



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL PROCESO DE
AUTOMATIZACIÓN EN EL PINTADO DE CUERPOS
GEOMÉTRICOS.

AUTOR:

VINICIO GABRIEL TERÁN BURBANO

DIRECTOR: ING. WASHINGTON MOSQUERA

IBARRA-ECUADOR

JULIO, 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003697263		
APELLIDOS Y NOMBRES:	TERÁN BURBANO VINICIO GABRIEL		
DIRECCIÓN:	BARTOLOMÉ GARCÍA Y RICARDO SÁNCHEZ		
EMAIL:	gaboteran89@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2954699	TELÉFONO MÓVIL:	0989576461

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN EN EL PINTADO DE CUERPOS GEOMÉTRICOS
AUTOR:	TERÁN BURBANO VINICIO GABRIEL
FECHA:	6 de julio del 2016
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	ING. WASHINGTON MOSQUERA

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Vinicio Gabriel Terán Burbano, con cédula de identidad Nro. 1003697263, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 6 días del mes de julio de 2016

EL AUTOR:



Vinicio Gabriel Terán Burbano



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Vinicio Gabriel Terán Burbano, con cédula de identidad Nro. 1003697263, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado "MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN EN EL PINTADO DE CUERPOS GEOMÉTRICOS" , que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 6 días del mes de julio de 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'V. Terán Burbano', is written over a faint circular stamp.

Vinicio Gabriel Terán Burbano

CI: 1003697263

DECLARACIÓN

Yo, VINICIO GABRIEL TERÁN BURBANO, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Vinicio Gabriel Terán Burbano

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Vinicio Gabriel Terán Burbano, bajo mi supervisión.



Ing. Washington Mosquera
DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada en memoria de mi padre Hernán (+) quien por medio de sus consejos y apoyo incondicional logré alcanzar esta meta, a mi madre Myrian quien ha sido el pilar fundamental en mi formación profesional además de inculcarme ese espíritu emprendedor.

A mi hermano Geovany y a mi hermana Cristina quienes siempre me han apoyado en este proceso de formación.

A mi abuelita materna Laura (+) quien supo enseñarme los valores necesarios para convertirme en un gran profesional.

Vinicio Gabriel Terán Burbano

AGRADECIMIENTO

A Dios, por bendecirme y estar siempre presente en mi vida.

Al Ing. Washington Mosquera por su dirección y consejos en el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Lennin Encalada por su asesoramiento y ayuda en la culminación de este proyecto.

A los compañeros, amigos y otras personas que fueron parte de mi proceso de formación.

Vinicio Gabriel Terán Burbano

RESUMEN

Los robots surgen a mediados del siglo vigésimo y tratándose de una tecnología nueva o reciente es motivo de estudio en los centros de investigación y en las universidades a nivel mundial. La correcta comprensión de su funcionamiento y la forma de utilización hacen que los robots sean de gran utilidad en las industrias.

En la actualidad la robótica y la automatización de procesos en líneas de producción se han convertido en una necesidad en las industrias debido a la competitividad y al mejoramiento continuo de las prácticas de manufactura del producto final. En muchas industrias se utilizan brazos robóticos usados en procesos de soldadura, pintura, líneas de ensamblaje, farmacéuticas, etc. Un ejemplo de aplicación de la robótica se encuentra en las industrias automovilísticas donde se obtuvo una gran aceptación, los brazos robóticos en las empresas automotrices se utilizan para soldar, ensamblar piezas o pintar carrocerías, esto se debe a la gran precisión que estos tienen para realizar las tareas.

En el país el campo de la robótica está en el auge, puesto que muchas industrias se encuentran en una etapa de crecimiento continuo. Pero la gran mayoría de maquinaria con nueva tecnología es extranjera, y la producción nacional es muy reducida. Por eso es de gran importancia que se produzca tecnología en nuestro país, para dejar de ser importadores de maquinarias.

El presente módulo de robótica está dedicado a la enseñanza y realización de prácticas de laboratorio, también tiene como finalidad simular un proceso industrial como el mencionado anteriormente que permitirá mejorar la manipulación y comprensión del funcionamiento de los componentes mecánicos y electrónicos que conforman el módulo.

ABSTRACT

Robots appeared in the middle of the twentieth century and as they are a new and recent technology, they are a study object at research centers and universities all over the world. The correct understanding of their functioning and the way how to use them have made robots very useful in the industry.

At present, robotics and the automation of production line processes have become a necessity in the industries due to their competitiveness and the continuous improvement of the manufacturing practices of the end product. In many industries, robotic arms are used in welding processes, painting, assembly lines, pharmaceuticals, etc. An example for the application of robotics is found in the car industry where it gained a large acceptance. Robotic arms are used in car companies for welding, assembling pieces or painting bodyworks due to the great accuracy they have performing their jobs.

In our country, the field of robotics is surging as many industries are in a continuous growth. However, most machineries with new technology are from abroad and the domestic production is very limited. Therefore, it is very important to produce technology in our country in order to stop the importations of machinery.

This robotics module is aimed to education and the performance of laboratory practices and its objective is to simulate an industrial process as the above mentioned to permit improve the handling and understanding of the functioning of the mechanic and electronic components that make up the module.

PRESENTACIÓN

Dicho proyecto busca equipar al laboratorio con una herramienta que beneficiará en el desarrollo de las prácticas en áreas afines a la automatización y a la robótica. Este proyecto está constituido por los capítulos descritos a continuación:

En el primer capítulo se expone los fundamentos teóricos que sustentan la investigación llevada a cabo en este proyecto.

En el segundo capítulo se presenta los cálculos de cinemática directa e inversa además se desarrolla el modelo matemático basado en la energía potencial descrita por el brazo robótico en cualquier instante.

En el tercer capítulo se realiza los cálculos matemáticos para conocer los esfuerzos que soporta el brazo robótico, como también el factor de seguridad, el cálculo de los torques necesarios para el dimensionamiento de los servomotores y el material seleccionado para este proyecto.

En el cuarto capítulo se analiza los requerimientos del módulo, selección de los componentes electrónicos necesarios basados en posibilidades existentes en el mercado y características físicas.

En el quinto capítulo se detalla de manera general mediante flujogramas la programación realizada para el funcionamiento de este proyecto, además de la explicación del funcionamiento de la interfaz gráfica.

En el sexto capítulo se muestran las pruebas realizadas al momento de realizar la acción para la cual está diseñado. Las pruebas se realizaron con diferentes tipos de pintura y distancias variadas.

CONTENIDO

DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN	XII
ABSTRACT	X
PRESENTACIÓN	XI
ÍNDICE	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 problema.....	1
1.2 objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo General	1
1.2.2 objetivos específicos	1
1.3 Alcance	2
1.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
1.4 justificación	3
1.5 la robótica	4
1.5.1 leyes de la robótica	4
1.6 robots.....	5
1.6.1 tipos de robots.....	6
1.6.2 clasificación de los robots.....	10
1.7 la robótica en el ecuador.....	11
1.8 morfología del robot	12
1.8.1 ESTRUCTURA MECÁNICA DE UN ROBOT	12
1.8.2 sensores internos	15
1.8.3 actuadores.....	18
1.8.4 sistema de control	20
1.9 localización espacial	21

1.9.1	representación de la posición	21
1.9.2	representación de la orientación	24
1.10	coordenadas y matrices homogéneas.....	26
1.11	matriz de transformación homogénea	27
1.11.1	traslación	28
1.11.2	ROTACIÓN.....	28
CAPÍTULO 2	29
2.	cinemática del robot	29
2.1	introducción	29
2.2	tipos de análisis cinemático.....	29
2.2.1	cinemática directa	30
2.2.2	cinemática inversa	33
2.3	modelado matemático	35
2.3.1	Modelado Matemático (Energía potencial en los 3 eslabones)	36
CAPÍTULO 3	40
3.	DISEÑO MECÁNICO DEL BRAZO ROBÓTICO	40
3.1	INTRODUCCIÓN.....	40
3.2	ANÁLISIS de esfuerzos	40
3.3	Selección de material para la construcción del brazorobótico .	51
3.4	cálculo de torques	52
3.4.1	Dimensionamiento de los servomotores utilizados en el brazo robótico.....	52
3.5	cálculo de la banda transportadora	54
3.6	Material seleccionado para la construcción de la banda transportadora	58

CAPÍTULO 4.....	62
4. selección de componentes electrónicos.....	62
4.1 selección de serVomotorES para EL brazo robótico.....	62
4.1.1 selección del servomotor utilizado en la base GIRATORIA del brazo robótico.....	62
4.1.2 selección del servomotor utllizado en EL eslabón 1 del brazo robótico	64
4.1.3 selección del servomotor utilizado eN el eslabón 2 del brazo robótico.	65
4.1.4 selección del servomotor utllizado eN el eslabón 3 del brazo robótico	65
4.1.5 selección del servomotor utllizado eN el porta herramientas del brazo robótico.....	67
4.2 selección DE MICROCONTROLADORES.....	69
4.3 selección DEl aerógrafo.....	72
4.4 selección del compresor	73
4.5 sensores fotoeléctricos	74
4.6 Panel de control.....	75
4.6.1 elEmentos que integran el panel de control	75
4.7 selección de la fuente de energía	76
 CAPÍTULO 5	 79
5. INTERFAZ GRÁFICA (GUIDE).....	79
5.1 introducción.....	79
5.2 programación en guide	80
5.3 programación en simulink	82
5.4 flujogramas	85
5.4.1 flujograma de la programación en GUIDe	85
5.4.2 flujograma de la cinemática directa	86
5.4.3 flujograma cinemática inversa	88

5.4.4	flujograma programa principal.....	89
5.4.5	Flujograma programación de la banda transportadora	90
CAPÍTULO 6	91
6.	PRUEBAS Y RESULTADOS	91
6.1	PRUEBAS ÁREA DE PINTADO.....	91
CAPÍTULO 7	95
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
7.1	CONCLUSIONES.....	95
7.2	recomendaciones	96
8	Bibliografía	98
	anexos	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.1 Robot Unimate	6
Fig 1.2 Mapa conceptual tipos de robots.....	6
Fig 1.3 Robot móvil terrestre	7
Fig 1.4 Prototipo humanoide ASIMO.....	8
Fig. 1.5 Robot industrial	9
Fig 1.6 Clasificación de los robots.....	10
Fig 1.7 Ejemplo de estructura mecánica y elementos consecutivo de un robot.....	12
Fig 1.8 Los seis pares inferiores de Reuleaux.....	14
Fig 1.9 Potenciómetro	16
Fig 1.10 Disposición de un codificador óptico (encoder)	17
Fig 1.11 Cilindro neumático.....	19
Fig 1.12 Representación de un vector en coordenadas cartesianas en 2 y 3 dimensiones	22
Fig 1.13 Representación de a) coordenadas polares y b) coordenadas cilíndricas	23
Fig 1.14 Representación de un vector en coordenadas esféricas.....	24
Fig 2.1 Relación entre cinemática directa e inversa	30
Fig 2.2 Cinemática de un brazo planar.....	30
Fig 2.3 Diagrama de las variables articulares.....	31
Fig 2.4 Triángulo rectángulo formado por P_x , P_z , P_{xz}	33
Fig 2.5 Diagrama de análisis de variables.....	36
Fig 3.1 Diagrama brazo robótico	41
Fig 3.2 Diagrama de cuerpo libre	42
Fig 3.3 Reacciones y momentos en el eslabón crítico.	44
Fig 3.4 Corte de la pieza del eslabón crítico.....	45
Fig 3.5 Diagrama de área de momento de inercia	46
Fig 3.6 Resultado Von Mises en solidwork.....	49
Fig 3.7 Momento aplicado al eslabón.....	50
Fig 3.8 Resultado FDS en solidwork	50

Fig 3.9 Geometría básica de una transmisión por bandas.....	54
Fig 3.10 Relación de transmisión.....	56
Fig 3.11 Características de los tubos cuadrados	59
Fig 3.12 Tubos estructurales rectangulares y cuadrados	60
Fig 3.13 Poleas de aluminio.....	60
Fig 3.14 Banda transportadora	61
Fig 4.1 Imagen servomotor HK15338 Giant MG Digital Servo.....	63
Fig 4.2 Imagen del servomotor VS-11	65
Fig 4.3 Imagen del servomotor Hextronik HX 5010 – Twin Bearing Servo	67
Fig 4.4 Imagen del micro servo Turnigy TG9e	68
Fig 4.5 Imagen Arduino Due	70
Fig 4.6 Imagen Arduino nano.....	71
Fig 4.7 Imagen aerógrafo.....	73
Fig 4.8 Mini compresor modelo AS-06.....	74
Fig 4.9 Sensor fotoeléctrico E18-D50NK	75
Fig 4.10 Fuente de energía BK PRECISION 1735A	77
Fig 4.11 Adaptador Techman AD 1200 F	78
Fig 4.12 Adaptador Gexxic GEAS 1700.....	78
Fig 5.1 Interfaz gráfica	79
Fig 5.2 Casillero de ingreso de valores de posición.....	80
Fig 5.3 Casillero de ingreso de valores de orientación de los dos últimos grados de libertad	80
Fig 5.4 Diagrama de curvas descritas por los diferentes servomotores..	81
Fig 5.5 Simulación de los movimientos en Simulink	81
Fig 5.6 Programación en bloques Simulink.....	82
Fig 5.7 Ejemplo de secuencia en escalera	83
Fig 5.8 Ingresos de parámetros en el bloque Repeating Sequence Stair	83
Fig 5.9 Configuración del número de Pin de arduino	84
Fig 5.10 Función de descarga Deploy to Hardware	85
Fig 5.11 Flujograma de la interfaz gráfica.....	86
Fig 5.12 Flujograma cinemática directa	87

Fig 5.13 Flujograma cinemática inversa.....	88
Fig 5.14 Flujograma programa principal.....	89
Fig 5.15 Flujograma programación banda transportadora	90
Fig 6.1 Pirámide antes de ser pintada.....	93
Fig 6.2 Pirámide después de ser pintada	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Propiedades físicas de materiales.	51
Tabla 4.1 Cuadro comparativo entre los servomotores HK15338 Giant MG Digital Servo Hitec HS-7955TG	62
Tabla 4.2 Cuadro comparativo entre los servomotores VS-11 Servo y Turnigy TGY-1501MG Servo	64
Tabla 4.3 Cuadro comparativo entre los servomotores Hextronik HX 5010 – Twin Bearing Servo y Hitec HS-485 HB Servo	66
Tabla 4.4 Cuadro comparativo entre los micro servos Turnigy TG9e y Hitec HS-65MG micro servo	68
Tabla 4.5 Tabla comparativa entre las placas arduino Due y mega 2560	69
Tabla 4.6 Elementos de panel de control.....	76
Tabla 6.1 Prueba de pintado con pintura de agua	91
Tabla 6.2 Prueba de pintado con pintura acrílica.....	92

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1 PROBLEMA

En la actualidad la carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte cuenta con un laboratorio que posee varios módulos de neumáticos, electroneumáticos y de automatización, siendo indispensable complementarlos con un módulo de robótica (brazo robótico) para mejorar la calidad en el aprendizaje y en el desarrollo de las prácticas dedicadas para los estudiantes de la carrera.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Construir un módulo didáctico para el proceso de automatización en el pintado de cuerpos geométricos, mediante un brazo robótico, para el laboratorio de la carrera de ingeniería en mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Modelamiento matemático de un brazo robótico de 5 grados de libertad.
- b) Dimensionar el conjunto de componentes mecánicos del módulo.

- c) Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos que intervienen en el módulo.
- d) Realizar la interfaz gráfica para la programación del módulo de pintura.
- e) Verificar el funcionamiento del módulo mediante pruebas.
- f) Elaborar manual de usuario.
- g) Hacer un manual de prácticas de laboratorio.

1.3 ALCANCE

El módulo reforzará los conocimientos teóricos adquiridos por medio de prácticas de laboratorio, dicho módulo simulará un proceso industrial, el cual el estudiante deberá estar en capacidad de manipular todos los componentes que está conformado, para la construcción del mismo se utilizará: servomotores, sensores de posición, además de una banda transportadora, permitiendo de esta manera adquirir experiencia en un proceso industrial.

1.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Un brazo robótico de 5 grados de libertad será el encargado de realizar la operación de pintura en cuerpos geométricos de dimensiones máximas de (20cm x 20cm x20cm). La boquilla de pintura estará sujeta a la porta herramientas del brazo robótico y tendrá su alimentación del fluido por medio de mangueras; el proceso de pintado se realizará mediante aspersion por aire.

La placa de control para el módulo estará compuesto por un microcontrolador que realizará un puente (bridge) por cual se realizará la programación de los movimientos del robot. El posicionamiento de los

cuerpos y de la banda será de acuerdo al estado de los sensores de posición.

La programación de los movimientos se realizará por medio de una interfaz gráfica desarrollada en el software Matlab utilizando cinemática inversa.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la robótica y la automatización de procesos en líneas de producción se han convertido en una necesidad en las industrias debido a la competitividad y al mejoramiento continuo de las prácticas de manufactura del producto final. En muchas industrias se utilizan brazos robóticos usados en procesos de soldadura, pintura, líneas de ensamblaje, etc. Un ejemplo de aplicación se encuentra en las industrias automotrices en donde se utilizan los brazos robóticos para soldar o pintar carrocerías, esto se debe a la gran precisión que estos tienen para realizar las tareas.

En el país el campo de la robótica está en el auge, puesto que muchas industrias se encuentran en una etapa de crecimiento continuo. Pero la gran mayoría de maquinaria con nueva tecnología es extranjera, y la producción nacional es muy reducida. Por eso es de gran importancia que se produzca tecnología en nuestro país, para dejar de ser importadores de maquinarias.

El presente módulo está dedicado a la enseñanza y realización de prácticas de laboratorio, también tiene como finalidad simular un proceso industrial que permitirá mejorar la manipulación y comprensión del funcionamiento de los componentes mecánicos y electrónicos que conforman el módulo.

1.5 LA ROBÓTICA

Chong (2009) dice que:

La robótica es el diseño, fabricación y utilización de máquinas automáticas programables con el fin de realizar tareas repetitivas como el ensamble de automóviles, aparatos y otras actividades. Básicamente, la robótica se ocupa de lo concerniente a los robots, lo cual incluye el control de motores, mecanismos automáticos neumáticos, sensores, sistemas de cómputos, etc.

En la robótica se reúnen para un mismo fin varias disciplinas confluente, pero diferentes, como la mecánica, la electrónica, la automática, la informática, etc. (p.5)

1.5.1 LEYES DE LA ROBÓTICA

A los robots se los creaba con el único objetivo de ser sirvientes de las personas, para los cuales se crean leyes para evitar algún tipo de problema.

Estas leyes fueron escritas por Isaac Asimov, las cuales son descritas a continuación por Kumar Saha (2010):

- a) Un robot no debe dañar a un ser humano ni, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.
- b) Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si éstas entran en conflicto con la primera ley.
- c) Un robot debe proteger su propia existencia, a menos que ésta entre en conflicto con las dos primeras leyes. (p. 2)

1.6 ROBOTS

Los robots son máquinas programables fabricadas para realizar movimientos repetitivos o para sustituir al hombre en actividades o tareas que ponga en riesgo la vida de los seres humanos.

Un robot está compuesto de sensores, elementos mecánicos y eléctricos que permiten que el robot ejecute las actividades para la cual ha sido creado.

Otras definiciones de robot según Chong (2009):

- a) Máquina controlada por ordenador y programada para moverse, manipular objetos y realizar trabajos a la vez que interacciona con su entorno. Los robots son capaces de realizar tareas repetitivas de forma más rápida, barata y precisa que los seres humanos. El término procede de la palabra checa rebota, que significa “trabajo obligatorio”.
- b) Un robot es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover material, piezas, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos programados variables para la realización de tareas variadas. Para realizar cualquier tarea útil el robot debe interactuar con el entorno, el cual puede incluir dispositivos de alimentación, otros robots y, lo más importante, gente. Consideramos que la robótica abarca no solamente el estudio del robot en sí, sino también las interfaces entre él y sus alrededores.
- c) Ingenio electrónico que puede ejecutar automáticamente operaciones o movimientos muy variados, y capaz de llevar a cabo todos los trabajos normalmente ejecutados por el hombre.
(p. 5).

En la figura 1.1 se observa la fotografía de un robot



Fig 1.1 Robot Unimate

Fuente: (<http://www.roboticsbible.com/robot-drive-systems.html>)

1.6.1 TIPOS DE ROBOTS

En la actualidad existe una gran variedad de robots cada uno de diferente forma y estructuras que definen su funcionalidad y aplicación, pero podemos clasificarlos de la siguiente manera general.

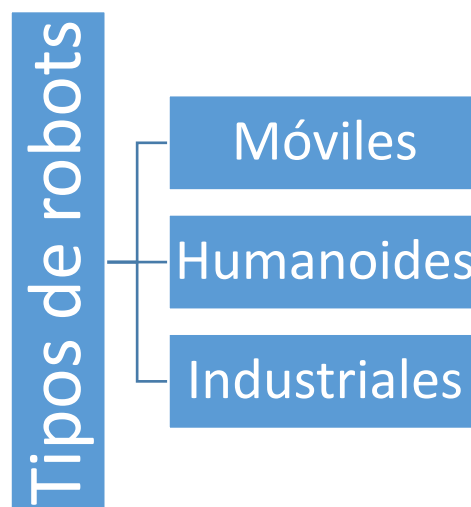


Fig 1.2 Mapa conceptual tipos de robots

1.6.1.1 Robots Móviles

Son los robots que se pueden desplazar según el medio en que estos se encuentren, los robots terrestres se desplazan por medio de ruedas o patas, los robots marinos están equipados con sensores especiales para la navegación por el agua y por último los robots aéreos que son naves no tripuladas utilizadas generalmente para tomar fotos por el aire para el reconocimiento de terrenos y superficies.

En la figura 1.3 se presenta la foto de un robot móvil terrestre.



Fig 1.3 Robot móvil terrestre

Fuente :(<http://www.xatakaciencia.com>)

1.6.1.2 Robots humanoides

Son robots que pueden imitar algunas acciones que realiza las personas como por ejemplo: caminar, ver, trasladar objetos, etc.

En la figura 1.4 se muestra un prototipo humanoide.



Fig 1.4 Prototipo humanoide ASIMO

Fuente:(<https://sites.google.com/site/irenerobotica/6-robots-moviles>)

1.6.1.3 Robots industriales

Son los robots más utilizados debido a su uso en las industrias, estos robots son de gran importancia para la modernización de empresas, el objetivo de los robots industriales es mejorar la competitividad, productividad, eficiencia y rentabilidad de las empresas.

En la figura 1.5 se muestra un robot industrial de la compañía ABB



Fig. 1.5 Robot industrial

Fuente: (Compañía ABB)

1.6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS

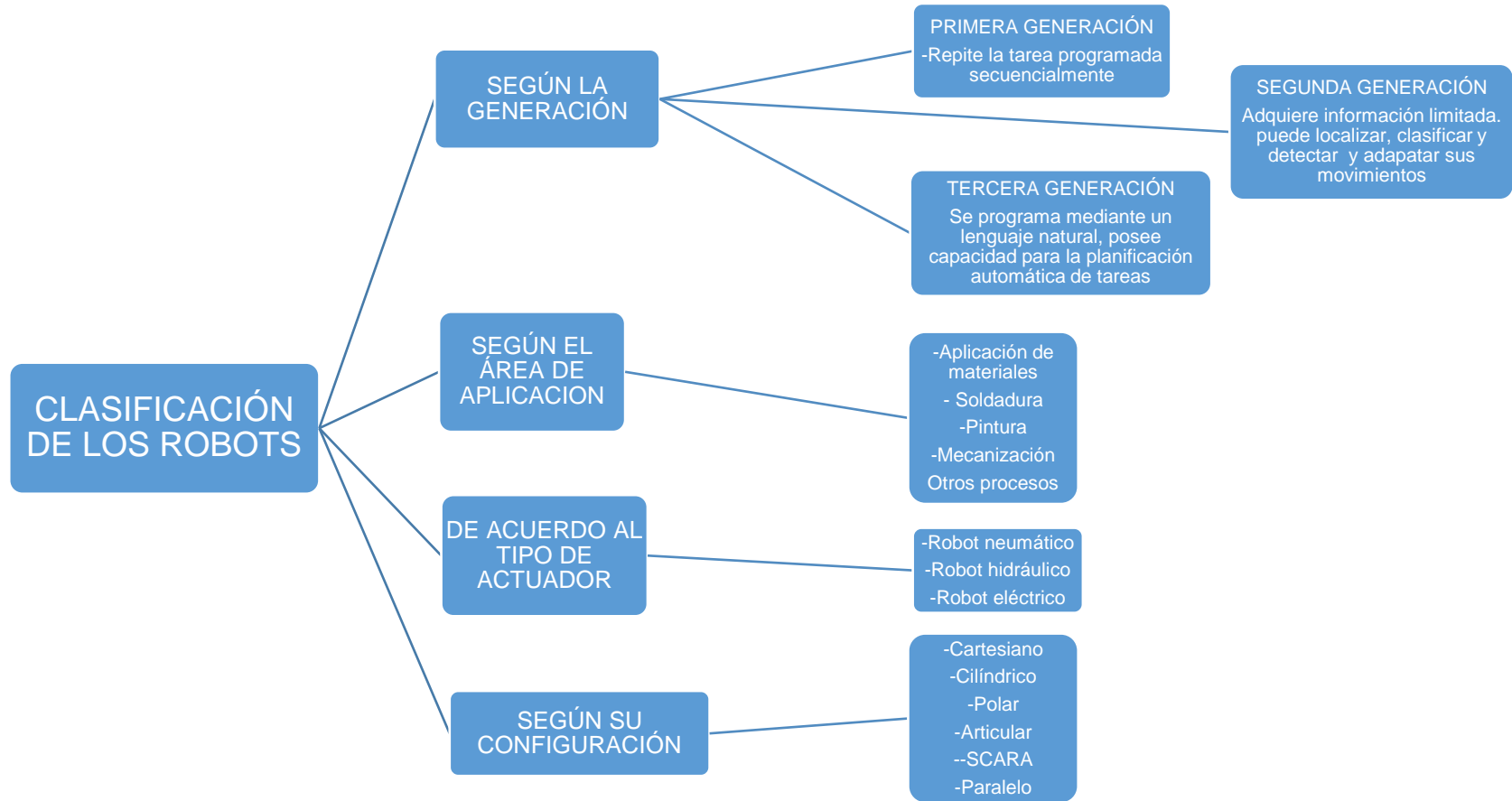


Fig 1.6 Clasificación de los robots

1.7 LA ROBÓTICA EN EL ECUADOR

Tomando en cuenta la clasificación los robots en Ecuador se desarrolla a nivel académico robots móviles, los cuales son creados para concursar a nivel interuniversitario o interno. Las competencias de robots se clasifican en diferentes categorías como por ejemplo: seguidores de línea velocidad y destreza, robots de pelea (sumo), etc.

Pero también en Ecuador existen grupos de personas emprendedoras que no se limitaron a realizar robots académicos sino que crearon robots que salieron al mercado como es el caso de Teebot.

Teebot es un robot que permite que los niños en edades de 4 a 12 años aprendan robótica y programación mientras se divierten jugando.

El robot diseñado y ensamblado 100% en el Ecuador, consta de un software en la cual el niño programa utilizando bloques gráficos, lo puede descargar al robot y este ejecuta las instrucciones asignadas. De igual manera puede ser controlado de modo remoto por medio de dispositivos móviles.

Teebot fue desarrollado por las empresas EGM Robotics y Clear Minds, siendo esta última apoyada y asesorada por CONQUITO, a través del proyecto QuitoTech en sus inicios.

Ahora que es sueño cristalizado CONQUITO continúa con su apoyo y se enorgullece por ser parte de este gran cambio que Teebot ha generado dentro de nuestro país. (CONQUITO, 2015)

1.8 MORFOLOGÍA DEL ROBOT

Un robot está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, sensores internos, actuadores y un sistema de control.

1.8.1 ESTRUCTURA MECÁNICA DE UN ROBOT

Mecánicamente un robot se forma por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada uno de los eslabones consecutivos.

En la figura 1.7 se observa una estructura mecánica de un brazo robótico.

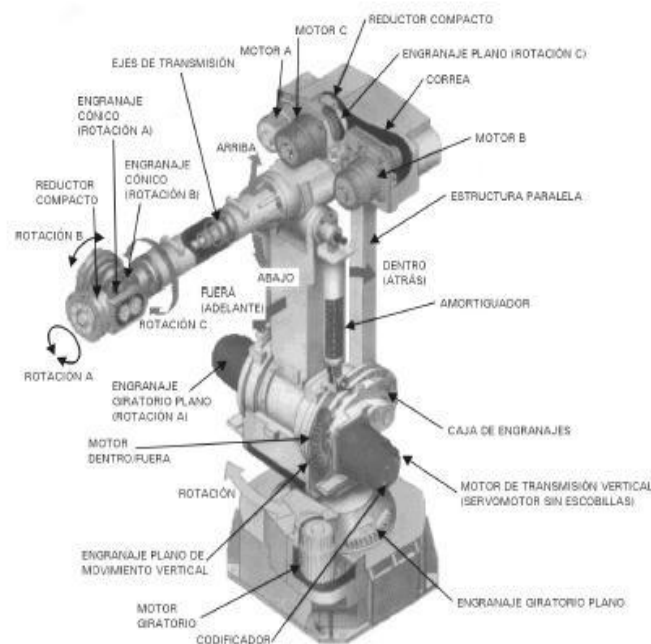


Fig 1.7 Ejemplo de estructura mecánica y elementos consecutivo de un robot

Fuente: (INSER Robótica)

1.8.1.1 Tipos de articulaciones

En la estructura del robot se destaca los tipos de articulaciones, los cuales describirá los más importantes a continuación:

La articulación de rotación suministra un grado de libertad consistente en una rotación alrededor de un eje. Esta articulación es la más empleada.

En la articulación prismática el grado de libertad consiste en una traslación a lo largo del eje de la articulación.

En la articulación cilíndrica existen dos grados de libertad: una de rotación y una traslación.

La articulación planar está caracterizada por el movimiento de desplazamiento en un plano existiendo dos grados de libertad.

Por último, la articulación esférica combina tres giros en tres direcciones perpendiculares en el espacio. (Baturone, 2001)

En la figura 1.8 se indica los tipos de articulaciones que se describió anteriormente.

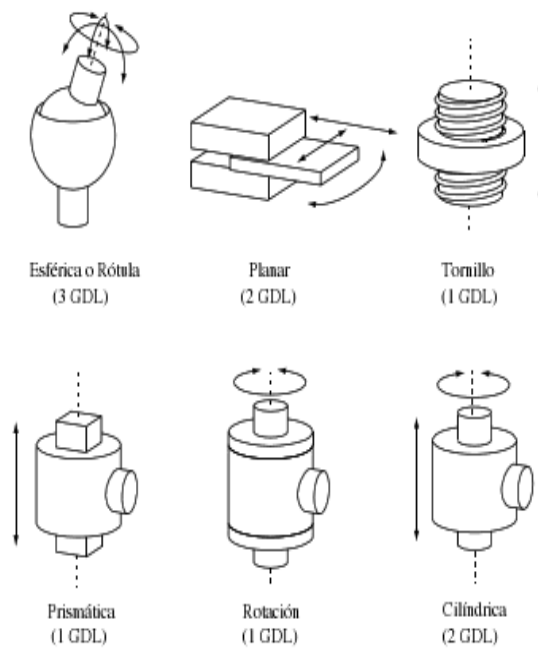


Fig 1.8 Los seis pares inferiores de Reuleaux

Fuente: (Barrientos, 2007)

El número de grados de libertad puede ser obtenido mediante la siguiente fórmula:

Fórmula de Glüber

$$\text{NGDL} = \lambda(n - j - 1) + \sum_{i=1}^j f_i$$

Donde:

λ =GLD del espacio del trabajo

n = Número de eslabones

j = Número de articulaciones

f_i = Grados de libertad permitidos a la articulación

Para este proyecto se utiliza los siguientes datos:

$$\lambda = 6$$

$$n = 3$$

$$j = 3$$

$$f_i = 5$$

$$NGDL = \lambda(n - j - 1) + \sum_{i=1}^j f_i$$

$$NGDL = 6(3-2-1) + 5$$

$$NGDL = 5$$

1.8.2 SENSORES INTERNOS

“Los sensores utilizados para que el robot tenga conocimiento de su estado, se conocen como sensores internos; éstos son, básicamente, sensores de posición y sensores de velocidad: Los sensores utilizados para tareas auxiliares como calibración, finales de carrera, referencias externas suelen ser sensores de presencia”. (Sánchez, 2002)

En cuanto a los sensores de posición, y atendiendo al tipo de señales que manejan, existen sensores analógicos y digitales.

1.8.2.1 Sensores de posición analógicos.

A continuación se detalla algunos tipos de sensores analógicos existentes:

- a) **Potenciómetro:** “Se trata de un sensor resistivo, de bajo costo, exactitud media y válida únicamente para pequeños rangos de movimiento y pequeñas velocidades”. (Sánchez, 2002)
- b) **Syncro:** “Se trata de un sensor inductivo compuesto de tres bobinas desfasadas 120 grados: Estas suponen muy poca carga

para el actuador y permite un aislamiento eléctrico de sensor”.
(Sánchez, 2002)

- c) **Resólver:** “Similar al syncro, utiliza dos bobinas desfasadas 90 grados en vez de tres. Midiendo tensiones entre los dos devanados se obtiene la posición angular que consta de dos valores que se conocen como formato resólver”. (Sánchez, 2002)

En figura 1.9 se indica la imagen de un sensor de posición analógico (Potenciómetro).

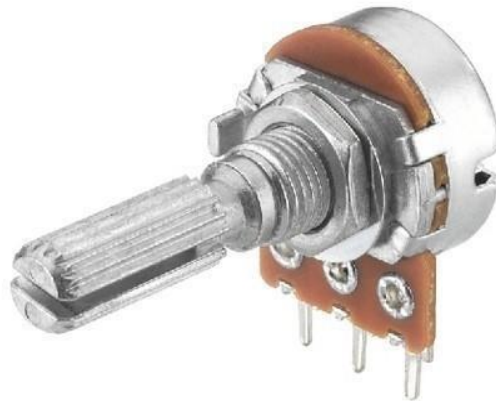


Fig 1.9 Potenciómetro

Fuente: <http://www.cetronic.es/>

1.8.2.2 Sensores de posición digitales.

- a) **Encoders:** Los codificadores ópticos o encoders incrementales constan, en su forma más simple, de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistante entre sí; de un sistema de iluminación en el que la luz es colimada de forma correcta, y de un elemento foto receptor. El eje, cuya disposición se quiere medir, va acoplado al

disco transparente. Con esta disposición, a medida que el eje gire se irán generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese la marca.

En la figura 1.10 se muestra la disposición de un codificador óptico

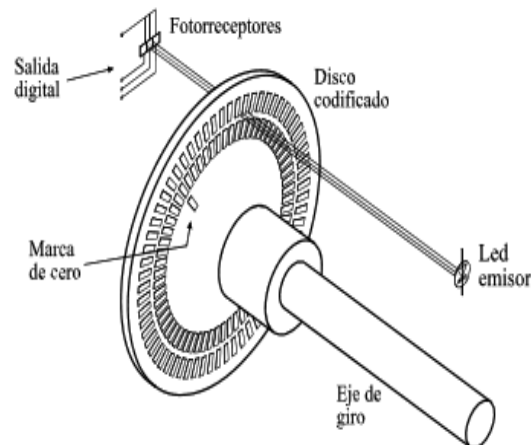


Fig 1.10 Disposición de un codificador óptico (encoder)

Fuente: (Barrientos, 2007)

1.8.2.3 Sensores de velocidad

“Los sensores de velocidad realizan la medición tomando medidas de posición consecutivas a intervalos de tiempo constante, calculando la razón de cambio respecto al tiempo de los valores de posición”. (Kumar Saha, 2010)

- a) **Tacómetro:** Estos sensores pueden encontrar directamente la velocidad en cualquier momento y sin mucha carga computacional. Estos miden la velocidad de rotación de un elemento.

- b) **Todos los sensores de posición:** Básicamente todos sensores de posición, cuando se utilizan con ciertos límites de tiempo, pueden dar velocidad, por ejemplo, el número de pulso proporcionados por un encoder de posición incremental dividido entre el tiempo en hacerlo.

- c) **Sensor de efecto Hall:** Otro dispositivo de velocidad es el de efecto Hall, cuyo principio se describe a continuación. Si una pieza plana de material conductor llamada chip Hall se sujeta a una diferencia de potencial en sus dos lados opuestos, entonces el voltaje que se genera a través de las caras perpendiculares es cero. Pero si un campo magnético se induce en ángulos rectos al conductor, el voltaje se genera en las otras dos caras perpendiculares. Entra más alto sea el valor de campo, más lo será el nivel de voltaje. (Kumar Saha, 2010)

1.8.3 ACTUADORES

Los actuadores tienen como objetivo generar los movimientos de los elementos del robot, estas órdenes son generadas por una unidad de control. Los actuadores que pueden ser utilizados en la robótica son:

- a) **Actuadores neumáticos:** Los actuadores neumáticos utilizan aire comprimido para su accionamiento y se usan extensamente para realizar los movimientos típicos de abrir y cerrar las mordazas en el sujetador (gripper) de un robot. Los actuadores neumáticos su fuente de energía es aire a presión entre 5 y 10 bar. En la figura 1.11 se muestra la imagen de un cilindro neumático.



Fig 1.11 Cilindro neumático

Fuente: (Cortesía FESTO)

b) **Actuadores hidráulicos:** Este tipo de actuadores no se diferencian mucho de los neumáticos. En ellos, en vez de aire, se utilizan aceites minerales a una presión comprendida normalmente entre los 50 y 100 bar, llegándose en ocasiones a superar los 300 bar. Este tipo de actuadores presentan estabilidad frente a cargas estáticas. Esto indica que el actuador es capaz de soportar cargas, como el peso o una presión ejercida sobre una superficie, sin aporte de energía.

c) **Actuadores eléctricos:** Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean lo más usados en los robot industriales.

Se distinguen tres tipos de tipos de actuadores eléctricos: motores de corriente continua, motores de corriente alterna y motores paso a paso.

Estos actuadores tienen diferentes características que deben ser tomadas en cuenta a la hora de ser seleccionadas, características como:

- Potencia
- Controlabilidad
- Peso y volumen
- Precisión
- Velocidad
- Mantenimiento

1.8.4 SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas de control de robots pueden considerarse funcionalmente descompuestos según una estructura jerárquica: En el nivel inferior se realizan las tareas de servo control y supervisión de las articulaciones. La mayor parte de los robots industriales actuales emplean servomecanismos convencionales con realimentación de posición y velocidad para generar señales sobre los actuadores de las articulaciones.

Los parámetros del controlador son fijos aunque varíen significativamente las condiciones de trabajo con la carga o el propio movimiento. Las cargas inerciales, acoplamientos entre articulaciones, y efectos de gran variedad son todos dependientes de la posición: El problema se amplía al aumentar la velocidad. Como resultado, en la mayor parte de los robots industriales actuales, la velocidad de operación debe ser pequeña.

El siguiente nivel de control se ocupa de la generación de trayectorias, entendiendo por tal la evolución del órgano terminal cuando se desplaza de una posición a otra. El generador de trayectorias debe suministrar a los servomecanismos las referencias apropiadas para conseguir la evolución deseada del órgano terminal a partir de la especificación del movimiento deseado en el espacio de la tarea. Los niveles superiores se ocupan de la comunicación con el usuario, interpretación de los programas, percepción sensorial y planificación. (Baturone, 2001).

1.9 LOCALIZACIÓN ESPACIAL

“Para que el robot pueda realizar las tareas que son ordenadas es necesario que este conozca la posición y la orientación de los elementos a controlar o manipular con respecto a la base”. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

1.9.1 REPRESENTACIÓN DE LA POSICIÓN

La localización de un cuerpo rígido en el espacio precisa de especificar tanto su posición como su orientación. Ambas deben ser establecidas en relación a un sistema de referencia definida, pudiéndose hacer uso de diferentes modos o herramientas para especificar la relación entre la posición y orientación del cuerpo y los sistemas de referencia. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

1.9.1.1 Sistema cartesiano de referencia

Los sistemas de referencia se definen mediante ejes perpendiculares entre sí con un origen definido. Éstos se denominan sistemas cartesianos y en el caso de trabajar en el plano (2 dimensiones), el sistema de referencia OXY correspondiente queda definido por dos vectores OX y OY perpendiculares entre sí con un punto de intersección común O.

Si se trabaja en el espacio (tres dimensiones), el sistema cartesiano OXYZ estará compuesto por una terna ortonormal de vectores unitarios OX, OY, y OZ. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

En la figura 1.12 se muestra un sistema cartesiano de 2 y 3 dimensiones

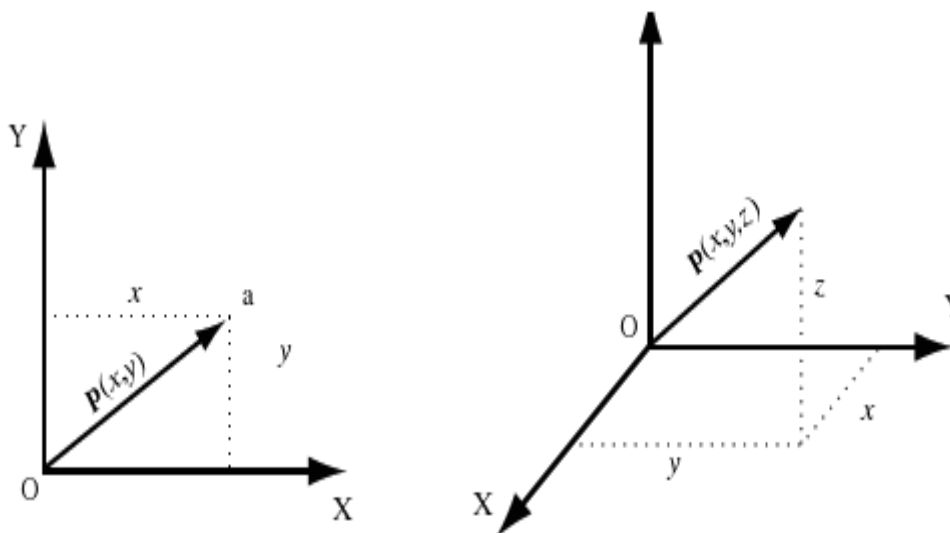


Fig 1.12 Representación de un vector en coordenadas cartesianas en 2 y 3 dimensiones

Fuente: (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

1.9.1.2 Coordenadas cartesianas

Si se trabaja en un plano, con un sistema coordenado OXY de referencia asociado, punto a vendrá expresado por los componentes (x,y) correspondiente a los ejes coordenados del sistema OXY. Este punto tiene asociado un vector $p(x,y)$, que desde el origen O del sistema OXY hasta el punto a (véase la figura 1.12). En el caso que se trabaje con tres dimensiones, un vector viene definido con respecto al sistema de referencia OXYZ mediante las coordenadas correspondientes a cada uno de los ejes coordenados.

1.9.1.3 Coordenadas polares y cilíndricas

Para un plano, es posible también caracterizar la localización de un punto o un vector p respecto a un sistema de ejes cartesianos de referencia

OXY utilizando las denominadas coordenadas polares $p(r,\theta)$. En esta representación, r representa a la distancia desde el origen O del sistema hasta el extremo del vector p , mientras que θ es el ángulo que forma el vector p con el eje OX. En el caso de trabajar en tres dimensiones, un vector p podrá expresarse con respecto a un sistema de referencia OXYZ, mediante las coordenadas cilíndricas $p(r,\theta,z)$. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

En la figura 1.13 se muestra la representación de coordenadas polares y cilíndricas.

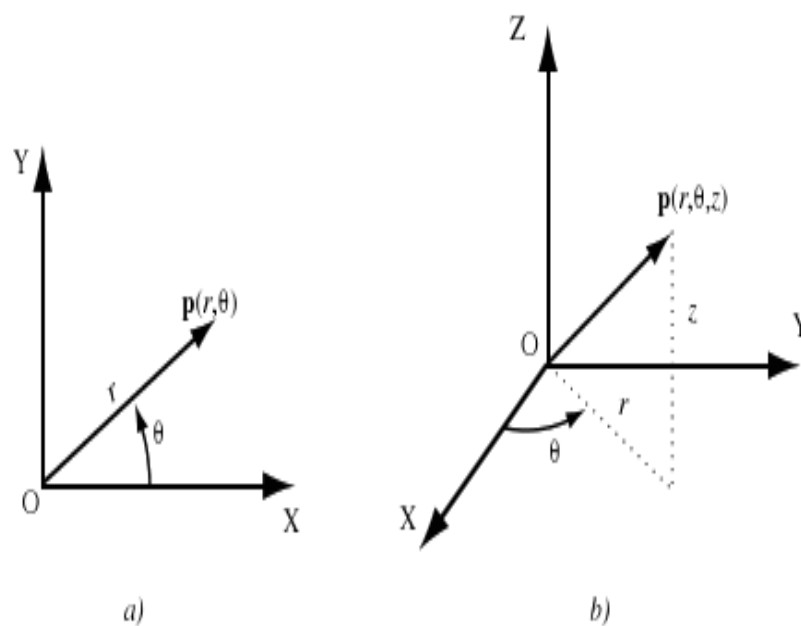


Fig 1.13 Representación de a) coordenadas polares y b) coordenadas cilíndricas

Fuente: (Barrientos, Fundamentos de robótica, 2007)

1.9.1.4 Coordenadas esféricas

También es posible utilizar coordenadas esféricas para realizar la localización espacial de un vector en un espacio de tres dimensiones. Utilizando el sistema de referencia OXYZ, el vector p tendrá como coordenadas esféricas $p(r,\theta,\phi)$, donde la componente r es la distancia desde el origen O hasta el extremo del vector p , la componente θ es el ángulo formado por la proyección del vector p sobre el plano OXY con el eje OX y la componente ϕ es el ángulo formado por el vector p con el eje OZ. En la figura 1.14 se muestra la representación de una coordenada esférica. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

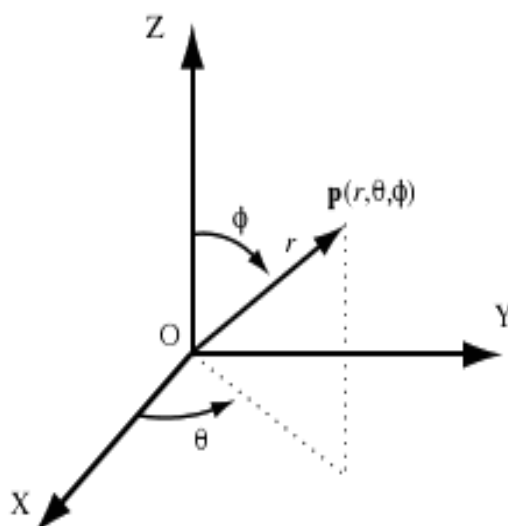


Fig 1.14 Representación de un vector en coordenadas esféricas

Fuente: (Barrientos, Fundamentos de robótica, 2007)

1.9.2 REPRESENTACIÓN DE LA ORIENTACIÓN

Un punto queda totalmente definido en el espacio a través de los datos de su posición. Sin embargo, para el caso de sólido rígido, es necesario además definir cuál es su orientación con respecto a un sistema de referencia. En el caso de un robot, no es suficiente con especificar cuál

debe ser la posición de su extremo, sino que, en general, es también necesario indicar su orientación. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

1.9.2.1 Matrices de rotación

“Las matrices de rotación son el método más extendido para la descripción de orientaciones debido principalmente a la comodidad que proporciona el uso del álgebra lineal”. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007).

Las siguientes matrices representan las rotaciones en los tres ejes (x,y,z), en donde Reyes Cortés (2012) afirma que:

Matriz de rotación alrededor del eje z.

$$T(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta & 0 \\ \text{sen}\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz de rotación alrededor del eje y.

$$T(y, \Phi) = \begin{bmatrix} \cos\Phi & 0 & \text{sen}\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen}\Phi & 0 & \cos\Phi \end{bmatrix}$$

Matriz de rotación alrededor del eje x.

$$T(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\text{sen}\alpha \\ 0 & \text{sen}\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

1.9.2.2 Traslación

Supóngase que el sistema OUVW únicamente se encuentra trasladado un vector $p = p_x i + p_y j + p_z k$ con respecto al sistema OXYZ.

$$T(p) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & P_x \\ 0 & 1 & 0 & P_y \\ 0 & 0 & 1 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Que es la denominada matriz de traslación básica. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

1.10 COORDENADAS Y MATRICES HOMOGÉNEAS

Barrientos et al. (2007) describe a continuación que:

La representación mediante coordenadas homogéneas de la localización de sólidos en un espacio n-dimensional se realizará a través de coordenadas de un espacio (n+1)- dimensional. Es decir, un espacio n-dimensional se encuentra representado en coordenadas homogéneas (n+1) dimensiones, de tal forma que un vector $p(x,y,z)$ vendrá representado por $p(wx,wy,wz,w)$, donde w tiene un valor arbitrario y representa un factor de escala. De forma general, un vector $p=ai + bj + ck$, donde i, j, k son vectores unitarios de los ejes OX, OY y OZ del sistema de referencia OXYZ, se representa en coordenadas homogéneas mediante el vector columna. (p.76)

$$p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aw \\ bw \\ cw \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ 1 \end{bmatrix}$$

1.11 MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN HOMOGÉNEA

Se define a una matriz de transformación homogénea a una matriz de 4x4 que representa la transformación de un vector en coordenadas homogéneas de un sistema de coordenadas a otro

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & p_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & w_{1 \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escalado} \end{bmatrix}$$

En donde:

$R_{3 \times 3}$: matriz de rotación

$P_{3 \times 1}$: vector de traslación

$f_{1 \times 3}$: transformación de perspectiva

$w_{1 \times 1}$: escalado global

En robótica, generalmente se considera la submatriz de perspectiva como nula y la submatriz de escalado global como uno.

Un vector Homogéneo siempre tendrá 4 dimensiones.

En resumen, una matriz de transformación homogénea se puede aplicar para:

- Representar la posición y orientación de un sistema girado y trasladado O'UVW con respecto a un sistema fijo de referencia OXYZ, que es lo mismo que representar una rotación y traslación realizada sobre un sistema de referencia.
- Transformar un vector expresado en coordenadas con respecto a un sistema O'UVW, a su expresión en coordenadas del sistema de referencia OXYZ.
- Rotar y trasladar un vector con respecto a un sistema de referencia fijo OXYZ. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

1.11.1 TRASLACIÓN

Supóngase que el sistema OUVW únicamente se encuentra trasladado un vector $p = p_x i + p_y j + p_z k$ con respecto al sistema OXYZ.

$$T(p) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Cambio de Coordenadas de OUVW a OXYZ:

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_u \\ r_v \\ r_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_u + p_x \\ r_v + p_y \\ r_w + p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

1.11.2 ROTACIÓN

Supóngase que el sistema OUVW solamente se encuentra rotado con respecto al sistema OXYZ, y la submatriz de rotación se define por R3x3 (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

$$T(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\text{sen}\alpha & 0 \\ 0 & \text{sen}\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T(y, \Phi) = \begin{bmatrix} \cos\Phi & 0 & \text{sen}\Phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen}\Phi & 0 & \cos\Phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta & 0 & 0 \\ \text{sen}\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

CAPÍTULO 2

2. CINEMÁTICA DEL ROBOT

2.1 INTRODUCCIÓN

“Cinemática es la parte de la física que estudia el movimiento de sistemas mecánicos, sin tomar en cuenta las fuerzas que originan dicho movimiento, por lo tanto no involucra ecuaciones diferenciales como en el caso de la dinámica”. (Reyes Cortés, 2012).

La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento especial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que tomen sus coordenadas articulares. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

2.2 TIPOS DE ANÁLISIS CINEMÁTICO

Existen dos problemas fundamentales a resolver en la cinemática del robot, el primero se conoce como el problema cinemático directo y un segundo denominado problema cinemático inverso.

En la figura 2.1 se muestra la gráfica la relación entre la cinemática directa y la cinemática inversa.

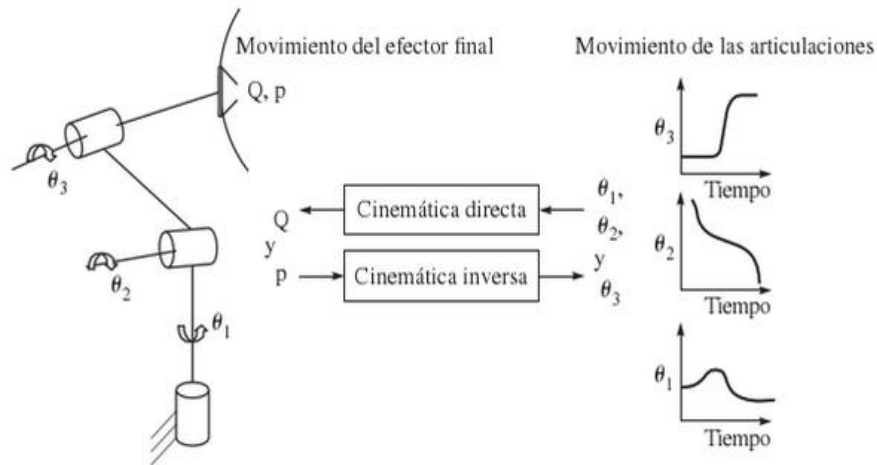


Fig 2.1 Relación entre cinemática directa e inversa

Fuente: (Kumar Saha, 2010)

2.2.1 CINEMÁTICA DIRECTA

“Consiste en determinar la posición y orientación del extremo final del robot con respecto al sistema de base del robot a partir de conocer los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos”. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007).

En figura 2.2 se indica el análisis de posición directa de un brazo planar de 2 eslabones.

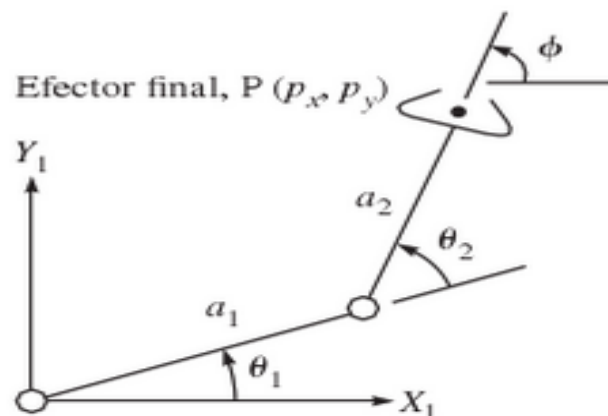


Fig 2.2 Cinemática de un brazo planar

Fuente: (Kumar Saha, 2010)

2.2.1.1 Resolución del problema cinemático mediante método geométrico

La resolución de este problema consiste en encontrar las relaciones que permiten conocer la localización espacial del extremo del robot a partir de sus valores de sus coordenadas articulares. Para la obtención de las relaciones que describen este proyecto se utilizará consideraciones geométricas para su fácil deducción.

En la figura 2.3 se muestra el diagrama de cuerpo libre de las coordenadas articulares.

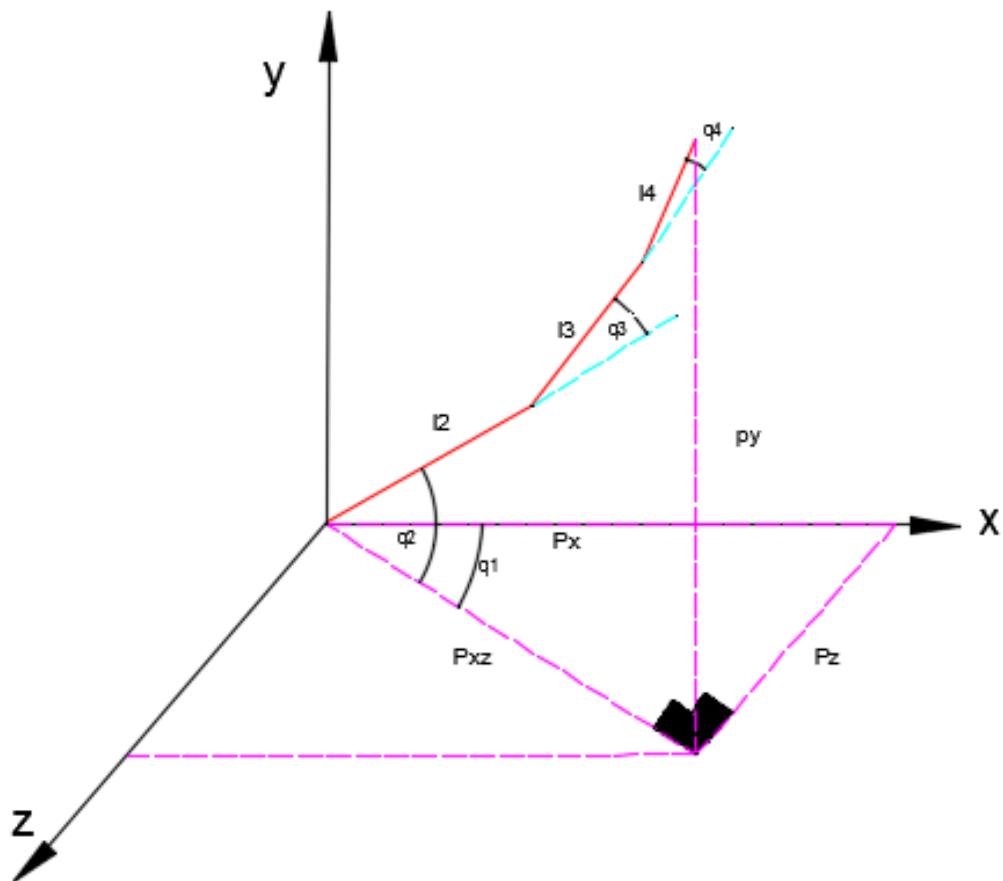


Fig 2.3 Diagrama de las variables articulares

Entonces para calcular las coordenadas P_x , P_y P_z se obtiene calculando mediante geometría, utilizando los triángulos rectángulos respectivos.

Se resolverá el triángulo rectángulo formado por P_y , la proyección P_{xz} y la longitud del primer eslabón se tiene:

$$P_{xz1} = l_2 \cos q_2$$

De la misma manera se realiza el cálculo para el segundo y tercer eslabón respectivamente.

$$P_{xz2} = l_3[\cos(q_2 + q_3)]$$

$$P_{xz3} = l_4[\cos(q_2 + q_3 + q_4)]$$

La sumatoria entre P_{xz1} , P_{xz2} , P_{xz3} se obtiene P_{xz} total:

$$P_{xz} = l_2 \cos q_2 + l_3[\cos(q_2 + q_3)] + l_4[\cos(q_2 + q_3 + q_4)] \quad \text{Ec. 2.1}$$

Se resuelve con el mismo triángulo y procede a obtener P_y :

$$P_{y1} = l_2 \operatorname{sen} q_2$$

$$P_{y2} = l_3[\operatorname{sen}(q_2 + q_3)]$$

$$P_{y3} = l_4[\operatorname{sen}(q_2 + q_3 + q_4)]$$

Sumando P_{y1} , P_{y2} , P_{y3} tenemos:

$$P_y = l_2 \operatorname{sen} q_2 + l_3[\operatorname{sen}(q_2 + q_3)] + l_4[\operatorname{sen}(q_2 + q_3 + q_4)] \quad \text{Ec. 2.2}$$

En la figura 2.4 se muestra el triángulo rectángulo comprendido entre P_{xz} , P_x y P_z .

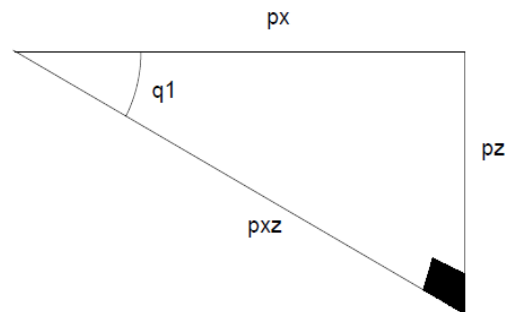


Fig 2.4 Triángulo rectángulo formado por P_x , P_z , P_{xz}

Resolviendo el triángulo rectángulo y despejando las incógnitas de la figura 2.4 se tiene:

$$P_x = P_{xz} * \cos q_1 \text{ Ec. 2.3}$$

$$P_z = P_{xz} * \sen q_1 \text{ Ec. 2.4}$$

2.2.2 CINEMÁTICA INVERSA

“El problema de la cinemática inversa consiste en la determinación de las variables de articulaciones correspondientes a una orientación y posición específicas del efector final” (Kumar Saha, 2010)

2.2.2.1 Resolución del problema cinemática inverso mediante método geométrico.

Para la resolución del problema inverso primero se debe encontrar q_1 , para esto utilizaremos el triángulo rectángulo de la figura 2.4, en donde el valor de q_1 queda definido como:

$$\operatorname{tg} q_1 = \frac{P_x}{P_z}$$

Entonces despejando q_1 tenemos:

$$q_1 = \operatorname{arctg} \frac{P_x}{P_z} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Ahora para encontrar q_3 utilizaremos el teorema de los cosenos y se obtiene lo siguiente:

$$P_x z^2 = P_x^2 + P_y^2$$

$$P_x z^2 + P_z^2 = l_2^2 + l_3^2 + 2l_2 l_3 \cos q_3$$

$$\cos q_3 = \frac{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3}$$

$$q_3 = \operatorname{arccos} \frac{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Para calcular q_2 se obtiene de la siguiente manera:

$$q_2 = \operatorname{arctg} \left(\frac{l_3 \operatorname{sen} q_3}{l_2 + l_3 \cos q_3} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{P_y \operatorname{sen} q_3}{-\sqrt{P_x^2 + P_y^2}} \right) \quad \text{Ec. 2.7}$$

Los métodos geométricos permiten obtener normalmente los valores de las primeras variables articulares, que son las encargadas de posicionar el robot (prescindiendo de la orientación del extremo), este procedimiento se basa en encontrar el suficiente número de relaciones geométricas por medio de triángulos rectángulos.

Para la resolución de este proyecto utilizaremos el método trigonométrico para el posicionamiento de los 3 primeros grados de libertad y los dos últimos grados de libertad serán los encargados de orientar el extremo, de esta manera se obtiene un mejor control al realizar la aplicación del pintado.

2.3 MODELADO MATEMÁTICO

Un modelo es una descripción, en lenguaje matemático, de un objeto que existe en un universo no-matemático. Estamos familiarizados con las previsiones del tiempo, las cuales se basan en un modelo matemático meteorológico; así como con los pronósticos económicos, basados éstos en un modelo matemático referente a economía. La mayoría de las aplicaciones de cálculo (por ejemplo, problemas de máximos y mínimos) implican modelos matemáticos. En términos generales, en todo modelo matemático se puede determinar 3 fases:

- a) **Construcción del modelo.** Transformación del objeto no-matemático en lenguaje matemático.
- b) **Análisis del modelo.** Estudio del modelo matemático.
- c) **Interpretación del análisis matemático.** Aplicación de los resultados del estudio matemático al objeto inicial no-matemático.

El éxito o fracaso de estos modelos es un reflejo de la precisión con que dicho modelo matemático representa al objeto inicial y no de la exactitud con que las matemáticas analizan el modelo. (Velázquez & Steegmann)

2.3.1 MODELADO MATEMÁTICO (ENERGÍA POTENCIAL EN LOS 3 ESLABONES)

Para el análisis del modelado matemático de este brazo robótico, se tomó en cuenta solo los 3 eslabones que lo conforman, el cual se observa en la figura 2.5 en donde se muestra las variables a analizar.

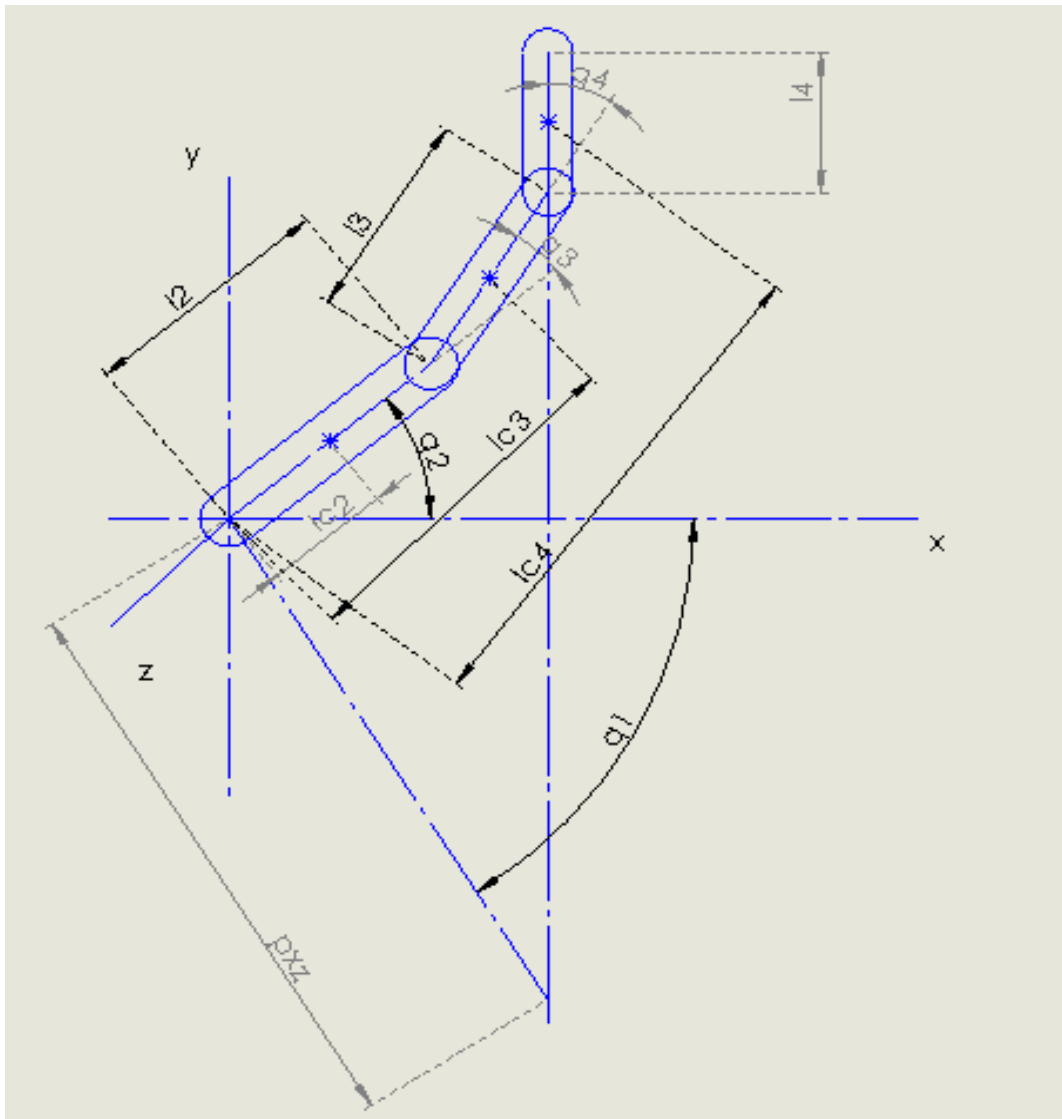


Fig 2.5 Diagrama de análisis de variables

2.3.1.1 Energía Potencial

Para el cálculo de la energía potencial se tiene en base a la masa multiplicada por la aceleración de la gravedad y altura de su centro de masa, por lo tanto se tiene:

$$E_{p1} = m_1 g l_{c2} \text{Sen}(q_2) \quad \text{Ec 2.8}$$

$$E_{p2} = m_2 g [l_2 \text{Sen}(q_2) + l_{c3} \text{Sen}(q_2 + q_3)] \quad \text{Ec 2.9}$$

$$E_{p3} = m_3 g [l_2 \text{Sen}(q_2) + l_3 \text{Sen}(q_2 + q_3) + l_{c4} \text{Sen}(q_2 + q_3 + q_4)] \quad \text{Ec 2.10}$$

Donde la suma de las energías potenciales de cada eslabón están dadas por:

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} + E_{p3} \quad \text{Ec 2.11}$$

$$E_p = m_1 g l_{c2} \text{Sen}(q_2) + m_2 g [l_2 \text{Sen}(q_2) + l_{c3} \text{Sen}(q_2 + q_3)] + m_3 g [l_2 \text{Sen}(q_2) + l_3 \text{Sen}(q_2 + q_3) + l_{c4} \text{Sen}(q_2 + q_3 + q_4)]$$

$$E_p = g \text{Sen}(q_2) (m_1 l_{c2} + m_2 l_2 + m_3 l_2) + g \text{Sen}(q_2 + q_3) (m_2 l_{c3} + m_3 l_3) + m_2 l_{c4} g \text{Sen}(q_2 + q_3 + q_4) .$$

Para el vector gravedad en sus derivadas:

$$g_1(q) = \frac{\partial E_p}{\partial q_2} = g \text{Cos}(q_2) (m_1 l_{c2} + m_2 l_2 + m_3 l_2) + g \text{Cos}(q_2 + q_3) (m_2 l_{c3} + m_3 l_3) + m_2 l_{c4} g \text{Cos}(q_2 + q_3 + q_4) .$$

Ec 2.12

$$g_2(q) = \frac{\partial Ep}{\partial q_3} = g \cos(q_2 + q_3)(m_2 l_{c3} + m_3 l_3) + g \cos(q_2 + q_3 + q_4)(m_2 l_{c4}) \quad \text{Ec 2.13}$$

$$g_3(q) = \frac{\partial Ep}{\partial q_4} = g \cos(q_2 + q_3 + q_4)(m_2 l_{c4}) \quad \text{Ec 2.14}$$

Sea $m_1=0.8$ kg, $m_2=0.8$ Kg, $m_3=0.22$ kg

$L_2=0.31$ m $L_3=0.26$ m $L_4=0.13$ m

$L_{c2}= 0.15$ m $L_{c3}=0.13$ m $L_{c4}=0.07$ m

$$g_1(q) = \frac{\partial Ep}{\partial q_2} = 9.8 \cos(q_2)(0.8 * 0.15 + 0.8 * 0.31 + 0.22 * 0.31) + 9.8 \cos(q_2 + q_3)(0.8 * 0.13 + 0.22 * 0.26) + 0.8 * 0.07 * 9.8 \cos(q_2 + q_3 + q_4) .$$

$$g_2(q) = \frac{\partial Ep}{\partial q_3} = 9.8 \cos(q_2 + q_3)(0.8 * 0.13 + 0.22 * 0.26) + 0.8 * 0.07 * 9.8 \cos(q_2 + q_3 + q_4)$$

$$g_3(q) = \frac{\partial Ep}{\partial q_4} = 0.8 * 0.07 * 9.8 \cos(q_2 + q_3 + q_4)$$

En la siguiente tabla se reemplaza las incógnitas con diferentes valores para obtener las respuestas deseadas.

Tabla 2.1 Valores de la energía potencial en cualquier instante.

GRADOS			ENERGÍA POTENCIAL 1 (watts)	ENERGÍA POTENCIAL 2(watts)	ENERGÍA POTENCIAL 3(watts)
q2	q3	q4			
10	10	10	6.17	1.96	0.48
20	20	20	5.50	1.63	0.27
30	30	30	4.49	1.06	0
40	40	40	3.27	0.37	-0.27
50	50	50	2	-0.37	-0.48
60	60	60	0.8	-1.06	-0.55
70	70	70	-0.22	-1.63	-0.48
80	80	80	-1.02	-2	-0,27
90	90	90	-1.58	-2.13	0
100	100	100	-1.95	-2	0.27
110	110	110	-2.2	-1.63	0.48
120	120	120	-2.38	-1.06	0.55
130	130	130	-2.55	-0,37	0.48
140	140	140	-2.73	0.37	0.27
150	150	150	-2.91	1.06	0
160	160	160	-3.08	1.63	-0.27
170	170	170	-3.20	2	-0.48
180	180	180	-3.24	2.13	-0.55

CAPÍTULO 3

3 DISEÑO MECÁNICO DEL BRAZO ROBÓTICO

3.1 INTRODUCCIÓN

Diseñar es plantear un plan para que este pueda resolver un problema o una necesidad de la sociedad, si este plan resulta y se crea físicamente este debe ser seguro, fiable, funcional para que así pueda comercializarse.

Diseñar también es un proceso de toma de decisiones: Algunas veces éstas deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en otras ocasiones con un exceso de información, lo importante es que el diseñador en ingeniería debe sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la toma de decisiones y resolución de problemas. (Budynas & Nisbett, 2008).

El diseño mecánico es de gran importancia para el desarrollo del brazo robótico, porque permite identificar las cargas y los esfuerzos que debería soportar el brazo, un buen diseño permite un buen funcionamiento y evitar fracturas o fallas en la estructura de este proyecto.

3.2 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

Para comenzar con el diseño primeramente se debe determinar las fuerzas y reacciones, para las cuales supondremos que el sistema que vamos a estudiar no está en movimiento o que el sistema se encuentra en equilibrio.

Para la resolución del problema se partirá del diagrama del cuerpo libre en donde se determina las fuerzas y reacciones en el punto A, en la figura 3.2 se observa todos los datos del brazo.

Sea:

W_{E1} = peso del eslabón 1

W_{E2} = peso del eslabón 2

W_{E3} = peso del eslabón 3

W_{m2} = peso del motor 2

W_{m3} = peso del motor 3

W_{m4} = peso del motor 4

W_a =peso aerógrafo

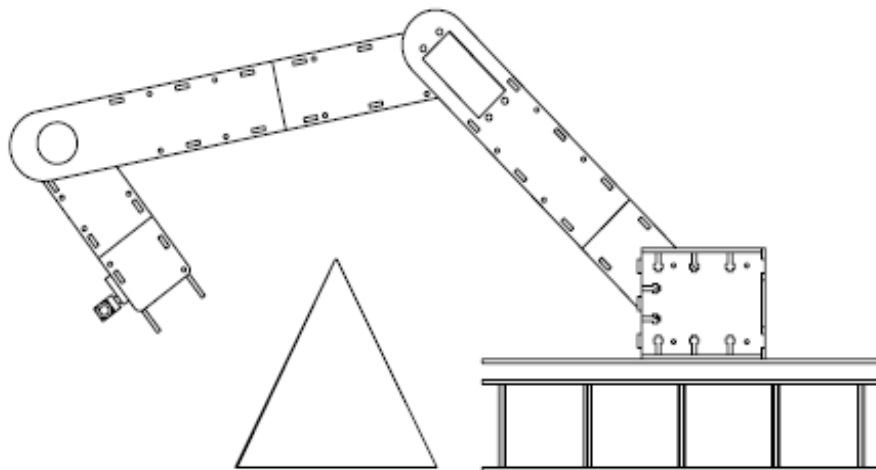


Fig 3.1 Diagrama brazo robótico

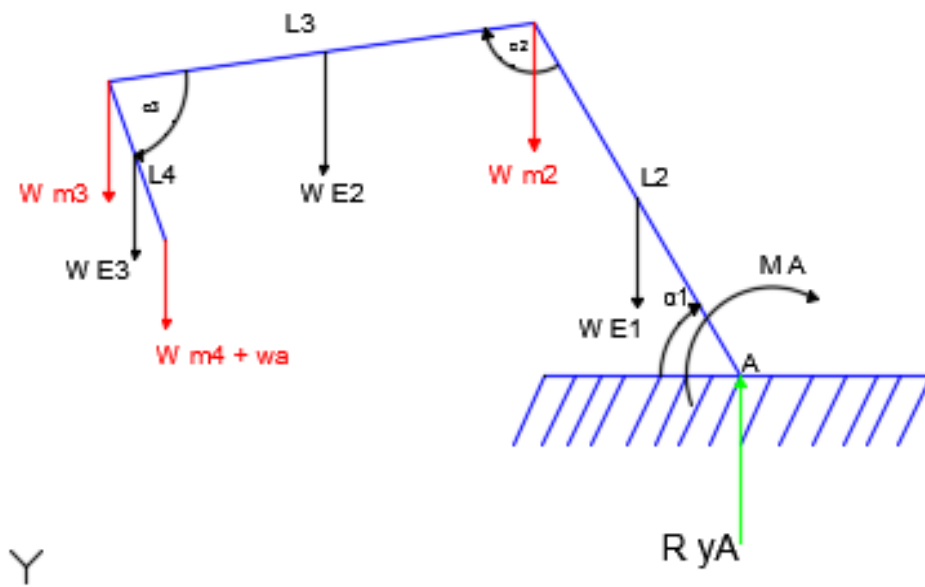


Fig 3.2 Diagrama de cuerpo libre

Entonces se agrega los valores respectivos a las variables:

$$W_{E1} = 0.8 \text{ Kg}$$

$$W_{E2} = 0.8 \text{ Kg}$$

$$W_{E3} = 0.2 \text{ Kg}$$

$$W_{m2} = 0.1 \text{ Kg}$$

$$W_{m3} = 0.039 \text{ Kg}$$

$$W_{m4} = 0.015 \text{ Kg}$$

$$W_a = 0.020 \text{ Kg}$$

$$\alpha_1 = 45.31^\circ$$

$$\alpha_2 = 123.11^\circ$$

$$\alpha_3 = 64.56^\circ$$

$$L_2 = 262.2 \text{ mm}$$

$$L_3 = 311.2 \text{ mm}$$

$$L_4 = 130 \text{ mm}$$

Teniendo todos los valores necesarios se procede a resolver el problema, comenzando por el cálculo de la sumatoria de las reacciones.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \quad (\uparrow +) \\ R_{yA} &= W_a + W_{m4} + W_{E3} + W_{m3} + W_{E2} + W_{m2} + W_{E1} \\ R_{yA} &= 1.974 \text{ Kg} \\ \mathbf{R_{yA} = 19.36 \text{ N} \quad (3.1)}\end{aligned}$$

Luego se realiza el cálculo del momento en el punto A.

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \quad (\uparrow +) \\ W_a(410.991) + W_{m4}(410.9919) + W_{E3}(450.127) + \\ W_{m3}(489.263) + W_{E2}(336,83) + W_{m2}(184.398) + W_{E1}(92,199) - \\ &MA \\ MA &= 483.6865 \text{ Kg. mm} \\ \mathbf{MA = 4744.9645 \text{ N. mm} \quad (3.2)}\end{aligned}$$

A continuación se realizará el análisis en el eslabón más crítico (punto crítico), en la figura 3.3 se muestra las reacciones y el momento que actúan en la pieza del eslabón 1.

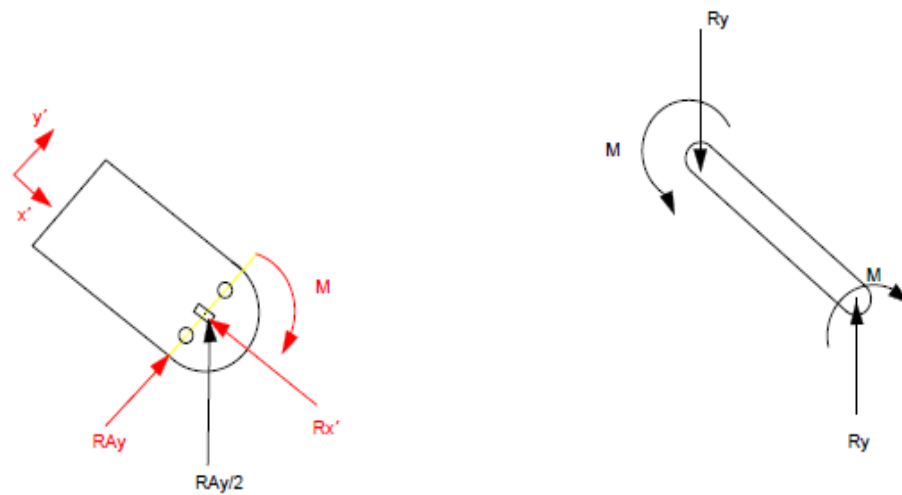


Fig 3.3 Reacciones y momentos en el eslabón crítico.

$$\cos \alpha_1 = \frac{Rx'}{RAy/2}$$

$$Rx' = RAy/2 * \cos(\alpha_1)$$

$$Rx' = 9.667 * \cos(45.31)$$

$$Rx' = 6.7985 \text{ N} \quad (3.3)$$

$$M = \frac{MA}{2}$$

$$M = \frac{4744.9645}{2}$$

$$M = 2372.45 \text{ N.mm} \quad (3.4)$$

Se procede a calcular el esfuerzo normal de la pieza, en donde se debe conocer el área y la fuerza que actúa en este. En la figura 3.4 se muestra la gráfica con los datos necesarios para este cálculo.

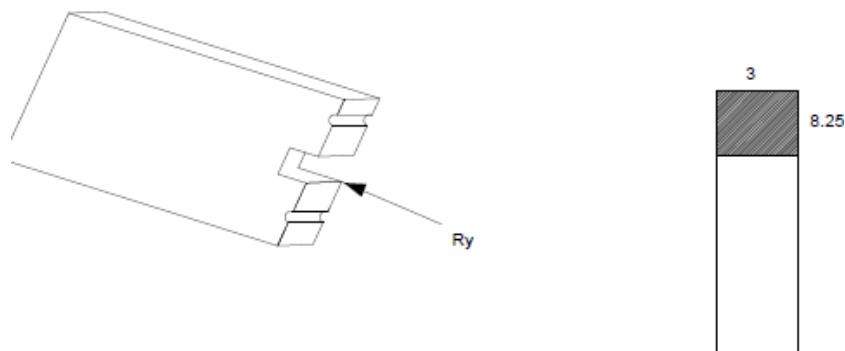
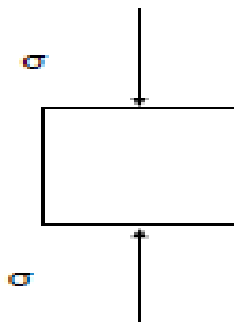


Fig 3.4 Corte de la pieza del eslabón crítico

Para encontrar el área partiremos de la siguiente fórmula:



$$A = 3 * 10^{-3}(8.25 * 10^{-3})$$

$$A = 2.47 * 10^{-3} * (4)$$

$$AT = 9.9 * 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (3.5)$$

Utilizando las ecuaciones 3.3 y 3.5 encontramos el esfuerzo normal y se tiene:

$$\sigma = \frac{F}{AT}$$

$$\sigma = \frac{6.7985 \text{ N}}{9.9 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 68671.717 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 0.0686 \text{ MPa} \quad (3.6)$$

Como siguiente paso debemos calcular las inercias existentes para poder calcular el esfuerzo flector.

En la figura 3.5 se tiene la gráfica para la resolución de las inercias.

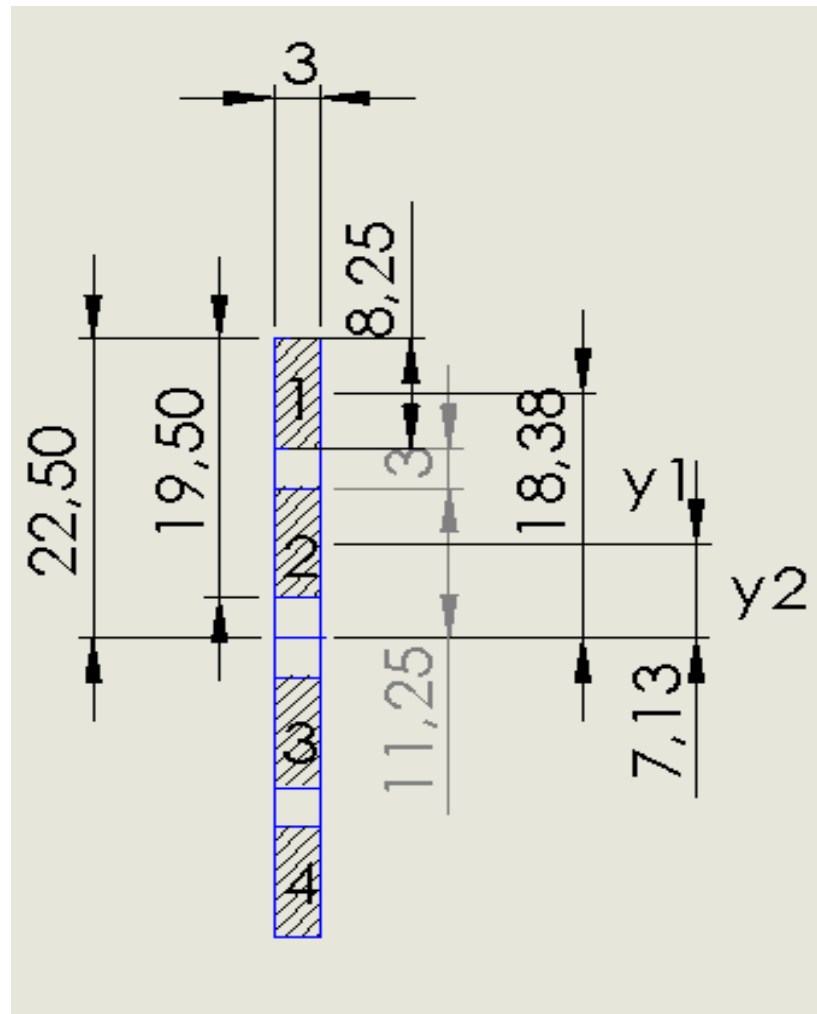


Fig 3.5 Diagrama de área de momento de inercia

$$Y1 = 22.5 - (8.25/2)$$

$$Y1 = 18.375 \text{ mm}$$

$$Y2 = 11.25 - (8.25/2)$$

$$Y2 = 7.125 \text{ mm}$$

A continuación se calculará el momento de inercia de la pieza del eslabón, aplicando el teorema de Steiner.

$$I = (b * h)^3/12 + A * d^2$$

Donde:

b=ancho

h= largo

A= área del rectángulo analizado

d= distancia entre centros

Entonces se tiene:

$$I1 = \frac{(3 * 8.25^3)}{12} + 3(8.25)(18.375)^2$$

$$I1 = 8496,9443 \text{ mm}^4 \quad (3.7)$$

$$I1 = I4 \quad (3.8)$$

$$I2 = \frac{(3 * 8.25^3)}{12} + 3(8.25)(7.125)^2$$

$$I2 = 1396.828 \text{ mm}^4 \quad (3.9)$$

$$I2 = I3 \quad (3.10)$$

Se suma las inercias anteriores para obtener la inercia total.

$$I_t = I1 + I2 + I3 + I4$$

$$I_t = 19787.624 \text{ mm}^4 \quad (3.11)$$

Para el cálculo del esfuerzo flector utilizaremos las ecuaciones 3.4, 3.11

$$\sigma = \frac{M c}{I}$$

Sea:

M= momento flector

c = distancia del eje neutro a la fibra más alejada

I= momento de inercia con respecto al eje neutro

$$\sigma = \frac{2372.45 \text{ N.mm}(22.5)\text{mm}}{19787.624 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma = 2.6976 \text{ MPa} \quad (3.12)$$

Se suman los esfuerzos de las ecuaciones 3.6 y 3.12

$$\sigma_x = 2.6976 + 0.0686$$

$$\sigma_x = 2.7662 \text{ MPa}$$

Para calcular el factor de seguridad utilizaremos la siguiente fórmula:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_x}$$

Donde:

S_y=punto de fluencia

S_y=61 MPa (PMMA) dato tomado de la tabla 3.1 tabla comparativa de materiales

$$n = \frac{61 \text{ MPa}}{2.7662 \text{ MPa}}$$

$$n = 22 \quad (3.13)$$

En cálculo del esfuerzo de Von Mises, las fuerzas en Y se anulan por lo tanto tenemos:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = \sigma_x$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$
$$n = \frac{61\text{MPa}}{2.7662\text{MPa}}$$
$$\mathbf{n = 22}$$

Para comprobación de los cálculos realizados anteriormente, utilizaremos el software Solidwork. Los resultados mostrados por el software se asemejan a los obtenidos. Los cálculos se realizaron en el eslabón más crítico.

En figura 3.6 se indica los valores de Von Mises obtenidos en el programa Solidwork.

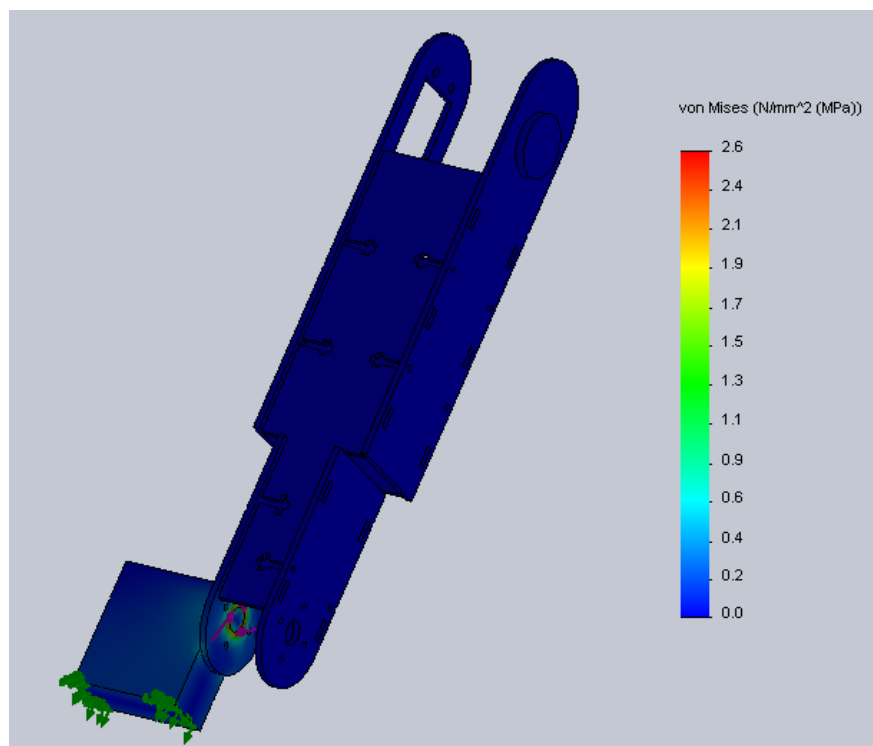


Fig 3.6 Resultado Von Mises en solidwork

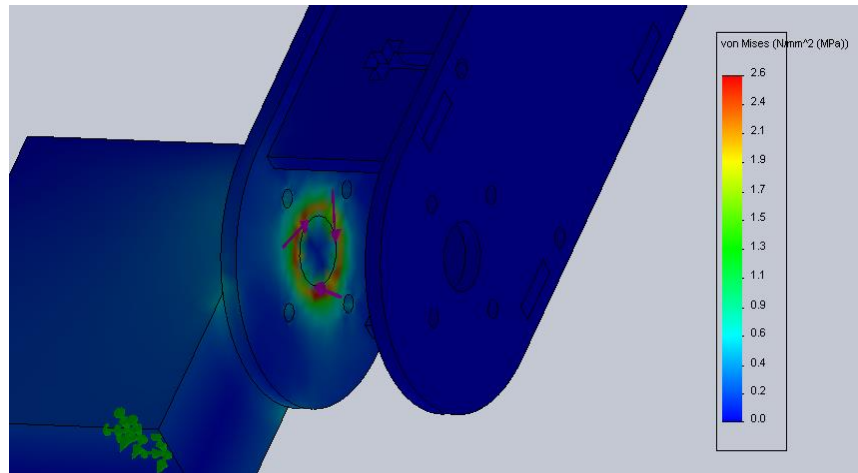


Fig 3.7 Momento aplicado al eslabón

Además se realizó el cálculo del factor de seguridad para conocer si la estructura del brazo soportará a los esfuerzos y cargas sometidas, en la figura 3.8 se indica el cálculo del factor de seguridad.

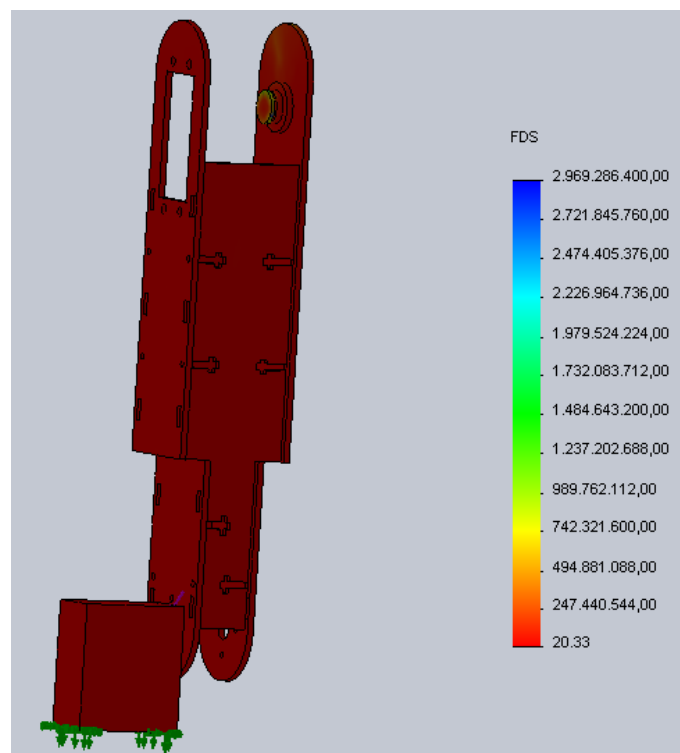


Fig 3.8 Resultado FDS en solidwork

3.3 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BRAZOROBÓTICO

Para seleccionar el material para la construcción de este proyecto compararemos características físicas de 3 elementos, que a continuación serán descritas en la siguiente tabla.

En la tabla 3.1 se muestra la comparación de las características entre el aluminio, acero y el plástico.

Tabla 3.1 Propiedades físicas de materiales.

Material	Resistencia a la fluencia (MPa)	Proceso
Acero ASTM A36	250	Planchas laminadas en caliente
Aluminio ASTM A1200	127	Temple H-14
Acrílico (PMMA)	61	Moldeado a inyección y compresión

Para este proyecto utilizaremos el material de menor valor de resistencia a la fluencia debido a que las cargas que soporta el brazo son mínimas, además uno de los criterios más importantes a tomar es la reducción de peso en la construcción de la estructura, por eso se seleccionó el material de plástico (PMMA). Otras características del acrílico son:

- a) Bajo peso (densidad 1.2 g/cm³)
- b) Extraordinaria resistencia al medio ambiente, excelente resistencia a la degradación por rayos ultravioletas.
- c) No se opaca con el tiempo.
- d) Larga vida útil.

- e) Máxima temperatura recomendada para servicio o exposición continua entre 65° a 90°.
- f) Fácil limpieza.
- g) Resiste a la mayoría de productos químicos: bases, ácidos, amoniacos.
- h) El PMMA es un excelente aislante eléctrico con una constante eléctrica elevada.
- i) Cuando el PMMA no es pigmentado es tan transparente como el cristal más fino, su tasa de transmisión es del 92%.

3.4 CÁLCULO DE TORQUES

Para poder calcular el torque requerido y así poder escoger el actuador con las características precisas para el correcto funcionamiento de éste, se necesita tomar en consideración los siguientes parámetros:

- a) Peso de los eslabones.
- b) Peso de los actuadores.
- c) Distancia entre articulaciones.

3.4.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS SERVOMOTORES UTILIZADOS EN EL BRAZO ROBÓTICO

Se conoce que el torque es la fuerza ejercida a un eje para hacer rotar al mismo. Entonces:

$$\text{Torque} = \text{fuerza} * \text{distancia}$$

“Para cada eslabón el torque requerido estará dado por la sumatoria de los torques de los elementos a soportar. El peso de cada eslabón se encuentra

en el centro de gravedad o sea en la mitad de la longitud. (Jami & Tituaña, 2010).

Se asume que el peso de los servomotores es de 100g.

$$T_{\text{motor4}} = \left[\left(\frac{L_3}{2} * W_{E3} \right) + (W_{m3} * L_3) \right] \text{ (Kg.cm)} \quad \text{Ec3.14}$$

$$T_{\text{motor4}} = \left[\left(\frac{13}{2} * 0.22 \right) + (0.1 * 13) \right]$$

$$T_{\text{motor4}} = 1.43 + 1.3$$

$$\mathbf{T_{\text{motor4}} = 2.73 \text{ Kg.cm}}$$

Para calcular el torque del motor 3:

$$(T_{\text{motor3}} = \left[\left(\frac{L_2}{2} * W_{E2} \right) + (W_{m2} * L_2) \right] + T_{\text{motor4}} \text{ (Kg.cm)} \quad \text{Ec3.15}$$

$$(T_{\text{motor3}} = \left[\left(\frac{26.2}{2} * 0.8 \right) + (0.1 * 26.2) \right] + 2.73$$

$$T_{\text{motor3}} = 10.48 + 2.62 + 2.73$$

$$\mathbf{T_{\text{motor3}} = 15.83 \text{ Kg.cm}}$$

Para calcular el torque del motor 2:

$$T_{\text{motor2}} = \left[\left(\frac{L_1}{2} * W_{E1} \right) + (W_{m1} * L_1) \right] + T_{\text{motor4}} + T_{\text{motor3}} \text{ (Kg.cm)} \quad \text{Ec3.16}$$

$$T_{\text{motor2}} = \left[\left(\frac{31.1}{2} * 0.8 \right) + (0.1 * 31.1) \right] + 2.73 + 15.83$$

$$T_{\text{motor2}} = 12.48 + 3.11 + 2.73 + 15.83$$

$$\mathbf{T_{\text{motor2}} = 34.15 \text{ Kg}}$$

$$F = m * g$$

$$F = 0.6[Kg] * 9.8 [m/s^2]$$

$$F = 5.88 N$$

Teniendo como dato la fuerza ejercida sobre banda y la distancia entre los ejes se precede a calcular el torque.

Entonces:

τ = torque

d= distancia entre ejes

$$\tau = F * d$$

$$\tau = 5.88 N * 0.90m$$

$$\tau = 5.3 N.m$$

Para este proyecto se requiere una velocidad de avance no mayor a 100 rpm, para un recorrido normal de la banda.

Entonces las 100 rpm = 10,46 rad/seg.

$$P = \tau * \omega$$

Donde:

P: es potencia [Watts]

τ : Es el torque [N.m]

ω : velocidad de rotación [rad/seg]

$$P = 5.88 * 10,46$$

$$P = 61.50[Watts]$$

Entonces basándonos en estos resultados seleccionamos un motor eléctrico que cumplan estos requisitos como es el modelo King zd1830.

A continuación utilizando los datos del motor y la gráfica 3.10 tenemos la siguiente las velocidades de cada polea:

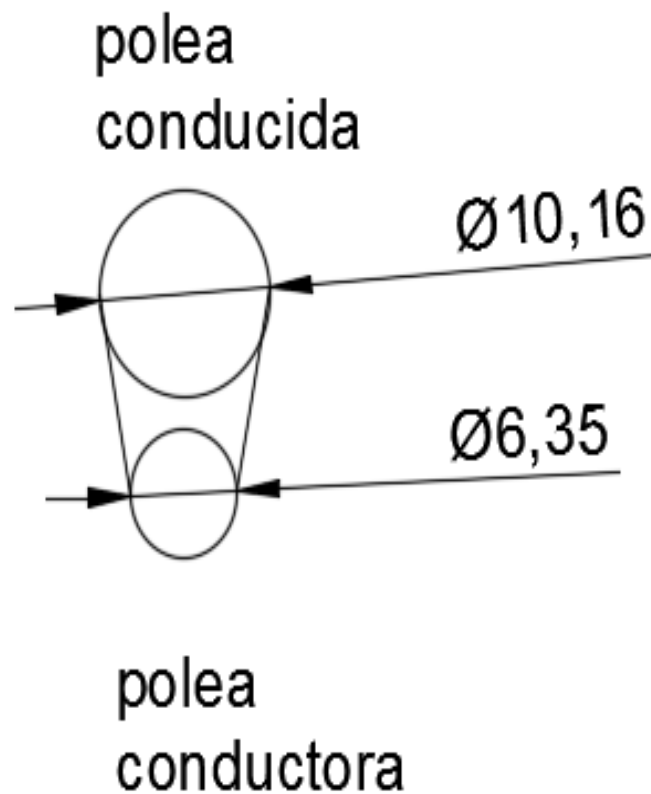


Fig 3.10 Relación de transmisión

Siendo:

D1= polea conductora

D2= polea conducida

n1= velocidad de la polea 1

n2= velocidad de la polea 2

$$D_1 n_1 = D_2 n_2$$

$$(6.35\text{cm})(65\text{ rpm}) = (10.16\text{cm}) n_2$$

$$n_2 = 40.62\text{ rpm}$$

Con los datos anteriores realizamos el cálculo para la velocidad de la banda y se obtiene de la siguiente forma:

$$V_b = R_1 \omega_1 = R_2 \omega_2$$

Siendo:

V_b = velocidad lineal

R_1 = radio de la polea 1 = 3.175 cm

R_2 = radio de la polea 2 = 5.08 cm

ω_1 = velocidad angular 1 = 65 rpm o 6.8 rad/s

ω_2 = velocidad angular 2 = 40,62 rpm o 4.3 rad/s

$$V_b = (3.175\text{cm})(6.8\text{ rad/s}) = (5.08\text{ cm})(4.3\text{ rad/s})$$

$$V_b = 21.6\text{ cm/s}$$

$$V_b = 0.21\text{ m/s}$$

Para el cálculo de relación de velocidades angulares se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$\frac{65}{40.62} = \frac{10.16}{6.35}$$

$$1.6 = 1.6$$

Relación de velocidades angulares = 1.6

Para conocer la longitud de paso se obtiene de acuerdo con la fórmula que a continuación se detalla:

$$L = 2C + 1.57(D2 + D1) + \frac{(D2 - D1)^2}{4C}$$

Siendo:

L= longitud de paso

C= distancia entre centros

D= diámetros de las poleas

$$L = 2(0.90) + 1.57(10.16 + 10.16) + \frac{(10.16 - 10.16)^2}{4(0.90)}$$

$$L = 2.11 \text{ m}$$

3.6 MATERIAL SELECCIONADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Para la construcción de la estructura de la banda se utilizó un tubo estructural cuadrado galvanizado de 20mm x 20mm y un espesor de 2.0mm. (Ver especificaciones en el anexo K)

Las aplicaciones de este material pueden ser:

- a) Estructuras como: columnas para galpones, naves industriales.
- b) Señalización y vialidad.
- c) Equipos y máquinas de todo tipo.
- d) Construcción en general.

En la figura 3.11 se indica la tabla de los aceros estructurales cuadrados existentes en el mercado ecuatoriano.

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,74
	2,00	1,34	1,05	0,69	0,69	0,72
25	1,50	1,35	1,06	1,41	1,11	0,97
	2,00	1,74	1,36	1,48	1,18	0,92
30	1,50	1,65	1,30	2,19	1,46	1,15
	2,00	2,14	1,68	2,71	1,81	1,12
	3,00	3,01	2,36	3,50	2,34	1,08
40	1,50	2,25	1,77	5,48	2,74	1,56
	2,00	2,94	2,31	6,92	3,46	1,53
	3,00	4,21	3,30	9,28	4,64	1,48
50	1,50	2,85	2,24	12,56	4,92	2,01
	2,00	3,74	2,93	14,13	5,65	1,94
	3,00	5,41	4,25	19,40	7,76	1,89
60	1,50	3,45	2,71	18,94	6,31	2,43
	2,00	4,54	3,56	25,12	8,37	2,35
	3,00	6,61	5,19	35,06	11,69	2,30
75	2,00	5,74	4,50	51,90	13,84	3,00
	3,00	8,41	6,60	76,13	19,99	2,97
	4,00	10,95	8,59	94,02	24,74	2,92
100	2,00	7,74	6,07	122,99	24,60	3,99
	3,00	11,41	8,95	199,94	37,53	4,04

Fig 3.11 Características de los tubos cuadrados

Fuente: (Catalogo IPAC)

Este acero brinda resistencia además de poseer buenas características para la soldadura y también una buena resistencia a la corrosión.

En la figura 3.12 se muestra la imagen de los tubos estructurales.



Fig 3.12 Tubos estructurales rectangulares y cuadrados

Fuente: (Catalogo IPAC)

Para la fabricación de las poleas se utilizó aleaciones de aluminio 6005 que es para aplicaciones estructurales y arquitectónicas.

“La aleación de aluminio 6005 es una aleación comercial de resistencia media, posee una resistencia más alta que las aleaciones 6063 y 6060, pero es más dura de extruir. La aleación 6005 tiene buena capacidad de soldadura y resistencia a la corrosión. Aunque es adecuada para anodización, no proporcionará un buen acabado como con las aleaciones 6060 y 6063”. (CAPALEX, 2011)

En la figura 3.13 se muestra poleas de aluminio.



Fig 3.13 Poleas de aluminio

Fuente: (Catalogo IPAC)

Para la fabricación de una caja para la ubicación de las fuentes de poder y a la misma utilizarla como base de apoyo del brazo, se utilizó tol galvanizado, la caja tiene medidas en cm de 35 x 46 x 20.

En la figura 3.14 se muestra la estructura real de la banda transportadora y la caja de almacenamiento de las fuentes de alimentación.



Fig 3.14 Banda transportadora

Todas las dimensiones se encuentran detallados en los planos banda transportadora.

CAPÍTULO 4

4 SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

4.1 SELECCIÓN DE SERVOMOTORES PARA EL BRAZO ROBÓTICO

En el mercado actual existen una gran variedad de servomotores cada uno con diferentes características técnicas y desarrolladas por diferentes empresas.

A continuación se seleccionará los diferentes tipos de servomotores utilizados en el brazo robótico, basándonos en las necesidades, costos y disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

4.1.1 SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR UTILIZADO EN LA BASE GIRATORIA DEL BRAZO ROBÓTICO

Los servomotores que se encuentran en el mercado con el torque necesario para el correcto funcionamiento de este proyecto son los servomotores HK15338 Giant MG Digital Servo, Hitec HS-7955TG y sus características se encuentran detallados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Cuadro comparativo entre los servomotores HK15338 Giant MG Digital Servo Hitec HS-7955TG

Especificaciones	HK15338 Giant MG Digital Servo	Hitec HS-7955TG
Torque	19.8 Kgf.cm a 4.8 v 25 Kgf.cm a 6v	18 Kgf.cm a 4.8 v 24 Kgf.cm a 6 v
Peso	175 gr.	65 gr.
Voltaje	4.8 ~ 6 v	4.8 ~ 6 v
Costo	\$ 58	\$ 100

Se seleccionó el servomotor HK15338 Giant MG Digital Servo por entregar el torque necesario para resistir las cargas permisibles, su bajo costo, además de tener características físicas fuertes como por ejemplo: ser resistente al agua y tener engranajes metálicos, su velocidad es de 60 grados en 0.23 seg.

En la figura 4.1 se muestra la imagen del servomotor HK15338 Giant MG Digital Servo



Fig 4.1 Imagen servomotor HK15338 Giant MG Digital Servo

Fuente: (HOBBY KING, 2015)

4.1.2 SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR UTILIZADO EN EL ESLABÓN 1 DEL BRAZO ROBÓTICO

Para la siguiente selección se comparará los servomotores VS-11 Servo con los servomotores Turnigy TGY-1501MG, la tabla 4.2 describe las especificaciones y características de cada uno de los servomotores.

Tabla 4.2 Cuadro comparativo entre los servomotores VS-11 Servo y Turnigy TGY-1501MG Servo

Especificaciones	VS-11 Servo	Turnigy TGY-1501MG Servo
Torque	15 Kgf.cm a 4.8 v 19 Kgf.cm a 6v	15 Kgf.cm a 4.8 v 17 Kgf.cm a 6 v
Peso	100 gr.	60 gr.
Voltaje	4.8 ~ 6 v	4.8 ~ 6 v
Costo	\$ 40	\$ 85
Características	Engranajes metálicos, resistencia al agua	Engranajes metálicos

Conociendo las características se utilizó el servomotor VS-11, debido principalmente a que tiene el torque requerido, también se escogió por su bajo precio y su características físicas como: velocidad de operación de 50° en 0.22 s sin carga, engranajes de metal, vida del potenciómetro es de 1000000 de ciclos y resistencia al agua.

En la siguiente figura se muestra el servomotor VS-11.



Fig 4.2 Imagen del servomotor VS-11

Fuente: (HOBBY KING, 2015)

4.1.3 SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR UTILIZADO EN EL ESLABÓN 2 DEL BRAZO ROBÓTICO.

En este caso se utilizará el mismo servomotor descrito en la tabla comparativa 4.2 debido a que se necesita las mismas características y especificaciones, pero con la única diferencia es con el número de servomotores a utilizar, para este caso solo se usará un servomotor y para el primer eslabón del brazo se necesitará el doble de servomotores debido a que se necesita más fuerza para el levantamiento de los eslabones del brazo robótico.

4.1.4 SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR UTILIZADO EN EL ESLABÓN 3 DEL BRAZO ROBÓTICO

En la tabla 4.3 se tiene servomotores comerciables y disponibles en donde se hará una comparación breve de sus características y especificaciones.

Tabla 4.3 Cuadro comparativo entre los servomotores Hextronik HX 5010 – Twin Bearing Servo y Hitec HS-485 HB Servo

Especificaciones	Hextronik HX 5010 – Twin Bearing Servo	Hitec HS-485 HB Servo
Torque	6.91 Kgf.cm a 4.8 v	4.8 Kgf.cm a 4.8 v 6 Kgf.cm a 6 v
Peso	39.1 gr.	45 gr.
Voltaje	4.8	4.8 ~ 6 v
Costo	\$ 21	\$ 45

Se eligió el servomotor Hextronik HX 5010 – Twin Bearing por su bajo costo y su peso liviano el cual ayuda a que el brazo reduzca su peso total y así se reduzca el esfuerzo, este servomotor posee características físicas como: engranajes plásticos el cual no es problema porque no está sometida a mucho esfuerzo y su velocidad de funcionamiento es de 60° en 0.16s. En la figura 4.3 se muestra el servomotor seleccionado.



Fig 4.3 Imagen del servomotor Hextronik HX 5010 – Twin Bearing Servo

Fuente: <http://www.servodatabase.com/images/servos/hextronik-hx5010.jpg>

4.1.5 SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR UTILIZADO EN EL PORTA HERRAMIENTAS DEL BRAZO ROBÓTICO.

Para esta ocasión se utilizará micro servomotores debido a que no se necesita mucho esfuerzo para mover a la herramienta que en este caso es un aerógrafo. En la tabla 4.4 se realiza una comparación entre dos micro servomotores disponibles en el mercado ecuatoriano.

Tabla 4.4 Cuadro comparativo entre los micro servos Turnigy TG9e y Hitec HS-65MG micro servo

Especificaciones	Turnigy micro servo	TG9e	Hitec micro servo	HS-65MG
Torque	1.5 Kgf.cm a 4.8 v		1.8 Kgf.cm a 4.8 v 2.2 Kgf.cm a 6 v	
Peso	15 gr.		12 gr.	
Voltaje	4.8 v		4.8 ~ 6 v	
Costo	\$ 10		\$27	

En la siguiente figura se indica el micro servo Turnigy TG9e el cual se eligió por su bajo costo y su torque dimensionado para la tarea requerida, además de otras características como: velocidad de operación de 60° en 0.10s, rango de temperatura de 0 a 55 °.



Fig 4.4 Imagen del micro servo Turnigy TG9e

Fuente: (HOBBY KING, 2015)

4.2 SELECCIÓN DE MICROCONTROLADORES

En el mercado existe una gran variedad de microcontroladores, de distintos fabricantes, como Atmel, Microchip, Freescale, etc., pero en esta ocasión se utilizará Arduino que es una plataforma física de código abierto basado en una placa electrónica simple, y un entorno de desarrollo para escribir software para la placa. Arduino también presenta diferentes productos la más común es Arduino uno, que es una placa básica para el aprendizaje de este medio.

Para este proyecto se analizará dos placas Arduino Due y Arduino mega 2560 en la tabla 4.5 se da a conocer sus diferentes características.

Tabla 4.5 Tabla comparativa entre las placas arduino Due y mega 2560

Características	arduino Due	arduino mega 2560
Microcontrolador	AT91SAM3X8E	Atmega 2560
Tensión de funcionamiento	3.3 v	5 v
Voltaje de entrada (Recomendado)	7-12v	7-12 v
Pines digitales I/O	54 (de las cuales 12 proporcionan salidas PWM)	54 (de las cuales 15 proporcionan salidas PWM)
Pines de entrada analógicas	12	16
Corriente DC por Pin I/O	130 mA	40 mA
Corriente DC de 3.3 v Pin	800 mA	50 mA
Memoria Flash	512 KB	256 KB de los cuales 8KB utilizados para el gestor de arranque

SRAM	96 KB	8 KB
Velocidad del reloj	84 MHz	16 MHz

Para la programación del brazo se utilizó la placa Arduino Due, debido a que presenta características superiores comparado con la del Arduino mega 2560, Arduino Due es una placa electrónica basada en Atmel SAM3X8E Cortex-M3 y es la primera vez que utiliza un microcontrolador con núcleo ARM de 32 bits, cuenta con 54 pines digitales de entrada y salida, 12 entradas análogas, 4 UARTs, un reloj de 84 MHz y 2 Convertidores ADC.

Una de las razones principales por las cuales se seleccionó arduino Due es la compatibilidad que tiene con el software Matlab, debido a que tiene un paquete de apoyo en Simulink para arduino.

En la figura 4.5 se muestra la imagen de arduino Due

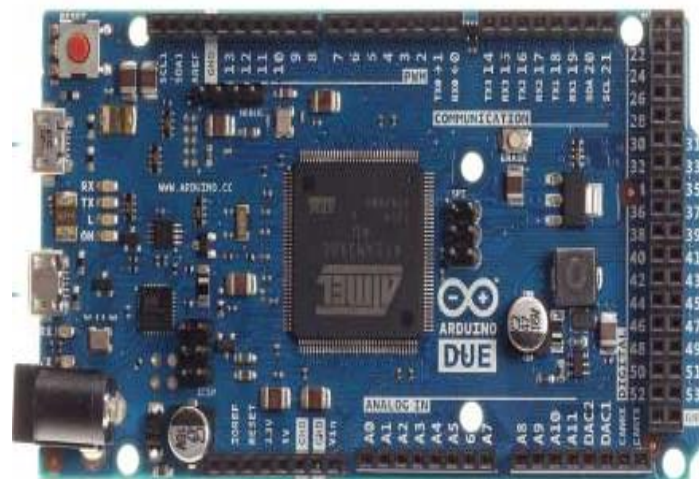


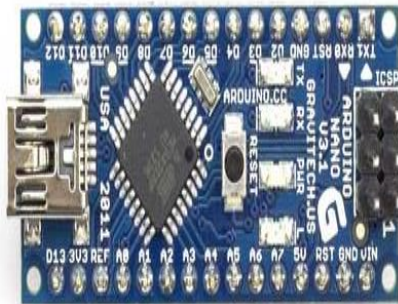
Fig 4.5 Imagen Arduino Due

Fuente: (Arduino, 2015)

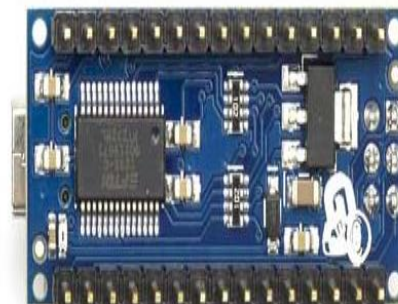
Por otra parte se utilizó arduino nano para el control del posicionamiento del objeto en la banda transportadora por medio de sensores de presencia, a continuación se presentan algunas características de este arduino.

- a) Su tensión de funcionamiento es de 5v.
- b) Tiene 14 pines digitales los cuales 6 tienen PWM.
- c) Posee 8 entradas analógicas.
- d) Memoria flash de 16 Kb.
- e) Velocidad de reloj de 16 MHz
- f) Corriente de entrada y salida en cada pin de 40mA
- g) EEPROM de 512 bytes
- h) Utiliza microcontroladores Atmel ATmega 168 o ATmega 328

En la figura 4.6 se muestra la imagen de arduino nano.



Arduino Nano Front



Arduino Nano Rear

Fig 4.6 Imagen Arduino nano

Fuente: (Arduino, 2015)

4.3 SELECCIÓN DEL AERÓGRAFO

Uno de los aspectos a tomarse en cuenta para la selección del aerógrafo es que la pintura ingrese por medio de succión, debido a esta forma de introducir la pintura podemos conectar al aerógrafo por medio de mangueras, con esta adaptación conseguimos tener más cantidad de pintura y reducir carga y esfuerzo al brazo robótico, lo que no sucede con los aerógrafos que funcionan por gravedad, por lo que estos tienen su almacenamiento en la parte superior del aerógrafo, lo cual implica que agrega más carga al brazo robótico y una desventaja notable es que tiene cantidad limitada de pintura.

Por los criterios anteriores se seleccionó el aerógrafo de la marca Campbell Hausfeld modelo MP2900 que funciona por medio de succión además de otras especificaciones como:

- a) Tamaño de la boquilla de fluido de 0,38mm.
- b) Velocidad de suministro de fluido mediana.
- c) .Presión normal de aire de entrada 1,4 – 2,8 bar.
- d) Presión máxima de entrada de aire 3,4 bar.

El fabricante pone en conocimiento algunas recomendaciones como por ejemplo:

- a) Probar y ajustar el patrón de pintura y el volumen antes de la operación.
- b) Se recomienda pinturas aceitosas, pinturas de media y alta viscosidad.
- c) Se debe limpiar con agua o con un limpiador especial y se debe mantener siempre seco si se ha utilizado pintura de agua.

Estos datos fueron extraídos del anexo I:

En la figura 4.7 se muestra la imagen del aerógrafo seleccionado.



Fig 4.7 Imagen aerógrafo

Fuente: (<http://www.pemco.com.pa/images/products/M676.jpg>)

4.4 SELECCIÓN DEL COMPRESOR

Para la selección de este compresor no se realizaron cálculos previos, debido a que, la acción del pintado se trata de la aplicación de este proyecto, por lo cual para el criterio de selección se tomó en cuenta la sugerencia del fabricante del aerógrafo, el cual recomienda que se utilice un compresor que suministre una presión de 50 psi o 3.5 bar.

Este compresor tiene las siguientes técnicas:

- a) Voltaje de funcionamiento 110v.
- b) Tiene una potencia de 0.065 HP o 55 W.
- c) Velocidad rotacional de 1700 rpm.
- d) Presión atmosférica de 50 psi.
- e) Peso de 4 Kg.

La figura 4.8 indica la imagen del mini compresor.



Fig 4.8 Mini compresor modelo AS-06

Fuente: (<http://www.rdgtools.co.uk/acatalog/42370.jpg>)

4.5 SENSORES FOTOELÉCTRICOS

Los sensores fotoeléctricos se pueden utilizar para detectar de obstáculos, de proximidad, etc. Estos sensores tienen el receptor como el transmisor integrado. La forma en que funcionan es: el emisor manda un haz de luz, si un objeto se coloca frente al sensor la luz rebotará con lo que el receptor mandará una señal que un objeto ha sido detectado.

Este sensor es muy utilizado en aplicaciones de robótica para evitar obstáculos, o en las industrias para realizar conteos de objetos.

Para este proyecto se usará dos sensores fotoeléctricos E18-D50NK, los cuales tendrán el objetivo de detectar objetos, el primer sensor se encarga de iniciar la secuencia activando la banda, para que el objeto se traslade hacia el brazo robótico, el segundo sensor tiene la misión de detener la

banda transportadora justo enfrente del brazo para que así la secuencia de pintado inicie.

En la figura 4.9 se muestra la imagen del sensor fotoeléctrico.



Fig 4.9 Sensor fotoeléctrico E18-D50NK

Fuente: (<http://www.nextiafenix.com/producto/e18-d50nk/>)

4.6 PANEL DE CONTROL

Un panel de control está formado por elementos de mando y de visualización, gracias a estos podemos manipular y controlar los procesos a realizar, todos estos elementos son ubicados en un gabinete con sus respectivas conexiones.

4.6.1 ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL PANEL DE CONTROL

Los elementos que intervienen en un panel del control son:

- a) Selectores

- b) Luces pilotos
- c) Paro de emergencia
- d) Conectores para alimentación

Cada uno de estos elementos tiene su función, el cual será descrito en la siguiente tabla.

Tabla 4.6 Elementos de panel de control.

N°	Elemento	Función
1	Selector	En esta ocasión el selector de 2 posiciones fue escogido para realizar la función de encendido y apagado del panel.
2	Paro de emergencia	Detener las operaciones en caso de alguna eventualidad o emergencia.
3	Conectores (hembra)	banana Para alimentar con energía al panel para su funcionamiento.
4	Luces pilotos	Luz verde indica que el proceso está en funcionamiento y luz roja para indicar que va a comenzar un nuevo ciclo.
5	Gabinete (20x20x10)	Estructura donde se monta los elementos del panel.

4.7 SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ENERGÍA

Para seleccionar los elementos que conforman todo el módulo didáctico y debido a que estos funcionan a diferentes valores de voltaje, se necesitó varias fuentes de energía, fuentes que suministran voltajes de 3.3v, 6v, 12v. Para la alimentación de energía del arduino Due se conectará directo a 5v DC, los 6 servomotores en total requieren fuentes de alimentación de voltaje regulable y amperaje de más de 5 amperios, para esto utilizamos dos fuentes de la BK PRECISION 1735A que tienen capacidad de hasta 30v y 3 A cada una

Para ver sus más de sus características ver el anexo L

En la figura 4.10 se muestra la imagen de la fuente de alimentación BK PRECISION 1735A



Fig 4.10 Fuente de energía BK PRECISION 1735A

Fuente:(<http://media.digikey.com/photos/BK%20Precision%20Photos/BK1735A.jpg>)

Para energizar a los elementos de control utilizaremos un adaptador inteligente marca Techman AD 1200 F con voltaje variable y 1200 mA, a excepción del relé que controla al motor eléctrico que funciona a 12v para este utilizaremos otro adaptador inteligente marca Gexxic GEAS 1700 de 12v y 1700 mA.

En la figura 4.11 y 4.12 se muestran las imágenes de los adaptadores.



Fig 4.11 Adaptador Techman AD 1200 F



Fig 4.12 Adaptador Gexxic GEAS 1700

CAPÍTULO 5

5 INTERFAZ GRÁFICA (GUIDE)

5.1 INTRODUCCIÓN

GUIDE brinda un conjunto de herramientas que permite crear una interfaz gráfica, estas herramientas simplifican el proceso de diseño y creación de una interfaz gráfica, en la ventana gráfica se pueden disponer paneles, botones, cuadros de texto, barras de desplazamiento, etc.

Para el desarrollo de esta interfaz gráfica, se utilizará 3 casilleros para ingresar los vectores de posiciones y orientación respectivamente, dos botones en los cuales el primero compila la programación que realiza los movimientos del brazo robótico, el segundo botón realiza la operación de simulación en Simulink y además se observa 5 gráficas de ángulos vs tiempo.

En la figura 5.1 se muestra la interfaz gráfica la programación en la GUIDE



Fig 5.1 Interfaz gráfica

5.2 PROGRAMACIÓN EN GUIDE

En el recuadro #1 de la figura 5.1 se ingresan los valores para obtener el movimiento de la base y los dos primeros eslabones, estos datos son ingresados en medidas de longitud (cm), dichos valores son de tipo string el cual es convertido a número con la función `str2num`, al estar cambiado a tipo número estos valores son almacenados en una matriz T1.

En la figura 5.2 se muestra la imagen del casillero de ingreso de la matriz para el control del posicionamiento de los 3 primeros grados de libertad.

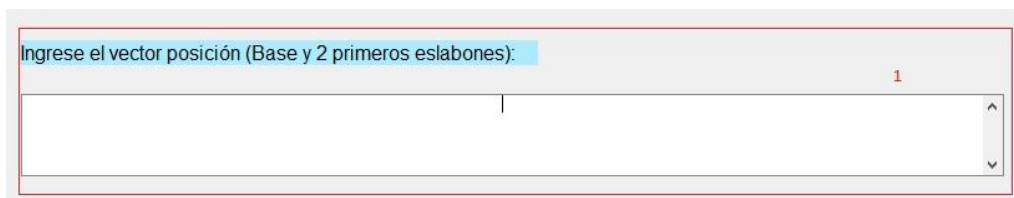
A screenshot of a software interface showing a text input field. The label above the field is "Ingrese el vector posición (Base y 2 primeros eslabones):" in blue text. To the right of the field is a red number "1". The input field itself is empty and has a vertical scrollbar on the right side.

Fig 5.2 Casillero de ingreso de valores de posición

En el recuadro # 2 y 3 se ingresan los valores para controlar la orientación del tercer eslabón y la herramienta respectivamente, se utiliza la misma función de conversión descrita anteriormente, en este los valores insertados son en grados y almacenados en una matriz T_{q_4} para la orientación del último eslabón y T_{q_5} para la orientación del aerógrafo.

En la figura 5.3 indica los casilleros de ingreso de datos de la orientación de los dos últimos grados de libertad.

A screenshot of a software interface showing two stacked text input fields. The top field has a label "Ingrese el vector de Orientación del eslabón 3:" in blue text and a red number "2" to its right. The bottom field has a label "Ingrese el vector de Orientación del Aerógrafo:" in blue text and a red number "3" to its right. Both input fields are empty and have vertical scrollbars on the right side.

Fig 5.3 Casillero de ingreso de valores de orientación de los dos últimos grados de libertad

En la GUIDE también se muestra las curvas descritas por cada uno de los servomotores.

En la figura 5.4 se presenta la gráficas de las curvas ángulo vs tiempo de los 5 grados de libertad propuestos en este proyecto.

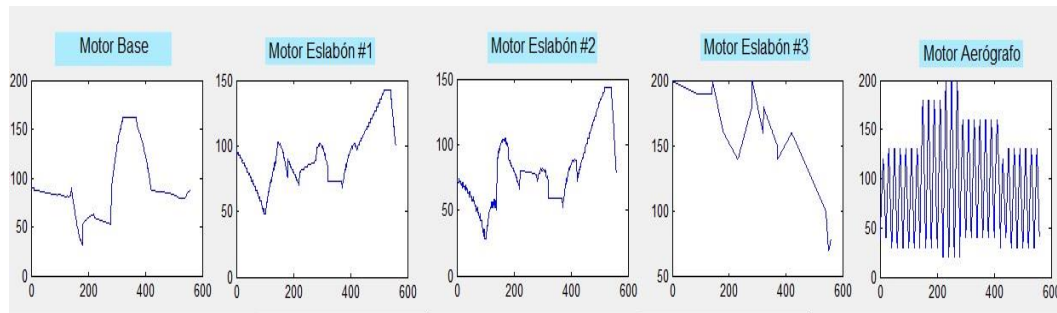


Fig 5.4 Diagrama de curvas descritas por los diferentes servomotores

El botón “Simular” es el encargado de realizar la acción de simular o emular los datos ingresados, con esta función comprobamos si dichos valores se asemejan a la realidad

En la figura 5.5 se muestra la imagen del brazo en simulación por Simulink.

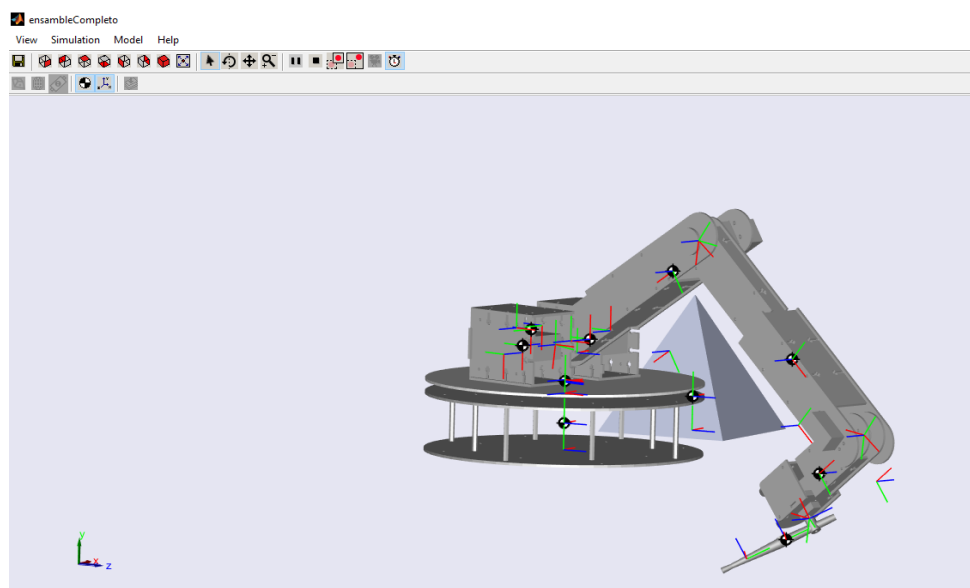


Fig 5.5 Simulación de los movimientos en Simulink

El botón “Compilar” se encarga de compilar el programa y transportar los valores del script de Matlab hacia la ventana de Simulink, la figura 5.6 muestra la imagen de la programación en Simulink en el cual toma los datos proporcionados de script de Matlab y los envía a arduino Due para la acción de los movimientos.

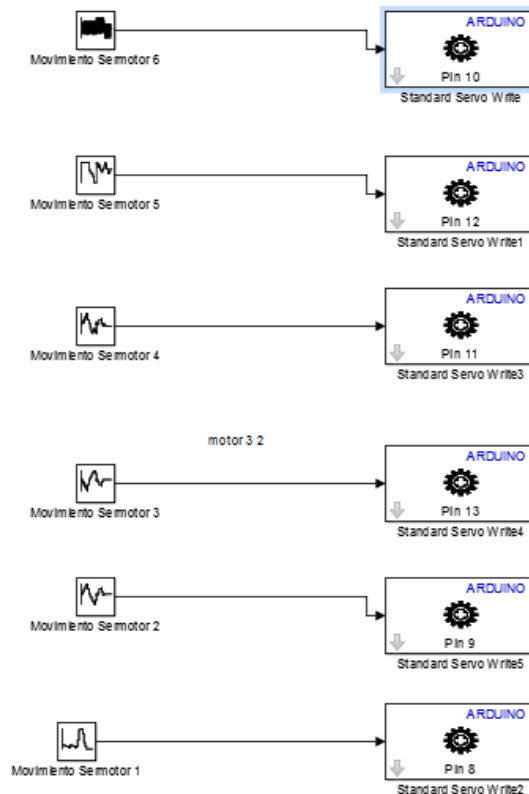


Fig 5.6 Programación en bloques Simulink

5.3 PROGRAMACIÓN EN SIMULINK

Para la realización de la toma de datos se obtuvo por medio de programación en Simulink, en donde utilizaremos la librería Sources y la librería Simulink Support Package for Arduino en donde seleccionaremos las opciones Repeating Sequence Stair y Standard Servo Write respectivamente.

Repeating Sequence Stair toma valores de un vector específico y los repite en una secuencia tipo escalera. Por ejemplo, se puede especificar un vector [3 1 2 4 1] y se produce la siguiente secuencia en escalera como se indica en el gráfico 5.7

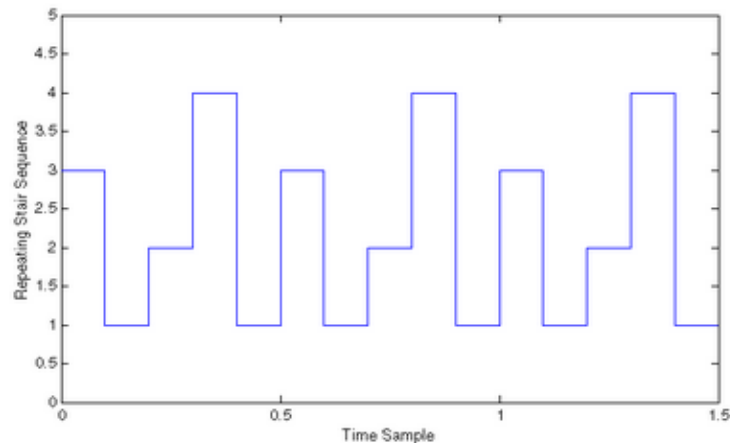


Fig 5.7 Ejemplo de secuencia en escalera

Fuente: (Ayuda de software Matlab)

Aplicando a este proyecto ingresamos los valores de nuestros vectores ingresados e insertamos el tiempo de muestreo para el funcionamiento de este brazo robótico, en la figura 5.8 se ingresa los parámetros del servomotor 6 (aerógrafo).

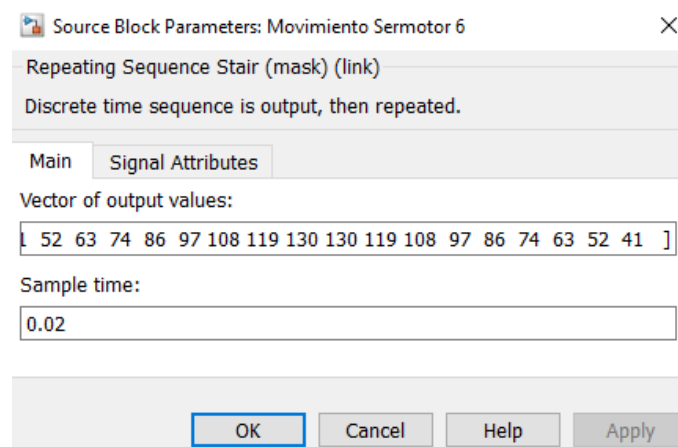


Fig 5.8 Ingresos de parámetros en el bloque Repeating Sequence Stair

Standard Servo Write sirve para ajustar la posición del eje de un servomotor en ángulos de 0° a 180° y enviar esta información a un pin digital de arduino Due.

En la imagen 5.8 se muestra la configuración de este bloque.

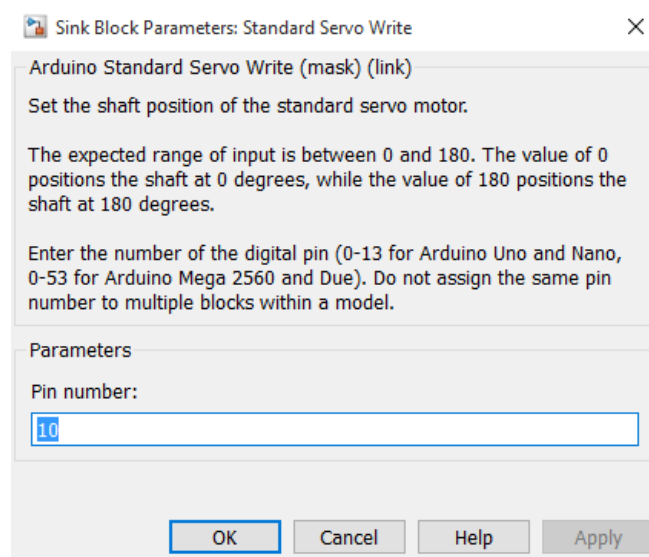


Fig 5.9 Configuración del número de Pin de arduino

Una vez configurado los parámetros de cada uno de los bloques programación se procede a descargar el código al microcontrolador Arduino Due, para esto se conecta el cable de programación a la PC y al arduino y por medio de la función Deploy to Hardware se completa esta acción de descarga.

En la figura 5.10 se observa la función para descargar el código de programación.

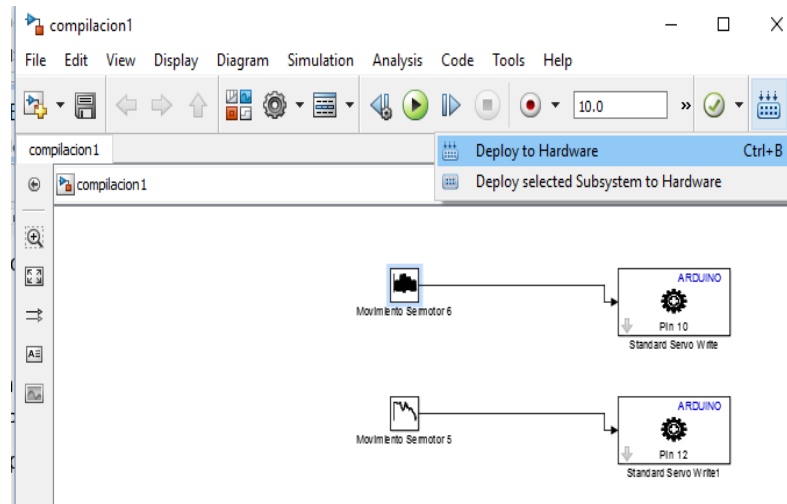


Fig 5.10 Función de descarga Deploy to Hardware

5.4 FLUJOGRAMAS

Para la interpretación de la programación del proyecto se utilizará flujogramas para una mejor comprensión.

5.4.1 FLUJOGRAMA DE LA PROGRAMACIÓN EN GUIDE

En la figura 5.11 se describe el proceso de programación que se utilizó en la interfaz gráfica para realización de la acción del pintado de los diferentes cuerpos geométricos (pirámide).

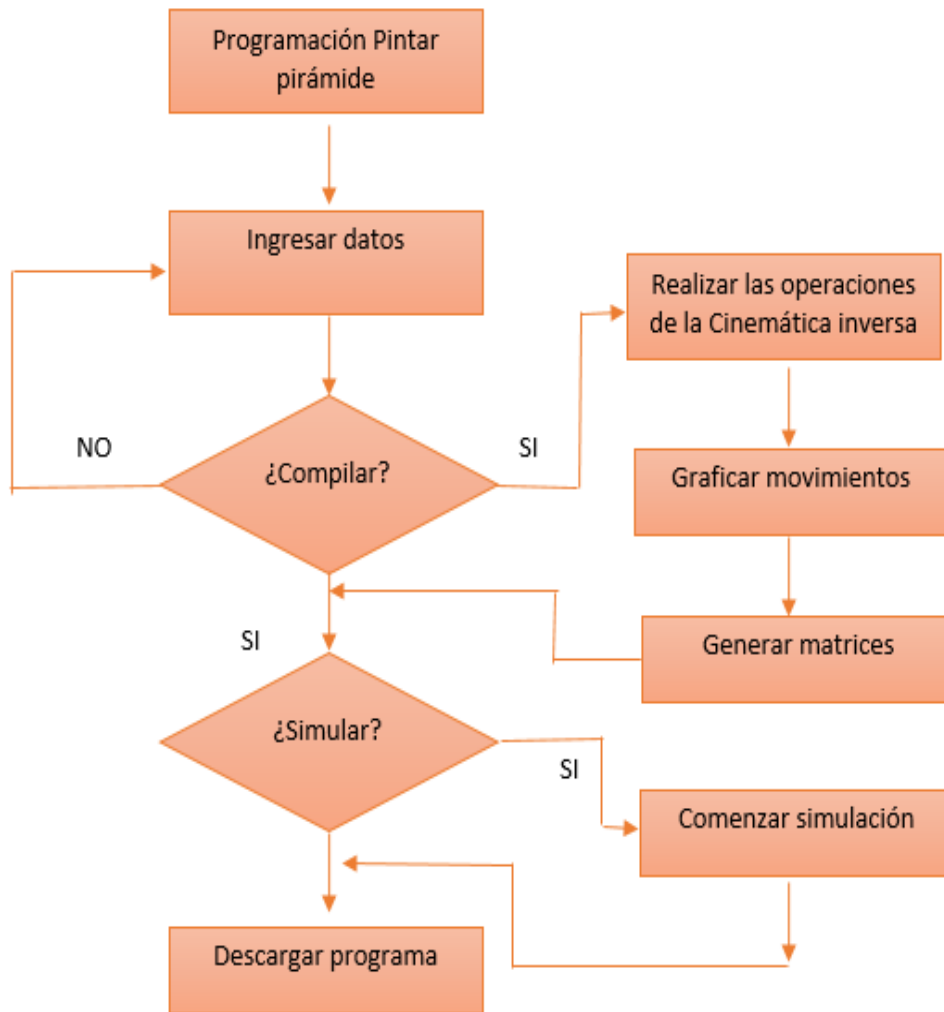


Fig 5.11 Flujoograma de la interfaz gráfica

5.4.2 FLUJOGRAMA DE LA CINEMÁTICA DIRECTA

En el siguiente flujoograma se realiza una breve explicación de la programación de la cinemática directa desarrollada en un script de Matlab.

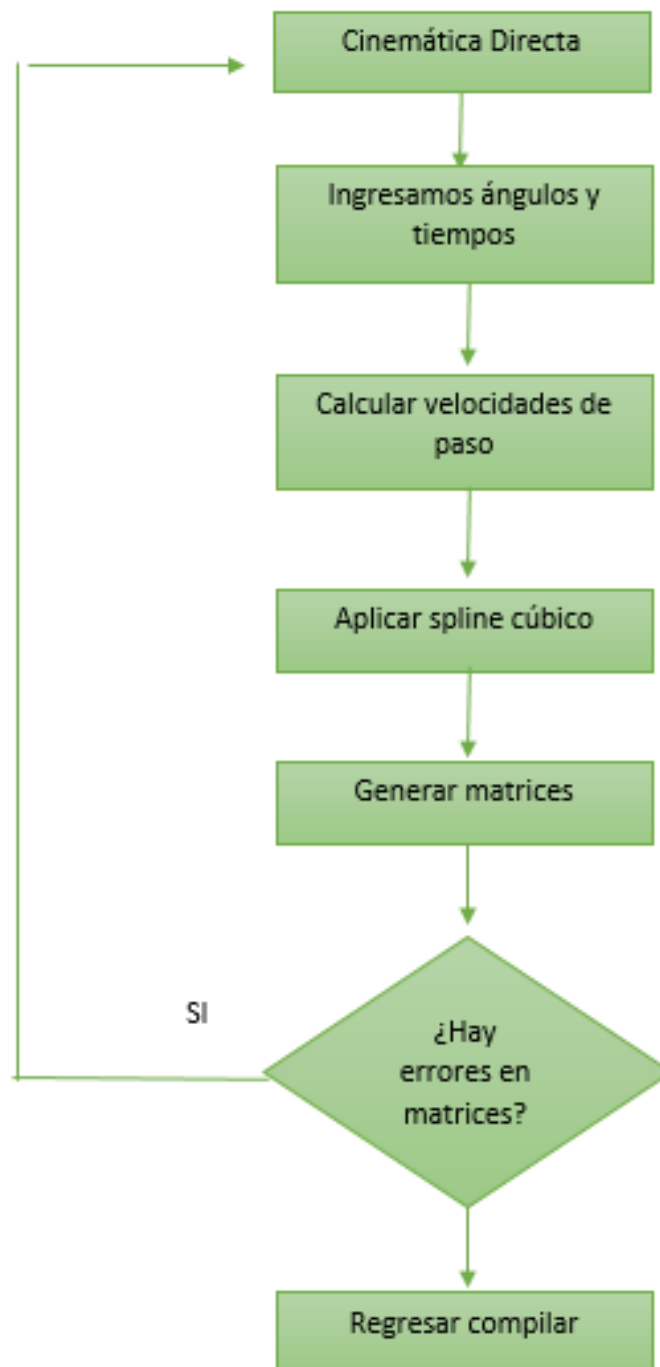


Fig 5.12 Flujograma cinemática directa

5.4.3 FLUJOGRAMA CINEMÁTICA INVERSA

Se realiza el mismo procedimiento que la cinemática directa pero con una pequeña variante, en vez de cargar los ángulos tomamos en cuenta las posiciones, tal como se muestra en el flujograma siguiente.

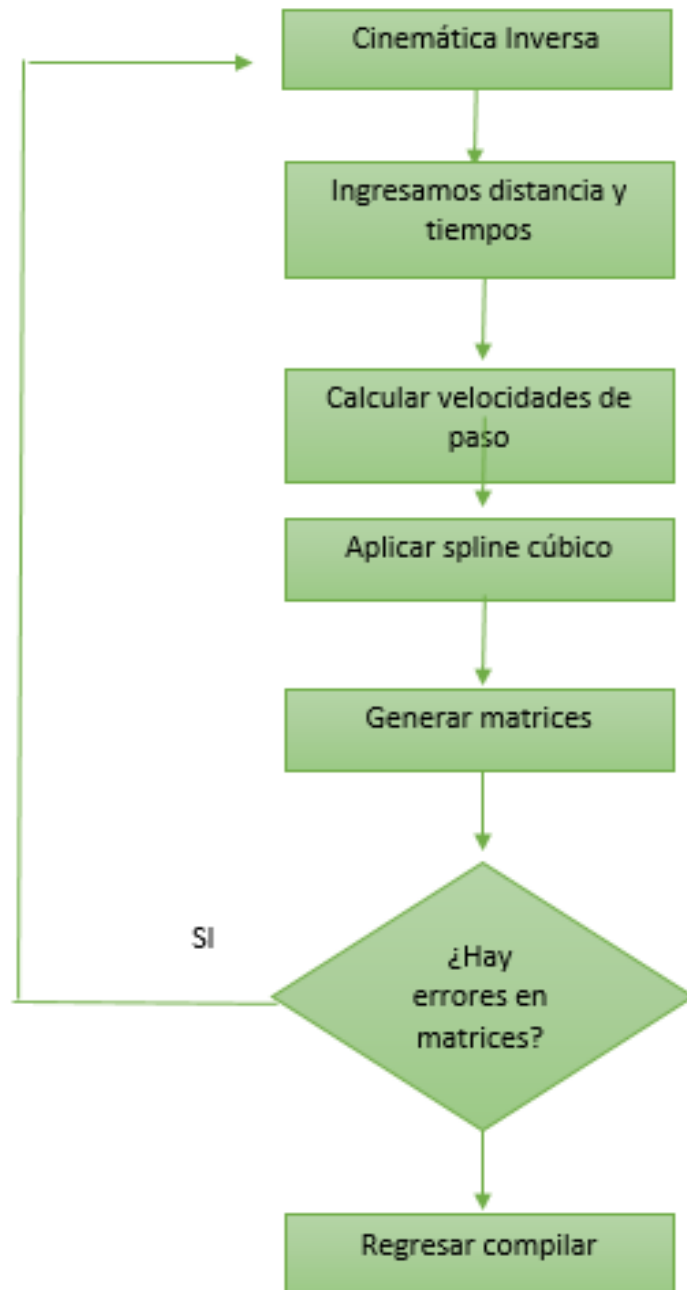


Fig 5.13 Flujograma cinemática inversa

5.4.4 FLUJOGRAMA PROGRAMA PRINCIPAL

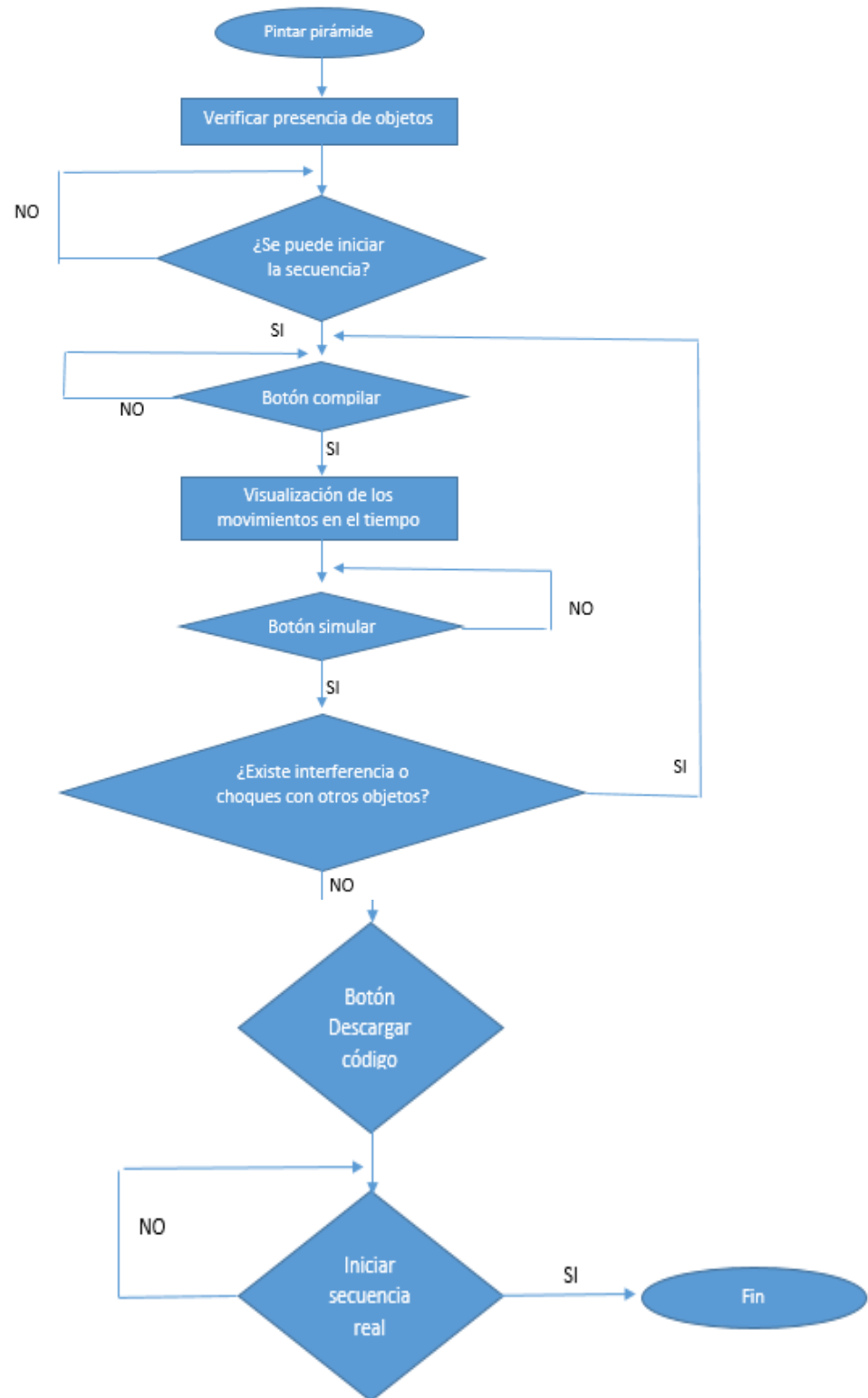


Fig 5.14 Flujograma programa principal

5.4.5 FLUJOGRAMA PROGRAMACIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Por medio de este flujograma se da paso a explicar de manera sencilla la programación desarrollada para el funcionamiento de la banda transportadora.

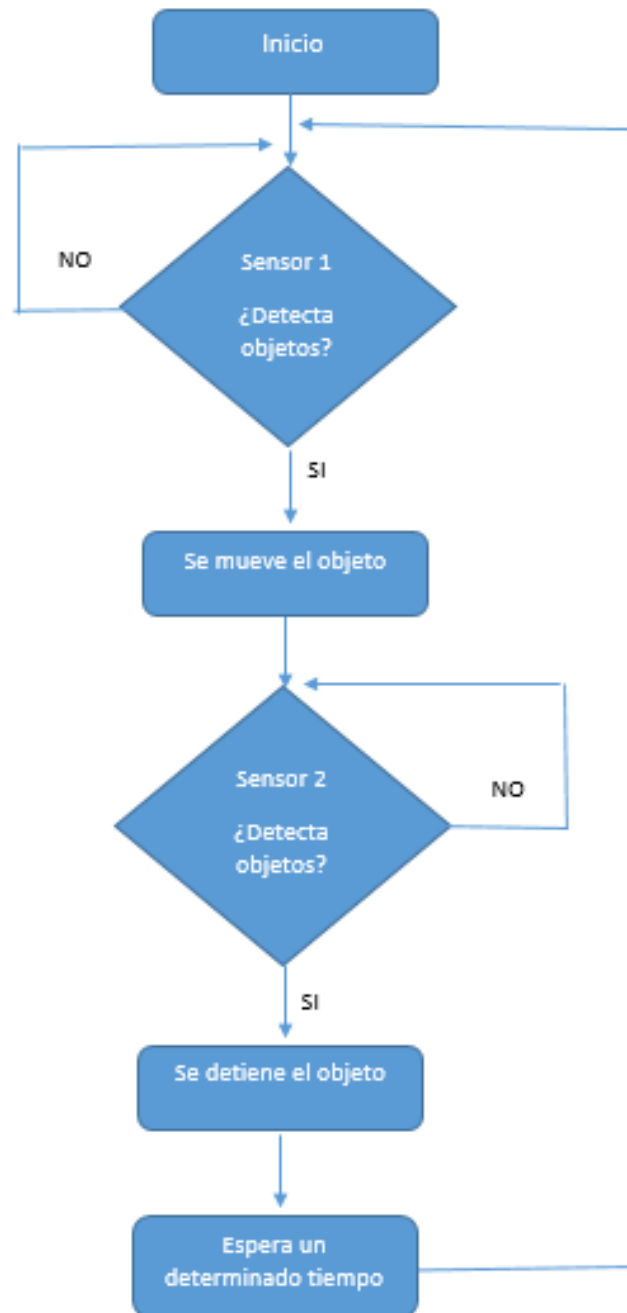


Fig 5.15 Flujograma programación banda transportadora

CAPÍTULO 6

6 PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 PRUEBAS ÁREA DE PINTADO

En ésta prueba se realizó la acción del pintado a varias distancias para comprobar la calidad del pintado y el área cubierta de pintura que se proporcionó a dichas distancias, para estas pruebas se utilizó pintura de agua y pintura acrílica para aerógrafo.

Tabla 6.1 Prueba de pintado con pintura de agua

Distancia(cm.)	Área(cm ²)aproximado pintado	Calidad del
1	1.15	4
2	1.8	6
3	2.5	9
4	2.8	7
5	3.1	6
6	3.4	6
7	4	5
8	4.4	5
9	4.8	4
10	5.1	1

Tabla 6.2 Prueba de pintado con pintura acrílica.

Distancia(cm.)	Área(cm ²)aproximado pintado	Calidad del
1	1.10	4
2	1.6	6
3	2.4	9
4	2.8	7
5	3.3	6
6	3.4	6
7	4.1	5
8	4.44	5
9	4.7	4
10	5.1	3
11	5.4	2

En la tabla 6.1 y 6.2 los resultados nos indican que al pintar a una distancia corta la calidad del pintado es mala debido a que la acumulación de pintura es excesiva, para distancias mayores la cantidad de pintura es escasa provocando una mala calidad en el pintado.

Una distancia promedio es la adecuada para obtener resultados correctos al momento de realizar el pintado en los cuerpos geométricos. Otro factor a tomar en cuenta es la velocidad del rociado, para este tiene que ser una velocidad normal.

Se escogió la pintura acrílica porque tiene un rápido secado y una mejor consistencia que la pintura de agua, además de que esta pintura está diseñada para fluir fácilmente por la boquilla sin provocar obstrucciones, se puede también utilizar otras pinturas pero tienen que disolverse con más cantidad de agua.

Para el mezclado de pintura se utilizó pintura vinil acrílica y agua con cantidades iguales, por ejemplo se mezcló 1 litro de pintura con 1 litro de agua para que así su viscosidad sea la menor posible.

Para la calificación de la calidad de pintado se utilizó una escala de 1 al 10 donde 1 es pésimo y 10 es excelente.

En la imagen 6.1 se indica al cuerpo geométrico (pirámide) antes de realizar la prueba de pintado.

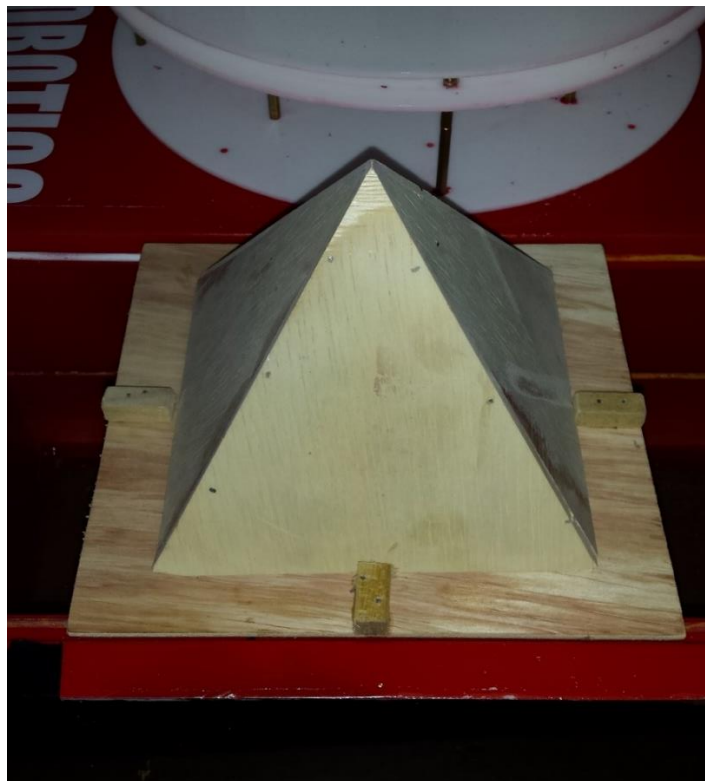


Fig 6.1 Pirámide antes de ser pintada

En la figura 6.2 se muestra la misma pirámide pero esta vez luego de haber terminado el proceso de pintura.

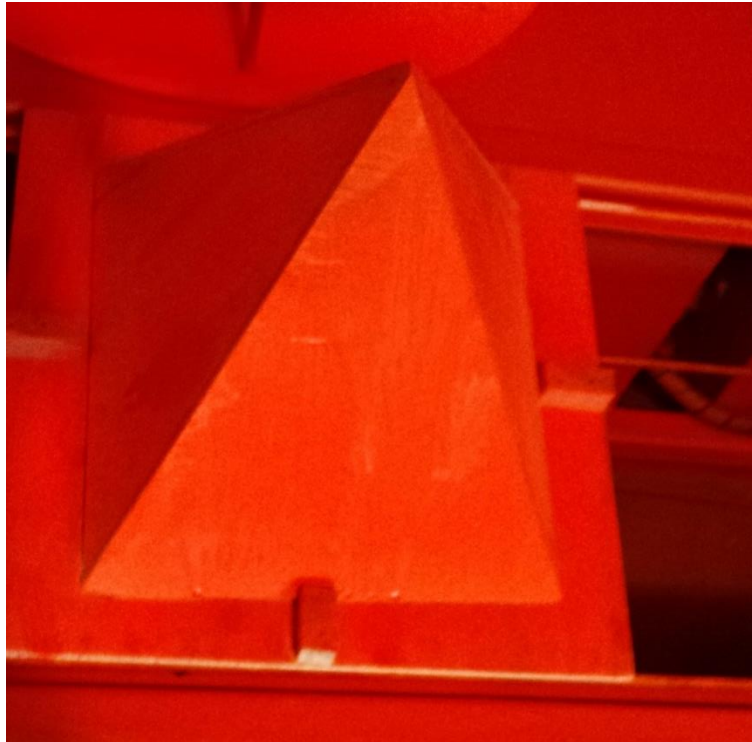


Fig 6.2 Pirámide después de ser pintada

CAPÍTULO 7

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Como conclusiones del trabajo podemos mencionar lo siguiente:

- Aplicando los conocimientos teóricos se establece los criterios principales para optimizar el dimensionamiento de los componentes que intervienen en este módulo, entonces aplicando estos fundamentos teóricos se concluye que el uso de materiales livianos son de vital importancia para el desempeño correcto del brazo, además que los componentes eléctricos y electrónicos son de dimensiones reducidas debido al enfoque didáctico de este proyecto, sin embargo estos cumplen con el objetivo de simular un proceso industrial.
- Tras conocer los componentes electrónicos y eléctricos que conforman el módulo se realiza sus respectivas comparaciones con otros componentes de características similares, para así evaluar y seleccionar los componentes adecuados para el funcionamiento óptimo de este proyecto.
- El desarrollo de una interfaz gráfica constituye una herramienta útil y versátil que ayuda al estudiante a controlar y simular los datos ingresados para la generación de los movimientos del brazo sin poner en riesgo la programación principal de este módulo.

- Al realizar varias pruebas de pintado tomando en cuenta ciertas variables se tiene como conclusión que la calidad del pintado depende de la velocidad del movimiento aerógrafo y la distancia a la cual se esparce la pintura, debido a que una rociar a pequeñas distancias genera acumulación de pintura y viceversa y mantener una velocidad constante para poder rociar la misma cantidad de pintura en todo instante de tiempo.
- Al tener un manual de usuario, este guía al estudiante paso a paso a manipular el brazo robótico, para así poder poner en marcha, evitando causar posibles daños o errores en su manipulación.
- El desarrollo de un manual de prácticas pretende que el estudiante realice de manera progresiva el estudio y verificación práctica del movimiento de cada uno de los grados de libertad, hasta llegar al adiestramiento total para poder controlar de manera apropiada el módulo y así poder cumplir con la aplicación para el cual está diseñado.

7.2 RECOMENDACIONES

Luego de concluir con el trabajo realizado se realiza las siguientes recomendaciones:

- Para mejorar el funcionamiento del brazo robótico se recomienda tomar en cuenta para la programación el peso y los torques que conforman el brazo, debido en que este proyecto no está tomado en cuenta porque solo se realizó la cinemática inversa el cual no toma en cuenta estos parámetros.
- Para futuras investigaciones se recomienda considerar el diseño del sistema de aire comprimido y la alimentación del sistema de pintura.

- Se sugiere utilizar el manual de usuario propuesto para evitar un mal uso en el módulo, y así garantizar un correcto funcionamiento, además de regirse con el mantenimiento preventivo para mantener en condiciones óptimas este módulo.
- No excederse en la alimentación de energía se recomienda no excederse de los 6v y 3A.
- Se debe realizar la acción del pintado en una área libre de viento debido a que el rociado se ve afectado por este.
- Utilizar fuentes que brinden señales puras para que no existan interrupciones en el funcionamiento del brazo.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Barrientos, A., Peñín, L. F., Balaguer, C., & Aracil, r. (2007). *Fundamentos de robótica*. McGraw-Hill España.
- [2] Baturone, A. O. (2001). *ROBOTICA Manipuladores y robots móviles*. Barcelona: MARCOBO.
- [3] BOLTON, W. (2013). *Libro Mecatrónica - Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. Alfaomega.
- [4] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGRAW-HILL.
- [5] Chong, M. (2009). *Robótica e inteligencia artificial*. El Cid Editor | apuntes.
- [6] Cobalt, K. (2009). *Robótica*. Circlet Press.
- [7] CORTES, F. R. (2015). *ARDUINO: APLICACIONES EN ROBÓTICA, MECATRÓNICA E INGENIERÍAS*. Marcobo.
- [8] Craig, J. J. (2006). *Robótica*. Pearson Prentice hall.
- [9] Kumar Saha, S. (2010). *Introducción a la robótica*. España: McGraw-Hill España.
- [10] Norton, R. (2009). *Diseño de maquinaria*. México: Mc Graw Hill.
- [11] Moreno, E. G. (1999). *Automatización de procesos industriales: robótica y automática*. Universidad Politécnica de Valencia.
- [12] Mott, R. (2008). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS*. México: Pearson Prentice Hall.
- [13] Pedro Arevalo, S. H. (2012). *Robótica industrial prototipo y sistemas de visión artificial: Diseño, construcción y control de un prototipo de robot industrial dotado con visión artificial*. EAE.

- [14] Reyes Cortés, F. (2011). *Robótica: control de robots manipuladores*. Alfaomega Grupo Editor.
- [15] Reyes Cortés, F. (2012). *MATLAB aplicado a Robótica y Mecatrónica*. Alfaomega Grupo Editor.
- [16] Ruiz Velasco Sánchez, E. (2012). *Los robots en la educación*. Ediciones Díaz de Santos.
- [17] Sánchez, J. A. (2002). *Avances en robótica y visión por computador*.
- [18] Velázquez, J. A., & Steegmann, C. (2008). *MODELOS MATEMÁTICOS*.
- [19] Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., & Oriolo, G. (2009). *Robotics Modelling, Planning and Control*.

ARTICULOS DE INTERNET

- [20] *Arduino*. (2015). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>
- [21] *CONQUITO*. (2015). Obtenido de <http://www.conquito.org.ec/page/4/?day=wzmxhcudzv>
- [22] *HOBBY KING*. (2015). Obtenido de http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__23491__HK15338_Giant_MG_Digital_Servo_175g_25kg_0_21s.html
- [23] *HOBBY KING*. (2015). Obtenido de http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__9549__Turnigy_TG9e_9g_1_5kg_0_10sec_Eco_Micro_Servo.html
- [24] *HOBBY KING*. (2015). Obtenido de http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__18742__Vigor_VSD_11AY_MB_MG_HV_Extra_Large_360_Degree_Winch
- [25] *Ultra plas S.A.* (2011). Obtenido de <http://www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico-propiedades.html#resistenciaquimica>

- [26] Aluminio, C. (2015). *CEDAL*. Obtenido de http://www.cedal.com.ec/produccion_cedal.php
- [27] CAPALEX. (2011).
http://www.capalex.co.uk/spanish/6005_a_alloy_sp.html.
- [28] CÍA.LTDA, I. (2014). Obtenido
<http://www.inselec.com.ec/include/php/global/document.php?doc=Beauco up.pdf>.
- [29] Ramírez H (2012) .Robótica Modelado dinámico de robots Obtenido
<http://www.utm.mx/~hugo/robot/Robot3.pdf>
- [30] Jaramillo. A (2015). Cinemática de manipuladores Obtenido
http://www.wag.caltech.edu/home/ajaramil/libro_robotica/cinematica.pdf

TESIS

- [31] Jami, G. F., & Tituaña, I. V. (2010). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA ENTREGA DE HOJAS VOLANTES PUBLICITARIAS EN CENTRO COMERCIALES*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

ANEXOS

ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO

1 INTRODUCCIÓN

Para la manipulación del brazo robótico se ha diseñado una interfaz gráfica la cual será el encargado de controlar la posición y orientación de los eslabones y la herramienta (aerógrafo).

2 CONEXIONES ELÉCTRICAS

Para realizar todas las conexiones se recomienda tener desconectada la fuente principal para evitar cualquier daño a la salud y al sistema electrónico.

En la siguiente tabla se muestra el voltaje que se debe conectar los componentes electrónicos.

Componentes	Voltaje
Arduinos	5 v
Servomotores	6 v – 3A
Sensores	5v
Motor DC	12v

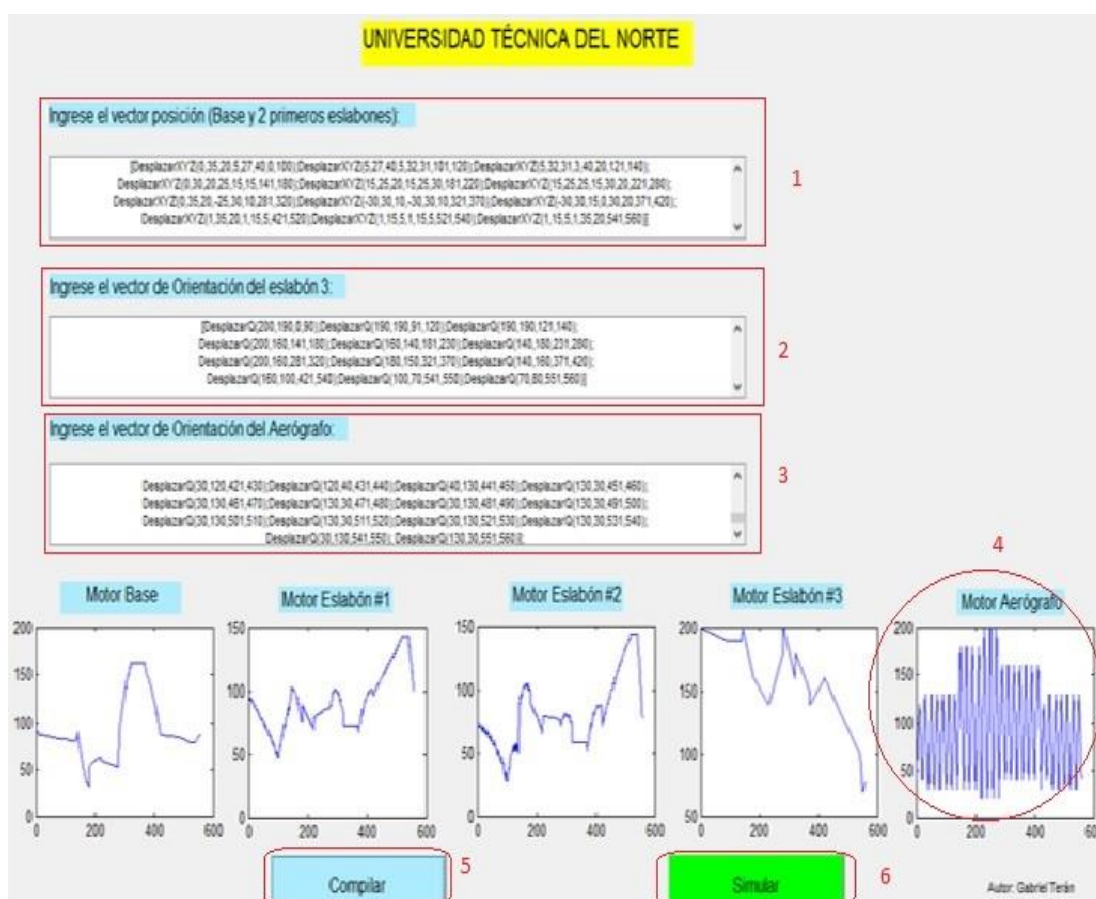
2.1 POLARIDAD SERVOMOTORES

Se debe conectar los cables de los servomotores en la polaridad correcta, en la siguiente tabla se indica la polaridad según su color.

En la tabla se muestra información de los cables de los servomotores.

Color	Polaridad
Negro	Negativo
Rojo	Positivo
Blanco	Señal

3 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA



1.- Casillero de posicionamiento: En este casillero se ingresan los valores para controlar la posición de la base y los 2 primeros eslabones (control de 3 grados de libertad)

2.- Casillero de posicionamiento 1: Aquí se inserta los valores para orientar al tercer eslabón.

3.- Casillero de posicionamiento 2: En este casillero se ingresa los datos para orientar al aerógrafo.

4.- Gráficas: Se visualiza la curva realizada por cada uno de los servomotores en función al ángulo vs tiempo.

5.- Compilar: Este botón realiza la tarea de compilar y verificar si no existe errores al cargar el programa.

6.- Simular: Botón encargado de realizar la simulación en Simulink, con esta función visualizamos los movimientos generados.

4 PROGRAMACIÓN EN LA INTERFAZ GRÁFICA

Se explicará por medio de un ejemplo los pasos a seguir para poder utilizar la interfaz y programar las secuencias del brazo robótico.

4.1 Ingreso de valores en el casillero de posicionamiento.

Como se mencionó anteriormente en este se controlará los 3 primeros grados de libertad, para esto se ingresará valores finales e iniciales de los puntos x, y, z respectivamente además de valores de tiempos, con el fin de posicionar el final del eslabón 2.

El casillero de posicionamiento está formado por una matriz llamada DesplazarXYZ

Entonces se tiene:

DesplazarXYZ (z0,y0,x0,z1,y1,x1,t0,t1)

Donde:

z0= punto en z inicial

y0= punto en y inicial

x0= punto en x inicial

z1= punto en z final

y_1 = punto en y final

x_1 = punto en x final

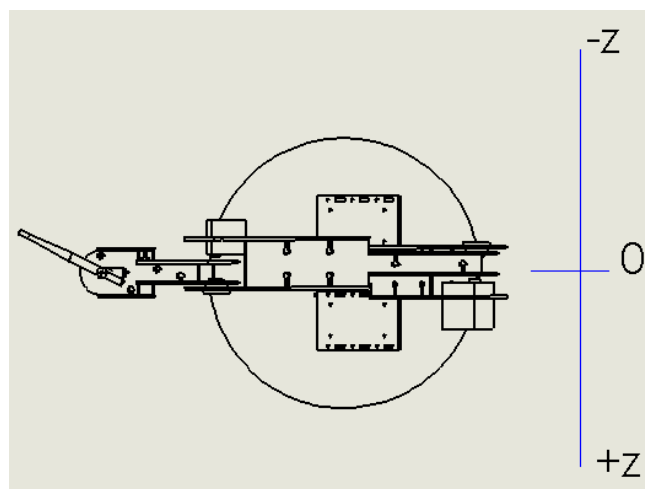
t_0 = tiempo inicial

t_1 = tiempo final

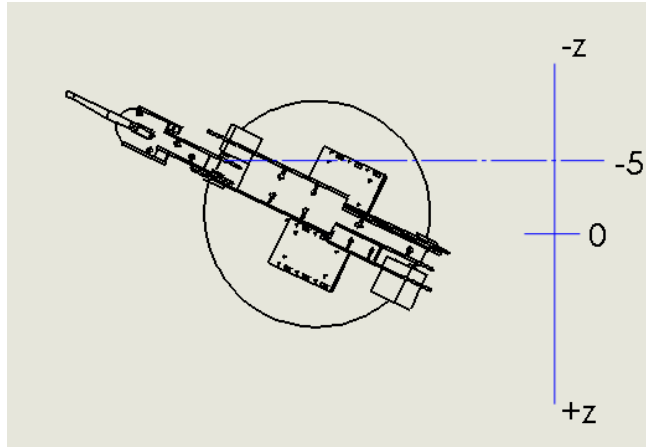
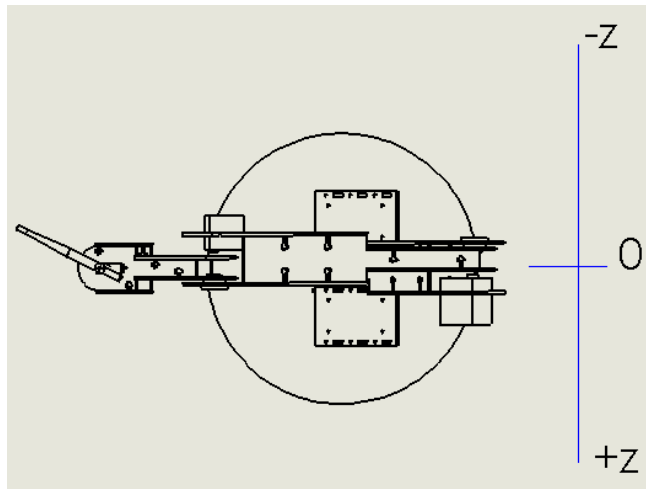
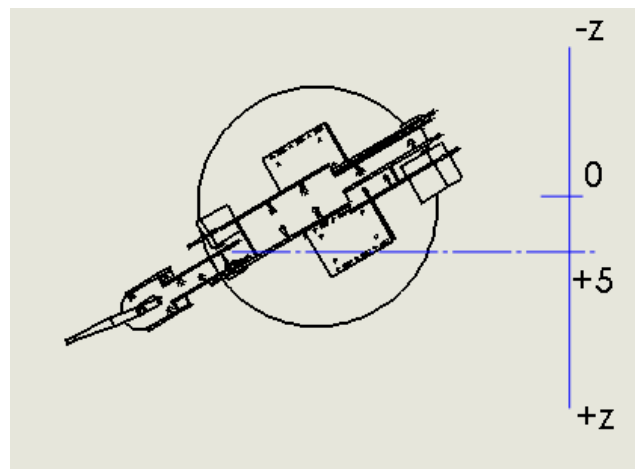
Secuencia para el eje z

Primeramente comenzaremos llenando los datos de z, suponiendo que se quiere desplazar 5cm en el eje +z y -z, teniendo como origen el punto central de la base giratoria.

En las siguientes imágenes se muestra una secuencia gráfica de los desplazamientos en el eje z



Posición $z = 0$

Posición $z = -5$ Posición $z = 0$ Posición $z = +5$

Entonces si se desea tener la siguiente secuencia descrita en las gráficas anteriores, se ingresa los datos de esta manera, con un tiempo de 50 en cada secuencia.

En los tiempos se aumenta t final +1 para continuar aumentando secuencias. Ejemplo:

[DesplazarXYZ (0,0,0,0,0,0,0,50); DesplazarXYZ (0,0,0,0,0,0,0,51,100)

DesplazarXYZ (0,0,0,0,0,0,0,101,150)]

Ejemplo Secuencia eje z

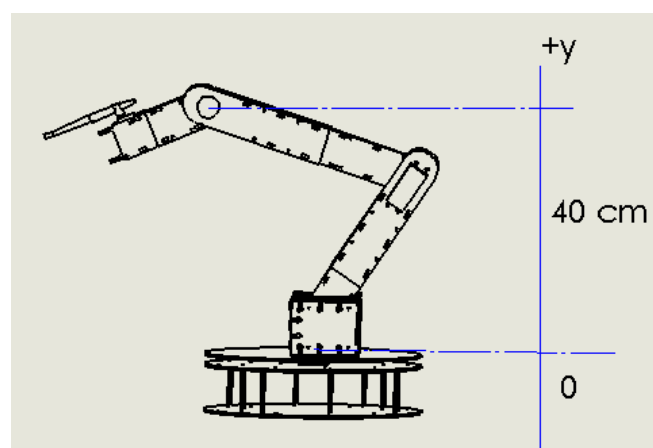
DesplazarXYZ (z0,y0,x0,z1,y1,x1,t0,t1)

[DesplazarXYZ (0,0,0,-5,0,0,0,50); DesplazarXYZ (-5,0,0,0,0,0,0,51,100)

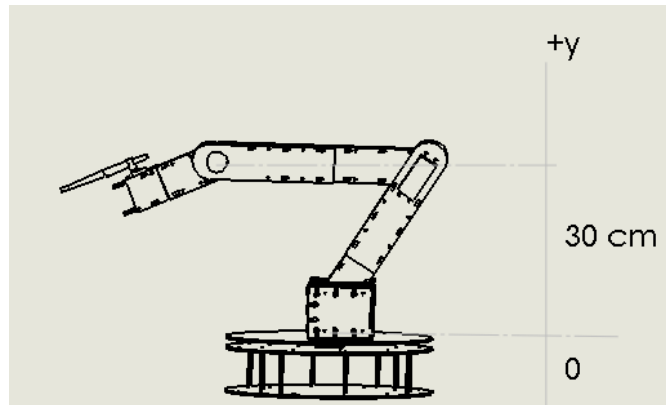
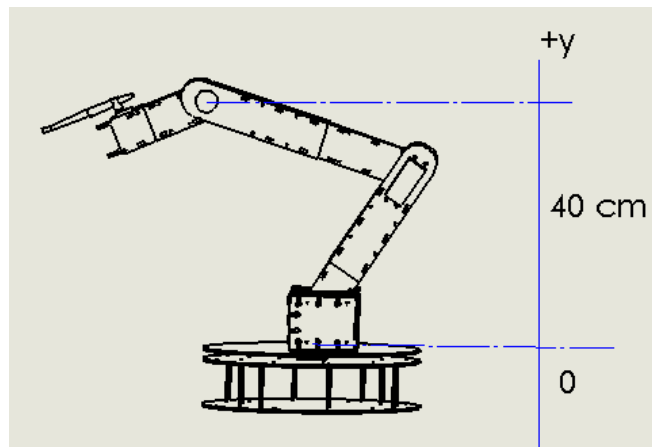
DesplazarXYZ (0,0,0,5,0,0,0,101,150)]

Secuencia para el eje y

Para el eje y se supondrá la siguiente secuencia gráfica, en donde el final del eslabón 2 se desplazará 40cm hacia +Y y de regreso a 30 cm y viceversa.



Posición y= 40

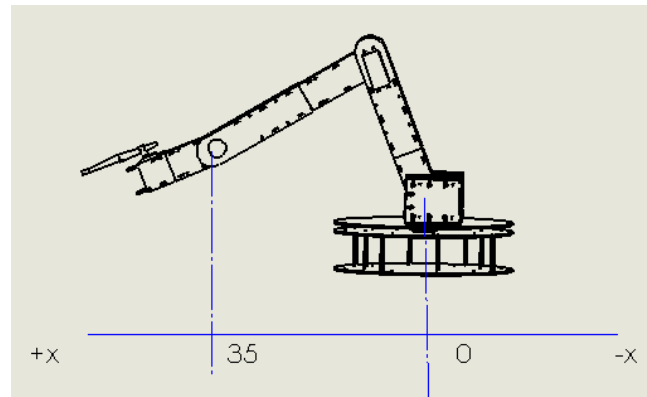
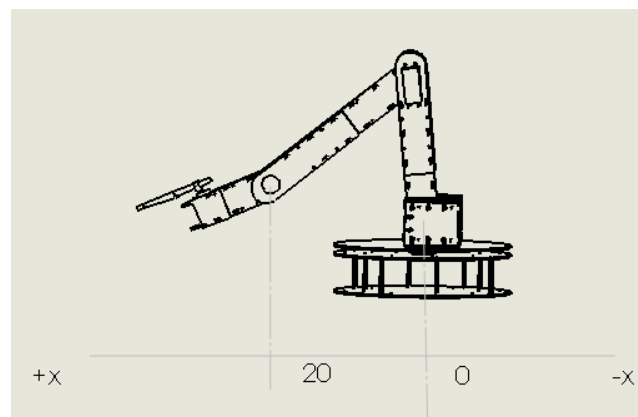
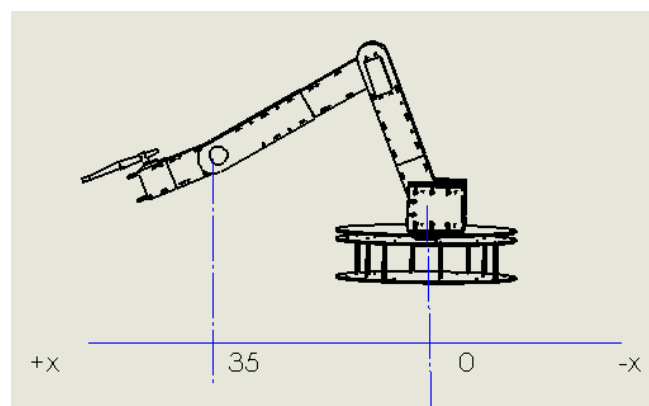
Posición $y= 30$ Posición $y= 40$

Entonces la matriz queda de la siguiente manera:

[DesplazarXYZ (0,35,0,0,40,0,0,50); DesplazarXYZ
(0,40,0,0,30,0,51,100);
DesplazarXYZ (0,30,0,0,40,0,101,150)]

Secuencia para el eje x

De igual forma se lo realiza para el eje, entonces completamos la matriz guiándonos en la secuencia siguiente.

Posición $x=35$ Posición $x=20$ Posición $x=35$

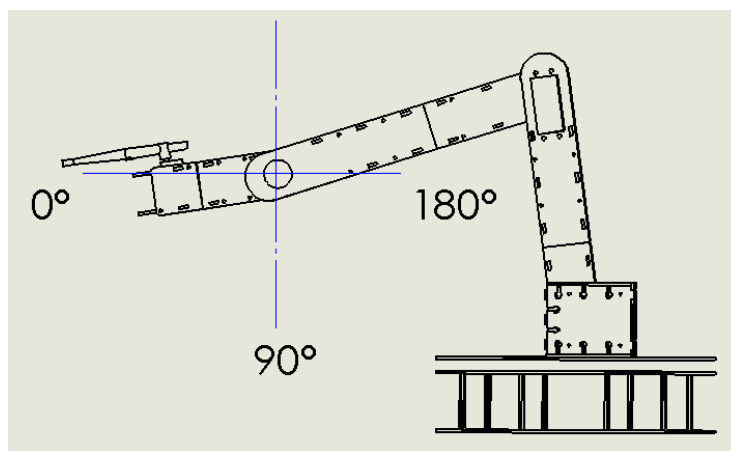
Por lo tanto la matriz es la siguiente:

[DesplazarXYZ (0,0,20,0,0,35,0,50); DesplazarXYZ
(0,0,35,0,0,20,51,100);
DesplazarXYZ (0,0,20,0,0,35,101,150)]

4.1 Ingreso de valores en el casillero orientación 1

En este casillero se encarga de la orientación del eslabón 3 con referencia en el final del eslabón 2 e ingresamos los datos en la matriz denominada DesplazarQ.

En la imagen se muestra la el eje de referencia para orientar el eslabón 3.



Eje de referencia eslabón3

Ejemplo:

Si se desea orientar el eslabón 3 de 45° a 90° y de 90° a 135° y viceversa se debe realizarlo de la siguiente forma.

[DesplazarQ(45,90,0,38);DesplazarQ(90,135,39,76);DesplazarQ(135,90,77,111); DesplazarQ(90,45,114,150)]

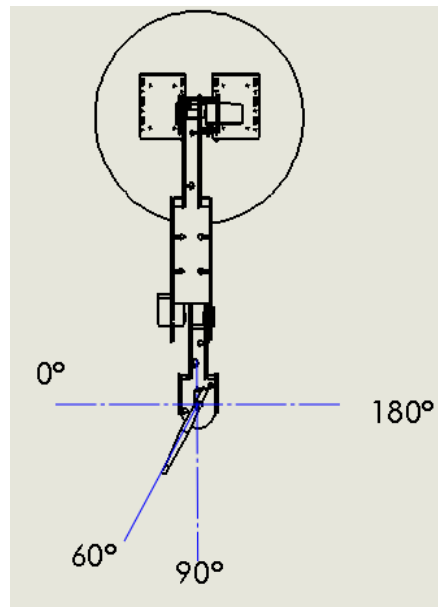
4.1 Ingreso de valores en el casillero orientación 2

En este caso se controlará el movimiento de la herramienta (aerógrafo) teniendo en cuenta la referencia al final del eslabón 3, los valores son insertados en la matriz.

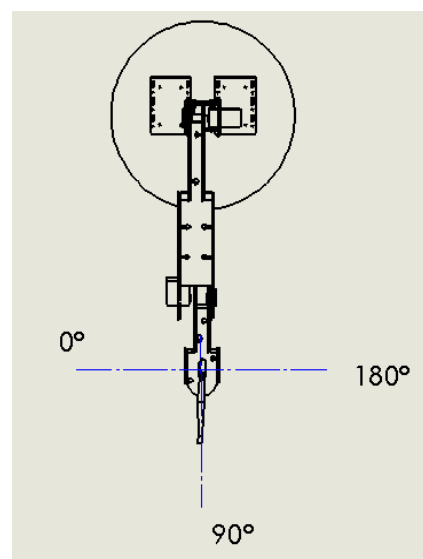
Desplazar Q y se lo realiza como se lo explicará en el siguiente ejemplo.

Ejemplo:

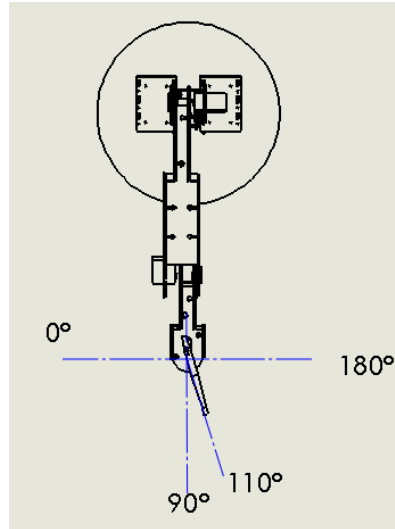
Se requiere que aerógrafo realice la siguiente secuencia como lo indica las gráficas q se muestran a continuación.



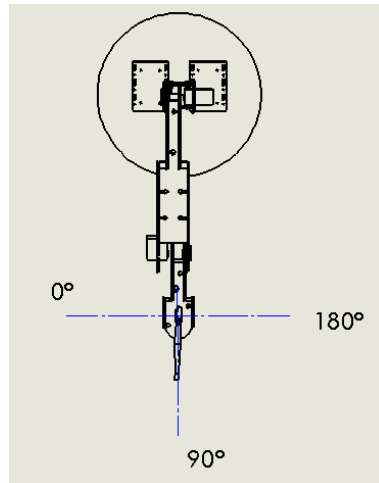
Orientación 60°



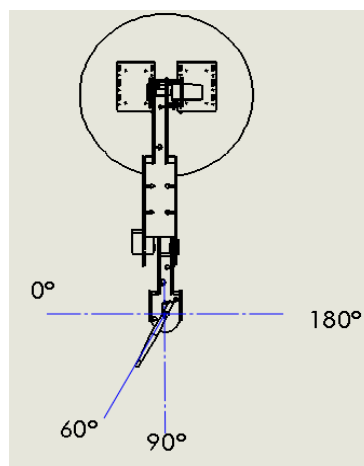
Orientación 90°



Orientación 110°



Orientación 90°



Orientación 60°

Entonces la matriz resuelta queda así:

[DesplazarQ(60,90,0,38);DesplazarQ(90,110,39,76);DesplazarQ(110,90,77,111); DesplazarQ(90,60,114,150)]

Nota: Las matrices deben tener el mismo tamaño número de columnas ya que, en el momento de compilar nos saldrá un error, en este caso el número de columnas lo establece el tiempo final.

ANEXO B. MANUAL DE PRÁCTICAS

**PRÁCTICAS
PROPUESTAS**

PRÁCTICA # 1

Control del aerógrafo (1 grado de libertad)

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará la orientación en el eje z, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para orientar el aerógrafo en el eje z.

Materiales:

- 1 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- 1 aerógrafo

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas.
- Ingresar valores en la interfaz para orientar al aerógrafo en el eje z.
- Compilar y cargar el programa al arduino.
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Orientar al aerógrafo en diferentes distancias con respecto al eje z, en cualquier instante de tiempo.

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICA # 2

Control de los dos primeros eslabones (eje x, y) (2 grados de libertad)

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará desplazamientos en el eje x y en el eje y con respecto al origen, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para posicionar el extremo del eslabón # 2.

Materiales:

- 2 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para desplazar el extremo del eslabón #2 en el eje x, y.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el eslabón # 2 en los ejes y, x respectivamente, con las siguientes condiciones:

De $y=35$; $x=20$ a $y=27$; $x=40$

De $y=32$; $x=31$ a $y=20$; $x=40$

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICA # 3

Control de la base giratoria y posicionamiento del extremo del eslabón #2
(3 grado de libertad)

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará desplazamientos en los ejes x,y,z, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para posicionar el extremo del eslabón #2.

Materiales:

- 3 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para desplazar el extremo del eslabón#2 en los ejes x,y,z
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el extremo del eslabón 2 en diferentes puntos con respecto al punto de origen, con las siguientes condiciones:

Cuando $z = -5$, $y = 30$, $x = 10$

Cuando $z = -5$, $y = 20$, $x = 20$

Cuando $z = -5$, $y = 10$, $x = 30$

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICA # 4

Control de los 3 primeros grados de libertad y la orientación del tercer eslabón (4 grados de libertad)

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará desplazamientos en el eje x, y, z del segundo eslabón y la orientación del tercer eslabón, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para posicionar el extremo del eslabón #2 y la orientación del eslabón# 3.

Materiales:

- 4 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar la base, dos primeros eslabones y orientar el tercer eslabón.
- Compilar y cargar el programa al arduino

- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el eslabón 2 y orientar el eslabón 3, con las siguientes condiciones:

Cuando $z = -5$, $y = 30$, $x = 10$, $T_{q4} = 160$

Cuando $z = -5$, $y = 20$, $x = 20$, $T_{q4} = 170$

Cuando $z = -5$, $y = 10$, $x = 30$, $T_{q4} = 180$

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICA # 5

Control de los 3 primeros grados de libertad, la orientación del tercer eslabón y la orientación de la herramienta (5 grados de libertad)

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará el posicionamiento de los 3 primeros grados de libertad y la orientación de los 2 últimos grados de libertad, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para posicionar y orientar los eslabones.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta con las siguientes condiciones:

Cuando $z = -5$, $y = 30$, $x = 10$, $T_{q4} = 160$, $T_{q4} = 30$

Cuando $z = -5$, $y = 20$, $x = 20$, $T_{q4} = 170$, $T_{q4} = 90$

Cuando $z = -5$, $y = 10$, $x = 30$, $T_{q4} = 180$, $T_{q4} = 160$

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICA # 6

Control 5 grados de libertad

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se controlará los 5 grados de libertad de este módulo, realizando la tarea de pintar los lados de la pirámide.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- Pirámide de dimensiones (15x15x15)cm

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta para realizar la tarea propuesta.

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICA # 7

Control 5 grados de libertad

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se controlará los 5 grados de libertad de este módulo, realizando la tarea de pintar completamente el cuerpo geométrico, para este caso es la pirámide.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- Pirámide de dimensiones (15x15x15)cm

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta para realizar la tarea propuesta.

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICA # 8

Control 5 grados de libertad

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se controlará los 5 grados de libertad de este módulo, realizándola tarea de pintar el lado superior de un prisma rectangular.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- Prisma rectangular de dimensiones (20x15x8)cm

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta para realizar la tarea propuesta.

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICA # 9

Control 5 grados de libertad

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se controlará los 5 grados de libertad de este módulo, realizándola tarea de pintar completamente el cuerpo geométrico, que en este caso es un prisma rectangular.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- Prisma rectangular de dimensiones (20x15x8)cm

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta para realizar la tarea propuesta.

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICA # 10

Control banda transportadora

Objetivos:

- a) Control de posicionamiento del objeto en la banda transportadora

Descripción:

En esta práctica se controlará el posicionamiento del objeto en la banda transportadora mediante el uso de sensores de presencia.

Materiales:

- 1 motor DC
- Arduino nano
- Fuente de alimentación
- Software Arduino
- 2 sensores de presencia
- Pirámide

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Colocar el sensor # 1 al inicio de la banda
- Colocar el sensor # 2 frente al brazo robótico
- Programar el sensor #1 para que cuando exista un obstáculo envíe una señal para que la banda inicie el movimiento.
- Programar el sensor #2 para que cuando exista un obstáculo envíe la señal para que realice la acción de detenerse la banda.

Actividades:

Posicionar el objeto frente al brazo robótico y retener al objeto en esa posición por unos 10 segundos.

Conclusiones:**Recomendaciones:**

PRÁCTICAS RESUELTAS

PRÁCTICA # 1

Control del aerógrafo (1 grado de libertad)

Objetivos:

- c) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- d) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará la orientación en el eje z, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para orientar al aerógrafo en el eje z.

Materiales:

- 1 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- 1 aerógrafo.

Procedimiento:

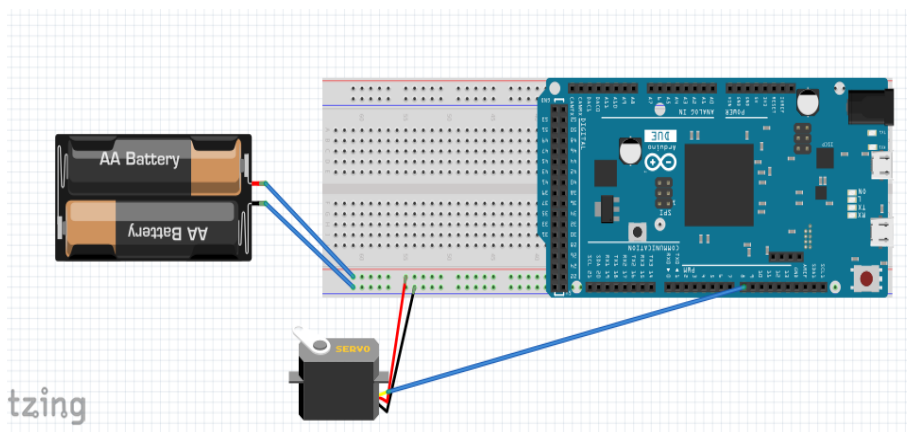
- Realizar las debidas conexiones eléctricas.
- Ingresar valores en la interfaz para orientar al aerógrafo en el eje z.
- Compilar y cargar el programa al arduino.
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

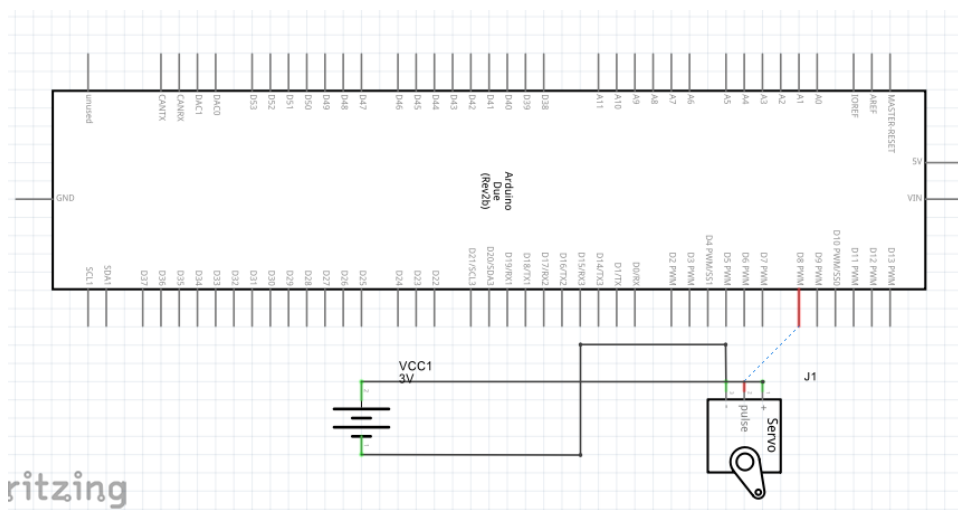
Orientar al aerógrafo en diferentes ángulos con respecto al eje z, en cualquier instante de tiempo.

Resolución:

- Conexiones eléctricas



- Diagrama eléctrico



-Valores que son sugeridos para la realización de esta práctica:

1.- Casillero de posicionamiento

[DesplazarXYZ(0,0,0,0,0,0,60);DesplazarXYZ(0,0,0,0,0,61,90);DesplazarXYZ(0,0,0,0,0,91,120);DesplazarXYZ(0,0,0,0,0,121,140)];

2.- Casillero de posicionamiento 1

[DesplazarQ(0,0,0,30);DesplazarQ(0,0,31,60);DesplazarQ(0,0,61,90);DesplazarQ(0,0,91,140)];

3.- Casillero de posicionamiento 2

[DesplazarQ(40,120,0,10);DesplazarQ(120,40,11,20);DesplazarQ(40,130,21,30);DesplazarQ(130,30,31,40);
DesplazarQ(30,130,41,50);DesplazarQ(130,30,51,60);DesplazarQ(30,130,61,70);DesplazarQ(130,30,71,80);
DesplazarQ(30,130,81,90);DesplazarQ(130,30,91,100);DesplazarQ(30,130,101,110);DesplazarQ(130,30,111,120);DesplazarQ(30,130,121,130);DesplazarQ(130,30,131,140)];

PRÁCTICA # 2

Control de los dos primeros eslabones en los ejes x, y (2 grados de libertad)

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará desplazamientos en el eje x y en el eje y con respecto al origen, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para posicionar el extremo del eslabón # 2.

Materiales:

- 2 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para desplazar el extremo del eslabón #2 en el eje x, y.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

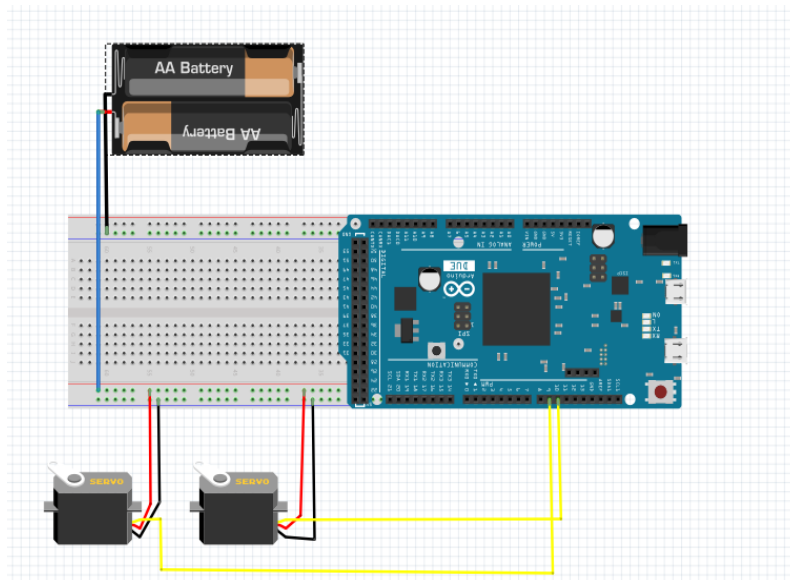
Posicionar el eslabón # 2 en los ejes y, x respectivamente, con los siguientes valores:

De $y=35$; $x=20$ a $y=27$; $x=40$

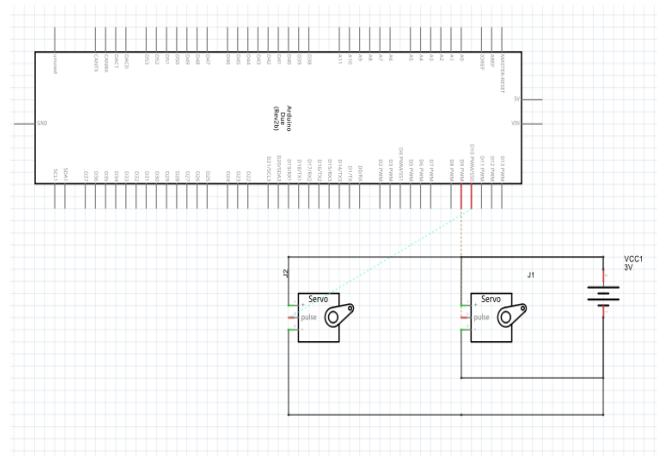
De $y=32$; $x=31$ a $y=20$; $x=40$

Resolución:

- Conexiones eléctricas



-Diagrama eléctrico



1.- Casillero de posicionamiento

[DesplazarXYZ(0,35,20,5,27,40,0,100);DesplazarXYZ(5,27,40,5,32,31,101,120);

DesplazarXYZ(5,32,31,3,40,20,121,140)];

2.- Casillero de posicionamiento 1

[DesplazarQ(0,0,0,90);DesplazarQ(0,0,91,120);DesplazarQ(0,0,121,140)];

3.- Casillero de posicionamiento 2

[DesplazarQ(0,0,0,10);DesplazarQ(0,0,11,20);DesplazarQ(0,0,21,30);DesplazarQ(0,0,31,40);DesplazarQ(0,0,41,50);DesplazarQ(0,0,51,60);DesplazarQ(0,0,61,70);DesplazarQ(0,0,71,80);DesplazarQ(0,0,81,90);DesplazarQ(0,0,91,100);

DesplazarQ(0,0,101,110);DesplazarQ(0,0,111,120);DesplazarQ(0,0,121,130);

DesplazarQ(0,0,131,140)];[DesplazarXYZ(0,35,20,0,27,40,0,100);DesplazarXYZ(0,27,40,0,34,35,101,120);DesplazarXYZ(0,34,35,3,35,20,121,140)]

;

[DesplazarQ(0,0,0,30);DesplazarQ(0,0,31,60);DesplazarQ(0,0,61,90);

DesplazarQ(0,0,91,140)];

PRÁCTICA # 3

Control de la base giratoria y posicionamiento del extremo del eslabón #2
(3 grado de libertad)

Objetivos:

- c) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- d) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará desplazamientos en los ejes x, y, z, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para posicionar el extremo del eslabón #2.

Materiales:

- 3 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para desplazar el extremo del eslabón#2 en los ejes x, y, z
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el extremo del eslabón 2 en diferentes puntos con respecto al punto de origen. Ejemplo:

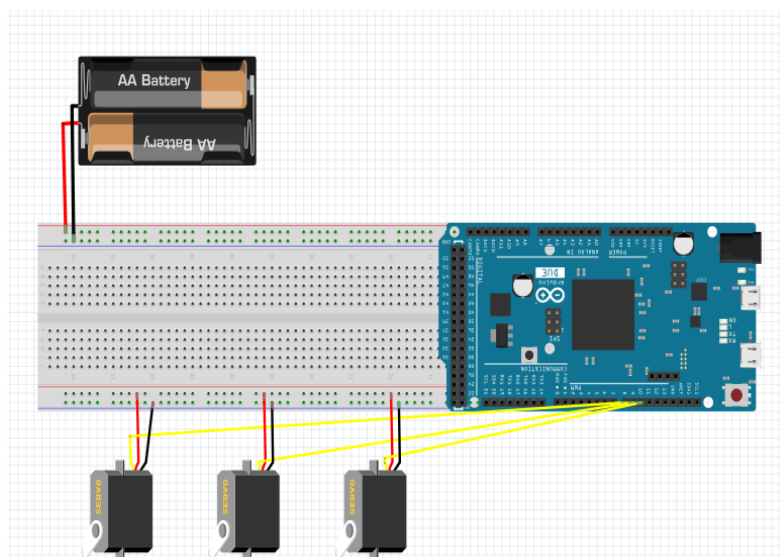
De $z=0, y=30, x=20$ a $z=25, y=15, x=15$

De $z=15; y=25; x=20$ a $z=15, y=25, x=30$

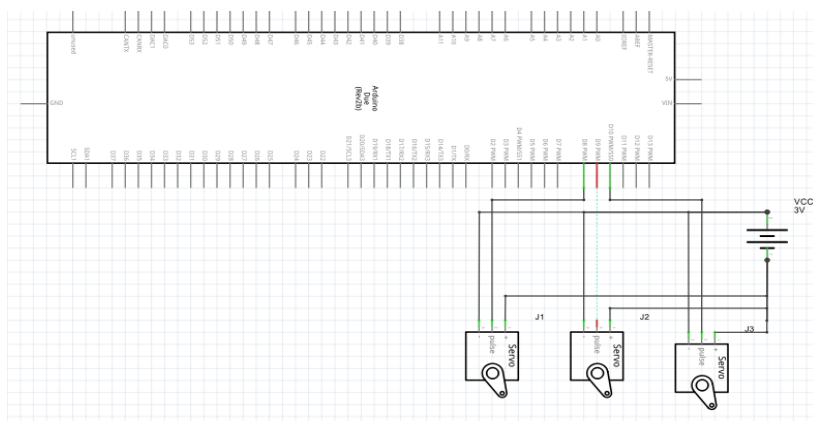
De $z=15; y=25; x=25$ a $z=15, y=30, x=20$

Resolución:

- Conexiones eléctricas



-Diagrama eléctrico



1.- Casillero de posicionamiento

[DesplazarXYZ(0,30,20,25,15,15,0,40);DesplazarXYZ(15,25,20,15,25,30,41,80);DesplazarXYZ(15,25,25,15,30,20,81,140)];

2.- Casillero de posicionamiento 1

[DesplazarQ(0,0,0,90);DesplazarQ(0,0,91,120);DesplazarQ(0,0,121,140)];

3.- Casillero de posicionamiento 2

[DesplazarQ(0,0,0,10);DesplazarQ(0,0,11,20);DesplazarQ(0,0,21,30);DesplazarQ(0,0,31,40);DesplazarQ(0,0,41,50);DesplazarQ(0,0,51,60);DesplazarQ(0,0,61,70);DesplazarQ(0,0,71,80);DesplazarQ(0,0,81,90);DesplazarQ(0,0,91,100);

DesplazarQ(0,0,101,110);DesplazarQ(0,0,111,120);DesplazarQ(0,0,121,130);

DesplazarQ(0,0,131,140)];[DesplazarXYZ(0,35,20,0,27,40,0,100);DesplazarXYZ(0,27,40,0,34,35,101,120);DesplazarXYZ(0,34,35,3,35,20,121,140)]

;

[DesplazarQ(0,0,0,30);DesplazarQ(0,0,31,60);DesplazarQ(0,0,61,90);DesplazarQ(0,0,91,140)];

PRÁCTICA # 4

Control de los 3 primeros grados de libertad y la orientación del tercer eslabón (4 grados de libertad)

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará desplazamientos en el eje x, y, z del segundo eslabón y la orientación del tercer eslabón, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para posicionar el extremo del eslabón #2 y la orientación del eslabón# 3.

Materiales:

- 4 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar la base, dos primeros eslabones y orientar el tercer eslabón.
- Compilar y cargar el programa al arduino

- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el eslabón 2 y orientar el eslabón 3, con los siguientes valores:

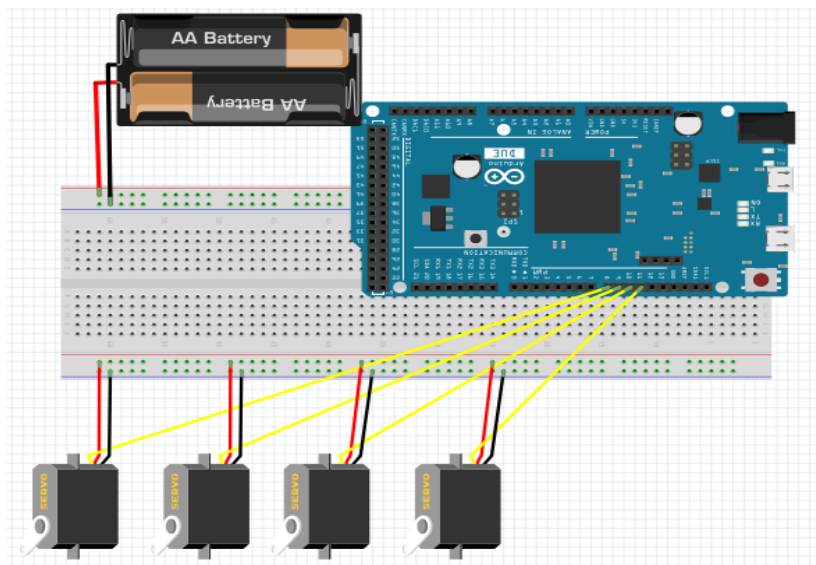
De $z=0, y=30, x=20, T_{q4}=200$ a $z=25, y=15, x=15, T_{q4}=160$

De $z=15; y=25; x=20, T_{q4}=160$ a $z=15, y=25, x=30, T_{q4}=140$

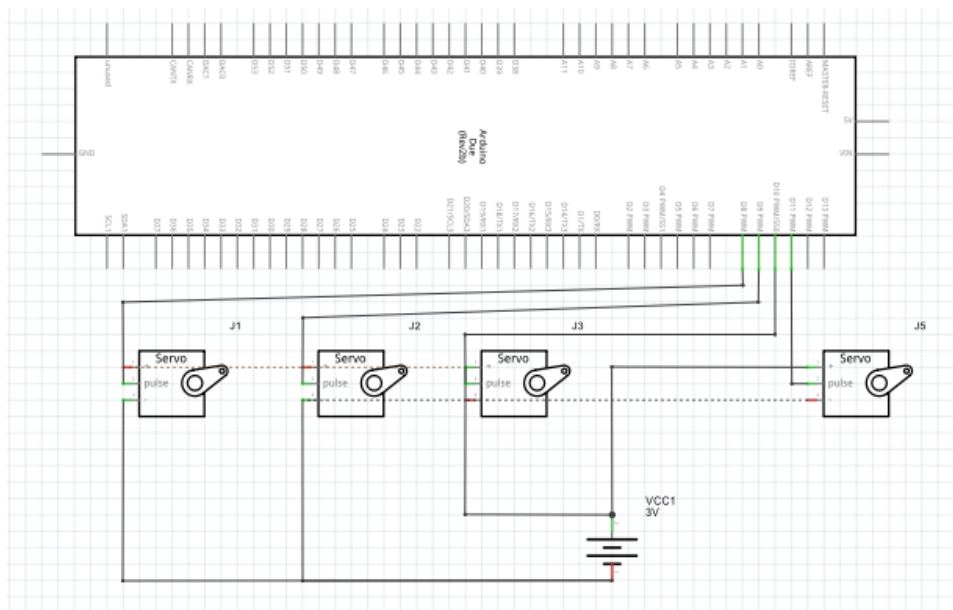
De $z=15; y=25; x=25, T_{q4}=140$ a $z=15, y=30, x=20, T_{q4}=180$

Resolución:

- Conexiones eléctricas



-Diagrama eléctrico



1.- Casillero de posicionamiento

[DesplazarXYZ(0,30,20,25,15,15,0,40);DesplazarXYZ(15,25,20,15,25,30,41,80);DesplazarXYZ(15,25,25,15,30,20,81,140)];

2.- Casillero de posicionamiento 1

[DesplazarQ(220,160,0,40);DesplazarQ(160,140,41,90);DesplazarQ(140,180,91,140)];

3.- Casillero de posicionamiento 2

[DesplazarQ(0,0,0,10);DesplazarQ(0,0,11,20);DesplazarQ(0,0,21,30);DesplazarQ(0,0,31,40);DesplazarQ(0,0,41,50);DesplazarQ(0,0,51,60);DesplazarQ(0,0,61,70);DesplazarQ(0,0,71,80);DesplazarQ(0,0,81,90);DesplazarQ(0,0,91,100);DesplazarQ(0,0,101,110);DesplazarQ(0,0,111,120);DesplazarQ(0,0,121,130)];

DesplazarQ(0,0,131,140)];[DesplazarXYZ(0,35,20,0,27,40,0,100);DesplazarXYZ(0,27,40,0,34,35,101,120);DesplazarXYZ(0,34,35,3,35,20,121,140)]
;
[DesplazarQ(0,0,0,30);DesplazarQ(0,0,31,60);DesplazarQ(0,0,61,90);
DesplazarQ(0,0,91,140)];

PRÁCTICA # 5

Control de los 3 primeros grados de libertad, la orientación del tercer eslabón y la orientación de la herramienta (5 grados de libertad)

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se realizará el posicionamiento de los 3 primeros grados de libertad y la orientación de los 2 últimos grados de libertad, el estudiante debe generar estos movimientos ingresando diferentes valores en la interfaz gráfica para posicionar y orientar los eslabones.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta con los siguientes valores:

De $z=0, y=30, x=20, T_{q4}=200^\circ$ a $z=25, y=15, x=15, T_{q4}=160^\circ$

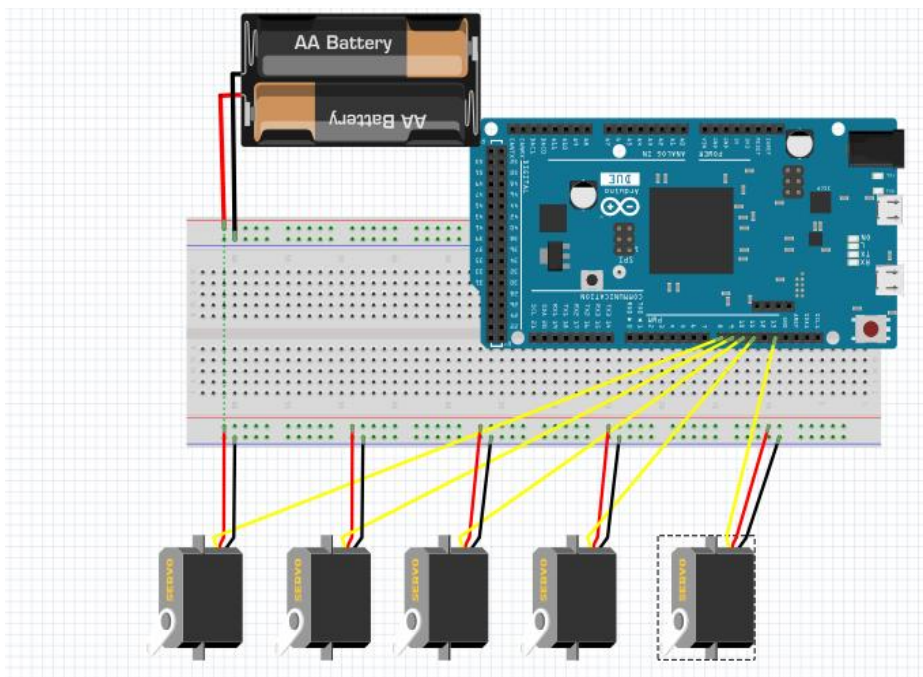
De $z=15; y=25; x=20, T_{q4}=160^\circ$ a $z=15, y=25, x=30, T_{q4}=140^\circ$

De $z=15; y=25; x=25, T_{q4}=140^\circ$ a $z=15, y=30, x=20, T_{q4}=180^\circ$

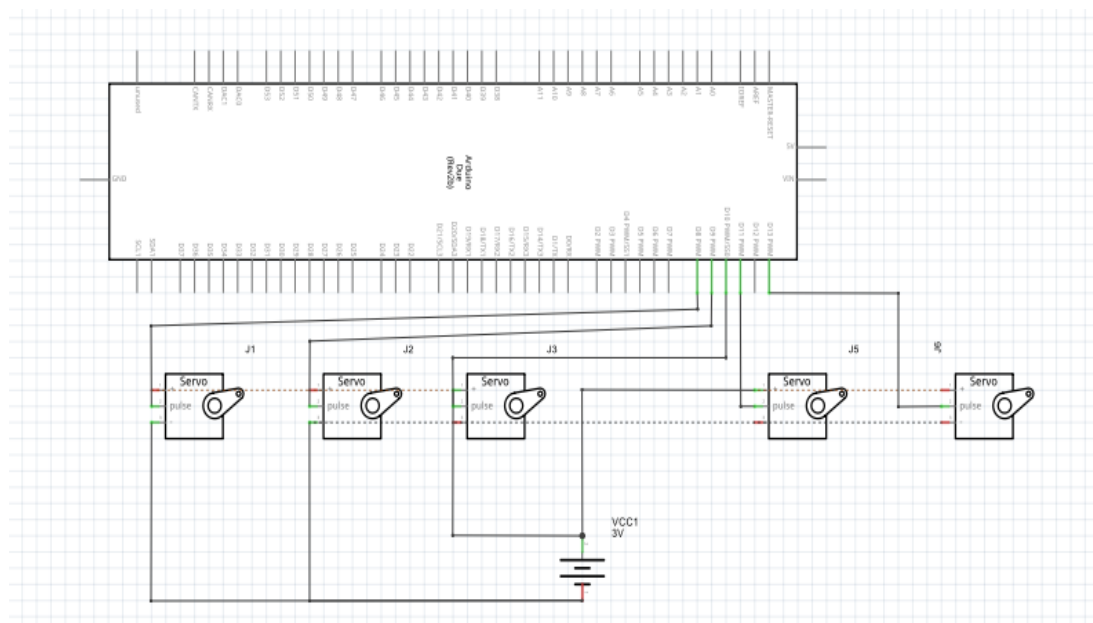
T_{q5} = de 30° a 130° en todos los casos.

Resolución:

- Conexiones eléctricas



-Diagrama eléctrico

**1.- Casillero de posicionamiento**

```
[DesplazarXYZ(0,30,20,25,15,15,0,40);DesplazarXYZ(15,25,20,15,25,30,
41,80);DesplazarXYZ(15,25,25,15,30,20,81,140)];
```

2.- Casillero de posicionamiento 1

```
[DesplazarQ(220,160,0,40);DesplazarQ(160,140,41,90);
DesplazarQ(140,180,91,140)];
```

3.- Casillero de posicionamiento 2

```
[DesplazarQ(30,130,0,10);DesplazarQ(130,30,11,20);DesplazarQ(30,130,
21,30);DesplazarQ(130,30,31,40);
DesplazarQ(30,130,41,50);DesplazarQ(130,30,51,60);DesplazarQ(30,130
,61,70);DesplazarQ(130,30,71,80);
DesplazarQ(30,130,81,90);DesplazarQ(130,30,91,100);DesplazarQ(30,130
0,101,110);DesplazarQ(130,30,111,120);
DesplazarQ(30,130,121,130); DesplazarQ(130,30,131,140)];
```

PRÁCTICA # 6

Control 5 grados de libertad

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se controlará los 5 grados de libertad de este módulo, realizándola tarea de pintar los lados de la pirámide.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- Pirámide de dimensiones (15x15x15)cm

Procedimiento:

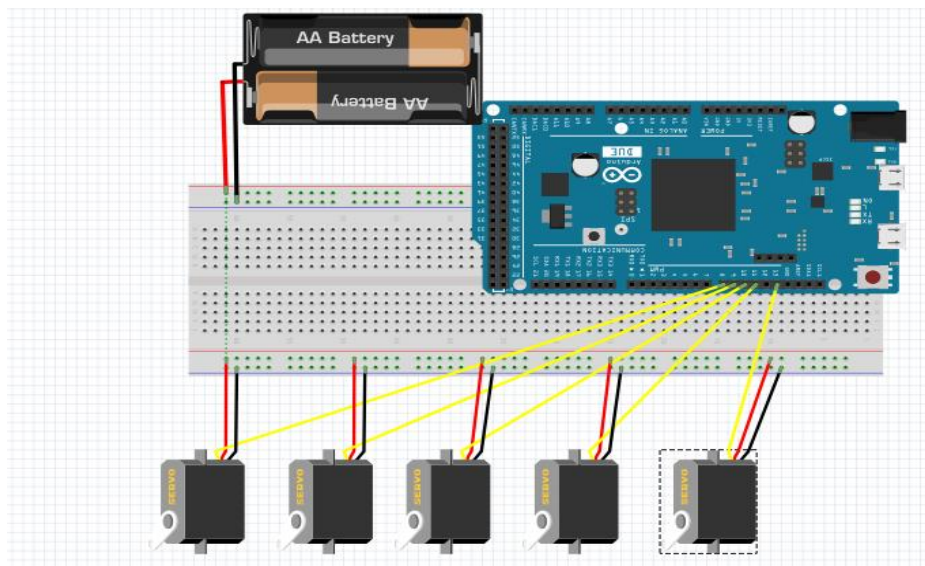
- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

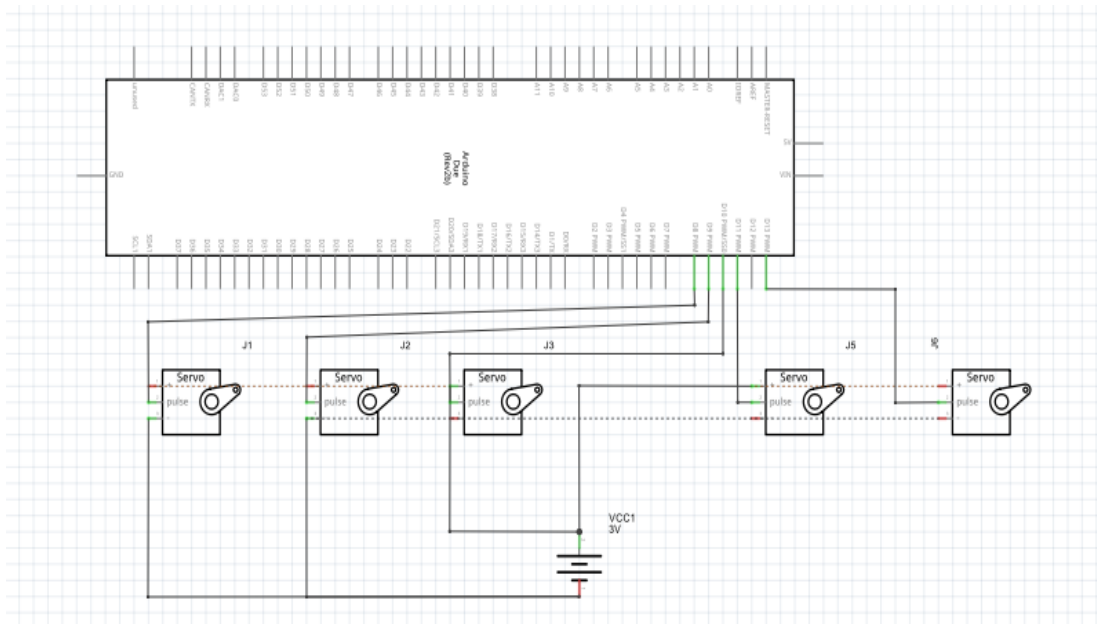
Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta para realizar la tarea propuesta.

Resolución:

- Conexiones eléctricas



-Diagrama eléctrico



1.- Casillero de posicionamiento

[DesplazarXYZ(0,30,20,25,15,15,0,40);DesplazarXYZ(15,25,20,15,25,30,
41,80);DesplazarXYZ(15,25,25,15,30,20,81,140);

DesplazarXYZ(0,35,20,-25,30,10,141,180);DesplazarXYZ(-30,30,10,-
30,30,10,181,230);DesplazarXYZ(-30,30,15,0,30,20,231,280)];

2.- Casillero de posicionamiento 1

[DesplazarQ(200,160,0,40);DesplazarQ(160,140,41,90);DesplazarQ(140,
180,91
,140);

DesplazarQ(200,160,141,180);DesplazarQ(180,150,181,230);
DesplazarQ(140,160,231,280)];

3.- Casillero de posicionamiento 2

DesplazarQ(60,180,0,10);DesplazarQ(180,30,11,20);DesplazarQ(30,180,
21,30);DesplazarQ(180,30,31,40);

DesplazarQ(30,180,41,50);DesplazarQ(180,30,51,60);DesplazarQ(30,180,61,70);DesplazarQ(180,20,71,80);
DesplazarQ(20,200,81,90);DesplazarQ(200,20,91,100);DesplazarQ(20,200,101,110);DesplazarQ(200,20,111,120);
DesplazarQ(20,200,121,130); DesplazarQ(200,20,131,140);

DesplazarQ(60,160,141,150);DesplazarQ(160,40,151,160);DesplazarQ(40,160,161,170);DesplazarQ(160,40,171,180);
DesplazarQ(40,160,181,190);DesplazarQ(160,40,191,200);DesplazarQ(40,160,201,210);DesplazarQ(160,40,211,220);
DesplazarQ(40,160,221,230);DesplazarQ(160,40,231,240);DesplazarQ(40,160,241,250);DesplazarQ(160,40,251,260);
DesplazarQ(70,160,261,270); DesplazarQ(160,70,271,280);

PRÁCTICA # 7

Control 5 grados de libertad

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se controlará los 5 grados de libertad de este módulo, realizando la tarea de pintar completamente el cuerpo geométrico, para este caso es la pirámide.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- Pirámide de dimensiones (15x15x15)cm

Procedimiento:

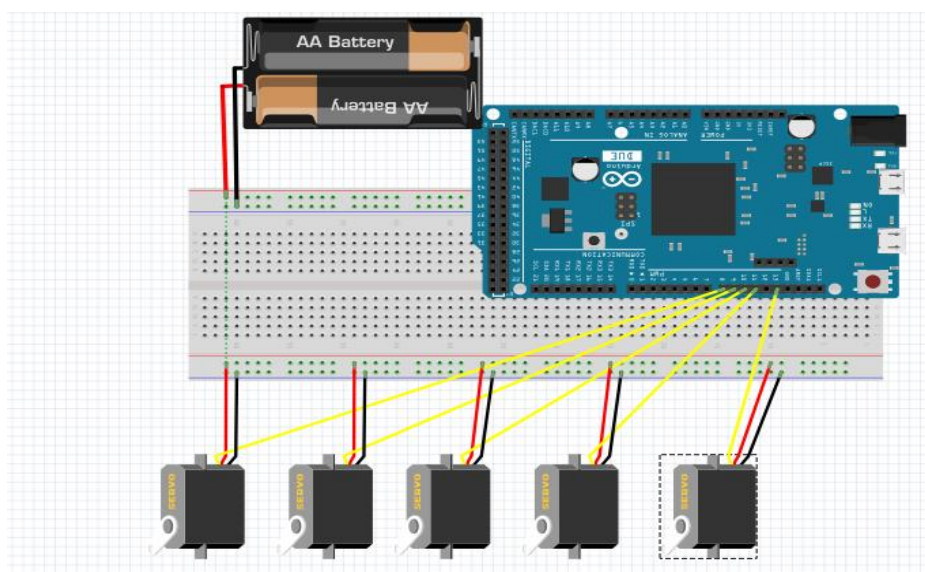
- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

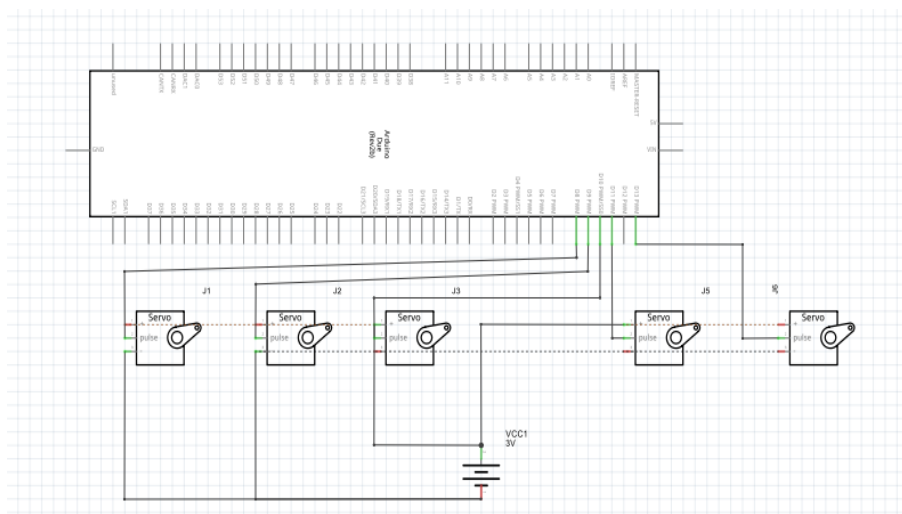
Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta para realizar la tarea propuesta.

Resolución:

- Conexiones eléctricas



-Diagrama eléctrico



1.- Casillero de posicionamiento

[DesplazarXYZ(0,35,20,5,27,40,0,100);DesplazarXYZ(5,27,40,5,32,31,10
1,120);

DesplazarXYZ(5,32,31,3,40,20,121,140);

DesplazarXYZ(0,30,20,25,15,15,141,180);DesplazarXYZ(15,25,20,15,25,
30,181,

220);DesplazarXYZ(15,25,25,15,30,20,221,280);

DesplazarXYZ(0,35,20,-25,30,10,281,320);DesplazarXYZ

(-30,30,10,30,30,10,321,370);DesplazarXYZ(-30,30,15,0,30,20,371,420);

DesplazarXYZ(1,35,20,1,15,5,421,520);DesplazarXYZ(1,15,5,1,15,5,521,
540);

DesplazarXYZ(1,15,5,1,35,20,541,560)];

2.- Casillero de posicionamiento 1

[DesplazarQ(200,190,0,90);DesplazarQ(190,190,91,120);

DesplazarQ(190,190,121,140);

DesplazarQ(200,160,141,180);DesplazarQ(160,140,181,230);

DesplazarQ(140,180,231,280);

DesplazarQ(200,160,281,320);DesplazarQ(180,150,321,370);

DesplazarQ(140,160,371,420);

DesplazarQ(160,100,421,540);DesplazarQ(100,70,541,550);

DesplazarQ(70,80,551,560)];

3.- Casillero de posicionamiento 2

[DesplazarQ(40,120,0,10);DesplazarQ(120,40,11,20);DesplazarQ(40,130,21,30);DesplazarQ(130,30,31,40);DesplazarQ(30,130,41,50);DesplazarQ(130,30,51,60);DesplazarQ(30,130,61,70);DesplazarQ(130,30,71,80);DesplazarQ(30,130,81,90);DesplazarQ(130,30,91,100);DesplazarQ(30,130,101,110);DesplazarQ(130,30,111,120);DesplazarQ(30,130,121,130);DesplazarQ(130,30,131,140);

DesplazarQ(60,180,141,150);DesplazarQ(180,30,151,160);DesplazarQ(30,180,161,170);DesplazarQ(180,30,171,180);DesplazarQ(30,180,181,190);DesplazarQ(180,30,191,200);DesplazarQ(30,180,201,210);DesplazarQ(180,20,211,220);DesplazarQ(20,200,221,230);DesplazarQ(200,20,231,240);DesplazarQ(20,200,241,250);DesplazarQ(200,20,251,260);DesplazarQ(20,200,261,270);DesplazarQ(200,20,271,280);

DesplazarQ(60,160,281,290);DesplazarQ(160,40,291,300);DesplazarQ(40,160,301,310);DesplazarQ(160,40,311,320);DesplazarQ(40,160,321,330);DesplazarQ(160,40,331,340);DesplazarQ(40,160,341,350);DesplazarQ(160,40,351,360);

DesplazarQ(40,160,361,370);DesplazarQ(160,40,371,380);DesplazarQ(40,160,381,390);DesplazarQ(160,40,391,400);DesplazarQ(70,160,401,410);DesplazarQ(160,70,411,420);

DesplazarQ(30,120,421,430);DesplazarQ(120,40,431,440);DesplazarQ(40,130,441,450);DesplazarQ(130,30,451,460);DesplazarQ(30,130,461,470);DesplazarQ(130,30,471,480);DesplazarQ(30,130,481,490);DesplazarQ(130,30,491,500);

DesplazarQ(30,130,501,510);DesplazarQ(130,30,511,520);DesplazarQ(30,130,521,530);DesplazarQ(130,30,531,540);DesplazarQ(30,130,541,550);DesplazarQ(130,30,551,560)];

PRÁCTICA # 8

Control 5 grados de libertad

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se controlará los 5 grados de libertad de este módulo, realizando la tarea de pintar el lado superior de un prisma rectangular.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- Prisma rectangular de dimensiones (20x15x8)cm

Procedimiento:

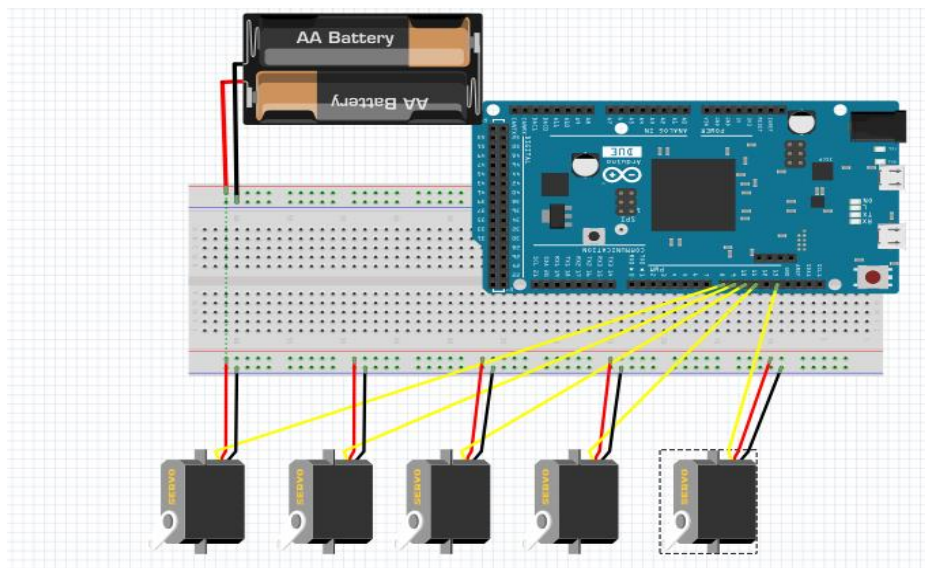
- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

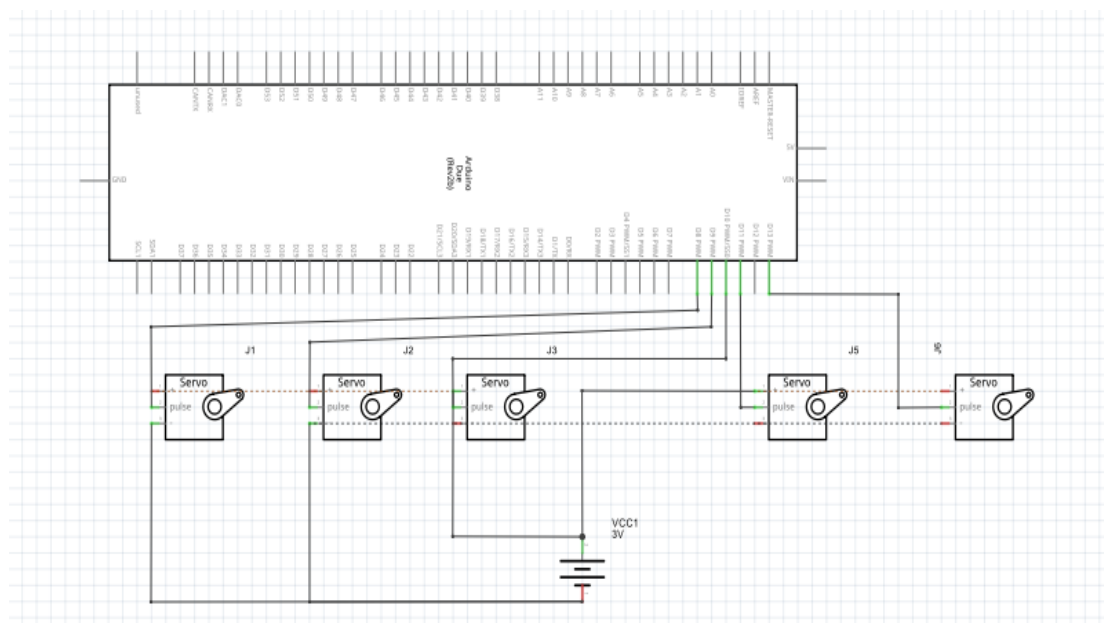
Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta para realizar la tarea propuesta.

Resolución:

- Conexiones eléctricas



- Diagrama eléctrico



1.- Casillero de posicionamiento

[DesplazarXYZ(0,30,20,0,20,20,0,40);DesplazarXYZ(0,20,20,0,20,30,41,80);
DesplazarXYZ(0,20,30,0,20,40,81,140)];

2.- Casillero de posicionamiento 1

[DesplazarQ(190,180,0,40);DesplazarQ(180,170,41,90);
DesplazarQ(170,170,91,140)];

DesplazarQ(200,180,141,180);DesplazarQ(180,170,181,230);
DesplazarQ(170,160,231,280);

DesplazarQ(200,180,281,320);DesplazarQ(180,170,321,370);
DesplazarQ(170,160,371,420);

DesplazarQ(160,100,421,540);DesplazarQ(100,70,541,550);
DesplazarQ(70,80,551,560)];

3.- Casillero de posicionamiento 2

DesplazarQ(30,160,0,10);DesplazarQ(160,30,11,20);DesplazarQ(30,160,21,30);DesplazarQ(160,30,31,40);
DesplazarQ(30,160,41,50);DesplazarQ(160,30,51,60);DesplazarQ(30,160,61,70);DesplazarQ(160,30,71,80);DesplazarQ(30,160,81,90);DesplazarQ(160,30,91,100);DesplazarQ(30,160,101,110);DesplazarQ(160,30,111,120);
DesplazarQ(30,160,121,130); DesplazarQ(160,30,131,140)];

PRÁCTICA # 9

Control 5 grados de libertad

Objetivos:

- a) Comprender y manipular la interfaz gráfica
- b) Observar y verificar el movimiento generado por los valores ingresados en la interfaz.

Descripción:

En esta práctica se controlará los 5 grados de libertad de este módulo, realizándola tarea de pintar completamente el cuerpo geométrico, que en este caso es un prisma rectangular.

Materiales:

- 5 servomotor
- Arduino Due
- Fuente de alimentación
- Software interfaz gráfica
- Prisma rectangular de dimensiones (20x15x8)cm

Procedimiento:

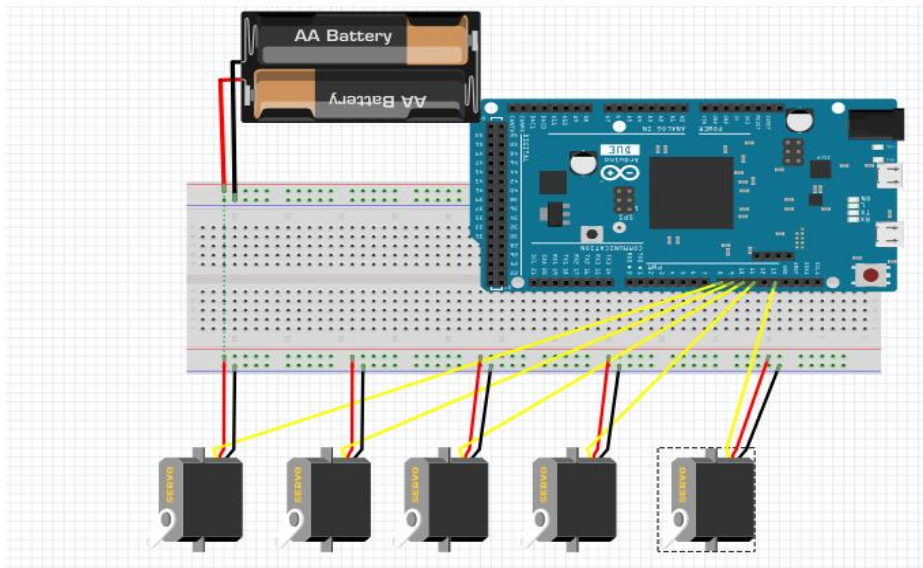
- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Ingresar valores en la interfaz para posicionar y orientar los diferentes eslabones.
- Compilar y cargar el programa al arduino
- Observar el movimiento generado por los valores dados.

Actividades:

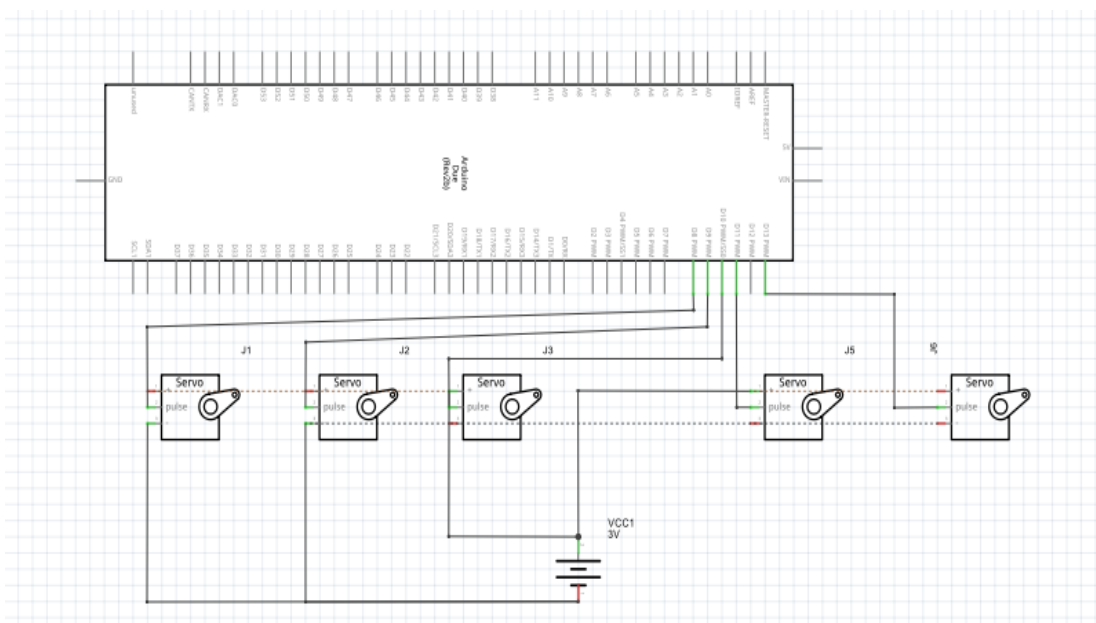
Posicionar el extremo del eslabón 2, así como la orientación del eslabón 3 y el de la herramienta para realizar la tarea propuesta.

Resolución:

- Conexiones eléctricas



-Diagrama eléctrico



1.- Casillero de posicionamiento

[DesplazarXYZ(0,30,20,0,20,20,0,40);DesplazarXYZ(0,20,20,0,20,30,41,80);

DesplazarXYZ(0,20,30,0,20,40,81,140)];

DesplazarXYZ(15,30,20,15,30,25,141,180);DesplazarXYZ(15,30,25,15,30,30,181,220);DesplazarXYZ(15,30,30,15,30,35,221,280);

DesplazarXYZ(0,30,20,15,30,25,141,180);DesplazarXYZ(-15,30,25,-15,30,30,181,220);DesplazarXYZ(-15,30,30,-15,30,35,221,280);

DesplazarXYZ(0,35,20,0,15,5,421,520);DesplazarXYZ(0,15,5,0,15,5,521,540);DesplazarXYZ(0,15,5,0,35,20,541,560)];

2.- Casillero de posicionamiento 1

[DesplazarQ(190,180,0,40);DesplazarQ(180,170,41,90);DesplazarQ(170,170,91,140)];

3.- Casillero de posicionamiento 2

DesplazarQ(30,160,0,10);DesplazarQ(160,30,11,20);DesplazarQ(30,160,21,30);DesplazarQ(160,30,31,40);

DesplazarQ(30,160,41,50);DesplazarQ(160,30,51,60);DesplazarQ(30,160,61,70);DesplazarQ(160,30,71,80);DesplazarQ(30,160,81,90);DesplazarQ(160,30,91,100);DesplazarQ(30,160,101,110);DesplazarQ(160,30,111,120);

DesplazarQ(30,160,121,130); DesplazarQ(160,30,131,140)];

DesplazarQ(60,180,141,150);DesplazarQ(180,30,151,160);DesplazarQ(30,180,161,170);DesplazarQ(180,30,171,180);DesplazarQ(30,180,181,190);DesplazarQ(180,30,191,200);DesplazarQ(30,180,201,210);DesplazarQ(180,20,211,220);DesplazarQ(20,200,221,230);DesplazarQ(200,20,231,240);DesplazarQ(20,200,241,250);DesplazarQ(200,20,251,260);DesplazarQ(20,200,261,270);DesplazarQ(200,20,271,280);

DesplazarQ(60,160,281,290);DesplazarQ(160,40,291,300);DesplazarQ(40,160,301,310);DesplazarQ(160,40,311,320);DesplazarQ(40,160,321,330);DesplazarQ(160,40,331,340);DesplazarQ(40,160,341,350);DesplazarQ(160,40,351,360);

DesplazarQ(40,160,361,370);DesplazarQ(160,40,371,380);DesplazarQ(40,160,381,390);DesplazarQ(160,40,391,400);DesplazarQ(70,160,401,410);DesplazarQ(160,70,411,420);

DesplazarQ(30,120,421,430);DesplazarQ(120,40,431,440);DesplazarQ(40,130,441,450);DesplazarQ(130,30,451,460);DesplazarQ(30,130,461,470);DesplazarQ(130,30,471,480);DesplazarQ(30,130,481,490);DesplazarQ(130,30,491,500);

DesplazarQ(30,130,501,510);DesplazarQ(130,30,511,520);DesplazarQ(30,130,521,530);DesplazarQ(130,30,531,540);DesplazarQ(30,130,541,550);DesplazarQ(130,30,551,560)];

PRÁCTICA # 10

Control banda transportadora

Objetivos:

- a) Control de posicionamiento del objeto en la banda transportadora

Descripción:

En esta práctica se controlará el posicionamiento del objeto en la banda transportadora mediante el uso de sensores de presencia.

Materiales:

- 1 motor DC
- Arduino nano
- Fuente de alimentación
- Software Arduino
- 2 sensores de presencia
- Pirámide

Procedimiento:

- Realizar las debidas conexiones eléctricas
- Colocar el sensor # 1 al inicio de la banda
- Colocar el sensor # 2 frente al brazo robótico
- Programar el sensor #1 para que cuando exista un obstáculo envíe una señal para que la banda inicie el movimiento.

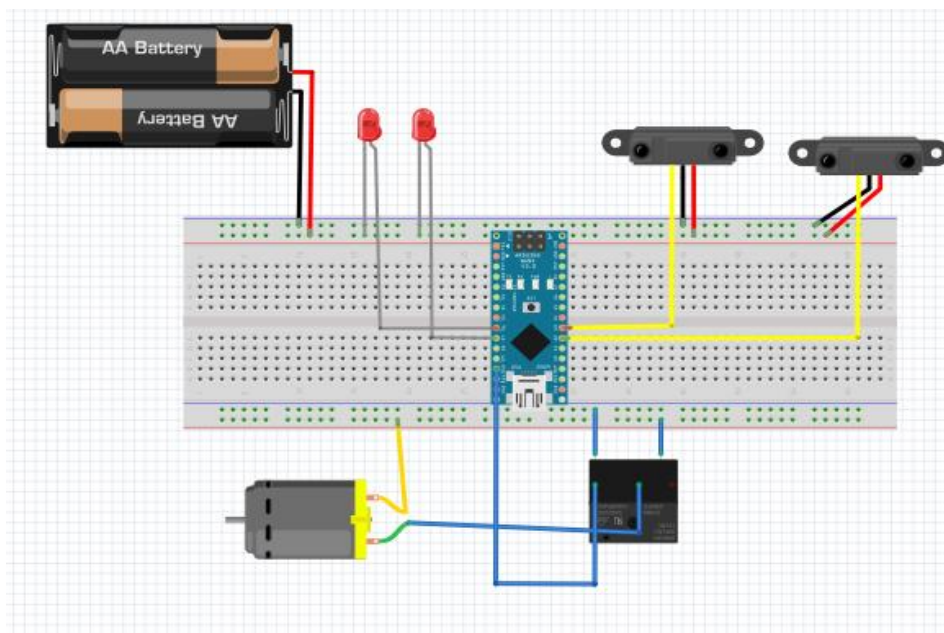
- Programar el sensor #2 para que cuando exista un obstáculo envíe la señal para que realice la acción de detenerse la banda.

Actividades:

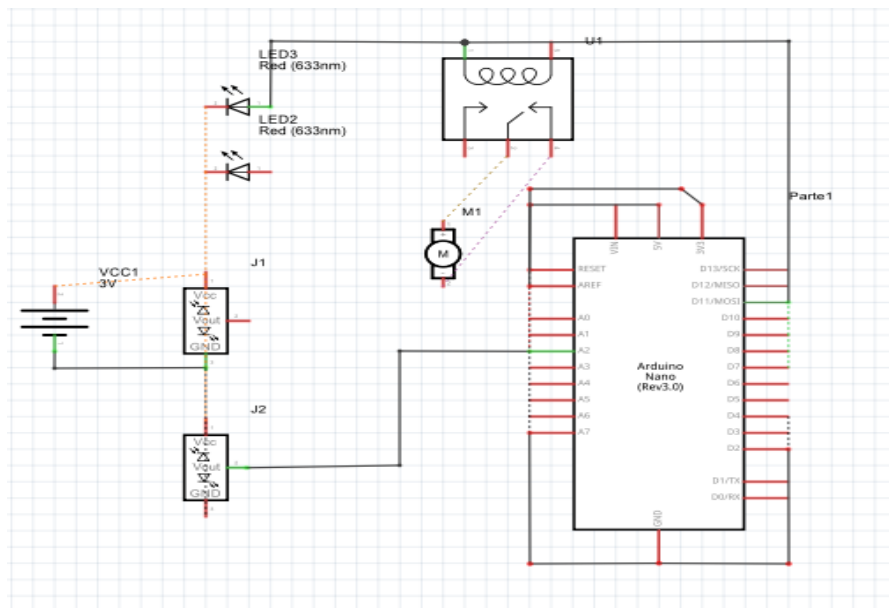
Posicionar el objeto frente al brazo robótico y retener al objeto en esa posición por unos 10 segundos.

Resolución:

- Conexiones eléctricas



-Diagrama eléctrico



Programación

```

int sini=0;
int sfín=0;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);

  pinMode(6, OUTPUT);//LED1
  pinMode(7, OUTPUT);//LED1
  pinMode(10, OUTPUT);//RELE
  pinMode(4, INPUT);//entrada indica si ya acaba de pintar
  pinMode(5, OUTPUT);//

  digitalWrite(5, LOW);//MANTIENE RESETEADO AL BRAZO
  delay(500);
  ini();
  delay(50);
}

```

```
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  sini=analogRead(A2);  
  Serial.println(sini);  
  
  if(sini<100){//SI EL SENSOR LEE  
    mover();  
    espero();//espero que acabe de pintar  
    fin();//desplazo el objeto hasta que salga de la banda  
    delay(1000);  
    ini();  
  }  
  
  delay(50);  
}  
void ini(){  
  digitalWrite(5, LOW);//MANTIENE RESETEADO AL BRAZO  
  digitalWrite(6, LOW);  
  digitalWrite(7, LOW);  
  delay(1000);  
  digitalWrite(6, HIGH);  
  delay(2000);  
  digitalWrite(6, LOW);  
  digitalWrite(7, HIGH);  
  delay(2000);  
  digitalWrite(7, HIGH);  
  delay(50);  
}  
  
void mover(){  
  digitalWrite(10, HIGH);//PRENDO RELE  
  delay(500);
```

```
sfin=analogRead(A3);
Serial.println(sfin);
  while(sfin>900){//mientras no llegue al segundo sensor
    sfin=analogRead(A3);
    delay(50);
  }
digitalWrite(10, LOW);//APAGO RELE
}

void espero(){
  delay(2000);
  digitalWrite(5, HIGH);//ORDEN DE EMPEZAR A PINTAR
  delay(10000);//espero 5 seg
  digitalWrite(5, LOW);//ORDEN Detener brazo
  delay(5000);//espero 5 seg

}

void fin(){
  digitalWrite(10, HIGH);//PRENDO RELE
  delay(1000);//prendo durante 2 segundos
  digitalWrite(10, LOW);//PRENDO RELE

}
```

ANEXO C. CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Un buen mantenimiento es de vital importancia para alargar la vida útil de nuestro proyecto, por lo tanto se recomienda realizar un mantenimiento preventivo a los componentes eléctricos y mecánicos que conforman el brazo robótico.

	Diario	Semanal	Mensual
Servomotores			L
Aerógrafo	I		
Mangueras	I		
Estructura		A	
sensores		C	
Fuentes	C		

Donde:

L= Lubricación

I= limpieza

A= ajuste de tornillos

C= calibración

ANEXO D. SERVOMOTOR HK15338 Giant MG Digital Servo



Peso (g)	175
Torque (kg)	25
Velocidad(Sec/60deg)	0.2
A(mm)	66
B(mm)	66
C(mm)	60
D(mm)	30
E(mm)	83
F(mm)	42

HK15338 Giant MG Digital Servo

Spec.

Torque: **19.80kg @ 4.8v, 25kg @ 6v**

Weight: **175g**

Speed: **0.23 / 60deg @ 4.8v, 0.20 / 60 deg @ 6v**

Voltage: **4.8v~6v**

Plug: **JR style**

Features:

Metal Gears

Dual Ball-race

Water Resistant O-Rings

Ideal For 1/5 Scale Car

ANEXO E. SERVOMOTOR VS-11



VIGOR PRECISION LTD.

力嘉精密有限公司

VS-11 SERVO

TECHNICAL DATA

Control System:	Pulse width control, 1500µs neutral	
Operating Voltage:	4.8V~6.0V (DC)	
STD Direction:	Counter clockwise/pulse traveling 800 to 2200 µsec.	
Test Voltage:	at 4.8V	at 6.0V
Operating Speed:	0.22sec/60° at no load	0.19sec/60° at no load
Stall Torque:	≥ 19kgf.cm(208.31oz/in)	≥ 19kgf.cm(263.86oz/in)
Running Current:	~0.25A	~0.28A
Stall Current:	~2.5A	~3.5A
Output Angle:	≥ 170°	
Dead Band Width:	5µsec	



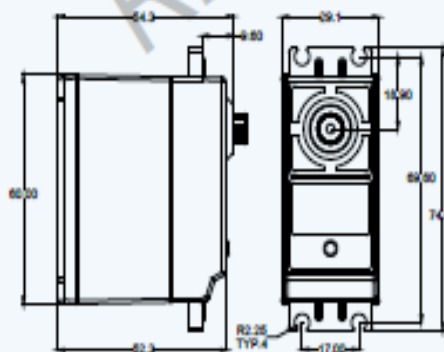
FEATURES

Motor Type:	3poles metal brush motor (Heavy-duty Motor)
Potentiometer Life:	1,000,000 cycles
Bearing:	2pcs Ball bearing
Gear Material:	Resin and Heavy Duty Resin
Spline Horns:	Spline type for FUTABA style
Connector Wire Length:	250mm(9.84in), 22AWG(Connector for FUTABA or HITEC style)
Other Features:	Water Resistance

DIMENSIONS

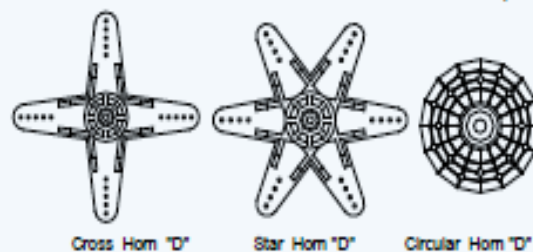
Size :	60X29.1X54.3mm(2.36X1.15X2.14in)
Weight:	100g(3.53oz)

CASE AND HORN DRAWING



STD ACCESSORIES:

- Horn Screw X 1pc
- Cross Horn "D" X 1pc
- Star Horn "D" X 1pc
- Circular Horn "D" X 1pc



OPTION ACCESSORIES:

- Servo Mounter "Set-A": Rubber Mounter X 4pcs and Metal Sleeve X 4pcs

REMARKS:



ANEXO F SERVOMOTOR Hextronik HX5010 - Twin Bearing Servo

Hextronik HX5010 - Twin Bearing Servo

Basic Information

Modulation:	Analog
Torque:	4.8V: 96.0 oz-in (6.91 kg-cm)
Speed:	4.8V: 0.16 sec/60°
Weight:	1.38 oz (39.1 g)
Dimensions:	Length: 1.56 in (39.6 mm) Width: 0.79 in (20.1 mm) Height: 1.50 in (38.1 mm)
Motor Type:	? (add)
Gear Type:	Plastic
Rotation/Support:	Dual Bearings

Additional Specifications

Rotational Range:	? (add)
Pulse Cycle:	? (add)
Pulse Width:	? (add)
Connector Type:	? (add)



Brand: **hexTronik**

Product Number: ? (add)

Suggested Retail: ? (add)

Street Price: 5.95 USD

Compare: [add](#)

User Reviews

Number of Reviews: 5

ANEXO G SERVOMOTOR TURNIGY TG9e

Turnigy TG9e 9g / 1.5kg / 0.10sec Eco Micro Servo



THE WORLDS LOWEST COST (RELIABLE) SERVO

The TG9e boasts the same performance as other servo's 10x the price with a .10sec travel time and up to 1.5kg in torque and an ultra narrow dead bandwidth!

The TG9e performance is on par with the famous HXT900, however the TG9e isn't as resistant to crashes or over-loading.

Please always ensure your control surfaces are bind free.

Spec.

Dimension: **23x12.2x29mm**

Torque: **1.5kg/cm (4.8V)**

Operating speed: **0.10sec/60 degree 0.09sec/60 degree(6.0V)**

Operating voltage: **4.8V**

Temperature range: **0-55C**

Dead band-width: **7us**

Lead Length: **260mm**

Important.

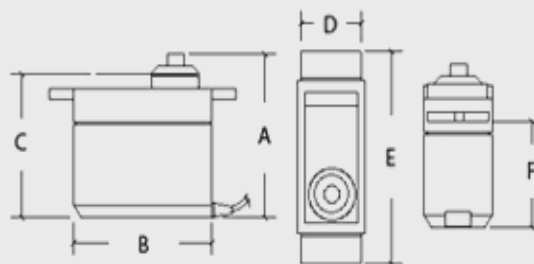
The TG9e does not have the same strength and longevity as the HXT900.

Please ensure your control surfaces are bind-free and always check servos after a hard landing or crash!

Producto ID: TG9e

Product Config Table

Peso (g)	9
Torque (kg)	1.5
Velocidad(Sec/60deg)	0.09
A(mm)	30
B(mm)	23
C(mm)	27
D(mm)	12
E(mm)	33
F(mm)	16



ANEXO H SENSOR FOTOELECTRICO



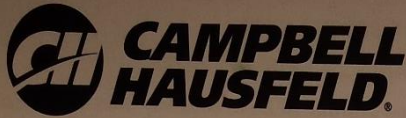
Technical parameters:

- 1) Voltage: 5VDC
- 2) Current: 100mA
- 3) measuring range :3-80CM
- 4) NPN normally open type
- 5) The back adjustment potentiometer and the output indicator
- 6) pin definitions: red power, green power is negative, the yellow signal output.
- 7) have been processed DuPont plug directly into an Arduino sensor expansion board use.
- 8) Probe Diameter: 18mm
- 9) Probe Length: 43mm
- 10) Lead Length: 30cm

Applications:

- 1) production line goods automatic counting device
- 2) multi-functional reminder

ANEXO I MANUAL AERÓGRAFO



General Purpose Air Brush Kit

Jeu D'Aérographe Tous Usages

Juego de Brocha Neumática de Uso General

Replacement Parts List
Liste de Pièces de Rechange
Lista de Repuestos

MP290001

Description

The MP290001 is a dual action, external mix, siphon feed air brush kit designed to spray inks, watercolors, enamels, acrylics, gouaches and laquers. The kit includes an adapter for 1/4 inch NPT air connection, two glass paint jars (1 x 22cc, 1 x 60cc), a metal cup (1 x 5cc), a metal hanger, wrench and air line assembly.

Description

Le modèle MP290001 est un nécessaire d'aérographe à double effet, mélange externe, alimentation par siphon, conçu pour la pulvérisation de l'encre, des peintures à l'eau, des émaux, des acryliques, de la gouache et de laques. Ce nécessaire comprend un adaptateur pour un raccord d'air d'1/4 po NPT, deux bocaux en verre (1 x 22 mL, 1 x 60 mL), un godet métallique (1 x 5 mL), un crochet métallique, une clé et un montage de canalisation d'air.

Descripción

El modelo MP290001 es un aerógrafo de doble acción, mezcla externa, tipo sifón diseñado para rociar tintas, acuarelas, esmaltes, pinturas acrílicas, pinturas a base de agua y lacas. Este modelo incluye un adaptador para conexiones de 6,4 mm NPT, dos jarras de vidrio (1 x 22cc, 1 x 60cc) un gancho de metal, una llave y el ensamblaje de mangueras.

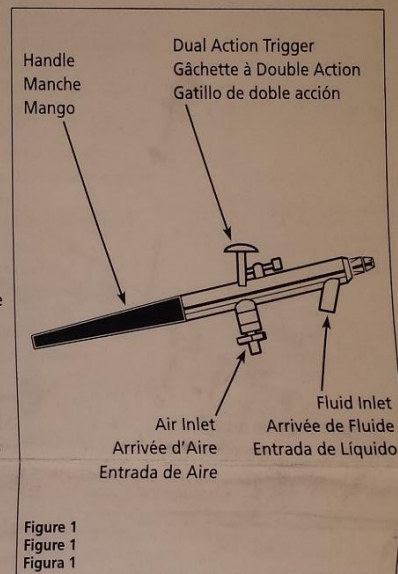


Figure 1
Figure 1
Figura 1

Specifications

CFM Required @ 30 psi	0.22
Fluid Nozzle Size	0.015 inch
Fluid Delivery Speed	Medium
Feed Type	Siphon
Mix Type	External
Bleed Type	Non-Bleeder
Normal Inlet Air Pressure	20-40 psiG
Max. Inlet Air Pressure	50 psiG

Spécifications

m ³ /min Exigé à 210 kPa	0,006
Taille de Buse de Fluide	0,38 mm
Vitesse de Débit de Fluide	Moyenne
Alimentation	Gravité
Type de Mélange	Externe
Type de Purge	Non-purgeur
Pression d'Air d'Arrivée Normale	138-276 kPa
Pression d'Air d'Arrivée Max.	345 kPa

Especificaciones

m ³ /min Requerido @ 2,1 bar	0,006
Tamaño de la Boquilla de Fluido	0,38 mm
Velocidad del Suministro de Fluido	Mediana
Tipo de Sistema	Gravedad
Tipo de Mezcla	Externa
Tipo de Purgador	Non-Purgeur
Presión Normal de Aire de Entrada	1,4-2,8 bar
Presión Máx. de Entrada de Aire	3,4 bar

ANEXO J MANUAL COMPRESOR

1. Features

Unique equipment for coating with paint with a professional result. Intelligent solution in spraying, airbrush jobs or inflation for car, bicycle and balloons. The constant and sufficient performance (air output) is secured by a diaphragm that has several times longer service life than a classic piston. High quality of spraying, almost noiseless operation, and low weight-all these air possible with a diaphragm motor. Of course very low energy consumption!

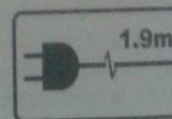
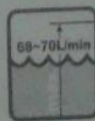


The on-off switch is convenient and safe in controlling the mini air compressor anywhere and anytime.

2. Data sheet:

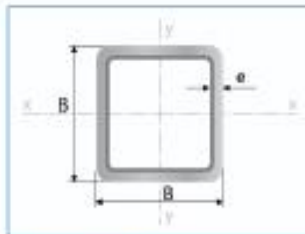
Frequency	50HZ			REMARK
Specification	220V	230V	240V	Please choose the suitable power cord and power plug according to the local requirement.
Voltage	220V 1 PH	230V 1 PH	240V 1 PH	
Power	0.065HP(50W)	0.07HP(50W)	0.07HP(55W)	
	INPUT 180W	INPUT 200W	INPUT 210W	
Electric current	1.3A	1.4A	1.5A	
Rotational speed	1400rpm	1400rpm	1400rpm	
Atmospheric Pressure	3.2 BAR 45 PSI	3.2 BAR 45 PSI	3.2 BAR 45 PSI	
Rate of flow	68L/min	68L/min	68L/min	
Weight	4.0 KG	4.0 KG	4.0 KG	
Size	18X15X24 cm	18X15X24 cm	18X15X24 cm	
Frequency	60HZ			
Specification	110V	120V	220V	
Voltage	110V 1 PH	120V 1 PH	220V 1 PH	
Power	0.065HP(55W)	0.07HP(55W)	0.07HP(55W)	
	INPUT 180W	INPUT 210W	INPUT 210W	
Electric current	3A	3.5A	3.5A	
Rotational speed	1700rpm	1700rpm	1700rpm	
Atmospheric Pressure	3.5 BAR 50 PSI	3.5 BAR 50 PSI	3.5 BAR 50 PSI	
Rate of flow	70L/min	70L/min	70L/min	
Weight	4.0 KG	4.0 KG	4.0 KG	
Size	18X15X24 cm	18X15X24 cm	18X15X24 cm	

* Air Exhaust: 1/4" BSP/NPT *Electric Cable: 1.9m



ANEXO K CATÁLOGO DE TUBERÍA ESTRUCTURAL CUADRADA

Tubería Estructural Cuadrada



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:
NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones, espesores y
largos previa consulta

Aplicaciones

- Estructuras: columnas para galpones y naves industriales.
- Señalización y vialidad: alumbrado, soportes.
- Equipos y máquinas de todo tipo.
- Construcción en general.

INEN



Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
B	e			Eje x-x e y-y		
		A	P	I	W	i
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,50	1,06	0,83	0,58	0,58	0,74
	2,00	1,34	1,05	0,69	0,69	0,72
25	1,50	1,35	1,06	1,41	1,11	0,97
	2,00	1,74	1,36	1,48	1,18	0,92
30	1,50	1,65	1,30	2,19	1,46	1,15
	2,00	2,14	1,68	2,71	1,81	1,12
	3,00	3,01	2,36	3,50	2,34	1,08
40	1,50	2,25	1,77	5,48	2,74	1,56
	2,00	2,94	2,31	6,92	3,46	1,53
	3,00	4,21	3,30	9,28	4,64	1,48
50	1,50	2,85	2,24	12,56	4,92	2,01
	2,00	3,74	2,93	14,13	5,65	1,94
	3,00	5,41	4,25	19,40	7,76	1,89
60	1,50	3,45	2,71	18,94	6,31	2,43
	2,00	4,54	3,56	25,12	8,37	2,35
	3,00	6,61	5,19	35,06	11,69	2,30
75	2,00	5,74	4,50	51,90	13,84	3,00
	3,00	8,41	6,60	76,13	19,99	2,97
	4,00	10,95	8,59	94,02	24,74	2,92
100	2,00	7,74	6,07	122,99	24,60	3,99
	3,00	11,41	8,96	190,94	37,53	4,04
	4,00	14,95	11,73	235,87	46,54	3,96
125	2,00	9,74	7,64	350,00	56,00	6,00
	3,00	14,41	11,31	355,00	56,80	4,96
	4,00	18,95	14,87	457,00	73,12	4,91
	6,00	27,63	21,69	1193,92	105,20	31,46
135	4,00	20,55	16,13	581,38	86,13	5,32
	5,00	25,36	19,90	704,23	104,33	5,27
	6,00	30,03	23,58	818,50	121,26	5,22

ANEXO L FUENTE DE ALIMENTACIÓN



- Continuously monitor voltage and current output on two 4 digit LED displays
- Connect two supplies in parallel to double the current output
- Connect two supplies in series to double the voltage output
- Reliable, Durable
- Operate continuously at full load without overheating
- Fully overload protected
- Coarse and fine voltage controls
- Excellent regulation
- Very low ripple
- Constant voltage or constant current operation
- cUL certified

ANEXO M GABINETES MODULARES IP 40

GABINETES MODULARES PARA MONTAJE EN PARED IP-40 SERVICIO LIVIANO

ESTRUCTURA. Cuerpo en acero laminado de 0.8 mm. con bordes unidos con suelda MIG y cuerpo con suelda de punto. Puerta reversible (apertura izquierda o derecha) en acero laminado de 1.0 mm. con empaque de poliuretano expandido, cerradura de poliamida de montaje rápido tipo universal, bisagras reforzadas de acero. Incluye placa de montaje para equipos

PINTURA ELECTROSTÁTICA EN POLVO POLIÉSTER EN COLORES ESTÁNDAR:

- Cuerpo y puerta, texturizado color RAL 7032
- Placa de montaje, texturizado color RAL 2003

GRADO DE PROTECCIÓN. IP-40

NORMAS DE FABRICACIÓN.
IEC - 60529(IP) / INEN 2568



PARA SERVICIO LIVIANO CON PUERTA CIEGA

CÓDIGO	REFERENCIA	MEDIDAS EXTERNAS			Peso Kg	EMBALAJE (Unidades)
		ALTO A mm.	ANCHO B mm.	FONDO C mm.		
I-0301	GSL-202015/C	200	200	150	3.4	18
I-0302	GSL-302015/C	300	200	150	3.8	12
I-0303	GSL-303020/C	300	300	200	4.6	8
I-0304	GSL-403020/C	400	300	200	5.6	4
I-0305	GSL-404020/C	400	400	200	7.3	3
I-0306	GSL-604020/C	600	400	200	10.0	2

COLOR CUERPO: RAL 7032 = GRIS CLARO

ANEXO N MOTOR KING ZD1830



Model		ZD1830	ZD2830
Rating Voltage	U_N	12V	24V
Rating Power	P_N	80W	
No Load Current	T_N	2.0/2.5A	1.5/2.0A
No Load Speed	n_N	45/65±5RPM	
Load Current	I_D	10/15A	5.0/7.5A
Load Speed	n_D	30/45±5RPM	
Stall Current	I	43A	27A
Stall Torque	M_A	48NM(min)	
Protection Circuit		EMC or overload protection	
Protection Class		IP33	
Weight	W	2.9kg	

ANEXO O PROGRAMACIÓN EN MATLAB

```
clear all
close all
s_time=2;
s_time_ar=s_time/20;

l2=30; %cm
l3=26; %cm
l4=15; %cm

%asignacion sample time a simulink
%cambiar a simular

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ1','tsamp',num2str(s_time_ar
));

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ2','tsamp',num2str(s_time_ar
));

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ3','tsamp',num2str(s_time_ar
));

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ4','tsamp',num2str(s_time_ar
));

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ5','tsamp',num2str(s_time_ar
));

% arma el vector desplazamiento z0,y0,x0,z1,y1,x1,t0,t1 ( controla el
desplazamiento de la base y los 2 primero eslabones)
```

```
T1=get(handles.VectorDesplazamiento,'String');  
T1=str2num(T1);
```

```
%(controla la orientación del eslabón 3)
```

```
T_q4=get(handles.VectorOrientacion,'String');  
T_q4=str2num(T_q4);
```

```
% controla la orientación del aerógrafo
```

```
T_q5=get(handles.VectorOrientacionA,'String');  
T_q5=str2num(T_q5);
```

```
% arma la matriz T
```

```
T=[T1 T_q4 T_q5];
```

```
[n,m]=size(T);
```

```
Q=T;
```

```
Q_Y=zeros(n,7);
```

```
for i=1:n
```

```
  x=T(i,2);
```

```
  y=T(i,3);
```

```
  z=T(i,4);
```

```
  if x==0
```

```
    q1=1.5708;
```

```
  else
```

```
    if x<0
```

```
      q1=pi()+atan(z/x);
```

```
    else
```

```
      q1=atan(z/x);
```

```

    end
end
q1d=radtodeg(q1);
q3=acos((x^2+y^2+z^2-l2^2-l3^2)/(2*l2*l3));
q2=atan((l3*sin(q3))/(l2+l3*cos(q3)))-atan(y/(-sqrt(x^2+z^2)));
q2d=radtodeg(q2);
q3d=radtodeg(q3);

%%calculo para x y z
Q(i,2)=q1d;
Q(i,3)=q2d;
Q(i,4)=q3d;
Q(i,5)=T(i,5);
Q(i,6)=T(i,6);
end
Q_Y(:,6)=round(Q(:,5));
Q_Y(:,7)=round(Q(:,6));
%real Q
t=0:1:n-1;
t=t';

%%MATRIZ Q
%% t Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 dQ1 dQ2 dQ3 dQ4 dQ5
Q=[Q zeros(n,5)];
[a1,b1]=size(Q);

A=[1 t0 t0.^2 t0.^3;
1 tf tf.^2 tf.^3;
0 1 2*t0 3*t0.^2;
0 1 2*tf 3*tf.^2;];

```

```

B=[q0 ; qf ; dq0 ; dqf];

X=A\B;
p1(:,i)=X;
end

[mp1,np1]=size(p1);
t=zeros(1,1);    %vector de tiempos
q1=zeros(1,1);    %vector de ángulos
for i=1:np1;
t1=Q(i,1):s_time:Q(i+1,1);    %se genera un rango de valores de tiempo
t1=t1';
a0=p1(1,i);
a1=p1(2,i);
a2=p1(3,i);
a3=p1(4,i);
q=a0+a1*t1+a2*t1.^2+a3*t1.^3;

t=[t; t1];
q1=[q1; q];

end
[k l]=size(t);
t=t(2:k,1);
q1=q1(2:k,1);

%%para graficar
axes(handles.GraficoM1)
plot(t,q1);
%plot(t,q1);
Q1=[t q1]; %arma el vector desplazamiento angular de q1 con spline cubica.

```

```

for i=1:n-1

    t0=Q(i,1);
    tf=Q(i+1,1);
    q0=Q(i,3);
    qf=Q(i+1,3);
    dq0=Q(i,8);
    dqf=Q(i+1,8);

    A=[1    t0  t0.^2  t0.^3;
      1    tf  tf.^2  tf.^3;
      0    1  2*t0   3*t0.^2;
      0    1  2*tf   3*tf.^2;];

    B=[q0 ; qf ; dq0 ; dqf];

    X=A\B;
    p2(:,i)=X;
end

[mp2,np2]=size(p2);
t=zeros(1,1);    %vector de tiempos
q2=zeros(1,1);   %vector de ángulos
for i=1:np2;
t1=Q(i,1):s_time:Q(i+1,1);    %se genera un rango de valores de tiempo
t1=t1';
a0=p2(1,i);
a1=p2(2,i);
a2=p2(3,i);
a3=p2(4,i);
q=a0+a1*t1+a2*t1.^2+a3*t1.^3;

```



```

t=[t; t1];
q2=[q2; q];

end
[k l]=size(t);
t=t(2:k,1);
q2=q2(2:k,1);
%%para graficar
axes(handles.GraficoM23)
plot(t,q2);

%plot(t,q2);

```

Q2=[t q2]; %arma el vector desplazamiento angular de q2 con spline cubica.

```

%%para q3
%p3=zeros(n,n-1);
for i=1:n-1

    t0=Q(i,1);
    tf=Q(i+1,1);
    q0=Q(i,4);
    qf=Q(i+1,4);
    dq0=Q(i,9);
    dqf=Q(i+1,9);

    A=[1    t0  t0.^2  t0.^3;
      1    tf  tf.^2  tf.^3;
      0    1   2*t0   3*t0.^2;
      0    1   2*tf   3*tf.^2;];

    B=[q0 ; qf ; dq0 ; dqf];

```

```

X=A\B;
p3(:,i)=X;
end

[mp3,np3]=size(p3);
t=zeros(1,1);    %vector de tiempos
q3=zeros(1,1);   %vector de angulos
for i=1:np3;
t1=Q(i,1):s_time:Q(i+1,1); %se genera un rango de valores de tiempo
t1=t1';
a0=p3(1,i);
a1=p3(2,i);
a2=p3(3,i);
a3=p3(4,i);
q=a0+a1*t1+a2*t1.^2+a3*t1.^3;

t=[t; t1];
q3=[q3; q];

end

[k l]=size(t);
t=t(2:k,1);
q3=q3(2:k,1);
%%para graficar
axes(handles.GraficoM4)
plot(t,q3);

%plot(t,q3);

```

Q3=[t q3]; %arma el vector desplazamiento angular de q3 con spline cubica.

```

%%para q4
%p4=zeros(n,n-1);
for i=1:n-1

    t0=Q(i,1);
    tf=Q(i+1,1);
    q0=Q(i,5);
    qf=Q(i+1,5);
    dq0=Q(i,10);
    dqf=Q(i+1,10);

    A=[1    t0  t0.^2  t0.^3;
      1    tf  tf.^2  tf.^3;
      0    1   2*t0   3*t0.^2;
      0    1   2*tf   3*tf.^2;];

    B=[q0 ; qf ; dq0 ; dqf];

    X=A\B;
    p4(:,i)=X;
end

[mp4,np4]=size(p4);
t=zeros(1,1);    %vector de tiempos
q4=zeros(1,1);   %vector de angulos
for i=1:np4;
t1=Q(i,1):s_time:Q(i+1,1); %se genera un rango de valores de tiempo
    t1=t1';
    a0=p4(1,i);
    a1=p4(2,i);
    a2=p4(3,i);
    a3=p4(4,i);

```

```
q=a0+a1*t1+a2*t1.^2+a3*t1.^3;
```

```
t=[t; t1];
```

```
q4=[q4; q];
```

```
end
```

```
[k,l]=size(t);
```

```
t=t(2:k,1);
```

```
q4=q4(2:k,1);
```

```
%%para graficar
```

```
axes(handles.GraficoM5)
```

```
plot(t,q4);
```

```
%plot(t,q4);
```

```
Q4=[t q4]; %arma el vector desplazamiento angular de q4 con spline cubica.
```

```
%%para q5
```

```
%p5=zeros(n,n-1);
```

```
for i=1:n-1
```

```
    t0=Q(i,1);
```

```
    tf=Q(i+1,1);
```

```
    q0=Q(i,6);
```

```
    qf=Q(i+1,6);
```

```
    dq0=Q(i,11);
```

```
    dqf=Q(i+1,11);
```

```
    A=[1    t0  t0.^2  t0.^3;
```

```
      1    tf  tf.^2  tf.^3;
```

```
      0    1  2*t0  3*t0.^2;
```

```
      0    1  2*tf  3*tf.^2;];
```

```

B=[q0 ; qf ; dq0 ; dqf];

X=A\B;
p5(:,i)=X;
end

[mp5,np5]=size(p5);
t=zeros(1,1);    %vector de tiempos
q5=zeros(1,1);   %vector de ángulos
for i=1:np5;
    t1=Q(i,1):s_time:Q(i+1,1); %se genera un rango de valores de tiempo
    t1=t1';
    a0=p5(1,i);
    a1=p5(2,i);
    a2=p5(3,i);
    a3=p5(4,i);
    q=a0+a1*t1+a2*t1.^2+a3*t1.^3;

    t=[t; t1];
    q5=[q5; q];

end

[k,l]=size(t);
t=t(2:k,1);
q5=q5(2:k,1);
%%para graficar
axes(handles.GraficoM6)
plot(t,q5);

%plot(t,q5);

```

Q5=[t q5]; %arma el vector desplazamiento angular de q5 con spline cubica.

```

Q1_Y=abs(round(1.5708*(Q1(:,2))));
Q2_1Y=round(Q2(:,2).*-1+170);%180
Q2_2Y=round(Q2_1Y.*-1+173);
Q3_Y=abs(round(Q3(:,2).*-1+120));%130
Q4_Y=abs(round(Q4(:,2)));
Q5_Y=abs(round(Q5(:,2)));

```

```

Q_Y(:,1)=round(Q(:,2));    %servomotor M1
Q_Y(:,2)=round(Q(:,3)*-1+170); %servomotor M2
Q_Y(:,3)=round(Q_Y(:,3)*-1+173); %servomotor M3
Q_Y(:,4)=round(Q(:,4)*-1+120); %servomotor M4

```

```

Q_Y;

```

```

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ1','OutValues',Q1_Y_str);

```

```

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ2','OutValues',Q2_1Y_str);

```

```

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ3','OutValues',Q3_Y_str);

```

```

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ4','OutValues',Q4_Y_str);

```

```

set_param('ensambleCompleto/MovimientoQ5','OutValues',Q5_Y_str);

```

```

        set_param('compilacion1/Movimiento          Sermotor
1','OutValues',Q1_Y_str);

```

```

        set_param('compilacion1/Movimiento          Sermotor
2','OutValues',Q2_1Y_str);

```

```

        set_param('compilacion1/Movimiento          Sermotor
3','OutValues',Q2_2Y_str);

```

```
        set_param('compilacion1/Movimiento
4','OutValues',Q3_Y_str);
        set_param('compilacion1/Movimiento
5','OutValues',Q4_Y_str);
        set_param('compilacion1/Movimiento
6','OutValues',Q5_Y_str);
```

Sermotor

Sermotor

Sermotor

```
%%para simulink
```

```
w1=[t Q1_Y];
```

```
w2=[t Q2_1Y-56];
```

```
w3=[t Q3_Y];
```

```
w4=[t Q4_Y];
```

```
w5=[t Q5_Y];
```

ANEXO P PROGRAMACIÓN EN ARDUINO BANDA TRANSPORTADORA

```

int sini=0;
int sfin=0;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);

  pinMode(6, OUTPUT);//LED1
  pinMode(7, OUTPUT);//LED1
  pinMode(10, OUTPUT);//RELE
  pinMode(4, INPUT);//entrada indica si ya acaba de pintar
  pinMode(5, OUTPUT);//

  digitalWrite(5, LOW);//MANTIENE RESETEADO AL BRAZO
  delay(500);
  ini();
  delay(50);

}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  sini=analogRead(A2);
  Serial.println(sini);

  if(sini<100){//SI EL SENSOR LEE
  mover();
  espero();//espero que acabe de pintar
  fin();//desplazo el objeto hasta que salga de la banda
  delay(1000);
}

```



```
    ini();
}

delay(50);
}

void ini(){
    digitalWrite(5, LOW);//MANTIENE RESETEADO AL BRAZO
    digitalWrite(6, LOW);
    digitalWrite(7, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(6, HIGH);
    delay(2000);
    digitalWrite(6, LOW);
    digitalWrite(7, HIGH);
    delay(2000);
    digitalWrite(7, HIGH);
    delay(50);
}

void mover(){
    digitalWrite(10, HIGH);//PRENDO RELE
    delay(500);
    sfin=analogRead(A3);
    Serial.println(sfin);
    while(sfin>900){//mientras no llegue al segundo sensor
        sfin=analogRead(A3);
        delay(50);
    }
    digitalWrite(10, LOW);//APAGO RELE
}

void espero(){
```

```
delay(2000);  
digitalWrite(5, HIGH);//ORDEN DE EMPEZAR A PINTAR  
delay(55000);//espero 5 seg  
digitalWrite(5, LOW);//ORDEN Detener brazo  
delay(5000);//espero 5 seg  
  
}
```

```
void fin(){  
  digitalWrite(10, HIGH);//PRENDO RELE  
  delay(1000);//prendo durante 2 segundos  
  digitalWrite(10, LOW);//PRENDO RELE  
  
}
```

ANEXO Q PLANOS