



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

## **GUÍA PARA EL DISEÑO DE UN ROBOT Y SU APLICACIÓN AL DISEÑO DE UN ROBOT POLAR**

**Renzo Rodolfo Ramírez De León**

Asesorado por: Ingeniera Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, agosto de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA EL DISEÑO DE UN ROBOT  
Y SU APLICACIÓN AL DISEÑO DE UN ROBOT POLAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**RENZO RODOLFO RAMÍREZ DE LEÓN**

ASESORADO POR: INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO:</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL I:</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria
<b>VOCAL II:</b>	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
<b>VOCAL III:</b>	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
<b>VOCAL IV:</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>SECRETARIA:</b>	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO:</b>	Ing. Syney Alexander Samuels Milson
<b>EXAMINADOR:</b>	Ing. Julio César Solares Peñate
<b>EXAMINADOR:</b>	Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
<b>EXAMINADOR:</b>	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
<b>SECRETARIO:</b>	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **GUÍA PARA EL DISEÑO DE UN ROBOT Y SU APLICACIÓN AL DISEÑO DE UN ROBOT POLAR,**

tema que fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 5 de octubre de 2004.



---

Renzo Rodolfo Ramirez De León

Guatemala 28 de mayo del 2007

Ingeniero  
Julio César Solares Peñate  
Coordinador del Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

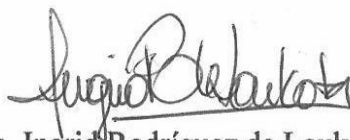
Estimado Ingeniero Solares.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: “ **Guía para el diseño de un robot y su aplicación al diseño de un robot polar**”, del señor **Renzo Rodolfo Ramírez de León**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota  
Colegiada 5,356  
Asesora

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 05 de julio 2007.

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **Guía para el diseño de un robot y su aplicación al diseño de un robot polar**, desarrollado por el estudiante; Renzo Rodolfo Ramírez de León, por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
**Ing. Julio César Solares Peñate**  
Coordinador Area de Electrónica



JCSP/sro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante; Renzo Rodolfo Ramírez de Leòn titulado: **Guía para el diseño de un robot y su aplicación al diseño de un robot polar**, procede a la autorización del mismo.

**Ing. Mario Renato Escobedo Martínez**

**DIRECTOR**



**GUATEMALA, 19 DE JULIO 2,007.**

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.275.07

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **GUÍA PARA EL DISEÑO DE UN ROBOT Y SU APLICACIÓN AL DISEÑO DE UN ROBOT POLAR**, presentado por el estudiante universitario **Renzo Rodolfo Ramírez De León**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, agosto de 2007

/cc



**ACTO QUE DEDICO A:**

**DIOS**

**La memoria de mi padre**      Raúl Ramírez Estrada

**Mi madre**                              Marta Marina de León Vda. de Ramírez

**Mi hermana**                              Ligia Ramírez de León

**Mi hermano**                              Mario Raúl Ramírez de León

## **AGRADECIMIENTO**

A la ingeniera Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota, por su valiosa asesoría en la elaboración de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	VII
<b>RESUMEN</b>	IX
<b>OBJETIVOS</b>	XI
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIII
<b>1. DISEÑO</b>	
1.1 ¿Qué es el diseño?	1
1.2 Procedimiento de diseño	4
1.3 Robótica	10
1.4 Procedimiento de diseño robótico	13
<b>2. EL ROBOT</b>	
2.1 ¿Qué es un robot?	15
2.2 Morfología	20
2.2.1 Morfología del robot fijo	26
2.2.1.1 Manipulador	27
2.2.1.2 Controlador	28
2.2.1.3 Dispositivos de entrada y salida	29
2.2.2 Morfología del robot móvil	30
2.2.2.1 Locomoción	31
2.2.2.2 Percepción	31
2.2.2.3 Decisión	31
2.3 Arquitectura	31
2.4 Clasificación	32
2.4.1 Por su grado de complejidad	32
2.4.1.1 Robots de primera generación	32

2.4.1.2	Robots de segunda generación	33
2.4.1.3	Robots de tercera generación	33
2.4.2	Por su arquitectura	34
2.4.3	Por su campo de aplicación	34
2.4.4	Por su morfología	39
<b>3.</b>	<b>INTERACCIÓN CON EL MEDIO</b>	
3.1	Percepción	41
3.1.1	Clasificación de los sensores	42
3.1.1.1	Sensores internos	43
3.1.1.2	Sensores externos	44
3.1.1.3	Sensores de seguridad	44
3.1.1.4	Red sensorial complementaria	45
3.1.1.5	Red sensorial competitiva	45
3.1.1.6	Red sensorial híbrida	45
3.1.1.7	Combinación sensorial	45
3.1.1.7.1	Combinación sensorial para medidas	46
3.1.1.7.1.1	Combinación sensorial centralizada	46
3.1.1.7.1.2	Combinación sensorial distribuida	46
3.1.1.7.1.3	Combinación sensorial híbrida	47
3.1.1.7.1	Combinación sensorial para el reconocimiento	47
3.1.1.7.2.1	Combinación sensorial de datos	47
3.1.1.7.2.2	Combinación sensorial de características	47

	3.1.1.7.2.2 Combinación sensorial de interpretación	48
	3.1.1.7.3 Nivel de combinación	48
3.2	El actuar	48
3.2.1	Estructura mecánica	48
3.2.1.1	Efactor terminal	49
3.2.1.1.1	Herramientas	49
3.2.1.1.2	Garras	49
3.2.1.1.3	Especiales	50
3.2.1.2	Brazo	50
3.2.1.3	Plataforma móvil	50
3.2.2	Elementos motrices	51
3.2.2.1	Eléctricos	51
3.2.2.2	Hidráulicos	51
3.2.2.3	Neumáticos	52
3.2.3	Comparación entre los diferentes tipo de actuadores	53
<b>4.</b>	<b>CONTROL</b>	
4.1	Modelo de control	55
4.1.1	Modelo de control cinemático	56
4.1.1.1	Problema cinemático directo	56
4.1.1.2	Problema cinemático inverso	56
4.1.2	Modelo de control dinámico	57
4.2	Control robótico	57
4.3	El controlador	60
4.3.1	Operación del controlador	62
4.3.1.1	En lazo abierto	62
4.3.1.2	En lazo cerrado	62
4.3.1.2.1	Encendido y apagado (on – off)	64

4.3.1.2.2	Proporcional	64
4.3.1.2.3	Derivativo	64
4.3.1.2.4	Integral	65
4.3.1.2.5	Proporcional y derivativo	65
4.3.1.2.6	Proporcional e integral	65
4.3.1.2.7	Proporcional, integral y derivativo	65
4.4	Programación	66
4.4.1	Control de supervisión	67
4.4.2	Generación y manejo de tareas	68
4.4.3	Interpretador de tareas	68
4.4.4	Control de movimiento del brazo	68
4.4.5	Comunicación	68
4.4.6	Reporte de errores y diagnóstico	69
<b>5.</b>	<b>APLICACIÓN</b>	
5.1	Exploración	71
5.1.1	Brazo	72
5.1.2	Control	72
5.1.3	Interfase	73
5.1.3.1	Interfase hombre máquina	73
5.1.3.2	Interfase ordenador brazo	73
5.2	Generación	74
5.2.1	Diseño del brazo	74
5.2.2	Diseño del algoritmo de control	75
5.2.3	Diseño de interfase	77
5.2.3.1	Interfase hombre máquina	77
5.2.3.2	Interfase ordenador brazo	77
5.3	Evaluación	81

5.4 Comunicación	84
5.4.1 Manual	84
5.4.1.1 Implementación	84
5.4.1.1.1 Ensamble	84
5.4.1.1.2 Inicio	85
5.4.1.1.3 Guía del programa	85
5.4.1.1.3.1 Descripción de cada comando	86
5.4.1.2 Mando manual	88
<b>CONCLUSIONES</b>	89
<b>RECOMENDACIONES</b>	91
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	93
<b>APÉNDICE A</b>	97
<b>APÉNDICE B</b>	101
<b>APÉNDICE C</b>	105
<b>APÉNDICE D</b>	109

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Fases del diseño	8
2	Modelo básico de diseño	9
3	Relación de la robótica y la ingeniería	13
4	Proceso básico	14
5	Constitución general de un robot	23
6	Analogía entre humano y robot	26
7	Elementos que constituyen un robot completo	26
8	Elementos que constituyen un manipulador	27
9	Elementos estructurales del manipulador	27
10	Orientación de eslabones	28
11	Detalle de movimientos de la muñeca	28
12	Estructura fundamental del robot móvil	30
13	Esquema general de control	55
14	Control de la célula de trabajo	62
15	Sistema de control en lazo cerrado	63
16	Aspectos que debe cubrir el programa de control	67
17	Representación en diagrama de flujo	76
18	Ejemplo de panel de control	79
19	Diagrama de bloques de interfase electrónica	80
20	Diagrama esquemático de la fuente	81



21	Diagrama esquemático de la interfase	82
22	Diagrama esquemático del mando manual	83
23	Esquema de la representación mecánica de la maqueta	107

## TABLAS

I	Subsistemas estructurales	24
II	Subsistemas funcionales	25
III	Clasificación de robots industriales	35
IV	Clasificación de robots de servicios	37
V	Clasificación de robots de asistencia	38
VI	Clasificación de robots de exploración	38
VII	Clasificación por su morfología	39
VIII	Clasificación de los motores eléctricos	52
IX	Comparativa de los diferentes actuadores	53
X	Modelos de control	58
XI	Control para seguimiento de trayectoria	59
XII	Control por variable	60
XIII	Clasificación de elementos terminales	98
XIV	Clasificación de las manos, garras y dedos	99
XV	Clasificación de las herramientas para ejecución de tarea	100
XVI	Clasificación según la Asociación Japonesa de Robótica	102
XVII	Clasificación de robots industriales de la Federación Internacional de Robótica	103
XVIII	Componentes	110
XIX	Otros elementos	112

## RESUMEN

El universo del diseño abarca desde la contemplación a la creación, por ser tan vasto es necesario ir a una parte específica del universo, de interés, en el presente trabajo se procederá desde lo general hasta lo específico del universo del diseño antes de explorar su aplicación al espacio de una ciencia que para este caso es la robótica, conociendo primero la metodología del proceso de diseño general aplicable a cualquier campo, aplicando dicho proceso de diseño a la robótica y adaptándolo a las características y necesidades de los robots.

Para poder aplicar este proceso al diseño de robots es necesario conocer cuáles son las características y necesidades, a traves del trabajo se presentan dichas características, las cuales al combinarse con el proceso adaptado al diseño de robot mostrará el camino más simple para el diseño de un robot, aplicando este camino al diseño de un robot particular, el cual para el presente trabajo es un robot clasificado en el universo de los robots, como un robot polar.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Desarrollar un procedimiento general para el diseño de robots.

### **Específicos:**

1. Aplicación del procedimiento general en el diseño de un robot específico
2. Elaboración de un manual del usuario del robot

## INTRODUCCIÓN

Dentro del universo que encierra el diseño, se busca cuál es el procedimiento general para el diseño de robots, para llegar a él se debe identificar y delimitar dentro de este universo primero qué es el diseño, para luego encontrar un procedimiento general de diseño, para posteriormente aplicarlo a la ciencia de nuestro interés, que es la robótica, esto se hace en el primer capítulo.

Pero para el diseño, uno de sus componentes es el procedimiento, pero no es suficiente, se requiere de otros elementos tales como: la definición de lo que se pretende diseñar, en este caso es la definición de un robot, sus características, su morfología, su arquitectura, cómo se le clasifica, que son ampliamente descritos en el segundo capítulo.

Otros elementos que es necesario conocer son: como se percibe él y su entorno así como su actuar, la forma en que se le puede gobernar, descritos en el tercer y cuarto capítulo.

Conociendo todos los elementos, es posible iniciar un procedimiento de diseño aplicado a un robot específico, que en el caso que nos ocupa es un robot polar ejemplificado en el quinto capítulo.

# 1. DISEÑO

## 1.1 ¿Qué es el diseño?

Existen definiciones muy diversas, de lo que es el diseño puesto que este vocablo encierra todo un universo. En la enciclopedia en línea Wikipedia<sup>1</sup> se ubica un documento bastante amplio y tomando de él, los puntos más importantes se obtiene lo siguiente:

El diseño habitualmente es usado en diferentes contextos tales como: la ingeniería, arquitectura, las artes aplicadas y otras disciplinas creativas, al diseño se le ha considerado tanto sustantivo como verbo.

**Como verbo** ‘diseñar’ se refiere al proceso de creación y desarrollo para producir un nuevo objeto o medio de comunicación (objeto, proceso, servicio, conocimiento o entorno) para uso humano.

**Como sustantivo** el ‘diseño’ se refiere al plan final o proposición determinada fruto del proceso de diseñar (dibujo, proyecto, maqueta, plano o descripción técnica), o (más popularmente) al resultado de poner ese plan final en práctica (la imagen o el objeto producido)...

El diseño puede conceptualizarse como un campo de conocimiento multidisciplinario, que implica su aplicación en distintas profesiones, que puede ser estudiado, aprendido y, en consecuencia, enseñado. Que está al nivel de la ciencia y la filosofía, dado que su objetivo está orientado a estructurar y

---

<sup>1</sup>Enciclopedia Wikipedia. Reproducido de **Diseño**. Consultado 19/01/2007. en <http://es.wikipedia.org>.

configurar contenidos que permitan ser utilizados para ofrecer satisfacciones a necesidades específicas de los seres humanos.

Basados en estas consideraciones las definiciones sobre diseño son tan variadas como las actividades donde se requiera un diseño. Algunas de las definiciones se encuentran en diccionarios, documentos publicados, libros. De las definiciones encontradas en diccionarios tenemos:

1] *El diccionario de la Lengua Española*<sup>2</sup> da las siguientes acepciones:

Del it. disegno. 1. [m.] Traza, delineación de un edificio o de una figura.

2.[m.]Descripción o bosquejo de alguna cosa, hecho por palabras.

3.[m.]Disposición de manchas, colores o dibujos que caracterizan exteriormente a diversos animales y plantas.

4.[m.]Proyecto, plan. DISEÑO urbanístico.

5.[m.]Concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie. DISEÑO gráfico, de modas, industrial.

6.[m.]Forma de cada uno de estos objetos.

2] *El diccionario Enciclopédico Larousse*<sup>3</sup> 2005 dice:

1. s. m. Representación sobre una superficie de la forma y, eventualmente, de los valores de luminosidad y sombra de un objeto, de una figura, etc., que sirve de modelo para su realización.

2. Disciplina que tiene por objeto una armonización del entorno humano, desde la concepción de los objetos de uso hasta el urbanismo.

3. Aspecto exterior de algo que ha sido diseñado.

---

<sup>2</sup>**Diccionario de la Lengua Española**, (Madrid, Edit. Espasa Calpe, vigésima , 1992) página 760.

<sup>3</sup>**Diccionario Enciclopédico Larousse** 2005 (Colombia Edit. Ediciones Larousse, undécima edición, 2005) página 354.

3] *El diccionario de Ingeniería*<sup>4</sup>:

(mec.) Representación gráfica de un objeto con indicaciones, medidas y eventualmente cortes para su mejor apreciación.

De las definiciones ubicadas en documentos publicados en la red y libros proporcionan las definiciones siguientes:

1. *El pintor, fotógrafo y crítico de arte Moholy-Nagy*<sup>5</sup>, define al diseño como: La organización de materiales y procesos de la forma más productiva, en un sentido económico, con un equilibrado balance de todos los elementos necesarios para cumplir una función.
2. *Luisa García*<sup>6</sup> expresa lo siguiente: El diseño es un proceso de creación visual con un proceso. Disciplina que trata de armonizar en su realización el entorno humano, desde la concepción de los objetos hasta el urbanismo. A diferencia de la pintura y de la escultura, que son la realización de las visiones personales y de los sueños de un artista, el diseño cubre exigencias prácticas. En pocas palabras un buen diseño es la mejor expresión visual de la esencia de algo, ya sea esto un mensaje o un producto. Su creación no debe ser solo estética sino también funcional mientras refleja o guía el gusto de su época.
3. *Joseph Edward Shigley y Charles R. Mishke*<sup>7</sup>, lo definen así: Diseño es formular un plan para satisfacer una demanda humana.

---

<sup>4</sup>**Diccionario de Ingeniería**, (Madrid , Editorial Cultural S. A., 2000) página 105

<sup>5</sup>Enciclopedia Wikipedia. Op. Cit. Consultado 19/01/20007

<sup>6</sup>GARCIA, Luisa, Reproducido de **Diseño** publicado en [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com), consultado 27/01/2007

<sup>7</sup>SHIGLEY, Joseph Edward y Mishke, Charles R., **Diseño en Ingeniería Mecánica** (México D. F.: Editorial McGrawHill, 1993) página 4

4. *El ingeniero John R. Dixon*<sup>8</sup> proporciona la siguiente definición: El diseño en ingeniería consiste en solucionar problemas, aplicando conocimientos científicos y socio-humanos, y en esencia no es un arte, sino una actividad que se puede investigar, analizar y enseñar.

Del análisis de las acepciones anteriores para dar respuesta a la pregunta **¿Qué es el diseño?** Primero debemos definir el contexto de aplicación, dicho contexto es, el ámbito de la ingeniería, habiendo limitado el campo la respuesta más adecuada se encuentra en la obra de Dixon<sup>9</sup> que expresa lo siguiente:

“El diseño en ingeniería consiste en solucionar problemas, aplicando conocimientos científicos y socio-humanos.”

## 1.2 Procedimiento de diseño

Al dar respuesta a la pregunta anterior, surge una nueva interrogante ¿Cuál es el procedimiento de diseño? Explorando en diferentes fuentes entre ellas Internet se puede observar la diversidad de caminos para diseñar, a continuación se encuentra la reproducción de lo expresado al respecto por algunos de los diversos autores sobre este tema.

1. *En la enciclopedia Wikipedia*.<sup>10</sup> En lo referente al proceso de diseño expresa que: Diseñar requiere principalmente consideraciones funcionales y estéticas. Esto necesita de numerosas fases de investigación, análisis, modelado, ajustes y

---

<sup>8</sup> DIXON, Jon R., **Diseño en Ingeniería Inventiva, Análisis y Toma de Decisiones** (México D. F.: Editorial Limusa, 1979) página 5

<sup>9</sup> Ibid.

<sup>10</sup> Enciclopedia Wikipedia. Op. Cit. 19/01/20007



adaptaciones previas a la producción definitiva del objeto. Además comprende multitud de disciplinas y oficios dependiendo del objeto a diseñar y de la participación en el proceso de una o varias personas. Es una compleja, dinámica e intrincada tarea. Es la integración de requisitos técnicos, sociales y económicos, necesidades biológicas, con efectos psicológicos y materiales, forma, color, volumen y espacio, todo ello pensado e interrelacionado con el medio ambiente que rodea a la humanidad... El proceso de diseño, suele implicar las siguientes fases:

1. Observar y analizar
2. Planear y proyectar
3. Construir y ejecutar
4. Evaluar

2. *Wolkowiks*<sup>11</sup> autor de un documento publicado en la red dice: que la metodología del proceso de diseño, implica descomponer un problema en sus distintas facetas o subproblemas, cada uno con características particulares y con una gran variedad de posibles soluciones. Por esto, la recopilación de datos y el análisis de los mismos deben hacerse de la manera más exhaustiva posible. Así, la tarea más difícil que justamente es la de encontrar la solución óptima para cada uno de los subproblemas y su posterior coordinación tomará un camino que irá delineando la configuración final.

---

<sup>11</sup> WOLKOWIKS, **Metodología del Proceso de Diseño** (<http://www.psicofxp.com>) consultado 26/01/2007

3. *Francisco Armando Dueñas Rodríguez Licenciado en informática*<sup>12</sup> publicó, un documento en el que describe las fases de la metodología del diseño que son:

- A). Etapa de Investigación.
- B). Etapa de Síntesis de la Información.
- C). Etapa de Diseño y Construcción.
- D). Etapa de Pruebas, Calibración y Control.

4. *Bruno Munari*<sup>13</sup>: plantea los siguientes puntos como una metodología básica:

- 1- Problema
- 2- Definición del problema
- 3- Definición y reconocimiento de subproblemas
- 4- Recopilación de datos
- 5- Análisis de datos
- 6- Creatividad
- 7- Materiales - Tecnología
- 8- Experimentación
- 9- Modelos
- 10- Verificación
- 11- Dibujos constructivos
- 12- Solución

---

<sup>12</sup> DUEÑAS RODRÍGUEZ, Francisco Armando, **La robótica** (<http://www.monografias.com>) consultado 30/01/2007

<sup>13</sup> WOLKOWIKS, op. Cit., consultado 26/01/2007

5. *Jorge Frascara*<sup>14</sup> sintetiza los pasos más constantes:

- 1- Encargo del trabajo por el cliente.  
(Primera definición del problema)
- 2- Recolección de información sobre el cliente, producto, competencia, público.
- 3- Análisis. Interpretación y organización de la información  
(Segunda definición del problema)
- 4- Determinación de objetivos:
  - a. Determinación del canal
  - b. Estudio de alcance, contexto y mensaje
  - c. Análisis de prioridades y jerarquías
- 5- Especificaciones para la visualización  
(Tercera definición del problema)
- 6- Desarrollo de anteproyecto
- 7- Presentación al cliente
- 8- Organización de la producción
- 9- Implementación
- 10- Verificación

6. *John R. Dixon*<sup>15</sup> concluye que después de la investigación efectuada por él, las partes fundamentales del proceso de diseño son:

1. Inventiva
2. Análisis
3. Toma de Decisión

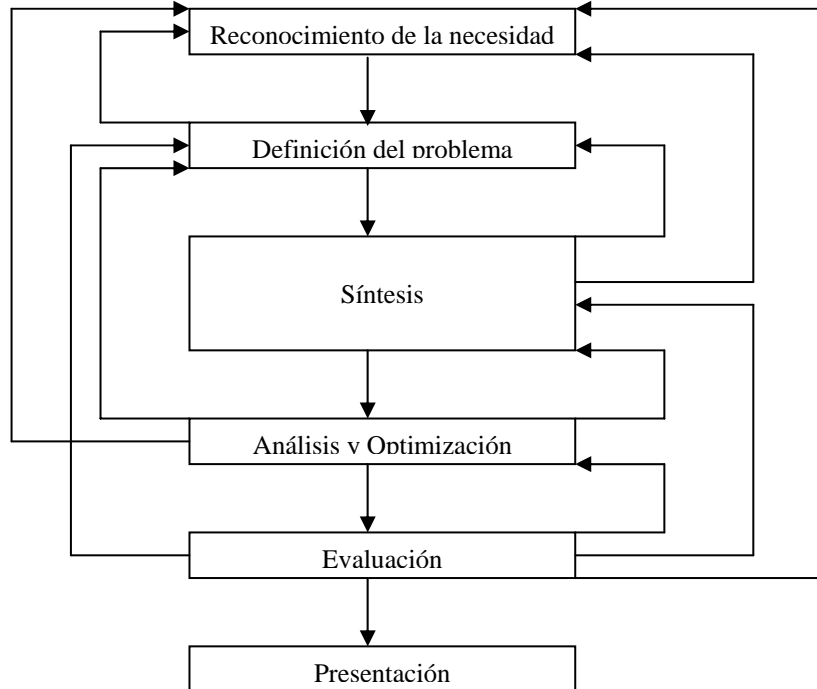
---

<sup>14</sup> Ibid., 26/01/2007

<sup>15</sup> DIXON, Jon R., op. Cit., página 5

7. Joseph Edward Shigley y Charles R. Mishke<sup>16</sup>, presentan el siguiente esquema de las fases del diseño:

**Figura 1. Fases del diseño**



Fuente (SHIGLEY, 1993, 6)

En resumen después del análisis de los métodos expuestos se puede decir con toda certeza que no existe un camino único para realizar un diseño, pero todo método tendrá puntos comunes y un ordenamiento lógico. Identificando algunos de los puntos en común así:

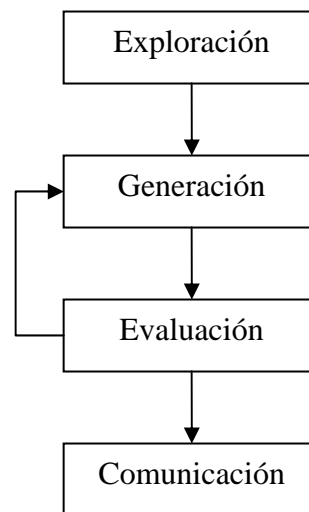
1. Observar, analizar, reconocer, definir, recopilar.
2. Modelar, sintetizar, crear, desarrollar, inventar.
3. Experimentar, evaluar, calibrar, verificar.
4. Construir, armar, presentar, comunicar, implementar.

<sup>16</sup> SHIGLEY, Joseph Edward y Mishke Charles R., op. Cit. página 6

Al identificar algunos puntos en común se observa que el camino para el diseño en forma general sigue una estructura definida al aplicarla a un campo específico se torna único debido a las particularidades del campo al que se esté aplicando.

En términos generales el procedimiento de diseño sigue los siguientes pasos:

**Figura 2 Modelo básico de diseño**



Fuente: (RAMÍREZ, 2007, 30)

**Exploración.** El primer paso para el diseño. Este primer paso consta de un conjunto de actividades, tales como: observación, análisis, identificación de necesidades o problemas, así como las limitaciones a que deberá sujetarse, los objetivos a alcanzar etc.

**Generación.** Empleando la información obtenida en el paso anterior se propone un método de solución, examinando las vías para lograr la(s) solución(es), para ello se elaboran anteproyectos o diseños preliminares.

**Evaluación.** Usando la metodología antes descrita se procede a probar si el mismo funciona, satisface las necesidades, cumple con él o los objetivos, etc., en este punto se presentan dos situaciones si cumple se analiza

que deficiencias hay para mejorarlas y lograr un diseño final, pero en el caso contrario se detectan las equivocaciones, imprecisiones o cuales quiera fallas, las cuales modifican el diseño preliminar, hasta llegar al cumplimiento de todos los parámetros y lograr el diseño definitivo.

**Comunicación.** Obtenido el diseño definitivo, se elaboran los documentos necesarios tales como esquemas, planos, organigramas, diagramas, manuales, etc. Con esta información se le da vida al diseño.

### 1.3 Robótica

Se le define en los diccionarios como sigue:

1. *Diccionario de la Lengua Española*<sup>17</sup>: f. Técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales.
2. *Diccionario Enciclopédico Larousse 2005*<sup>18</sup>: s.f. Conjunto de técnicas utilizadas para el diseño y construcción de robots y la puesta en práctica de sus aplicaciones.
3. *Diccionario en línea Wordreference*<sup>19</sup>: f. Parte de la ingeniería que se ocupa de la aplicación de la informática al diseño y uso de máquinas que sustituyan a las personas en la realización de diferentes tareas o funciones: la robótica es una de las disciplinas clásicas que forman parte de la inteligencia artificial.

Al consultar en la red emergieron varias páginas donde diferentes autores han publicado documentos al respecto, de los cuales se escogieron algunos que expresan este concepto:

---

<sup>17</sup> *Diccionario de la Lengua Española*, op. Cit., página 1803

<sup>18</sup> *Diccionario Enciclopédico Larousse 2005*, op. Cit., página 354

<sup>19</sup> *Diccionario de internet Word reference* (<http://www.wordreference.com>) consultado 30/01/2007

1. *En la página de la empresa RoboticSpot*<sup>20</sup> se encuentra esta definición: La robótica es la ciencia encaminada a diseñar y construir aparatos y sistemas capaces de realizar tareas propias de un ser humano.
2. *La Institución Educativa Distrital Alqueíra de la Fragua Colombia*<sup>21</sup> expresa lo siguiente: Se considera la robótica como la ciencia que estudia la evolución, el diseño, la construcción y aplicaciones de los robots. En otras palabras. La robótica se considera como el estudio de los robots con el fin de analizar los principios de funcionamiento, operadores mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos y sus diversos sistemas, con el ánimo de que cumplan una función para el beneficio de toda la humanidad.
3. *Tatiana Macchiavello*<sup>22</sup> proporciona dos definiciones. 1.- La Robótica es una ciencia o rama de la tecnología, que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas realizadas por el ser humano o que requieren del uso de inteligencia. 2.- Robótica es... El conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas poli articuladas, dotados de un determinado grado de 'inteligencia' y destinados a la producción industrial o a la sustitución del hombre en muy diversas tareas.
4. *El Ingeniero Electrónico Henry Mendiburu Díaz*<sup>23</sup> dice: El término robótica procede de la palabra robot. La robótica es, por lo tanto, la ciencia o rama de la ciencia que se ocupa del estudio,

---

<sup>20</sup> RoboticSpot(T.M.), documento **¿que es la robótica?** Publicado en, (<http://www.roboticspot.com>) Consultado 30/01/2007

<sup>21</sup>Institución Educativa Distrital Alqueíra de la Fragua Colombia, documento **La robótica** publicado en (<http://www.cienciasmisticas.com.ar>.) Consultado 23/01/2007

<sup>22</sup>MACCHIAVELLO, Tatiana, documento **La robótica** publicado en (<http://www.monografias.com>.) Consultado 23/01/2007

<sup>23</sup>MENDIBURU, Henry, documento **Introducción A La Robótica** publicado en, (<http://www.monografias.com>.) Consultado 23/01/2007

desarrollo y aplicaciones de los robots... Básicamente, la robótica se ocupa de todo lo concerniente a los robots, lo cual incluye el control de motores, mecanismos automáticos neumáticos, sensores, sistemas de cómputos, etc. La robótica es una disciplina, con sus propios problemas, sus fundamentos y sus leyes. Tiene dos vertientes: teórica y práctica. En el aspecto teórico se aúnan las aportaciones de la automática, la informática y la inteligencia artificial. Por el lado práctico o tecnológico hay aspectos de construcción (mecánica, electrónica), y de gestión (control, programación). La robótica presenta por lo tanto, un marcado carácter interdisciplinario.

5. *Víctor Hugo Pérez Cordero expone*<sup>24</sup>: La robótica de forma general se define como: El conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas poli articuladas, dotados de un determinado grado de 'inteligencia' y destinados a la producción industrial o a la sustitución del hombre en muy diversas tareas. La robótica es esencialmente pluridisciplinaria y se apoya en gran medida en los progresos de la microelectrónica y de la informática, así como en los de nuevas disciplinas tales como el reconocimiento de patrones y de inteligencia artificial.

Estas son sólo algunas de las definiciones encontradas seleccionadas de entre muchas más, pero todas convergen en el sentido de que la robótica es una ciencia de reciente apareamiento y multidisciplinaria. Apoyándose en otras ciencias tales como física, matemática, mecánica, electrónica, e incorporando los avances de la tecnología en los campos de la programación de ordenadores, inteligencia artificial, visión artificial, microelectrónica, etc. Y su

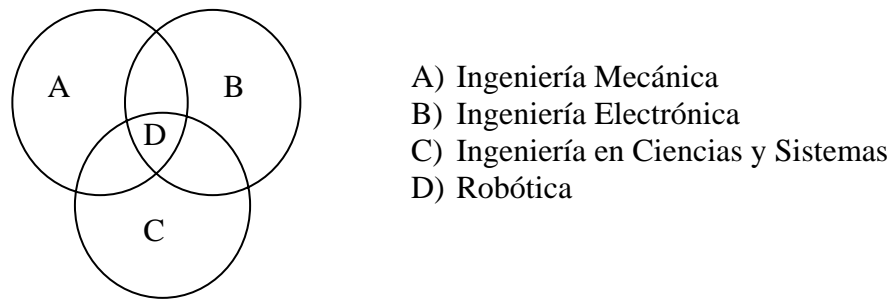
---

<sup>24</sup>PÉREZ CORDERO, Víctor Hugo, documento **La robótica** publicado en (<http://www.geocities.com>.) Consultado 20/01/2007



campo de aplicación es el estudio y diseño de los robots para que cumplan con una tarea, la cual puede reemplazar, ayudar o beneficiar al hombre. Esta cualidad hace que la robótica tenga cabida en todos los aspectos de la humanidad. Siendo un poco más específico, la robótica es la confluencia de tres importantes ramas de la ingeniería, que son la ingeniería mecánica, la ingeniería electrónica y la ingeniería en ciencias y sistemas (informática), esquematizado en la siguiente figura.

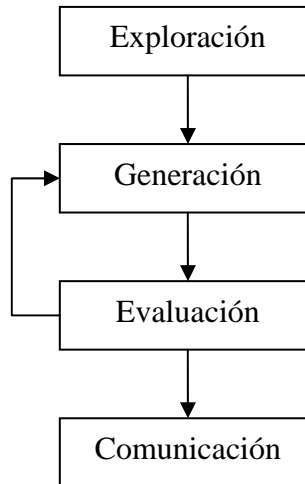
**Figura 3. Relación de la robótica y la ingeniería**



#### **1.4 Procedimiento de diseño robótico**

Ya se ha expuesto que el procedimiento de diseño no tiene un camino definido, aunque se han identificado algunos puntos comunes que nos proporcionan una estructura definida del camino a seguir. En este punto el diseño no se empleará en términos generales, sino será aplicado a un campo específico de la ciencia y técnica como lo es la robótica. Evaluando los conceptos anteriores y aplicándolos aquí, el procedimiento más general de diseño será adecuado para cumplir con los requerimientos de este campo. La figura siguiente ilustra el procedimiento general.

**Figura 4. Proceso básico.**



Fuente: (RAMÍREZ, 2007, 30)

**Exploración:** Lo necesario para comenzar el procedimiento de diseño, primero se debe saber, qué queremos hacer, definir la actividad que se requiere que haga, luego es necesario saber qué es un robot, identificar entre éste universo cuáles son las cualidades, habilidades, forma, arquitectura, características, etcétera, que se ajusten de cada una de las posibilidades anteriores y sus variantes a los requerimientos de la tarea que deben realizar y las limitantes para ella definidas.

**Generación:** Habiendo logrado un balance entre las características, cualidades, limitaciones, etcétera, con las que debe contar el robot, se procede a un diseño preliminar.

**Evaluación:** Con el diseño preliminar se procede a elaborar procesos de simulación para encontrar las deficiencias y aciertos del diseño preliminar, y obtener resultados de muestra con los que se pueda modificar este con el fin de lograr el diseño final.

**Comunicación:** Con el diseño final obtenido se generan los diagramas y manuales con los que sea posible construir y poner en marcha el diseño.

## 2. EL ROBOT

### 2.1 ¿Qué es un robot?

Aunque no existe aún una definición universalmente aceptada y se encuentra en debate en los círculos entendidos en la materia, se puede enunciar algunas de las definiciones de un robot proporcionadas por diccionarios, enciclopedias, libros y otras fuentes, de la manera siguiente:

1. *El diccionario de la Lengua Española*<sup>25</sup> le define así: Ingenio electrónico que puede ejecutar automáticamente operaciones o movimientos muy varios.
2. *El diccionario Enciclopédico Larousse 2005*<sup>26</sup> proporciona dos acepciones: a) Máquina automática con aspecto humano capaz de moverse, hablar y actuar. b) Máquina automática capaz de manipular objetos o realizar una función determinada por medio de un programa fijo o modificable o mediante aprendizaje (robot industrial).
3. *El Diccionario de Ingeniería*.<sup>27</sup>: Aparato electrónico capaz de actuar en forma automáticamente y reemplazar al ser humano en algunas funciones, en el ámbito industrial los robots manipulan objetos y ejecutan una o varias operaciones según un programa preestablecido en ordenador.

---

<sup>25</sup> **Diccionario de la Lengua Española** (Madrid, edit. Espasa Calpe., vigésima 1992) página 1803

<sup>26</sup> **Diccionario Enciclopédico Larousse 2005** (Colombia, edit. Ediciones Larousse., undécima edición 2005) página 892

<sup>27</sup> **Diccionario de Ingeniería** (Madrid, edit. Cultural, S. A., 2000) página 242

4. *El Diccionario de Ingeniería Eléctrica*<sup>28</sup>: Un brazo mecánico flexible, accionado eléctrica, hidráulica o neumáticamente, con varios grados de libertad para realizar una amplia gama de movimientos al estilo humano controlados por ordenador y que pueden programarse para realizar distintas funciones.
5. *El Diccionario Moderno de Electrónica*<sup>29</sup>: Proporciona dos definiciones: a] Mecanismo fijo o móvil, que posee la capacidad de manipular objetos bajo el control constante del hombre, las computadoras, u otra forma externa de inteligencia. b] Máquina inventada para funcionar en lugar de los agentes vivientes.
6. *El Diccionario Moderno de Ingeniería Mecánica*<sup>30</sup>: Dispositivo reprogramable diseñado para manipular y transportar piezas, herramientas o implementos de fabricación especializados empleando movimientos preprogramados para desempeñar tareas de manufactura específicas.
7. *El diccionario Oxford*<sup>31</sup>: Máquina que puede imitar las acciones de una persona, operado automáticamente o por control remoto.
8. *El diccionario Webster*<sup>32</sup>: Máquina capaz de verse y actuar como humano.
9. *La Enciclopedia Británica*<sup>33</sup>: Cualquier mecanismo operado automáticamente para sustituir al ser humano. No tiene por que asemejarse físicamente a un ser humano, ni tiene que realizar

---

<sup>28</sup> **Diccionario de Ingeniería Eléctrica** (Barcelona, edit. Ediciones Grijalbo, S. A., 1986) página 292

<sup>29</sup> GRAF, Rudolf F. **Diccionario Moderno de Electrónica** (México, edit. Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.) página 620

<sup>30</sup> **Diccionario Moderno de Ingeniería Mecánica**, (México, edit. Prentice Hall, , tomo II, 1999) página 227

<sup>31</sup> **Diccionario Oxford**, (Oxford, edit. Oxford Universitypres, cuarta edición 1989), página 1095, traducción libre

<sup>32</sup> **Diccionario Merriam Webster Collegiate**, (Massachusetts, edit. Merriam Webster Inc. Décima edición 1993), página 1013, traducción libre

<sup>33</sup> **La Nueva Enciclopedia Británica** ( Chicago, edit. Enciclopedia Británica, Inc. Quinceava edición 1991) tomo 10, página 116.

sus tareas de un modo humano.

10. *Russell y Norving*<sup>34</sup>: lo definen como: Un agente artificial activo, cuyo entorno es el mundo físico.

11. *Francisco Armando Dueñas Rodríguez*<sup>35</sup> expresa lo siguiente: Un robot puede ser visto en diferentes niveles de sofisticación, depende de la perspectiva con que se mire. Un técnico en **mantenimiento** puede ver un robot como una colección de componentes mecánicos y electrónicos; por su parte un **ingeniero en sistemas** puede pensar que un robot es una colección de subsistemas interrelacionados; un programador en **cambio**, simplemente lo ve como una máquina ha ser programada; por otro lado para un **ingeniero de manufactura** es una máquina capaz de realizar un tarea específica. En contraste, un científico puede pensar que un robot es un mecanismo el cuál él construye para probar una **hipótesis**.

12. *Tatiana Macchiavello*<sup>36</sup> dice lo siguiente: Un Robot es un dispositivo generalmente mecánico, que desempeña tareas automáticamente, ya sea de acuerdo a supervisión humana directa, a través de un programa predefinido o siguiendo un conjunto de reglas generales, utilizando técnicas de inteligencia artificial. Generalmente estas tareas reemplazan, asemejan o extienden el trabajo humano.... Un Robot también se puede definir como una entidad hecha por el hombre con un cuerpo y una conexión de retroalimentación inteligente entre el sentido y la acción (no bajo la acción directa del control humano).

---

<sup>34</sup> RUSSELL, Stuart J. y Norvig, Peter, **Inteligencia Artificial Un enfoque moderno**. (México. Edit. Pearson Educación. 1996) página 815.

<sup>35</sup> DUEÑAS RODRÍGUEZ, Francisco Armando, reproducido de **La Robótica**, consultado 30/01/2007, en <http://www.monografias.com>.

<sup>36</sup> MACCHIAVELLO, Tatiana, reproducido de **Robótica**. Consultado 30/01/2007, en <http://www.monografias.com>.

Al examinar las definiciones anteriores queda claro que no existe una definición universalmente aceptada. Examinando la historia se percibe que el ser humano posee un sueño, que es, una máquina capaz de reproducir los movimientos y hasta cierto punto el comportamiento de los seres humanos o animales, al igual que desea tener, a su servicio siervos o esclavos privados de libertad, para verse liberados de tareas no deseadas, por tediosas, monótonas o peligrosas, o para entretenimiento.

Siguiendo esta línea de pensamiento se concibe la **máquina siervo**, por lo que el nombre dado actualmente para nombrar a esta máquina es adecuado, dicho nombre es: **robot**, palabra originada en el idioma checo, derivada de los vocablos **robota** que significa servidumbre o trabajo forzado y **robotnik** que significa siervo.

Después del análisis de la historia humana, todas las definiciones aportadas por entidades colegiadas así como por personas entendidas en la materia y del análisis del origen etimológico de la palabra empleada para nombrar a esta máquina. Se le puede definir como:

**Una máquina flexible, reprogramable, autónoma o semiautónoma al servicio del ser humano.**

Siguiendo con esta idea de servicio un grupo considerable de la población de robots sirve en los sectores productivos, realizando diferentes actividades productivas, a estos robots se les denomina *robots industriales*, para los cuales también existen varias definiciones las más importantes se presentan a continuación:

1. *Las Normas ISO definen a un Robot industrial, con la norma ISO 8373<sup>37</sup> la cual dice: Un manipulador multipropósito, reprogramable*

---

<sup>37</sup> Reproducido del documento publicado en <http://www.ifr.org>, consultado 16/03/2006, traducción libre.

- de tres o más ejes, controlado automáticamente.
2. *El Instituto Norte Americano de Robots*<sup>38</sup> (RIA<sup>†</sup> por sus siglas en inglés): “A reprogrammable, multi-functional manipulator designed to move material, parts, tools, or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks.”<sup>[10]</sup>. Al traducir el enunciado anterior, la definición expresa lo siguiente: Un manipulador reprogramable multifuncional, diseñado para mover materiales, partes o piezas, herramientas o dispositivos especiales, por medio de la programación variable de movimientos, para el desempeño de diversas tareas.
  3. *Asociación de Robótica Británica (BRA)*<sup>40</sup>: Un mecanismo diseñado para manipular y transportar piezas, herramientas o útiles especiales, por medio de movimientos variables programados para la ejecución de tareas específicas de manufactura.
  4. *Asociación Japonesa de Robótica Industrial (JIRA)*<sup>41</sup>: Dispositivos capaces de moverse de modo flexible análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, permitiendo operaciones en respuesta a las órdenes humanas.
  5. *Asociación Francesa de Normalización (AFNOR)*<sup>41</sup>: Establece una definición más completa, que define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot: **Manipulador**: mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico. **Robot**:

---

<sup>38</sup> Reproducido de la cita hecha en el libro **Robots and Manufacturing Automation**, página 138, traducción libre.

<sup>†</sup> El instituto Norte Americano de Robots actualmente es la Asociación de Robótica Industrial (RIA).

<sup>40</sup> Reproducido del libro **Cómo y Cuándo Aplicar un Robot Industrial**, página 13.

<sup>41</sup> Reproducido del documento publicado en <http://www.cpr2valladolid.com>, consultado 16/03/2006.

manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectoria variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas.

Se deja entrever, a pesar de que la definición es para un tipo específico de robots cada asociación lo define de forma particular, aunque aquí, sí se encuentran parámetros semejantes. En la mayoría de las definiciones anteriores se observa los siguientes puntos de concordancia: Un robot industrial es un **manipulador reprogramable capaz de mover objetos, materiales, herramientas o dispositivos especiales, para realizar tareas.**

## 2.2 Morfología

La forma y estructura de los robots condiciona en gran manera su funcionamiento y deberes así como su campo de aplicación. En términos generales la morfología requerida de un robot es: un cerebro, un cuerpo y un sistema sensorial. Estos son los elementos necesarios para conformar a un robot.

Observando estos elementos podemos hacer una comparación con el de un ser humano, del cual sabemos que esta conformado por: cerebro, esqueleto, sistema muscular, sistema nervioso, sistema sanguíneo, sentidos, extremidades y otros sistemas que en la actualidad no tiene equivalencia en un robot.

**El cerebro** de un robot son aquellos dispositivos empleados para ejecutar dos tareas muy importantes la primera es almacenar las instrucciones o programas, que son la guía de las acciones del robot. La segunda es la toma de decisiones, para corregir su actuar, esta tarea únicamente esta presente en aquellos robots que operan en lazo cerrado. Los dispositivos empleados para



almacenar las instrucciones o programas pueden ser: elementos discretos, memorias, micro procesadores, computadoras o cualquier elemento que sea capaz de guardar la programación.

**El esqueleto** de un robot lo conforman elementos rígidos que nos sirven para soportar las partes del cuerpo, en el cual hay eslabones con movimiento, unidos entre sí mediante articulaciones.

**Los músculos** proporcionan la fuerza necesaria para el movimiento, en un robot los músculos son los motores, u otros sistemas destinados a mover al robot, que pueden ser eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

**El sistema sanguíneo** empleado por los elementos de un robot es proporcionado por los cables o tuberías, que transportan la energía de la fuente energética, a los músculos.

**El sistema nervioso** esta conformado por todos aquellos cables, fibras ópticas o cualquier medio para llevar la información de los sensores al cerebro y del cerebro al o los efectores.

**Las extremidades** son conformadas por los manipuladores y efectores finales que pueden ser pinzas, garras, manos, patas, ruedas, herramientas, o cualquier elemento que cumpla con la función final para la que fue diseñado el robot.

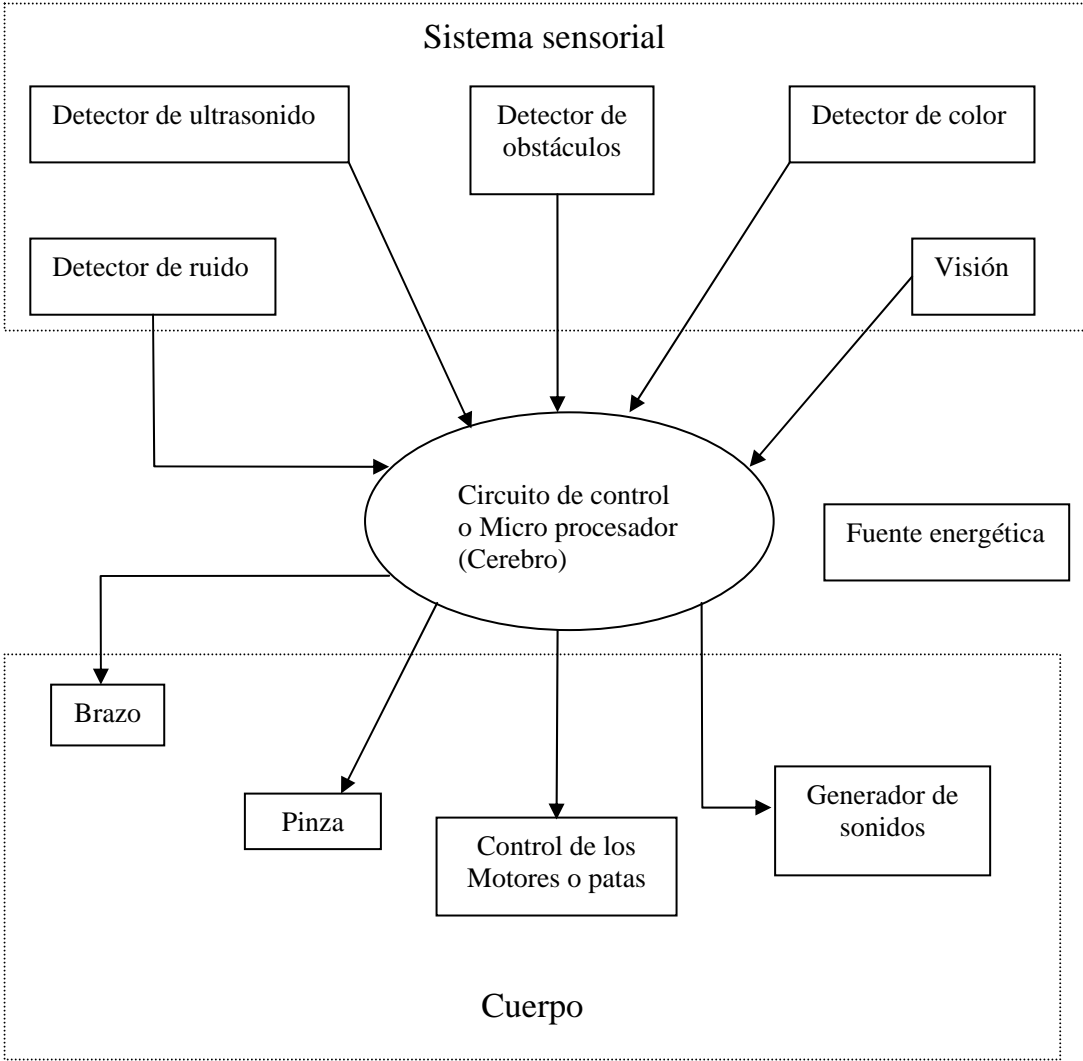
Finalmente **el sistema sensorial**, conformado por todos los elementos que capturan información de la posición del robot y de su entorno. Este sistema tiene dos propósitos; uno es obtener la información de la trayectoria seguida por el robot. Con esta información el cerebro del robot controla la trayectoria del

mismo y el segundo es obtener información del medio donde está actuando el robot y poder corregir su actuación ante un medio cambiante, cuando se da esta condición de un medio cambiante y el robot es capaz de adaptarse a los cambios, se le define como inteligente.

En términos generales la constitución de un robot es como se muestra en la figura 5. Siendo más específico dentro de la morfología del robot, se denotan dos subsistemas, estos subsistemas son los estructurales y los funcionales. Los estructurales comprenden los aspectos físicos y mecánicos del robot, mientras que los funcionales como su nombre lo indica comprende las funciones sensoriales y de control en las tablas I y II se presenta las diferentes partes que componen estos subsistemas.

Dentro de la morfología de los robots se distingue dos grandes grupos los cuales son robots fijos y móviles.

Figura 5. Constitución general de un robot.



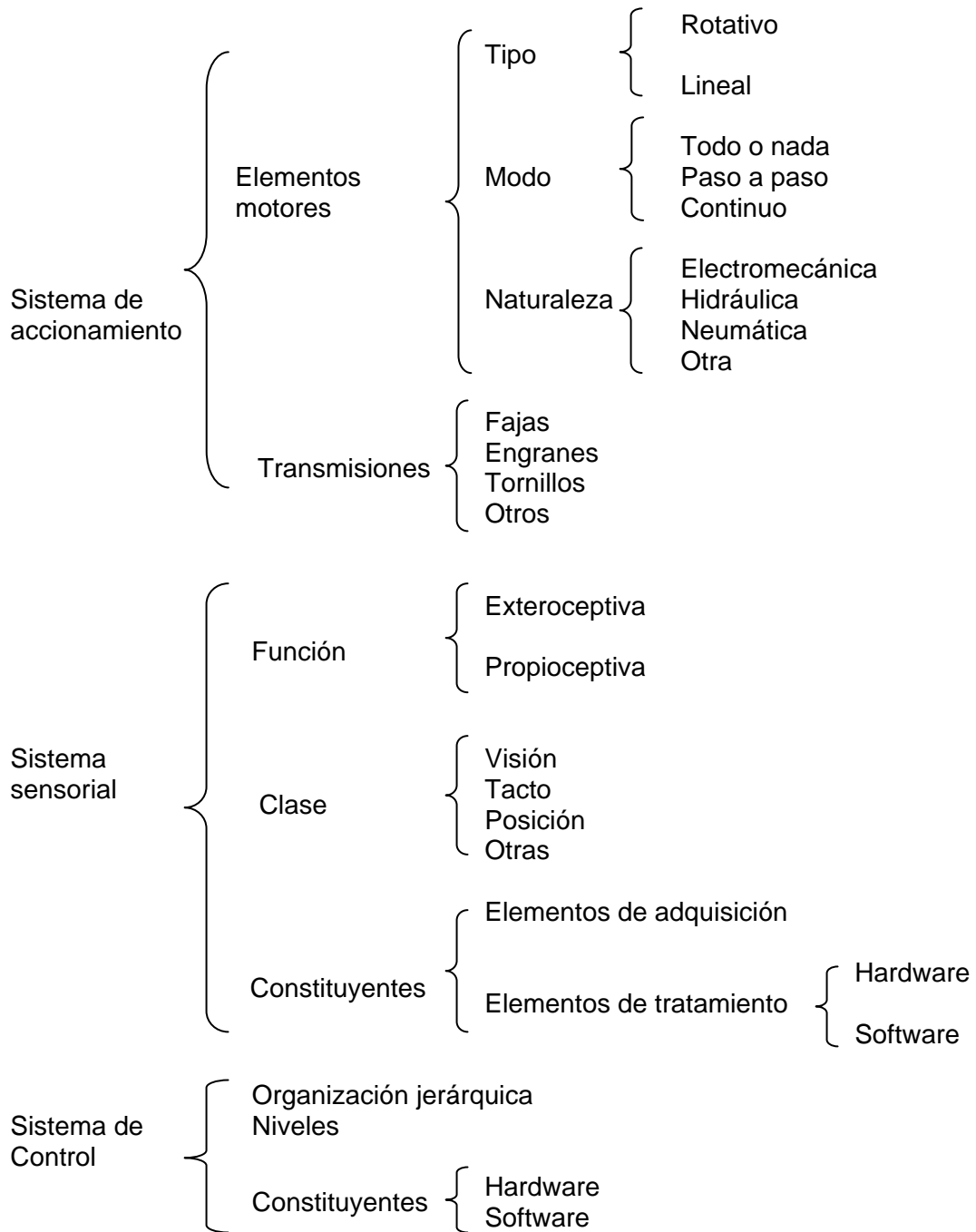
Fuente: (GIAMARCHI, 2001, 7)

**Tabla I. Subsistemas estructurales**

Cuerpo	{	Estructura			
	{	Elementos rígidos			
Brazos	{	Configuración	{	Cartesiana	
				Polar	
				Cilíndrica	
				Articular	
				Mixta	
	{	Constituyentes	{	Barras	{
				Articulaciones	
				Base	Compuestas
					Distribuidas
Sistema locomotor	{	Configuración	{	Deslizante	
				Rodante	
				Caminadora	{
					Bípeda
					Multipeda
				Rulante	{
					Orugas
				Otras	Cadenas
	{	Constituyentes	{	Barras	
				Articulaciones	
				Elementos rodantes y rulantes	
Elementos terminales	{	Clase	{	Presión	{
					Succión
					Electromagnético
				Otros	
				Categoría	{
					Todo o nada
					Progresivo
				Con o sin retorno sensorial	
	{	Acoplamiento	{	Herramienta/ Utillaje	
				Medición/ Detección	
				Integrado	
				Intercambiable	{
					Acción exterior
					Autónomamente

Fuente: (DUKE, 1989, 9)

**Tabla II. Subsistemas funcionales**

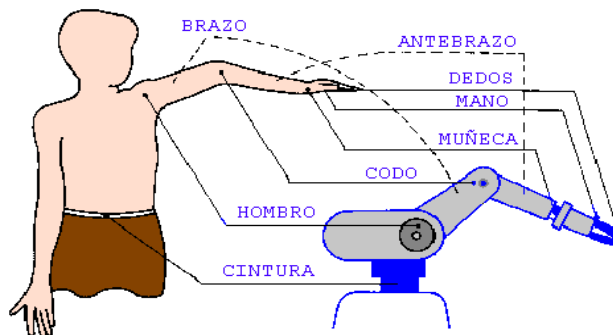


Fuente: (DUKE, 1989, 9)

### 2.2.1 Morfología del robot fijo

La constitución física de la mayor parte de los robots fijos guarda cierta similitud con la anatomía de las extremidades superiores del cuerpo humano, por lo que, en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, se usan términos como cintura, hombro, brazo, codo, muñeca, etc. En la figura 6 se muestra la analogía entre el humano y la máquina.

Figura 6. Analogía entre humano y robot.

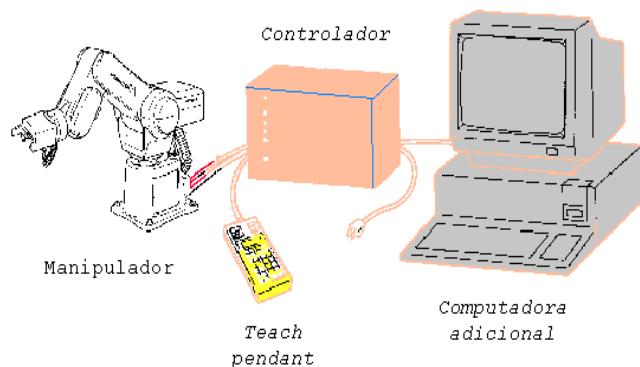


Fuente: (<http://www.cpr2valladolid.com>, 16/03/2006)

La manera usual de llamar a los distintos componentes de un brazo robótico se muestra en la figura 8. Un robot fijo completo consta de los siguientes elementos:

Figura 7. Elementos que constituyen un robot completo

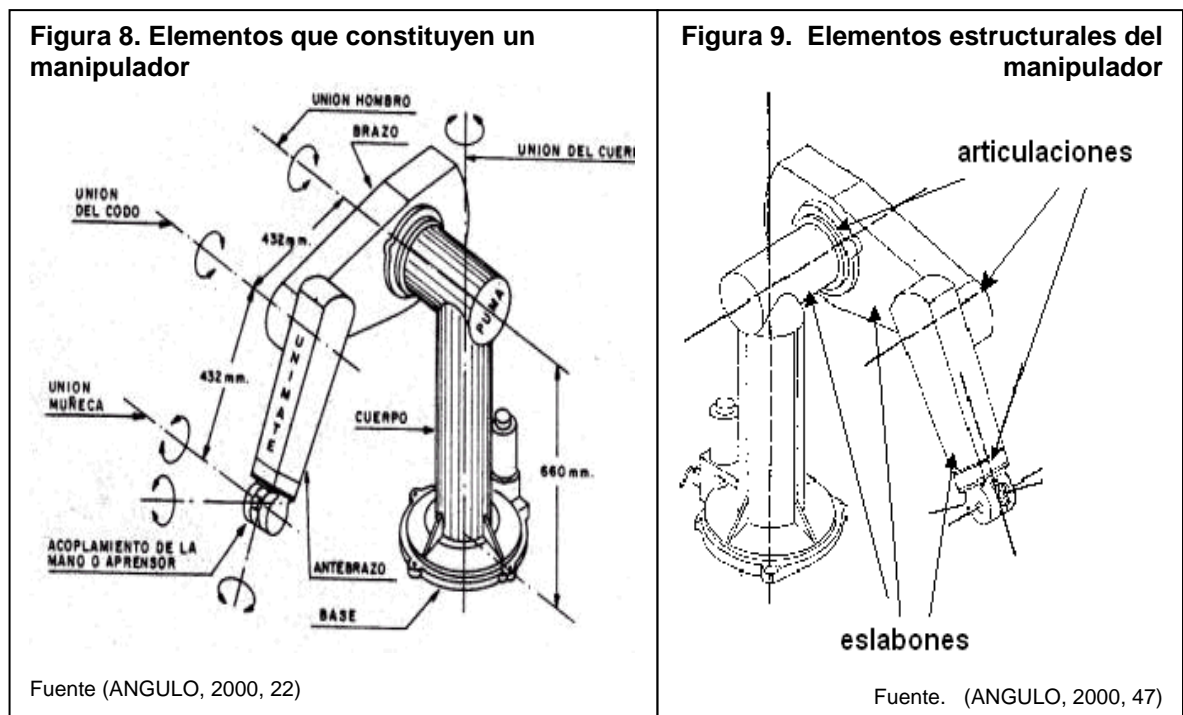
- Manipulador
- Controlador
- Dispositivos de entrada y salida de datos
- Dispositivos Especiales



Fuente: (<http://www.cpr2valladolid.com>, 16/03/2006)

### 2.2.1.1 Manipulador

Mecánicamente, es el componente principal. Está formado por una serie de elementos estructurales sólidos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. Como se muestra en la figura 9. Las partes que conforman el manipulador se muestran en la figura 8.

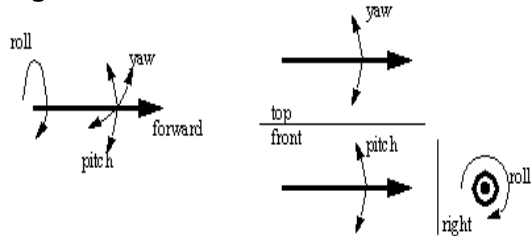


Cada articulación provee al robot de al menos, un grado de libertad. En otras palabras, las articulaciones permiten al manipulador realizar los movimientos. Siendo estos lineales y/o angulares. Dependiendo de si es angular o lineal se les clasifica así:

- Prismática /Lineal: Junta en la que el eslabón se apoya en un deslizador lineal. Actúa linealmente mediante tornillos sinfín acoplados a motores, o cilindros.
- Rotacional: Junta tipo giratoria, manejada por motores eléctricos y transmisiones, o por cilindros hidráulicos o palancas.

La orientación de un eslabón del manipulador se determina mediante los movimientos de rotación (roll), elevación (pitch) y desviación (yaw). Como se muestra en la figura 10.

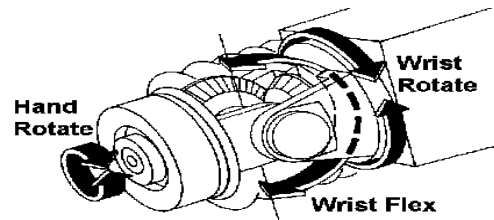
**Figura 10. Orientación de eslabones**



Fuente: (<http://www.cpr2valladolid.com>, 16/03/2006)

A la muñeca de un manipulador le corresponden los siguientes movimientos o grados de libertad: giro (*hand rotate*), elevación (*wrist flex*) y desviación (*wrist rotate*) como lo muestra la figura 11, aunque cabe hacer notar que existen muñecas que no pueden realizar los tres tipos de movimiento.

**Figura 11. Detalle de movimientos de la muñeca**



Fuente: (<http://www.cpr2valladolid.com>, 16/03/2006)

### 2.2.1.2 Controlador

Como su nombre indica, es el que regula cada uno de los movimientos del manipulador, las acciones, cálculos y procesado de la información. El controlador recibe y envía señales a otras máquinas-herramientas (por medio de señales de entrada / salida) y almacena programas.

Existen varios grados de control que son función del tipo de parámetros que se regulan, lo que da lugar a los siguientes tipos de controladores:

- *De posición:* el controlador interviene únicamente en el control de la posición del elemento terminal.



- *Cinemático*: en este caso el control se realiza sobre la posición y la velocidad.
- *Dinámico*: además de regular la velocidad y la posición, controla las propiedades dinámicas del manipulador y de los elementos asociados a él.
- *Adaptativo*: engloba todas las regulaciones anteriores y, además, se ocupa de controlar la variación de las características del manipulador al variar la posición.

Otra clasificación de control es la que distingue entre control en lazo abierto y control en lazo cerrado.

El control en lazo abierto da lugar a muchos errores, y aunque es más simple y económico que el control en lazo cerrado, no se admite en aplicaciones industriales en las que la exactitud es una cualidad imprescindible. La inmensa mayoría de los robots que hoy día se utilizan con fines industriales se controlan mediante un proceso en lazo cerrado, es decir, mediante un lazo de realimentación. Este control se lleva a cabo con el uso de un sensor de la posición real del elemento terminal del manipulador. La información recibida desde el sensor se compara con el valor inicial deseado y se actúa en función del error obtenido de forma tal que la posición real del brazo coincida con la que se había establecido inicialmente.

### **2.2.1.3 Dispositivos de entrada y salida**

Los más comunes son: teclado, monitor y caja de comandos (teach pendant). Los dispositivos de entrada y salida permiten introducir y, a su vez, ver los datos del controlador. Para mandar instrucciones al controlador y para dar de alta programas de control, comúnmente se utiliza una computadora adicional. Es necesario aclarar que algunos robots únicamente poseen uno de

estos componentes. En estos casos, uno de los componentes de entrada y salida permite la realización de todas las funciones.

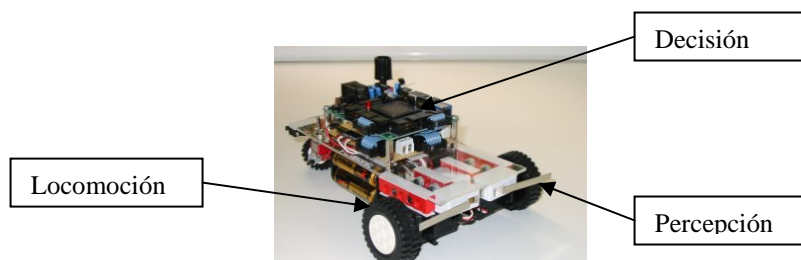
Las señales de entrada y salida se obtienen mediante tarjetas electrónicas instaladas en el controlador del robot las cuales le permiten tener comunicación con otras máquinas-herramientas.

Se pueden utilizar estas tarjetas para comunicar al robot, por ejemplo, con las máquinas de control numérico (torno). Estas tarjetas se componen de relevadores, los cuales mandan señales eléctricas que después son interpretadas en un programa de control. Estas señales nos permiten controlar cuándo debe entrar el robot a cargar una pieza a la máquina, cuando deben empezar a funcionar la máquina o el robot, etc.

### 2.2.2 Morfología del robot móvil

La tarea fundamental de un robot móvil es el desplazamiento en un entorno conocido o desconocido. Por tanto, es necesario conocer la posición del robot en su universo de forma precisa o relativa, según el caso. La estructura fundamental de un robot móvil consta de tres funciones esenciales que son:

- Locomoción
- Percepción
- Decisión



Fuente: (<http://jdllope.tripod.com>, 14/02/2007)

### **2.2.2.1 Locomoción**

Se descompone en dos partes: La que realiza el apoyo sobre el medio en el que se espera que se desplace y la que permite su propulsión. Esta última incluye los motores y los mecanismos que permiten el desplazamiento.

Los medios de desplazamiento son numerosos y es conveniente aplicar un tratamiento diferente dependiendo de que el móvil se vaya a desplazar por el suelo o dentro de un determinado medio.

### **2.2.2.2 Percepción**

Es la parte más difícil constituida por dos etapas sucesivas que son:

- Lectura de los sensores
- Tratamiento de la información

El robot debe ser capaz de analizar un objeto localmente y, a continuación, colocar globalmente todos los objetos en sus posiciones relativas. De esta manera, construye un modelo de su entorno a medida que avanza en su exploración.

### **2.2.2.3 Decisión**

Los datos procedentes de los diferentes sensores deben ser interpretados, como otros tantos elementos útiles para la toma de decisiones sobre la acción que hay que llevar a cabo, siendo el objetivo dar ordenes correctas a los accionadores. Es necesario establecer prioridades de acuerdo a la información recibida. Por ejemplo, si se recibe la información de un choque frontal es una información prioritaria, que implica una decisión de parar o movimiento en otra dirección.

## **2.3 Arquitectura**

La arquitectura de un robot comprende los programas y elementos

físicos con los que cuenta para el control del mismo. Su arquitectura definirá como se organizará la producción de acciones a partir de percepciones. La arquitectura de los robots se subdivide en dos grandes grupos los de arquitectura fija y los de arquitectura metamórfica, la metamorfosis es un concepto introducido en la robótica para aumentar la flexibilidad de un robot a través del cambio de su configuración por sí mismo. El metamorfismo admite diversos niveles, desde los más elementales, tales como; cambio de herramienta o efector final, hasta los más complejos tales como, alteración de algunos de sus elementos o subsistemas estructurales.

## **2.4 Clasificación**

Pero para poder ser más específicos es necesario emplear alguna forma de clasificación. Existen diferentes criterios para clasificar a los robots algunos de ellos son:

- Por su complejidad
- Por su arquitectura
- Por su campo de aplicación
- Por su morfología

### **2.4.1 Por su grado de complejidad**

- Robots de primera generación
- Robots de segunda generación
- Robots de tercera generación

#### **2.4.1.1 Robots de primera generación**

Dispositivos que actúan como "esclavo" mecánico de un hombre, quien provee mediante su intervención directa el control de los órganos de movimiento. Esta transmisión tiene lugar mediante servomecanismos actuados por las extremidades superiores del hombre, caso típico manipulación de

materiales radiactivos, obtención de muestras submarinas, etc.

#### **2.4.1.2. Robots de segunda generación**

El dispositivo actúa automáticamente sin intervención humana frente a posiciones fijas en las que el trabajo ha sido preparado y ubicado de modo adecuado ejecutando movimientos repetitivos en el tiempo, que obedecen a lógicas combinatorias, secuenciales, programadores paso a paso, neumáticos o Controladores Lógicos Programables (PLC).

Un aspecto muy importante está constituido por la facilidad de rápida reprogramación que convierte a estos Robots en unidades "versátiles" cuyo campo de aplicación no sólo se encuentra en la manipulación de materiales sino en todo los procesos de manufactura, como por ejemplo: en el estampado en frío y en caliente asistiendo a las máquinas-herramientas para la carga y descarga de piezas. En la inyección de termoplásticos y metales no ferrosos, en los procesos de soldadura a punto y continúa en tareas de pintado y reemplazando con ventaja algunas operaciones de máquinas convencionales.

#### **2.4.1.3 Robots de tercera generación**

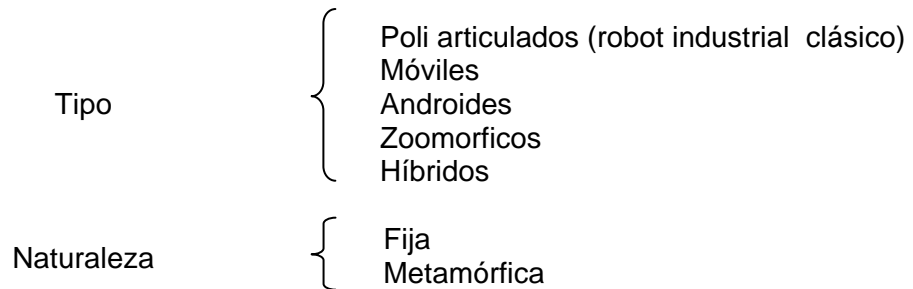
Son dispositivos que habiendo sido contruidos para alcanzar determinados objetivos serán capaces de elegir la mejor forma de hacerlo teniendo en cuenta el ambiente que los circunda.

Para obtener estos resultados es necesario que el robot posea algunas condiciones que posibiliten su interacción con el ambiente y los objetos. Las mínimas aptitudes requeridas son: capacidad de reconocer un elemento determinado en el espacio y la capacidad de adoptar propias trayectorias para conseguir el objetivo deseado.

Los métodos de identificación empleados hacen referencia a la imagen óptica por ser éste el lenguaje humano en la observación de los objetos, sin

embargo no puede asegurarse que lo que es natural para el hombre, constituye la mejor solución para el robot.

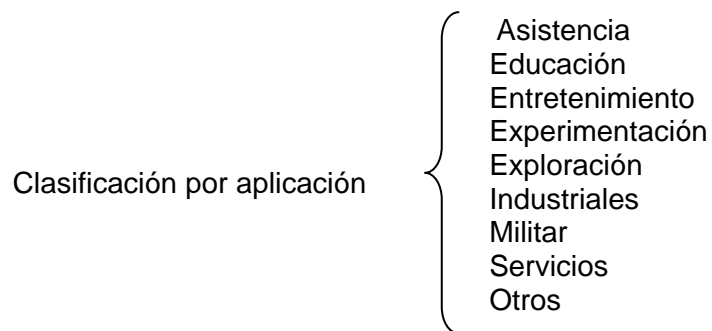
### 2.4.2 Por su arquitectura



Fuente: (DUKE, 1989, 9)

### 2.4.3 Por su campo de aplicación

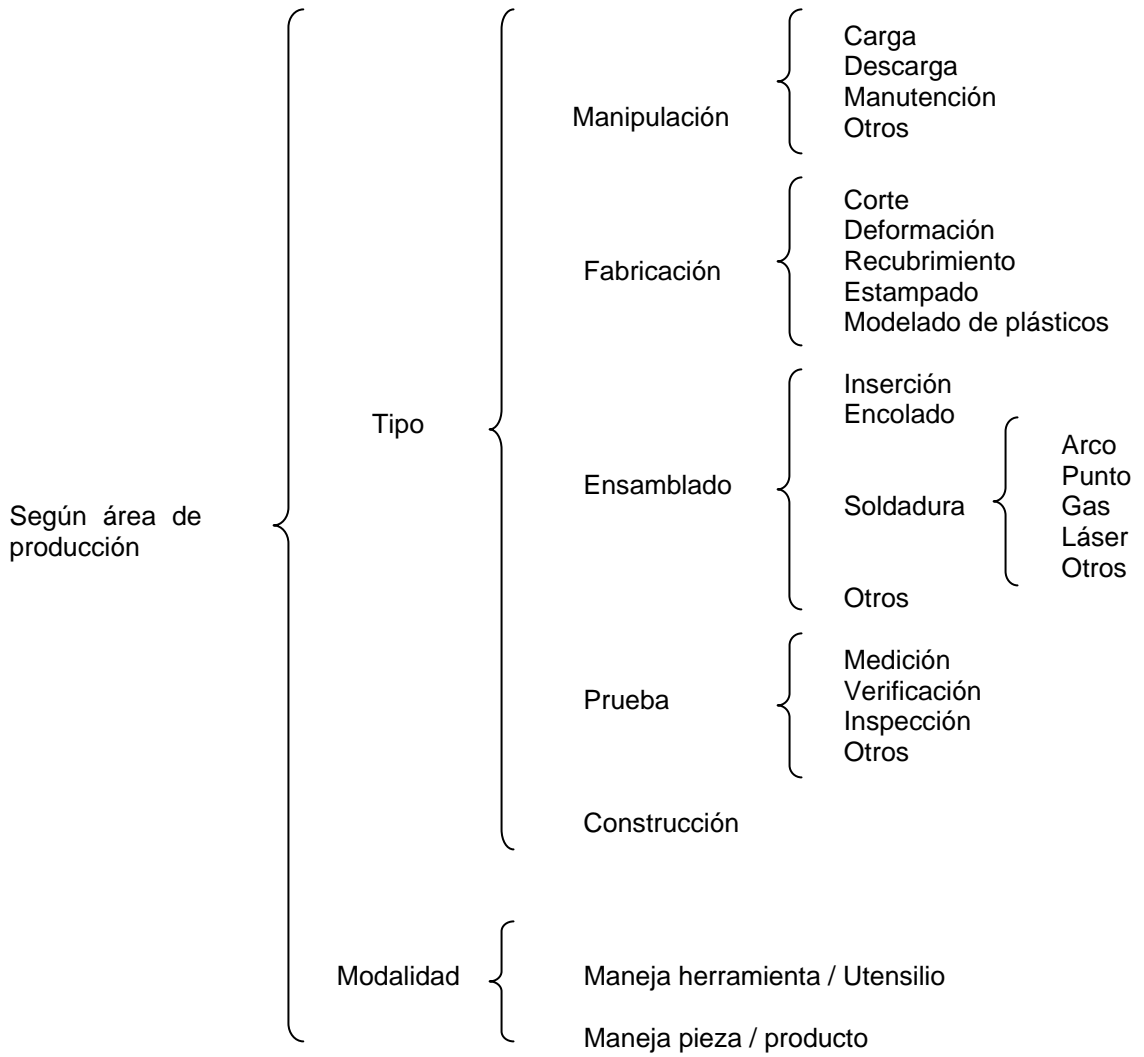
La clasificación de acuerdo a la aplicación es como sigue.



En algunos de los campos se tiene subclasificaciones específicas, así tenemos la clasificación de robots industriales, de servicios, asistencia, y exploración. Representadas en las tablas III, IV, V, VI

**Tabla III. Clasificación de robots industriales**

Según número de ejes	{	Con 3 ejes Con 4 ejes Con 5 ejes o más	
Según tipo de control	{	Servo-controlados Computadora Secuencia controlada Trayectoria operada /continua Adaptativo Inteligentes Teleoperados	
Según tipo de estructura mecánica	{	Cartesianos Cilíndricos SCARA Antropomórficos Paralelos Polares	{ Esféricos Articulares
Según fuente de energía	{	Eléctrica Neumática Hidráulica	
Según tipo de trabajo	{	Aprendizaje y /o repetición Manipuladores	
Según su tamaño	{	Robots Mini-robots Micro-robots Nano-robots	

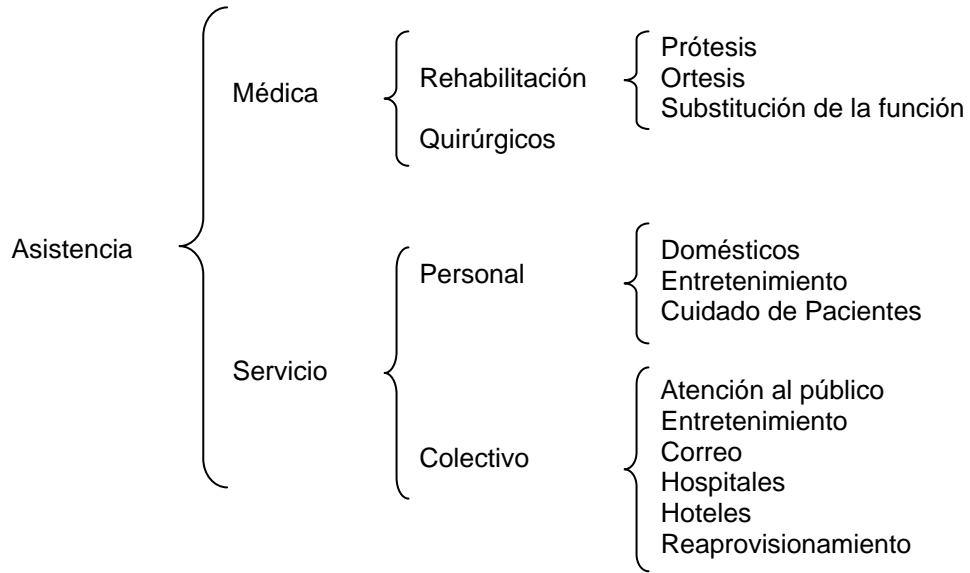




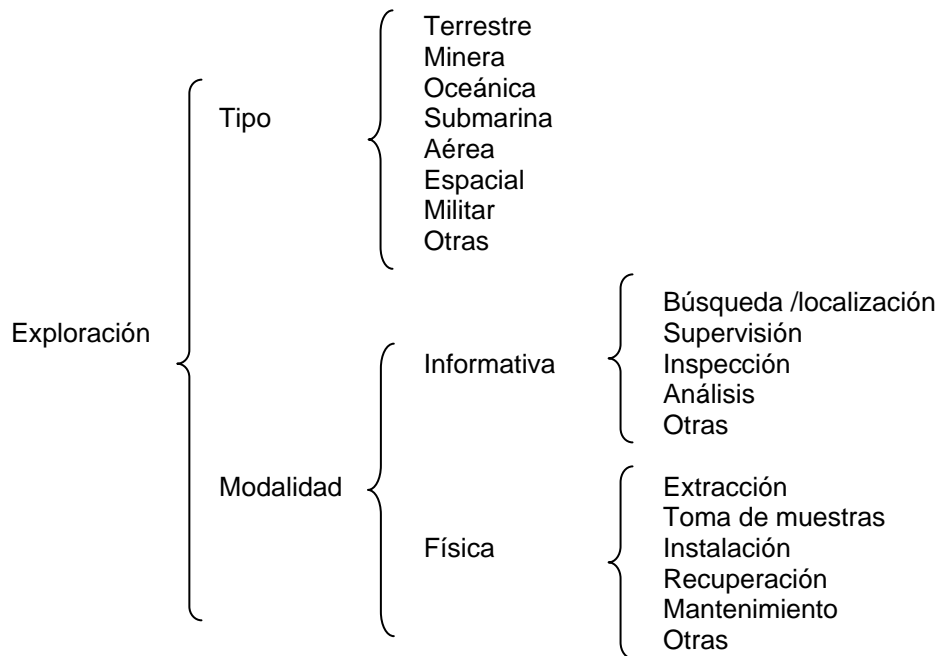
**Tabla IV. Clasificación de robots de servicios**

Según tipo de interacción	Con seres humanos	Personal Seguridad Entretenimiento Etc.
	De equipamiento	Mantenimiento Reparación Limpieza Etc.
	Otros	Transporte Adquisición de datos Cualquier servicio no previsto que no pueda clasificarse como de equipamiento o con seres humanos
Según área de aplicación	Limpieza	Ventanas Muros Tanques Suelos etc.
	Alcantarillado	Inspección Limpieza
	Caminantes y escaladores	Inspección Limpieza
	De inspección	De plantas Industriales Centrales nucleares Puentes etc.
	Agricultura	Recolección Clasificación Reforestación etc.
	Emergencias	Desactivar bombas Apagar incendios etc.

**Tabla V. Clasificación de robots de asistencia**



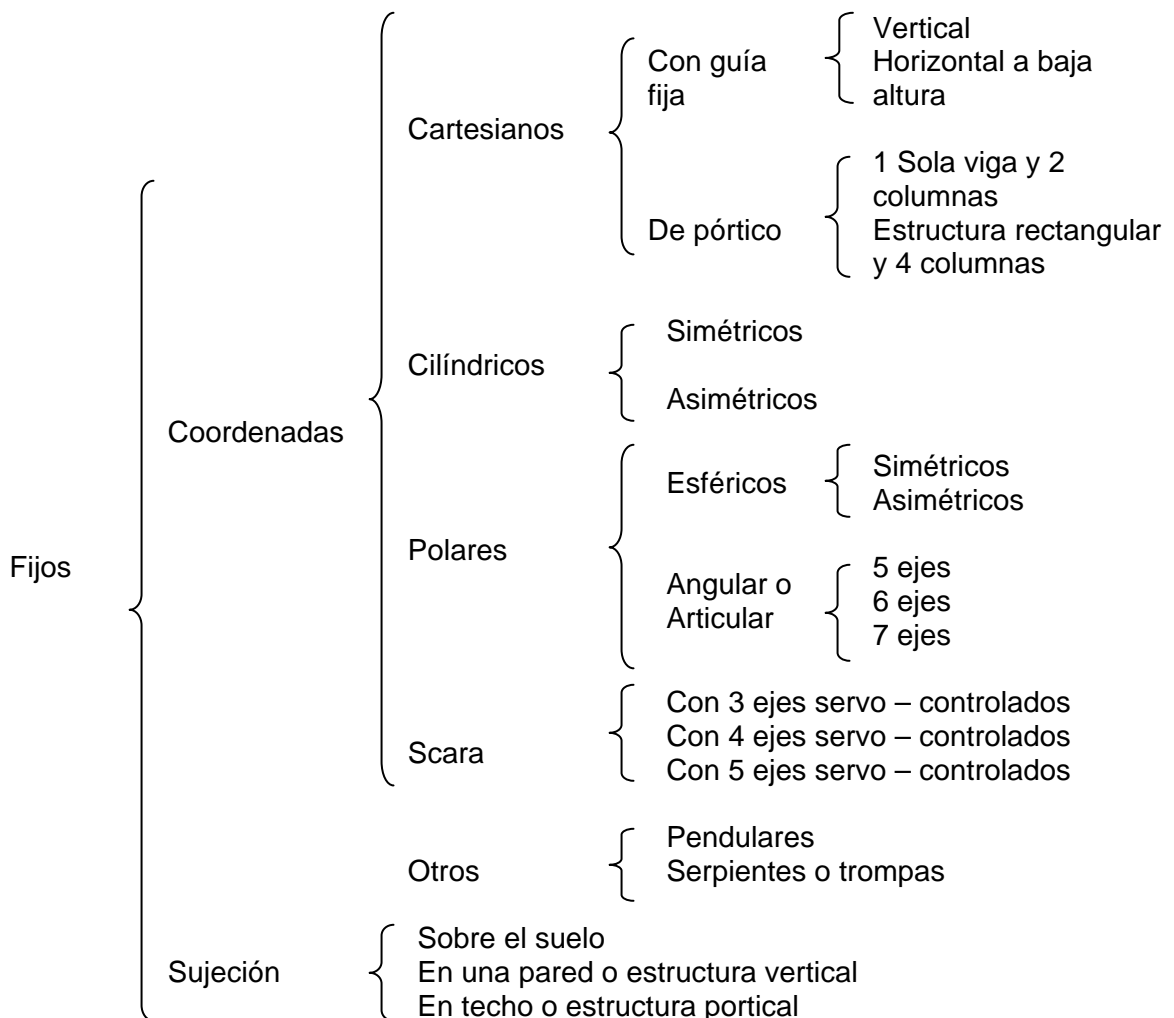
**Tabla VI. Clasificación de robots de exploración**



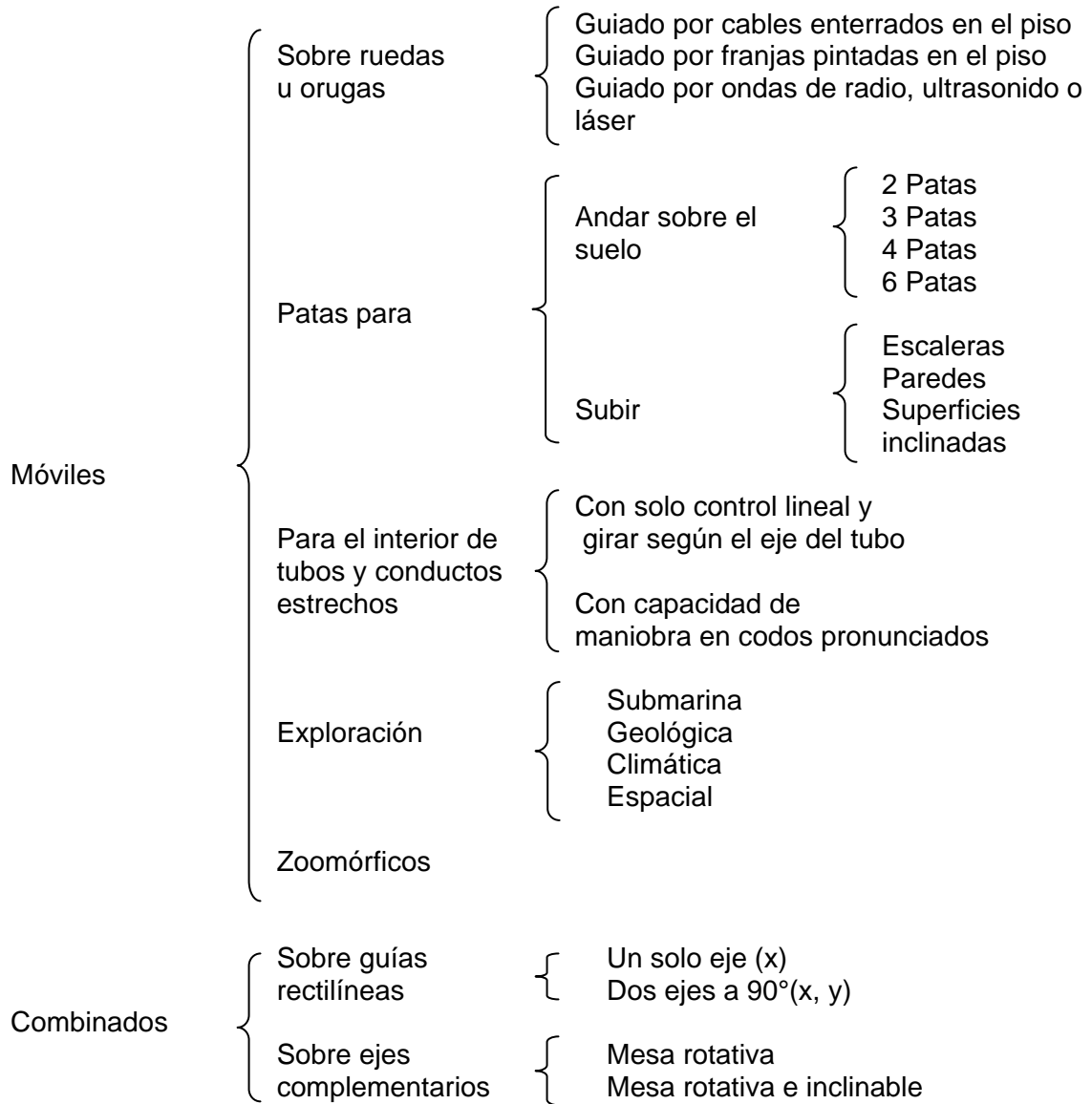
## 2.4.4 Por su morfología

Los robots se les puede clasificar de acuerdo a su morfología, de acuerdo a una característica principal, se los clasifica en fijos, móviles y combinados, estos últimos añaden a un robot fijo cierto grado de movilidad al añadir ejes para desplazarlos.

**Tabla VII. Clasificación por su morfología**



Fuente: (AUDÍ, 1988, 26 – 28)



Fuente: (AUDÍ, 1988, 26 – 28)

### **3. INTERACCIÓN CON EL MEDIO**

La relación de los robots con el medio se manifiesta de dos formas. La primera es percibir el medio y la segunda es actuar en el medio. La percepción se lleva a cabo por medio de elementos o dispositivos sensores mientras que el actuar es por medio de los llamados actuadores o efectores.

#### **3.1 Percepción**

Como ya se dijo los robots perciben el medio a través de los sensores. Se define a un sensor como: Dispositivo capaz de transformar los cambios en una característica del medio físico en otra. Pero debido a que no todos los cambios del medio físico son posibles de recrear para obtener una representación aplicable a una escala de medida. Aunado con los sensores se emplean transductores los cuales son un conjunto de dispositivos o elementos que junto a los sensores son capaces de transformar los cambios de una característica del medio físico en una señal eléctrica codificada. Pero con esta señal aun no es garantía de que la información obtenida sea correcta por lo tanto útil, por ello se debe establecer un proceso de calibración que establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida la cual es susceptible de ser procesada y empleada en los algoritmos de control de los robots.

El objetivo de los sensores es percibir, el medio y el actuar del robot con la información percibida se logra un control más preciso del robot. Este control tiene por objetivo dos funciones la primera es, cumplir a cabalidad con la o las funciones para las que fue creado y la segunda es, no poner en riesgo al humano.

### **3.1.1 Clasificación de los sensores**

Al clasificar los sensores en relación a la información que suministran, se les clasifica en internos, externos y de seguridad.

El uso de robots en actividades en las cuales se requiere control sobre diferentes tipos de variables o zonas donde se requiere precisión la cual es crítica. Lo que pone en evidencia que es insuficiente la información proporcionada por un sensor. Para superar esta deficiencia se emplean conjuntos de sensores. Dependiendo del objetivo buscado pueden ser: del mismo tipo o de distintos tipos. Esto involucra a sensores internos y externos en la consecución de un mismo fin por ejemplo. El mover un objeto mediante un brazo robótico, este estará dotado de todos los sensores internos necesarios para ir de la posición A hasta B con el objeto, pero para asegurar que esto será cumplido se utilizan sensores externos tales como cámaras para procesar imágenes del funcionamiento, con esta información se reducirá en gran medida los errores de operación que pudieran existir.

El empleo de conjuntos de sensores del mismo tipo, conlleva el robustecer y mejorar el grado de fiabilidad del sistema, cuando es diferente el conjunto de sensores se incrementa la flexibilidad del sistema.

La conjunción de sensores sea del mismo o de diferente tipo conlleva una avalancha de información, la cual debe ser procesada e interpretada para dar una respuesta correcta en un lapso de tiempo establecido, en este proceso la información obtenida puede ser contradictoria, redundante o simplemente ser ruido. Por ello, es necesario emplear técnicas que permitan la combinación de los sensores, a este proceso se le conoce como fusión o integración de sensores.

Al integrar sensores en una red podemos encontrar diferentes configuraciones las cuales atendiendo varios factores determinarán su complejidad o si son centralizadas o distribuidas etcétera, pero atendiendo a la forma en que los sensores se integran a la red sensorial, siendo las más empleadas las denominadas: complementaria, competitiva e híbrida.

El emplear cualquiera de estas configuraciones requiere siempre que la información sea procesada. El procesamiento de la información proveniente de los sensores puede descomponerse en dos caminos bien definidos uno para el procesamiento de información de la medida de variables físicas (posición, velocidad, fuerza aceleración, par, etc.) y el otro en función del reconocimiento de características físicas (color, tamaño, forma, etc.)

#### **3.1.1.1 Sensores internos**

Los sensores internos son empleados para obtener información que es empleada por los sistemas de control del robot, para mantener dentro de los parámetros la actuación del mismo. Dependiendo de la naturaleza de la actividad las variables a controlar del robot pueden ser:

- Posición (lineal o angular).
- Velocidad (lineal o angular).
- Dirección.
- Fuerza.
- Par o torque.
- Presión.
- Temperatura.
- Humedad.
- Nivel.
- Flujo.

### **3.1.1.2 Sensores externos**

Los sensores externos empleados para obtener información de lo que esta a su alrededor, es empleada por los sistemas de control del robot, para verificar o modificar el actuar del robot, al igual que cuando se presente un cambio en el medio el robot pueda continuar con su actividad, detenerse en el punto o volver a la posición inicial o de reposo. Dependiendo de la naturaleza de la actividad las variables a controlar pueden ser:

- Proximidad.
- Contorno.
- Sonido.
- Imágenes.
- Presencias.
- Posición.
- Control de calidad.

### **3.1.1.3 Sensores de seguridad**

Son los sensores destinados a indicar la presencia de seres humanos en las proximidades del robot. Esto es necesario ya que la actividad, tamaño o cualquier característica del robot que ponga en riesgo al ser humano o de que se le infrinja algún daño debe ser evitada. Por lo tanto, al percibir la presencia de un o varios seres humanos en las proximidades del robot. Este pasara a un estado definido por el usuario o detendrá su actuar.



#### **3.1.1.4 Red sensorial complementaria**

Esta configuración es realizada de tal manera que la información de uno complementa la del otro. Para dar un panorama más amplio de lo que se pretende medir. En esta configuración de los sensores no hay una dependencia directa. Con lo que es fácil fusionarlos, la información de los sensores se integra como un mapa que describe de mejor forma lo medido.

#### **3.1.1.5 Red sensorial competitiva**

Utilizando diferentes tipos de sensores para captar una misma variable, con lo que se obtiene información redundante. Obteniéndose discrepancias, por lo que se obtiene una competencia entre sensores, por ejemplo: posición un camino para ubicar un punto en el espacio de acción del robot es vía sensores internos el otro es con los externos, ambos proporcionan la posición del robot, al comparar obtenemos un error y el sistema de control determinara si el error es aceptable o debe corregirse.

#### **3.1.1.6 Red sensorial híbrida**

Esta configuración se da cuando el conjunto de sensores es usado para alcanzar varios objetivos al mismo tiempo.

#### **3.1.1.7 Combinación sensorial**

En los apartados anteriores se habla de varios sensores que proporcionan información, pero para que esta información pueda utilizarse debemos fusionarla. La combinación sensorial consiste en la fusión de los datos independientes de los sensores empleados. Para proporcionar una señal única del fenómeno monitorizado. Con lo que obtenemos un sensor imaginario.

El objetivo de la combinación sensorial es obtener datos más fiables y precisos de los que un sensor real puede dar. Cabe anotar que los datos fusionados podrán ser diferentes a uno o todos los sensores empleados.

Como ya se ha dicho la información de los sensores puede seguir dos caminos que son el reconocimiento de objetos o la medida de variables físicas. Siguiendo estos caminos tenemos que para cada uno existe combinación de sensores, lo que permite subdividirlos.

#### **3.1.1.7.1 Combinación sensorial para medidas**

Para combinar sensores cuya función es la de captar las variaciones físicas y estas variaciones sean reflejadas en una escala que permita medir esta variación se emplean tres técnicas y son: la centralizada, la distribuida y la híbrida.

##### **3.1.1.7.1.1 Combinación sensorial centralizada**

En esta técnica primero se deben asociar y alinear los datos para poder transformar los datos de cada sensor en un único patrón de medida, que será el empleado por la unidad central. Hecho esto se entra a un proceso de correlación de los datos de cada sensor. Posteriormente se les combinará, siendo el más preciso, siempre y cuando todo lo anterior se haya hecho correctamente. Su mayor desventaja es: El tener que enviar la totalidad de la información a la unidad central.

##### **3.1.1.7.1.2 Combinación sensorial distribuida**

La técnica implica que cada sensor haga una estimación de la medida y el resultado lo deposite en un vector de estado. Obtenido este vector es enviado a la unidad central donde se procederá a su combinación y correlación. La

ventaja de esta técnica, es que el envío de información por estar condensada en un vector es compacto y las técnicas de correlación son más simples. La mayor desventaja es que no puede ser tan preciso como el anterior.

#### **3.1.1.7.1.3 Combinación sensorial híbrida**

Esta técnica emplea las características de las anteriores convirtiéndose en la más versátil.

#### **3.1.1.7.2 Combinación sensorial para el reconocimiento**

El reconocimiento implica que se obtendrá información con los sensores de las características de un objeto. Al interpretar estos datos se podrá reconocerlo, habiendo tres formas de hacer esto las cuales son: de datos, de características y de interpretación.

##### **3.1.1.7.2.1 Combinación sensorial de datos**

Es el método de más bajo nivel, se efectúa directamente en los datos proporcionados por los sensores, siendo el más fácil de procesar. El requisito indispensable para realizar este método es que los datos posean características similares. Lo que implica que los sensores deben ser iguales o equivalentes, o proceder del mismo sensor pero en instantes de tiempo distintos. Su desventaja es el operar en la totalidad de los datos.

##### **3.1.1.7.2.2 Combinación sensorial de características**

Este proceso se realiza después de haber extraído la característica de los datos proporcionados por los sensores. Esta información se deposita en un vector que se le denomina vector de característica, sobre este vector se realiza la combinación. Hecha la fusión se realiza un proceso de búsqueda de patrones.

### **3.1.1.7.2.3 Combinación sensorial de interpretación**

Para realizar esta combinación, la información proporcionada por cada sensor se procesa individualmente, y se extrae en forma individual una interpretación preliminar, seguidamente estas interpretaciones se fusionan para obtener la interpretación fina.

### **3.1.1.7.3 Nivel de combinación**

La determinación del nivel donde se realice la combinación es decisión de ingeniería, para ello debe tomarse en cuenta diversos parámetros tales como: características de los sensores, tipos de sensores, recursos computacionales, ancho de banda para la comunicación, etc.

## **3.2 El actuar**

Cuando un robot se mueve, está actuando en el medio. El robot posee una estructura mecánica la cual debe ser movida para realizar la tarea o tareas designadas. Para producir este movimiento hay que emplear elementos motrices los cuales necesitan energía para efectuar dicho movimiento, la energía empleada puede provenir de dos fuentes, una fuente es eléctrica y la otra fuente es la mecánica proveniente de la compresión de fluidos. Usualmente se divide en dos grandes grupos denominados hidráulicos y neumáticos. Los actuadores hidráulicos emplean fluidos generalmente aceite, y los neumáticos aire.

### **3.2.1 Estructura mecánica**

Esta estructura puede subdividirse en: efector terminal, brazo y plataforma móvil, los robots fijos en su mayoría no cuentan con esta última, en los móviles puede o no tener brazo.

### **3.2.1.1 Efecto terminal**

Como su nombre lo indica es el elemento que realiza la tarea, en el robot móvil son ruedas o patas, o el elemento que le sirva al robot para desplazarse en el medio que esté inmerso. Según la tarea o actividad de éste puede tener otros dispositivos. La razón de la existencia de distintos elementos terminales es, por la diversidad de funciones que realizan y por esa diversidad se ha conceptualizado un punto denominado *punto de centro de herramienta* (TCP, Tool Center Point) que es el punto focal del elemento final.

Dependiendo de la tarea, generalmente son elementos colocados en el extremo de un brazo que se adosan a una muñeca, a estos se les divide en tres grupos: el primero es el denominado de herramientas, el segundo es el de las garras y el tercero es el de los dispositivos especiales<sup>α</sup>.

#### **3.2.1.1.1 Herramientas**

Estos son dispositivos especiales diseñados para realizar una tarea específica, tales como: soldar, pintar, perforar, etc.

#### **3.2.1.1.2 Garras**

Cuando la tarea no es específica o muy especial se emplean garras o elementos tipo gancho o postes que ingresan en agujeros del objeto para poder atraparlas. Las garras de sujeción se subdividen de acuerdo al número de dedos que poseen.

---

<sup>α</sup> Ver apéndice A

### **3.2.1.1.3 Especiales**

Estos efectores terminales pueden ser sujetadores por acción de vacío, o magnético, algunos diseños pretenden crear una garra universal capaz de sujetar objetos de formas irregulares desde cualquier ángulo, la mano humana es un ejemplo de ello.

### **3.2.1.2 Brazo**

Elemento constituido por elementos rígidos unidos por articulaciones, en su extremo libre se encuentra la muñeca a la cual se adosa la garra de sujeción o herramienta de trabajo.

Cuando se habla de brazo se tiene una idea, que éste será, como un brazo humano, algunos en efecto son iguales en relación al número de elementos y número de articulaciones como el mostrado en la figura 2-2, que combinadas recrean los movimientos del brazo humano, pero en general los brazos robóticos no están limitados a seguir esta anatomía un ejemplo de ello es el empleado por el robot industrial escara.

La anatomía del brazo robótico depende de algunos factores tales como: tipo de coordenadas (cartesianas, cilíndricas, polares, esféricas), tipo de tarea, grados de libertad, etcétera, usualmente la mayor demanda de robots es industrial en lo referente a necesidad de brazo<sup>β</sup>.

### **3.2.1.3 Plataforma móvil**

Los brazos están limitados a un alcance que depende de los elementos que lo constituyen y dependiendo de los requerimientos esta área puede ser un

---

<sup>β</sup> Ver apéndice B

cubo, un cilindro o una esfera, si a estos se les monta sobre una plataforma móvil es posible desplazarlos en el espacio, habiendo algunas tareas en donde no es necesario un brazo sino solo un robot móvil dependiendo de los requerimientos donde se empleara puede ser terrestre, acuático, aéreo, espacial, etc.

### **3.2.2 Elementos motrices**

Los elementos motrices son: Aquellos capaces de transformar la energía que reciben, en energía mecánica de movimiento ya sea lineal o angular. Como se dijo, estos pueden ser eléctricos, hidráulicos o neumáticos. El empleo de uno u otro dependerá de los requerimientos de la tarea a realizar.

#### **3.2.2.4 Eléctricos**

Se considera elemento motriz eléctrico, a todo aquel elemento que empleando electricidad produce una acción determinada. Tales acciones pueden ser la activación de relés, relevadores, solenoides y/o motores, los cuales producen un movimiento rotatorio continuo. La clasificación se presenta en la tabla VIII .

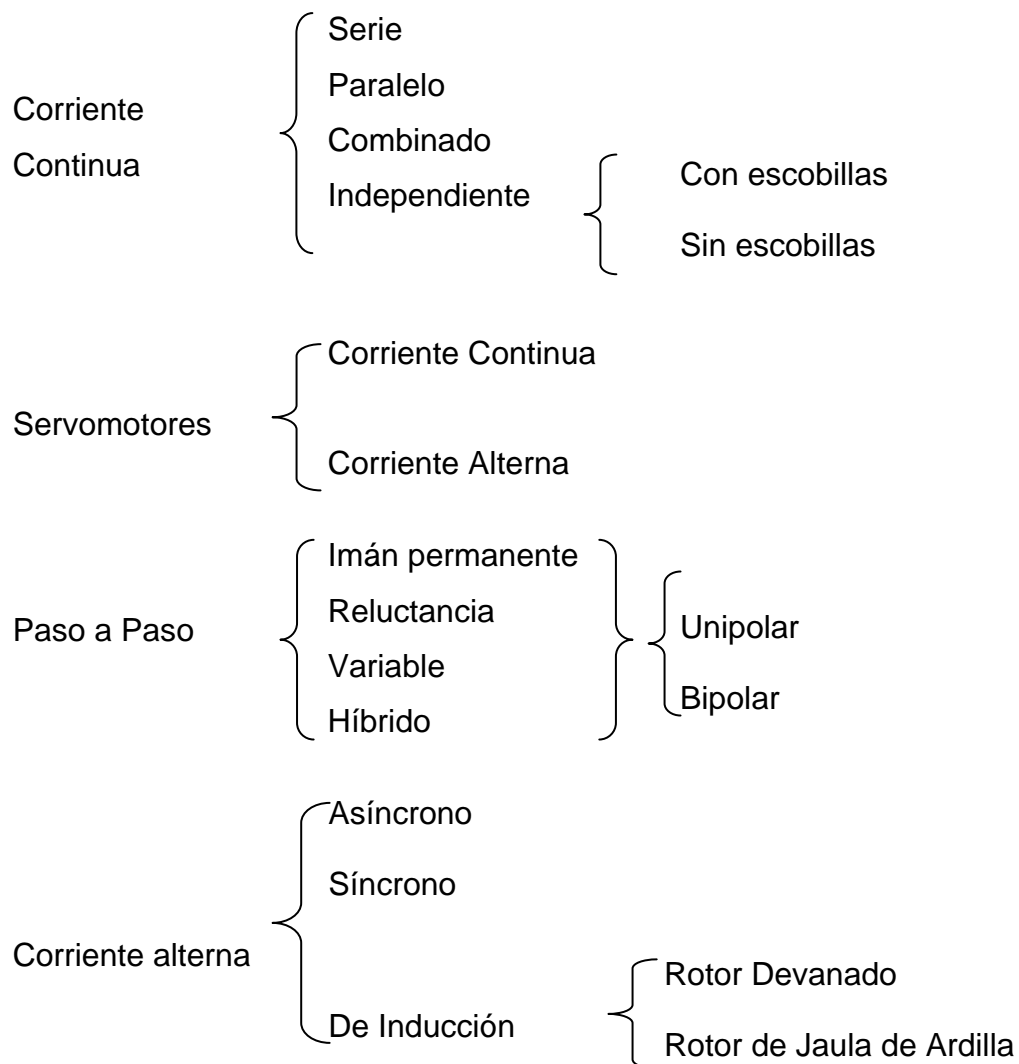
#### **3.2.2.5 Hidráulicos**

Se considera elemento motriz hidráulico, a todo aquel elemento que mediante la compresión de un líquido, generalmente aceite mineral, produce una acción determinada. Tales acciones pueden ser la activación de relés, accionadores lineales y/o motores, los cuales producen un movimiento rotatorio continuo.

### 3.2.2.6 Neumáticos

Se considera elemento motriz neumático a todo aquel elemento que mediante la compresión de un gas produce una acción determinada. Tales acciones pueden ser la activación de relés, accionadores lineales y/o motores, los cuales producen un movimiento rotatorio continuo, usualmente el gas empleado es el aire.

**Tabla VIII. Cuadro sinóptico clasificación de los motores eléctricos**





### 3.2.3 Comparación entre los diferentes tipos de actuadores

En la tabla que a continuación se presenta se resume los actuadores utilizados en robótica así como sus ventajas y desventajas:

<b>Tabla IX. Características de los distintos tipos de actuadores para robots</b>			
	Neumáticos	Hidráulicos	Eléctricos
Energía	Aire a presión (5-10 bar)	Aceite mineral (50-100 bar)	Corriente eléctrica
Opciones	Cilindros Motor de paletas Motor de pistón	Cilindros Motor de paletas Motor de pistones axiales	Corriente continua Corriente alterna Motor paso a paso Servomotor
Ventajas	Baratos Rápidos Sencillos Robustos	Rápidos Alta relación potencia-peso Autolubricantes Alta capacidad de carga Estabilidad frente a cargas estáticas	Precisos Fiables Fácil control Sencilla instalación Silenciosos
Desventajas	Dificultad de control continuo Instalación especial (compresor, filtros) Ruidoso	Difícil mantenimiento Instalación especial (filtros, eliminación aire) Frecuentes fugas Caros	Potencia limitada

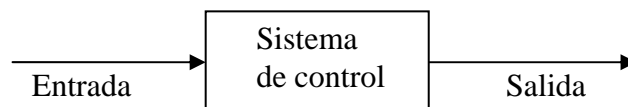
Fuente: <http://www.chi.itesm.mx>, 19/03/2006

## 4. CONTROL

El control es un tema muy amplio, que abarca desde un simple interruptor para encender o apagar una lámpara hasta el más complejo sistema computacional.

En términos generales, cuando hablamos de control es cuando se obtiene la respuesta deseada, de una acción predeterminada. En términos más específicos se puede ilustrar de la siguiente manera:

**Figura 13. Esquema general de control.**



A la acción predeterminada se le denomina objetivo de control o señal actuante o simplemente entrada(s), para llegar a la respuesta debe pasar por el sistema de control y finalmente se obtiene la respuesta también llamada salida(s) o variable(s) controlada(s).

En el campo de la robótica el control es esencial y va desde los sistemas más simples, que operan en lazo abierto, hasta los que requieren no solo del control en sí del robot sino del control del entorno.

### 4.2 Modelo de control

Los robots se diseñan para realizar una tarea, ello implica necesariamente un movimiento y para que el movimiento sea el deseado es necesario ejercer sobre ellos control, con este fin se emplean dos modelos de

control los cuales son: El modelo de control cinemático y el modelo de control dinámico. Con el primero se utiliza la geometría del robot y de la trayectoria a seguir, sin tomar en cuenta las fuerzas involucradas, mientras que el segundo empleando los pares y fuerzas involucradas describen la trayectoria seguida.

#### **4.3.1 Modelo de control cinemático**

Este relaciona la geometría del robot y analiza su movimiento en el espacio como una función del tiempo referido a un sistema de coordenadas fijo, sin tomar en cuenta las fuerzas que lo originan.

Para este modelo existen dos formas de generar la solución deseada, dichas formas se conocen como: problema cinemático directo y problema cinemático inverso.

##### **4.1.1.1 Problema cinemático directo**

Se denomina problema cinemático directo cuando utilizando un sistema de coordenadas de referencia fijo, conociendo los ángulos y dimensiones de los elementos del robot se desea conocer la posición del efector final.

##### **4.1.1.2 Problema cinemático inverso**

Al problema cinemático directo corresponde una única solución, pero es más útil en robótica encontrar la posición angular de las articulaciones del robot para una posición dada del efector final, a esta forma de proceder se le conoce como problema cinemático inverso, el cual tiene diversas formas de solucionarse, la respuesta buscada no es única, ya que diferentes combinaciones de posiciones angulares de las articulaciones son capaces de satisfacer la posición final dada.

#### **4.1.2 Modelo de control dinámico**

Éste relaciona los pares y las fuerzas, que en el robot genera los accionadores para producir movimiento. Partiendo de las ecuaciones dinámicas del movimiento podemos controlar al robot. De la misma forma que en cinemática existe el problema directo e inverso, en dinámica también existen el problema dinámico directo e inverso, el directo consiste en determinar cómo se mueve el extremo del robot a partir del par y la fuerza de los accionadores. El problema dinámico inverso determina el par y la fuerza de los accionadores partiendo de, posición, velocidad y aceleración, del extremo del robot.

La aplicación del método directo es en la simulación de futuros robots. Mientras que el inverso es empleado directamente en los controladores para predecir la fuerza y el par, que permita que el robot pueda operar a velocidades más altas.

Las ecuaciones dinámicas del robot se pueden plantear de diversas formas, algunas de ellas incluyen soluciones numéricas utilizando sistemas iterativos, otras, son las empleadas en robots específicos. Finalmente, tenemos las que combinan los principios de Newton y las ecuaciones de Euler y la utilización de la ecuación de Lagrange plantea el balance de energía.

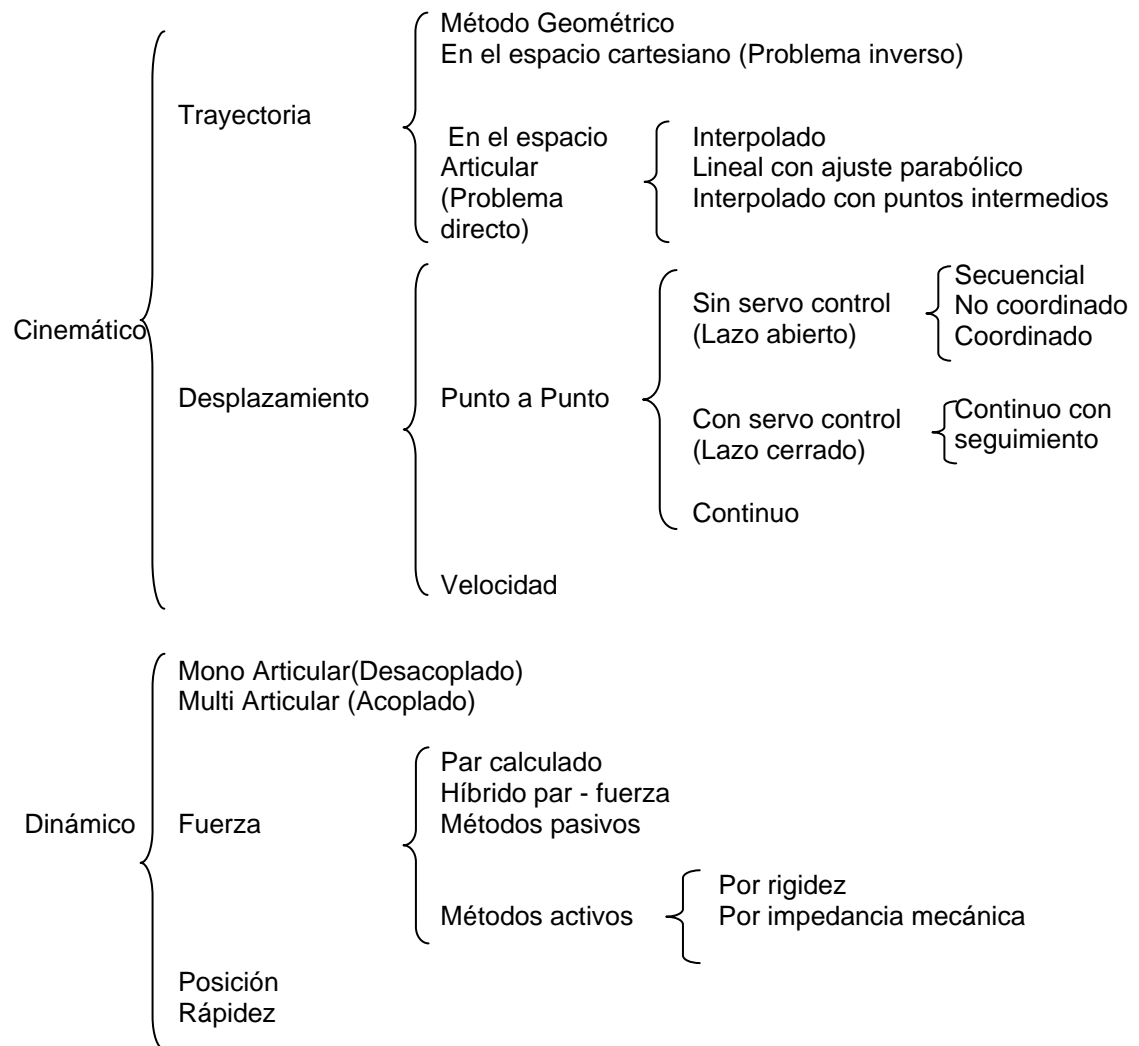
#### **4.3 Control robótico**

El movimiento realizado por el robot al realizar su tarea, implica un problema, el de control. Debe responderse a las siguientes interrogantes ¿En su camino existen obstáculos? y ¿El camino que debe seguir es único? Estas interrogantes dividen el problema de control en dos, por un lado tenemos el de planificar el movimiento o trayectoria a seguir, y por el otro el movimiento en si.

Tomando en cuenta los modelos de control, a estos dos problemas se les puede enmarcar respectivamente en cinemático y dinámico, siguiendo esta corriente, al control de robots se le puede clasificar de una manera general como se muestra en la tabla X.

Pero existen otras formas de clasificar el control de robots si nos enfocamos en el seguimiento de trayectorias o por la variable a controlar se obtienen las tablas XI y XII.

**Tabla X. Modelos de control.**

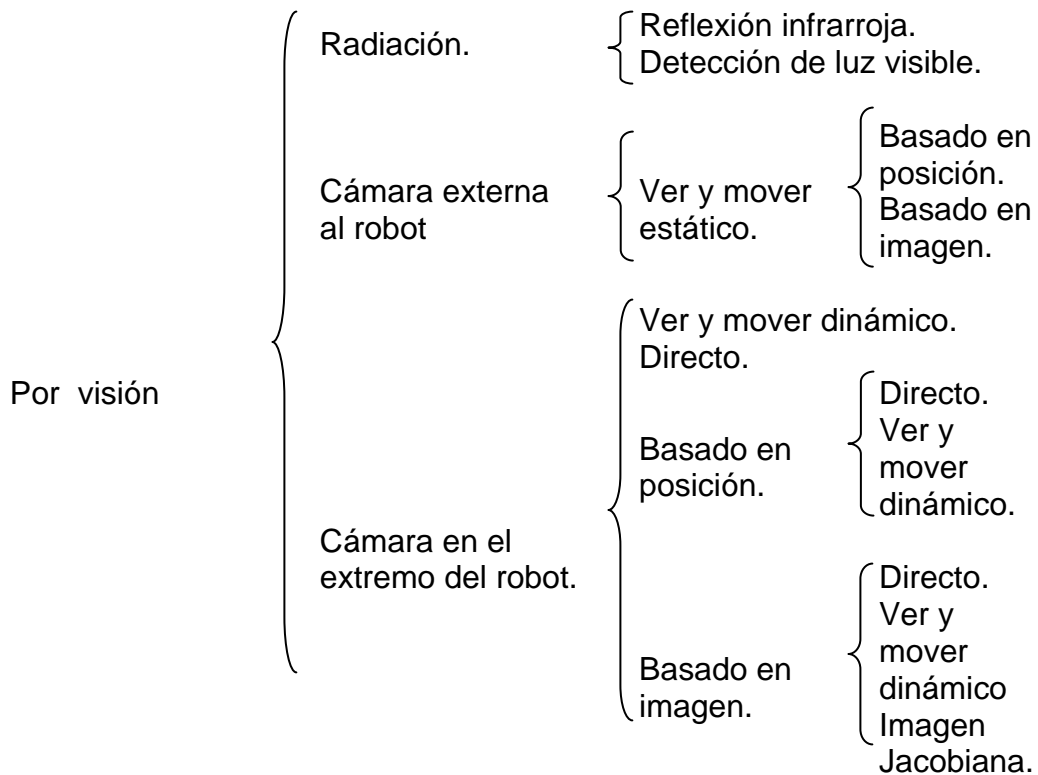


**Tabla XI. Control para seguimiento de trayectoria.**

Control	De movimiento de la articulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servo mecanismo de la articulación.</li> <li>Técnica de par calculado.</li> <li>Control en tiempo mínimo.</li> <li>Control de estructura variable.</li> <li>Control desacoplado no lineal.</li> </ul>
	Con movimiento resuelto (control en el espacio cartesiano)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control en velocidad con movimiento resuelto.</li> <li>Control en aceleración con movimiento resuelto.</li> <li>Control de la fuerza con movimiento resuelto.</li> </ul>
	Adaptativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control adaptativo con modelo de referencia.</li> <li>Control adaptativo autosintonizante.</li> <li>Control adaptativo con movimiento resuelto,</li> <li>Control de perturbación adaptativa con compensación anticipativa.</li> </ul>

**Tabla XII. Control por variable.**

Por contacto.  
 Por ultrasonido.  
 Por detección de campo eléctrico.



#### **4.4 El controlador**

El encargado de iniciar el movimiento desde el programa o por el mando del operador, es el controlador. Este se puede subdividir en dos partes así:

***El controlador y el proceso controlado.***

**El controlador:** Es el elemento del que podemos decir que constituye el cerebro, puesto que es el que determina las acciones que afectan al proceso

de forma global, a este se le aplica una señal de entrada o comando, la cual es proporcionada por el programa o por el operador.

**El proceso controlado:** Es la actividad, tarea o acción que se requiere efectuar, regulada por las ordenes del controlador, y perturbada por elementos externos considerados todo ellos como ruidos. Cuando se cumplen los parámetros preestablecidos se obtiene la salida deseada; cuando ocurre alguna de las posibles perturbaciones el resultado es completamente impredecible.

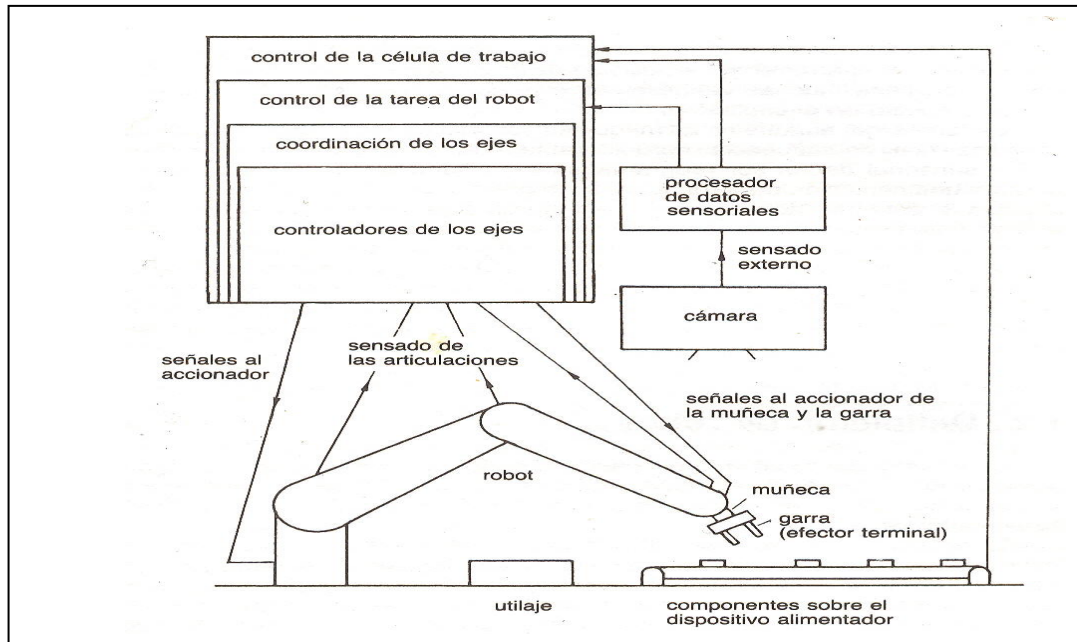
Otras actividades del controlador son: proporcionar la interfase entre operario y robot, proporcionar el medio de almacenamiento y procesamiento del programa.

El controlador generalmente esta subdividido en: Amplificadores de articulación, sistema de microprocesadores, memoria de programa y dispositivos de entrada. Otro elemento que puede integrarlo es, el servo controlador de articulación.

El proceso controlado se le puede dividir en cuatro capas de control interrelacionadas: la primera capa es la encargada del control directo de cada articulación; la segunda es la que coordina el movimiento conjunto de las articulaciones; la tercera es la encargada de controlar la ejecución de la tarea; y la cuarta se encarga de la coordinación del robot y el resto de las máquinas a las que sirve. En otras palabras es el control del trabajo en conjunto entre robots y maquinaria industrial a este conjunto se le denomina célula de trabajo, en todo proceso controlado donde encontremos que se le puede dividir en estas cuatro capas se le llamará célula de trabajo automática. Este proceso se puede ilustrar de la siguiente manera.



**Figura 14. Control de la célula de trabajo**



Fuente: (TAYLOR, 1992, 13)

### **4.3.1 Operación del controlador**

El controlador posee dos grupos de operación estos son: los que operan en lazo abierto y los que operan en lazo cerrado.

#### **4.3.1.1 En lazo abierto**

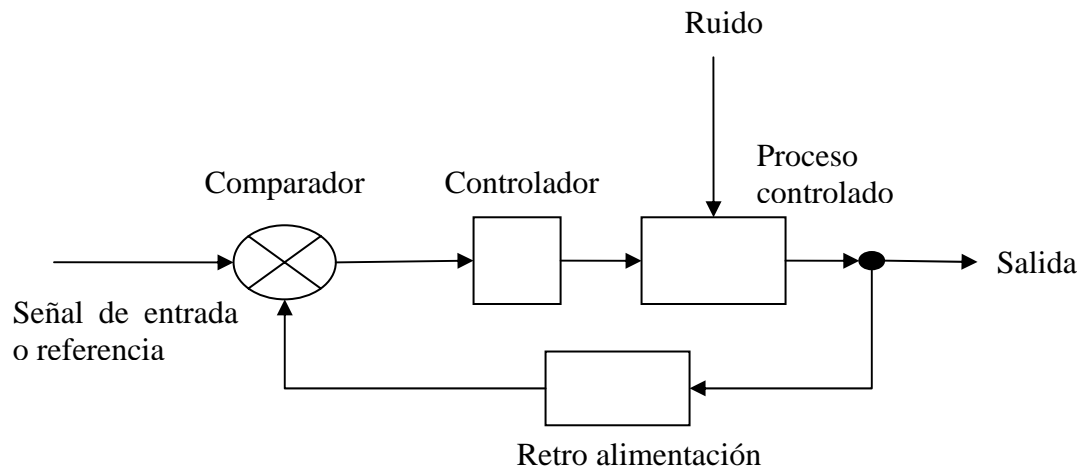
Cuando la señal de salida no afecta a la señal de entrada se opera en lazo abierto. Por tal motivo se aplican en donde la precisión no es un requisito fundamental.

#### **4.3.2 En lazo cerrado**

A todo sistema donde exista un camino por medio del cual la señal de salida se compare contra una referencia o señal de entrada, opera en lazo cerrado.

El resultado de esta comparación se aplica al controlador como la señal de entrada. Este produce una señal de salida aplicada al proceso controlado, a este proceso también ingresan perturbaciones (ruido), a la salida del proceso controlado se encuentran combinados estos efectos, tomando una muestra de esta salida, y llevado por un camino, denominado retroalimentación a la entrada y aplicado al comparador. Es como se cumple un ciclo del sistema. La relación de la salida a la entrada depende del diseño y ajuste de los elementos involucrados en el ciclo. La figura 14 representa el sistema en lazo cerrado.

**Figura 15. Sistema de control en lazo cerrado**



Fuente: (MALONEY, 1997, 285)

Los controladores en lazo cerrado pueden clasificarse de acuerdo a su modo de operación de la siguiente forma:

1. Encendido y apagado (on – off).
2. Proporcional.
3. Derivativo
4. Integral
5. Proporcional y Derivativo.
6. Proporcional e Integral.
7. Proporcional, Integral y Derivativo.

#### **4.3.1.2.1 Encendido y apagado (*on - off*)**

Solo son permitidos dos estados y dependiendo si la señal de control es + ó – el controlador cambiará de un estado al otro de los dos permitidos. Debido a que el cambio de un estado al otro es imposible que sea instantáneo, por lo que existe un pequeño rango de valores por encima y debajo del valor medio para lograr el cambio. Al menor rango de estos valores se le denomina brecha o banda diferencial. Pudiendose expresar como un porcentaje (%) del rango del controlador.

#### **4.3.1.2.2 Proporcional**

Superando las inconveniencias del anterior, se tiene el proporcional donde no se limita a dos posiciones sino a un rango de valores posibles entre un límite inferior y otro superior. Al rango comprendido entre estos límites se le denomina banda proporcional. La salida del controlador es proporcional a su entrada, pero siempre existe un error, este error es una cantidad por encima o debajo del punto de ajuste, a este punto se le denomina punto de operación (*off set*).

#### **4.3.1.2.3 Derivativo**

El controlador derivativo genera una señal de control proporcional a la tasa de variación del error con el tiempo, tan pronto se inicia el cambio del error, se inicia la señal de salida del controlador, debido a que es proporcional a rapidez del cambio y no a la magnitud de este. Cuando la salida del controlador es constante se debe a que la variación del error es constante. Los controladores derivativos no responden a las condiciones de estado permanente, debido a que la variación del error con respecto del tiempo no existe, lo cual hace que el cambio la salida sea igual a cero.

#### **4.3.1.2.4 Integral**

El controlador integral permite que la señal de control crezca proporcionalmente al producto de la señal de error con el tiempo. Este sistema permite eliminar el error que se manifiesta en un control proporcional.

#### **4.3.1.2.5 Proporcional y derivativo**

Este controlador combina las dos acciones la proporcional y la derivativa lo que permite que el controlador sea más rápido en su respuesta ante los cambios.

#### **4.3.1.2.6 Proporcional e integral**

El control proporcional e integral elimina el punto de operación ya que la parte proporcional ajusta la salida de acuerdo a la comparación entre salida y ajuste, mientras que la parte integral detecta el pequeño error persistente en el transcurrir del tiempo y lo corrige con lo que se elimina el punto de operación.

#### **4.3.1.2.7 Proporcional, integral y derivativo**

Cuando el efecto proporcional e integral ya no es suficiente para lograr el control. Se suma una función más que es la derivativa, la cual actúa bajo una de las siguientes condiciones:

- a) Cambios muy rápidos.
- b) Un tiempo muy largo entre la acción correctiva y la respuesta.

Al emplear este método la acción correctiva es determinada por tres eventos:

1. La magnitud de la señal resultante de la comparación entre la señal de salida y de entrada.
2. La respuesta de la integral de tiempo.
3. La razón de cambio de la señal resultante de la comparación entre la señal de salida y de entrada.

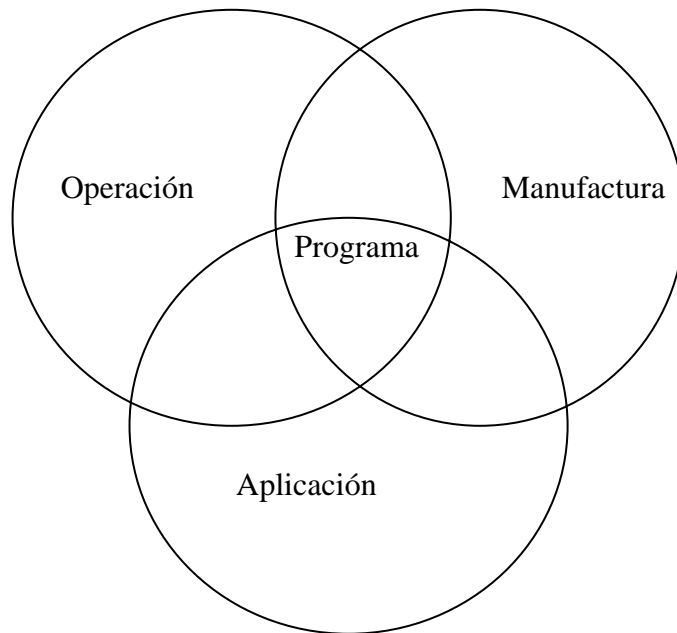
#### **4.4 Programación**

La última, pero no menos importante manera de controlar un robot es por medio de un programa de control, este programa engloba en él, la información de las instrucciones que debe cumplir el robot, pero no es la única función que realiza, debido a las diversas funciones que debe cubrir. Se reúnen en tres grandes grupos los aspectos que debe cubrir y son: Operación, aplicación y manufactura. En la figura 15 se representa de mejor forma los aspectos mencionados.

El programa de control generalmente contiene los siguientes elementos:

1. Control de Supervisión
2. Generación y manejo de tareas
3. Interpretador de tareas
4. Control de movimiento del brazo
5. Comunicación
6. Reporte de errores y diagnóstico

**Figura 16. Aspectos que debe cubrir el programa de control**



#### **4.4.1 Control de supervisión**

Como se sabe, al control se le divide en cuatro capas y cuando estas cuatro capas están presentes se le denomina célula de trabajo automática, el programa de control de supervisión su principal función es el dominio de la célula de trabajo automática, las otras funciones de este programa son: La interfase operario célula, resolución y reporte de errores, manejo de funciones auxiliares tales como: Configuración de programas genéricos del usuario, generación de reportes de mantenimiento y eficiencia, detección de fallas físicas dentro de la célula.

#### **4.4.2 Generación y manejo de tareas**

Es la parte del programa donde a través de herramientas de programación se crea la secuencia de instrucciones, las cuales le dirán al robot que hacer, mediante la escritura en el lenguaje de programación o por enseñanza por guiado.

#### **4.4.3 Interpretador de tareas**

La interpretación del programa a la geometría de la tarea por su estrecha relación con las instrucciones de la tarea a realizar. Es el programa de inicio y en secuencia de cada uno de los pasos de la tarea, monitorea los eventos en tiempo real. Esta unidad del programa es la más importante, puesto que le proporciona al robot la distinción entre instrucciones de enseñanza y de operación.

#### **4.4.4 Control de movimiento del brazo**

Es el programa de ejecución de la tarea, recibida del interpretador, su función es indicar a los accionadores el momento de inicio y fin de su actividad para que el brazo se desplace de un punto a otro, de acuerdo a las necesidades de la tarea se la controlará con alguno de los métodos enumerados en las tablas X, XI y XII.

#### **4.4.5 Comunicación**

Es la unidad del programa que gestiona entre todos los elementos del programa. Es el puente entre el interpretador y el robot, entre el operador y el interpretador. Es el que maneja la información de los sensores, de las interrupciones, gestiona la memoria para grabar datos o programas, y la comunicación con otros periféricos.

#### **4.4.6 Reporte de errores y diagnóstico**

Esta unidad del programa es la encargada de las siguientes operaciones:

1. Diagnóstico e inicialización
2. Autodiagnóstico
3. Monitoreo
4. Seguridad

La primera función es activada cuando se hace la primera instalación del programa con un usuario, la segunda se activa cada vez que reinicia el programa, la tercera esta activa durante toda la actividad del robot pues es la encargada de reportar su desempeño, la cuarta es de relevancia por ser la encargada de monitorear la actividad del robot para evitar que este dañe a un humano o equipo.



## 5. APLICACIÓN

En los capítulos anteriores, se ha enunciado la definición del concepto robot, se ha descrito sus características, las diferentes clasificaciones, así como la forma en que perciben el entorno que los rodea, la forma en que actúan, así como los medios de control del actuar para que cumplan con las actividades que se les requiere, de una forma correcta.

Ahora con el entendimiento de estos elementos se iniciará un proceso de diseño de un robot aplicando los fundamentos teóricos mencionados en los Capítulos precedentes.

### 5.1 Exploración

Siendo el primer paso para el diseño de un robot, es la delimitación del problema, para establecer los elementos necesarios para desarrollarlo. Iniciando con la selección del tipo de robot. Para este trabajo dentro del universo de clasificaciones de robots se ha escogido un robot de tipo polar, estos robots son: aquellos en los cuales existen como mínimo dos grados de libertad y las articulaciones que los proporcionan son rotativas, en otras palabras las articulaciones responden o son representadas en el sistema de coordenadas polares. El espacio de trabajo que este robot genera al desplazarse es un segmento de superficie esférica.

La característica fundamental de un robot polar es el uso de articulaciones rotacionales. Esta característica no es suficiente para llegar al diseño de un robot polar, es necesario reconocer las otras, las cuales se les puede identificar así: Tipo de robot, accionamiento, tarea, controlador, estructura mecánica, modo de operación, área de aplicación, arquitectura,

tamaño, interacción, sistema de control, y las características particulares del diseño específico.

Las características antes mencionadas describen al robot así: El tipo de robot es fijo, de accionamiento eléctrico, controlado por un ordenador, el área de aplicación es el de enseñanza, estructura mecánica polar, el modo de operación punto a punto, su tarea es coger y poner, arquitectura brazo poli-articulado, es un mini robot de interacción con humanos, el sistema de control es de secuencia controlada.

Los aspectos específicos de este robot se dividirán en tres partes, para poder identificar en forma más precisa los mismos se denominarán como sigue: brazo, control e interfases.

### **5.1.1 Brazo**

El brazo constituye la estructura mecánica de nuestro robot, dado que el aspecto mecánico pertenece a otro campo de investigación, el cual escapa al propósito del presente trabajo, no se profundiza sobre el mismo, puesto que se requiere el conocimiento de diseño de máquinas, resistencia de materiales y otros del área de la mecánica.

### **5.1.2 Control**

El control efectuado por un algoritmo de control, ejecutado en un ordenador, es aplicado directamente a cada articulación mediante el control del número de pasos a dar por cada motor paso a paso, para lograr el movimiento deseado, como elementos auxiliares de control se utilizan interruptores de fin de carrera y como elemento de retroalimentación codificadores incrementales en cada articulación para lograr un control preciso del brazo.

### **5.1.3 Interfase**

Se le divide en dos partes una parte es la interfase hombre-máquina y la otra es ordenador-brazo, la primera se logra al programar el ordenador con las herramientas para crear, modificar, afinar o poner en marcha el algoritmo de control del robot. La segunda, es la interfase electrónica, que recoge las señales emanadas del ordenador, las procesa y su resultado es aplicado a los motores para lograr el movimiento y por ende la ejecución de la tarea.

#### **5.1.3.2 Interfase hombre-máquina**

Para realizar la interfase hombre-máquina se requiere un ordenador apropiado, capaz de soportar los programas de desarrollo de ambiente gráfico, y suficiente capacidad para ejecutar las instrucciones de la actividad que realizará el robot.

#### **5.1.3.2 Interfase ordenador-brazo**

Es el medio para interconectar el brazo y el ordenador. Las señales del ordenador son enviadas a sus puertos de salida. Estas señales son recogidas en una tarjeta, acondicionada para el efecto compuesto por varios dispositivos electrónicos, los cuales reciben estas señales, las procesan y proporcionan una señal de salida que activa los dispositivos de potencia, para activar los motores que en nuestro caso son motores paso a paso, y obtener el movimiento. La señal de retroalimentación proporcionada por los sensores es aplicada a otra sección de la tarjeta, es acondicionada para ser aplicada al puerto de entrada del ordenador, es recogida y aplicada al algoritmo de control con lo que se cierra el ciclo.

## **5.2 Generación**

Las características antes descritas nos conducen al diseño preliminar, el cual se dividirá de la misma forma en: diseño del brazo o parte mecánica, diseño del algoritmo de control y el diseño de las interfases.

### **5.2.1 Diseño del brazo**

Como el enfoque es la enseñanza (demostración). Permite una descripción y su conformación a un nivel de prototipo tipo maqueta

Consta de tres grados de libertad, proporcionados por tres articulaciones rotacionales, la primera esta ubicada en la base, constituida por una tornamesa acoplada a un motor paso a paso unipolar de seis terminales por medio de una faja.

La segunda articulación se encuentra montada sobre la base, animada por un motor paso a paso unipolar de cinco terminales y acoplado al primer eslabón rígido mediante engranajes.

Sobre el extremo opuesto del eslabón rígido acoplado a la segunda articulación, se ubica el tercer motor paso a paso unipolar, que anima la tercera articulación mediante engranajes se acopla al segundo eslabón rígido.

En el extremo libre de este segundo eslabón, se encuentra la muñeca, la cual cuenta con dos grados de libertad, los cuales son elevación y giro, son animados por motores paso a paso unipolares, el de elevación esta acoplado por engranajes y acoplado directamente el del giro.

Acoplada a la muñeca se encuentra el efector final, una pinza de dos dedos deslizantes. Animada por un motor paso a paso unipolar. Los materiales

empleados para su construcción son: aluminio, algunos elementos de hierro, engranes plásticos fajas de plástico, y otros<sup>‡</sup>.

### **5.2.2 Diseño del algoritmo de control**

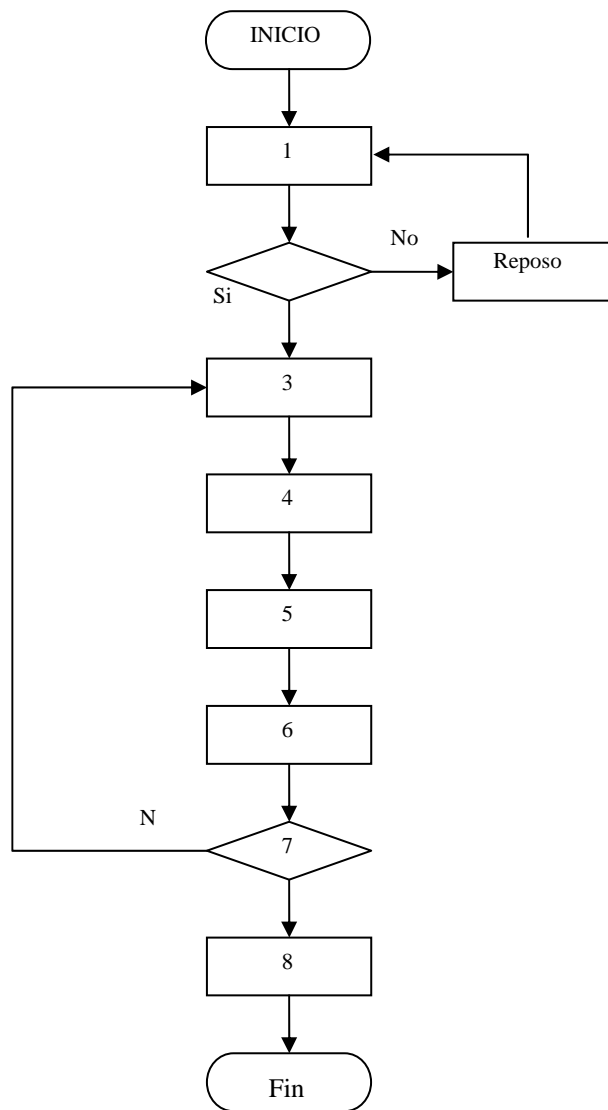
El diseño implica descomponer en pasos lo que se pretende diseñar por ello. Los pasos del algoritmo de control a implementarse en el ordenador son:

1. Verificar que el brazo esté en la posición de reposo.
2. Si, No, llevar al reposo.
3. Ir a la posición A.
4. Tomar el objeto.
5. Trasladarlo a la posición B.
6. Dejar el objeto
7. Repetir los pasos 3 al 6 el número de veces estipulado
8. Retornar a la posición de reposo.

---

<sup>‡</sup> Ver apéndice C

Figura 17. Representación en diagrama de flujo



### **5.2.3 Diseño de interfase**

Para mayor facilidad debido a que existen dos aspectos que requieren de interfase, para la comunicación hombre-máquina y ordenador-brazo. La programación del ordenador se requiere para crear la interfase hombre-máquina y la elaboración de tarjetas electrónicas necesarias, para crear la interfase ordenador brazo.

#### **5.2.3.1 Interfase hombre-máquina**

Se crea un programa en ambiente gráfico, en el cual, el operador es capaz de introducir las instrucciones para el robot. Estas instrucciones son de diferente índole, tales como ángulos de acción de las articulaciones, modos de operación, generación de trayectorias.

El operador escoge entre los modos de operación, manual y automático. En el modo manual, se introducen los parámetros de cada articulación y los puntos iniciales y finales, se le da la orden de ejecutar un ciclo para comprobar que el movimiento es el esperado, cuando el movimiento es el requerido se introduce el número de repeticiones a realizar o se le indica que funcione en estado permanente y se cambia al modo automático. Ejemplificado en la figura 18.

#### **5.2.3.2 Interfase ordenador-brazo**

Las interfases son el puente entre dos elementos disjuntos en este caso, el ordenador y el brazo. La interfase electrónica consta de diferentes secciones, la primera sección es el de interfase directa entre el ordenador y el brazo, en esta sección se reciben las señales del ordenador y se acondicionan, la señal acondicionada es aplicada a los circuitos diseñados para el control de motores paso a paso, estos entregan la señal correspondiente a la sección de potencia la que al activarse proporciona la energía para activar los motores, la

segunda sección es la encargada de recibir la señal de los sensores y de los hongos. Esta sección también acondiciona esta señal para ser aplicada al puerto de entrada del ordenador.

Al describir las secciones integrantes de esta interfase obtenemos las siguientes:

1. Recepción de datos del ordenador.
2. Salida de datos al ordenador.
3. Acondicionamiento de datos recibidos.
4. Acondicionamiento de datos a transmitir al ordenador.
5. Control de señales a motores y de sensores.
6. Conjunto de motor y sensor de la base.
7. Conjunto de motor y sensor de la segunda articulación.
8. Conjunto de motor y sensor de la tercera articulación.
9. Conjunto de motor y sensor de la muñeca elevación.
10. Conjunto de motor y sensor de la muñeca giro.
11. Conjunto de motor y sensor de la pinza.
12. Fuente.

Utilizando la enumeración de las distintas secciones se elabora el diagrama de bloques correspondiente. Véase la figura 19.



Figura 18. Ejemplo de panel de control

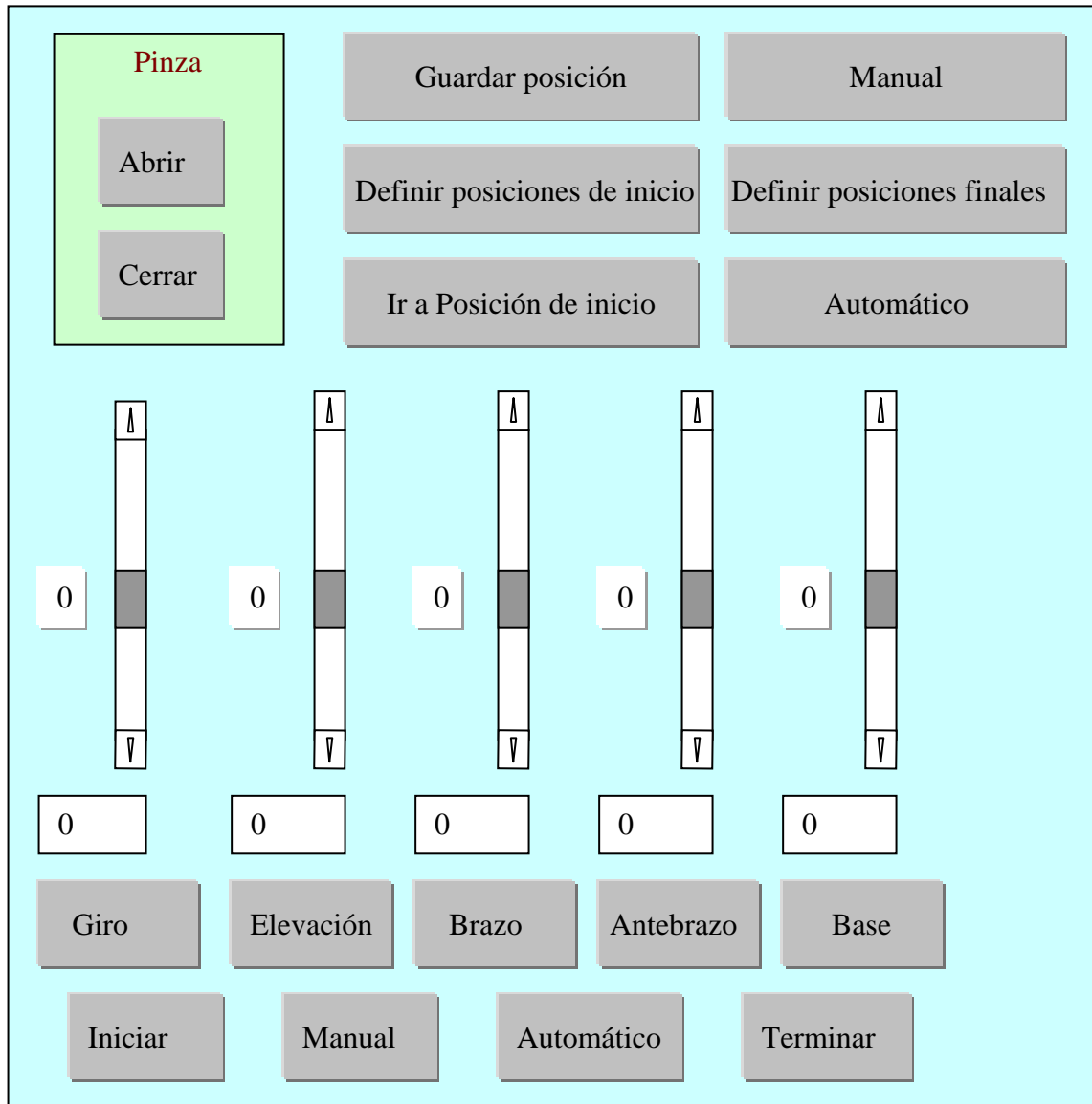
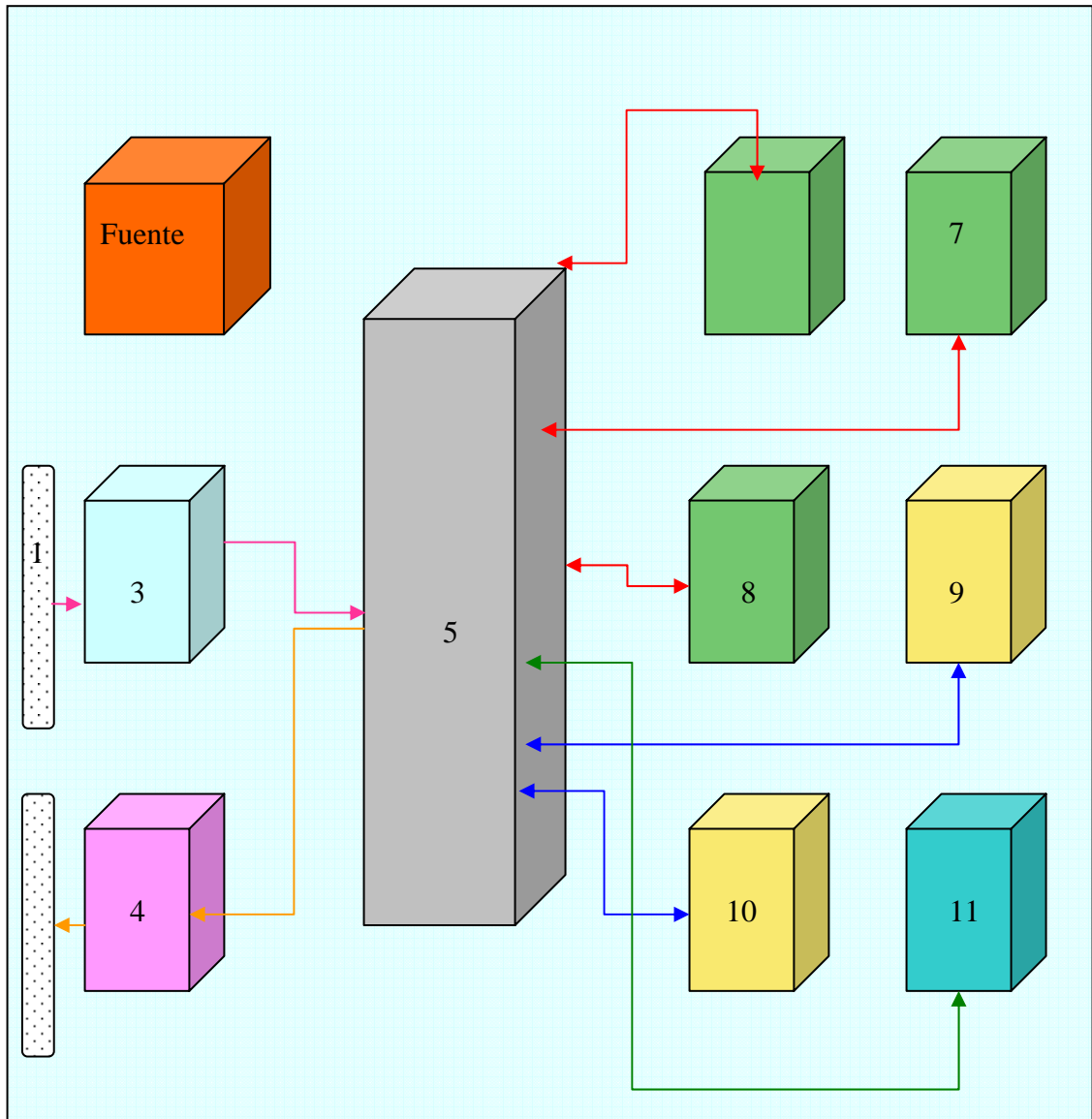


Figura 19. Diagrama de bloques de la interfase electrónica.



### 5.3 Evaluación

Como ya se dijo es el proceso mediante el cual se verifica que el avance del trabajo realizado, además se prueba el funcionamiento, con estas pruebas se modifica el diseño hasta lograr el objetivo deseado. En el presente caso, mediante el empleo de programas de simulación de circuitos electrónicos y de robots, basado en el diagrama de bloques del diseño se generó los siguientes diagramas de circuitos electrónicos con los cuales es posible hacer funcionar el prototipo.

Figura 20. Diagrama esquemático de la fuente

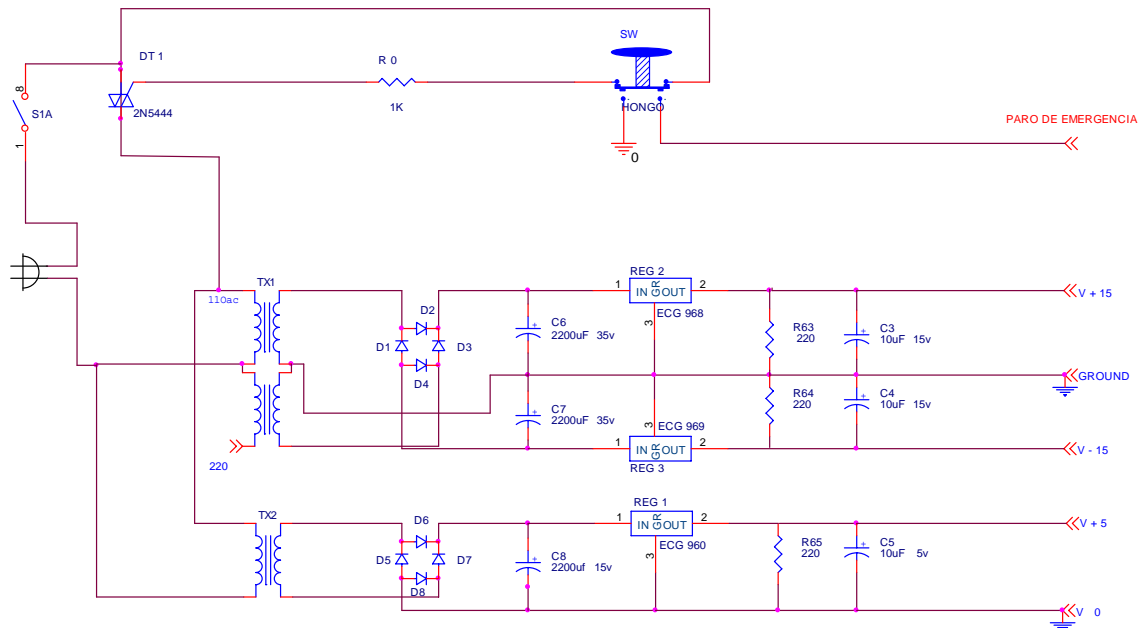


Figura 21. Diagrama esquemático de la interfase

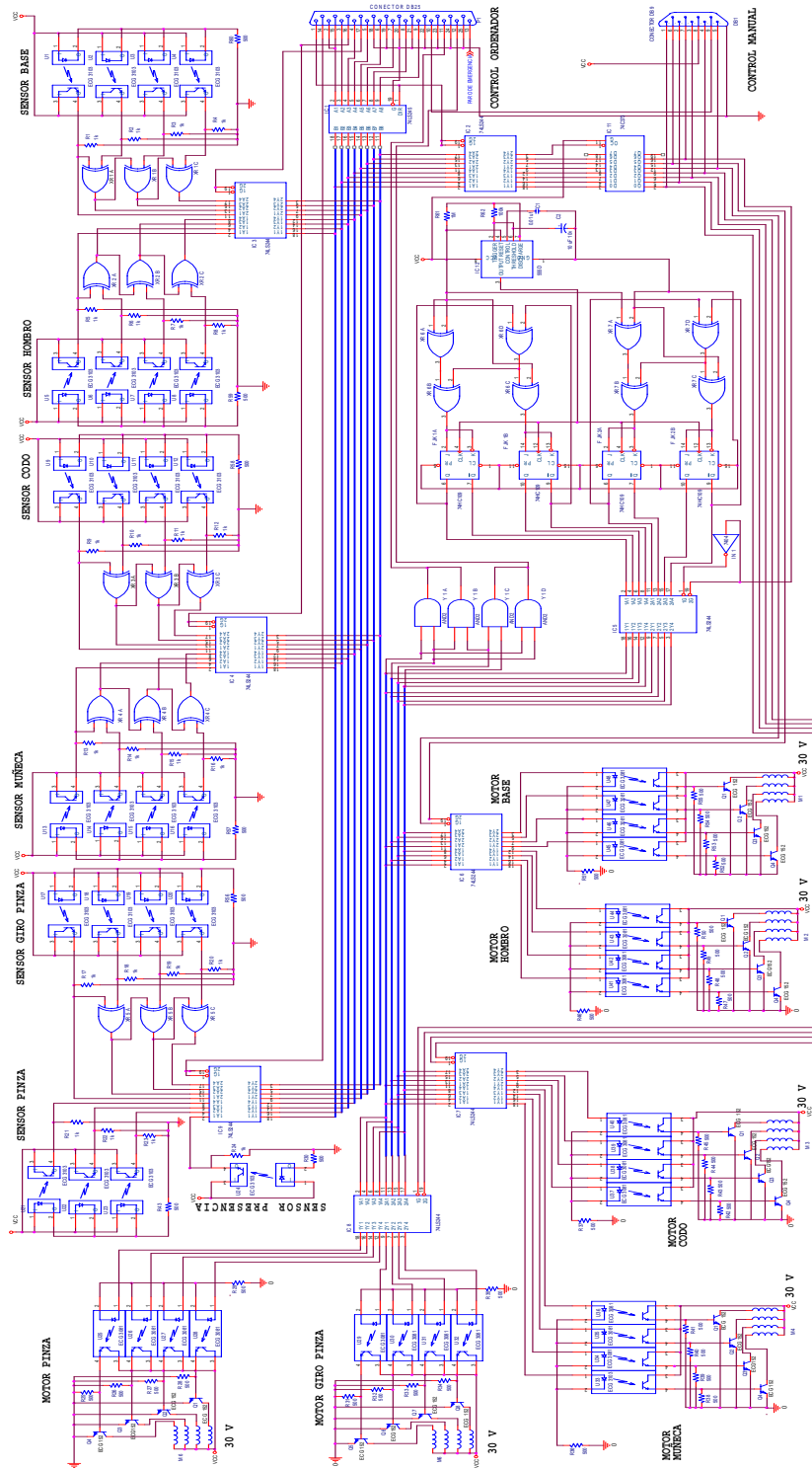
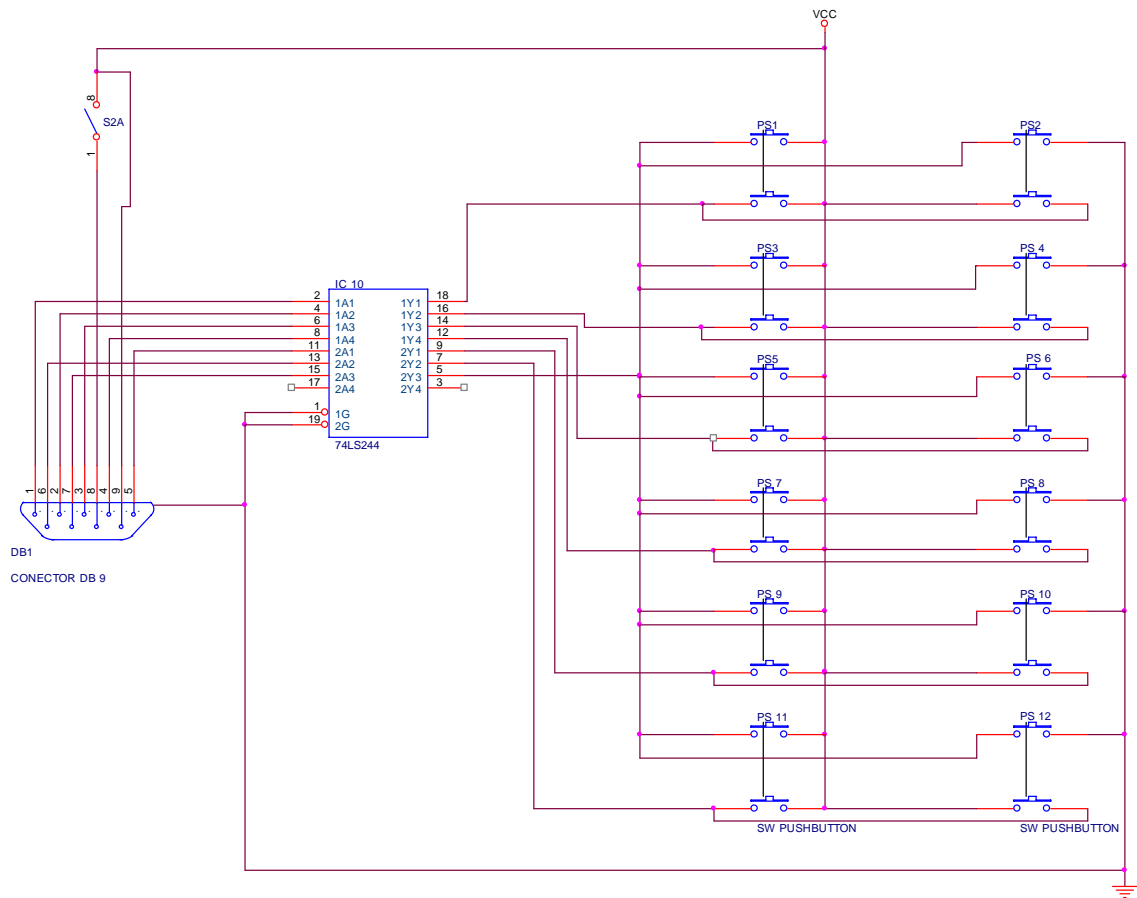


Figura 22. Diagrama esquemático mando manual.



## **5.4 Comunicación**

La última fase, pero no menos importante, es la de generar la información necesaria para que el diseño sea posible su construcción y uso. Para su construcción tomamos los diagramas, depurados obtenidos en la evaluación, y se procede a crear los manuales para lograr el uso del robot demostrativo.-

### **5.4.1 Manual**

El manual de usuario consta de las instrucciones necesarias para la interconexión de los componentes y la forma de manejar el sistema.-

#### **5.4.1.1 Implementación**

Para la implementación del sistema debemos contar con los siguientes elementos:

1. Ordenador.
2. Robot.
3. Cable de interconexión ordenador robot.
4. Mando manual.
5. Cables de alimentación de corriente.
6. Disco de instalación del programa.
7. Documentación.



Antes de comenzar es necesario verificar que la instalación eléctrica este correctamente realizada, verificando polaridad y tierra física. Para evitar riesgo de recibir un impacto eléctrico o que el sistema se queme.

##### **5.4.1.1.1 Ensamble**

1. Conecte los cables del ordenador según el manual del mismo.
2. Conecte el cable de conexión del robot al puerto de impresora.
3. Conecte cable de corriente.

#### **5.4.1.1.2 Inicio**

Habiendo colocado todos los cables de interconexión en su lugar se comenzará con la siguiente fase que corresponde al encendido y operación del sistema. Para ello:

- 1) Verificar que todo el sistema esté apagado.
- 2) Encender el ordenador, esperar a que el sistema operativo esté completamente cargado.
- 3) Instalar el programa del robot.
- 4) Reiniciar el ordenador para finalizar el proceso de instalación.
- 5) Con el ordenador funcionando y el programa instalado encender el robot.
- 6) Ejecutar instrucciones de prueba.

#### **5.4.1.1.3 Guía del programa**

El programa desarrollado en Visual Basic, funciona de la siguiente manera: Posicionándose sobre el icono con el ratón y dando doble clic sobre él, emergerá la pantalla del panel de control, la cual cuenta con los siguientes comandos:

- a) Manual.
- b) Automático.
- c) Fijar posición inicial.
- d) Fijar posición final.
- e) Ir a posición inicial.
- f) Ir a posición final.
- g) Efectuar un ciclo.
- h) Borrar.
- i) Abrir pinza.

- j) Cerrar pinza.
- k) Giro.
- l) Elevación.
- m) Antebrazo.
- n) Brazo.
- o) Base.
- p) Número de ciclos.
- q) Salir.

#### **5.4.1.1.3.1 Descripción de cada comando**

##### **a)Manual:**

El comando manual es el comando de programación del usuario ya que permite el ingreso de los valores de las posiciones de las distintas articulaciones así como, abrir y cerrar la pinza.

##### **b)Automático:**

Cuando se ha logrado la combinación de posiciones deseada, se activa este comando para que el robot trabaje durante un número de ciclos determinado o indefinidamente.

##### **c)Fijar posición inicial:**

Comando para guardar en memoria los datos de los puntos de las posiciones iniciales.

##### **d)Fijar posición final:**

Comando para guardar en memoria los datos de los puntos de las posiciones finales.

##### **e)Ir a posición inicial:**

Comando para ordenar al robot que vaya a la posición inicial programada.



**f) Ir a posición final:**

Comando para ordenar al robot que vaya a la posición final programada.

**g) Efectuar un ciclo:**

Comando para que el robot ejecute un ciclo completo.

**h) Borrar:**

Comando para borrar los datos ingresados que no son los correctos.

**i) Abrir pinza:**

Comando para que la pinza del robot se abra.

**j) Cerrar pinza:**

Comando para que la pinza del robot se cierre.

**k) Giro:**

Comando para ingresar los datos de inicio y fin para que la pinza rote y obtener una mejor posición para la sujeción o deposición del objeto trasladado.

**l) Elevación muñeca:**

Comando para ingresar los datos de inicio y fin para mover la pinza ortogonalmente al eje de giro y obtener una mejor posición para la sujeción o deposición del objeto trasladado.

**m) Antebrazo:**

Comando para ingresar los datos de inicio y fin de las posiciones angulares del antebrazo.

**n) Brazo:**

Comando para ingresar los datos de inicio y fin de las posiciones angulares del brazo.

**o) Base:**

Comando para ingresar los datos de inicio y fin de las posiciones angulares de la base.

**p)Número de ciclos:**

Dato que determina el número de veces que se repetirá la acción del robot.

**q)Salir:**

Comando de salida del programa.

Para ingresar el dato en los comandos marcados de la k a la q debe escribirse en el cuadro de ingreso de cada comando un número entero entre 0 y 15. Siendo este rango de valores los que se han programado para las posiciones angulares permitidas en el robot empleado.

**5.4.1.2 Mando manual**

Para mover el robot, sin ingresar al ordenador, se emplea el mando manual con el cual es posible mover una a la vez, las articulaciones del robot. Para ello, debe estar conectado al puerto del robot con conector DB 9. Se pone en posición de encendido el robot y el mando manual. Se presiona el botón correspondiente a la articulación que se requiere mover.

## CONCLUSIONES

1. Existen diferentes definiciones y clasificaciones de robots, sin embargo, es posible establecer un procedimiento general para su diseño. Dicho procedimiento consta de cuatro pasos básicos, los cuales son: exploración, generación, evaluación y comunicación.
2. Dentro de las clasificaciones de robots, se encuentran los robots de tipo polar. Al diseño de los mismos es aplicable el procedimiento general antes mencionado. Lo anterior, se observa en el diseño de un robot de demostración, al cual se ha aplicado los pasos de tal procedimiento.
3. Para el adecuado uso del robot prototipo antes indicado, es necesario la utilización de un manual para su correcto uso. Dicho manual se encuentra incorporado en el capítulo cinco de este trabajo, que a manera de ejemplo ordena, condensa y esquematiza todos los pasos necesarios para su utilización.

## RECOMENDACIONES

1. Se sugiere a la Facultad de Ingeniería por su importancia y por el fenómeno de la globalización que conlleva que la tecnología se difunda con mayor rapidez y así evitar que la brecha entre la tecnología que actualmente se maneja y la que demandan los sectores productivos se incremente, se considere la creación de la carrera de Ingeniería en Robótica, mediante la combinación de los cursos de las carreras de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería en Ciencias y Sistemas, por ser las ramas de mayor influencia en la Robótica.
2. Se recomienda incentivar a los estudiantes de las diferentes carreras de Ingeniería, para interesarse en el estudio de la robótica y explorar la implementación de robots en campos no tradicionales de aplicación de los mismos.
3. Se sugiere mejorar los laboratorios de electrónica, en la Escuela de Ingeniería Electrónica, en lo referente a robótica.
4. Se recomienda la búsqueda de los sectores del mercado nacional más susceptibles a la implementación de robots, en sus procesos productivos y con ello lograr un mayor desarrollo en su elaboración y utilización en el ámbito nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] GRAF, Rudolf F., **Diccionario Moderno de Electrónica Edición Bilingüe**, (México, Editorial: Prentice Hall Hispanoamericana S. A., 1999).
- [2] JACKSON, Kenneth G. y Raphael Feinberg. **Diccionario de Ingeniería Eléctrica**, (Barcelona, Editorial: Ediciones Grijalbo S. A., 1986).
- [3] NAYELS, G. H, **Diccionario Moderno de Ingeniería Mecánica**, (México, Editorial: Prentice Hall, tomo II, 1999).
- [4] **Diccionario de Ingeniería**, Coordinador general Miguel García Rovere (Madrid, Editorial: Cultural, 2000).
- [5] **Diccionario de la Lengua Española**, Real Academia Española (Madrid, Editorial: Espasa Calpe, S. A. Vigésima primera edición 1992.) impresión terminada en 1995.
- [6] **Diccionario Enciclopédico Larousse 2005**, Coordinador General Eladio Pascual Foronda, (Colombia, Editorial: Ediciones Larousse, S. A., undécima edición 2005) edición compartida con Ediciones Larousse de Colombia, impreso en Colombia por Printer Colombiana S. A.
- [7] **Diccionario Oxford Advanced Learner's**, (Oxford, Editorial: Oxford University Press, cuarta edición 1989) novena reimpresión 1993.
- [8] **Diccionario Merriam Webster's Collegiate**, (Massachusetts, Editorial: Merriam Webster Incorporated, décima edición 1993) Editor en jefe Frederick C. Mish.

- [9] **The New Enciclopedia Británica.** Editor en jefe Philip W. Gaelz (Chicago, Editorial Enciclopedia Británica, Inc. Quinceava edición 1991).
- [10] ANGULO Usategui, José Maria. **Robótica Practica.** (Madrid, Editorial: Paraninfo, Quinta edición 2000).
- [11] ASFAHL, C. Ray. **Robots and Manufacturing Automation.** (Arkansas, Editorial: John Wiley & Sons, 1985).
- [12] AUDÍ Piera, Daniel. **Cómo y Cuándo Aplicar un Robot Industrial.** (Barcelona, Editorial: Marcombo, 1988).
- [13] DIXON. Jon R. **Diseño en Ingeniería Inventiva, Análisis y Toma de Decisiones.** (México D. F. Editorial: Limusa, 1970, Primera reimpresión corregida 1979).
- [14] DUKE Batres, Robert Stephen. Diseño de un Robot Industrial de Múltiples Aplicaciones con Capacidad de Aprendizaje, Tesis Ingeniería Eléctrica (Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica Eléctrica, 1989).
- [15] FU, King Su.; González, R. C.; Lee, C. S. G.; **Robótica: Control, Detección, Visión e Inteligencia.** (Madrid, Editorial: McGraw-Hill/Interamericana de España S. A., 1988).
- [16] GIAMARCHI Frédéric. **Robots Móviles.** (Madrid, Editorial: Paraninfo. 2001).
- [17] GROOVER, Mikell P.; Weiss, Mitchel; Nangel Roger N.; Odrey, Nicholas G.; **Robótica Industrial Tecnología, Programación y Aplicaciones.** (México, Editorial: McGraw-Hill/Interamericana de México S. A. 1990) se termino de imprimir en 1993.

- [18] MALONEY, Timothy J. **Electrónica Industrial Moderna.** (México, Editorial: Prentice-Hall Hispano Americana, S. A. Tercera edición, 1997).
- [19] MANO, M. Morris. **Diseño Digital.** (México, Editorial: Prentice-Hall Hispano Americana, S. A. Primera edición 1987) se terminó de imprimir en 1996.
- [20] MORALES Massella, Odilia Marlene. Principios y Conceptos de Robótica. Tesis Ingeniería en Ciencias y Sistemas. (Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ciencias y Sistemas, 1993).
- [21] RAMÍREZ DE LEÓN, Mario Raúl. La Esteática. Un modelo arquenético de la arquitectura. Tesis Maestría en Diseño, (Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2007).
- [22] RUSSELL Stuart J. y Norvig Peter. **Inteligencia Artificial Un Enfoque Moderno.** (México, Editorial: Pearson Educación, 1996).
- [23] SHIGLEY, Joseph Edward y Mishke Charles R., **Diseño en Ingeniería Mecánica.** (México D. F. Editorial: McGrawHill, quinta edición 1993).
- [24] TAYLOR, P. M., **Control Robótico.** (Barcelona, Editorial: Ediciones CEAC S. A. 1992).
- [25] TORRES, Fernando.; Pomares, Jorge.; Gil, Pablo.; Puente, Santiago. T.; y Aracil, Rafael. **Robots y Sistemas Sensoriales.** (Madrid, Editorial: Pearson Educación S. A. Segunda edición 2002).

## Referencias electrónicas

- [26] <http://es.wikipedia.org>
- [27] <http://jdlope.tripod.com/index.html>
- [28] <http://www.arqhys.com>
- [29] <http://www.cienciasmisticas.com.ar/tecnologia/automatizacion/robotica/index>
- [30] <http://www.chi.itesm.mx/~cim/robind/robotica.html>
- [31] <http://www.cpr2valladolid.com>
- [32] <http://www.depi.itich.edu.mx/apacheco/expo/html/ai10/>
- [33] <http://www.geocities.com/Eureka/Office/4595/robotica.html>
- [34] <http://www.ifr.org>
- [35] <http://www.jeffbots.com/dictionary.html>
- [36] [http://www.monografias.com/trabajos\\_31/robotica/robotica.html](http://www.monografias.com/trabajos_31/robotica/robotica.html)
- [37] <http://www.psicofxp.com/forums/disenio.36/147251-teoria-metodologia-del-diseño>
- [38] <http://www.rec.ri.cmu.edu/education/webpage/sensors.html>
- [39] <http://www.roboticspot.com/robotica>
- [40] <http://www.udec.cl/~obizama/arquitectura.html>
- [41] <http://www.wordreference.com/definicion/rob%C3%B3tica>
- [42] <http://www.x-robotics.com/sensores.html>



# Apéndice A

## **CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS TERMINALES**

Los elementos terminales como ya se expuso en el capítulo tres, se divide en tres grupos que son: garras, herramientas y dispositivos especiales seguidamente se encuentran los cuadros sinópticos de la clasificación de estos.

**Tabla XIII. Clasificación de elementos terminales**

Según el método de sujeción	{ Con garras o dedos	{ Con solo presión y rozamiento Con enganches	
		Con Pinzas	
	{ Con ventosas	{ Mediante vacío Sin vacío	
		Con vejiga dilatada Con placas magnéticas Mediante dispositivos con cinta adhesiva Mediante dispositivos especiales	
	Según la forma de sujeción	{ Por el exterior Por el interior Por una sola superficie (ventosa, imán, etc.) Con dedos de orientación variables	
		Según los actuadores	{ Neumático Hidráulico Electromecánico Por resorte (combinado con los anteriores para liberar la pieza)

Fuente AUDÍ, 1988, 55



**Tabla XVII. Clasificación de las herramientas para ejecución de tareas**

Casos para colado de metales fundidos

Placas múlti-llama para calentar moldes

Antorchas para soldadura por arco	{ MIG con alimentación TIG con alimentación de gas solamente         }	{ Gas Varilla-electrodo         }
-----------------------------------	--	---

Pinza para soldar por puntos	{ Una pinza Dos pinzas Tres pinzas         }	{ Con transformador en el robot Con transformador fuera del robot         }
------------------------------	---	---

Cabezal soldador de espárragos (a chapas de acero)

Cabezales láser	{ Para soldar Para marcar         }
-----------------	---

Pistolas para	{ Pintar Recubrir         }	{ Metalizar Porcelanar         }	
			{ Chorroar         }
	{ Aplicación de adhesivos         }	{ Con agua a presión Con agua a presión más abrasivo         }	

Soplete de oxicorte: para desbarbado de piezas de fundición metálicas (Pesado)

Desbarbadoras (ligeras)	{ Con fresolín Con tela esmeril Con muela         }
-------------------------	--

Taladradoras ligeras  
 Cinceles con percusión  
 Atornilladores

Fuente: AUDÍ, 1988, 57

# Apéndice B

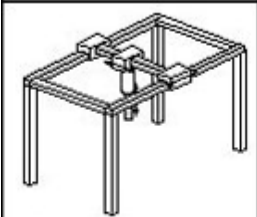
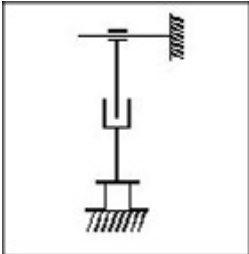
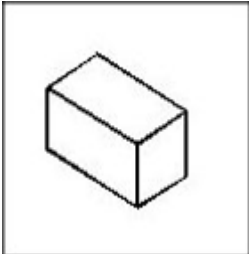

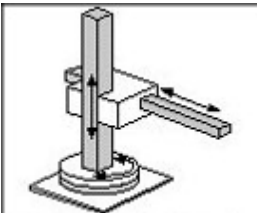
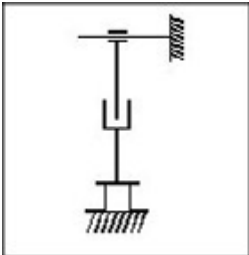


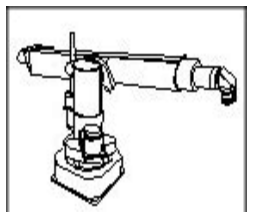
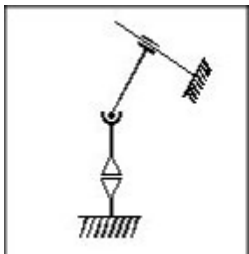
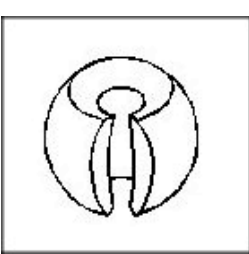

## **OTRAS CLASIFICACIONES DE LOS ROBOTS**


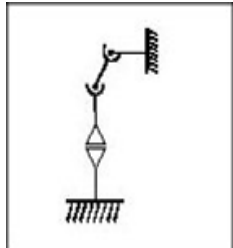
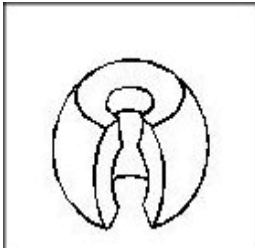

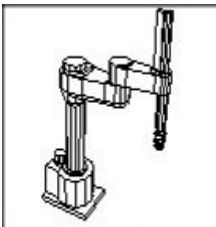
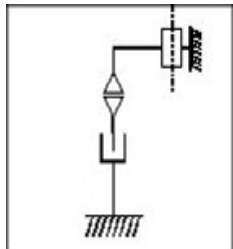
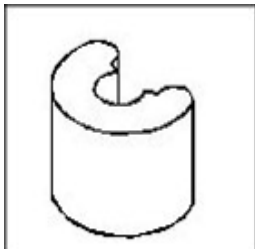

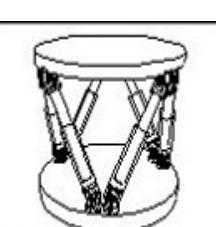
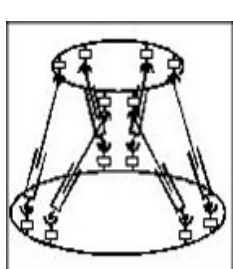
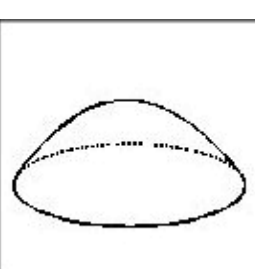

**Tabla XVI. Clasificación según la Asociación Japonesa de Robótica**

No	Clasificación	Definición
1	Manipulador manual	Manipulador operado por el hombre.
2	Manipulador de secuencia	Manipulador que ejecuta cada paso de una operación dada, de acuerdo con un programa de movimientos que no puede ser cambiado sin alguna alteración física.
3	Robot operacional	Un robot que teniendo un controlador y actuador para su movilidad o manipulación, es remotamente controlado por un operador.
4	Robot con secuencia controlada	Robot que opera secuencialmente de acuerdo con una información pre-establecida. (Secuencia, condiciones, posiciones)
5	Robot de Aprendizaje	Robot capaz de repetir una tarea programable, entrada a través de enseñanza.
6	Robot CNC	Robot que puede ejecutar la operación encomendada de acuerdo con la información cargada numéricamente, tanto en secuencias, condiciones y posiciones, sin ser movido el robot.
7	Robot Inteligente	Robot capaz de determinar sus acciones a través de su inteligencia. Nota: Inteligencia Artificial: La facultad de realizar artificialmente el reconocimiento, aprendizaje y conceptualización abstracta adaptabilidad al entorno y similares.
7-2	Robot Controlado Adaptativamente	Robot con control adaptativo. Nota: Control adaptativo: Un esquema de control que ajusta los parámetros de control del sistema a condiciones detectadas durante el proceso.
7-3	Robot Controlado por Aprendizaje	Robot con una función de control por aprendizaje. Nota: Control por aprendizaje: Un esquema de control en donde la experiencia es automáticamente utilizada para cambiar los parámetros o algoritmos de control.

Fuente: Audí, 1988, 14.

**Tabla XVII. Clasificación de robots industriales de la Federación Internacional de Robótica**

Clasificación de los robots industriales por su estructura mecánica			
Robot	Ejes	Espacio de trabajo	Ejemplo
 <p>Cartesian Robot</p>			
 <p>Cylindrical Robot</p>			
 <p>Spherical Robot</p>			

 <p>Articulated Robot</p>			
 <p>SCARA Robot</p>			
 <p>Parallel Robot</p>			



# Apéndice C

**DIMENSIONES MECÁNICAS DE ROBOT DEMOSTRATIVO  
(PROTOTIPO)**

Con fines de demostración se dimensiona, un brazo a nivel de maqueta demostrativa como sigue:

Las dimensiones de los eslabones fijos son:

- ▶ El primer eslabón formado con un tubo de aluminio de 0.3m de longitud, 0.05m de ancho y 0.025m de grueso.
- ▶ El segundo eslabón formado por un tubo de aluminio de 0.2m de longitud, 0.05m de ancho y 0.025m de grueso.

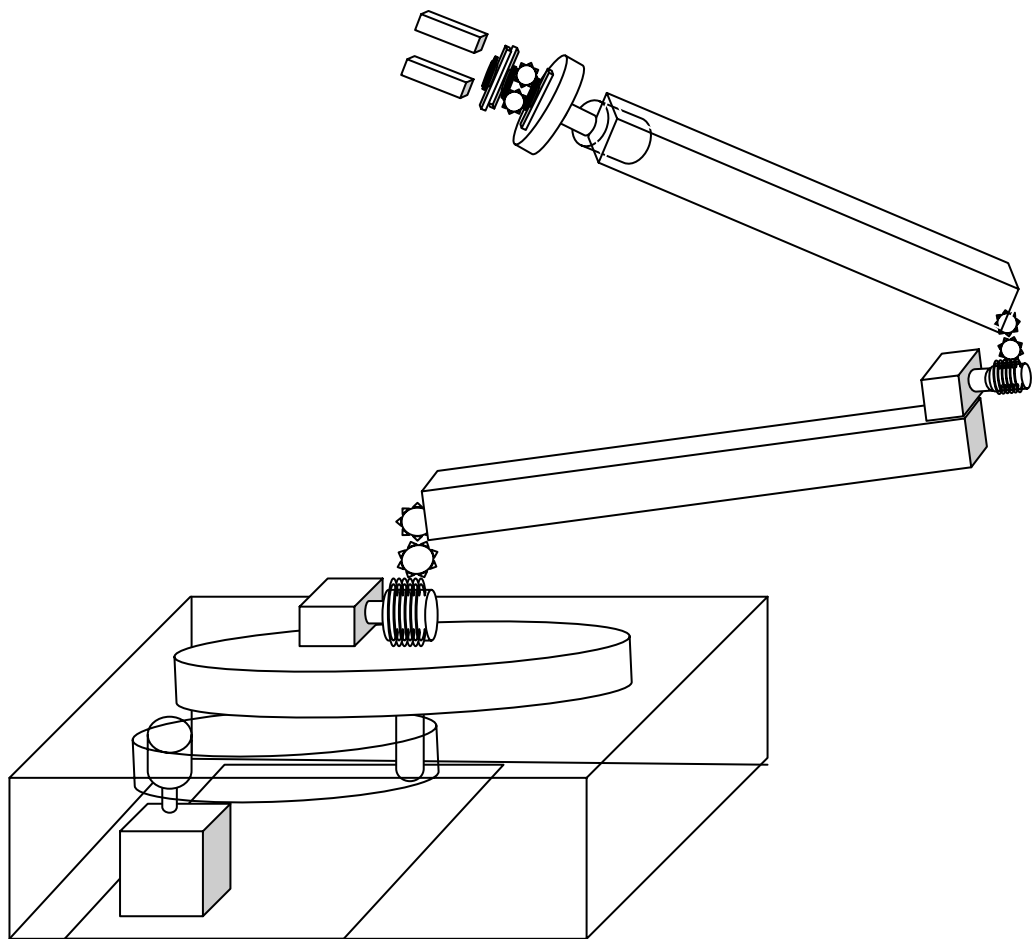
Las dimensiones de la base son:

- ▶ Estructura de forma de paralelepípedo de aluminio de 0.5m de ancho por 0.5m fondo por 0.16m de alto.

Los otros elementos son adquiribles en el mercado o reciclables de otras máquinas tales como:

- ▶ Engranajes.
- ▶ Tornillos sin fin.
- ▶ Plato de tornamesa.
- ▶ Fajas de tracción.
- ▶ Motores de Paso.
- ▶ Aluminio en formas.

**Figura 23. Esquema de la representación mecánica de la maqueta.**



Por: Renzo Rodolfo Ramírez De León

# Apéndice D

## **LISTADO DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS**

<b>TablaXVIII. Componentes</b>				
No	Componente	Código	Descripción	Observación
1	Opto acoplador	ECG 3103	Opto interruptor individual	U 1 – U 24
2	Opto acoplador	ECG 3081	Opto aislador individual	U 25 – U 48
3	Compuerta lógica	ECG 7486	Compuertas O exclusiva	XR 1 – XR 7
4	Compuerta lógica	ECG 7408	Compuerta Y	Y1
5	Compuerta lógica	ECG 7404	Compuerta inversora	IN 1
6	Bufer	ECG 74ls245	Bus de transferencia de ocho bits sin inversión con tres estados de salida	IC 1
7	Bufer	ECG 74ls244	Manejador de línea de ocho bits sin inversión y tres estados de salida	IC 2 – IC 10
8	Registro	ECG 74C373	Registro de transferencia de ocho bits y retención con tres estados de salida	IC 11
9	Oscilador	ECG 955M	Oscilador mono estable 555	IC 12
10	Flip Flop	ECG 74HC109	Flip Flop JK	FJK1 – FJK 2
11	Transistor	ECG 152	Transistor de potencia	Q1 - Q 24
12	Regulador de Voltaje	ECG 960	Regulador + de voltaje de 5 v	REG 1
13	Regulador de Voltaje	ECG 968	Regulador +de voltaje de 15 v	REG 2
14	Regulador de Voltaje	ECG 969	Regulador - de voltaje de 15 v	REG 3
15	Diodo	ECG 156	Diodo rectificador	D 1 – D 8
16	Triac	ECG 5643	Triac	DT 1
17	Resistencia	-----	De carbón de ½ watt y 1000 Ω	R0 – R 24
18	Resistencia	-----	De carbón de ½ watt y 500 Ω	R 25 – R 60
19	Resistencia	-----	De carbón de ½ watt y 1M Ω	R 61

20	Resistencia	-----	De carbón de ½ watt y 100K Ω	R 62
21	Resistencia	-----	De carbón de ½ watt y 220 Ω	R 63 – R 65
22	Capacitor	-----	Cerámico de 0.01uf y 500 V	C 1
23	Capacitor	-----	Electrolítico de 10uf y 10 V	C 2
24	Capacitor	-----	Electrolítico de 10uf y 15 V	C 3- C 4
25	Capacitor	-----	Electrolítico de 10uf y 15 V	C 5
26	Capacitor	-----	Electrolítico de 2200uf y 35 V	C 6 – C 7
27	Capacitor	-----	Electrolítico de 2200uf y 15 V	C 8
28	Transformador	-----	Transformador de 110 V a 15 V con toma central	TX 1
29	Transformador	-----	Transformador de 110 V a 5 V	TX
30	Motor	-----	Motor paso a paso unipolar	M1 – M6
31	Conector	-----	Conector DB 9 Hembra	
32	Conector	-----	Conector DB 9 Macho	
33	Conector	-----	Conector DB 25 Macho	
34	Conector	-----	Conector para cable de corriente	
34	Interruptor	-----	Interruptor para 110 AC	S 1
35	Interruptor	-----	Interruptor par 5 V DC	S 2
36	Interruptor	-----	Hongo	SW
37	Botón	-----	Botón de presión	PS1 – PS 12

<b>Tabla XIX. Otros elementos</b>			
1	Cable de datos	-----	Cable con conector DB 25 macho en un extremo y uno hembra en el otro
2	Cable de Corriente	-----	Cable de alimentación eléctrica
3	Cable de mando	-----	Cable de conexión del mando manual con un conector DB9 hembra en un extremo y uno macho en el otro.