



# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD ZACATENCO  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERIA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

**Diseño y construcción de un brazo mecánico,  
Clasificador de fichas de plástico.**

## **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN  
QUE DESARROLLAN:**

**Aquino Díaz Adolfo  
Vega Sánchez Gustavo**

**Asesor**

**M. en C. Juan José Muñoz Cesar  
M. en C. Gustavo Pacheco Van Dyck**

**NOVIEMBRE 2007**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**TEMA DE TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN  
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**  
**TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL**  
**C. GUSTAVO VEGA SÁNCHEZ**  
**C. ADOLFO AQUINO DÍAZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO MECÁNICO, CLASIFICADOR DE FICHAS DE PLÁSTICO.”**

**DESARROLLAR UN BRAZO AUTOMÁTICO QUE SELECCIONE Y SEPARE PIEZAS DE PLÁSTICO, REDUCIENDO EL TIEMPO EMPLEADO Y LOS ERRORES DEL PROCESO DEL EMPAQUETADO.**

- **INTRODUCCIÓN**
- **OBJETIVO**
- **JUSTIFICACIÓN**
- **MARCO TEÓRICO**
- **DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**
- **MODELADO CINEMÁTICO**
- **CONSTRUCCIÓN DE BRAZO MECÁNICO TIPO SCARA**
- **COSTOS DE FABRICACIÓN**
- **CONCLUSIONES**
- **BIBLIOGRAFÍA**

**MÉXICO D.F., 02 DE DICIEMBRE 2008**

**ASESOR ES**

  
**M. EN C. GUSTAVO PACHECO VAN DYCK.**

  
**EN C. JUAN JOSÉ MUÑOZ CESAR.**

  
  
**ING. JOSÉ ÁNGEL MEJÍA DOMÍNGUEZ**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO**  
**DE INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVO</b>	<b>3</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO I</b>	<b>5</b>
1.1 Historia de los Robot	6
1.1.1 Definición del robot industrial	7
1.2 Automatización	8
1.2.1 Tipos de Automatización	9
1.3 Configuraciones básicas de un robot industrial	10
1.3.1 Robot SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm)	12
1.4 Velocidad del movimiento	13
1.5 Espacio de trabajo	14
1.6 Accesibilidad	15
1.7 Movilidad	15
1.8 Estabilidad	16
1.9 Manipulador	16
1.9.1 Grados de libertad	16
1.9.2 Configuraciones	17
1.9.3 Configuración SCARA	18
1.10 Cinemática	18
1.10.1 Problema cinematico directo	20
1.11 Resolución del problema cinematico directo mediante matrices de transformación homogénea	21
1.12 Parámetros DH para un eslabón giratorio	25

1.13	Resolución del problema cinemático directo mediante uso de cuaternios	27
1.14	Resolución del problema cinemático inverso por métodos geométricos	28
1.15	Tipos de motores	30
1.16	Motor de corriente directa (esquema)	31
1.17	Actuadores Neumáticos	32
1.18	Actuadores eléctricos	32
1.19	Plásticos	33
1.19.1	Maquinaria de inyección de plástico	33
1.19.2	Molde de inyección de plástico	34
1.20	Poliestireno	35
1.20.1	Pigmentos	35
	<b>CAPITULO II</b>	<b>37</b>
2.1	Descripción de la empresa	38
2.1.1	Distribución de la empresa	39
2.2	Descripción de procesos de inyección	41
2.3	Descripción de procesos de inyección de fichas de plástico	43
	<b>CAPITULO III</b>	<b>46</b>
3.1	Modelo Cinemático	47
3.2	Cinemática directa del brazo manipulador scara	48
3.3	Cinemática inversa del brazo manipulador scara	51

	<b>CAPITULO IV</b>	<b>53</b>
4.1	Construcción de Brazo Mecánico tipo Scara	<b>54</b>
4.2	Construcción de parte física y mecánica de Brazo Mecánico tipo Scara	<b>54</b>
4.2.1	Elaboración de brazo mecánico tipo scara	<b>56</b>
4.3	Diseño de etapa de potencia para el robot tipo scara	<b>61</b>
4.3.1	Descripción de la tarjeta L298	<b>63</b>
	<b>CAPITULO V</b>	<b>65</b>
5.1	Costos de Fabricación	<b>66</b>
5.2	Costos de insumos	<b>66</b>
5.3	Costos de Ingeniera	<b>69</b>
5.4	Costos Indirectos	<b>71</b>
5.5	Costo total	<b>71</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>73</b>
	<b>GLOSARIO</b>	<b>74</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>77</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Brazo – robot industrial	7
Figura 1.2	Configuración polar	10
Figura 1.3	Configuración cilíndrica	11
Figura 1.4	Configuración de coordenadas cartesianas	11
Figura 1.5	Configuración de brazo articulado (ROBOT SCARA)	12
Figura 1.6	Diseño de robot scara (eslabones y ejes principales)	12
Figura 1.7	Robot Scara	12
Figura 1.8	Movilidad en el espacio	14
Figura 1.9	Formas de accesibilidad	15
Figura 1.10	Formas de movilidad	15
Figura 1.11	Articulaciones de un brazo mecánico	16
Figura 1.12	Grados de libertad en el eje x, y, z	17
Figura 1.13	Configuraciones de robots	17
Figura 1.14	Brazo scara y sus configuración	18
Figura 1.15	Cinemática de robot	19
Figura 1.16	Elementos y articulaciones de un brazo mecánico	20
Figura 1.17	Cinemática directa de un manipulador rotacional	20
Figura 1.18	Coordenadas cartesianas y ángulos de Euler	21
Figura 1.19	Robot planar de dos grados de libertad	22
Figura 1.20	Robot Parámetros DH para un eslabón giratorio	25
Figura 1.21	Asignación de sistemas de referencia en un robot scara	27
Figura 1.22	Elementos contenidos en un plano de un robot	29
Figura 1.23	Esquema de motor de corriente directa	31
Figura 1.24	Características de actuadores para los robots.	32

Figura 1.25	Maquina inyectora de plástico	34
Figura 1.26	Estructura de molde de inyección y sistema de enfriamiento (drenado de agua)	34
Figura 1.27	Formula del Políestireno	35
Figura 1.28	Políestireno según sistema SPI	35
Figura 1.29	Pigmento (colorizante)	36
Figura 2.1	Artículos didácticos producidos en plástico	38
Figura 2.2	Planos de distribución de la empresa	38
Figura 2.3	Diagrama de distribución de enfriamiento por medio de agua y ubicación de torre de enfriamiento	39
Figura 2.4	Proceso de molido y pigmentado de la materia prima	40
Figura 2.5	Proceso de molido y pigmentado de la materia prima	41
Figura 2.6	Proceso de inyectado del polímero	42
Figura 2.7	Sistema de cierre y apertura de molde de inyectado de plástico	42
Figura 2.8	Sistema Maquina de inyección de plástico	43
Figura 2.9	Molde de inyección de plástico de ficha didáctica	43
Figura 2.10	Ficha de plástico en color blanco y negro	43
Figura 2.11	Proceso de inyectado y separación de fichas	44
Figura 2.12	Proceso de incrustado de imán flexible	44
Figura 2.13	Ficha de plástico con imán flexible incrustado en el centro	45
Figura 2.14	Proceso completo de fabricado, inyectado y embolsado de ficha de plástico	45
Figura 3.1	Colocación de los puntos de referencia para la primera articulación	47
Figura 3.2	Colocación de los puntos de referencia para la segunda articulación	47
Figura 3.3	Modelo matemático del brazo manipulador	48

Figura 3.4	Colocación de los ejes basados en el algoritmo de Denavit - Hartenbreg	49
Figura 3.5	Plano de trabajo del brazo manipulador, visto desde la parte superior del mismo.	51
Figura 4.1	Base de brazo mecánico uno y dos	56
Figura 4.2	Base uno, fijación de motor con flecha mecánica	57
Figura 4.3	Unión de base uno con base dos	57
Figura 4.4	Estructura física de los eslabones	58
Figura 4.5	Ensamble de motor en eslabón uno	58
Figura 4.6	Montaje de eslabón uno con la base	59
Figura 4.7	Eslabón dos, montaje de engrane	60
Figura 4.8	Unión de eslabón uno y eslabón dos, sistema mecánico piñón – cadena	60
Figura 4.9	Brazo mecánico tipo scara	61
Figura 4.10	Etapas de potencia, PSB	62
Figura 4.11	Interfaz grafica del sistema	63
Figura 4.12	Circuito esquemático L298	64
Figura 4.13	Interfaz microcontrolador - L298	64



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Sistemas de impulsión	13
Tabla 1.2	Tipos de control del robot	14
Tabla 1.3	Cinemática directa e inversa	19
Tabla 1.4	Parámetros DH para el robot	26
Tabla 1.5	Características de actuadores para los robots.	31
Tabla 4.1	Lista de materiales para construcción mecánica	56
Tabla 4.2	Lista de materiales electrónicos	62
Tabla 5.1	Costos de material parte mecánica y construcción	68
Tabla 5.2	Costos de material electrónicos	68
Tabla 5.3	Costos de Insumos	69
Tabla 5.4	Costos de Ingeniería de detalle	69
Tabla 5.5	Costos de mano de obra	70
Tabla 5.6	Costos de Ingeniería	70
Tabla 5.7	Costos Indirectos	71
Tabla 5.8	Costo Total del proyecto	72

## Introducción

En ésta época de tantos adelantos tecnológicos, quién no ha escuchado las palabras robot, robótica o alguna de sus variantes. La robótica ha crecido en gran escala en países como Japón, Estados Unidos, España, Francia, Alemania entre otros, en los que ya se tiene un grado avanzado de conocimientos y técnicas diversas en esta área.

En este proyecto de tesis, se realiza el diseño de un brazo mecánico tipo scara, con la finalidad de mejorar el proceso de producción en el empaquetado de ficha didáctica de plástico, reduciendo tiempos y mejorar la eficiencia al momento del embolsado.

El ser humano en muchas ocasiones se encuentra limitado para realizar tareas, operaciones, aplicaciones o procesos en los que se ve comprometida su seguridad; por ello la creación de máquinas que puedan realizar estas tareas. Durante las décadas pasadas se han desarrollado varios tipos de brazos electromecánicos, la mayoría de estos para realizar tareas específicas en el área de producción de la industria.

Hoy en día las cosas han cambiado podemos encontrar robots en almacenes, laboratorios, sitios de investigación y exploración, centrales de energía, hospitales, escuelas, casas e inclusive en el espacio exterior. Alrededor del mundo los robots están siendo parte familiar de la vida laboral, como por ejemplo en Japón se encuentran alrededor de 400,000 robots que trabajan en las fábricas, diez veces más que los que se encuentran en Estados Unidos. Los robots también se pueden encontrar en docenas de otros países por ello al ser su uso más común se van reduciendo los costos y se incrementa su presencia las fábricas; naturalmente esto es un problema pues los trabajadores de las industrias están siendo reemplazados por máquinas que realizan su trabajo.

Como ya se mencionó los robots son útiles en el industrias por una gran variedad de razones, en la economía de hoy los negocios necesitan ser más eficientes, la instalación de robots es una manera en la cual los propietarios de los negocios pueden ser más competitivos ya que los robots pueden hacer algunas tareas más eficientemente que la gente. Como por ejemplo los robots nunca se enferman ni necesitan descansar así que pueden trabajar 24 al día los

siete días de la semana, pueden hacer trabajos en los que las tareas requeridas puedan ser peligrosas para una persona, los robots nunca se aburren por lo que una tarea repetitiva no es problema para ellos.

El empleo de robots y mecanismos automatizados se ha vuelto cada vez más común y útil, hemos sido testigos de cómo el ser humano ha sido capaz de enviar sondas al espacio para poder estudiar las características de estrellas o planetas distantes, estas sondas no son otra cosa sino robots controlados a distancia.

El diccionario de la lengua española define Robot como una máquina electrónica que puede ejecutar automáticamente distintas operaciones o movimientos.

Posiblemente la definición más comúnmente aceptada sea la de la Asociación de Industrias Robots (RIA), según la cual:

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

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (ISO) que define al robot industrial como: Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.

### **Objetivo**

Desarrollar un brazo automático que seleccione y separe piezas de plástico, reduciendo el tiempo empleado y los errores del proceso del empaquetado.

## Justificación

La realización de este brazo mecánico tipo scara, surgió a partir de mejorar tiempos y movimientos de una empresa dedicada a la inyección de plástico, en esta empresa nosotros tomaremos en específico la fabricación de uno de sus productos, el cual es la ficha didáctica de plástico.

La fabricación de ficha didáctica de plástico es de gran demanda para esta pequeña empresa, ya que una de sus características principales de este producto, es que en el centro de la ficha tiene incrustado imán flexible, y así la ficha permita la adherencia en superficies de metal no importando la inclinación de donde sea adherida.

Nuestro brazo mecánico tipo scara se ha diseñado para intervenir en el proceso final de empaquetado de producción.

La producción de la ficha consiste en un proceso de inyección de plástico, que posteriormente se separa del molde y pasa por un sistema de bandas a una depuradora y una incrustadora de imán. Finalmente la ficha es embolsada conforme a su color. El proceso de embolsado lo realizan manualmente y es de gran importancia, ya que cada bolsa consta de 100 piezas y a veces existe el error de conteo atribuido al ser humano.

Es por eso que se diseña el brazo mecánico tipo scara, su finalidad es que cuando llega el momento del embolsado de la ficha intervenga como elemento de llenado. La forma en que operará el brazo mecánico, es que por medio de un electroimán, tome la ficha y un sensor indicara el color, de esa forma el brazo se dirigirá al contenedor correspondiente llevando la cuenta del número de fichas que se van depositando. De esta forma el sistema de embolsado será mas exacto y el personal asignado podrá realizar otras actividades dentro de la empresa.

Con lo antes mencionado la finalidad es crear un proceso de empaquetado mas rápido y que intervenga lo menos posible la mano del hombre y es donde adaptamos como elemento terminal del proceso nuestro brazo mecánico tipo scara.

# CAPITULO I

## 1.1 Historia de los Robot

La palabra robot, es de origen checo y significa siervo o esclavo; fue inventada por el escritor checo Karel Capek (1890-1938) en su obra teatral R.U.R., estrenada en Europa en 1920. El concepto de máquinas automatizadas se remonta a la antigüedad, con mitos de seres mecánicos vivientes. Los autómatas, o máquinas semejantes a personas, ya aparecían en los relojes de las iglesias medievales, y los relojeros del siglo XVIII eran famosos por sus ingeniosas criaturas mecánicas.

Algunos de los primeros robots empleaban mecanismos de realimentación para corregir errores, mecanismos que siguen empleándose actualmente. Un ejemplo de control por realimentación es un bebedero que emplea un flotador para determinar el nivel del agua. Cuando el agua cae por debajo de un nivel determinado, el flotador baja, abre una válvula y deja entrar más agua en el bebedero. Al subir el agua, el flotador también sube, y al llegar a cierta altura se cierra la válvula y se corta el paso del agua.

El primer auténtico controlador realimentado fue el regulador de Watt, inventado en 1788 por el ingeniero británico James Watt. Este dispositivo constaba de dos bolas metálicas unidas al eje motor de una máquina de vapor y conectadas con una válvula que regulaba el flujo de vapor. A medida que aumentaba la velocidad de la máquina de vapor, las bolas se alejaban del eje debido a la fuerza centrífuga, con lo que cerraban la válvula. Esto hacía que disminuyera el flujo de vapor a la máquina y por tanto la velocidad.

El control por realimentación, el desarrollo de herramientas especializadas y la división del trabajo en tareas más pequeñas que pudieran realizar obreros o máquinas fueron ingredientes esenciales en la automatización de las fábricas en el siglo XVIII. A medida que mejoraba la tecnología se desarrollaron máquinas especializadas para tareas como poner tapones a las botellas o verter caucho líquido en moldes para neumáticos. Sin embargo, ninguna de estas máquinas tenía la versatilidad del brazo humano, y no podía alcanzar objetos alejados y colocarlos en la posición deseada.

El desarrollo del brazo artificial multiarticulado, o manipulador, llevó al moderno robot. El inventor estadounidense George Devol desarrolló en 1954 un brazo primitivo que se podía programar para realizar tareas específicas. En 1975, el ingeniero mecánico estadounidense Víctor Scheinman, cuando estudiaba la carrera en la Universidad de Stanford, en California, desarrolló un manipulador polivalente realmente flexible conocido como Brazo Manipulador Universal Programable (PUMA, siglas en inglés). El PUMA era capaz de mover un objeto y colocarlo en cualquier orientación en un lugar deseado que estuviera a su alcance. El concepto básico multiarticulado del PUMA es la base de la mayoría de los robots actuales.

### 1.1.1 Definición del robot industrial

Manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas (RIA).

Máquina de manipulación automática reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento (Federación Internacional de Robótica -IFR)

Clasificación del robot industrial

1ª Generación: Repite la tarea programada secuencialmente. No toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno.

2ª Generación: Adquiere información limitada de su entorno y actúa en consecuencia. Puede localizar, clasificar (visión) y detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos en consecuencia.

3ª Generación: Su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural. Posee capacidad para la planificación automática de tareas.



Figura 1.1 Brazo – robot industrial



## 1.2 Automatización

La historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales.

El uso de robots industriales junto con los sistemas de diseño asistidos por computadora (CAD), y los sistemas de fabricación asistidos por computadora (CAM), son la última tendencia y luego se cargaban en el robot inicia en automatización de los procesos de fabricación. Estas tecnologías conducen a la automatización industrial a otra transición, de alcances aún desconocidos.

Aunque el crecimiento del mercado de la industria Robótica ha sido lento en comparación con los primeros años de la década de los 80's, de acuerdo a algunas predicciones, la industria de la robótica está en su infancia. Ya sea que éstas predicciones se realicen completamente, o no, es claro que la industria robótica, en una forma o en otra, permanecerá.

En la actualidad el uso de los robots industriales está concentrado en operaciones muy simples, como tareas repetitivas que no requieren tanta precisión. Se refleja el hecho de que en los 80's las tareas relativamente simples como las máquinas de inspección, transferencia de materiales, pintado automotriz, y soldadura son económicamente viables para ser robotizadas. Los análisis de mercado en cuanto a fabricación predicen que en ésta década y en las posteriores los robots industriales incrementaran su campo de aplicación, esto debido a los avances tecnológicos en sensoria, los cuales permitirán tareas mas sofisticadas como el ensamble de materiales.

Como se ha observado la automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. En consecuencia la robótica es una forma de automatización industrial.

Hay tres clases muy amplias de automatización industrial: automatización fija, automatización programable, y automatización flexible.

La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

La automatización programable se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a la variaciones de

configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa (Software).

Por su parte la automatización flexible es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada.

Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre si por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

De los tres tipos de automatización, la robótica coincide más estrechamente con la automatización programable.

### 1.2.1 Tipos de Automatización

Existen cinco formas de automatizar en la industria moderna, de modo que se deberá analizar cada situación a fin de decidir correctamente el esquema más adecuado.

Los tipos de automatización son:

- Control Automático de Procesos.
- El Procesamiento Electrónico de Datos.
- La Automatización Fija.
- El Control Numérico Computarizado.
- La Automatización Flexible.

*El Control Automático de Procesos*, se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto lo podría ser el proceso de refinación de petróleo.

*El Proceso Electrónico de Datos* frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de interfases y computadores.

*La Automatización fija*, es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los (PLC'S) O Controladores Lógicos Programables.

Un mayor nivel de flexibilidad lo poseen las máquinas de control numérico computarizado. Este tipo de control se ha aplicado con éxito a Máquinas de Herramientas de Control Numérico (MHCN). Entre las MHCN podemos mencionar:

Fresadoras CNC, Tornos CNC, Máquinas de Electro erosionado, Máquinas de Corte por Hilo, etc.

*La Automatización Flexible*, es cuando el mayor grado de flexibilidad en cuanto a automatización se refiere es el de los Robots industriales que en forma más genérica se les denomina como "Celdas de Manufactura Flexible".

### 1.3 Configuraciones básicas de un robot industrial

Los robots industriales están disponibles en una amplia gama de tamaños, formas y configuraciones físicas. La gran mayoría de los robots comercialmente disponibles en la actualidad tiene las siguientes configuraciones.

Configuración Polar:

Utiliza un brazo telescópico que puede elevarse o bajar al rededor de un pivote horizontal. Este pivote está montado sobre una base giratoria. Estas articulaciones proporcionan al robot la capacidad para desplazar su brazo dentro de un espacio esférico, y de aquí la denominación de robot de "coordenadas esféricas" que suelen aplicar a este tipo.

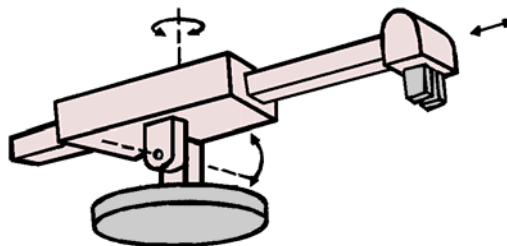


Figura 1.2 Configuración polar

### Configuración Cilíndrica:

Utiliza una columna vertical y un dispositivo de deslizamiento que puede moverse hacia arriba o abajo a lo largo de la columna. El brazo del robot esta unido al dispositivo deslizante de modo que puede moverse en sentido radial con respecto a la columna puede girar.

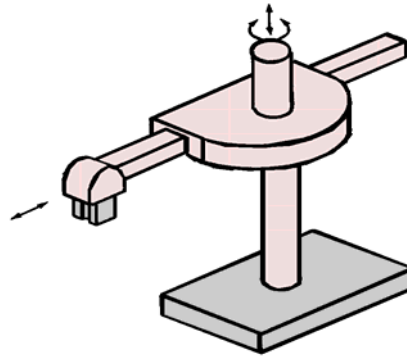


Figura 1.3 Configuración cilíndrica

### Configuración de coordenadas cartesianas:

Este tipo de robot utiliza tres dispositivos deslizantes perpendiculares para construir los ejes x, y, z

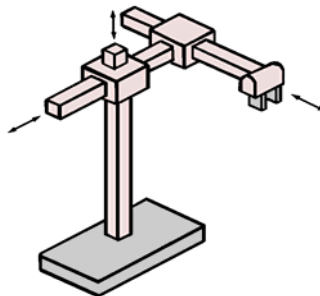


Figura 1.4 Configuración de coordenadas cartesianas

### Configuración de brazo articulado.

Es similar a la del brazo humano, esta constituido por dos componentes rectos que simulan el brazo o antebrazo humano. Estos componentes están conectados por las articulaciones giratorias que asemejan el hombro y codo y una muñeca esta al final del brazo del robot. El robot más común de este tipo se conoce robot SCARA

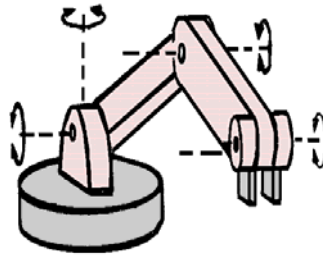


Figura 1.5 Configuración de brazo articulado (ROBOT SCARA)

### 1.3.1 Robot SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*)

Los robots Scara son robots equipados de libertad total de movimientos en los ejes X e Y pero limitados severamente en sus desplazamientos en el eje Z.

Es decir, se comportan de forma parecida al brazo humano, permitiendo ubicar el extremo de la mano en cualquier ubicación pero siempre sobre el plano. En el eje vertical solo realizan manipulaciones simples que habitualmente consisten en presionar y desplazarse unos pocos centímetros.

Debido a estas características se usan sobremanera en la fabricación de electrónica de consumo y en la clasificación de artículos para su empaquetado.

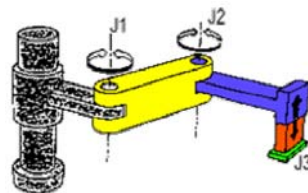


Figura 1.6 Diseño de robot scara (eslabones y ejes principales)



Figura 1.7 Robot Scara

Sistemas de impulsión	Ventajas	Inconvenientes
Hidráulica	Mayor velocidad y resistencia mecánica	Espacio y Fugas de aceite.
Eléctrica	Mejores en exactitud y repetitividad.	Menor velocidad y resistencia
Neumática.	Robots muy pequeños	Limitados a operaciones de coger y situar con ciclos rápidos

Tabla 1.1 Sistemas de impulsión

#### 1.4 Velocidad del movimiento

Existe una relación inversa entre la velocidad y la exactitud de los movimientos. Transporte de carga.

El tamaño, la configuración y la construcción y el sistema de impulsión determinan la capacidad de transporte de carga del robot. Se especifica el la posición mas débil del robot.

Tipos de controles del robot.	Nivel de control	Características
Secuencia limitada	Bajo	No servocontrol Control por interruptores de fin de carrera o topes mecánicos. No retroalimentación  Neumáticos

Control punto a punto	Medio	Reproducción de movimiento. Enseñar y registrar en memoria. Retroalimentación.  No controlan la trayectoria.
Control de recorrido continuo	Medio alto	Controla la trayectoria. Los puntos individuales los define el control y no el operador.

Tabla 1.2 Tipos de control del robot

## 1.5 Espacio de trabajo

Es el conjunto de puntos donde puede situarse el elemento terminal del robot.

Corresponde al volumen encerrado por las superficies que determinan los puntos a los que accede el manipulador con su estructura totalmente extendida.

Vienen normalmente representados por dos secciones perpendiculares elegidas en función del tipo del robot. Es necesario para conocer el entorno de trabajo del robot y suele ser suministrado por el fabricante.

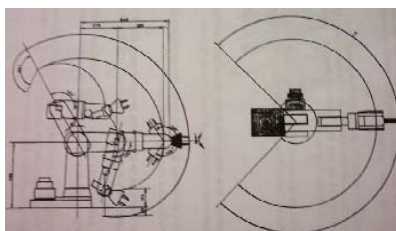


Figura 1.8 Movilidad en el espacio

## 1.6 Accesibilidad

No todos los puntos de trabajo presentan la misma accesibilidad.

Suponiendo la base fija, la superficie que delimita el volumen total representa la accesibilidad mínima.

Los puntos de accesibilidad máxima, si existen, pueden encontrarse en el interior del volumen básico. En estos puntos el elemento puede acceder en cualquier dirección.

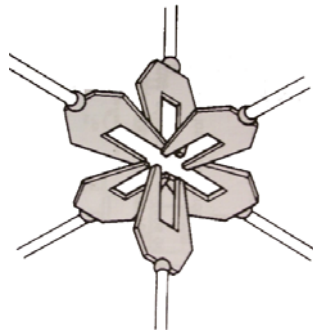


Figura 1.9 Formas de accesibilidad

## 1.7 Movilidad

Dotando de movilidad a un robot se consigue aumentar el espacio de trabajo.

Así se puede entrar a un entorno más amplio, o incluso sincronizar su desplazamiento al movimiento de una cadena de montaje.

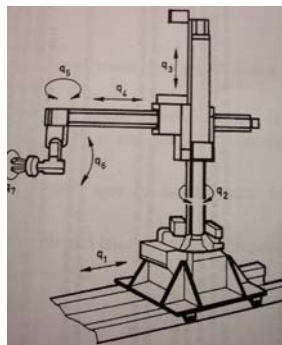


Figura 1.10 Formas de movilidad



## 1.8 Estabilidad

Hace referencia a la ausencia de oscilaciones en el movimiento de la herramienta.

Las oscilaciones son perjudiciales puesto que:

- Deterioro en partes mecánicas e hidráulicas del brazo.
- Diferentes trayectorias a las deseadas y perjudicar el entorno.
- Perdida de tiempo al llegar al objetivo.

## 1.9 Manipulador

Eslabones: Son los elementos rígidos, interrelacionados con

Articulaciones: que permiten el movimiento relativo entre los sucesivos eslabones.

Generalmente un extremo de la cadena es fijo (base) y el otro es libre, en el cual se sitúa un elemento de trabajo

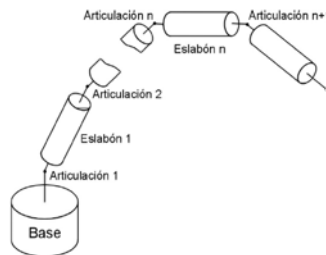


Figura 1.11 Articulaciones de un brazo mecánico

### 1.9.1 Grados de libertad

Cada uno de los movimientos independientes que una articulación permite efectuar entre dos eslabones de la cadena, confiere un grado de libertad a la estructura formada.

Número de grados de libertad de la estructura viene determinado por la suma de los grados de libertad de cada una de las articulaciones

El número total de grados de libertad requerido puede completarse por medio de la muñeca: articulación o conjunto de articulaciones que enlazan el elemento terminal con el elemento de trabajo.

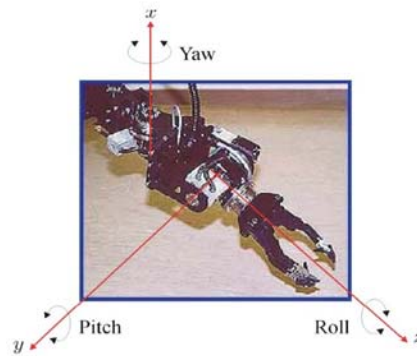


Figura 1.12 Grados de libertad en el eje x, y, z

### 1.9.2 Configuraciones

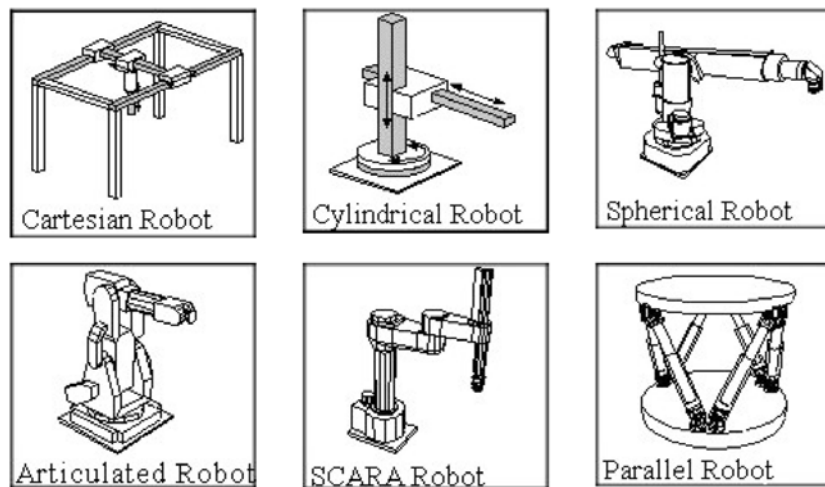


Figura 1.13 Configuraciones de robots

### 1.9.3 Configuración SCARA

Estructura RPR O PRR.

Especialmente desarrollado para realizar tareas de ensamblado electrónico, y de manipulación vertical.



Figura 1.14 Brazo scara y sus configuración

### 1.10 Cinemática

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 espacial 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 toman sus coordenadas articulares. Existen dos problemas fundamentales para resolver la cinemática del robot, el primero de ellos se conoce como el problema de la cinemática directa, y consiste en determinar cual es la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot, el segundo denominado problema de la cinemática inversa, resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas.

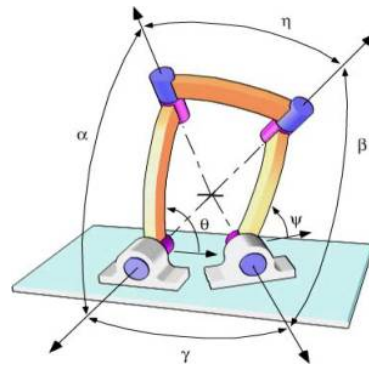


Figura 1.15 Cinemática de robot

Denavit y Hartenberg propusieron un método sistemático para descubrir y representar la geometría espacial de los elementos de una cadena cinemática, y en particular de un robot, con respecto a un sistema de referencia fijo. Este método utiliza una matriz de transformación homogénea para descubrir la relación espacial entre dos elementos rígidos adyacentes, reduciéndose el problema cinemático directo a encontrar una matriz de transformación homogénea 4 X 4 que relacione la localización espacial del robot con respecto al sistema de coordenadas de su base.

Por otra parte, la cinemática del robot trata también de encontrar las relaciones entre las velocidades del movimiento de las articulaciones y las del extremo. Esta relación viene dada por el modelo diferencial expresado mediante la matriz Jacobiana.

Diagrama entre cinemática directa e inversa.

Cinemática directa

Valor de las coordenadas Articulares ( $q_0, q_1, \dots, q_n$ )	posición y orientación del extremo del robot ( $x, y, z, \varnothing, \beta, \alpha$ )
---	---

Cinemática inversa

Tabla 1.3 Cinemática directa e inversa

El movimiento relativo en las articulaciones resulta en el movimiento de los elementos que posicionan la mano en una orientación deseada. En la mayoría de las aplicaciones de robótica, se está interesado en la descripción espacial del efector final del manipulador con respecto a un sistema de coordenadas de referencia fija.

La cinemática del brazo del robot trata con el estudio analítico de la geometría del movimiento de un robot con respecto a un sistema de coordenadas de referencia fijo como una función del tiempo sin considerar las fuerzas-momentos que originan dicho movimiento. Así pues, trata con la descripción analítica del desplazamiento espacial del robot como función del tiempo, en particular las relaciones entre variables espaciales de tipo de articulación y la posición y orientación del efector final del robot.

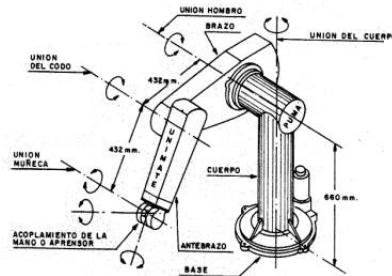


Figura 1.16 Elementos y articulaciones de un brazo mecánico

### 1.10.1 Problema cinemático directo

Se utiliza fundamentalmente el álgebra vectorial y matricial para representar y describir la localización de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a un sistema de referencia fijo. Dado que un robot puede considerarse como una cadena cinemática formada por objetos rígidos o eslabones unidos entre sí mediante articulaciones, se puede establecer un sistema de referencia fijo situado en la base del robot y describir la localización de cada uno de los eslabones con respecto a dicho sistema de referencia. De esta forma, el problema cinemático directo se reduce a encontrar una matriz homogénea de transformación  $T$  que relacione la posición y orientación del extremo del robot respecto del sistema de referencia fijo situado en la base del mismo. Esta matriz  $T$  será función de las coordenadas articulares.

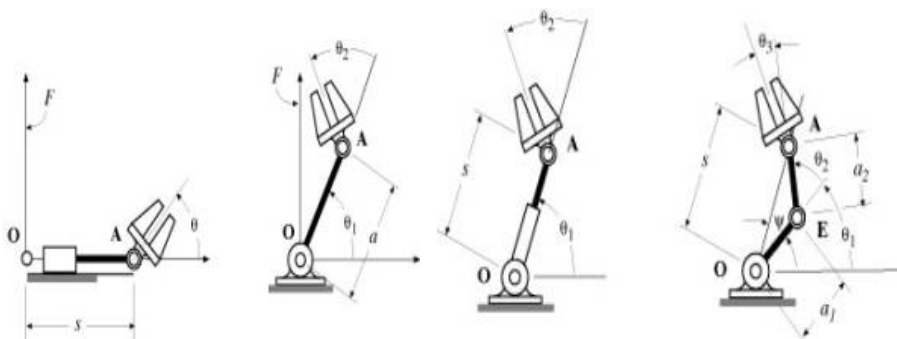


Figura 1.17 Cinemática directa de un manipulador rotacional

### 1.11 Resolución del problema cinemático directo mediante matrices de transformación homogénea

La resolución del problema cinemático directo consiste en encontrar las relaciones que permiten conocer la localización espacial del extremo del robot a partir de los valores de sus coordenadas articulares.

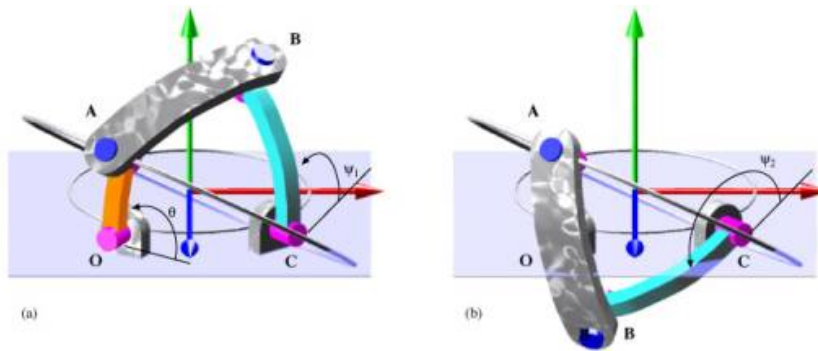


Figura 1.18 Coordenadas cartesianas y ángulos de Euler

Así, si se han escogido coordenadas cartesianas y ángulos de Euler para representar la posición y orientación del extremo de un robot de seis grados de libertad, la solución al problema cinemático directo vendrá dada por las relaciones:

$$\begin{aligned}
 x &= F_x ( q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6 ) \\
 y &= F_y ( q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6 ) \\
 z &= F_z ( q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6 ) \\
 \theta &= F_{\theta} ( q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6 ) \\
 \beta &= F_{\beta} ( q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6 ) \\
 \alpha &= F_{\alpha} ( q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6 )
 \end{aligned}$$

La obtención de estas relaciones no es en general complicada, siendo incluso en ciertos casos (robots de pocos grados de libertad) fácil de encontrar mediante simples consideraciones geométricas. Por ejemplo, para el caso de un robot con 2 grados de libertad es fácil comprobar que:

$$\begin{aligned}
 X &= l_1 \cos q_1 + l_2 \cos( q_1 + q_2 ) \\
 y &= l_1 \sin q_1 + l_2 \sin( q_1 + q_2 )
 \end{aligned}$$

Para robots de más grados de libertad puede plantearse un método sistemático basado en la utilización de las matrices de transformación homogénea. En general, un robot de  $n$  grados de libertad está formado por  $n$  eslabones unidos por  $n$  articulaciones, de forma que cada par articulación-eslabón constituye un grado de libertad. A cada eslabón se le puede asociar un sistema de referencia solidario a él, utilizando las transformaciones homogéneas, es posible

representar las rotaciones y traslaciones relativas entre los distintos eslabones que componen el robot.

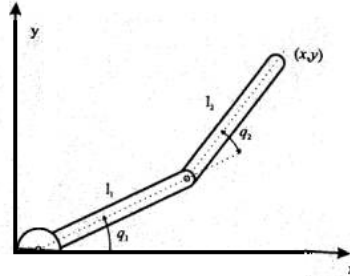


Figura 1.19 Robot planar de dos grados de libertad

Normalmente, la matriz de transformación homogénea que representa la posición y orientación relativa entre los sistemas asociados a dos eslabones consecutivos del robot se le suele denominar  $(i-1)A_i$ . Así pues,  $0A_1$  describe la posición y orientación del sistema de referencia solidario al primer eslabón con respecto al sistema de referencia solidario a la base,  $1A_2$  describe la posición y orientación del segundo eslabón respecto del primero, etc. Del mismo modo, denominando  $0A_k$  a las matrices resultantes del producto de las matrices  $(i-1)A_i$  con  $i$  desde 1 hasta  $k$ , se puede representar de forma total o parcial la cadena cinemática que forma el robot. Así, por ejemplo, la posición y orientación del sistema solidario con el segundo eslabón del robot con respecto al sistema de coordenadas de la base se puede expresar mediante la matriz  $0A_2$ :

$$0A_2 = 0A_1 ( 1A_2 )$$

De manera análoga, la matriz  $0A_3$  representa la localización del sistema del tercer eslabón:

$$0A_3 = 0A_1 ( 1A_2 )( 2A_3 )$$

Cuando se consideran todos los grados de libertad, a la matriz  $0A_n$  se le suele denominar  $T$ . Así, dado un robot de seis grados de libertad, se tiene que la posición y orientación del eslabón final vendrá dada por la matriz  $T$ :

$$T = 0A_6 = 0A_1 ( 1A_2 )( 2A_3 )( 3A_4 )( 4A_5 )( 5A_6 )$$

Aunque para descubrir la relación que existe entre dos elementos contiguos se puede hacer uso de cualquier sistema de referencia ligado a cada elemento, la forma habitual que se suele utilizar en robótica es la representación de Denavit-Hartenberg.

Denavit-Hartenberg propusieron en 1955 un método matricial que permite establecer de manera sistemática un sistema de coordenadas ( $S_i$ ) ligado a cada

eslabón  $i$  de una cadena articulada, pudiéndose determinar a continuación las ecuaciones cinemáticas de la cadena completa.

Según la representación D-H, escogiendo adecuadamente los sistemas de coordenadas asociados para cada eslabón, será posible pasar de uno al siguiente mediante 4 transformaciones básicas que dependen exclusivamente de las características geométricas del eslabón. Estas transformaciones básicas consisten en una sucesión de rotaciones y traslaciones que permitan relacionar el sistema de referencia del elemento  $i$  con el sistema del elemento  $i-1$ . Las transformaciones en cuestión son las siguientes:

Rotación alrededor del eje  $Z_{i-1}$  un ángulo  $\theta_i$ .

Traslación a lo largo de  $Z_{i-1}$  una distancia  $d_i$ ; vector  $d_i$  ( 0,0, $d_i$  ).

Traslación a lo largo de  $X_i$  una distancia  $a_i$ ; vector  $a_i$  ( 0,0, $a_i$  ).

Rotación alrededor del eje  $X_i$ , un ángulo  $\alpha_i$ .

Dado que el producto de matrices no es conmutativo, las transformaciones se han de realizar en el orden indicado. De este modo se tiene que:

$${}^{i-1}A_i = T(z, \theta_i) T(0,0,d_i) T(a_i,0,0) T(x, \alpha_i)$$

Y realizando el producto de matrices:

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

Donde  $\theta_i$ ,  $a_i$ ,  $d_i$ ,  $\alpha_i$  son los parámetros D-H del eslabón  $i$ . De este modo, basta con identificar los parámetros  $\theta_i$ ,  $a_i$ ,  $d_i$ ,  $\alpha_i$ , para obtener matrices  $A$  y relacionar así todos y cada uno de los eslabones del robot. Como se ha indicado, para que la matriz  ${}^{i-1}A_i$ , relacione los sistemas ( $S_i$ ) y ( $S_{i-1}$ ), es necesario que los sistemas se hayan escogido de acuerdo a unas determinadas normas. Estas, junto con la definición de los 4 parámetros de Denavit-Hartenberg, conforman el siguiente algoritmo para la resolución del problema cinemático directo.



### Algoritmo de Denavit- Hartenberg para la obtención del modelo

DH1. Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil de la cadena) y acabando con n (último eslabón móvil). Se numerará como eslabón 0 a la base fija del robot.

DH2. Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad) y acabando en n).

DH3. Localizar el eje de cada articulación. Si esta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.

DH4. Para  $i$  de 0 a  $n-1$ , situar el eje  $Z_i$ , sobre el eje de la articulación  $i+1$ .

DH5. Situar el origen del sistema de la base ( $S_0$ ) en cualquier punto del eje  $Z_0$ . Los ejes  $X_0$  e  $Y_0$  se situarán de modo que formen un sistema dextrógiro con  $Z_0$ .

DH6. Para  $i$  de 1 a  $n-1$ , situar el sistema ( $S_i$ ) (solidario al eslabón  $i$ ) en la intersección del eje  $Z_i$  con la línea normal común a  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ . Si ambos ejes se cortasen se situaría ( $S_i$ ) en el punto de corte. Si fuesen paralelos ( $S_i$ ) se situaría en la articulación  $i+1$ .

DH7. Situar  $X_i$  en la línea normal común a  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ .

DH8. Situar  $Y_i$  de modo que forme un sistema dextrógiro con  $X_i$  y  $Z_i$ .

DH9. Situar el sistema ( $S_n$ ) en el extremo del robot de modo que  $Z_n$  coincida con la dirección de  $Z_{n-1}$  y  $X_n$  sea normal a  $Z_{n-1}$  y  $Z_n$ .

DH10. Obtener  $\theta_i$  como el ángulo que hay que girar en torno a  $Z_{i-1}$  para que  $X_i$  y  $X_{i-1}$  queden paralelos.

DH11. Obtener  $D_i$  como la distancia, medida a lo largo de  $Z_{i-1}$ , que habría que desplazar ( $S_{i-1}$ ) para que  $X_i$  y  $X_{i-1}$  quedasen alineados.

DH12. Obtener  $A_i$  como la distancia medida a lo largo de  $X_i$  (que ahora coincidiría con  $X_{i-1}$ ) que habría que desplazar el nuevo ( $S_{i-1}$ ) para que su origen coincidiese con ( $S_i$ ).

H13. Obtener  $\alpha_i$  como el ángulo que habría que girar entorno a  $X_i$  (que ahora coincidiría con  $X_{i-1}$ ), para que el nuevo ( $S_{i-1}$ ) coincidiese totalmente con ( $S_i$ ).

DH14. Obtener las matrices de transformación  ${}^{i-1}A_i$ .

DH15. Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot  $T = {}^0A_1, {}^1A_2, \dots, {}^{n-1}A_n$ .

DH16. La matriz  $T$  define la orientación (submatriz de rotación) y posición (submatriz de traslación) del extremo referido a la base en función de las  $n$  coordenadas articulares.

### 1.12 Parámetros DH para un eslabón giratorio

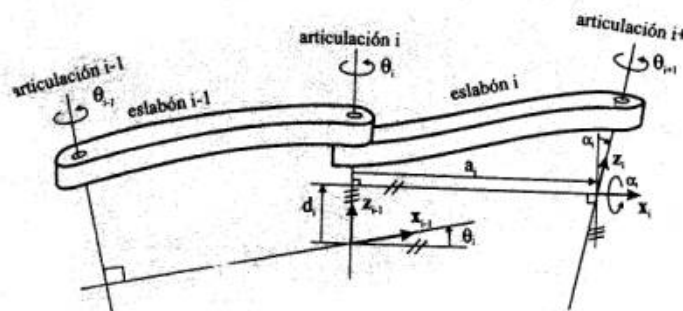


Figura 1.20 Robot Parámetros DH para un eslabón giratorio

Los cuatro parámetros de DH ( $\theta_i$ ,  $d_i$ ,  $a_i$ ,  $\alpha_i$ ) dependen únicamente de las características geométricas de cada eslabón y de las articulaciones que le unen con el anterior y siguiente:

$\theta_i$  Es el ángulo que forman los ejes  $X_{i-1}$  y  $X_i$  medido en un plano perpendicular al eje  $Z_{i-1}$ , utilizando la regla de la mano derecha. Se trata de un parámetro variable en articulaciones giratorias.

$d_i$  Es la distancia a lo largo del eje  $Z_{i-1}$  desde el origen del sistema de coordenadas  $(i-1)$ -esimo hasta la intersección del eje  $Z_{i-1}$  con el eje  $X_i$ . Se trata de un parámetro variable en articulaciones prismáticas.

$a_i$  Es a la distancia a lo largo del eje  $X_i$  que va desde la intersección del eje  $Z_{i-1}$  con el eje  $X_i$  hasta el origen del sistema  $i$ -esimo, en el caso de articulaciones giratorias. En el caso de articulaciones prismáticas, se calcula como la distancia mas corta entre los ejes  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ .

$\alpha_i$  Es el ángulo de separación del eje  $Z_{i-1}$  y el eje  $Z_i$ , medido en un plano perpendicular al eje  $X_i$ , utilizando la regla de la mano derecha.

Una vez obtenidos los parámetros DH, el cálculo de las relaciones entre los eslabones consecutivos del robot es inmediato, ya que vienen dadas por las matrices  $A_i$ , que se calcula según la expresión general. Las relaciones entre eslabones no consecutivos vienen dadas por las matrices  $T_{ij}$  que se obtienen como producto de un conjunto de matrices  $A_i$ .

Obtenida la matriz  $T$ , esta expresara la orientación (submatriz  $(3 \times 3)$  de rotación) y posición (submatriz  $(3 \times 1)$  de traslación) del extremo del robot en función de sus coordenadas articulares, con lo que quedara resuelto el problema cinematico directo.

Parámetros DH para el robot.

Articulación	$\theta$	d	a	$\alpha$
1	$q_1$	$l_1$	0	0
2	$90^\circ$	$d_2$	0	$90^\circ$
3	0	$D_3$	0	0
4	$q_4$	$l_4$	0	0

Tabla 1.4 Parámetros DH para el robot

### 1.13 Resolución del problema cinemático directo mediante uso de cuaternios

Puesto que las matrices de transformación homogénea y los cuaternios son los métodos alternativos para representar transformaciones de rotación y desplazamiento, será posible utilizar estos últimos de manera equivalente a las matrices para la resolución del problema cinemático directo de un robot. Para aclarar el uso de los cuaternios con ese fin, se van a utilizar a continuación para resolver el problema cinemático directo de un robot tipo SCARA cuya estructura se representa en la figura.

El procedimiento a seguir será el de obtener la expresión que permite conocer las coordenadas de posición y orientación del sistema de referencia asociado al extremo del robot (S4) con respecto al sistema de referencia asociado a la base (S0). Esta relación será función de las magnitudes  $l_1, l_2, y l_3$ , de los elementos del robot así como de las coordenadas articulares  $q_1, q_2, q_3$  y  $q_4$ .

Para obtener la relación entre (S0) y (S4) se ira convirtiendo sucesivamente (S0) en (S1), (S2), (S3) y (S4) según la siguiente serie de transformaciones:

Desplazamiento de (S0) una distancia  $l_1$  a lo largo del eje  $Z_0$  y giro un ángulo  $q_1$  alrededor del eje  $Z_0$ , llegándose a (S1).

Desplazamiento de (S1) una distancia  $l_2$  a lo largo del eje  $X_1$  y giro un ángulo  $q_2$  alrededor del nuevo eje  $Z$ , para llegar al sistema (S2).

Desplazamiento a lo largo del eje  $X_2$  una distancia  $l_3$  para llegar al sistema (S3).

Desplazamiento de (S3) una distancia  $q_3$  a lo largo del eje  $Z_3$  y un giro en torno a  $Z_4$  de un ángulo  $q_4$ , llegándose finalmente a (S4).

De manera abreviada las sucesivas transformaciones quedan representadas por:

$$\begin{array}{l}
 S_0 \quad \longrightarrow \quad S_1: \quad T( \quad z, l_1 \quad ) \quad \text{Rot}( \quad z, q_1 \quad ) \\
 S_1 \quad \longrightarrow \quad S_2: \quad T( \quad x, l_2 \quad ) \quad \text{Rot}( \quad z, q_2 \quad ) \\
 S_2 \quad \longrightarrow \quad S_3: \quad T( \quad x, l_3 \quad ) \quad \text{Rot}( \quad z, 0 \quad ) \\
 S_3 \quad \longrightarrow \quad S_4: \quad T( z, -q_3 ) \quad \text{Rot}( z, q_4 )
 \end{array}$$

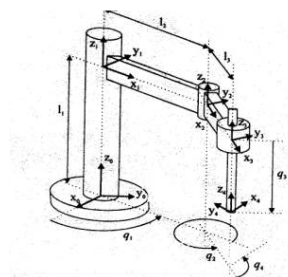


Figura 1.21 Asignación de sistemas de referencia en un robot scara

Donde los desplazamientos quedan definidos por los vectores:

$$p1=(0,0,1), p2=(l2,0,0), p3=(l3,0,0), p4=(0,0,-q3)$$

Y los giros de los cuaternios:

$$\begin{aligned} Q1 &= (\hat{C}1, 0, 0, \hat{S}1) \\ Q2 &= (\hat{C}2, 0, 0, \hat{S}2) \\ Q3 &= (1, 0, 0, 0) \\ Q4 &= (\hat{C}4, 0, 0, \hat{S}4) \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \hat{C}1 &= \cos(q1/2) \\ \hat{S}1 &= \text{sen}(q1/2) \end{aligned}$$

Lo que indica que el extremo del robot referido al sistema de su base (S0), esta posicionado en:

$$\begin{aligned} x=a0x &= l3\cos(q1+q2)+l2\cosq1 \\ y=a0y &= l3\text{sen}(q1+q2)+l2\text{sen}q1 \\ z=a0z &= l-q3 \end{aligned}$$

Y esta girando respecto al sistema de la base con un ángulo  $q1 + q2 + q4$  según a la rotación entorno al eje z:

$$\text{Rot}(z, q1+q2+q4)$$

Las expresiones anteriores permiten conocer la localización del extremo del robot referidas al sistema de la base en función de las coordenadas articulares ( $q1, q2, q3, q4$ ), correspondiendo por tanto a la solución del problema cinemático directo.

#### 1.14 Resolución del problema cinemático inverso por métodos geométricos

Como se ha indicado, este procedimiento es adecuado para robots de pocos grados de libertad o para el caso de que se consideren solo los primeros grados de libertad, dedicados a posicionar el extremo. El procedimiento en si se basa en encontrar suficiente número de relaciones geométricas en las que intervendrán las coordenadas del extremo del robot, sus coordenadas articulares y las dimensiones físicas de sus elementos. Para mostrar el procedimiento a seguir se va a aplicar el método a la resolución del problema cinemático inverso de un robot con 3 grados de libertad de rotación (estructura típica articular). El dato de partida son las coordenadas ( $Px, Py, Pz$ ) referidas a (S0) en las que se requiere posicionar su extremo. Como se ve este robot posee una estructura planar, quedando este plano definido

por el ángulo de la primera variable articular  $q_1$ . El valor de  $q_1$  se obtiene inmediatamente como:

$$q_1 = \arctg ( P_y / P_x )$$

Considerando ahora únicamente los dos elementos 2 y 3 que están situados en un plano y utilizando el teorema del coseno, se tendrá:

$$r^2 = ( P_x )^2 + ( P_y )^2$$

$$r^2 + ( P_x )^2 = ( l_2 )^2 + ( l_3 )^2 + 2( l_2 )( l_3 )\cos q_3$$

$$\cos q_3 = ( P_x )^2 + ( P_y )^2 + ( P_z )^2 - ( l_2 )^2 - ( l_3 )^2 / 2( l_2 )( l_3 )$$

Esta expresión permita obtener  $q_1$  en función del vector de posición del extremo P. No obstante, por motivos de ventajas computacionales, es más conveniente utilizar la expresión del arco tangente en lugar del arco seno. Puesto que:

$$\text{sen } q_3 = \pm ( 1 - \cos^2 q_3 )^{1/2}$$

Se tendrá que:

$$q_3 = \arctg ( \pm ( 1 - \cos^2 q_3 )^{1/2} / \cos q_3 )$$

$$\cos q_3 = ( P_x )^2 + ( P_y )^2 + ( P_z )^2 - ( l_2 )^2 - ( l_3 )^2 / 2( l_2 )( l_3 )$$

Como se ve, existen dos posibles soluciones para  $q_3$  según se tome el signo positivo o negativo de la raíz. Estas corresponden a las configuraciones de codo arriba y codo abajo del robot.

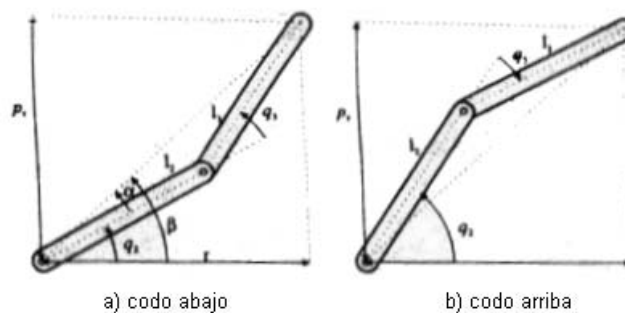


Figura 1.22 Elementos contenidos en un plano de un robot

El cálculo de  $q_2$  se hace a partir de la diferencia entre  $\beta$  y  $\alpha$  :

$$q_2 = \beta - \alpha$$

Siendo:

$$\beta = \arctg ( P_z / r ) = \arctg ( P_z / \pm ( ( p_x )^2 + ( p_y )^2 )^{1/2} )$$

$$\alpha = \arctg ( l_3 \operatorname{sen} q_3 / l_2 + l_3 \operatorname{cos} q_3 )$$

Luego finalmente:

$$q_2 = \arctg ( P_z / \pm ( ( p_x )^2 + ( p_y )^2 )^{1/2} ) - \arctg ( l_3 \operatorname{sen} q_3 / l_2 + l_3 \operatorname{cos} q_3 )$$

De nuevo los dos posibles valores según la elección del signo dan lugar a dos valores diferentes de  $q_2$  correspondientes a las configuraciones codo arriba y abajo.

### 1.15 Tipos de motores

Generar el movimiento

Tipos:

- Neumáticos
- Hidráulicos
- Eléctricos (motores DC, AC, y paso a paso)

	NEUMATICO	HIDRAULICO	ELECTRICO	
ENERGIA	Aire a presión	Aceite mineral	Corriente eléctrica	ENERGIA
OPCIONES	Cilindros Motor de paletas	Cilindros Motor de paletas	Corriente eléctrica Corriente continua Corriente alterna Motor	OPCIONES

	Motor de pistón	Motor de pistones	paso a paso	
VENTAJAS	Baratos Rápidos Sencillos Robustos	Rápidos Alta relación potencia peso Alta capacidad de carga	Precisos Fiables Fácil control Silenciosos	VENTAJAS
DESVENTAJAS	Dificultad de control continuo.	Difícil mantenimiento Accesorios Fugas caros	Potencia limitada	DESVENTAJAS

Tabla 1.5 Características de actuadores para los robots.

### 1.16 Motor de corriente directa (esquema)

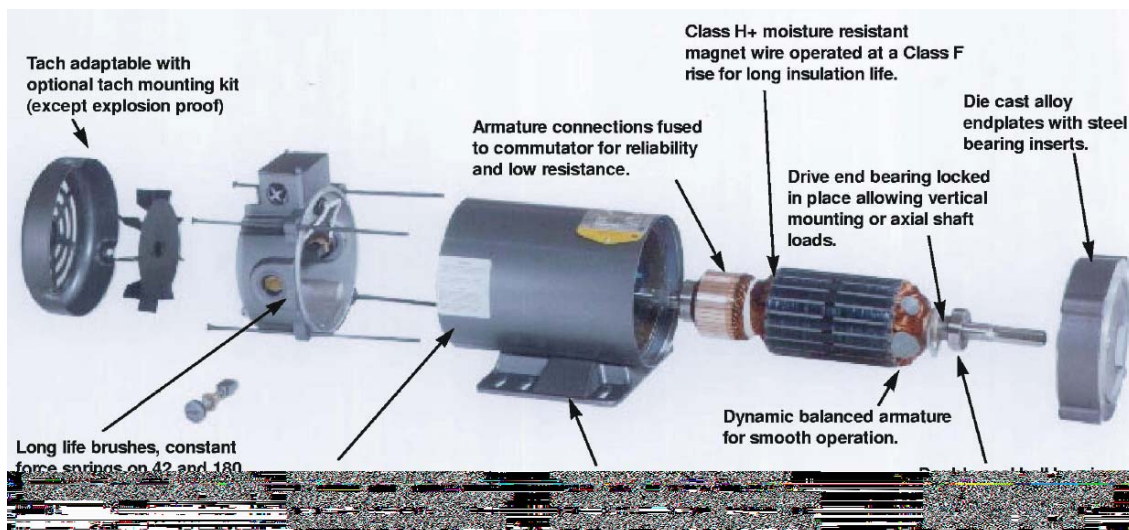


Figura 1.23 Esquema de motor de corriente directa



### 1.17 Actuadores Neumáticos

Cilindros.

- Movimiento lineal de un émbolo debido a una diferencia de presión
- Simple efecto y doble efecto.
- Posicionamiento en los extremos y dificultad de posicionamiento continuo.
- Funcionamiento simple y mantenimiento económico.
- Repetitividad inferior a otros tipos de actuadores.
- Adecuados para manipuladores de piezas pequeñas.

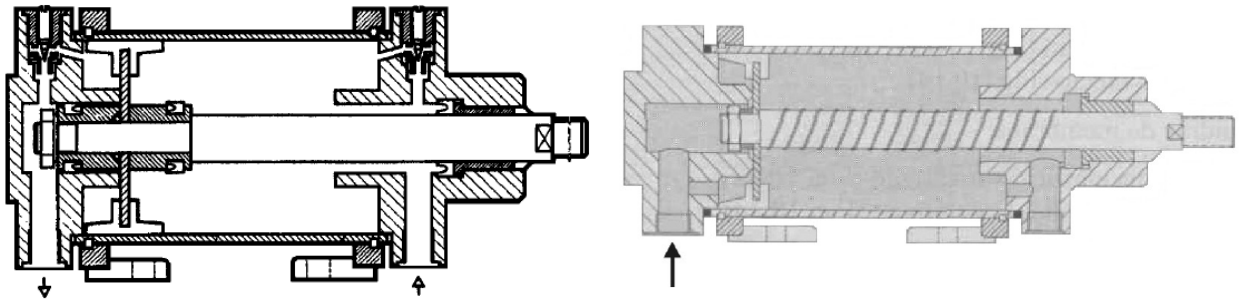


Figura 1.24 Actuadores neumáticos

### 1.18 Actuadores eléctricos

Son los más utilizados en los robos industriales actuales:

- Fáciles de controlar
- Sencillos, pero de construcción delicada
- Precisos
- Alta repetitividad
- Mas pesados que los anteriores a igual potencia

Otro elemento principal y del cual esta basado este proyecto es sobre que materiales se trabajara, en este caso hablamos de plástico de la familia del Poliestireno

## 1.19 Plásticos

¿En que pensamos cuando decimos o escuchamos la palabra plástico?

Hace cien años, al mencionar el término plástico, éste se podía entender como algo relativo a la reproducción de formas o las artes plásticas, la pintura, la escultura, el moldeado. En la actualidad, esta palabra se utiliza con mayor frecuencia y tiene un significado que implica no sólo arte, sino también tecnología y ciencia.

Plástico, es una palabra que deriva del griego "Plastikos" que significa "Capaz de ser Moldeado", sin embargo, esta definición no es suficiente para describir de forma clara a la gran variedad de materiales que así se denominan.

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico formadas por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural. Es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión.

Los plásticos son parte de la gran familia de los Polímeros.

Polímeros es una palabra de origen latín que significa:

Poli = muchas y meros = partes, de los cuales se derivan también otros productos como los adhesivos, recubrimientos y pinturas.

### 1.19.1 Maquinaria de inyección de plástico

Es un conjunto de mecanismos trabajando automáticamente, que su finalidad es de fundir polímeros creando una pasta que por medio de presión lleva a un molde, que el mismo se crea un vacío, y así mismo el polímero fundido llena el vacío y formando una figura o pieza en especifica, al terminar el inyectado la maquina separa las dos partes del molde, dejando caer la inyección en su totalidad ya fría y finalizando con el proceso de inyección y creación de piezas de plástico.



Figura 1.25 Maquina inyectora de plástico

### 1.19.2 Molde de inyección de plástico

Es una pieza rígida que conforman distintas piezas de metal, el molde cuenta con dos partes principales la cuales son móviles que el unir las dos piezas en su interior se crea un vacío, este vacío depende la figura o pieza que se quiera crear, y cuando la maquina de inyección termina su proceso separa las placas y crea una pieza de plástico, en el interior de la cada placa hay un sistema de drenado del cual corre agua con la finalidad de enfriar tanto el producto y el molde en su totalidad, constando de entradas y salidas de agua

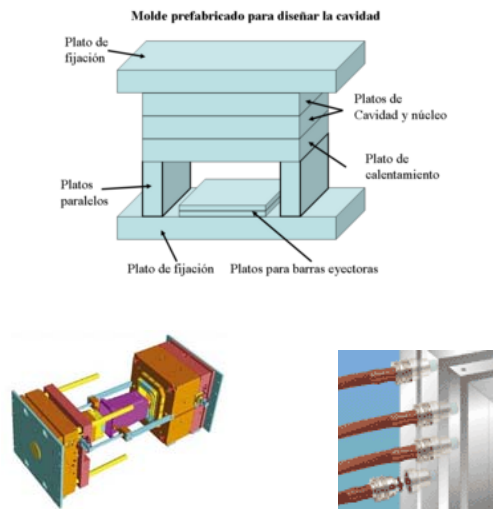


Figura 1.26 Estructura de molde de inyección y sistema de enfriamiento (drenado de agua)

## 1.20 Poliestireno

El Poliestireno es el producto resultante de la polimerización del estireno. Tiene la siguiente fórmula:

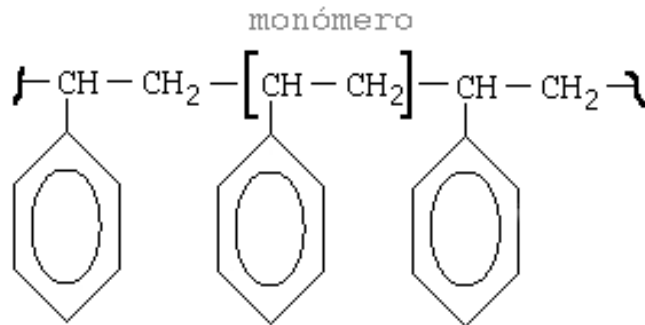


Figura 1.27 Formula del poliestireno

El poliestireno es un plástico económico y resistente. Existen diferentes tipos dependiendo de la disposición espacial de los grupos fenilo (Poliestireno atáctico y sindiotáctico). Asimismo existen otros tipos de poliestireno dependiendo de los aditivos utilizados en el proceso de fabricación y del proceso de fabricación en sí (poliestireno de impacto, poliestireno expandido). Además el poliestireno es la base de diversos copolímeros (estireno - acrilonitrilo). Probablemente sea el plástico más popular después del polietileno. Con el se fabrican cajas para computadoras, maquetas, juguetes, recipientes de uso industrial y doméstico, recubrimientos de paredes, revestimientos internos de refrigeradores y otros muchos objetos y componentes.

El poliestireno se identifica según el sistema SPI mediante los siguientes símbolos:



Figura 1.28 Poliestireno según sistema SPI

### 1.20.1 Pigmentos

Del latín pigmentum, color.

De origen orgánico (animal o vegetal) o inorgánico (minerales), el pigmento es la materia colorante que se reduce a polvo tras molerse sobre una placa rígida.

Luego esas partículas de color son mezcladas con agua, aceite de linaza u otro aglutinante, lo que permite la unión entre éstas y su fijación al soporte, formando el material con que trabajan los pintores.

El pigmento para pintura es un polvo fino que o bien refleja toda la luz para producir un efecto blanco, o bien absorbe ciertas longitudes de onda de la luz para producir un efecto coloreado. Pigmento sustancia colorante, obtenida de minerales o sustancias orgánicas que mezcladas con aglutinantes constituyen los diferentes tipos de pinturas o patinas.

Los pigmentos blancos más corrientes son óxidos inorgánicos, como el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), el óxido de antimonio ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) y el óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ). Se usan también otros compuestos inorgánicos blancos e insolubles, como el sulfuro de zinc ( $\text{ZnS}$ ), el albayalde (hidroxicarbonato, hidroxisulfato, hidroxifosfito o hidroxisilicato de plomo) y el sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ).

Los siguientes óxidos inorgánicos son pigmentos habituales para colores: el óxido de hierro (III),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (amarillo, rojo o color tierra), el óxido de cromo (III),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (verde), y el óxido de plomo (IV),  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  (rojo).

Los cromatos de plomo, zinc, estroncio y níquel producen distintas gamas de amarillo y anaranjado. Se utiliza un conjunto de sólidos orgánicos para obtener otros colores.



Figura 1.29 Pigmento (colorizante)

# CAPITULO II

## 2.1 Descripción de la empresa

Este proyecto se implementara en un pequeña empresa dedicad a la inyección de plástico, enfocada a artículos didácticos, como el tangram, pantógrafo, geoplano, espirografo y ficha.



Figura 2.1 Artículos didácticos producidos en plástico

Esta empresa esta en función desde hace 9 años, su ubicación se encuentra en Tècamac Estado de México, y trabaja con el nombre de KID PLAS®.

El terreno de la empresa abarca  $600\text{m}^2$  y  $831\text{m}^2$  de construcción. Cuenta con un personal de cinco, de las cuales se encuentran ubicadas en cada maquina de inyección y en distintos sectores de departamentos.

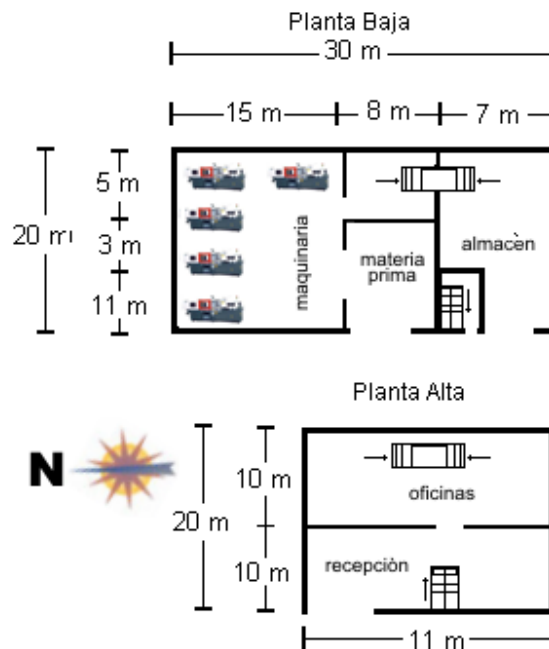


Figura 2.2 Planos de distribución de la empresa

Los productos que se fabrican son enfocados para el consumo de niños que estudian desde kínder hasta secundaria, si hacer excepción a gente mayor.

### 2.1.1 Distribución de la empresa

Los departamentos que conforman la empresa constan del área de materia prima, maquinaria, almacén que estos mencionados se encuentran en la planta baja. Las oficinas y recepción se encuentran en la planta alta.

Dentro del área de maquinaria se encuentran ubicadas las cinco inyectoras de plástico cada una cuenta con su sistema de enfriamiento, que este consiste que cada maquina tiene su sistema de fluido de agua dentro de los moldes de inyección para evitar el sobrecalentamiento de los moldes y mejorar y tener un producto con mejor calidad.

La distribución de agua en cada maquina depende de una torre de enfriamiento que su función es crear un ciclo de fluido de agua, véase Figura 2.3.

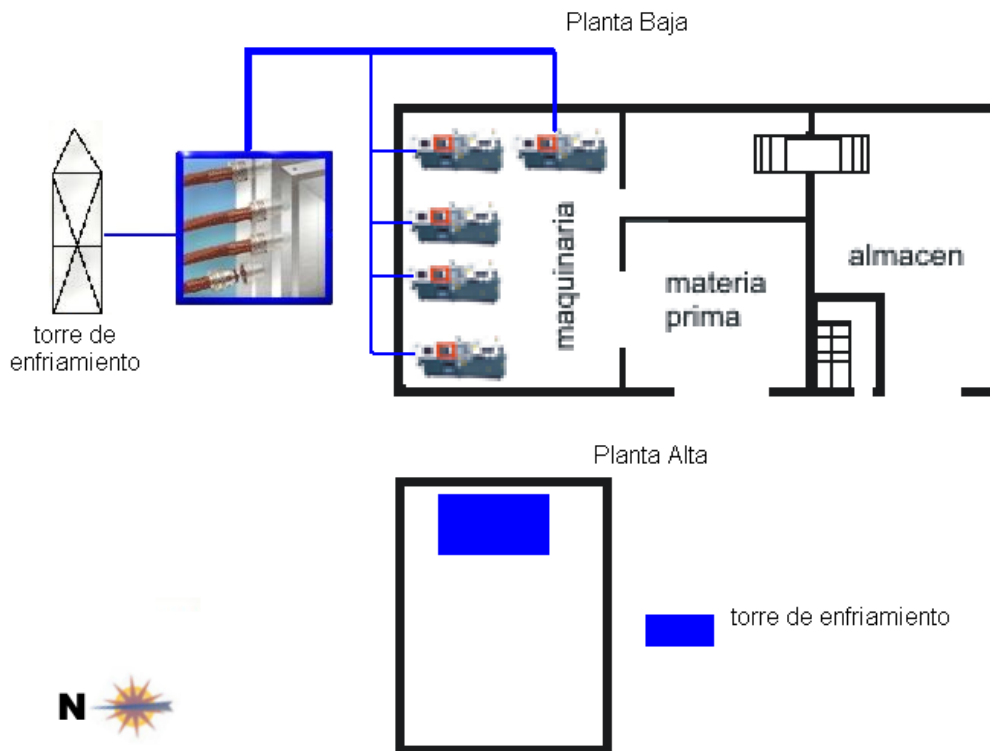


Figura 2.3 Diagrama de distribución de enfriamiento por medio de agua y ubicación de torre de enfriamiento



El departamento de materia prima tiene como objetivo la recepción de material para la producción del producto deseado. El producto que se recibe es a grandes volúmenes de polímeros con la finalidad de reciclar.

Su función principal, es seleccionar los distintos tipos de polímeros conforme a color y tipo. Teniendo ya separado cada polímero se lleva a un molino el cual se encarga de triturar y pulverizar los polímeros creándolos en finas partículas. Teniendo triturado la materia prima se mezcla con los pigmentos requeridos para crear un color en específico, este color es del que tendrá cada producto terminado.

La coloración de las partes a moldear es un paso crítico, puesto que la belleza de la parte, la identificación y las funciones ópticas dependen de este proceso. Básicamente existen tres formas de colorear una parte en los procesos de inyección:

1. Utilizar plástico del color que se necesita (pre coloreados).
2. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con pigmento en polvo o colorante líquido.
3. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con concentrado de color.

Después se tiene que llevar las finas partículas de poliestireno al área de maquinaria y alimentar las tolvas del las maquinas inyectoras para poder hacer la inyección del plástico.

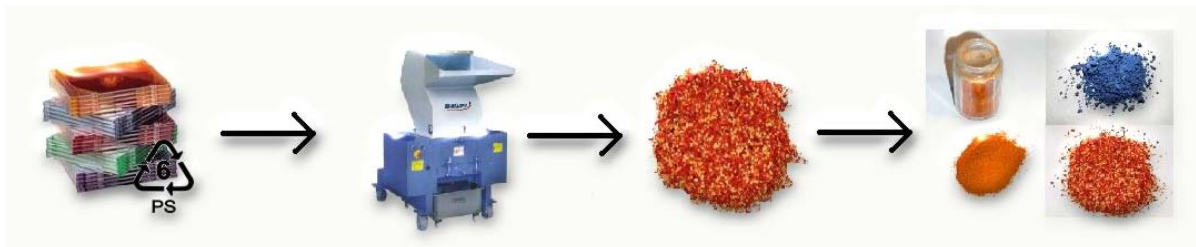


Figura 2.4 Proceso de molido y pigmentado de la materia prima

En departamento de almacén, se realizan inventarios de a todos los productos finales, y cuando sea necesario surtir a distribuidores o compradores directos con los que cuenta la empresa.

Por ultimo tenemos el área de oficinas y recepción, en ambos se planifican movimientos de la empresa tanto costos de producción, costos de distribución y otros gastos mas que se efectúen, así como la recepción e información a clientes.

## 2.2 Descripción de procesos de inyección

El proceso de fabricación de cada producto, empieza desde el departamento de materia prima donde como hemos mencionado, la materia prima llega, se separa y se pulveriza, se da color a la materia prima y teniendo esto lo llevamos al área de maquinaria, donde empieza el proceso de inyección.

La inyección depende de cada artículo a fabricar, lo que se toma en cuenta es que cada producto es diferente en su tiempo de inyección y peso de fabricación.

Para inyectar un polímero, específicamente un termoplástico, es necesario conocer su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y su temperatura de fusión de la región cristalina ( $T_m$ ), si es un polímero semicristalino.

La temperatura de operación de cada termoplástico no es estándar, y varía según el proveedor. Es por tanto necesario solicitarle una hoja de especificaciones donde se encuentre tanto el índice de fluidez como la temperatura de trabajo, que además es un rango de temperaturas, y la temperatura de degradación, con lo cual se obtiene un intervalo dentro del cual se puede trabajar el material eficientemente.

Las temperaturas con las que se trabajan son de  $80^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  esto dependiendo que producto se desee fabricar.

Teniendo en cuenta lo anterior, la materia prima se lleva al departamento de maquinaria donde cada maquina cuenta con una tolva, y esta misma es alimentada de materia prima.

El polímero avanza desde la entrada o tolva, va reduciendo el tamaño de sus gránulos por medios tanto mecánicos (fricción, compresión y arrastres) como térmicos (aumento en su temperatura interna), llegando al estado gomoso o fusión, dependiendo de si el material es amorfo o semicristalino.

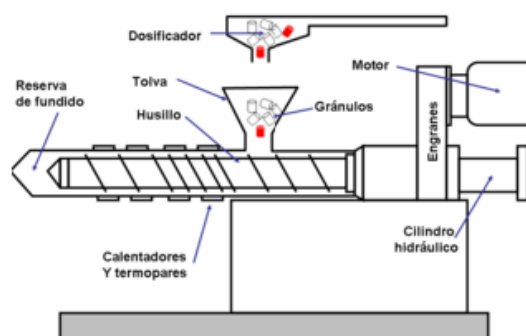


Figura 2.5 Diseño genérico de la unidad de inyección

Conforme este material avanza, el aire presente experimenta un aumento de presión y generalmente escapa en dirección opuesta al avance del polímero. Si esto no ocurre, entonces es necesario abrir una compuerta de ventilación, igualándose de esta manera la presión generada a la presión atmosférica. Debido a las propiedades de viscosidad y de arrastre del polímero, sólo escapa mediante la ventilación una parte mínima de plástico.

El polímero entra en el molde y se va acumulando desde el punto de entrada, arrastrándose por las paredes y empujando el polímero en el centro. Cuando este toca las paredes del molde, comienza a enfriarse y solidificarse.

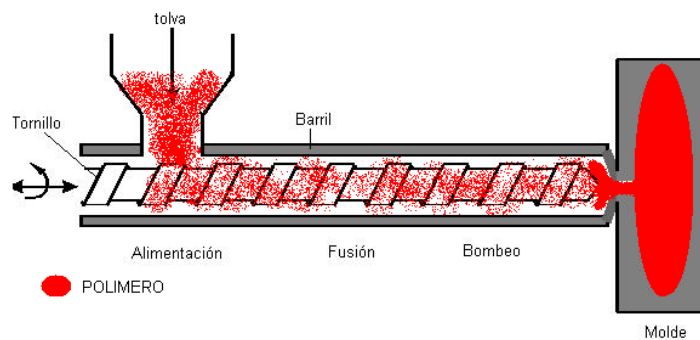


Figura 2.6 Proceso de inyección del polímero

Al terminado de la inyección la maquina abre los moldes y por medio de postes expulsan la pieza ya con la forma deseada. Teniendo la pieza empieza el proceso de empaquetado.

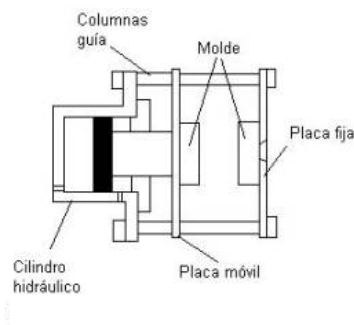


Figura 2.7 Sistema de cierre y apertura de molde de inyección de plástico

El proceso de empaquetado depende de que artículo se trabaje, recordando de que fabrica tangram, pantógrafo, geoplano, espirografo y ficha.

### 2.3 Descripción de procesos de inyección de fichas de plástico

El proceso de inyección es tener la maquinaria de inyección a una temperatura de 80°C, esto para llevar a que las moléculas del poliestireno se fundan y cree una pasta homogénea y por medio de presión inyecte en el molde, el tiempo de inyección es de 15 segundos.

El primer paso es tener materia prima en pequeñas partículas y en color negro o blanco. Teniendo esto, se lleva al área de maquinaria donde se alimenta la tolva de las maquina, recordando que trabajan dos maquinas inyectoras de plástico al mismo tiempo, una inyectando ficha de color negra y otra ficha de color blanca.

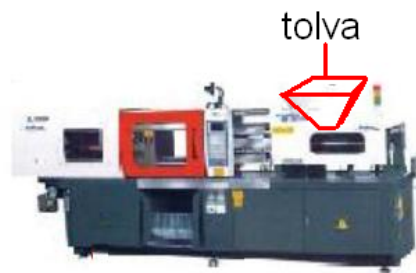


Figura 2.8 Sistema Maquina de inyección de plástico

Después que las maquinas realizan todo su proceso del inyectado del poliestireno que dura 15 segundos, el molde abre y se expulsa el producto. Haciendo mención que cada inyección la conforman 10 piezas de fichas de un mismo color.

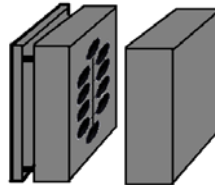


Figura 2.9 Molde de inyección de plástico de ficha didáctica



Figura 2.10 Ficha de plástico en color blanco y negro

Al momento de que el producto terminado pasa a una depuradora que es el primer proceso que interviene el cual su función es que cuando abre el molde de la maquina inyectora esta cae en una banda mecánica y pasa a la depuradora la cual, por medio de movimientos oscilatorios acomoda la pieza y teniéndola en una posición correcta desprende las fichas de la colada de plástico. Ya teniendo desprendida las fichas siguen su curso sobre otra banda la cual la lleva al segundo proceso el cual es el impregnado del imán flexible.

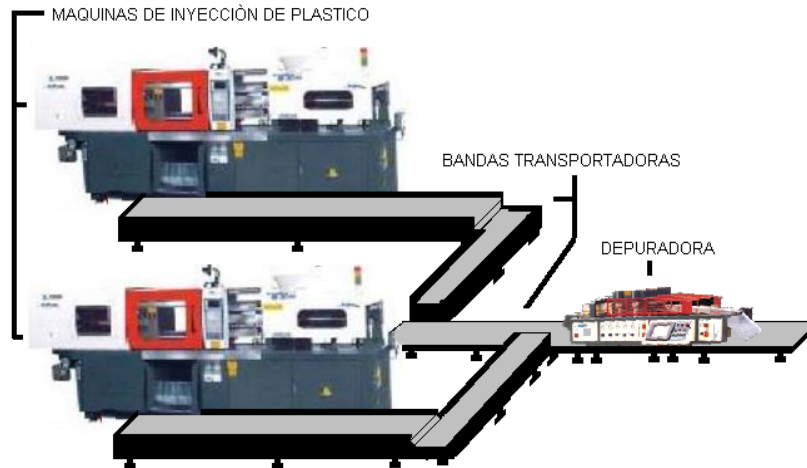


Figura 2.11 Proceso de inyectado y separación de fichas

El segundo proceso es, llevándola ficha separada por medio de una banda mecánica mas pequeña pasa a una incrustadora de imán flexible que tiene como objetivo incrustar un imán en el centro de la ficha y terminando su objetivo deja seguir su camino en la banda mecánica.

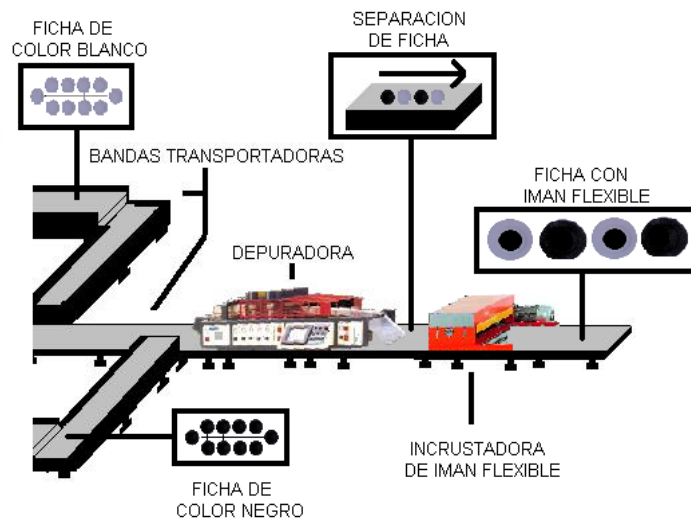


Figura 2.12 Proceso de incrustado de imán flexible

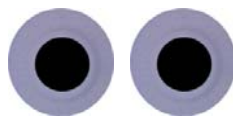


Figura 2.13 Ficha de plástico con imán flexible incrustado en el centro

Teniendo ya las fichas con el imán flexible incrustado siendo fichas negras o fichas blancas, siguiendo su camino en la banda mecánica ahora es donde interviene el brazo mecánico tipo scara donde su objetivo es separar por color y depositar en estantes todo lo acumulado de fichas dependiendo el color y con esto cumpliendo su objetivo.

La función del brazo es seleccionar y tomar cada pieza, aprovechando que cada ficha contiene en su centro un imán flexible. Como elemento terminal del brazo tenemos un electro-imán que por el campo que genera hace que se adhiera la ficha y se pueda desplazar dependiendo su color al estante adecuado.

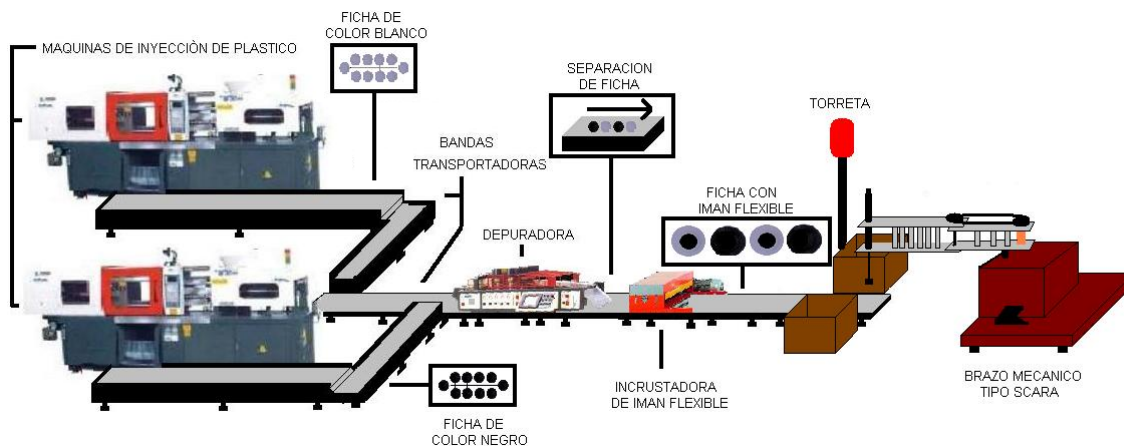


Figura 2.14 Proceso completo de fabricación, inyectado y embolsado de ficha de plástico

Por ahora la señal que indicará que ya hay 100 fichas, consiste en una torreta que se enciende cuando el peso llega al nivel estándar, avisando al personal que se debe retirar el contenedor. Con esto tenemos un gran avance para el embolsado de fichas de plástico, llevando con anterioridad todo un proceso de fabricación que consta desde la obtención de materia prima y su transformación hasta tener el producto terminado, teniendo en cuenta que el brazo se diseña bajo las necesidades de la maquinaria con las que cuenta esta pequeña empresa.

La producción de ficha de plástico con imán en su centro se distribuye a distintas empresas dedicadas a la venta de juegos de entretenimiento a niños, su uso es de distintas formas, puede ser ocupado en juegos de damas chinas con su tablero de metal o también a profesores que el imán es de gran ayuda para poder adherir al pizarrón y facilitar la enseñanza a niños que cursan el kínder y secundaria, y también de uso libre aprovechando sus características de cada ficha menciona.

# CAPITULO III

### 3.1 Modelo Cinematico

Este comprende la parte principal de la robótica, ya que aquí se establecen los parámetros que se deben seguir para la construcción y realización de un programa, el cual se basa en los resultados obtenidos, a partir de los métodos, antes mencionados.

Para realizar el modelado del brazo se establece un sistema de referencia, en el cual se comienza numerando la primera articulación que corresponde al primer grado de libertad, como podemos ver en la figura 3.1; después se identifica si la articulación es rotativa ó prismática, para así poder colocar nuestro primer eje **Z** y partir de ahí para colocar a los demás ejes restantes siguiendo el algoritmo de Denavit – Hartenberg.

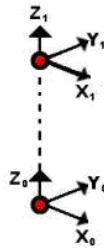


Figura 3.1 Colocación de los puntos de referencia para la primer articulación.

Como nuestra primera articulación es rotacional, colocamos el eje **Z** sobre su propio eje de giro siguiendo su dirección del mismo; después el eje **X**, el cual estará a  $90^\circ$  del eje **Z** y por ultimo el eje **Y**, de tal manera, que nos forme un sistema dextrógiro como se ve en la figura 3.1.

Depuse pasamos a la siguiente articulación, en la cual queda de la misma forma que la anterior debido a que se trata de una articulación rotativa y tomamos como referencia el punto anterior que tenemos en el esquema, como se puede ver en la figura 3.2

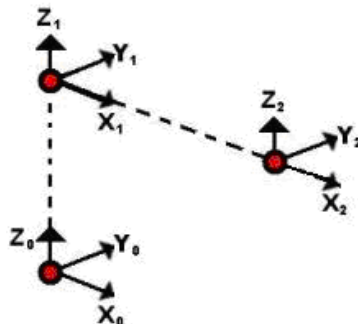


Figura 3.2 Colocación de los puntos de referencia para la segunda articulación.



Por ultimo tenemos una articulación prismática, en la cual realiza un movimiento lineal, por consiguiente se coloca al eje  $Z$  en dirección y a lo largo del cual se produce el desplazamiento, de igual forma colocamos nuestro eje  $X$  a  $90^\circ$ , del eje  $Z$ , por ultimo a completamos el sistema colocando el eje  $Y$ , de a cuerdo al sistema dextrógiro, como se puede ver en la figura 3.3.

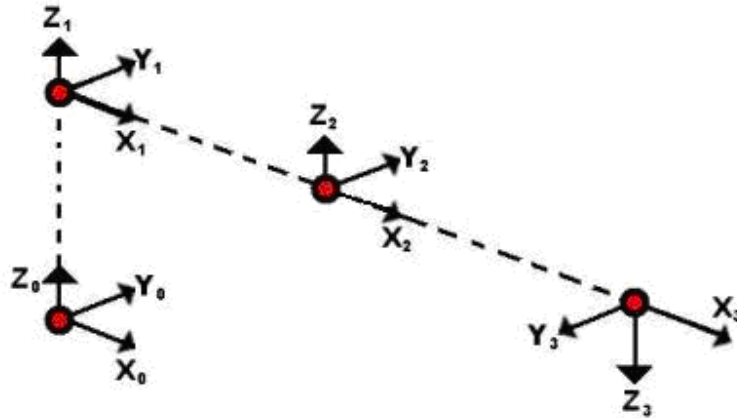


Figura 3.3 Modelo matemático del brazo manipulador.

### 3.2 Cinemática directa del brazo manipulador scara

Se ha visto en capítulos anteriores, que esta se encarga de obtener el punto en el que se encuentra dentro del espacio de trabajo del manipulador, en un estado en reposo, es decir, colocamos el manipulador físicamente en una posición desconocida, para después medir los ángulos que este forma en sus articulaciones, y así poder utilizar un método, el cual nos de el punto en el  $P$  en sus coordenadas  $X, Y, Z$ ; es decir, en este tema nosotros conocemos los ángulos del robot y obtendremos el punto en el cual se encuentra.

Teniendo los parámetros a seguir, se crean dos eslabones de 250mm, para formar un brazo de 500mm de largo, con un altura de 222 mm; así como también e el modelo matemático, aplicaremos un método para encontrara la cinemática directa del robot, para establecer un punto inicial en el espacio de trabajo, que este puede cumplir y alcanzar; el método a utilizar, será por medio de la matriz de transformación, teniendo los siguientes valores a partir del Algoritmo de Denavit-Hartenberg y obteniendo los parámetros DH.

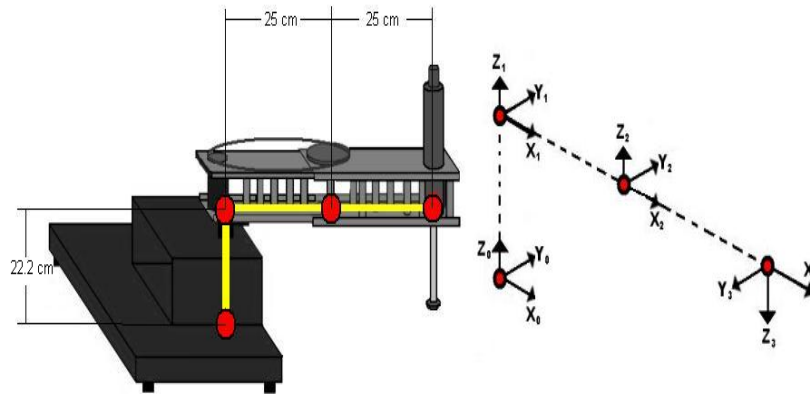


Figura 3.4 Colocación de los ejes, basados en el Algoritmo de Denavit- Hartenberg

Parámetros DH para el robot.				
Articulación	$\theta$	d	A	$\alpha$
1	$(\theta)_1$	$d_1 = 222$	$a_1 = 250 \text{ mm}$	0
2	$(\theta)_2$	0	$a_2 = 250 \text{ mm}$	0
3	0	$(d_3)$	0	180

Teniendo los parámetros anteriores Una, tomamos cada una de las articulaciones y sustituimos los valores en la matriz de enlace ( i-1), la cual es la siguiente:

$$= \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para después tener tres matrices al final, una de cada articulación, y después multiplicarlas entres si como lo indica la formula.

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

Una vez sustituido los valores de las articulaciones en la matriz enlace ( i-1) nos quedan de la siguiente forma nuestras 3 matrices, las cuales representan a nuestro sistema:

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & a_1 \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & a_1 \sin(\theta_1) \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & a_2 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & a_2 \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Como se observa en las matrices anteriores, los parámetros que se encuentran en paréntesis, son aquellos que van variar de acuerdo a la posición del brazo manipulador.

Aplicaremos un ejemplo para nuestro manipulador teniendo los ángulos del robot en 0 grados en una posición lineal y una  $d_3$  60mm, sustituyendo los valores, se obtiene la siguiente matriz de resultados:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 500 \rightarrow x \\ 0 & -1 & 0 & 0 \rightarrow y \\ 0 & 0 & -1 & 162 \rightarrow z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

De esta matriz tomamos en cuenta la última columna, la cual indica, la posición del manipulador de acuerdo a nuestro sistema de ejes dibujados arriba.

Esta columna nos dice que tenemos un desplazamiento en dirección  $X = 500\text{mm}$ , una  $Y = 0$  y una en  $Z = 162\text{mm}$ , teniendo así el punto en el cual se encuentra nuestro elemento Terminal ubicado en el espacio, listo para llevarlo a otro punto en el espacio de trabajo.

### 3.3 Cinemática inversa del brazo manipulador scara

Como se ha visto en capítulos anteriores, la cinemática inversa, es la que se encarga de dar a conocer los ángulos, los cuales tiene que adoptar nuestro manipulador para llegar a un punto conocido, apoyándose de la cinemática directa.

Es decir, en la cinemática directa posicionamos nuestro brazo en un punto **P**, el cual en un principio es desconocido, para después conocer los ángulos que forman sus articulaciones, y en la cinemática inversa, a partir de un punto que nos dan nosotros debemos de encontrar los ángulos que el brazo debe tomar para llegar a ese punto aplicando un método, y teniendo en cuenta que la cinemática inversa, debido a su complejidad, a veces no puede tener soluciones, esto es a una serie de factores que a veces llega a afectar el sistema o simplemente no hay solución.

El método a utilizar para encontrar la cinemática directa será por medio de métodos geométricos, mencionado en la unidad uno, tomando en cuenta el plano de trabajo que se observa en la figura 3.5, este plano comprende los ejes **X, Y**; esto es debido a que si nosotros observamos el brazo manipulador desde la posición de arriba solo observaremos ese plano y a partir de ahí obtendremos los movimientos de los ángulos que debe adoptar el brazo manipulador.

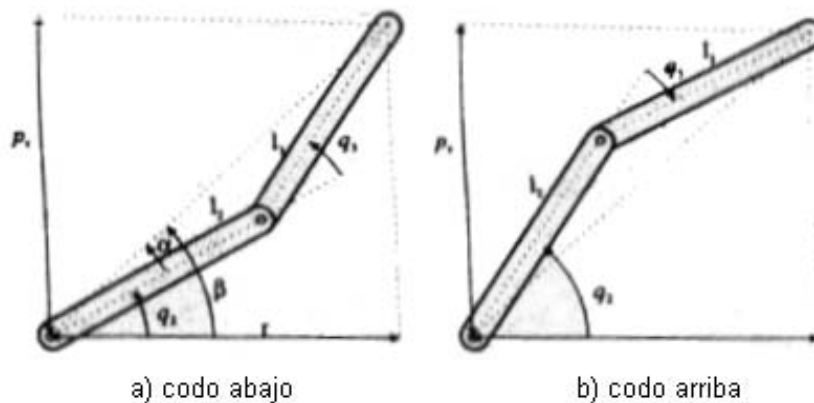


Figura 3.5 Plano de trabajo del brazo manipulador, visto desde la parte superior del mismo.

A partir de este plano, obtenemos por medio de métodos trigonométricos  $\theta_1$  y  $\theta_2$ , las cuales ya han sido obtenidas y se muestran a continuación:

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left( \frac{P_x^2 + P_y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} \right) \qquad \theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{P_y}{P_x} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{l_2 \sin \theta_1}{l_1 + l_2 \cos \theta_1} \right)$$

DONDE:

$(\theta)_1$  = Angulo que debe de tomar la primer articulaci3n.

$(\theta)_2$  = Angulo que debe de tomar la segunda articulaci3n.

$P_x$  = punto conocido en X a donde se desea llevar

$P_y$  = punto conocido en Y a donde se desea llevar

$l_1$  = distancia en mil3metros o cent3metros seg3n se considere del primer eslab3n.

$l_2$  = distancia en mil3metros o cent3metros seg3n se considere del segundo eslab3n.

Se debe reposicionar el brazo manipulador en una esquina del plano de trabajo, en nuestro caso es una superficie cuadrada de dimensiones 400mm X 400mm, para despu3s obtener el punto en el cual lo tendremos en un inicio y a partir de este llevarlo a otro punto que se encuentre en nuestro plano de trabajo el cual tendremos que conocer, y as3 poder obtener los 3ngulos que deber3 adoptar el brazo manipulador.

# CAPITULO IV

#### 4.1 Construcción de Brazo Mecánico tipo Scara

Para la construcción del brazo mecánico tipo scara, se selecciono una gran gama de materiales acorde a su función y su durabilidad. Tomando en cuenta su diseño físico y funciones de operación.

Hemos dividido la construcción en dos etapas:

La primera etapa abarca todo lo relacionado a la estructura física del brazo, todo lo mecánico, tomando en cuenta materiales, dimensiones y diseño.

La segunda etapa lo conforman todo lo relacionado a la electrónica, el diseño de la etapa de potencia y circuitos eléctricos.

#### 4.2 Construcción de parte física y mecánica de Brazo Mecánico tipo Scara

Para la construcción de la parte física y mecánica del brazo mecánico tipo scara, hemos seleccionado material acorde a su función, de las cuales nos brinden durabilidad, una gran estabilidad y resistencia. A continuación se muestra la lista de materiales utilizados, véase tabla 4.1.

Lista de materiales de la parte mecánica	
Lamina galvanizada	Se selecciono este tipo de material para el diseño de la base, ya que por sus propiedades es fácil de moldear, y a su vez resistente y rígida con un peso suficiente para poder equilibrar todo el peso de los eslabones y a su vez la dinámica de trabajo del brazo.
Aluminio redondo de 1/4"	El aluminio por sus condiciones es un metal ligero, cuya densidad o peso específico es de $2700 \text{ kg/m}^3$ (2,7 veces la densidad del agua).  Resistente a la corrosión, material fácil y barato de reciclar.
Aluminio en placa 4" x 1/8"	Entre las características físicas del aluminio se tienen que es fácil su mecanizado, muy maleable, material blando

Redondo de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ metal con tratamiento térmico (templado)	Este materia se ocupo para crear una flecha y se elige el material con tratamiento térmico con la finalidad de tener una pieza rígida y duradera para su uso mecánico
2 motores de DC 12 v	Dos motores con trenes de engrane para tener mayor torque
Pistón neumático 2atm de presión	Como elemento final del brazo mecánico se elije un pisto, que su finalidad es recoger piezas ejerciendo un movimiento vertical
Electro imán 127 v	En el vástago del pisto que es elemento final se adapta un electro imán que se energiza y genera un campo magnético para poder recoger piezas de metal, en esta caso fichas de plástico con centro de metal
Cadena dentada	Usada para el diseño mecánico, creando una transmisión piñón cadena, ensamblada en el primer eslabón unida al segundo eslabón y a su vez generar movimiento
Banda dentada	Usada dentro de la base del robot, adaptada a un motor y generar movimiento por medio de una flecha y darle movimiento al primer eslabón
Engranes	Engañes para mecanismo cadena-piñón, ubicada en la unión de eslabón uno con dos, asi como también



	mecanismo utilizado dentro de la base.
También se uso un torno, fresadora y dobladora de lamina para poder crear piezas mecánicas de exactitud necesitadas en la construcción del robot, así como también tornillos 1/8" x 1/2", remaches, entre otro tipo de herramientas mas.	

Tabla 4.1 Lista de materiales para construcción mecánica

#### 4.2.1 Elaboración de brazo mecánico tipo scara

##### *Paso 1, elaboración de base del robot scara*

Teniendo el diseño, con dimensiones y especificaciones deseadas, lo primero que se empezó a formar, es la base de lámina galvanizada, formando un cubo con dimensiones de 30 cm x 15 cm la cual la denominaremos base 1 y otra base de 40 cm x 5cm x 40 cm que se denominara base 2.

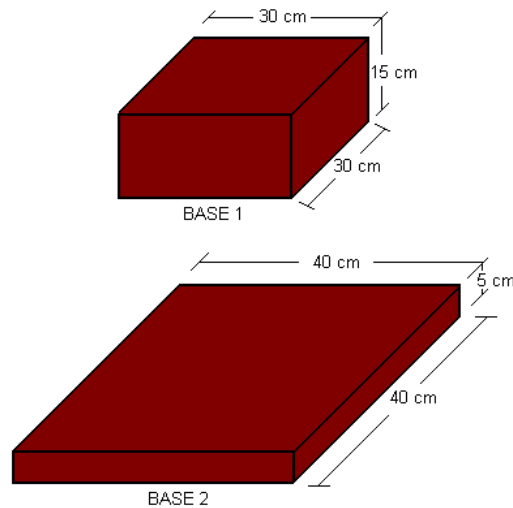


Figura 4.1 Base de brazo mecánico uno y dos

Teniendo base 1, que en su interior es hueco se monta un motor y se barrena con un diámetro de 3/4" en el centro de la parte superior de la base 1, con la finalidad de fijar una flecha, la cual esta conectada por medio de una banda, quien es la que genera el movimiento conectada a un motor antes mencionado.

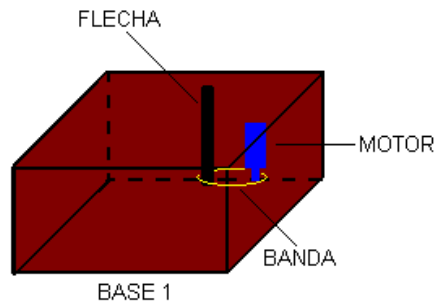


Figura 4.2 Base uno, fijación de motor con flecha mecánica

Teniendo fijado el sistema mecánico se unen las dos bases para brindarle mayor rigidez y peso, en la base de todo lo que será el brazo mecánico.

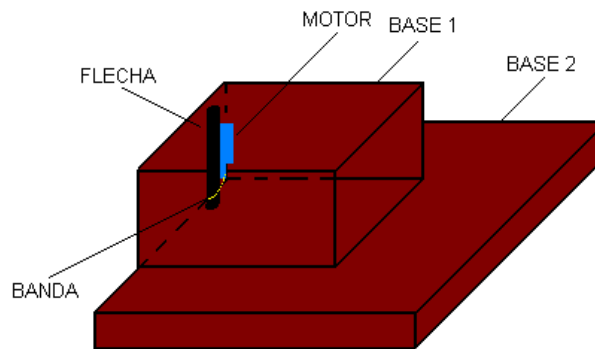


Figura 4.3 Unión de base uno con base dos

### *Paso 2, creación de eslabones para formar la estructura del brazo*

Teniendo la base, ahora toca la elaboración de los dos eslabones que unidos forman el brazo, que estos tendrán movimientos independientes.

El material usado en su totalidad de ambos brazos es de aluminio, ya que como se menciono en tabla de materiales, por su poco peso fue que se eligió.

La finalidad de elegir eslabones de poco peso, es con la finalidad de evitar la inercia al movimiento, ya que evitando la inercia al movimiento, es mas fácil el control y mas exacto sus movimientos.

La estructura de los eslabones consta de una forma tipo viga, dando dureza a la estructura y evitando el pandeo del eslabón, el tamaño del primer eslabón es de 30 cm en largo y altura de 12.5 cm, la parte superior e inferior es de palca de aluminio y quien da la altura es el redondo de aluminio.

Del aluminio redondo se crean en el torno 12 piezas de 12.5cm de alto y barrenado en ambas partes con broca de 1/8", cada uno cuenta con cuerda

interior, con la finalidad de que en la palca de aluminio se puedan unir por medio de tornillo y crear la forma de tipo viga.

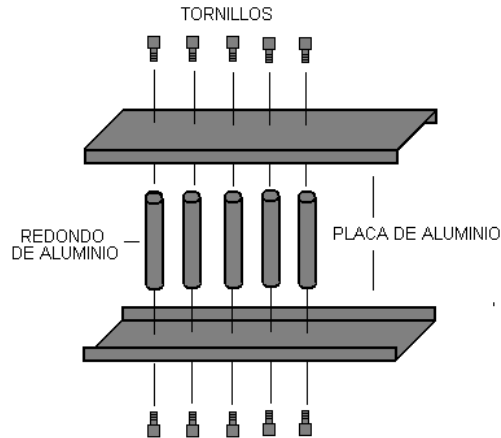


Figura 4.4 Estructura física de los eslabones

De la misma forma que se crea el primer eslabón, se elabora el segundo eslabón pero con diferencia de la altura que este es de 12.8 cm y de largo 25 cm, pero manteniendo la misma estructura y materiales.

### *Paso 3, montaje de sistema mecánico en eslabón uno*

Teniendo los dos eslabones, ahora trabajamos con el primer eslabón.

En la parte del extremo del primer eslabón se fija el segundo motor, barrenando en el centro del eslabón para poder fijar una flecha que sale del motor y así poder acoplar un engrane, que su finalidad es que por medio de un mecanismo piñón – engrane genere el movimiento al segundo eslabón.

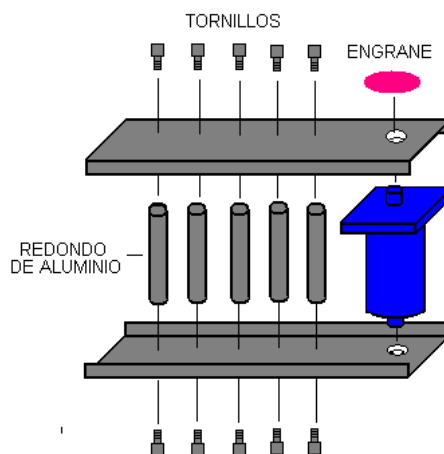


Figura 4.5 Ensamble de motor en eslabón uno

Teniendo fijo el motor dentro del primer eslabón y el engrane, del otro extremo del eslabón se barrena y fija un eje para poder unir con el segundo eslabón y permitir el movimiento del este mismo.

Recordando que de la base que se elaboro en la primer parte sale una flecha que la finalidad es ejercerle el movimiento al primer eslabón. La forma de unir el primer eslabón con la flecha que sale de la base es por medio de la base inferior del eslabón uno y una pequeña placa de la flecha se unen a presión y asegurando con tornillos de 3/8" x 3/8" cuerda fina para mayor seguridad; con esto fijamos el primer eslabón a la base. Y por ultimo se fijan cuatro bases de goma en la base dos, esto para evitar la fricción con el piso y poder brindar mejor agarre a la superficie y una mejor estabilidad.

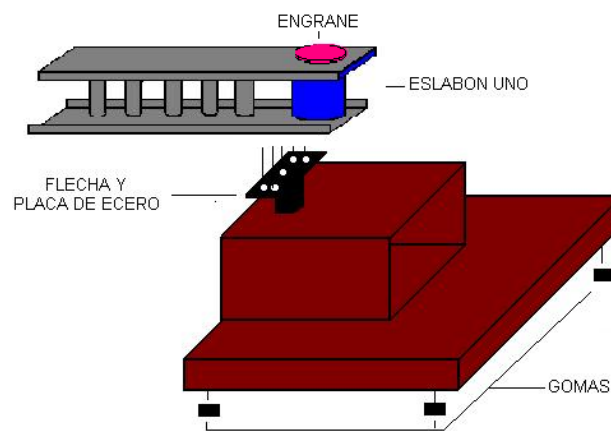


Figura 4.6 Montaje de eslabón uno con la base

#### *Paso 4, montaje de sistema mecánico en eslabón dos y unión con eslabón uno*

Retomando el segundo eslabón que ya está elaborado físicamente, en uno de sus extremos se fija un engrane con la finalidad de que el motor que se encuentra en el eslabón uno con mecanismo piñón – cadena le genere el movimiento a el eslabón dos.

En el otro extremo del segundo eslabón en la fresadora se barrena con diámetro de  $\frac{3}{4}$  "para poder fijar el pistón que su función es que por medio de presión de aire genere su movimiento vertical y desplazar su vástago para alcanzar las piezas de plástico, recordando que en el vástago se acoplo un electro imán que se activara al momento en que el vástago se mueva.

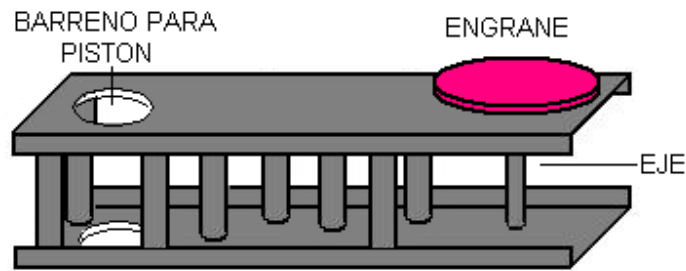


Figura 4.7 Eslabón dos, montaje de engrane

Teniendo fijo el engrane en el eslabón dos por medio de tornillos a la estructura y el pistón. Se une el eslabón dos con el uno por medio de un eje quien es quien le permite el movimiento, ya teniendo unido ambos eslabones, en los engranes que se encuentran por encima de los eslabones se fija y tensa la cadena y así generar movimiento en el eslabón dos.

Concluido estos pasos, se tiene el brazo completo, que consta de dos eslabones; para el movimiento del primer eslabón trata de un motor que se encuentra en la base de la estructura del brazo tipo scara y por medio de una flecha le da el movimiento, y el segundo eslabón, depende del movimiento del motor que se encuentra fijada en el primer eslabón, resaltando que los movimientos de ambos eslabones son independientes de uno con el otro.

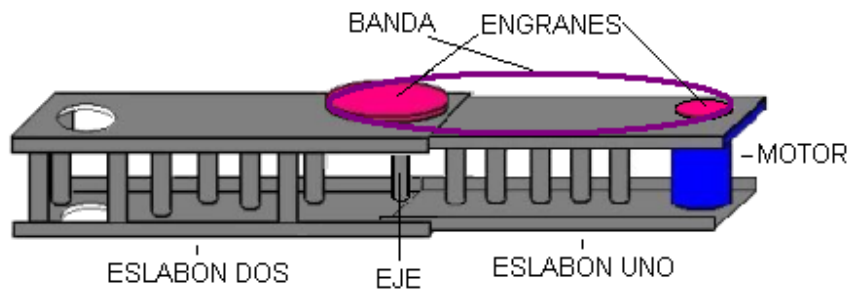


Figura 4.8 Unión de eslabón uno y eslabón dos, sistema mecánico piñón - cadena

#### *Paso 5, cableado y sistema de presión de aire, conexión del control*

Teniendo ya todas las partes unidas físicas y mecánicas, solo se conecta todo el cableado tanto de los motores, como el electro imán y para generar el movimiento del pistón se usa una electro válvula, quien es quien le da el movimiento de subir o bajar el pistón que trabaja a 127 v, todo esto se conecta a una etapa de potencia diseñada y creada específicamente a las características del brazo tipo scara, soportando 6A por seguridad, aunque el brazo por si solo llega a ocupar 2 a 3A.

El sistema de presión de aire consta de conectar las dos salidas del pistón al electro válvula y a un compresor que proporciona 2atm para el funcionamiento del pistón.

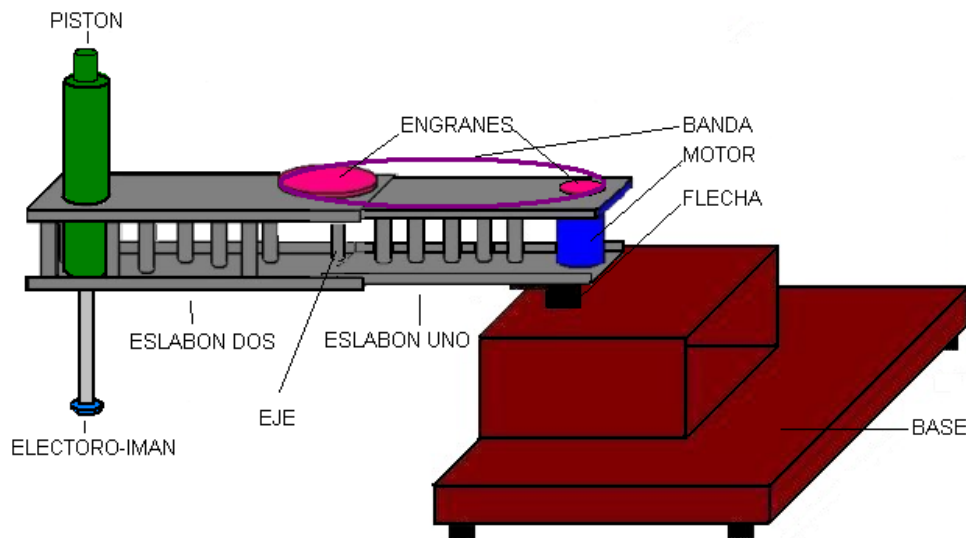


Figura 4.9 Brazo mecánico tipo scara

Con esto tenemos finalizado la primer etapa de construcción del brazo mecánico tipo scara.

### 4.3 Diseño de etapa de potencia para el robot tipo scara

El diseño de la etapa de potencia es de gran importancia para el manejo del brazo mecánico tipo scara, ya que con la etapa de potencia permite la comunicación entre el microcontrolador HC12 Motorola con el brazo mecánico tipo scara, ya que cada uno maneja diferentes voltajes, es decir que su función es de servir como interfaz de comunicación.

El microcontrolador HC12 maneja voltajes de 5v de entrada como salida, y el brazo mecánico maneja voltajes de 12 v CD.

Lista de Materiales Electrónicos
Microcontrolador hc12 Motorola
Resistencias
Leds
Capacitores
L298
Termofit
Estaño, soldadura
Conectores y señales de salida
Diodos

Tabla 4.2 Lista de materiales electrónicos

El sentido de giro de los motores de corriente continua depende de la alimentación que tengan, si es positiva giran en un sentido, y si es negativa, en el otro. La función del puente H es hacer que giren en ambos sentidos sin necesidad de tener un voltaje negativo de alimentación.

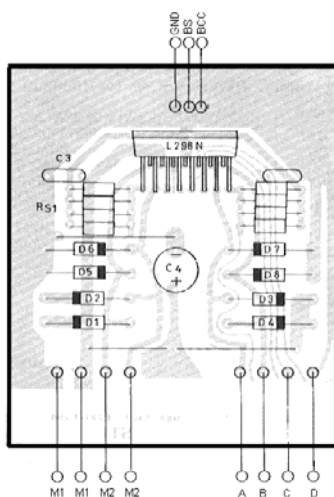


Figura 4.10 Etapa de potencia, PSB

La parte de control y la forma de manipular los movimientos del robot, costa de un complejo lenguaje de programación del cual es cargado en un micro controlador hc12 de Motorola.

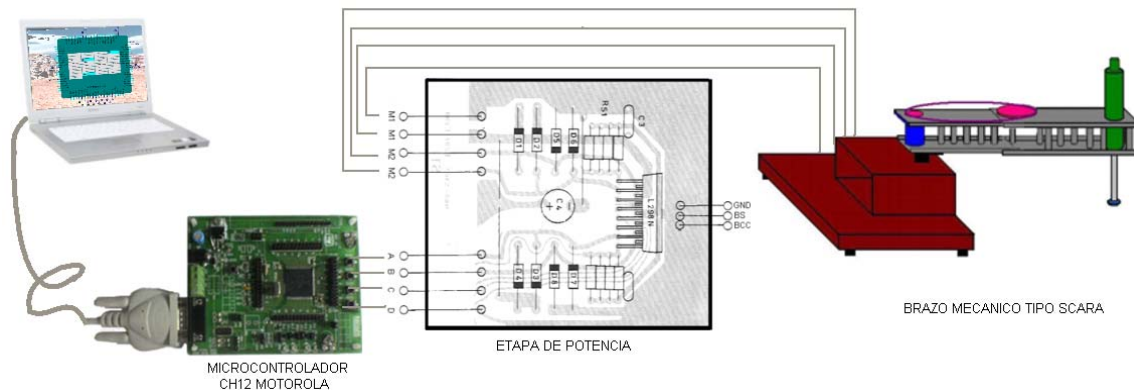


Figura 4.11 Interfaz grafica del sistema

#### 4.3.1 Descripción de la tarjeta L298

Se a trabajado en la tarjeta driver L298. La tarjeta consiste básicamente en dar una interfaz más asequible a los 4 puentes H que posee (dos L298), controlando así hasta 4 motores. Además permite la selección en voltajes de entrada y potencia de salida.

El encapsulado L298 utilizado en la tarjeta posee 2 puente H. Cada puente H es controlado por tres señales TTL:

- Dos para indicar el sentido movimiento (“10” ó “01”) y
- Una para habilitar el puente H (“1” habilitado, “0” deshabilitado).

Posee 4 conectores de entradas digitales (TTL). Estos conectores (molex de 3 pines) están rotulados como AX, AY, BX y BY, correspondiendo la primera letra al L298, y la segunda, al puente H de cada L298.

Dos de los pines de cada conector son utilizados para hacer girar el motor en cierto sentido (Ix, ver esquemático), mientras que el tercero es para habilitar el puente H (Ex).



Otras dos entradas (molex de 2 pines) son:

La entrada de alimentación para los L298 (Vss) y

La entrada de alimentación alternativa para los motores (Vs). Esto, porque puede ser la misma que alimenta a los L298 o una independiente (otorgando mayor potencia). Esta elección se realiza cambiando de posición el jumper JR2.

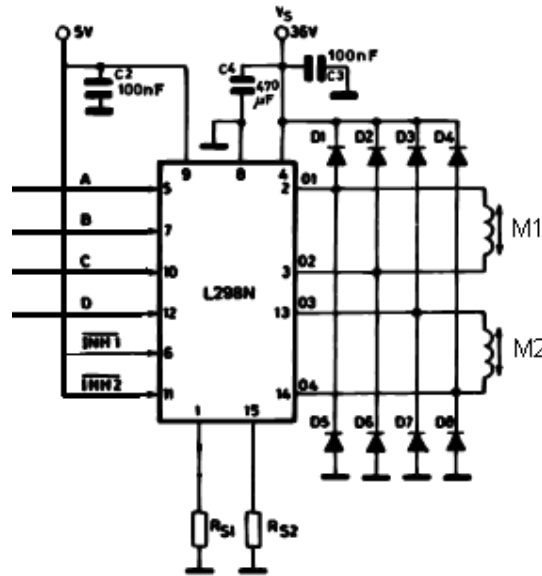


Figura 4.12 Circuito esquemático L298

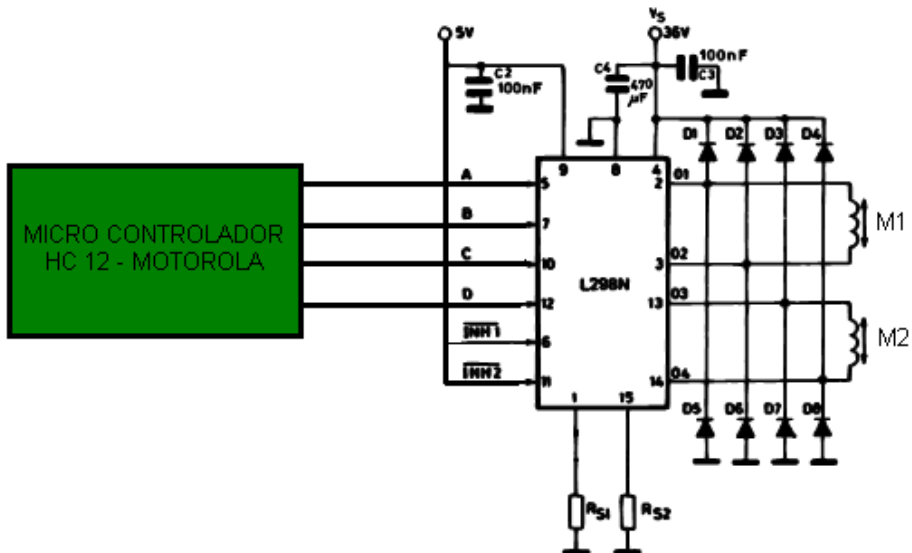


Figura 4.13 Interfaz microcontrolador - L298

# CAPITULO V

## 5.1 Costos del Proyecto

Una vez que se tiene el proyecto formalmente planteado en su totalidad, es necesario hacer una evaluación de cuanto se necesitaría tener para poder construir el brazo mecánico tipo scara, el propósito de este capítulo es mostrar un presupuesto preliminar del costo de las piezas y del material a utilizar para la construcción.

El objetivo de esta tesis es de diseñar un brazo mecánico que cubra la necesidad de una empresa dedicada a la inyección de plástico y en específico ficha didáctica de plástico, para ello que sus costos sean de gran utilidad y rentabilidad para la empresa.

El costo total del brazo mecánico tipo scara esta conformado por tres etapas.

- La primer etapa hablaremos de los insumos, esto abarca todos los materiales que se ocuparon para la construcción en forma mecánica y eléctrica.
- La segunda etapa la denominamos Costos de Ingeniería, la cual esta constituida por las horas de trabajos, abarcando mano de obra e ingeniería de detalle.
- Y la tercer y última etapa son costos indirectos, los cuales están determinados por el uso de maquinaria ocupada para fabricación de piezas.

## 5.2 Costos de insumos

Dentro del capítulo cuatro se especificaron los materiales que se ocuparan tanto en la construcción mecánica y la construcción electrónica, de las cuales tenemos los siguientes datos de costos que se muestran en la tabla 5.1.

<b>Costos de material parte mecánica y construcción</b>			
Cantidad	Material	Precio unitario	Total
3m <sup>2</sup>	Lamina galvanizada	\$70.00	\$210.00
3m	Aluminio redondo de 1/4"	\$12.00	\$36.00
3m	Aluminio en placa 4" x 1/8"	\$35.00	\$105.00
1m	Redondo de 1/2 (templado)	\$30.00	\$30.00
1m	Redondo de 3/4 (templado)	\$40.00	\$40.00
2	Motores de DC 12 v	\$50.00	\$100.00
1	Pistón neumático 2atm de presión	\$600.00	\$600.00
1	Electro imán 127 v	\$15.00	\$15.00
1	Cadena dentada	\$25.00	\$25.00
1	Banda dentada	\$27.00	\$27.00
1	Engrane Ø 2"	\$25.00	\$25.00
1	Engrane Ø 1.5"	\$35.00	\$35.00
30	Tornillos 1/8"	\$0.50	\$15.00
20	Tornillos 1/2"	\$1.00	\$20.00
4	Gomas redondas	\$6.00	\$24.00
3	Chavetas 1/16"	\$0.50	\$1.50
5m	Manguera neumática	\$23.00	\$115.00

1	Electro válvula	\$600.00	\$60.00
6	Codos 90 x 90 neumáticos	\$30.00	\$180.00
TOTAL			\$1,663.50

Tabla 5.1 Costos de material parte mecánica y construcción

El costo total de los insumos de la parte mecánica requeridos es de \$1663.50 pesos m/n. Ahora contabilizamos los costos de insumos de la parte electrónica, véase Tabla 5.2

<b>Costos de material Electrónicos</b>			
Cantidad	Material	Precio por hora	Total
1	Microcontrolador hc12 Motorola	\$500.00	\$500.00
16	Diodos	\$2.00	\$32.00
20	Resistencias	\$0.15	\$3.00
4	Capacitores	\$3.50	\$14.00
2	L298	\$32.00	\$64.00
2m	Termofit	\$11.00	\$22.00
1	Estaño	\$10.00	\$10.00
30	Conectores hgeaders	\$0.50	\$15.00
15cm x 8cm	Placa de cobre	\$45.00	\$45.00
TOTAL			\$705.00

Tabla 5.2 Costos de material electrónicos

El costo total de insumos electrónicos es de \$705.00 pesos m/n.

Por lo tanto el costo de insumos es de:

<b>Costos de Insumos</b>	
Tipo de Costo	Total
Costos de material parte mecánica y construcción	\$1663.50
Costos de material Electrónicos	\$705.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$2,368.50</b>

Tabla 5.3 Costos de Insumos

### 5.3 Costos de Ingeniera

Dentro de los costos de ingeniería se abarca los costos por hora de personal capacitado que intervino en la construcción y diseño del brazo mecánico tipo scara, los cuales son.

Ingeniería de detalle:

Diseño mecánico y sistemas eléctricos del brazo mecánico tipo scara, el costo por hora es de \$500.00 pesos m/n. de lo cual el tiempo de terminación se refleja en la tabla

<b>Costos de Ingeniera de detalle</b>			
Horas	Actividad	Precio por hora	Total
30	Diseño de parte mecánica	\$500.00	\$15,000.00
19	Diseño parte electrónica	\$500.00	\$9,500.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$24,500.00</b>

Tabla 5.4 Costos de Ingeniera de detalle

### Mano de obra

La mano de obra la determinamos por el tiempo que se requirió para la construcción del brazo mecánico tipo scara, de igual forma el tiempo en que se requirió para los sistemas eléctricos, para ello el costo por hora es de \$30.00 pesos m/n.

<b>Costos de Mano de Obra</b>			
Horas	Actividad	Precio por hora	Total
71	Construcción de Brazo Mecánico	\$30.00	\$2,130.00
10	Construcción parte electrónica	\$30.00	\$300.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$2,430.00</b>

Tabla 5.5 Costos de Mano de Obra

Por lo tanto el costo de ingeniería es de:

<b>Costos de Ingeniería</b>	
Tipo de Costo	Total
Costos de Ingeniería de detalle	\$24,500.00
Costos de Mano de Obra	\$2,430.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$26,930.00</b>

Tabla 5.6 Costos de Ingeniería

#### 5.4 Costos Indirectos

Los costos indirectos los determinamos por el uso de maquinaria y desgaste de herramienta empleada, de la cual la hora por maquinaria es de \$30.00 pesos m/n. y sobre el desgaste de herramienta se determina que por hora es de \$3.00. Los detalles de herramientas se especifican en la tabla 5.5.

<b>Costos indirectos</b>			
Horas	Maquinaria	Precio por hora	Total
9	Torno	\$30.00	\$270.00
20	Fresadora	\$30.00	\$600.00
2	Cortadora y Dobladora de lamina	\$30.00	\$60.00
81	Desgaste de herramienta (Brocas, pinzas mecánicas, pinzas de electricista, cautín, desarmadores, taladro, arco, martillo, cortadores, buril, etc.)	\$3.00	\$243.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$1,173.00</b>

Tabla 5.7 Costos Indirectos

#### 5.5 Costo total

Ya teniendo los costos de insumos, costos de ingeniera de detalle, costos de indirectos podemos determinar el costo total de brazo Mecánico Tipo scara, véase Tabla 5.8.



<b>Costo Total</b>	
<b>Tipo de Costo</b>	<b>Total</b>
Costos de insumos	\$2,368.50
Costos de Ingeniera	\$26,930.00
Costos indirectos	\$1,173.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$30,471.50</b>

Tabla 5.8 Costos Total del proyecto

Tenemos que el costo total del brazo mecánico tipo scara es de \$30,471.50 pesos m/n.

Retomando el tema de la empresa, se determina que cuenta con cinco personas de las cuales cada una esta ubicada en cada maquina de inyección.

El salario que cuenta cada persona es de \$100.00 pesos m/n por día.

La empresa por día paga a su personal \$600.00 y como el trabajo es de lunes a sábado el pago consta de \$3600.00 pesos m/n

Como se ha mencionado que la fabricación de cualquier producto se requiere de la preparación de la materia prima, con este brazo mecánico sustituimos a un personal y este personal libre, esta mas enfocado a la preparación de la materia prima tanto a la trituración, pigmentación y alguna otra actividad más que se requiera.

## Conclusiones

De acuerdo a nuestro planteamiento y objetivo, se cumple lo que es la parte física, la cual comprende todos los elementos mecánicos, eléctricos y neumáticos, obteniendo un modelo a seguir para futuras construcciones o incluso mejorando su estructura física.

Este proyecto nos ayuda a comprender la importancia de los manipuladores a nivel empresarial, y que son de gran uso y utilidad y son empleados para el mejoramiento de procesos, tomando en cuenta factores importantes como lo son, la eliminación de tiempos muertos, errores constantes e incluso hablar de costos, ya que son pérdidas que afectan a las empresas.

El brazo mecánico tipo scara como se menciona en capítulos anteriores que será utilizado como elemento final de un proceso de fabricación de ficha de plástico, para la empresa KID PLAS®, sus resultados no fueron contundentes ya que debido a costos no sustentables de la empresa no se llegó a culminar de forma final todo el proyecto, esto involucra la programación, la cual tiene un costo de \$80,000.00 pesos m/n, obteniendo como respuesta que para una empresa pequeña como es a la que se implementaría este brazo mecánico no es rentable ya que el costo es demasiado alto, hablando para empresas de este tamaño, pero si habláramos de empresas grandes, el costo de brazo mecánico tipo scara es bajo y esto ocasiona que sea totalmente rentable. Cabe mencionar que la programación se a estado modificando para obtener mejores resultados a futuro y sea de gran utilidad para las grandes empresas que así lo requieran.

Los materiales que se eligieron para la construcción contribuyen para el buen funcionamiento de brazo mecánico tipo scara, ya que brindan seguridad y estabilidad de operación. Y sobre el control del manipulador elegimos un microcontrolador Motorola HC12, que es completamente funcional para generar el movimiento deseados de operación.

## Glosario

<b>ACTUADOR</b>	Un actuador es un mecanismo por el cual un agente puede influir en su entorno.
<b>AUTOMATIZACIÓN</b>	Aplicación de sistemas mecánicos, eléctricos o electrónicos, dentro de un sistema auto-gobernado, a tareas normalmente realizadas por un ser humano o que no pueden ser realizadas por él. Ejecución automática de tareas industriales, administrativas o científicas haciendo más ágil y efectivo el trabajo y ayudando al ser humano.
<b>BRAZO</b>	Una de las partes del manipulador. Soportado en la base de éste, sostiene y maneja la muñeca (donde va instalado el útil de toma de objetos).
<b>CIENMATICA</b>	La cinemática es la parte de la mecánica clásica que estudia el movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen.
<b>EJE</b>	Cada una de las líneas según las cuales se puede mover el robot o una parte de él (algún elemento de su estructura). Pueden ser ejes o líneas de desplazamiento longitudinal sobre sí mismo (articulación prismática) o ejes de giro (rotación). Cada eje define un "grado de libertad" del robot.
<b>ESTABILIDAD</b>	Condición en la cual las variables críticas de un sistema dinámico se mantienen invariables o permanecen dentro de unos límites determinados.
<b>GRADO LIBERTAD</b>	<b>DE</b> Cada uno de los movimientos básicos que definen la movilidad de un determinado robot. Puede indicar un movimiento longitudinal o de rotación.

<b>INTERFAZ</b>	Conexión mecánica o eléctrica que permite el intercambio de información entre dos dispositivos o sistemas. Habitualmente se refiere al 'software' y 'hardware' necesarios para unir dos elementos de proceso en un sistema o bien para describir los estándares recomendados para realizar dichas interconexiones. También se conoce por su denominación inglesa: 'interface'.
<b>LENGUAJE</b>	En informática, conjunto de caracteres e instrucciones utilizado para escribir programas de ordenador
<b>MANIPULADOR</b>	En general, cualquier dispositivo mecánico capaz de reproducir los movimientos humanos para el manejo de objetos. En particular, suele referirse a los elementos mecánicos de un robot que producen su adecuado posicionamiento y operación
<b>MÁQUINA.</b>	Artificio o conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía, transformarla y restituirla en otra más adecuada o para producir un efecto determinado.
<b>MODELO.</b>	Representación de una manera más sencilla de ciertos aspectos de un proceso o elemento, y el cual es utilizado con objetivos de análisis, control y predicción. Todo modelo se basa en una teoría, pero dicha teoría puede no estar indicada en una forma concisa. Tipos de modelos: a escala, descriptivos, gráficos, analógicos y matemáticos.
<b>MORFOLOGIA</b>	son las formas que se tiene dentro de la robótica para hacerse así una clasificación de los mismos
<b>MOTOR DC</b>	Convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Se caracterizan por tener una rotación de 360°, generalmente a alta velocidad pero con muy poco torque y además necesitan de una serie de engranajes
<b>PROGRAMA.</b>	Secuencia de instrucciones que obliga al ordenador a realizar una tarea determinada. Serie de instrucciones que sigue el ordenador para llevar a cabo una tarea

determinada.

<b>ROBOT</b>	Es una máquina capaz de extraer información de su ambiente y usar conocimientos sobre su mundo, para moverse sin incidentes y de una manera que tenga sentido y propósito (Arkin, 1998).
<b>ROBOT SCARA</b>	Robot rápido y de alta precisión, cuya configuración es de dos ejes rotacionales paralelos y uno lineal, paralelo a ambos, de desplazamiento vertical.
<b>SENSORES</b>	Aquel que convierte una señal física en una señal eléctrica.
<b>TRANSMISIÓN.</b>	Sistema que toma la potencia de un motor y la lleva a los dos rotores en un helicóptero.

## **Bibliografía**

Mendoza Sánchez, Eduardo Augusto, *“Control de un robot manipulador”*, Tesis. Universidad de las Américas – Puebla, 2004.

S.D. Conte, Carl de Boor, *“Análisis Numérico”*, McGraw Hill, 1977.

Apuntes de Manipuladores Industriales por el M. en C. Juan José Muñoz Cesar, ESIME.

[www.ti.com](http://www.ti.com)

Hojas técnicas de todos los circuitos integrados utilizados.

[www.on-semi.com](http://www.on-semi.com)

Hojas técnicas de circuitos integrados utilizados.