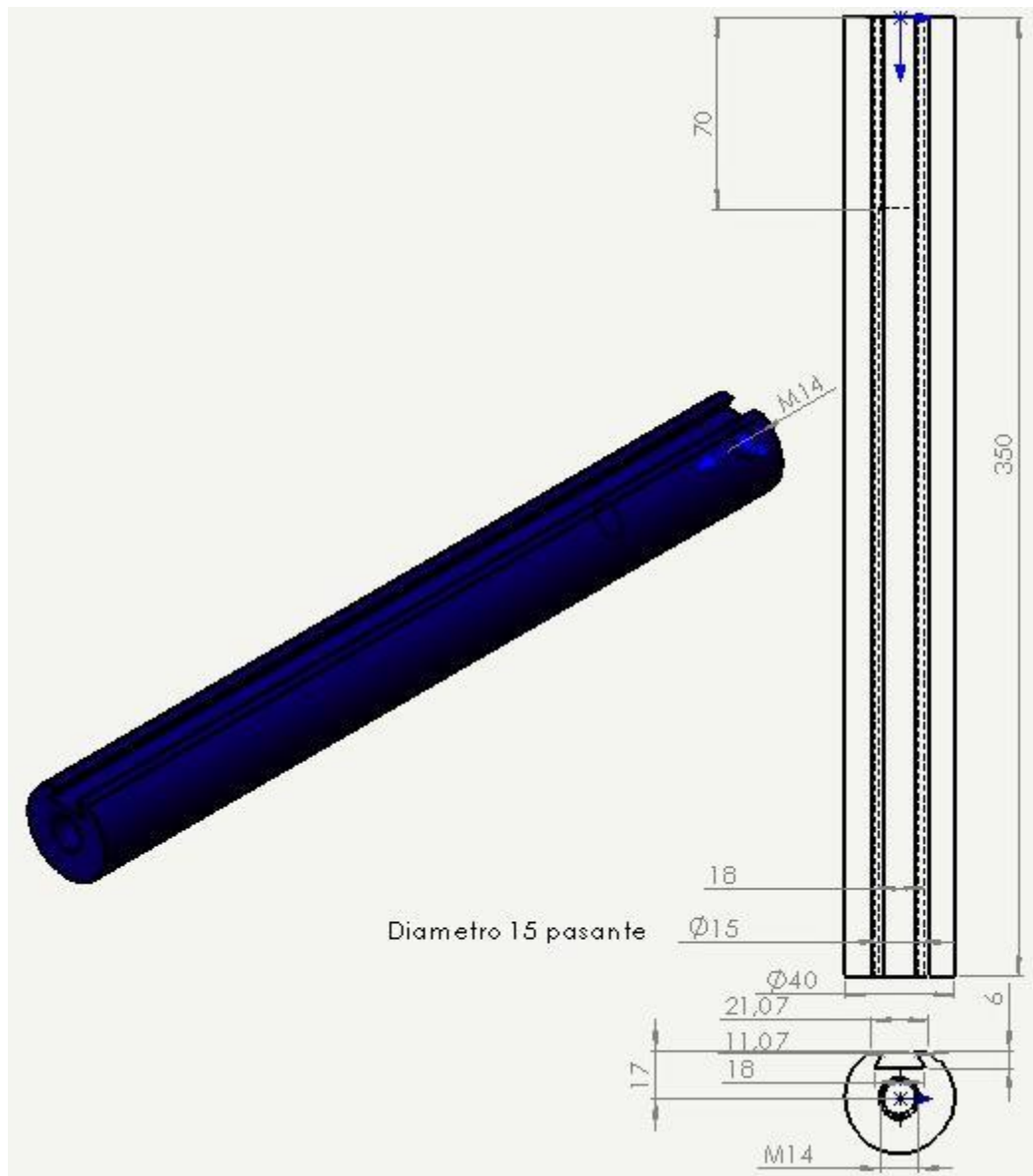


Figura 35. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la tuerca del Eje Z

El soporte que sostenga a la cola de milano con su respectiva tuerca y base es fabricada en acero y se muestra en la figura 36.

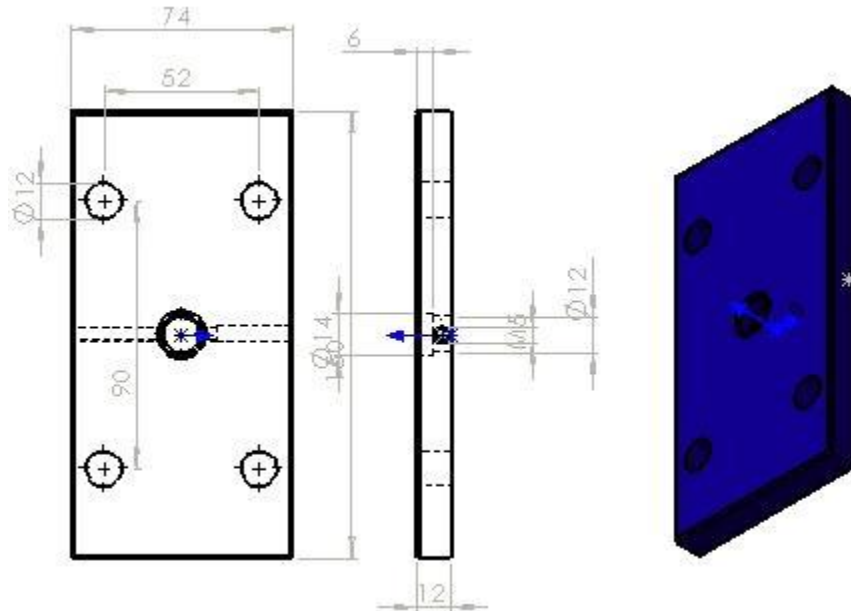


Figura 36. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D del soporte de la cola de milano del Eje Z

El montaje final del Eje Z es mostrado en la figura 37.

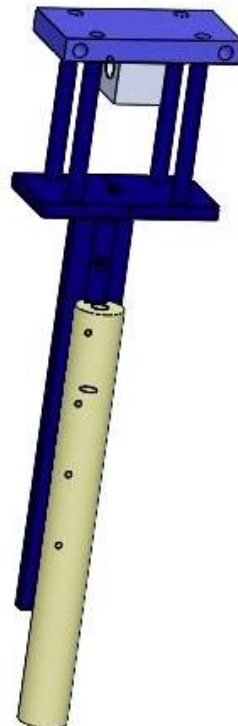


Figura 37. Montaje final del Eje Z

3.1.2.4.4. Estructura Superior de Soporte del Manipulador Robótico Cartesiano

La estructura de soporte del manipulador robótico cartesiano está diseñada en base a tubos rectangular de acero y se unen mediante soldadura, esto debido a la estabilidad necesaria que debe poseer la estación robótica cartesiana, y su representación se muestra en la figura 38.

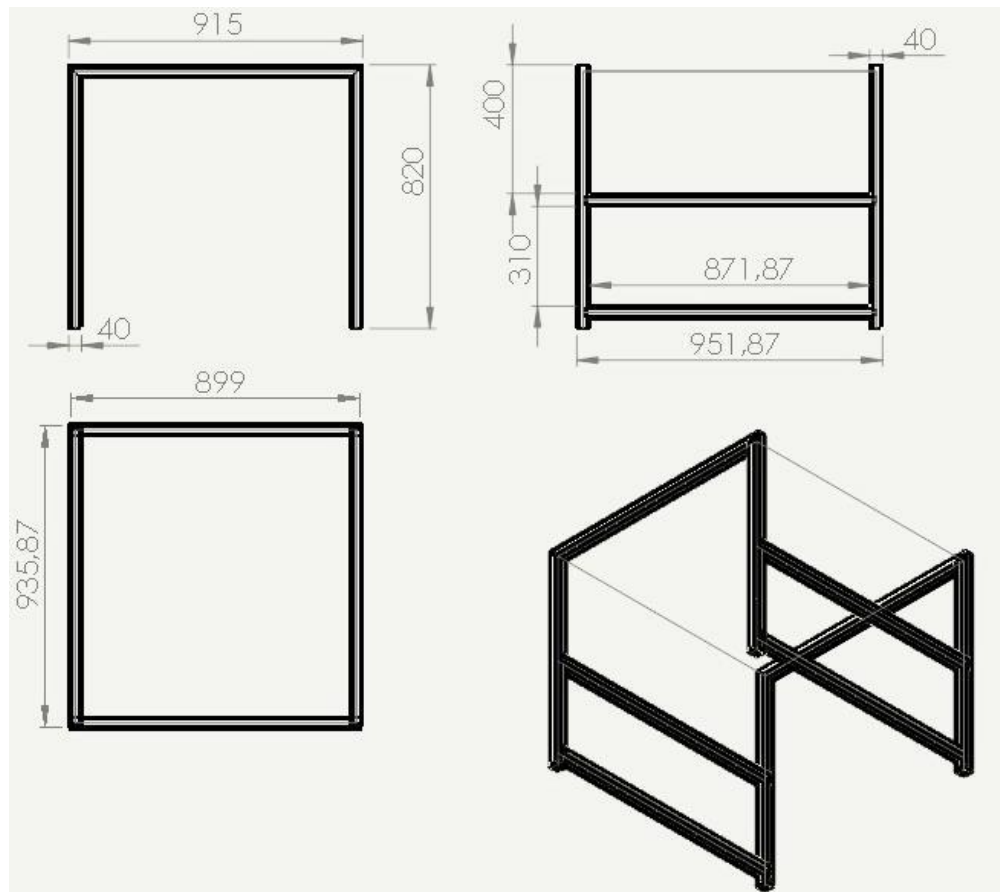


Figura 38. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la estructura superior del Manipulador Robótico Cartesiano

3.1.3. Diseño Eléctrico

En esta sección se detallan los componentes eléctricos como por ejemplo: gabinete eléctrico, circuito eléctrico, consola de control y sus respectivos diagramas.

3.1.3.1. Gabinete Eléctrico

El gabinete eléctrico es el encargado de proteger los circuitos eléctricos contra derrame de líquidos, ingreso de polvo y manipulación indebida; además de permitir una organización de los circuitos de control.

3.1.3.1.1. Parámetros iniciales de diseño del gabinete eléctrico

El gabinete eléctrico deberá ser desarrollado bajo ciertos parámetros como son los siguientes:

- El gabinete eléctrico deberá ser robusto en su estructura para evitar daños en los circuitos de control que se encuentran en él.
- Deberá tener un recubrimiento para evitar aterrizajes indebidos de los circuitos de control, o de cables externos a él.
- Adicionalmente, el gabinete eléctrico deberá poseer una visualización que permita observar la parte interna del gabinete para poder observar el estado de los circuitos.
- Finalmente deberá cumplir con alguna norma internacional.

3.1.3.1.2. Diseño del gabinete eléctrico

Basándose en los parámetros iniciales de diseño planteados se procede a cumplir con las siguientes especificaciones para la construcción del gabinete eléctrico.

Por normas de seguridad para el diseño de gabinetes eléctricos, se ha empleado en su elaboración la Norma NEMA-250 y la Norma UL-50,50E, la cual define que el gabinete eléctrico es de tipo 5. Un detalle de las normas es mostrado en el cuadro 4.

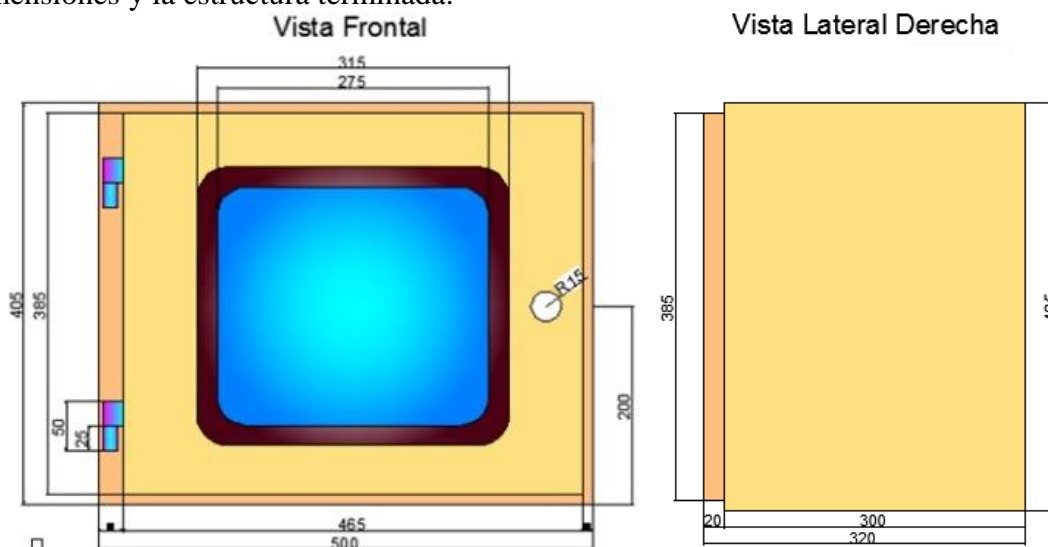
Cuadro 4. Normas cumplidas en el gabinete eléctrico de la estación robótica cartesiana

Espacio	NEMA		Calificación Gabinete	UL	
	Sólidos	Líquidos		Sólidos	Líquidos
Interiores	Proporciona un grado de protección contra el acceso de piezas peligrosas y contra el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae y asentamiento de polvo, pelusas, fibras y contaminantes aéreos)	Proporciona un grado de protección contra el ingreso de agua (goteo y salpicaduras ligeras)	Tipo 5	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor) y suciedad que cae, asentamiento de polvo, pelusas, fibras y contaminantes en el aire.	Proporciona un grado de protección contra goteo y salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos.

[Fuente: (Pentair, 2010)]

En cuanto a la pintura el gabinete eléctrico es recubierto por pintura al horno con baño electrostático para evitar aterrizajes innecesarios, en cuanto al color se utilizó un color avellanado en base a las normas industriales

Las dimensiones del gabinete eléctrico son determinadas en base a los racks DTA200 que es el rack primario de dimensiones: 213,4mm de ancho y 142mm de alto; el rack DTA201 posee dimensiones: 213,4mm de ancho y 142mm de alto; los cuales ocuparán la riel superior del gabinete eléctrico, y con un espacio adicional para la ubicación de elementos eléctricos de control en un segunda riel DIN, finalmente se tomarán en cuenta espacios para la ubicación de canaletas alrededor de la estructura interna del gabinete, por donde pasará el cableado de conexión. La figura 39 muestra las dimensiones y la estructura terminada.

**Figura 39. Dimensiones expresadas en milímetros del gabinete eléctrico**

Como característica final el gabinete eléctrico posee una puerta desmontable, que permite tener un fácil acceso a los elementos que se encuentran dentro de ella.

3.1.3.1.3. Ensamblaje Total del Gabinete Eléctrico

En la fotografía 1, se indica el gabinete eléctrico terminado y funcionando con todos los elementos de control en su interior.



Fotografía 1. Gabinete eléctrico

3.1.3.2. Consola de control

La función de la consola de control es permitir un fácil acceso del operador hacia los elementos de mando manual como: accionamiento de arranque de la estación, parada de emergencia, pulsadores de encendido y apagado de la estación con sus respectivos indicadores lumínicos.

3.1.3.2.1. Parámetros iniciales de diseño de la consola de control

Para la construcción de la consola de control se siguieron los parámetros iniciales, propuestos por el diseñador, los cuales se expondrán a continuación:

- La consola de control deberá tener un recubrimiento que evite aterrizajes o descargas inoportunas.
- Deberá proporcionar al operador un acceso sencillo.
- Deberá poseer un fácil acceso a su interior para mantenimiento.

3.1.3.2.2. Diseño de la consola de control

Basándose en los parámetros previamente expuestos por el diseñador, se procedió a diseñar la consola de control de la siguiente manera:

- La consola de control estará construida en láminas de acero, que proporcionará firmeza a la estructura, con un recubrimiento de pintura al horno, mediante un baño electrostático de color avellana, que se utiliza industrialmente como estándar.
- En la pared superior de la consola de control se ubicarán los mandos de control de la siguiente manera:
 - El mando de encendido de la estación se encontrará en la parte inferior, cerca del centro de la pared, seguido de esta se encontrará el mando de apagado de la estación, y finalmente se encontrará el mando de la parada de emergencia; sobre cada uno de estos mandos se encontrarán sus respectivas luces piloto.
 - Adicionalmente, la pared superior se abre hacia arriba, para permitir así el mantenimiento de los elementos eléctricos presentes en la misma.

- En la pared frontal de la consola de control se encontrará el mando de arranque de la estación, seguido de su respectiva luz piloto.

Las dimensiones se encuentran expuestas en la figura 40.

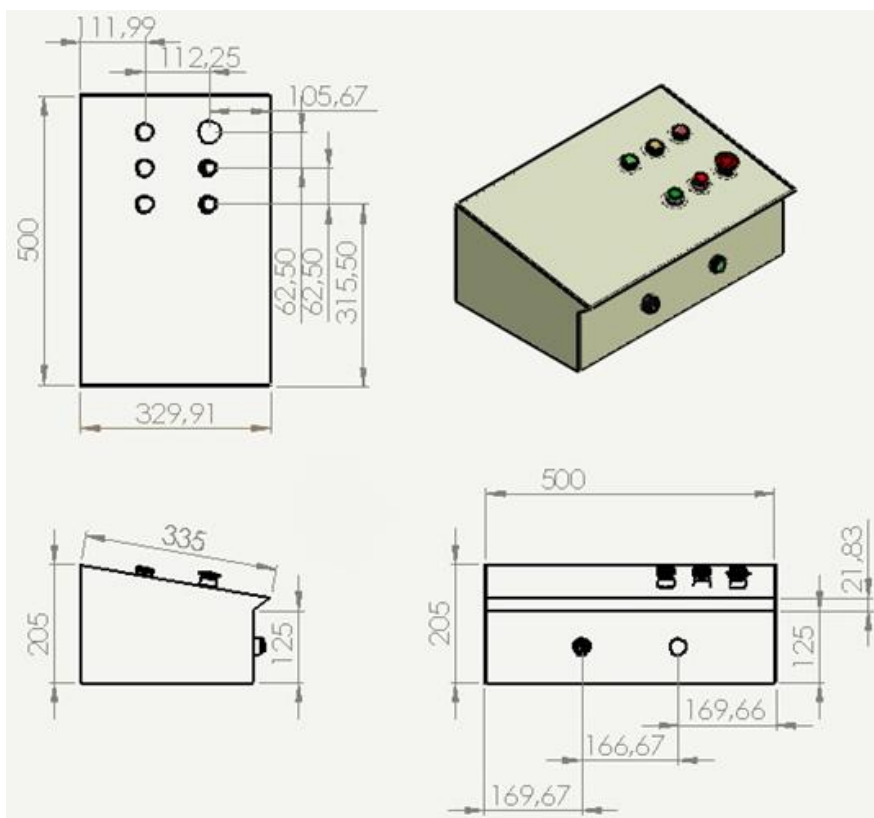


Figura 40. Dimensiones expresadas en milímetros y figura en 3D de la consola de control

3.1.3.2.3. Ensamblaje total de la consola de control

En la fotografía 2, se puede ver el resultado final de la consola de control con los elementos eléctricos ya instalados, donde en la parte frontal están la activación del Switch por llave y su correspondiente luz piloto verde.

En la parte superior se observan los pulsadores de Start, Stop y Parada de emergencia y sus respectivas luces pilotos.



Fotografía 2. Consola de control del sistema robótico

3.1.3.3. Circuitos de control

En esta sección se describirán los circuitos eléctricos que comandan la estación robótica cartesiana, mediante diagramas, conexiones, resumen de conexiones y componentes eléctricos del sistema.

3.1.3.3.1. Circuito de alimentación y protección eléctrica

Este circuito está diseñado para evitar cortocircuitos o daños por parte de fallas en la alimentación general, además de proteger los elementos como: sensores, motores, relés de mando, PLC, fuentes de alimentación.

3.1.3.3.1.1. Funcionamiento del circuito

El circuito de protección y alimentación se muestra en la figura 41 y su funcionamiento se describe a continuación:

- Una vez activado el mando de arranque de la estación por llave, se acciona un circuito que contiene un fusible conectado al sistema de alimentación general de 110V AC, adicionalmente se activa un circuito de enclavamiento el cual permitirá encender a la estación mediante un pulso a través del mando de encendido de la estación, y desactivarla mediante otro pulso proporcionado en el mando de apagado de la estación.
- Si la estación se encuentra energizada, el mando de encendido de la estación activará las distintas fuentes que alimentan a sensores, actuadores y PLC.
- Cabe recalcar que la parada de emergencia se encuentra conectada directamente al PLC, ya que esta no deberá tener incidencia sobre el circuito de protección y alimentación.
- Las luces piloto funcionan de la siguiente manera: Una vez activado el mando de enclavamiento por llave, se encenderá la luz piloto verde próxima a este mando; mientras que la luz piloto verde ubicada sobre la consola de mando se activará de manera permanente una vez presionado el mando de encendido de la estación, la luz piloto amarilla ubicada sobre la consola de control se activará si la estación está desenergizada o si se presiona el mando de apagado de la estación; finalmente la luz piloto roja se encenderá de manera intermitente si el mando con enclavamiento de emergencia se mantiene activo.

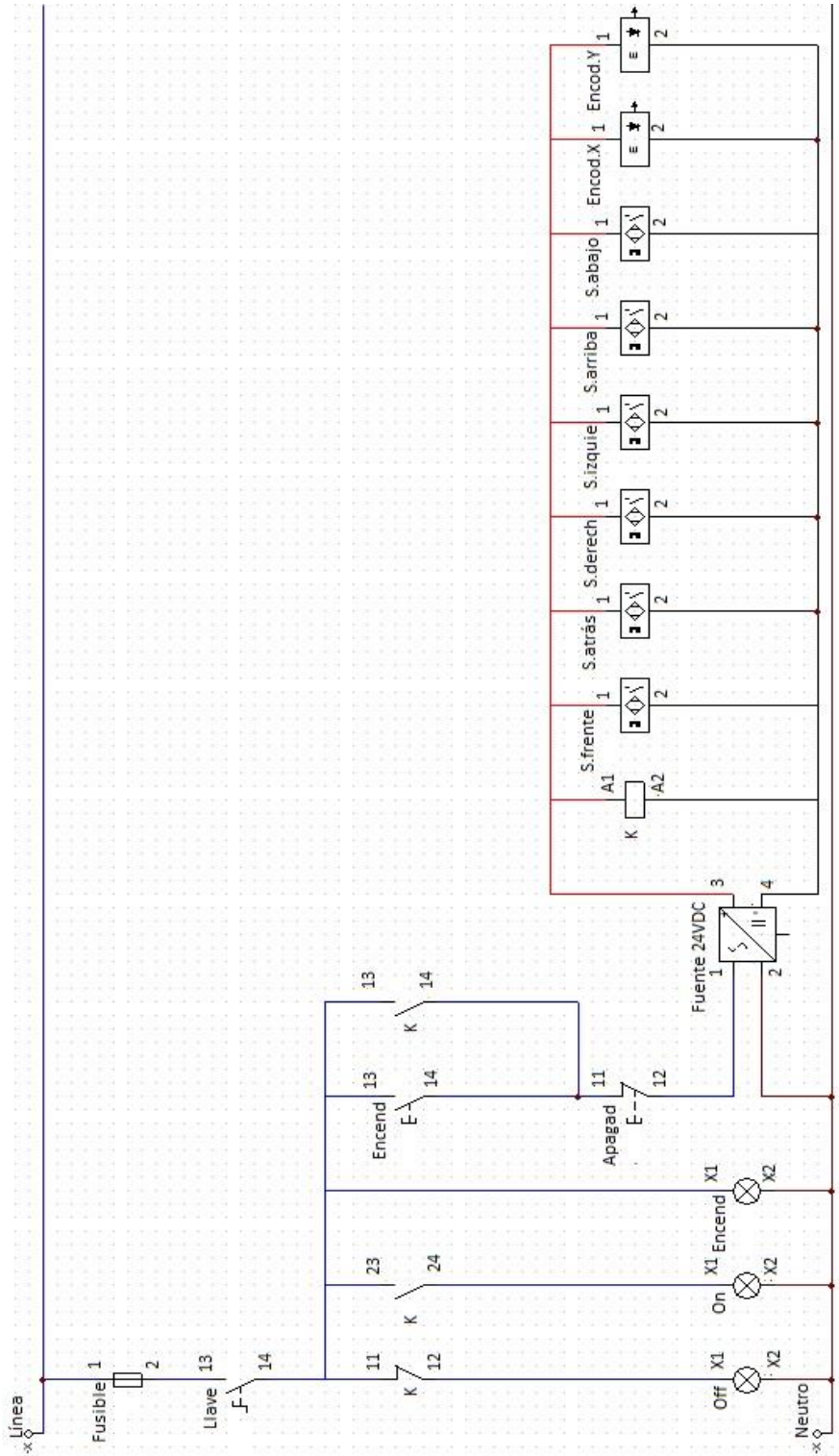


Figura 41. Diagrama de conexiones del circuito de protección y alimentación

Para establecer un orden o un código que permitan una mejor identificación de los circuitos dentro del gabinete eléctrico, y con esto una mayor facilidad de mantenimiento, se ha propuesto un código de colores, el cual está descrito en la tabla 2.

Tabla 2. Configuración de colores de los cables eléctricos en función del tipo de voltaje

Alimentación	Valor del Voltaje	Color
DC	24 (+)	Amarillo
	12 (+)	Azul
	5 (+)	Verde
	Común	Blanco
AC	Fase	Negro
	Neutro	Blanco

3.1.3.3.1.2. Componentes del circuito de protección y alimentación

En esta sección se describen todos los componentes que forman parte del circuito de protección y alimentación, así como las características de los mismos.

3.1.3.3.1.2.1. Base portafusibles

Es un elemento que se lo utiliza como punto inicial de un sistema eléctrico, usado para brindar protección contra cortocircuitos y sobrecargas eléctricas, ya que en su interior posee un fusible desmontable.

La base portafusibles que posee el gabinete eléctrico es de un polo, con tensión de 110V AC a 32A de corriente máxima, y se lo puede observar en la figura 42.



Figura 42. Base portafusible utilizada [Imagen de propiedad: (CAMSCO, 2014)]

3.1.3.3.1.2.2. Fuentes de Alimentación DC

Las fuentes de alimentación DC, convierten el voltaje de AC en voltaje DC, mediante transformadores, rectificadores y circuitería interna adicional.

Para el funcionamiento de la estructura robótica cartesiana fueron necesarias tres fuentes de alimentación y son las siguientes:

- Fuente de Alimentación de 24 V DC comercial, con una corriente máxima de 6.2A de característica industrial y se la puede ver en la figura 43, la cual se utiliza para la alimentación general del sistema, como por ejemplo el PLC y los sensores.
- Fuente de Alimentación ATX de PC, se seleccionaron los cables referentes a los voltajes 5V y 12V en DC, esta fuente entrega una corriente máxima de 3.5A y se la puede ver en la figura 44.

- Fuente de Alimentación Variable DC-DC, convierte un voltaje DC de entrada (4V-35V), en otro voltaje DC de salida (1.25V-33V), llegando a obtener una corriente máxima de entrada/salida de 3A, y se la puede observar en la figura 45.

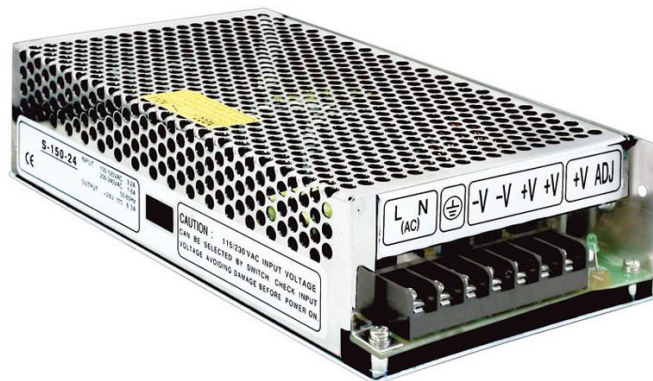


Figura 43. Fuente de Alimentación 24V DC [Imagen de Propiedad: (Sonicolor, 2014)]



Figura 44. Fuente de Alimentación estándar de PC [Imagen de Propiedad: (SM, 2011)]

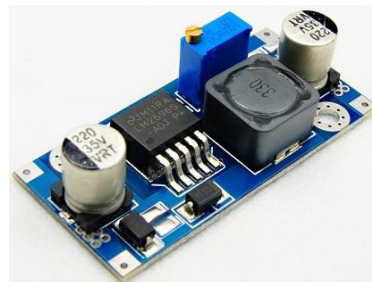


Figura 45. Fuente de conversión DC-DC [Imagen de Propiedad: (Anónimo, ELECTRÓNICA ESTUDIO.COM, 2014)]

La fuente de 5 VDC alimenta el motor la herramienta terminal para que esta empiece a realizar su trabajo de grabado.

La fuente de 9 VDC energiza el motor del Eje X y el Eje Y, para que ambos motores ejerzan una velocidad denominada velocidad baja, y una fuente de 12 VDC que hace que los motores se muevan a velocidad alta todo esto debido al control de velocidad que se aplica a los motores para un control rampa simulado.

3.1.3.3.1.2.3. Switch con Llave

El Switch con accionamiento por llave de dos posiciones (ON-OFF), como se observa en la figura 46, es el encargado de permitir o no la alimentación eléctrica hacia el gabinete eléctrico, previamente de ser permitida su acción mediante los pulsadores de start o stop. Se eligió el Switch con llave por su seguridad, para que no pueda ser activado o desactivado accidentalmente, funciona con un voltaje de 110V AC en sus contactos.



Figura 46. Switch con accionamiento por llave de dos posiciones [Imagen de Propiedad: (ELECTRIC, 2014)]

3.1.3.3.1.2.4. Pulsadores

Los pulsadores brindan una señal eléctrica hacia el PLC, son sin enclavamiento y se utilizaron tres tipos diferentes acorde a su acción a realizar, y se describen a continuación:

- Inicio/Start.- Este pulsador permite energizar a los elementos en el gabinete eléctrico. Acorde a normas internacionales, tiene la característica de ser de color verde, rasante y sus contactos están normalmente abiertos (NO), con voltaje en sus contactos de 110V AC, y se lo puede ver en la figura 47.

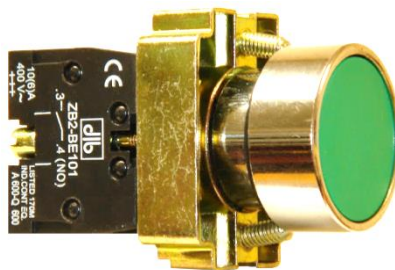


Figura 47. Pulsador de Inicio [Imagen de Propiedad: (ebay, 2013)]

- Paro/Stop.- Se lo utiliza para des energizar a los elementos en el gabinete eléctrico. Según normas internacionales, este pulsador debe ser de color rojo, saliente y sus contactos en estado normalmente cerrado (NC), el voltaje en sus contactos es de 110V AC, y se lo puede ver en la figura 48.



Figura 48. Pulsador de Paro [Imagen de Propiedad: (Anónimo, REXEL, 2014)]

- Parada de Emergencia.- Empleada para detener el sistema en caso de suscitarse un inconveniente o evento no previsto. Según está normado se recomienda que sea de color rojo, de tipo hongo y con enclavamiento, de desactivación por giro, y sus contactos estén en estado normalmente cerrado (NC), el voltaje en sus terminales es de 24 V DC, y se lo puede ver en la figura 49.



Figura 49. Pulsador de parada de emergencia con dimensiones expresadas en milímetros [Imagen de Propiedad: (Mercado Libre México, 2014)]

3.1.3.3.1.2.5. Luces Piloto

Sirven para dar una señal al operador o usuario de tipo luminosa, y se presentan en varios colores estandarizados, acorde a una función específica, se las puede observar en la figura 50, y se las describe a continuación:

- Verde.- Se la emplea en activaciones generales y para indicar un correcto funcionamiento en el proceso. Esta luz es empleada con el interruptor con llave en el suministro de energía, y en el modo Inicio/Start del sistema robótico cuando están energizados y encendidos todos los componentes eléctricos y electrónicos. Su alimentación es de 110V AC.

- **Amarillo.-** Utilizado cuando el sistema requiere intervención del operador ante algún aviso, en este caso, cuando el sistema está energizado y falta aún su activación al sistema eléctrico /electrónico. Se enciende cuando el sistema está en modo de Paro o cuando se presiona por tres segundos el botón de paro/stop. Está alimentada con un voltaje de 110V AC.
- **Rojo.-** Empleado como aviso emergente. Esta luz está relacionada al pulsador de parada de emergencia, y cuando es activada, su luz se prende y apaga cada medio segundo. Es alimentada con un voltaje de 24V DC.



Figura 50. Luces piloto [Imagen de Propiedad: (Alibaba.com, 2014)]

3.1.3.3.2. Circuito de sensamiento

En este circuito se manejan elementos de sensamiento que permitan la detección de los estados mecánicos de la estación robótica, principalmente la ubicación de los elementos móviles. En esta sección se determinará los elementos de sensamiento, así como las posibilidades para los mismos.

3.1.3.3.2.1. Selección de elementos de sensamiento

Debido a la fuente de alimentación que posee el circuito de alimentación que es equivalente a 24V DC, se deberán seleccionar sensores que tengan este tipo de alimentación.

Las opciones que se presentan para los sensores que van ubicados en las posiciones extremas de los ejes esta descrita en el cuadro 5.

Cuadro 5. Cuadro comparativo de sensores de presencia

Tipo	Detección de material	Acople	Blindaje	Costo
Fin de carrera	Cualquier tipo	Difícil	No	Bajo
Inductivo	Metales	Sencillo	Si	Medio
Capacitivo	No metales	sencillo	Si	Medio

Basándose en el cuadro 5, se puede concluir lo siguiente:

- El sensor fin de carrera es una opción válida en cuanto a costo y detección de material se refiere, pero es difícil de acoplar a la estructura.
- El sensor capacitivo no es una opción válida ya que no es capaz de detectar metales.
- Finalmente el sensor inductivo es el más idóneo debido a que está diseñado para detectar metales, lo cual es concordante con la estructura de los elementos móviles. Adicionalmente, se definirá un sensor que sea de tamaño reducido y posea un blindaje para evitar la detección de metales en los alrededores del mismo, en cuanto a la conexión se seleccionará un sensor que sea de configuración PNP por su sencilla conexión.

En cuanto al sensor de posición se refiere, se buscará un sensor que sea compatible con los módulos de contadores rápidos incluidos en el PLC, para lo cual se determinó un sensor con las siguientes características:

- Alimentación de 24V DC
- Sensor de cuadratura incremental
- Configuración NPN
- Deberá poseer eje saliente para acople a través de matrimonio con ejes móviles rotatorios

3.1.3.3.2. Elementos del circuito de sensamiento

Entre los elementos que lo componen, se encuentran los siguientes:

- Sensor Inductivo.- Los sensores inductivos envían una señal de voltaje cuando un metal se aproxima al frente del sensor a una distancia de 5mm o menor, son de tipo blindado, es decir, solo capta al metal cuando está frente al sensor. Su grosor es de 8mm, y funcionan con un voltaje de 24V DC, y se lo puede ver en la figura 51.



Figura 51. Sensor inductivo blindado [Imagen de Propiedad: (Alibaba.com, 2014)]

- Encoder de Cuadratura.- Es un encoder que pertenece a los encoder relativos o incrementales. Se lo utiliza para el control de posición, velocidad y sentido de giro, ya que posee dos sensores ópticos, desfasados 90° y por ende se obtendrán dos señales A y B, y mediante este desfase se puede calcular el sentido de giro. Un ejemplo del encoder de cuadratura utilizado se lo puede ver en la figura 52.



Figura 52. Encoder de cuadratura [Imagen de Propiedad: (Anónimo, Direct Industry, 2014)]

3.1.3.3.3. Actuadores eléctricos

En esta sección se describirán los actuadores seleccionados, basados en las especificaciones descritas en la sección del sistema mecánico de movimiento. Adicionalmente se describirá la herramienta final utilizada.

3.1.3.3.3.1.Servo Motor

El motor que se usó para el movimiento de los ejes X y Y, es un servomotor de gran torque (24.7kg.cm), el cual está adaptado directamente al tornillo sin fin de los respectivos ejes. A este motor se le hizo modificaciones como por ejemplo: retirarle el circuito de control y el desbloqueo a su libertad de rotación, retirando la pestaña que obstaculiza dicho movimiento, por tales motivos pasó a ser utilizado como un motor DC normal aprovechando su caja reductora de gran torque, se puede ver en la figura 53.



Figura 53. Servo motor HS-815BB [Imagen de Propiedad: (Mission Modélisme, 2014)]

3.1.3.3.3.2.Motor DC

Se utilizó un motor DC para el movimiento respectivo al Eje Z, el cual está acoplado directamente al tornillo sin fin de dicho eje. Este motor posee una caja reductora, funciona con un voltaje de 12V DC y tiene un torque de 15Kg.cm. Una representación de este motor se le puede ver en la figura 54.



Figura 54. Motor DC de 12V [Imagen de Propiedad: (Alibaba.com, 2014)]

3.1.3.3.3. Efecto Final

Es el elemento terminal del brazo robótico y existen de dos clases: tipo pinzas y tipo herramientas, esto es acorde a la aplicación con la cual está destinado el proceso con el robot. El robot cartesiano industrial posee un elemento terminal tipo herramienta con el uso de fresado.

Las características del efecto final elegido son: motor DC a 5V, collarín para el montaje de accesorios y la fresa de 2.3mm. La representación del elemento terminal tipo herramienta, con fresado, se la puede ver en la figura 55.

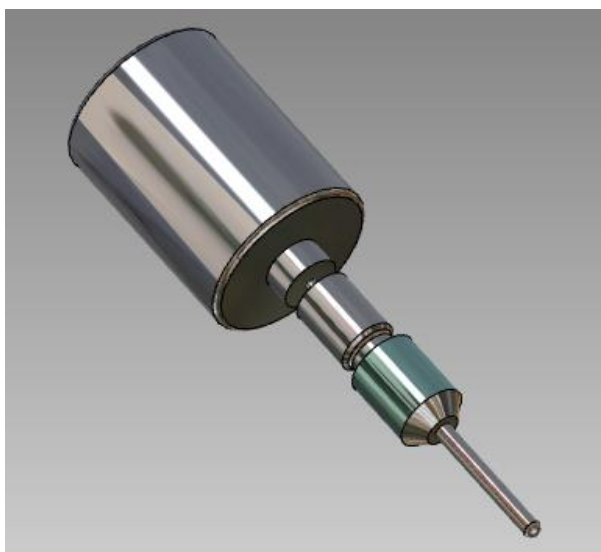


Figura 55. Efecto final tipo taladro de fresado

3.1.3.3.4. Circuito de control principal

Este circuito se compone de dos partes: la primera es un PLC el cual maneja la lógica de programación y la lógica de funcionamiento de la estación; y la segunda, es un circuito auxiliar de control que se encargará de ejecutar cambios de giro en los actuadores descritos en la sección anterior.

3.1.3.3.4.1. Circuito auxiliar de control

El circuito auxiliar de control, es un circuito diseñado con el objetivo de ejecutar cambios de giro en los actuadores de manera segura. La técnica utilizada para este circuito auxiliar es la de generar un puente H, conocido como elemento que puede ejecutar cambios de giro.

3.1.3.3.4.1.1. Funcionamiento del circuito auxiliar de control

El funcionamiento del circuito auxiliar de control se describe de la siguiente manera:

- El cambio de giro es ejecutado por dos salidas discretas de 24V DC provenientes del PLC.
- Una vez activado el giro en un sentido, se enclavará uno de los relés que posee cada puente H diseñado, evitando que el otro relé que forma parte del puente H se active.
- Efectuar un cambio de giro en los actuadores será posible si ambos relés que componen el circuito, previamente se encuentran desenergizados.

El diagrama de conexiones del circuito auxiliar de control se muestra a continuación en la figura 56.

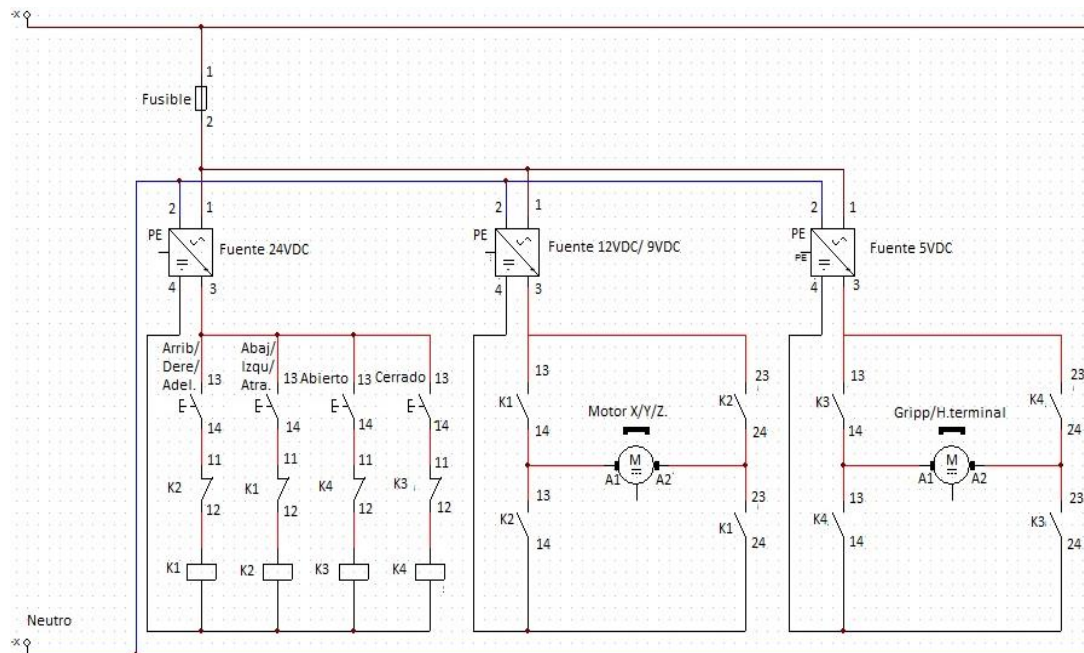


Figura 56. Diagrama de conexiones del circuito auxiliar de control

3.1.3.3.4.1.2. Elementos del circuito de control auxiliar

En esta sección se describen todos los elementos que componen el circuito de control auxiliar de la estación robótica cartesiana.

- Relé de Un Polo.- Se utilizan dos de este tipo de relés, y permiten la activación del contador rápido de los dos módulos ZAE 201 independientemente. Se puede ver una representación de este tipo de relé en la figura 57.

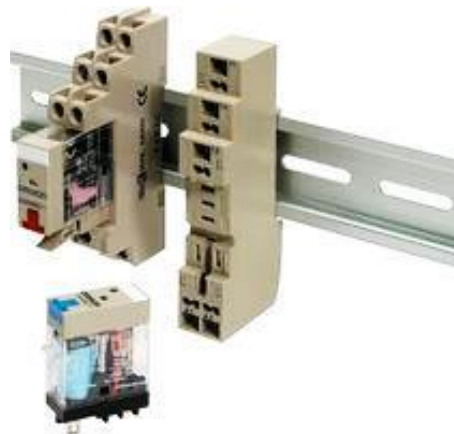


Figura 57. Relé de un polo [Imagen de Propiedad: (Newark, 2012)]

- Relé de Tres Polos.- Utilizados en los motores de los Ejes X y Y, se utilizan dos relés de este tipo por cada eje, con el fin de realizar un puente H de conmutación para generar un cambio de giro en los motores de dichos ejes. A este relé usado se lo puede ver en la figura 58.



Figura 58. Relé de tres polos [Imagen de Propiedad: (Octopart, 2014)]

- Relé de Cuatro Polos.- Se los utilizó para el control de giro de los motores relacionados al Eje X Y Z y al motor del Gripper o Herramienta terminal, empleando dos relés por cada motor o actuador para el funcionamiento del puente H. Se puede ver este relé en la figura 59.



Figura 59. Relé de cuatro polos [Imagen de Propiedad: (Alibaba.com, 2014)]

3.1.3.3.4.2. PLC

En esta sección se describirá el controlador lógico programable utilizado, además de una descripción de las conexiones de los distintos módulos necesarios para la estación robótica cartesiana, junto con un dimensionamiento de entradas y salidas.

3.1.3.3.4.2.1. Descripción del PLC

El Controlador Lógico Programable (PLC) es usado como el cerebro de toda la estructura robótica, ya que mediante él, se pueden realizar las diversas acciones de monitoreo y control del robot cartesiano. En el PLC se grava un programa acorde a las acciones que deberá realizar el robot cartesiano, haciendo referencia a los sensores, pulsadores y a las luces piloto.

El PLC utilizado es de la marca Schneider Electric, el modelo es un Modicon Compact, de la serie A984-1X0, funciona con un voltaje de 24V DC, su conexión con la PC es mediante un cable serial DB9. Se lo puede apreciar el CPU de este PLC en la figura 60.

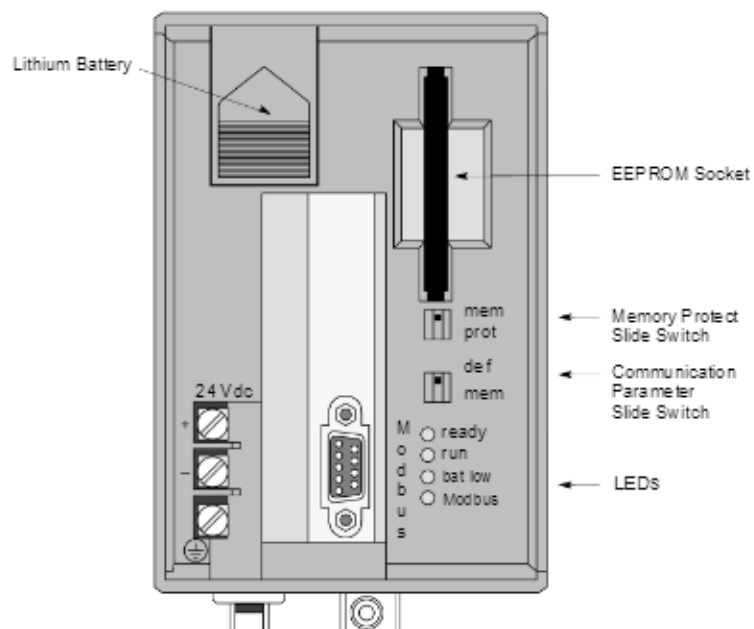


Figura 60. PLC Modicon Compact A984 [Imagen de Propiedad: (AUTOMATION, 2006)]

Este PLC cuenta con varios módulos de entradas y salidas de tipo desmontable, cada uno opera bajo condiciones únicas como por ejemplo, un módulo de entradas de tipo digital o analógico. Los Módulos empleados fueron:

- DEP 216.- Es un módulo de entradas digitales de veinte y dos pines para su conexión, el cual se sitúa en la ranura de módulos del PLC Modicon Compact, y funciona con una tensión de 24V DC. Se lo puede apreciar en la figura 61.



Figura 61. Módulo DEP 216 [Imagen de Propiedad: (ebay, 2013)]

- ZAE 201.- Es un módulo de características especiales que posee el PLC Modicon Compact, y se lo puede ver en la figura 62, el cual es capaz de ejecutar acciones como:
 - Posicionador.- Mediante un encoder de cuadratura controla la posición, pudiendo entre una de sus opciones, controlar el cambio de velocidad de mayor a menor si el conteo ya se aproxima a su destino.

- Contador Rápido.- Al tener grandes velocidades o al ser un encoder con un gran número agujeros, su conteo con un módulo normal permite que el conteo se altere. Este módulo en esta configuración permite contar cada pulso que se genera en el encoder, por más huecos que tenga y la revolución a que el motor gire.



Figura 62. Módulo ZAE 201 [Imagen de Propiedad: (Classic Automation, 2012)]

- DAP 216.- En este módulo se puede controlar las salidas de tipo digital, funciona con una tensión de 24V DC, posee veinte y dos pines de conexión y se lo puede ver en la figura 63.



Figura 63. Módulo DAP 216 [Imagen de Propiedad: (Classic Automation, 2012)]

- DAP 212.- Con este módulo es posible controlar salidas con activación por relé, esto se utiliza cuando se desea suministrar diferentes voltajes a un determinado actuador, en este caso se lo usará para el control de dos voltajes: de 5V y 12 V en DC, con esto se puede controlar la velocidad de los motores de los ejes XY del robot cartesiano. Se puede observar este módulo en la figura 64.



Figura 64. Módulo DAP 212 [Imagen de Propiedad: (ebay, 2013)]

3.1.3.3.4.2.2. Cuantificación de entradas y salidas del PLC

Para el dimensionamiento de entradas y salidas utilizadas en el PLC se tomó en cuenta la tabla 3 indicada a continuación:

Tabla 3. Cuantificación de entradas y salidas del sistema de entrenamiento cartesiano

Elemento	Tipo Entrada/Salida	N° Entradas	N° Salidas
Motor Eje X (giro)	digital	0	2
Motor Eje Y (giro)	digital	0	2
Motor Eje Z (giro)	digital	0	2
Cambio velocidad Eje X	digital / relé	0	2
Cambio velocidad Eje Y	digital / relé	0	2
Herramienta final (giro)	digital	0	2
Sensor inductivo atrás	digital	1	0
Sensor inductivo adelante	digital	1	0
Sensor inductivo izquierda	digital	1	0
Sensor inductivo derecha	digital	1	0
Sensor inductivo arriba	digital	1	0
Sensor inductivo abajo	digital	1	0
Activación ZAE 201 Eje X	digital	0	1
Activación ZAE 201 Eje Y	digital	0	1
Luz piloto emergencia	digital	0	1
Parada de emergencia	digital	1	0

Por lo indicado en la tabla 3, se puede verificar que hay siete entradas de tipo digital, cuatro salidas de tipo relé, y once salidas de tipo digital, por lo tanto no son necesarios módulos analógicos, y debido a la capacidad de cada uno de los módulos de poseer dieciséis entradas o salidas, se emplearán los siguientes módulos:

- ZAE 201, debido a que existen dos ejes controlados
- 1 DAP 216, de dieciséis salidas digitales
- 1 DEP 216, de dieciséis entradas digitales
- 1 DAP 212, de cuatro salidas de relé y de ocho entradas digitales

3.1.3.3.4.2.3. Resumen de conexiones de los módulos del PLC

A continuación en la Tabla 4, se puede observar la distribución de las conexiones realizadas en el módulo DEP 216, referente a los elementos conectados.

Tabla 4. Conexiones del Módulo DEP 216

N° de Bornera	Asignación
1	Alimentación positiva
2	---
3	Sensor Inductivo Superior del Eje Z
4	Sensor Inductivo Izquierdo del Eje Y
5	Sensor Inductivo Posterior del Eje X
6	Sensor Inductivo Derecho del Eje Y
7	Sensor Inductivo Inferior del Eje Z
8	Sensor Inductivo Frontal del Eje X
9	Parada de Emergencia
10	---
11	Conexión a Común
12	Alimentación Positiva
13	---
14	Relé de Activación 1de ZAE Y
15	Relé de Activación 2de ZAE Y
16	Relé de Activación 1de ZAE X
17	Relé de Activación 2de ZAE Y
18	---
19	---
20	---
21	---
22	Conexión a Común

En la Tabla 5 se puede observar las conexiones realizadas al módulo ZAE 201 con la descripción del elemento conectado al mismo.

Tabla 5. Conexiones del Módulo ZAE 201

N° de Bornera	Asignación
1	Alimentación Positiva Encoder
2	Alimentación Positiva Encoder
3	Salida A de Encoder
4	---
5	Salida B de Encoder
6	---
7	Señal de Salida de Referencia Zero Encoder
8	---
9	---
10	Conexión a Común Encoder
11	Conexión a Común Encoder
12	Alimentación Positiva
13	Relé de Inicio de Cuenta
14	Relé de Inicio de Cuenta
15	---
16	Relé de Control 1 (No Conectado)
17	Relé de Control 1 (No Conectado)
18	Relé de Control 2 (No Conectado)
19	Relé de Control 2 (No Conectado)
20	---
21	Conexión a Común
22	Conexión a Común

En la tabla 6, se puede ver las diferentes conexiones que tiene realizado el módulo DAP 216 en sus pines, haciendo referencia a su asignación.

Tabla 6. Conexiones del Módulo DAP 216

N° de Bornera	Asignación
1	Alimentación Positiva
2	---
3	Cerrar Gripper
4	Abrir Gripper
5	Mover Eje Z hacia Arriba
6	Mover Eje Z hacia Abajo
7	Luz Parada de Emergencia
8	Mover Eje Y hacia Derecha
9	Mover Eje Y hacia Izquierda
10	---
11	Conexión a Común
12	Alimentación Positiva
13	---
14	Mover Eje X hacia Atrás
15	Mover Eje X hacia Adelante
16	Relé de Inicio de Conteo ZAE Eje Y
17	Relé de Inicio de Conteo ZAE Eje X
18	---
19	---
20	---
21	---
22	Conexión a Común

En la siguiente tabla, la número 7, se puede observar las conexiones realizadas en el módulo DAP y su asignación respectiva.

Tabla 7. Conexiones en el Módulo DAP 212

N° de Bornera	Asignación
1	Alimentación Positiva
2	--
3	Alimentación 12V DC
4	Velocidad Alta Eje X
5	Alimentación 7.1V DC
6	Velocidad Baja Eje X
7	Alimentación 12V DC
8	Velocidad Alta Eje Y
9	Alimentación 7.1V DC
10	Velocidad Baja Eje Y
11	Conexión a Común
12	Alimentación Positiva
13	--
14	--
15	--
16	--
17	--
18	--
19	--
20	--
21	--
22	Conexión a Común

3.1.4. Estructura robótica cartesiana final

La estructura mecánica que conforma el robot cartesiano industrial, fue analizada minuciosamente en términos como por ejemplo: estabilidad, robustez, precisión.

El primer punto de análisis fue la estabilidad del brazo robótico, perteneciente a los Ejes XY, pero principalmente en el Eje Z, ya que este eje es el más susceptible a inestabilidad. Por tal motivo se decidió hacer una especie de jaula, con unas vigas como guías en los extremos, sobre las cuales se posará el robot en sí, y sobre el cual rodará.

La estructura está hecha de hierro, sus columnas y vigas, son de 40x40mm, por ende, es una estructura sólida y estable.

La parte del desplazamiento es mediante tornillos sin fin, los cuales mediante su giro, permiten que se muevan los ejes X, Y y Z. El desplazamiento que genera el tornillo sin fin utilizado es de 2mm en cada revolución, en donde se puede dar cuenta la capacidad que poseerá el robot para desplazarse milimétricamente.

Toda la estructura del esqueleto del robot cartesiano está sometida a un baño de pintura electrostática en polvo, y sus colores varían acorde a la función que desempeñan, esto es como normativa de seguridad internacional a los procesos industriales, y se las indica en el cuadro 6.

Cuadro 6. Normas de colores empleadas en la estructura robótica cartesiana.

Color	Uso
Crema	Estructuras metálicas fijas o el esqueleto de estructuras más complejas.
Azul	Partes móviles, indicando advertencia o precaución con su movimiento.

Las columnas y vigas de la estructura robótica son huecas, y es mediante ellas que pasa el cableado de toda la parte eléctrica referente a sensores y actuadores. En la figura 65, se puede observar el diseño de la estructura superior del robot cartesiano, con sus principales vistas distribuidas de la siguiente forma:

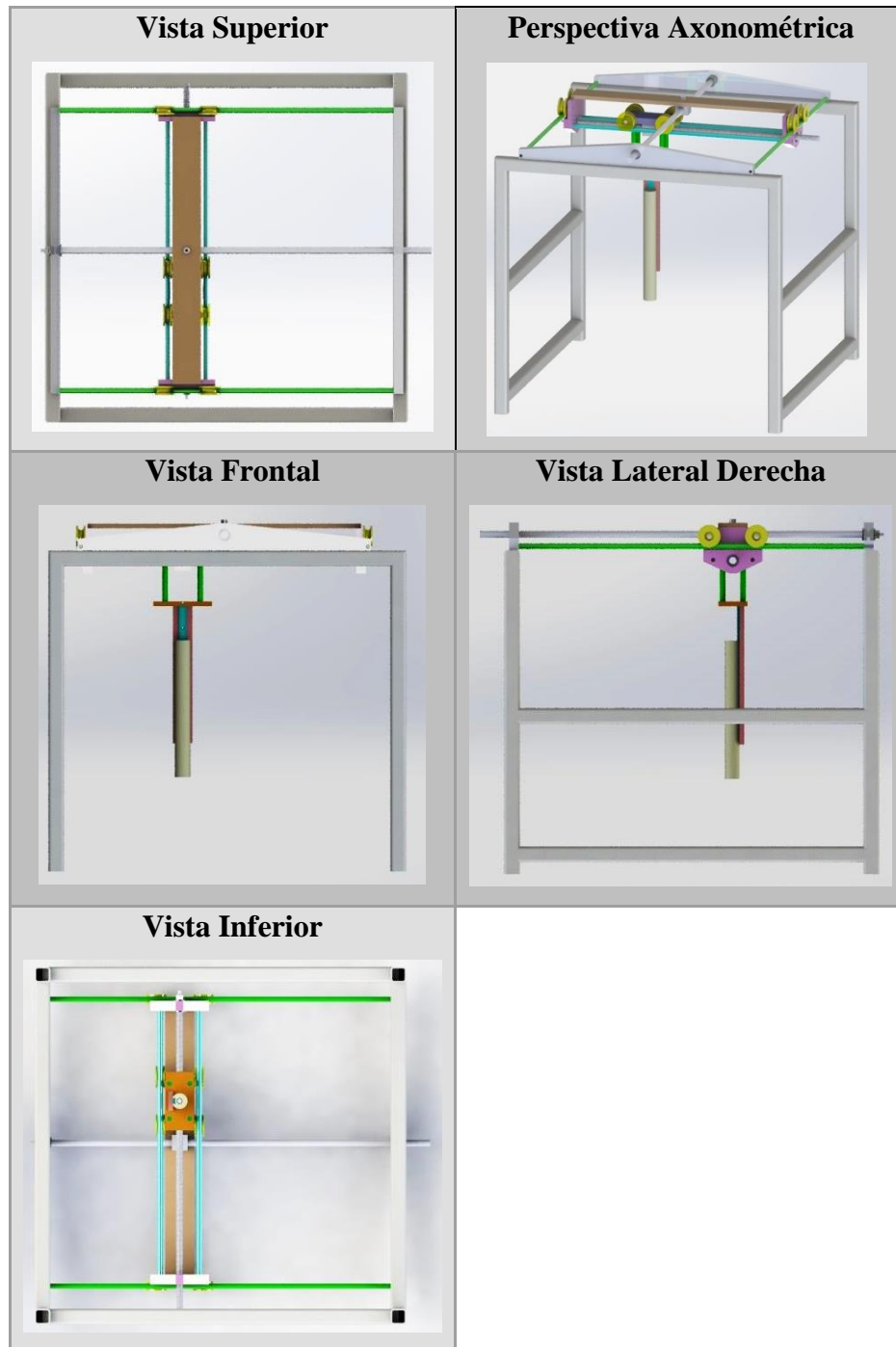


Figura 65. Vistas de la parte superior del robot cartesiano

Finalmente la estructura robótica cartesiana industrial, en su ensamblaje total consta de una parte de desacople, por ende son una parte superior y otra inferior.

La estructura completa real y sus vistas básicas mediante software se las puede ver en la figura 66.



Figura 66. Vistas de la estructura robótica cartesiana finalizada

3.2. SOFTWARE

Al hablar del software utilizado para el control de la estación de robótica cartesiana, se están mencionando varios softwares que permiten que se realice esta función, por ende, se van a ir explicando paso a paso el proceso que lleva controlar la estación robótica desde una PC.

Un modelo general que relaciona el control y visualización del robot cartesiano desde una PC, pasando por las conexiones al PLC, se pueden observar en la figura 67.

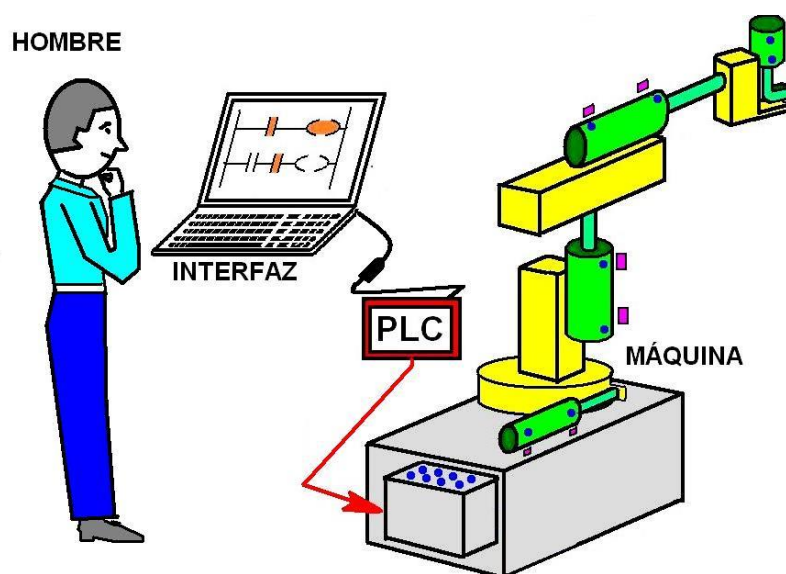


Figura 67. Modelo referente al control Hombre - Máquina [Imagen de Propiedad: (coparoman, 2014)]

3.2.1. Comunicación

3.2.1.1. PC-PLC

Esta comunicación es física y se la realiza mediante el protocolo de comunicación Modbus Serial, mediante un cable serial RS-232, con el cual se realiza la programación al PLC y mantiene la comunicación en tiempo real del PLC a la PC y su respectivo HMI.

3.2.1.2.PC-HMI

En este punto se necesita enlazar los programas del PLC con el programa del HMI, para esto es necesario un enlace virtual mediante software. Uno de los softwares que existen para esta comunicación es el software “Wonderware I/O Server for Modicon MODBUS” el cual permite el enlace entre la interfaz de programación del PLC con la interfaz de visualización y control del HMI, bajo los requerimientos requeridos, como la marca del PLC, y el programa utilizado para realizar el HMI. El ícono referente al programa descrito se lo puede apreciar en la figura 68.



Figura 68. Ícono de Wonderware I/O Server for Modicon MODBUS [Imagen de Propiedad: (Modicon MODBUS Serial IO Server 7.5 (7.5.0.7), 2010)]

3.2.2. Software de Control y Monitoreo

En este punto se analizarán los programas utilizados en la programación, tanto del PLC como para el HMI.

3.2.2.1.PLC

Para la programación del PLC Modicon con el cual contamos, es necesario el programa de la misma compañía. El software usado es el ProWorx NxT, y su ícono se lo puede ver en la figura 69.



Figura 69. Ícono del programa ProWorx NxT [Imagen de Propiedad: (Royal Wholesale Electric, 2012)]

ProWorx NxT es un programa de la marca Schneider Electric para PLC's Modicon. Este software posee una versión gratuita de prueba, la cual permite trabajar hasta con 25 networks, donde cada network posee 7 líneas de código para utilizar, y es mediante la cual se trabajó. La programación en este software se la realiza en Ladder, que es una programación denominada escalera, es un lenguaje de programación gráfico.

3.2.2.2.HMI

El software utilizado para la creación del HMI es InTouch, de la marca Wonderware. Este software es uno de los más utilizados a nivel mundial, por su versatilidad y manejo de interfaces y tags; posee una gran cantidad de íconos a usar, botones, fondos etc. Su logotipo se lo puede apreciar en la figura 70.



Figura 70. Logotipo de InTouch de Wonderware [Imagen de Propiedad: (Wonderware, 2010)]

La versión que se utiliza de InTouch es la V10.0, donde pese a sus grandes virtudes, posee un punto en contra, referente al tiempo real de comunicación, ya que existe un ligero retardo en las comunicaciones, dado por diversas razones como protocolo de comunicación, procesador, el software en sí, etc.

3.2.2.3. Visualización de datos

Para la visualización de datos y su administración se usa el software de cálculo Excel, mediante éste se obtienen datos desde InTouch, mediante su configuración previa, con el fin de generar gráficas en relación al desplazamiento que efectúan los brazos de los Ejes XY, y de igual manera se van graficando en un plano coordenado (X,Y). En la figura 71, se puede observar en base a los puntos obtenidos por el desplazamiento del robot, como se va generando la trayectoria de manera más precisa.

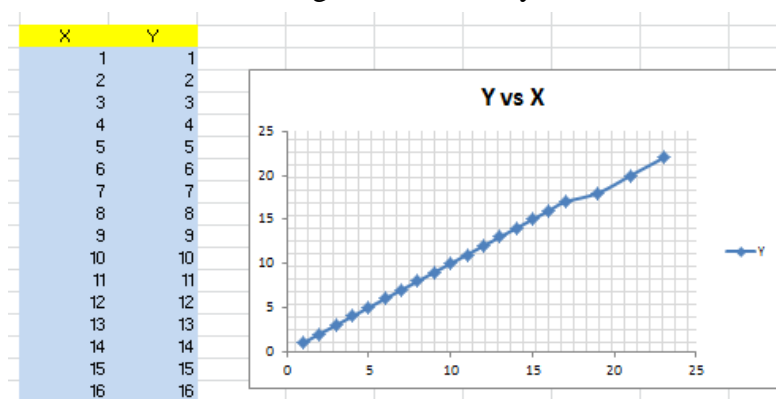


Figura 71. Utilización de Excel para la visualización de trayectorias

3.2.3. Programación

3.2.3.1. Diseño de la interfaz HMI

Para la implementación de software de la estación de entrenamiento robótica cartesiana se tomó en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Una interfaz amigable con el operador que le permite desenvolverse de manera correcta.
2. Un menú que incluye cinco practicas las cuales son:
 - Manejo manual de la estación.
 - Movimiento del robot cartesiano en el eje XY punto a punto.
 - Movimiento del robot cartesiano en el eje XY punto a punto con puntos intermedios.

- Movimiento del robot cartesiano en el eje XY punto a punto con trayectoria rectilínea.
- Ejemplo de aplicación robótica.
- Menú de ayuda contenido dentro de cada una de las prácticas.
- Visualización de trayectorias generadas por los desplazamientos del manipulador cartesiano.
- Animaciones que permitan verificar el estado de la estación.
- Una parada de emergencia general, la que permita detener las acciones o tareas asignadas a la estación.

3.2.3.1.1. Desarrollo de la interfaz HMI

Para cumplir con los requerimientos del interfaz humano máquina previamente expuesta se procedió a diseñar la lógica de funcionamiento de las interfaces HMI de la siguiente manera:

- Con el objetivo de realizar interfaces seguras y amigables con el usuario se emplearon activaciones que eviten el salir repentinamente de la interfaz para poder activar cierto requerimiento previo como el caso de los graficadores desarrollados en el programa Microsoft Excel que poseen activaciones propias dentro de las interfaces.
- Otra facilidad que posee el sistema para el desarrollo de las prácticas previamente planteadas son los menús de ayuda que se encuentran dentro de la interfaz, estos brindan una breve introducción de cómo realizar las prácticas propuestas y que requerimientos son necesarios previos a la operación de la estación.
- Las interfaces poseen bloqueos que evitan que el operador pueda abandonar repentinamente el sistema sin que el sistema haya terminado con las tareas o procesos iniciados.

- El usuario solo podrá abandonar el sistema siempre y cuando el manipulador robótico cartesiano se encuentre en su posición inicial o posición denominada como posición Home.
- El sistema posee 5 prácticas a ser desarrolladas por el operador dentro de las cuales se encuentran:

a. Manejo manual de la estación

Práctica diseñada para la operación de cada uno de los actuadores existentes dentro de la estación, en esta el operador se relaciona de manera directa con los actuadores mediante pulsadores los cuales varían según la utilidad que tengan.

Los pulsadores utilizados para la activación o desactivación de los movimientos del manipulador robótico cartesiano son pulsadores que necesitan estar presionados para realizar acciones sobre los actuadores, mientras que los pulsadores para activación de paradas de emergencia, herramienta terminal y velocidades son pulsadores con enclavamiento. La figura 72, indica la pantalla HMI referente a la práctica 1.

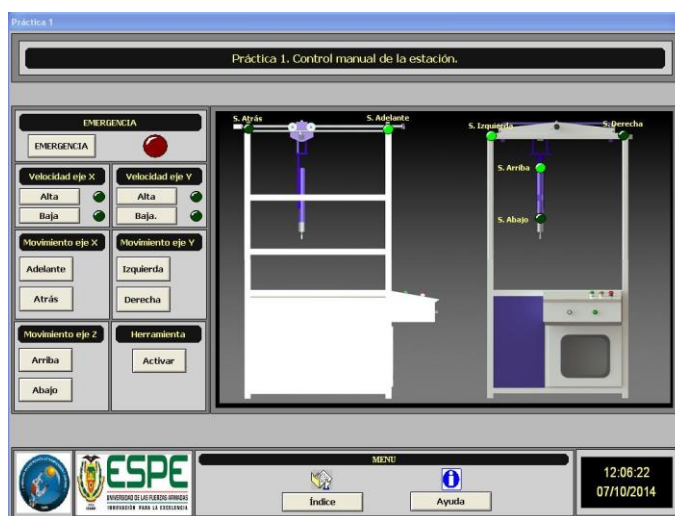


Figura 72. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 1

b. Movimiento del robot cartesiano en el eje XY punto a punto

Esta práctica fue diseñada con el objetivo que el operador analice el movimiento o comportamiento que tienen los ejes XY al desplazarse de un punto a otro es por este motivo que esta práctica contiene un graficador de trayectorias en Microsoft Excel en donde se puede visualizar el desplazamiento que va a trazar el manipulador robótico cartesiano al ejecutar un movimiento.

Las activaciones o pulsadores que posee esta práctica necesitan estar presionados para enviar una señal de activación. Adicionalmente contiene pulsadores que movilizan hacia el programa Microsoft Excel y otros que permiten la movilización del manipulador robótico cartesiano hacia Home. La figura 73, hace referencia a la pantalla HMI de la práctica 2.



Figura 73. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 2.

c. Movimiento del robot cartesiano en el eje XY punto a punto con puntos intermedios

Esta práctica fue diseñada para que el operador puede desplazar el manipulador robótico cartesiano de un punto inicial a otro final, pero realizando desplazamientos previos de puntos intermedios entre la

trayectoria, esto debido a que el desplazamiento del manipulador robótico cartesiano se puede ver interrumpido por obstáculos que impedirían que el manipulador robótico cartesiano llegue a la posición final.

Al igual que la práctica anterior esta posee un graficador en Microsoft Excel que permite verificar la trayectoria en la que se desplazan los ejes del manipulador robótico cartesiano.

Las activaciones o pulsadores que posee esta práctica necesitan estar presionados para enviar una señal de activación. La figura 74 indica una captura de pantalla de la HMI referente a la práctica 3.

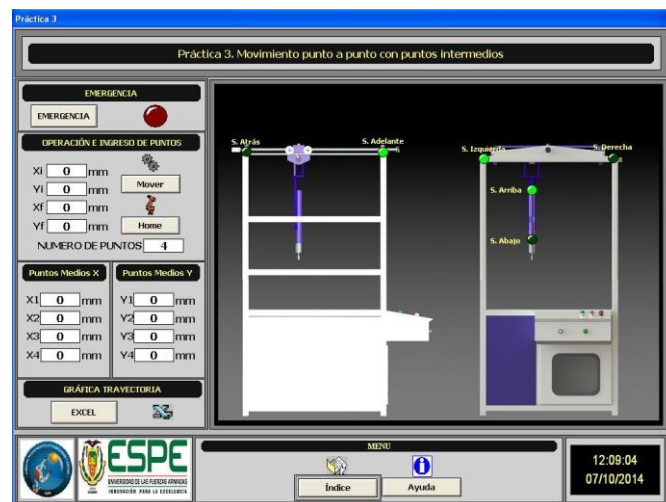


Figura 74. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 3.

d. Movimiento del robot cartesiano en el eje XY punto a punto con trayectoria rectilínea

Esta práctica permite que el operador pueda desplazar el manipulador robótico cartesiano de un punto inicial a otro final, pero con una trayectoria forzada por el sistema, la cual es una trayectoria del tipo rectilínea, esto debido a que en ciertas aplicaciones como por ejemplo un cordón de soldadura dependen netamente de la trayectoria.

Al igual que las prácticas anteriores esta contiene un graficador de trayectorias en Excel que permite que el operador pueda visualizar y realizar un análisis del desplazamiento del manipulador robótico cartesiano.

Las activaciones o pulsadores que posee esta práctica necesitan estar presionados para poder ejercer una acción o enviar una señal de control. También contiene dos activaciones las que permiten acceder a la aplicación Microsoft Excel mientras que la otra permite movilizar al manipulador robótico cartesiano hacia la posición Home. La figura 75 indica la captura de pantalla de la HMI referente a la práctica 4.

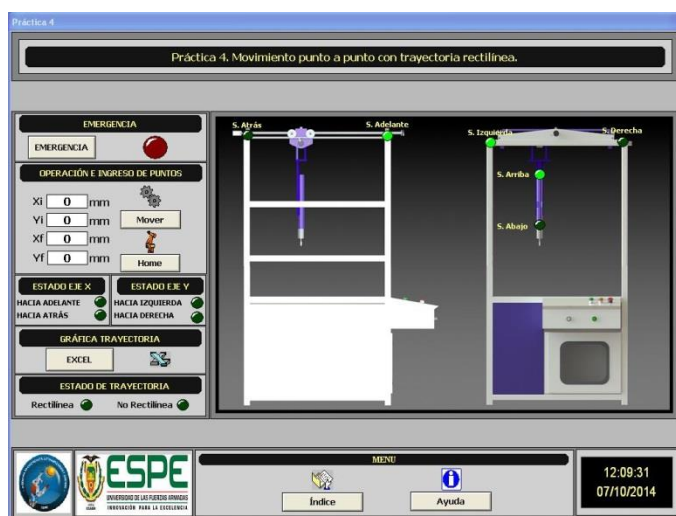


Figura 75. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 4.

e. Ejemplo de aplicación robótica

La práctica final que se puede realizar con el manipulador robótico cartesiano es la de una aplicación robótica industrial donde la estación realizar un proceso industrial ejemplar que permite ver una aplicación real.

Los activadores o pulsadores de la estación necesitan estar activados para poder ejercer una acción. En esta práctica solo se permite realizar una aplicación

robótica al tiempo. Una vez terminada la práctica el operador deberá regresar al sistema a Home ya sea para ingresar a otras prácticas o para realizar de nuevo la misma práctica. La figura 76 hace referencia a la captura de pantalla de la HMI referente a la práctica 5.



Figura 76. Captura de la pantalla HMI referente a la práctica 5.

Los graficadores de Microsoft Excel necesarios para cada una de las prácticas reciben un número de datos variables por parte de la interfaz HMI, el número de datos dependen del desplazamiento del manipulador robótico cartesiano a mayor desplazamiento o cantidad de desplazamientos del manipulador mayor serán el número de datos a graficar. Los datos de desplazamiento son tomados en tiempo real mediante un muestreo de 7 milisegundos aproximadamente. Debido a la variación del número de datos por desplazamiento las gráficas se vuelven gráficas de rango variable las cuales se actualizan en tiempo real.

3.2.3.2. Diseño del programa en el PLC

Para la implementación del programa del PLC se tomó en cuenta los siguientes requerimientos:

- Un programa que realice el control de posición de los ejes XY mediante un contador rápido (ZAE 201), y encoders de tipo incremental.
- Un control de errores de desplazamiento por parte de los ejes XY.
- Un control de velocidad de dos valores (velocidad alta y baja) para generación de trayectorias rectilíneas mediante simulación de control de velocidad por control rampa.
- Rutinas que permitan el control individual mediante activaciones de cada uno de los actuadores de la estación.
- Activaciones de estado de emergencia tanto físicas como de software.

3.2.3.2.1. Desarrollo de la lógica de programación para el PLC

Para cumplir con las especificaciones previamente expuestas se procedió a programar la lógica que rige el comportamiento del controlador lógico programable en el desempeño de la estación, para lo cual se resolvieron así las exigencias para el funcionamiento:

a. Control de posición de los ejes XY mediante un contador rápido (ZAE 201) y encoders de tipo incremental.

Resolviendo la necesidad de realizar un control de posición tanto para el eje X como para el eje Y de la estación de entrenamiento cartesiano, se utilizó un contador de alta velocidad propio del controlador lógico programable el cual permite realizar un conteo de pulsos a altas velocidades, pulsos que son emitidos por parte de los encoders incrementales ubicados en los ejes X y eje Y de la estación.

Los módulos de conteo de alta velocidad entregan datos del conteo de pulsos en valores enteros que se almacenan en dos registros de salida de datos del tipo 30000, estos registros tienen la capacidad solo de almacenar conteos de hasta 65535 pulsos, por tanto una vez que se realizaba el movimiento el registro menos significativo se cargaba con valores de hasta 65535 pulsos, una vez superado este valor el registro más significativo aumenta en una unidad.

Debido a la manera en la que se entrega el número de pulsos, se implementó una lógica que transforma estos datos en valores enteros donde se expresa el número total de pulsos en dos registros de retención de datos del tipo 40000, donde en el registro menos significativo se guardan valores desde 0 a 9999 pulsos, y el registro más significativo se utiliza para cuando haya un desbordamiento de 9999 pulsos incrementando en una unidad cada vez que el número de pulsos supere los 9999 pulsos.

Para poder realizar el control de posición de los ejes XY se especificaron ciertas condiciones que permitieron definir la acción a tomar dependiendo del valor de seteo de posición que desee ingresar el operador para ambos ejes, estas condiciones son las siguientes:

– **Condición de seteo mínima**

Esta condición se define así debido a que el operador ingresa la posición mínima o nula tanto en el eje X como en el eje Y, esta posición es cuando ambos ejes se setean en $x = 0 \text{ mm}$ y $y = 0 \text{ mm}$.

– **Condición de seteo media**

Esta condición se define así debido a que el operador ingresa una posición que se encuentra entre los límites de desplazamiento de la estación, es decir la posición del eje Y es mayor a 0 mm y menor a 440 mm, y para el eje X es mayor a 0 mm y menor a 705 mm.

– **Condición de seteo máxima**

Esta condición al igual que la condición de seteo mínima se define así, debido a que la posición que ingresa el operador es la máxima para los ejes XY, esta condición para el eje x se da cuando el valor de seteo es 705 mm y para Y cuando el valor de seteo es de 440 mm.

Estas condiciones son de importancia ya que el sistema va a actuar de distinta manera dependiendo de en qué posición este se encuentre seteado siendo así que para la condición de seteo mínima el sistema se movilizca a velocidad alta hasta llegar a los sensores de presencia donde se encuentra definida la posición mínima.

Para la condición máxima el sistema actuará de igual manera que para la condición mínima sino que este se movilizará hasta llegar a la posición máxima de la estación definido por los sensores de presencia ubicados en los extremos.

Finalmente para la condición de seteo media el sistema realizará los cálculos de valores de desplazamiento en pulsos partiendo de una posición inicial y una posición final de los ejes XY, este valor de desplazamiento se obtiene mediante la diferencia de la posición inicial de los ejes y la posición seteada o posición final.

El signo proporcionado de la diferencia de la posición inicial y la posición seteada, proporciona la dirección de movimiento del sistema, siendo así que si el resultado de la resta es negativo el movimiento para el eje X será hacia adelante, y para el eje Y el movimiento será hacia la izquierda, mientras que el movimiento hacia atrás del eje X será generado por un signo positivo en la diferencia de posiciones, y el movimiento hacia la derecha del eje Y también será generado por un signo positivo en la diferencia de las posiciones del eje Y. Si los resultados de la diferencia de posiciones equivalen a cero quiere decir que los ejes se mantendrán en la posición inicial donde se encontraban actualmente y por tanto no se moverán de donde se encuentran ubicados manteniendo su posición, esto se define como condición nula de movimiento.

En una condición seteo media no nula el sistema procederá a desplazarse con los sentidos definidos previamente por los signos del desplazamiento de los ejes.

El desplazamiento se lo realizará restando los datos de conteo procesados obtenidos previamente de la rutina de procesamiento de datos del ZAE 201 del desplazamiento obtenido de la diferencia de posiciones, una vez que esta diferencia se vuelve cero el sistema se detiene mientras tanto el sistema continuará con el desplazamiento en una posición definida.

b. Control de errores de desplazamiento por parte de los ejes XY

Debido a la generación de errores por el fenómeno de inercia de los motores de los ejes XY, se determinó un control de errores mediante un offset al desplazamiento obtenido en la rutina de control de posición de los ejes XY. Para esto se tomó en cuenta varias pruebas en las cuales se determinó un valor de offset del sistema, este offset se lo aplicará bajo ciertas condiciones:

- Si el valor de desplazamiento es menor a 10 mm o es un desplazamiento nulo el offset no se aplicará, debido a que el error debido a la inercia de los motores es muy alto por la distancia de frenado de los motores es muy corta.
- Si el valor de desplazamiento es igual o mayor a 10 mm se aplicará el offset, debido a que la distancia de frenado de los motores es mayor por tanto es más fácil de controlar el corte de velocidad de los motores.

El valor de offset se aplica restando al valor de desplazamiento de la posición inicial y la posición final, con esto los ejes se desplazan con una menor distancia y la distancia disminuida por el offset será la distancia generada por el efecto de inercia de los motores de los ejes completando así el desplazamiento necesario para la ubicación en una posición definida.

c. Control de velocidad para generación de trayectorias rectilíneas mediante simulación de control de velocidad por control rampa

El control de velocidad de tipo rampa permite disminuir el efecto de inercia en los motores ya que mediante una energización la velocidad incrementa de manera progresiva hasta mantenerse en la velocidad deseada y cuando esta está próxima a llegar al objetivo deseado empieza a decrementarse secuencialmente la velocidad disminuyendo el efecto de inercia de los motores y obteniendo un frenado más óptimo.

Adicionalmente este tipo de control permite la generación de distintos tipos de trayectorias al hacerlo en dos ejes de desplazamiento. En la figura 77 se verifica la señal de operación de un control rampa para motores.

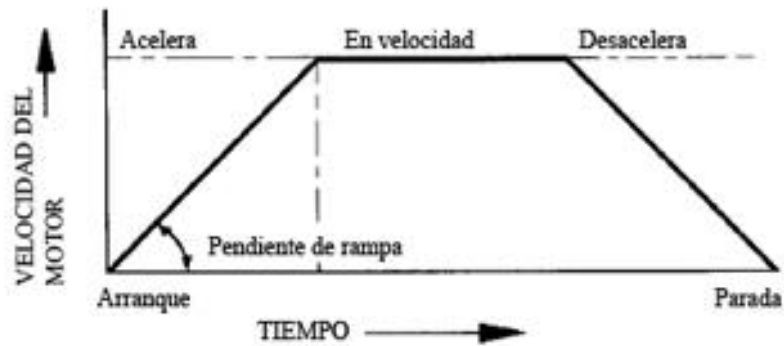


Figura 77. Control de velocidad en la generación de trayectorias rectilíneas [Imagen de Propiedad: (Tecnoficio, 2012)]

Para poder realizar un control de tipo rampa para velocidad de motores se necesita de fuentes variables que soporten altas cantidades de corrientes para la operación de los motores, o a su vez de salidas rápidas que permitan generar señales PWM para variar velocidad.

Al no contar con las opciones descritas anteriormente se diseñó una rutina que permite realizar una simulación de una señal rampa para control de velocidad de los motores mediante dos velocidades baja y alta, quedando así simulado el control de velocidad por rampa mostrado en la figura 78.

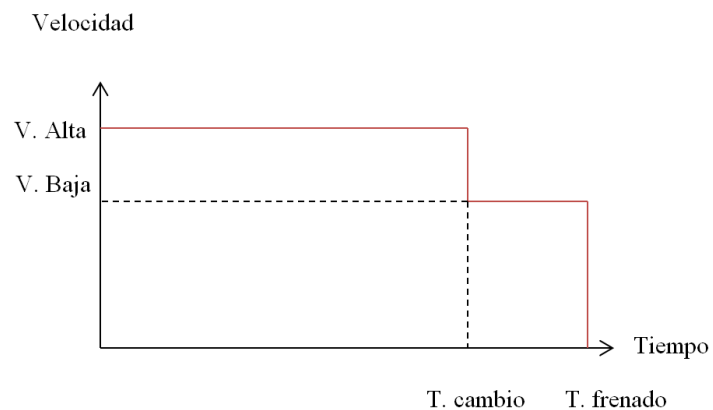


Figura 78. Control escalonado de velocidad utilizado

Previo a generar la señal de control de rampa se procedió a realizar los cálculos de velocidades para los ejes XY los cuales se realizaron distintas mediciones que se encuentran en la tabla 8 y la tabla 9.

Tabla 8. Tabla de velocidades en alimentación Baja

Tabla de velocidades para alimentación Baja.					
Análisis En Eje X			Análisis En Eje Y		
Voltaje	7.1 volts		Voltaje	7.1 volts	
Tiempo(S)	Distancia (mm)	Velocidad (mm/s)	Tiempo(s)	Distancia (mm)	Velocidad (mm/s)
10	20	2	10	24	2,4
20	39	1,95	20	49	2,45
30	59	1,96	30	73	2,43
40	79	1,97	40	98	2,45
50	103	2,06	50	124	2,48
60	126	2,1	60	150	2,5
70	149	2,12	70	177	2,52
80	174	2,17	80	204	2,55
90	196	2,17	90	232	2,57
100	224	2,24	100	259	2,59
110	250	2,27	110	285	2,59
120	273	2,27	120	303	2,52
130	294	2,26	130	340	2,61
140	318	2,27	140	368	2,62
150	341	2,27	150	395	2,63
160	366	2,28	160	421	2,63
Velocidad Promedio		2,15	Velocidad Promedio		2,53

Tabla 9. Tabla de velocidades en alimentación Alta

Tabla de velocidades para alimentación alta.					
Análisis En Eje X			Análisis En Eje Y		
Voltaje		12 volts	Voltaje		12 volts
Tiempo(S)	Distancia (mm)	Velocidad (mm/s)	Tiempo(s)	Distancia (mm)	Velocidad (mm/s)
10	32	3,2	10	41	4,1
20	65	3,25	20	82	4,1
30	96	3,2	30	120	4
40	130	3,25	40	161	4,02
50	165	3,3	50	204	4,08
60	201	3,35	60	245	4,08
70	237	3,38	70	289	4,12
80	276	3,45	80	334	4,17
90	309	3,43	90	380	4,22
100	340	3,4	100	424	4,24
Velocidad Promedio		3,32	Velocidad Promedio		4,11

Con las velocidades obtenidas de los experimentos se definió la rutina que permite la simulación de la señal rampa, en donde se procedió a generar una distancia a la cual se va a producir el cambio de la velocidad alta por la velocidad baja.

Entonces si los desplazamientos de los ejes XY del manipulador robótico cartesiano son menores a la distancia a la cual se va a realizar el cambio de velocidad, la velocidad de movimiento será la velocidad alta, mientras que cuando se sobrepase el desplazamiento de cambio de velocidad, esta disminuirá la velocidad hasta cumplirse con el desplazamiento total hacia la posición definida donde finalmente se detendrán los motores.

El cálculo de la distancia de frenado de los motores dependerá de dos condiciones las cuales son:

1. Si el manipulador robótico cartesiano se desplaza de un punto inicial a un punto final con la trayectoria predefinida por su propia cinemática.
2. Si el manipulador robótico cartesiano se desplaza de un punto inicial a un punto final con una trayectoria predefinida.

Para la primera condición la subrutina de control de velocidad utiliza dos distancias predefinidas para el cambio de velocidad. Con estas distancias se realiza una diferencia con la distancia calculada por la rutina de control de posicionamiento de los ejes XY obteniendo así la distancia a la que los ejes deben desplazarse a mayor velocidad.

Mientras que cuando sucede la segunda condición planteada el sistema calculará las distancias mediante un control de velocidad por diferencias de velocidades, en donde se calculan los tiempos que se demoraría el sistema en llegar de una posición a otra tanto para el eje X como para el eje Y.

Una vez obtenidos los tiempos se realiza una comparación para determinar cuál de los dos ejes se demorará menos tiempo en llegar. Posteriormente se obtiene la diferencia de tiempos de los ejes para poder calcular la distancia de cambio de velocidad. La distancia se obtendrá de la siguiente manera:

- Si el eje que va a emplear menos tiempo en desplazarse es el eje X, se calcula la distancia de cambio de velocidad empleando la menor velocidad del eje X, a esta distancia se cambia la velocidad a una

velocidad menor, mientras tanto que el eje Y ejercerá su recorrido a velocidad alta.

- Si el eje que va a emplear menos tiempo en desplazarse es el eje Y, se calcula la distancia de cambio de velocidad empleando la menor velocidad del eje Y, a esta distancia se cambia la velocidad a una velocidad menor, mientras tanto que el eje X ejercerá su recorrido a velocidad alta.
- Si ambos ejes emplean el mismo tiempo en desplazarse hacia una posición predefinida, el cálculo de la distancia de cambio de velocidad no se realizará, manteniéndose las distancias predefinidas para el cambio de velocidad.

Este procedimiento de cálculos de distancias de cambio de velocidad genera una coordinación entre los tiempos de desplazamiento de los ejes XY haciendo que ambos ejes se aproximen a llegar a un punto de posición predefinido.

d. Control individual mediante activaciones de cada uno de los actuadores de la estación.

Debido a que la estación de entrenamiento robótica cartesiana posee varios actuadores para realizar desplazamientos en los ejes XYZ, cambios de velocidad y trabajos con la herramienta final, es necesario diseñar una lógica que permita controlarlos de manera individual basándose en los controles proporcionados por las rutinas de control de posición, control de velocidad descritas con anterioridad por tanto los actuadores se activarán de la siguiente manera:

- El actuador que permite el movimiento en el eje X se activará siempre y cuando las bobinas de activación de los movimientos hacia atrás o hacia adelante estén activas.
- El actuador que permite el movimiento en el eje Y se activará siempre y cuando las bobinas de activación de los movimientos hacia izquierda o hacia derecha estén activas.
- El actuador que permite el movimiento en el eje Z se activará siempre y cuando las bobinas de activación de los movimientos hacia arriba o hacia abajo se encuentren activas.
- Las bobinas de activación de velocidad alta se activarán siempre y cuando el manipulador robótico cartesiano se encuentre con la tarea de regresar a la posición Home activa, o a su vez que se hayan activado las bobinas de cambio de velocidad a velocidad alta desde la rutina de control de velocidad por rampa.
- Las bobinas de activación de velocidad baja se activarán siempre y cuando se encuentren activas las bobinas de cambio de velocidad alta a velocidad baja de la rutina de control de velocidad por rampa.
- La herramienta terminal se controlará mediante un activador manual, o a su vez si se encuentra activada la bobina en una rutina de proceso industrial demostrativa.

Dentro de todas las especificaciones de activación de los actuadores se tomó en cuenta que tanto la velocidad alta como la velocidad baja no se pueden activar si su contraria esta activa, por ejemplo si la velocidad alta esta activa, la velocidad baja no

será activada mientras la velocidad alta no este desactivada de la misma manera sucederá si la velocidad baja se encuentra activa.

e. Generación de estados de emergencia tanto físicos como activaciones en software.

Los estados de emergencia son de importancia en una estación de entrenamiento ya que evitan que puedan suceder accidentes por parte del manipulador robótico cartesiano, es por esto que existe una rutina de generación de estados de emergencia la cual cumple las siguientes funciones:

- Detener a todos los actuadores de la estación que se encuentren en movimiento inhabilitando su activación manual o por rutinas de control, habilitando de nuevo su funcionamiento o su tarea pendiente mediante la salida del estado de emergencia.
- Activar señales luminosas que permitan la visualización de entrada o salida de un estado de emergencia de la estación. Señales luminosas que se encuentran tanto en la interfaz HMI como en el panel físico de control.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1.PRUEBAS (Alicante, 2014)

4.1.1. Normativa ISO 9283:1998.

La norma ISO 9283:1998 establece de manera precisa el modo en el que se deben medir las prestaciones relacionadas con el movimiento y posicionamiento de un manipulador robótico industrial, prestaciones como precisión y repetibilidad.

Esta norma define: La localización de los puntos y trayectorias para cualificar las prestaciones del manipulador robótico industrial, número de repeticiones de cada experimento, carga y velocidad a utilizar. Adicionalmente agrupa todas estas características en cuatro grupos importantes.

- Características de posición.
- Características de trayectoria.
- Características de velocidad.
- Otras características.

Las características de posición se centran en las diferencias entre las posiciones programadas y las posiciones alcanzadas, tanto en valor medio, como en varianza que determina su repetibilidad. Estas características son:

– **Precisión de posición (AP)**

La precisión de posición se define como la desviación entre las posiciones programadas y la media de las posiciones alcanzadas cuando el robot se aproxima a la posición programada siempre desde la misma dirección.

– **Repetibilidad de posición (RP)**

La repetibilidad de posicionamiento se expresa como la dispersión de las posiciones alcanzadas tras visitar varias veces en la misma dirección una posición programada por el operador.

4.1.2. Procedimientos y pruebas aplicadas al manipulador robótico cartesiano

Para obtener los datos necesarios para definir las características: precisión y repetibilidad de posición se determinaron los siguientes pasos:

1. Determinar 5 posiciones $P(X_c, Y_c)$, dentro del volumen de trabajo definido por la morfología del manipulador robótico cartesiano, en un plano específico. El manipulador robótico cartesiano al moverse define un volumen de trabajo el cual se define en la figura 79.

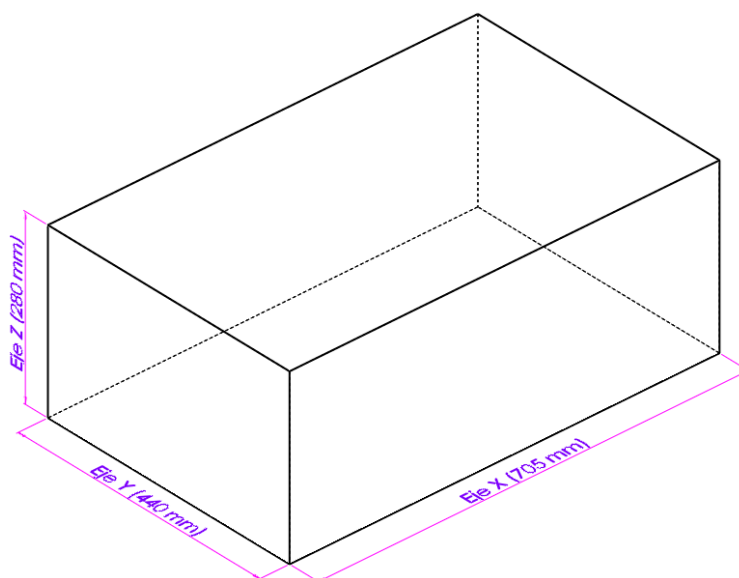


Figura 79. Figura referente al área de trabajo que posee el robot cartesiano

En la figura 80, se determinará el plano que forman los cinco puntos sobre los cuales se realizarán las pruebas para determinar las características del manipulador robótico cartesiano. El plano donde se ubicarán los puntos es el plano XY:

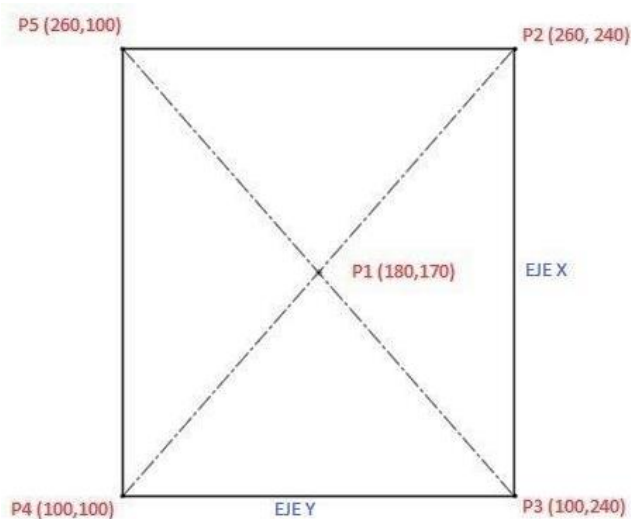


Figura 80. Imagen referente a los puntos de prueba utilizados para la toma de datos

Estos puntos se denominan como posiciones programadas por el usuario. En la tabla 10 se muestran los puntos definidos como posiciones programadas.

Tabla 10. Puntos programados para la toma de datos

Posiciones definidas para pruebas o Posiciones Programadas (Pc)		
Número de posición	Xc (mm)	Yc (mm)
Posición P1	180	170
Posición P2	260	240
Posición P3	100	240
Posición P4	100	100
Posición P5	260	100

2. Una vez fijados los puntos de prueba o posiciones programadas, se procederá a desplazar al manipulador robótico cartesiano siguiendo el siguiente orden establecido:
- a) Mover del punto 1 al punto 5.
 - b) Mover del punto 5 al punto 4.
 - c) Mover del punto 4 al punto 3.
 - d) Mover del punto 3 al punto 2.
 - e) Mover del punto 2 al punto 1.

Una vez desplazado el manipulador robótico cartesiano a la posición programada realizar las mediciones. Esto se lo deberá realizar durante 20 ciclos para obtener la información necesaria de las muestras y realizar los cálculos correspondientes.

En la tabla 11 se verifican los resultados obtenidos de las mediciones.

Tabla 11. Datos obtenidos en función de los puntos programados, indicados en la tabla 12

Mediciones de puntos alcanzados para determinar características del manipulador robótico cartesiano										
Numero ciclo	Punto1		Punto2		Punto3		Punto4		Punto5	
	Xai	Yai	Xai	Yai	Xai	Yai	Xai	Yai	Xai	Yai
1	180	169	260	238	102	238	102	100	260	100
2	181	167	260	237	102	237	102	97	260	97
3	180	168	260	240	100	240	100	100	260	100
4	179	168	260	239	100	239	100	97	260	97
5	178	169	260	237	100	237	100	97	260	97
6	181	169	259	240	102	240	102	98	260	98
7	179	169	261	239	101	239	101	97	259	97
8	180	167	260	238	100	238	100	99	259	99
9	182	170	260	240	100	240	100	100	260	100
10	178	171	261	239	99	239	99	99	260	99
11	179	171	261	240	100	240	102	99	260	99
12	179	168	258	238	100	238	102	100	260	100
13	180	167	260	239	100	239	100	98	259	98
14	179	169	260	239	100	239	100	99	260	99
15	178	170	260	240	101	240	100	97	260	97
16	181	168	258	240	101	240	102	99	258	99
17	180	169	261	237	101	237	101	100	259	100
18	180	168	259	239	100	239	100	97	259	97
19	182	169	259	238	100	238	100	99	261	99
20	181	170	260	237	99	237	99	99	260	99
Promedio	180	168,8	260	239	100,4	239	101	99	260	97
Posición Programada	Xc	Yc	Xc	Yc	Xc	Yc	Xc	Yc	Xc	Yc
	180	170	260	240	100	240	100	100	260	100
Precisión de posición (AP) (mm)	1,21		1,31		1,36		1,57		3,01	
Precisión Total(AP) (mm)	1,69									

En la tabla 11 se visualizan los resultados de las mediciones de las posiciones el manipulador robótico cartesiano al desplazarse a las posiciones programadas previamente definidas, adicionalmente se muestra la precisión de posición de posición

para cada punto y la precisión de posición total expresada en milímetros. La precisión de posición se la calculó de la siguiente manera:

- Una vez tomados todos los datos de posición del manipulador cartesiano en el eje XY se procederá a realizar un promedio de todas las posiciones mediante la siguiente fórmula:

$$X_{media} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j$$

$$Y_{media} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_j$$

Donde n es el número de mediciones el cual será de 20, (X_j, Y_j) será la posición alcanzada por el manipulador cartesiano, y obtenida en las mediciones.

- Posteriormente se toman los promedios de cada punto y se resta la posición programada para cada uno de los puntos, esto se define como precisión de posición de eje, en la siguiente fórmula se representa lo antes mencionado:

$$AP_X = (X_{media} - X_c)$$

$$AP_Y = (Y_{media} - Y_c)$$

Donde AP_x o AP_y es la precisión de posición de eje, X_{media} y Y_{media} son los promedios de las mediciones de las posiciones alcanzadas, X_c y Y_c son las posiciones programadas definidas por software.

- Después de obtener todas las precisiones de posición por eje de los cinco puntos de posiciones programadas, se procede a obtener la posición por punto de los cinco puntos de posiciones programadas mediante la siguiente fórmula:

$$AP_p = \sqrt{AP_x^2 + AP_y^2}$$

Donde AP_p es la precisión por punto de posición en los ejes XY.

- Finalmente se procede a realizar un promedio de las precisiones de posición de cada uno de los puntos mediante la siguiente fórmula:

$$AP_{TOTAL} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n AP_j$$

Para obtener la repetibilidad de posición se siguen los pasos que se describen a continuación:

- Se obtienen los valores de L_j para cada una de las posiciones alcanzadas por el manipulador robótico cartesiano siguiendo la fórmula descrita a continuación:

$$L_j = \sqrt{(X_j - X_{media})^2 + (Y_j - Y_{media})^2}$$

En la tabla 12 se muestran los resultados de los parámetros L_j obtenidos para cada uno de los puntos programados.

Tabla 12. Tabla referente a los cálculos en repetibilidad de posición del manipulador robótico cartesiano

Cálculos para repetibilidad de posición de manipulador robótico cartesiano										
Número de ciclo	Punto1		Punto2		Punto3		Punto4		Punto5	
	L1	(L1 - Lmedia) ²	L2	(L2 - Lmedia) ²	L3	(L3 - Lmedia) ²	L4	(L4 - Lmedia) ²	L5	(L5 - Lmedia) ²
1	0,2	1,5	0,7	0,6	1,7	0,1	2,0	0,3	3,0	1,3
2	2,1	0,5	1,7	0,1	2,3	0,8	2,1	0,4	0,3	1,1
3	0,8	0,4	1,3	0,0	1,4	0,0	1,6	0,0	3,0	2,1
4	1,2	0,1	0,3	1,3	0,5	0,9	1,7	0,0	0,3	2,0
5	1,9	0,2	1,7	0,1	1,7	0,1	1,7	0,0	0,3	2,0
6	1,2	0,1	1,6	0,0	2,1	0,4	1,5	0,0	1,0	2,1
7	0,9	0,3	1,2	0,1	0,7	0,6	1,6	0,0	0,7	2,1
8	1,8	0,1	0,7	0,6	0,8	0,4	0,7	0,5	2,1	0,9
9	2,5	1,0	1,3	0,0	1,4	0,0	1,6	0,0	3,0	2,1
10	2,9	2,0	1,2	0,1	1,4	0,0	1,7	0,0	2,0	2,0
11	2,4	0,8	1,7	0,1	1,4	0,0	1,5	0,0	2,0	2,1
12	1,2	0,1	2,0	0,3	0,8	0,4	2,0	0,3	3,0	1,3
13	1,8	0,1	0,3	1,3	0,5	0,9	0,8	0,4	1,2	1,1
14	0,9	0,3	0,3	1,3	0,5	0,9	0,7	0,5	2,0	0,9
15	2,2	0,6	1,3	0,0	1,4	0,0	1,7	0,0	0,3	2,0
16	1,4	0,0	2,3	0,6	1,4	0,0	1,5	0,0	2,6	2,1
17	0,2	1,5	2,1	0,4	1,8	0,1	1,5	0,0	3,1	2,1
18	0,8	0,4	0,9	0,3	0,5	0,9	1,7	0,0	0,7	2,0
19	2,2	0,5	1,1	0,1	0,8	0,4	0,7	0,5	2,4	0,9
20	1,7	0,0	1,7	0,1	2,2	0,6	1,7	0,0	2,0	2,0
Promedio (Lmedia) (mm)	1,5									
Parámetro S1 (mm)	0,79									
Repetibilidad Total (mm)	3,84									

- Una vez obtenidos todos los parámetros L_j de cada uno de los puntos de posición alcanzados por el manipulador robótico cartesiano se procede a obtener el promedio de todo el conjunto de datos l_j mediante la fórmula:

$$L_{media} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n L_j$$

Donde n es el número total de parámetros L_j obtenidos de las mediciones de las posiciones alcanzadas.

- Posteriormente se procede a obtener el parámetro S_1 mediante la siguiente fórmula:

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (L_j - L_{media})^2}{n - 1}}$$

Donde n es el número total de parámetros L_j obtenidos de las mediciones de las posiciones alcanzadas.

- Finalmente para determinar la repetibilidad del sistema de entrenamiento robótico cartesiano una vez obtenidos los parámetros de L_{media} y parámetro S_1 , se aplica la fórmula a continuación:

$$RP_p = L_{media} + 3S_1$$

4.2.RESULTADOS

4.2.1. Análisis de los resultados obtenidos de las pruebas a la estación de entrenamiento robótico cartesiano.

Aplicando la norma ISO 9283:1998 definida para determinar parámetros para robots industriales, se llegaron a obtener los siguientes resultados:

- Para el parámetro de precisión de posición general del sistema se llegó a alcanzar una precisión del 1,69 milímetros por desplazamiento, En donde por motivos de cinemática propia del manipulador robótico cartesiano el eje X tiene una precisión que va hasta ± 1 mm por desplazamiento. Mientras que el eje Y posee una precisión que va hasta ± 4 mm por desplazamiento.
- En cuanto a la repetibilidad general del sistema se obtuvo una repetibilidad del 3,85mm en todo el sistema de entrenamiento robótico cartesiano, en general. Cabe recalcar que todos los parámetros previos a la obtención de la repetibilidad del sistema se obtuvieron del primer experimento realizado para la determinación de la precisión de posición del sistema.
- Los resultados experimentales de parámetros para el robot cartesiano, fueron tomados en condiciones de carga cero, tomándose en cuenta solo el peso de la herramienta final en el eje Z. Adicionalmente los resultados presentados previamente están sujetos a variaciones debido a errores de medición o cálculos por parte del operador, por tanto a los valores finalmente obtenidos se le adicionará una incertidumbre de 1mm quedando de la siguiente manera las mediciones finales:
 - **Precisión de posición:** $1,69 \pm 1$ mm
 - **Repetibilidad de posición:** $3,85 \pm 1$ mm

CAPÍTULO 5

MATERIALES DE APRENDIZAJE

Previo a empezar con las guías de laboratorio, se necesita seguir una serie de pasos que permitirán el buen funcionamiento de la estación y su control y visualización mediante la PC.

5.1. Pasos a seguir al preparar la estación robótica cartesiana

- a. Encender la Estación Robótica Cartesiana mediante el conmutador por llave, y así se activará su luz piloto verde respectiva, indicando que la estación se encuentra energizada, y esto se lo puede visualizar en la fotografía 3.



Fotografía 3. Primer punto a seguir al encender la estación robótica cartesiana

En la parte superior de consola se activará una luz piloto naranja, que indica que el sistema está listo para funcionar.

- b. Activar el sistema con el Pulsador Verde, y de esta manera se encenderá la luz piloto verde respectiva, indicando que el sistema ya puede funcionar y continuar con la carga de los programas al PLC. Una representación de esto se lo puede ver en la fotografía 4.



Fotografía 4. Imagen referente a como se visualiza cuando la estación robótica cartesiana está activada

- c. Ejecutar el software Modicon MODBUS, que se encuentra en el menú inicio, y que se lo puede ver en la figura 81.



Figura 81. Localización del ícono de Modicon MODBUS

- d. Inicializar el archivo ProWorx NxT, ubicado en el menú inicio como se lo puede ver en la figura 82, posteriormente se desplegará un mensaje al cual se le debe presionar aceptar y se abrirá automáticamente el programa. A continuación ir al menú File y seleccionar el programa “ESTCART”.



Figura 82. Localización del ícono de ProWORX NxT

Una vez abierto el programa procederemos a programarlo en el PLC, para esto se debe dirigir al menú Controller y seleccionar la opción Write to Controller, posterior a esto aparecerá un cuadro de diálogo, en el cual se debe seleccionar la opción Write como se indica en la figura 83.

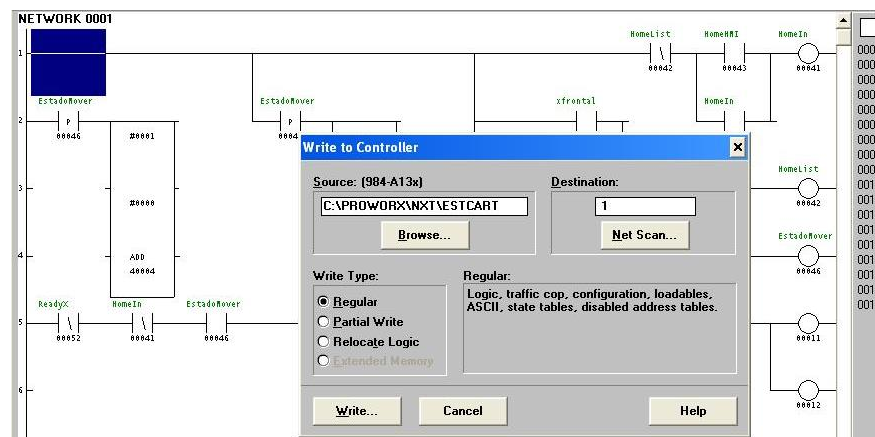


Figura 83. Paso 1 a seguir para grabar el programa en el PLC

Si a continuación se despliega “Message (3107)” hacer clic en la opción NO, si aparece “Message (371)” hacer clic en Aceptar, posteriormente en la siguiente pantalla hacer clic Write como se indica en la figura 84, y procederá a instalarse el programa.

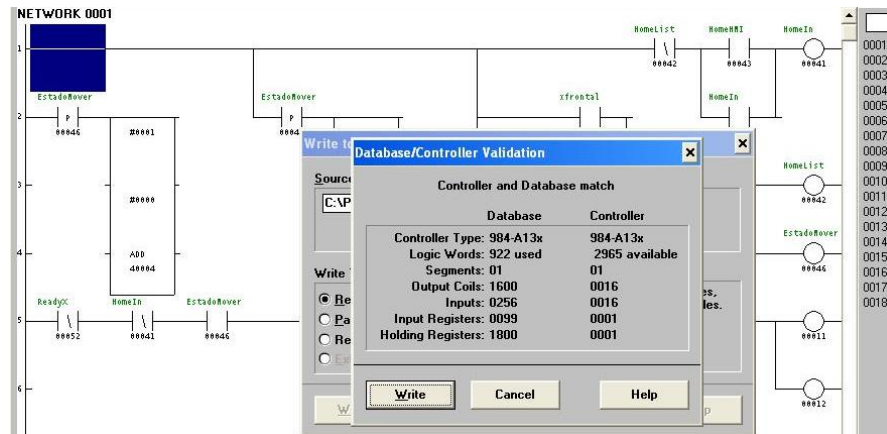


Figura 84. Paso 2 para grabar el programa en el PLC

Para finalizar, se debe acceder al menú Controller y seleccionar la opción Start/Stop y a continuación dar clic en OK, en caso de aparecer una pantalla con el mensaje “Message (3107)” hacer clic en la opción NO, si aparece “Message (371)” hacer clic en Aceptar y para finalizar la opción Start. Esto se puede visualizar en la figura 85.

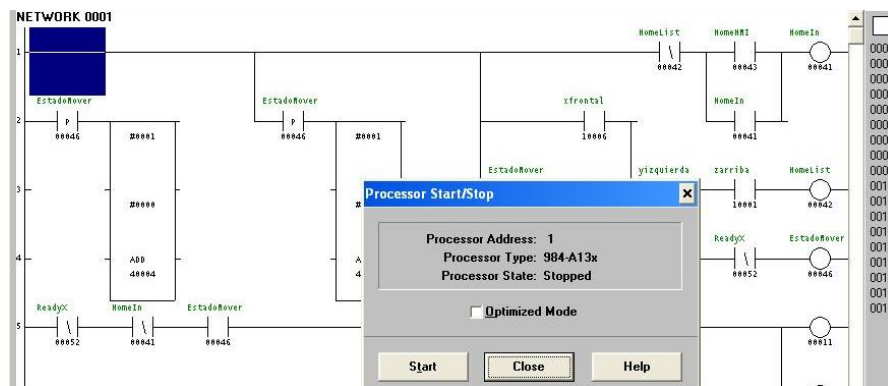


Figura 85. Paso 3 para grabar el programa en el PLC

Y como último punto hacer clic en la opción Start Controller, y en el mensaje “Message (3039)” dar clic en Aceptar.

- e. Abrir el Software InTouch en el menú inicio, luego, en el Applcation Manager, seleccionar la práctica denominada “Estación Cartesiana” y ejecutarla. Esto se puede visualizar en la figura 86.



Figura 86. Figura que indica cómo acceder al ícono de InTouch

- f. La pantalla inicial del HMI se muestra a continuación, en donde se procederá a dar clic en el botón Índice. En la figura 87 se indica la pantalla de inicio de la HMI diseñada.



Figura 87. Pantalla de inicio de la HMI realizada

A continuación, en el índice de prácticas, se debe acceder al menú de ayuda y seguir los pasos que se mencionan ahí, como parte de estos pasos están el activar los botones de Excel y de Home para poder acceder a cada una de las prácticas establecidas. Esto se puede observar en la figura 88.



Figura 88. Menú de las prácticas a realizarse, indicadas en la HMI

La guía para las prácticas de laboratorio propuestas son cinco, donde el estudiante aprenderá desde el control básico del robot cartesiano, analizar sus movimientos, las características de desempeño y al final un ejemplo aplicativo.

- g. Cualquier duda que se presente, puede ser aclarada de mejor manera en el Menú Ayuda de cada pantalla en el HMI, de lo contrario solicitar ayuda al profesor o instructor de la materia.

Una vez cumplidos estos pasos, se puede proceder a realizar con normalidad las prácticas propuestas.

5.2.GUÍA DE LABORATORIO

5.2.1. Práctica 1

Control Manual de la Estación

Introducción

En esta práctica se puede controlar a disposición y de manera individual, cada uno de los actuadores de los respectivos ejes cartesianos y su herramienta final.

Objetivos

- Relacionarse con cada uno de los actuadores que permiten el movimiento de las articulaciones XYZ, mediante su operación individual.
- Identificar la instrumentación existente dentro de la estación de entrenamiento.
- Determinar las características básicas del robot cartesiano.

Procedimiento

- Dirigirse al menú ayuda de la Práctica N1.
- Seleccionar la velocidad a la que se desee desplazar cada una de las articulaciones.
- Desplazar a disposición el Eje X
- Desplazar a disposición el Eje Y
- Desplazar a disposición el Eje Z
- Activar / desactivar el efector final (taladro de fresado)
- Activar / desactivar Parada de Emergencia

Cuestionario

1. ¿Cuáles y cuántos son los grados de libertad del robot cartesiano?
2. ¿Qué figura geométrica forma el espacio de trabajo del manipulador robótico cartesiano?
3. ¿Cuál es el valor del volumen de trabajo en cm^3 de la estación robótica cartesiana?

5.2.2. Práctica 2

Movimiento punto a punto en los Ejes X y Eje Y

Introducción

En esta práctica el estudiante va a familiarizarse con los valores reales de desplazamiento del robot cartesiano, indicándole mediante coordenadas cartesianas en milímetros, el punto al que desea que el robot se mueva, teniendo en cuenta los límites del recorrido.

Objetivos

- Adaptar al estudiante a la relación que existe entre el movimiento de los ejes del robot, en función de las medidas en milímetros.
- Visualizar la trayectoria realizada por los ejes XY del robot cartesiano, mostrada en una hoja de Excel.
- Analizar el desarrollo de la trayectoria realizada por los ejes XY del robot cartesiano.

Procedimiento

- Dirigirse al menú de ayuda de la práctica 2.
- En la casilla “Operación e Ingreso de Puntos”, ingresar los valores en milímetros a desplazarse desde el punto inicial (0, 0) al punto final (120, 100).
- Dar un clic en el botón Mover.
- Hacer clic en el botón Excel, ubicado en la casilla “Gráfica Trayectoria”

Cuestionario

1. Realice un análisis de la trayectoria generada por el manipulador robótico cartesiano, al desplazarse de un punto inicial a un punto final, mediante la trayectoria propia de la cinemática del robot.
2. Predecir la trayectoria de desplazamiento del manipulador robótico cartesiano, de los puntos $(100, 100)$ a los puntos $(260, 240)$, encontrando si es necesario, la pendiente de desplazamiento.
3. Predecir la trayectoria de desplazamiento del manipulador robótico cartesiano, de los puntos $(100, 100)$ a los puntos $(240, 260)$, encontrando si es necesario, la pendiente de desplazamiento.

5.2.3. Práctica 3

Movimiento punto a punto con generación de puntos intermedios

Introducción

En esta práctica se va a realizar el ingreso de la coordenada final a la cual se desea que se desplace el robot cartesiano, previo a esto se debe elegir el número de puntos por los cuales debe pasar el robot y luego escoger qué puntos son por los cuales se va a desplazar antes de llegar al punto final establecido al principio.

Objetivos

- Relacionar al estudiante con la función multi trayectoria del robot cartesiano.
- Visualizar en Excel, las múltiples trayectorias propuestas.
- Analizar las trayectorias generadas en Excel, del movimiento de las trayectorias descritas.

Procedimiento

- Dirigirse al menú ayuda de la práctica 3.
- Ingresar la coordenada X_f y Y_f en milímetros, a la cual se desea que se muevan los ejes XY del robot cartesiano, ubicado en la casilla “Operación e Ingreso de Puntos”.
- En la casilla “Operación e Ingreso de Puntos”, en la opción “Número de Puntos” ingresar la cantidad de puntos intermedios que se desee para que los ejes XY se muevan previo a su punto final.

- En las nuevas casillas denominadas “Puntos Medios X” y “Puntos Medios Y”, ingresar los valores deseados, dados en milímetros.
- Hacer clic en el botón Mover, ubicado en la casilla “Operación e Ingreso de Puntos”.
- En la casilla “Gráfica Trayectoria”, hacer clic en el botón Excel.

Cuestionario

1. Determinar cuáles son las ventajas que genera un sistema al poder generar puntos intermedios de trayectoria.
2. Encuentre la mejor trayectoria según su criterio para desplazarse del punto $(0, 0)$ hacia el punto $(280, 240)$, suponiendo que existiera un obstáculo en el punto $(50, 50)$.
3. Determinar si en esta práctica se podría generar una trayectoria en zig-zag. Si, No, ¿Por qué?

5.2.4. Práctica 4

Movimiento punto a punto con trayectoria rectilínea

Introducción

El movimiento en trayectoria recta se basa en que el estudiante introduzca coordenadas XY por las cuales se pueda desplazar el robot cartesiano, donde, sus movimientos por dichos puntos buscará realizarlos en trayectorias rectas, no como en prácticas anteriores donde se desplazaba en función de la dinámica de la estructura, si no que esta vez utiliza un control para realizar este movimiento rectilíneo.

Objetivos

- Analizar la trayectoria recta generada en Excel del movimiento de los ejes XY.
- Realizar una comparativa entre los resultados de la práctica dos y los resultados de la práctica 4.

Procedimiento

- Ingresar al menú Ayuda de la práctica 4.
- En la casilla “Operación e Ingreso de Puntos”, ingresar la coordenadas en milímetros, del punto inicial (0, 0) al punto final (120, 100).
- Hacer clic en el botón Mover.
- Pulsar sobre el botón Excel, en la casilla “Gráfica Trayectoria”.

Cuestionario

1. ¿Qué puede argumentar en función a la gráfica obtenida en la práctica 2, con respecto a la gráfica obtenida en esta práctica 4, con desplazamiento desde el punto inicial (0, 0) al punto final (120, 100)?
2. ¿Qué parámetro controlaría usted para poder generar trayectorias rectilíneas, cómo lo haría, y por qué?
3. ¿Qué tipo de control recomendaría usted para variar la velocidad de los motores y así sincronizarlos de una mejor manera, y explique por qué?

5.2.5. Práctica 5

Ejemplo de Aplicación Robótica

Introducción

La función que desempeña la estación robótica cartesiana, está destinada al proceso de maquinado en un bloque de parafina. El proceso es automático y realizará el modelado de un marco y en su interior la letra “E”.

Objetivos

- Mostrar al estudiante como es el funcionamiento de una operación industrial real, basada en maquinado de piezas.
- Motivar al estudiante a adentrarse más en la materia de robótica y que a futuro controle diferentes procesos de producción.

Procedimiento

- Acceder al menú Ayuda de la práctica 5.
- Dejar libre de obstáculos la plataforma de la estación robótica cartesiana.
- Asegurarse de que el bloque de parafina esté correctamente situado en su base respectiva.
- En la casilla “Operación”, dar clic en el botón Empezar.

Cuestionario

1. Determine cinco aplicaciones industriales en las que se puedan utilizar los robots cartesianos.
2. ¿Recomendaría usted utilizar la estación robótica cartesiana para aplicaciones como paletizado, sí, no, y Por qué? Si su respuesta es No, proponer otra aplicación.
3. ¿Qué entiende usted por CAM? ¿Usted consideraría a la estación de entrenamiento robótico como una célula de CAM?

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Los criterios de seguridad aplicados en el diseño de la estación robótica cartesiana son los implementados en máquinas de tipo industrial como dispositivos manuales de desactivación de la máquina (paradas de emergencia, pulsadores de encendido y apagado). Adicionalmente se implementaron seguridades a nivel de circuitos eléctricos para evitar daños en elementos de sensamiento, actuadores y elementos de mando.
- El diseño mecánico fue basado en criterios de estabilidad como: juegos mecánicos (ruido mecánico), flexibilidad para montaje y desmontaje de la estación de entrenamiento, firmeza. En cuanto a materiales, se emplearon materiales de bajo costo, alta durabilidad como el acero obteniendo una estación firme y resistente al uso continuo. Finalmente en cuanto a normas industriales se emplearon colores que permitan identificar partes móviles y estáticas.
- El software de la estación fue diseñado para que el operador de la estación pueda visualizar desplazamientos del manipulador robótico cartesiano al ejecutar tareas impuestas, además de que pueda manipular los parámetros de seteo del sistema y finalmente pueda relacionarse con cinco prácticas completamente interactivas todo esto con guías incluidas dentro del sistema.
- La precisión y repetibilidad de posición de los ejes X y Y, se vio afectada por fenómenos como la inercia de los motores, ya que el control correcto para un

motor es un control tipo rampa, similar al control que realizaría un variador de velocidad, de esta manera, se va desenergizando progresivamente el motor, por lo tanto, la inercia del motor disminuiría en la misma proporción, con lo que se conseguiría un frenado más exacto.

- El control mediante cuadratura, utilizado por los módulos ZAE 201 del PLC Modicon, no fue posible implementarlo, debido a la incompatibilidad de la señal de referencia de los encoders con la del módulo, por tal motivo, se descartó el funcionamiento del módulo ZAE 201 como posicionador, reemplazando así, su funcionamiento por el de un contador de alta velocidad (High Speed Counter), debido a que los encoders utilizados generan altas cantidades de pulsos por desplazamiento en cortos lapsos tiempo.
- Una causa adicional , que implicó en la obtención del error de posicionamiento y repetibilidad fue el tiempo de transmisión de datos a través de la red, debido a que el procesamiento de datos entregados por parte de módulo ZAE 201, se lo realizó en la interfaz HMI, debido a la limitación de líneas de programación en el controlador lógico programable. Al transmitir los datos de PC a PLC existen retardos de tiempo que hacen que los datos lleguen tarde, por tanto el procesamiento no se realizará en tiempo real.
- En la parte del hardware, lo que incrementa los errores de posicionamiento, tanto en frenado como en cambio de giro, se deben al tiempo de conmutación de los relés, ya que los relés empleados son de tipo electromecánico, y estos necesitan de un tiempo para pasar de un estado a otro.
- Para contrarrestar parcialmente los efectos de inercia que se producen tanto en los ejes XY, se generó un control con offset, que disminuye la distancia de desplazamiento de un punto a otro, logrando así, disminuir el error de manera significativa.

- Con el fin de disminuir los efectos de error por transmisión de datos, se priorizó el orden de las tareas que se realizan tanto en el PLC como en el HMI, de tal manera, que primero se ejecute el procesamiento de datos de posición, provenientes del contador rápido del ZAE 201, dejando para el final, las tareas que permiten el manejo de los actuadores de la estación robótica cartesiana.

6.2. RECOMENDACIONES

La estación Robótica Industrial Cartesiana fue diseñada de manera tal que pueda ser mejorada o repotenciada a futuro para nuevas tesis o proyectos, con el fin de obtener el mayor provecho. Entre las opciones de repotenciación se plantean las siguientes:

- Posee capacidad para ampliar el gabinete eléctrico, ya que en el gabinete tipo consola tiene espacio para colocar un riel DIN, ya que cuenta con un fondo falso para su instalación.
- Si se desea mayor potencia o velocidad en los motores, estos pueden ser removidos y cambiados por los deseados, ya que la estructura posee los soportes para motor frente al tornillo sin fin en los ejes X y Y.
- La herramienta terminal o el gripper, pueden ser removidos y con la posibilidad de adaptar uno diferente. La estructura es de gran resistencia, por ende puede colocarse como herramienta terminal un punto de suelda eléctrica, también puede colocarse una cortadora de metal en base a plasma o cualquier otro método de los existentes.
- Para obtener un control óptimo de la estación robótica cartesiana, se podría implementar controladores de gama alta que tengan altas velocidades de procesamiento y envío/recepción de datos por parte de la estación, además de módulos de control especializados para velocidad.
- Obtener la licencia del programa ProWorx NxT, porque siempre se tendrá la limitante de las 25 networks de programación, o en su defecto, cambiar de controlador y así obtener un software para el PLC más completo, con licencia o gratuito de ser posible.

- Un control de tipo clásico, como un control PID aplicado a la velocidad de desplazamiento de los ejes, permitirían generar posiciones con menor error, y además el poder generar distintos tipos de trayectorias entre puntos, aplicando un control por diferencial de velocidad.

- Los relés electromecánicos se los pueden sustituir por relés de estado sólido, debido a que estos tienen un menor tiempo de conmutación, así como el permitir la generación de señales PWM, que también serían una opción para el control por diferencial de velocidades, ya que una señal PWM permite realizar la variación controlada de velocidades de un motor DC.

- Para aplicaciones industriales más complejas, como el maquinado de piezas en 3D, se puede implementar un tercer control de desplazamiento en el eje Z, adicionando un contador de alta velocidad como el módulo ZAE 201.

- Atendiendo a las necesidades industriales de integración entre diferentes estaciones para realizar procesos industriales más complejos, se podría reemplazar el controlador actual, el cual posee una comunicación punto a punto, por uno que permita una comunicación multipunto.

BIBLIOGRAFÍA

AEG SCHNEIDER AUTOMATION, I. (1995). *984-A120 COMPACT PROGRAMMABLE CONTROLLERS USER GUIDE*. North Andover, Massachusetts: AEG SCHNEIDER.

Alibaba.com. (2014). Obtenido de portuguese.alibaba.com

Alicante, U. d. (13 de octubre de 2014). *Normativa sobre robots industriales*. Obtenido de www.mayr.ua.es/docs_mayr10/rob/Normativa%20sobre%20

anónimo. (30 de septiembre de 2008). *DER MEISTER*. Obtenido de <http://rammstein123.blogspot.com/2008/09/robot-cartesiano.html>

Anónimo. (4 de junio de 2010). *La Electricidad*. Obtenido de aprendiendosobrelaelectricidad.blogspot.com

Anónimo. (24 de noviembre de 2010). *OPL Manipolazione*. Obtenido de www.oplmanipolazione.it

Anónimo. (2011). *Industrias Mecánicas Welter*. Obtenido de www.imwsa.com

Anónimo. (2012). *Direct Industry*. Obtenido de www.directindustry.es

Anónimo. (2013). *ADX INGENIERÍA*. Obtenido de www.adx-ingenieria.com

Anónimo. (28 de junio de 2014). *DEMO E-DUCATIVA CATEDU*. Obtenido de www.educativa.catedu.es

Anónimo. (2014). *Direct Industry*. Obtenido de www.directindustry.com

Anónimo. (2014). *ELECTRÓNICA ESTUDIO.COM*. Obtenido de www.electronicaestudio.com

Anónimo. (30 de 01 de 2014). *Eitudela*. Obtenido de www.etitudela.com/profesores/rpm/rpm/downloads/robotica.pdf

Anónimo. (2014). *Instituto de Tecnología VON BRAUN*. Obtenido de www.wpro.pe

Anónimo. (2014). *Panasonic*. Obtenido de Tech Insights: www.pidtechinsights.com

Anónimo. (2014). *REXEL*. Obtenido de www.rexel.cl/ecommerce/product.php?id_product=2577

Anónimo. (30 de 01 de 2014). *Tecnológico de Monterrey*. Obtenido de www.dim.tol.itesm.mx/labs/lim/robots.pdf

Anónimo. (2014). *WEIR TRIO*. Obtenido de www.trioproducts.com

Anónimo. (s.f.). *KURAMO*. Obtenido de www.kuramo.co.th

AUTOMATION, A. S. (2006). *MODICON LADDER LOGIC BLOCK LIBRARY USER GUIDE VOLUME I*. North Andover, Massachusetts: AEG SCHNEIDER.

CAMSCO. (2014). *CAMSCO ELECTRIC CO, LTD*. Obtenido de www.camsco.com.tw/

Classic Automation. (2012). Obtenido de www.classicautomation.com

COMMSAL. (2014). *COMMSAL*. Obtenido de www.commsal.com

coparoman. (15 de noviembre de 2014). Obtenido de www.coparoman.blogspot.com

CORPORATION, W. (2001). *WONDERWARE MODICON MODBUS I/O SERVER USER'S GUIDE*. Irvine: Wonderware.

DYNAMICS, M. (2014). *MACRON DYNAMICS, INC*. Obtenido de www.macrondynamics.com

ebay. (2013). *ebay*. Obtenido de www.ebay.co.uk

ELECTRIC, C. (2014). *CNC ELECTRIC GROUP CO.,LTD*. Obtenido de www.cccme.org.cn/shop/cccme3664/index.aspx

Electric, S. (2008). Robot Cartesiano Xy. *Guía Aplicativa*, 19-20.

González, V. (30 de 01 de 2014). *INTEF*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/morfologia.htm

Informáticos, D. d. (30 de 01 de 2014). *UCLM*. Obtenido de http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/morfologia/estructura_mecanica.htm

Jabonero Cámara, J. (2010). *Modelado y Análisis de un Brazo Mecánico*. Leganes: Universidad Carlos III de Madrid.

lanación.com. (2014). Obtenido de www.lanacion.com.ar

LINEAR, P. (2014). *PBC LINEAR*. Obtenido de www.pbclinear.com

Mercado Libre México. (2014). Obtenido de articulo.mercadolibre.com.mx

Mission Modélisme. (2014). Obtenido de www.mission-modelisme.com

Modicon MODBUS Serial IO Server 7.5 (7.5.0.7). (2010). Obtenido de <ftp://toomtekstiil.ee/DI/SC/Modbus.html>

Newark. (2012). Obtenido de www.newark.com

NUX, H. (2010). *HE SERIES INSTRUCTION MANUAL*. Obtenido de www.otomasyononline.com/download/Hanyoung/he_e.pdf

Octopart. (2014). Obtenido de www.octopart.com

- Olivares Zaragoza, G., & Rodriguez Lara, F. (2008). *Robot Cartesiano XYZ*. México DF: Instituto Politécnico Nacional.
- Pentair. (2010). *Pentair EQUIPMENT AND ELECTRONICS PROTECTION*. Obtenido de www.hoffmanonline.com/stream_document.aspx%3FrRID%3D245286%26pRID%3D245285
- Phigets. (2012). *Phigets*. Obtenido de http://www.phidgets.com/documentation/Phidgets/3200_0_hs815.pdf
- Puente Mendez, S. (30 de 01 de 2014). *Master Universitario en Automática y Robótica*. Obtenido de www.mayr.ua.es/docs_mayr10/rob/teoria/ROB%20-%20componentes.pdf
- Royal Wholesale Electric. (2012). Obtenido de www.royalutah.com
- Sick. (2 de marzo de 2007). *Inductive sensor, IME series, IME08, DC3-wire, Standard series, Flush*. Obtenido de http://www.alfacomponent.com/r_sick/PDF/IME08_en.pdf.
- SM, A. (2011). *Ensamblaje de Computadoras*. Obtenido de ensambladehades.blogspot.com
- Sonicolor. (2014). *Sonicolor*. Obtenido de www.sonicolor.es
- Tecnoficio. (2012). Obtenido de www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad_de_motores_electricos1.php
- Wonderware. (2010). Obtenido de www.ctp.wonderware.com

GLOSARIO

ACTUADOR	Elemento que transforma una señal de control en una acción, como un motor eléctrico que genera movimiento.
CONVERTIDOR	Elemento eléctrico que convierte un tipo de corriente y tensión iniciales en otro tipo de corriente y tensión.
DAP 212	Módulo mixto de salidas digitales y salidas a relé parte del PLC Modicon Compact 984.
DAP 216	Módulo de salidas digitales parte del PLC Modicon Compact 984.
DEP 216	Módulo de entradas digitales parte del PLC Modicon Compact 984.
ENCODER	Transductor que transforma un movimiento angular en serie de impulsos eléctricos.
GRADOS DE LIBERTAD	Los movimientos que puede hacer cada eje por separado, como traslación o rotación.
HMI	Interfaz Humano Máquina, permite el control y monitoreo de un sistema físico mediante un modo gráfico en un dispositivo visual, como Ipad o computadores.
ISO	Organización internacional de estandarización encargada de aplicar normas a productos y servicios.
MODBUS	Protocolo de comunicaciones creado por Modicon actual Schneider Electric.
MOTOR	Mecanismos que transforman un tipo de energía en trabajo mecánico.
PRECISIÓN	Referente a la capacidad que un instrumento tiene de dar el mismo resultado en varias tomas de mediciones realizadas.
PROWORKS NxT	Software para programación de controladores de la familia Modicon
REPETIBILIDAD	Es la capacidad que posee un robot de llegar a la misma posición varias veces.

RESOLUCIÓN	Mínimo incremento o variación de desplazamiento que puede realizar un robot en su elemento terminal.
RODAMIENTO	Elemento mecánico que reduce la fricción entre ejes de movimientos rotatorios y elementos de sujeción.
SENSOR	Dispositivo eléctrico/mecánico que convierte magnitudes físicas a valores medibles de dicha magnitud.
SENSOR INDUCTIVO	Sensor que mediante campos magnéticos detecta metales ferrosos.
TRANSMISIÓN MECÁNICA	Elemento mecánico encargado de transmitir energía entre dos o más elementos móviles dentro de una máquina.
VOLUMEN DE TRABAJO	Es una figura geométrica tridimensional formada por las posiciones posibles dentro de las cuales se puede desplazar el robot.
ZAE 201	Módulo que tiene funcionalidades de contador rápido o posicionador parte del PLC Modicon Compact 984.
ZONA DE TRABAJO	El espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de la muñeca del robot.