



UNIVERSIDAD LASALLISTA BENAVENTE



ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

Con estudios incorporados a la
Universidad Nacional Autónoma de México
CLAVE: 8793-16

“CARACTERÍSTICAS Y PROGRAMACIÓN DEL ROBOT CATALYST-3 DE LA COMPAÑÍA CRS MODELO F3”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN COMPUTACIÓN

P R E S E N T A :

MARIA DE LOS ANGELES NANCY CRUZ GUZMÁN

ASESOR: ING. ANSELMO RAMÍREZ GONZÁLEZ

Celaya, Gto.

Febrero 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Para:
Dios,
Martha, mi mami,
quien me ha apoyado
en todo momento y ha sido mi
mayor inspiración y orgullo
y mi familia.
Gracias*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO UNO: ANTECEDENTES

1.1. HISTORIA DE LOS AUTÓMATAS	2
1.2. CIENCIA FICCIÓN	5
1.3. APLICACIONES	7
1.3.1. INVESTIGACIÓN	8
1.3.2. MEDICINA	9
1.3.3. ESPACIO	10
1.3.4. HOGAR	12
1.3.5. ENTRETENIMIENTO	14
1.3.6. AGRICULTURA Y GANADERÍA	14
1.3.7. EDUCACIÓN	14
1.4. COMPAÑÍAS FABRICANTES DE ROBOTS	15

CAPÍTULO DOS: ROBÓTICA

2.1. ROBÓTICA	16
2.1.1. ÁREAS DE LA ROBÓTICA	17
2.1.2. RAMAS DE LA ROBÓTICA	17
2.2. AUTOMATIZACIÓN	18
2.2.1. TIPOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	19
2.2.2. LA AUTOMATIZACIÓN Y LA ROBÓTICA	20

CAPÍTULO TRES: COMPONENTES DE UN ROBOT

3.1. GENERACIONES DE ROBOTS INDUSTRIALES	21
3.2. CLASIFICACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES	24

3.3. TIPOS DE ROBOTS	27
3.3.1. CLASIFICACIÓN POR LA GEOMETRÍA	27
3.3.2. CLASIFICACIÓN POR EL MÉTODO O SISTEMA DE CONTROL	29
3.3.3. CLASIFICACIÓN POR FUNCIÓN O POR PROPÓSITO	31
3.3.4. NÚMERO DE GRADOS DE LIBERTAD DEL EFECTOR FORMAL	31
3.4. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS PARA UN ROBOT INDUSTRIAL	33
3.5. ESTRUCTURA DE UN ROBOT INDUSTRIAL	34
3.5.1. ELEMENTOS DEL MANIPULADOR O BRAZO MECÁNICO	34
3.5.2. ELEMENTOS MOTRICES	37
3.5.3. CONTROLADOR	37
3.5.4. DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA	39
3.5.5. SENSORES	39
3.5.6. COMPONENTES MECÁNICOS DE UN ROBOT	40

CAPÍTULO CUATRO: PROGRAMACIÓN DE UN ROBOT

4.1. SISTEMA DE PROGRAMACIÓN DE UN ROBOT	44
4.2. PROGRAMACIÓN GESTUAL	46
4.2.1. PROGRAMACIÓN POR APRENDIZAJE DIRECTO	46
4.2.2. PROGRAMACIÓN MEDIANTE UN DISPOSITIVO DE ENSEÑANZA	47
4.3. PROGRAMACIÓN TEXTUAL	47
4.3.1. PROGRAMACIÓN TEXTUAL ESPECIFICATIVA	49
4.3.2. PROGRAMACIÓN TEXTUAL EXPLÍCITA	49
4.4. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN MAS USADOS EN LA ROBÓTICA	51
4.4.1. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN GESTUAL PUNTO A PUNTO	52
4.4.2. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN A NIVEL DE MOVIMIENTOS ELEMENTALES	52
4.4.3. LENGUAJES ESTRUCTURADOS DE PROGRAMACIÓN EXPLÍCITA	53

4.4.4. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN ESPECIFICATIVOS A NIVEL	55
4.4.5. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS OBJETIVOS	55

CAPÍTULO CINCO: CARACTERÍSTICAS Y PROGRAMACIÓN DEL ROBOT CATALYST-3

5.1. CARACTERÍSTICAS DEL ROBOT CATALYST-3	57
5.1.1. EL BRAZO	58
5.1.1.1. CODIFICADORES INCREMENTALES	58
5.1.1.2. CONTROLADOR C500C	59
5.1.1.2.1. PANEL DE CONTROL	59
5.1.1.2.2. PUERTOS DEL CONTROLADOR	60
5.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA CATALYST-3	61
5.3. MANEJO PREVENTIVO DEL SISTEMA CATALYST-3	64
5.3.1. ÁREA DE TRABAJO	65
5.3.2. ALERTAS PASIVAS	66
5.3.3. PREVENCIÓN DE ACCIDENTES	67
5.3.4. ENTRENAMIENTO SEGURO	67
5.4. INSTALACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL CATALYST-3	68
5.5. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA	69
5.5.1. INSPECCIÓN DEL SISTEMA	69
5.5.2. ENCENDIENDO EL SISTEMA	71
5.5.3. CARGANDO LOS ARCHIVOS DE CALIBRACIÓN	71
5.5.4. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA	72
5.5.5. ENCENDIENDO EL BRAZO POR PRIMERA VEZ	73
5.5.6. COMPROBAR LOS PAROS DE EMERGENCIA	74
5.5.7. PRUEBA DE LAS ARTICULACIONES DE MOVIMIENTO	75
5.5.8. MANDANDO A HOME AL BRAZO	76
5.5.9. COMPROBANDO LA POSICIÓN DEL ROBOT	78

5.6. LENGUAJE RAPL-3	79
5.6.1. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN PROGRAMA EN RAPL-3	79
5.6.1.1. FUNCIÓN MAIN	80
5.6.1.2. LÍNEAS DE UN PROGRAMA	81
5.6.1.3. COMENTARIOS	81
5.6.1.4. ETIQUETAS	82
5.6.1.5. PALABRAS RESERVADAS	82
5.6.2. TIPOS DE DATOS	83

CAPÍTULO SEIS: PRÁCTICAS DEL ROBOT

6.1. ELEMENTOS DEL ROBOT CATALYST-3	85
6.2. PROCEDIMIENTO DE ENCENDIDO DEL SISTEMA	89
6.3. PROCEDIMIENTO DE APAGADO DEL SISTEMA	92
6.4. PROCEDIMIENTO PARA CONFIGURAR EL SISTEMA Y ENVIAR A HOME	95
6.5. MANEJO DEL TEACH PENDANT	98
6.6. TIPOS DE MOVIMIENTOS DEL ROBOT	108
6.7. ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA UTILIZANDO LOS COMANDOS MOVE Y SPEED CON DOS VARIABLES	115

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

El mundo vive un proceso de constante evolución, la tecnología que hoy es considerada de punta, a la semana o incluso al día siguiente se considera antigua, en algunos casos al pasar menos de un año ya es tecnología obsoleta.

Cuando comencé a investigar sobre este trabajo tenía la idea de que los robots habían comenzado hasta hace unas pocas décadas, pero si se toma la definición de que un robot es un aparato mecánico diseñado para facilitar y realizar el trabajo del ser humano, se puede dar cuenta, que desde el principio del tiempo los hombres han utilizado robots mejor conocidos como máquinas simples, es decir, la rueda, la catapulta, etc. Hoy día las amas de casa manejan, tomando como base la definición, muchos robots como la licuadora, el extractor, el horno de microondas, etc.

La robótica como ciencia tuvo sus comienzos apenas hace unas décadas y hasta 1980 se empleó el primer robot industrial en la planta de General Motors en Nueva Jersey, en la actualidad el mundo entero está lleno de robots industriales, que son mejor conocidos como brazos de robots, la automatización llegó a romper antiguos paradigmas.

Las empresas se automatizan dejando a un lado el factor humano, los brazos de robots han comenzado a sustituir a las personas, anteriormente se llevaba a los jóvenes de secundaria o de preparatoria a visitar las empresas y ellos veían todo con asombro, en la actualidad algunos están más informados o actualizados que sus propios padres.

México es un país que sigue en constante crecimiento, lamentablemente al investigar sobre este proyecto me di cuenta que estamos muy atrasados en comparación con otros países, la mayoría de los recién egresados no manejan los robots industriales, las empresas los deben capacitar, enviándolos a otros países como España, Brasil, Alemania, etc.

El brazo de robot CataLyst-3 modelo F3, sobre el cual se hacen las prácticas de este proyecto, pertenece a la compañía CRS, una empresa canadiense que se dedica principalmente a la fabricación de robots orientados hacia la investigación e implantación de sistemas en laboratorios para la fabricación, desarrollo e investigación de nuevas medicinas.

Las prácticas que se presentan permiten ir desde lo básico, que es conocer cada una de las partes del sistema, hasta lo complejo, poderlo programar por medio de una computadora, fueron hechas de forma que cualquier persona pueda manejarlo aún teniendo un conocimiento nulo o casi nulo sobre el uso de un robot industrial.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

Aún cuando se piensa que la robótica es una ciencia relativamente nueva, sus orígenes comienzan desde hace miles de años.

Desde el principio, el hombre ha deseado crear vida, algunos autores como J. J. C. Smart y Jasia Reichardt, consideran que el primer autómatas de la historia fue Adán, creado por Dios, quien lo programo y dio sus primeras “instrucciones”. Según la mitología griega, el primer autómatas fue Prometeo, creado con barro y animado por el fuego de los cielos.

Los primeros autómatas creados se realizaban con diferentes materiales que se encontraban al alcance de todos, esto es, se utilizaban maderas resistentes, metales como el cobre y cualquier otro material moldeable, es decir, materiales que no necesitaban ningún tipo de transformación para ser utilizados en la creación de los mismos.

Los primeros autómatas utilizaban la fuerza bruta y recibían el nombre de máquinas simples, pues eran capaces de realizar tareas diarias comunes para los hombres o facilitar las labores cotidianas, de esta manera se comienzan a crear máquinas capaces de repetir las mismas labores que el hombre realizaba, tales como:

- ⊗ La rueda, como un medio de transporte o como herramienta en el funcionamiento de una máquina más compleja.
- ⊗ La catapulta, que era utilizada como arma de combate
- ⊗ El molino, para obtener agua o para moler granos, etc.

De esta manera, se fabricaban muchos artefactos para facilitar el trabajo, aunque no todo se utilizaba para él. Algunas máquinas se usaban únicamente para entretenimiento y no hacían más que realizar movimientos repetitivos o emitir sonidos.

Algunas de las culturas que comenzaron con la construcción de los autómatas fueron los egipcios, que hacían que las estatuas movieran los brazos o que emitieran algún tipo de sonido.

Los griegos aportaron grandes conocimientos a los autómatas, aunque su interés era más bien hacia el saber humano, que hacia las aplicaciones prácticas y dentro de este marco, tenemos también a los árabes que inventaron el reloj mecánico.

Hoy en día la palabra robot tiene varios significados:

- La primera nos la da el Instituto de Robots de América: *“Manipulador funcional y reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos programables y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas.”*¹
- Otra definición es *“aparato mecánico que se parece y hace el trabajo del ser humano”*²
- Y la última definición mencionada es de la enciclopedia Encarta: *“Máquina controlada por ordenador y programada para moverse, manipular objetos y realizar trabajos a la vez que interacciona con su entorno. Los robots son capaces de realizar tareas repetitivas de forma más rápida, barata y precisa que los seres humanos.”*³

Una definición basada en lo anterior es que un robot es un dispositivo que permite realizar labores que normalmente pueden ser demasiado tediosas o peligrosas para el ser humano, de una manera más eficiente de cómo este la haría.

1.1 HISTORIA DE LOS AUTOMATAS

Mucha gente piensa que los autómatas fueron creados a partir de los años 50, otros piensan que comenzaron con la Revolución Industrial, realmente desde cientos de años antes de Cristo se comenzaron a crear lo que serían los antecesores de los autómatas actuales, para no hacer la lista muy larga únicamente se mencionaran algunos:

¹ Angulo, J. M.: Curso de Robótica, Editorial. Revolucionaria, La Habana, 1997, Pág. 7

² Coiffet, P.: Elementos de robótica, Editorial. Revolucionaria, La Habana, 1997, Pág. 9

³“Robot.” *Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001.* © 1993-2000 Microsoft Corporation.

- En 1500 a. C., Amenhotep, construye una estatua de Memon, el rey de Etiopía capaz de emitir sonidos al ser iluminada por los rayos del sol al amanecer
- En 500 a. C., King-su Tse, en China inventa una urraca voladora de madera y bambú y un caballo de madera que saltaba.
- En 400 y 397 a. C., Archytar de Tarento, inventor del tornillo y la polea, construye un pichón de madera suspendido en un pivote, el cual rotaba con un surtidor de agua o vapor simulando el vuelo.
- Entre el 220 y 200 a. C., Filon de Bizancio inventa la catapulta repetitiva.
- En el año 62 d. C., Hero de Alejandría realiza un “Tratado de Automatas”, el cual llevaba un registro de aplicaciones de la ciencia que pueden ser demostrados por medio de un autómata.

Crea también un teatro automático, en el cual las figuras que se encontraban montadas en una caja, cambian de posición ante los ojos de los espectadores. Esta funcionaba mediante monedas, al insertar una, los pájaros cantaban, las trompetas sonaban y los animales bebían.

- En 1235, Villard D’Honnecourt hace un libro de esbozos que incluyen secciones de dispositivos mecánicos, como un ángel autómata, e indicaciones para la construcción de figuras humanas y animales.
- Desde 1352 a 1789, un reloj con forma de gallo canta en la catedral de Strasbourgo
- En 1500 Leonardo Da Vinci, construye un león automático en honor de Luis XII que actúa en la entrada del Rey de Milán.
- En 1640, René Descartes invento un autómata al que se refiere como “mi hijo Francine”.

- Hacia 1738, Jacques de Vaucanson, construye un flautista y un tamborileo que consistía en un complejo mecanismo de aire que causaba el movimiento de dedos y labios, como el funcionamiento normal de una flauta.

Después construye el pato, mostrado en la figura 1.1, esta echo de cobre, bebe, come, grazna, chapotea en el agua y digiere su comida como un pato real.



Fig. 1.1 El pato de Jacques de Vaucanson

□ Los Maillardet (Henri, Jean-David, Julien-Auguste, Jacques-Rodolphe) hicieron su aparición a finales del siglo XVIII y principios del XIX, construyen un escritor-dibujante, con la forma de un chico arrodillado con un lápiz en su mano, escribe en inglés, francés y dibuja paisajes. Construyen un mecanismo “mágico” que responde preguntas y un pájaro que canta en una caja.

□ Thomas Alva Edison construyó en el año 1891 una muñeca que habla.⁴

Estos autómatas únicamente servían para entretener a una audiencia pues no tenían ninguna aplicación práctica. La mayoría de ellos funcionaban por medio de movimientos ascendentes de aire o agua caliente o por medio de contrapesos.

En la tabla 1.1, se pueden apreciar los primeros autómatas que se relacionaron con la industria, dejando atrás el entretenimiento colectivo.

Tabla 1.1 Desarrollo de los primeros autómatas

Fecha	Desarrollo
1788	James Watt inventa el primer controlador realimentado. Este dispositivo constaba de dos bolas metálicas unidas al eje motor de una máquina de vapor, conectada con una válvula que regulaba el flujo del vapor lo que regulaba la velocidad.
1801	J. Jacquard inventa un telar, que era una máquina programable para la urdimbre
1946	G. C. Devol desarrolla un dispositivo controlador que registra señales eléctricas por medios magnéticos y reproducirlas para accionar una máquina mecánica. □ La patente se emite en 1952 en Estados Unidos
1952	El Instituto Tecnológico de Massachussets muestra una máquina de control numérico. En 1961, se publica el lenguaje APT (Automatically Programmed Tooling) un lenguaje de programación de piezas.
1961	Goertz y Bergsland, trabajan en el desarrollo de Teleoperadores (manipuladores de control remoto), para manejar materiales radiactivos.

2. BOTS", *Biblioteca de Informática*, Vol. 7, Páginas 2227 a 2230, (1990).

Fecha	Desarrollo
1960	Se introduce el primer robot "Unimate", basado en transferencia de articulaciones programada de Devol. Utilizaba los principios de control numérico para el control del manipulador, era un robot de transmisión hidráulica.
1961	La compañía Ford Motors instala un robots "Unimate" para atender una máquina de fundición de troquel.
1971	La Universidad de Standford desarrolla un brazo de robot de accionamiento eléctrico, llamado "Standford Arm"
1973	El SRI desarrolla el primer lenguaje de programación de robots, denominado WAVE. En 1974, crean el lenguaje AL, posteriormente desarrollan el lenguaje VAL para Unimation por Víctor Scheinman y Bruce Simano.
1974	Kawasaki, instala un robot Unimation. Era utilizado para soldadura por arco para estructuras de motocicletas.
1975	Victor Sheiman, estudiante de la Universidad de Standford desarrolla un manipulador polivalente flexible PUMA (Brazo Manipulador Universal Programable).

1.2 CIENCIA FICCIÓN

La enciclopedia Encarta, nos define el término Ciencia ficción como *"género literario que parte de las ideas científicas para narrar una historia sobre sociedades futuras o mundos paralelos."*⁵

⁵"Ciencia ficción." *Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001*. © 1993-2000 Microsoft Corporation.

La ciencia ficción ha tenido una gran importancia en el mundo de los autómatas, gracias a ella surgió la palabra robot. En 1921, el escritor checoslovaco Karel Capek, fallecido en 1938, presenta su obra titulada R. U. R. (“Rossum’s Universal Robot”). En ella habla de la deshumanización del hombre en un medio tecnológico; presenta al obrero moderno como un esclavo mecánico pues a diferencia de los robots actuales, estos no eran de origen mecánico, sino más bien creados a través de medios químicos.⁶

Capek, los llama *robots*, derivación del vocablo checo *robota*, que significa “trabajo obligatorio”. De esta manera surge la palabra robot para hacer referencia a los autómatas de esa época.

En 1940, Isaac Asimov⁷, científico y escritor mostrado en la figura 1.2, publica su libro titulado “Yo robot”, donde hace mención de tres postulados:

- Un robot no debe dañar a un ser humano, o dejar que sufra algún daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes que se le dan, excepto cuando estas son contradicción a la primer ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, mientras esta protección no entre en conflicto con la primera o segunda ley.⁸



Fig. 1. 2 Isaac Asimov

Debido a esta obra, la gente dio un voto de confianza a los robots, aún cuando los novelistas cuestionaban en sus obras la naturaleza de los robots, difundiendo el temor de que algún día el hombre llegue a ser un esclavo de las máquinas.

⁶ “ROBOTS”, *Biblioteca de la Informática Vol. 7*, Página 2225, (1990).

⁷ http://www.thetech.org/robotics/universal/breakout_p13_asimov.html

⁸ <http://www.casadellibro.com/fichas/fichabiblio/0,1094,2900000113193,00.html?codigo=2900000113193>

El tema de los robots también forma parte de la industria cinematográfica, una de las primeras películas que tratan el tema de la robótica es la titulada “Metrópolis”⁹, (1927) de Fritz Lang, en ella se describe una fantasía futurista situada en el año 2026, donde la sociedad es controlada por un gran poder industrial, donde los obreros se ven reducidos a la condición de esclavos.

La protagonista es un robot llamado Futura, mostrada en la figura 1.3, debe conducir a la perdición a la clase baja, pero el robot sale de control al enamorarse del héroe de la película.



Fig. 1. 3 Futura, el androide, y su creador

En 1977, George Lucas revolucionó la industria del cine comercial con su obra “La guerra de las galaxias” (Star Wars), en esta cinta, la evolución de los robots les permite tener inteligencia propia, tomar sus propias decisiones y hasta tener sentido del humor. Pero todos los robots planteados en esta cinta, no siguen los lineamientos de Isaac Asimos, ya que pueden destruir cualquier forma de vida.

1.3 APLICACIONES

Los robots en la antigüedad eran utilizados para entretenimiento de sus dueños o del público espectador, en la actualidad los robots tienen un sinnúmero de aplicaciones.

Hacia finales de la década de los 50 y principios de los 60, surgen a la luz pública los primeros robots industriales conocidos como Unimates, estos fueron diseñados por George Devol y Joe Engelberger, este último creó Unimation y fue el primero en comercializar con dichas máquinas, con lo cual se ganó el título de “Padre de la Robótica”.

Ya en la década de los 80, los brazos industriales modernos incrementaron su capacidad y desempeño a través de microcontroladores y lenguajes de programación más avanzados. Dichos avances se lograron gracias a la colaboración de la industria automovilística.

⁹ <http://www.cinefantastico.com/film.php?id=272>

Ahora bien, el campo de la robótica es muy amplio, no se centra únicamente en la industria, esta se ve ligada a la investigación científica, a la medicina, etc.

1.3.1 Investigación

La investigación es el campo donde los robots han ido desarrollándose cada vez más debido a su uso en la investigación de lugares a donde el hombre no ha podido llegar, porque es un medio hostil o demasiado peligroso. También es debido a que se puede experimentar con robots de prueba antes de implantar algún nuevo programa de control.

La compañía K-Team S. A, con sede en Suiza, fabrica robots para experimentación, uno de ellos es el Khepera, mostrado en la figura 1.4, que pertenece a la familia de K-robots.

A continuación se dan algunas de las características del Khepera:

- Su miniaturización hace posible tener la capacidad de un robot grande en un escritorio normal, cerca de la computadora.
- Puede ser manipulado fácilmente
- La conexión con la computadora puede hacerse satelital.
- La computadora, el robot y el medio ambiente están en la misma mesa, cerca del usuario.
- Al robot básico se le pueden agregar aditamentos como las cámaras de video para el reconocimiento de imágenes ó un brazo mecánico con dos grados de libertad para poder tomar y manipular una infinidad de objetos.¹⁰

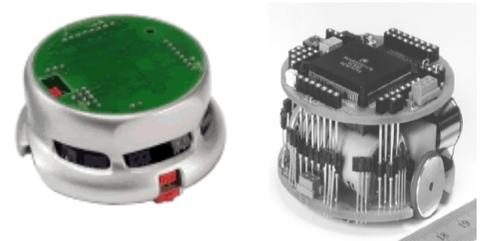


Fig. 1. 4 Robot Khepera,
de la Cía. K - Team

Dante II¹¹, mostrado en la figura 1.5, fué creado en la Universidad de Carnelly Mellon, era un robot diseñado para vivir en volcanes buscando pistas que

¹⁰ “Khepera Mobile Robot Specifications”. <http://diwww.epfl.ch/lami/robots/K-family/Khepera.html>. 1997.

¹¹ http://www.ri.cmu.edu/projects/project_163.html

determinen futuras erupciones. En 1994, Dante II bajó a las entrañas del cráter de monte Spurr en Alaska, los científicos que tenían esa misión pudieron observar sus movimientos a una distancia de 80 millas. Mediante el uso de ocho cámaras, el robot pudo operar sin el control humano.



Fig. 1.5 Dante II, de la Universidad de Carnelly Mellon

El uso de los robots en la investigación no se limita a que estos “caminen”, por eso en 1993 se crea un nuevo tipo de robot, denominado RoboTuna¹², en el Instituto Tecnológico de Massachussets, en la figura 1.6 se muestra la cola de dicho robot.

El primer prototipo fue llamado Charlie, quien tenía el propósito de lograr un mejor sistema de propulsores para vehículos bajo el agua.



Fig. 1.6 RoboTuna, del Instituto Tecnológico de Massachussets

1.3.2 Medicina

En el campo de la medicina, algunos hospitales utilizan robots mensajeros, quienes cargan todos los suministros y equipo necesario de un lugar a otro.

Algunos robots, incluso ayudan durante algunas microcirugías, disminuyendo los posibles “temblores” que pueden tener las manos humanas.

¹² <http://web.mit.edu/towtank/www/Tuna/tuna.html>

La Universidad de California en Berkeley, la Corporación Edorobotics y la Universidad de California en San Francisco, han desarrollado nuevas herramientas y mejoras para la manipulación de la endoscopía, sentido e interfaces humanas para la operación a control remoto.

Se ha logrado introducir el concepto de Cirugía con Invasión Mínima, la cual

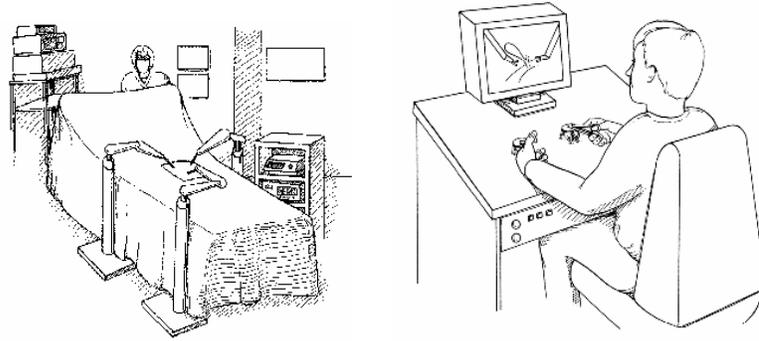


Fig. 1.7 Operación a través de un brazo de robot.

consiste en la mínima intervención de aparatos y herramientas. El concepto esencial de esto radica en poder aislar al doctor de su paciente, para evitar que se pueda dañar al paciente de alguna manera o se logre hacer operaciones a distancia, la figura 1.7 da una idea sobre como es el procedimiento.

Otra aplicación, es un simulador de realidad virtual con el fin de entrenar a los médicos y estudiantes en la cirugía de invasión mínima.

Para poder realizar la cirugía, el doctor cuenta con unos pequeños brazos mecánicos, los cuales harán la intervención quirúrgica sin necesidad de hacerle al paciente una gran incisión para poder realizar la operación. Estos brazos mecánicos, cuentan con unas pequeñísimas pinzas que realizarán la cirugía propia del doctor.

1.3.3 Espacio

El hombre siempre ha querido saber si existe vida en otros planetas, es por eso que una de las aplicaciones más reconocidas y aprovechadas de la robótica es la telerrobótica, en el espacio exterior.

La organización más importante dentro de este aspecto es la NASA (Nacional Aeronautics and Space Administration).

El programa de Telerrobótica espacial de la NASA, ha sido diseñado para desarrollar capacidades como movilidad y manipulación a distancia, esto une la robótica y las teleoperaciones.

Este, centra sus esfuerzos en tres áreas: ensamblaje y servicio en órbita, cuidar los gastos científicos y los robots en la superficie del planeta.



Fig. 1.8 Sojourner aterrizando en Marte

En 1997, en la misión a Marte *Pathfinder*, el “héroe” de la misión fue Sojourner, quien tomo fotografías, muestras de tierra y rocas, la figura 1.8 muestra el aterrizaje en Marte.

Este pequeño robot encontró pistas que nos dicen que quizá alguna vez Marte estuvo cubierto por agua, agua que pudo albergar vida microscópica.

El Sojourner pesa 11 kilos, tiene seis ruedas y puede moverse a velocidades de 0.6 metros por minuto, tiene un sistema balanceado que es único ya que no utiliza muelles, la figura 1.9 muestra la base del Sojourner, sus juntas rotan y se mueven adaptándose al contorno, proporcionando así el más alto grado de estabilidad y capacidad para sortear obstáculos.



Fig. 1.9 Base del Sojourner

El control del Sojourner lo proporcionaba una computadora basada en el procesador Intel 80C85, utiliza un bus multiplexado de datos y direcciones de ocho bits, posee un total de 672 Kbytes de memoria, 160 Kbytes son de EEPROM no volátil, 48 Kbytes están protegidos contra radiaciones y contienen el sistema operativo. No tiene disco duro para guardar imágenes o datos, estos son almacenados en un buffer local antes de ser transmitidos a la plataforma.

El CPU posee una velocidad de 2 Mhz, los programas fuente del Sojourner fueron programados en ANSI C y en lenguaje ensamblador.

La computadora de la plataforma tiene un CPU basado en el modelo comercial del IBM 6000, bajo una arquitectura RISC de 32 bits. Tampoco tiene disco duro, pero goza de una RAM dinámica de 128 Mbytes suficiente para almacenar datos e imágenes y transmitir a la Tierra. Los comandos y la telemetría se proporcionan con modems en el microrover y en la plataforma. Durante el día, el microrover solicita frecuentemente la transmisión de comandos, este envía los datos telemétricos a la plataforma y lo almacena para enviarlos posteriormente a la Tierra. Los comandos enviados desde la Tierra contienen los objetivos del microrover y el tipo de mediciones que se debe realizar, ayudados por la cámara IMP de la plataforma, el equipo de control de la Tierra genera imágenes tridimensionales, sobre estas imágenes se colocan unos iconos gráficos marcando los objetivos del día siguiente, esta información se le envía a la plataforma, de esta manera se comanda el microrover desde la Tierra.

1.3.4 Hogar

Los robots tienen décadas dentro del hogar, al seguir la definición de robot, se puede notar que la licuadora, el exprimidor y algunos otros aditamentos son robots electrónicos.

Ahora, para facilitar las labores del hogar, la compañía Eureka ha estado trabajando en un nuevo prototipo aspirador de polvo, mostrado en la figura 1.10.

Este dispositivo se encuentra equipado con un microprocesador que se utiliza como cerebro, puede dar vuelta a un centavo y dar vuelta a las esquinas.

Su manera de trabajar es reconocer el perímetro cruzarlo repetidas veces en un patrón ya definido.



Fig. 1.10 Robot de la compañía Eureka, para aspirar el polvo

En Microsoft ha diseñado una casa inteligente o casa del futuro, ubicada en las instalaciones del Microsoft Campus en Seattle, Washington, los diseñadores han predicho que este tipo de viviendas se popularizarán dentro de una década más o menos, cuando los altos costos de algunos dispositivos disminuyan considerablemente.

Estos son sólo algunos detalles sobre lo que se está trabajando:

- a. El timbre (“monitor key ask”) es un monitor a prueba de las inclemencias del tiempo, en él se pueden poner fotografías de fondo y al tocarlo, una suave voz dentro de la casa anuncia la llegada de un visitante, en caso de no encontrar a alguien dentro, se puede dejar un mensaje de voz y video que se puede entregar al buzón de la vivienda, al e-mail, correo de voz, celular o PDA del destinatario.
- b. No necesita llaves para ingresar a la casa, se utiliza una tarjeta inteligente, aunque esta no es indispensable, basta acercar la cara al monitor para que se autorice la entrada por medio del escaneo del iris.
- c. Al entrar a la casa el sistema, que ya tiene definido quien es el que llegó, y apretar el primer apagador se activa “tu sistema de bienvenida personalizado”, la casa saluda por el nombre, avisa si hay recados y acondiciona todo al gusto: luces, música, temperatura, etc.
- d. La cocina cuenta con un par de monitores para revisar correos, buscar recetas, ver la televisión, oír el radio, etc. Para la comida, se toma algo de la despensa, se pasa debajo del microondas, en donde se encuentra un código de barras, el horno accede a Internet, encuentra que es y hace sugerencias sobre como prepararlo y hacerlo.

1.3.5 Entretenimiento

El entretenimiento es una de las razones por las que la robótica surgió, en la actualidad se sigue desarrollándose de manera espectacular.

Sony ha inventado un robot perro llamado AIBO, quien es un sofisticado y autónomo robot que puede oír y ver, además también tiene un sentido para el balance y para tocar, el robot se muestra en la figura 1.11.

Tiene 18 motores especializados que hacen que se mueva como un perro, puede jugar incluso con pelotas.

Como un cachorro, AIBO inicialmente es un poco tonto, con el tiempo y entrenamiento sus movimientos cambian y toman ciertos patrones por los cuales se guían. AIBO esta programado para simular

emociones como felicidad, sorpresa, enojo y también puede responder a instrucciones verbales.



Fig. 1.11 Robot AIBO de Sony

1.3.6 Agricultura y ganadería

Se puede pensar que el tener un robot agricultor no tiene caso o es únicamente un sueño, pero el Instituto de Investigación Australiano ha invertido una fuerte cantidad de dinero y tiempo en el desarrollo de este tipo de robots. Uno de sus proyectos, es la creación de una máquina que esquila a las ovejas, la trayectoria del cortador sobre el cuerpo se planea con un modelo geométrico de la oveja.

Por otro lado, en Francia se hacen aplicaciones de tipo experimental para incluir a los robots en la siembra y poda de los viñedos, así como en la pizca de la manzana.

1.3.7 Educación

El uso de robots en la educación se presenta de diferentes maneras:

1. Los programas educativos utilizan la simulación de control de robots como medio de enseñanza.

2. Otro uso es el del robot tortuga en conjunción con el lenguaje LOGO, que fue creado con la intención de proporcionar al estudiante un medio natural y divertido para el aprendizaje de las matemáticas. Por medio de instrucciones simples se logra que la tortuga vaya formando figuras.

1.4 COMPAÑÍAS FABRICANTES DE ROBOTS

El mercado actual de robots se encuentra dividido en dos áreas principales:

□ Robots móviles, dentro de los cuales podemos encontrar dos subgrupos de importancia.

1.- AGV, “Automatic Guided Vehícles”, son los Vehículos Guiados Automáticamente. Este tipo de robots se encarga de transportar materiales dentro de las fábricas permitiendo la automatización de las líneas de producción, la mayoría de estos robos utilizan cables que se encuentran en el piso como medio de ubicación y para determinar la ruta a seguir. En la actualidad, existen algunos de este tipo que ya no necesitan de los cables como sistemas de guía.

El primer AGV fue instalado en 1954 por la compañía Cravens en la compañía Mercury Motor Express en Carolina del Sur.

2.- Robots para exploración marina: Estos dispositivos le han permitido al ser humano realizar labores a profundidades y bajo condiciones extremas para cualquier buzo.

□ Robots manipuladores, o sea brazos de robots, en este apartado destacan varias compañías como FANUC, ABB, MOTOMAN, etc.

CAPÍTULO II

ROBÓTICA

En el año 1956, George Devol y Joseph Engelberger formaron Unimation, la primera empresa dedicada a la construcción de los robots, los Unimates.

Devol predijo que el robot industrial “ayudaría al trabajador de las fábricas del mismo modo en que las máquinas de oficina habían ayudado al oficinista”.

Años más tarde, en 1961, se empleó el primer robot industrial en la planta de General Motors de Nueva Jersey. Pero no fue sino hasta 1980, que los robots se expandieron a todo tipo de industrias, debido a las mejoras técnicas en los robots por el avance en microelectrónica e informática, ahora las computadoras han ofrecido un cerebro a los músculos de los robots mecánicos, por lo cual la fusión de la electrónica y la mecánica ha hecho posible al robot moderno y para describir esta fusión los japoneses han acuñado el término “mecatrónica”.

2.1 ROBÓTICA

El término robótica, se puede definir bajo diferentes puntos de vista:

- ❑ **Con independencia respecto a la definición de “robot”:** *la robótica es la conexión inteligente de la percepción a la acción.*¹
- ❑ **En base a su objetivo:** *Consiste en el diseño de subsistemas, que tienen que ser diseñados para trabajar conjuntamente en la consecución de la tarea del robot.*²
- ❑ **Supeditada a la propia definición del término robot:** *la robótica describe todas las tecnologías asociadas con los robots.*²

La robótica surgió como una nueva tecnología aproximadamente desde 1960, el término fue acuñado por Asimov para describir la tecnología de los robots, por lo cual se dice que la robótica es *la conexión inteligente de la percepción a la acción*.

La **robótica inteligente**, término que caracteriza a los robots, debido a que combina cierta *destreza física de locomoción y manipulación con las habilidades de percepción y razonamiento residentes en una computadora*.

¹ Michael Brady and Richard Paul, editors. Robotics Research: The First International Symposium. The MIT Press, Cambridge MA, 1984.

² Joseph L. Jones and Anita M. Flynn. Mobile robots: Inspirations to implementation. A K Peters Ltd, 1993.

- ❑ La **locomoción y manipulación** están directamente relacionados con los componentes mecánicos de un robot.
- ❑ La **percepción** esta relacionada con los dispositivos que proporcionan información sobre el medio ambiente, llamados sensores.
- ❑ Los **procesos de razonamiento** seleccionan las acciones que se deben tomar para realizar una tarea, esta habilidad permite el acoplamiento natural entre las habilidades de percepción y de acción.

2.1.1 Áreas de la robótica

La robótica es un área interdisciplinaria formada por diversas ingenierías como son:

- ❑ **Ingeniería Mecánica**, que comprende tres aspectos:
 - Diseño mecánico de la máquina
 - El análisis estático
 - El análisis dinámico.
- ❑ **Ingeniería Eléctrica y Electrónica**, la microelectrónica le permite al robot transmitir la información que se le entrega, coordinando impulsos eléctricos que hacen que el robot realice los movimientos requeridos por la tarea.
- ❑ **Ingeniería en Sistemas**, provee los programas necesarios para lograr la coordinación mecánica requerida en los movimientos del robot, dar un cierto grado de inteligencia a la máquina, es decir, adaptabilidad, autonomía y capacidad interpretativa y correctiva.

2.1.2 Ramas de la robótica

En la actualidad, la robótica se ha dividido en dos ramas dependiendo al tipo de ambiente en el que se trabaja:

- ❑ **Ambiente preparado:** la industria
- ❑ **Ambiente no estructurado o impredecible:** submarinos, el espacio, terrenos salvajes.

El campo más relevante dentro de la robótica es la automatización industrial, corresponde al uso de robots en la industria disminuir la mano de obra, aumentar la calidad del producto y obtener mayor rapidez en la producción de diferentes procesos.

Aún cuando la robótica tiene innumerables aplicaciones, no todo es fácil, existen factores que limitan el desarrollo e implantación de sistemas robóticos que logran inhibir el crecimiento y desarrollo de esta tecnología. Estos factores son:

- **Limitaciones económicas:** Aún cuando la robótica no es una ciencia nueva, los costos asociados con ella son demasiado altos, debido a que se necesitan diversos recursos para el diseño, la construcción y la puesta en marcha. Lo que da como resultado que un sistema robótico sea un producto extremadamente caro y no masificado.
- **Limitaciones tecnológicas:** La robótica está orientada a llevar a cabo ideas que pudieron ser concebidas hace mucho tiempo, y la puesta en marcha de las mismas dependerá de que se hayan encontrado o desarrollado los medios tecnológicos que la permitan.

2.2 AUTOMATIZACIÓN

La automatización es un sistema de fabricación diseñado para usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas, que solían realizar los seres humanos y controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana.

Con el nacimiento de la Revolución Industrial, muchas fábricas tuvieron gran aceptación por la automatización de procesos repetitivos en la línea de ensamblaje. Actualmente, la mayoría de las industrias han sido automatizadas o utilizan tecnología para automatizar algunas labores. Un ejemplo de ello son las industrias del aceite, la automotriz y la química que han desarrollado diversos métodos de flujo continuo de producción según la naturaleza de los materiales utilizados.

La fabricación automatizada, surgió de la relación entre las fuerzas económicas e innovaciones técnicas (como la división del trabajo, la transferencia de energía y la mecanización de las fábricas).

La división del trabajo, es la reducción de un proceso de fabricación o de prestación de servicios, se desarrolló en la segunda mitad del siglo XVIII, permitió incrementar la producción y reducir el nivel de especialización de los obreros.

La mecanización, fue la siguiente etapa hacia la automatización. La simplificación del trabajo permitida por la división del mismo, permitió el diseño y construcción de máquinas que reproducían los movimientos del trabajador.

A medida que evolucionó la tecnología de transferencia de energía, estas máquinas se motorizaron aumentando su eficacia productiva.

2.2.1 Tipos de automatización industrial

Dentro de la automatización, se tienen tres tipos principales para llevarla a cabo:

- ❑ Automatización fija
- ❑ Automatización programable
- ❑ Automatización flexible

La **automatización fija**, se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto. Es adecuada para el diseño de equipos especializados en procesar productos o componentes de estos, con alto rendimiento y elevadas tasas de producción.

Esto justifica económicamente el alto costo del diseño de equipo, aun cuando su ciclo de vida va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

La parte negativa de la automatización fija es que si se desea cambiar de producto, se debe diseñar una nueva máquina.

La **automatización programable**, se emplea cuando el nivel de producción es relativamente bajo y hay una gran diversidad de productos a obtener.

En este caso, el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. La producción se obtiene por lotes y la adaptabilidad se logra haciendo funcionar el equipo bajo el control de un programa de instrucciones para el producto determinado.

La **automatización flexible**, es una automatización que se encuentra situada entre las dos anteriores.

Esta es más adecuada para el rango medio de producción, la ventaja de este tipo de automatización es que se pueden obtener simultáneamente varios tipos de producto, en el mismo sistema de fabricación. Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí, por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

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

2.2.2 La automatización y la robótica

Aún cuando son disciplinas surgidas en diferentes épocas, la robótica nace en la década de los 60 para complementarse con la automatización aportando como elemento innovador cierto grado de inteligencia.

Dentro del contexto industrial, se dice que la automatización se relaciona con el empleo de diversos sistemas: el mecánico, electrónico y los basados en la informática, en la operación y en el control de la producción. Por lo tanto para que la automatización sea actualizada, debe incluir el uso de robots.

Es de suponerse que el robot industrial forma parte importantísima del desarrollo de la automatización industrial, favorecido por el avance de las técnicas de control por computadora y contribuye a la automatización en los procesos de fabricación de series de mediana y pequeña escala.

CAPÍTULO III

COMPONENTES DE UN ROBOT INDUSTRIAL

En general, un robot es considerado como un *manipulador reprogramable y multifuncional concebido para llevar a cabo tareas diversas*¹

Las principales características sobre las cuales se valora el uso de un robot industrial podrían ser:

1. Aumento de la productividad
2. Evitar la realización de trabajos repetitivos y pesados para el ser humano
3. Obtener mayor precisión en el trabajo, menos pérdida de material y mayor tiempo de vida de las herramientas.
4. Reducir el mantenimiento
5. Evitar accidentes de trabajo, ya que un robot puede realizar tareas en condiciones y ambientes peligrosos

3.1 GENERACIONES DE ROBOTS

Las primeras máquinas automáticas fueron diseñadas para realizar tareas específicas, al surgir modificaciones en la producción, estos tenían que renovarse por lo cual era muy elevado mantener una industria automatizada.

George C. Devol, patentó la idea de un aparato mecánico capaz de programarse las veces que fuera necesario para realizar tareas requeridas por quienes lo adquirieran. El primer robot industrial fue instalado en la compañía Unimation, en 1961, dando como origen una implantación masiva de robots en industrias alrededor del mundo.

Primera generación, se caracterizó porque utilizaba un sistema de control basado en las “paradas fijas” mecánicamente. Este tipo de estrategia es conocida como control de lazo abierto o control “bang bang” (similar al ciclo de control de algunas lavadoras).

¹ Robot Institute of America, Koren 1985

Este tipo de robots son útiles para las aplicaciones industriales de tomar y colocar, pero están limitados a un pequeño número de movimientos. Un ejemplo muy claro de esta primera generación son las cajas musicales o los juguetes de cuerda.

Segunda generación, utiliza una estructura de control de ciclo abierto, pero en lugar de utilizar interruptores y botones mecánicos maneja una secuencia numérica de control de movimientos almacenados en un disco o cinta magnética. El programa de control entra mediante la elección de secuencias de movimiento en una caja de botones o a través de palancas de control con los que transcurre la secuencia deseada de movimientos.

Dentro de esta generación se encuentran la mayoría de los robots industriales utilizados en la actualidad, debido a su gran uso en la industria automotriz, en soldadura y en pintado.

Tercera generación, utiliza las computadoras para su estrategia de control y tiene conocimientos del ambiente local a través del uso de sensores, los cuales miden el ambiente y modifican su estrategia de control. Dentro de esta generación se inicia la era de los robots inteligentes y aparecen los lenguajes de programación para escribir los programas de control. A la estrategia de control creada se le denomina de “ciclo cerrado”.

Cuarta generación, los robots ya son denominados inteligentes, poseen más y mejores extensiones sensoriales, lo que les brinda la comprensión de sus acciones y del mundo que los rodea. Incorpora un concepto de “modelo del mundo” de su propia conducta y del ambiente en el que operan. Utilizan conocimiento difuso y procesamiento dirigido por expectativas que mejoran el desempeño del sistema de manera que la tarea de los sensores se extiende a la supervisión del ambiente global, registrando los efectos de sus acciones en un modelo del mundo y auxilian en la determinación de tareas y metas.

Quinta generación, se encuentra en desarrollo, pretende que el control emerja de la adecuada organización y distribución de módulos conductuales. Esta nueva arquitectura es denominada de *subfunción* y su promotor es Rodney Brooks, quien utiliza un método de programación de “abajo hacia arriba”, en el que la inteligencia surge por sí sola a través de la interacción de elementos independientes relativamente simples, tal como sucede en la naturaleza. La figura 3.1 da una idea sobre lo que se espera en que suceda en el futuro con los robots.

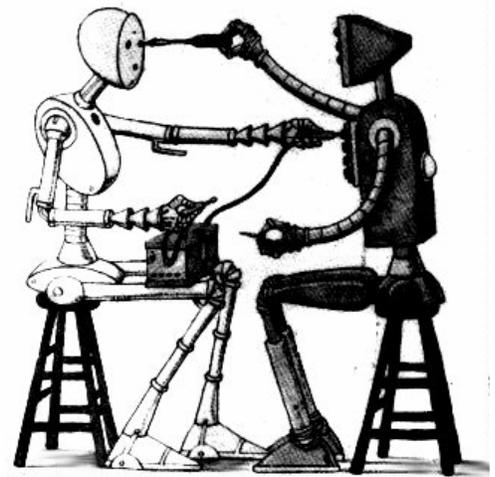


Fig. 3.1 En el futuro se espera que los robots se puedan dar mantenimientos solos

3.2 CLASIFICACION DE ROBOTS INDUSTRIALES

Japón, desde hace años ha insistido en mantener una clasificación de robots en la que separa a los robots en nueve clases distintas y procura presentar su estadística de acuerdo con este criterio. La tabla 3.1, nos muestra esta clasificación.

Tabla 3.1 Clasificación japonesa de un robot industrial

Nº	Clasificación	Definición
1	Manipulador manual	Es operado por el hombre
2	Manipulador de secuencia	Ejecuta cada paso de una operación dada de acuerdo a un programa de movimientos que no puede ser cambiado sin alguna alteración física
3	Robot operacional	Se controla de forma remota por un operador, teniendo un controlador y actuador para movilidad o manipulación.
4	Robot con secuencia Controlada	Opera secuencialmente de acuerdo a la información preestablecida.
5	Robot de aprendizaje	Es capaz de repetir una tarea programable a través de enseñanza
6	Robot CNC	Puede ejecutar la operación encomendada de acuerdo con la información cargada numéricamente, tanto en secuencias, condiciones y posición sin ser movido el robot
7	Robot inteligente	Determina sus acciones a través de su inteligencia
8	Robot controlado adaptativamente	Maneja un esquema de control que ajusta parámetros de control del sistema a condiciones detectadas durante el proceso.
9	Robot controlado por aprendizaje	Tiene una función de control por aprendizaje, es un esquema de control donde la experiencia es automáticamente utilizada para cambiar los parámetros o algoritmos de control.

Como se puede observar, la propuesta japonesa se presta a confusiones, por lo que la Asociación Española de Robótica, propone el empleo de la clasificación presentada por Gabriel Ferraté² y Luis Basañez, para concretar mejor cada una de las categorías de robots, **partiendo de la movilidad de cada robot**. Los diagramas presentados en la figura 3.2 y 3.3 muestran de forma breve esta descripción.

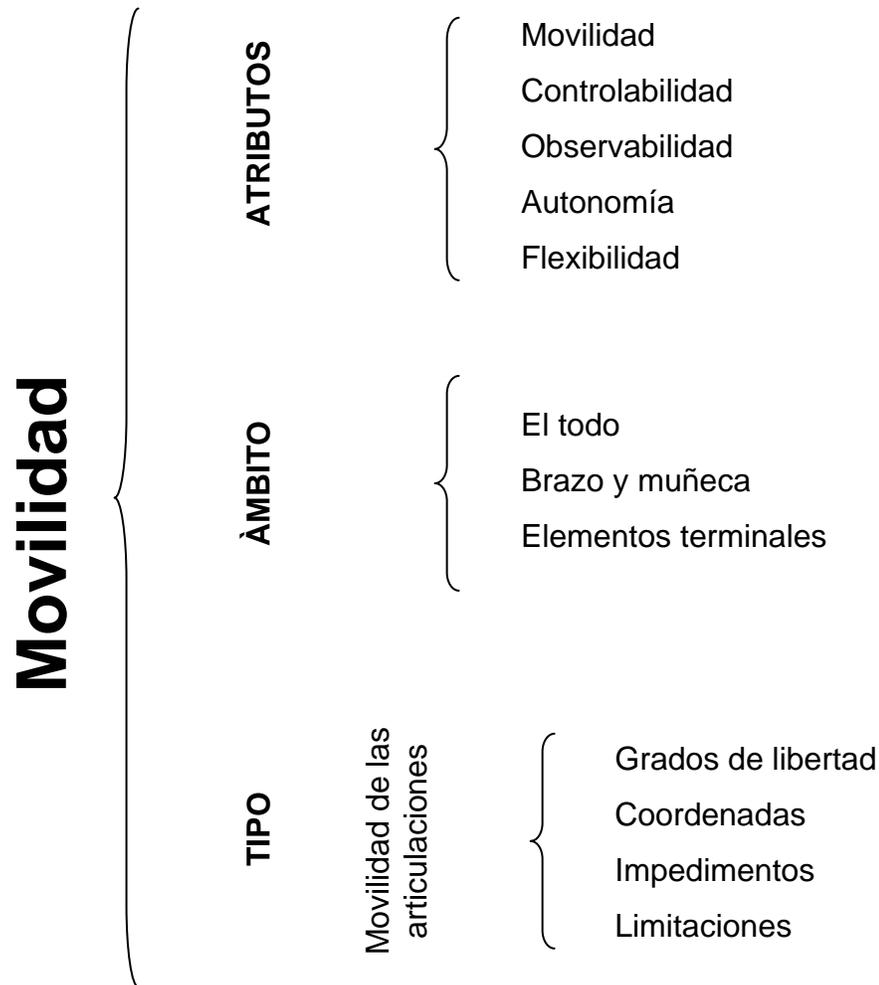


Fig. 3.2 Clasificación de acuerdo a la movilidad de acuerdo al tipo, ámbito y atributos de cada robot

² Gabriel Ferraté: Robótica industrial. España, Primera Edición edición, Ed. Marombo S.A., 1986

MOVILIDAD

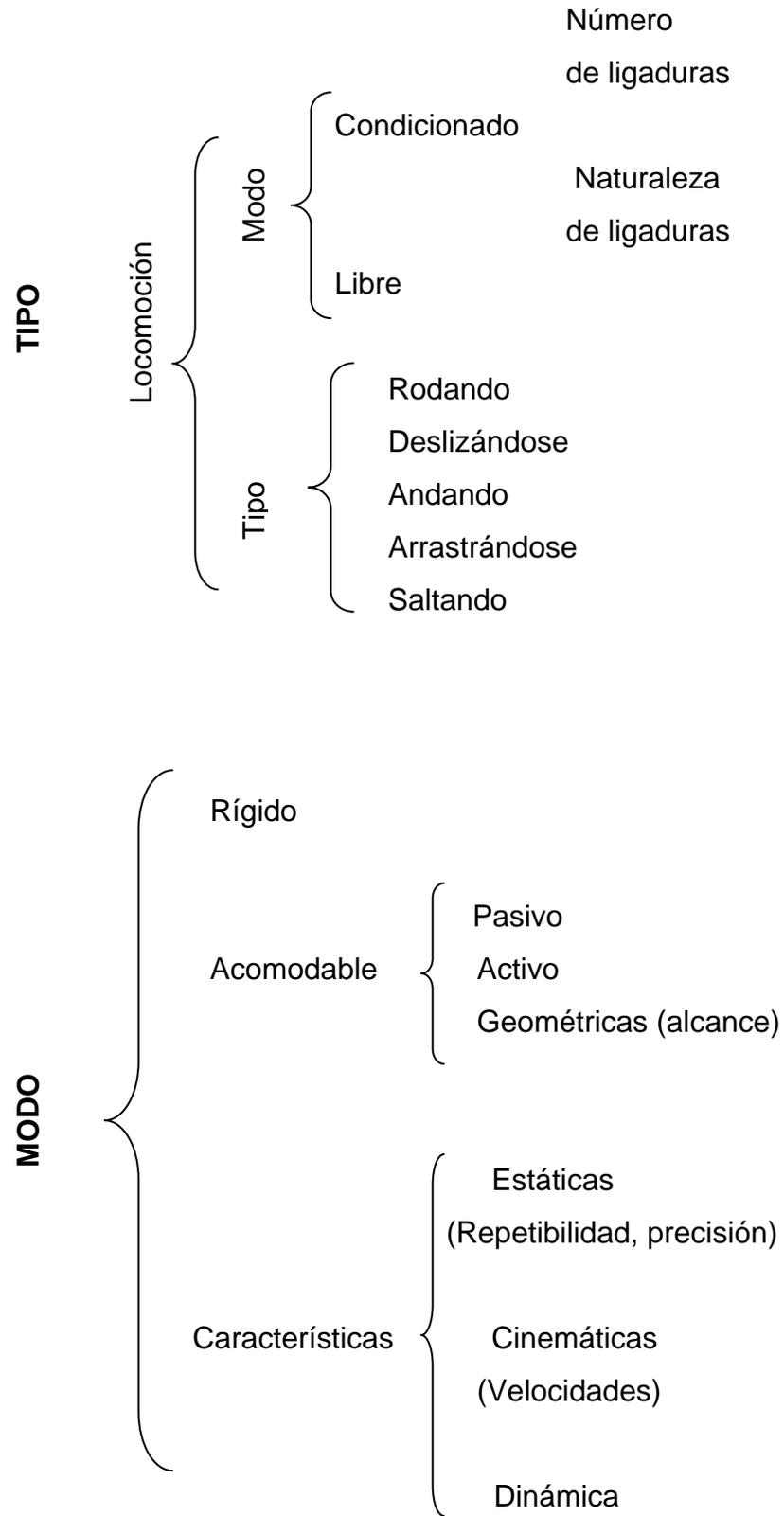


Fig. 3.3 Clasificación de acuerdo a la movilidad de acuerdo al modo y tipo de cada robot

La última clasificación, **depende de las características** del robot y se tienen únicamente tres criterios a considerar:

1. **Operación:** El material del que están hechos varía de acuerdo a la función u operaciones que se espera realicen.
2. **Carga:** Se encuentran contruidos y reforzados dependiendo la carga que deben soportar.
3. **Distancia a mover:** El radio que alcanzan varía de un robot a otro, por lo que el brazo alcanza diferentes distancias.

De acuerdo a estas características, se determina el tipo de robot que satisface todas las necesidades de la aplicación.

3.3 TIPOS DE ROBOTS

En la actualidad, debido a que existen múltiples tipos de robots, es realmente difícil establecer una única clasificación válida. Por lo cual existen ciertos criterios que ayudan como la clasificación por la geometría, por el método o sistema de control, la función que realizan y por el número de grados de libertad del efector final.

3.3.1 Clasificación por la geometría

Este tipo de clasificación es también llamada *por las coordenadas*, se pueden clasificar los robots de acuerdo a la geometría de su brazo, basándonos en la forma del área de trabajo producida por el brazo del robot.

a. Cilíndricos. Cada eje es de revolución total o casi total y esta encajado en el interior. Esta configuración sustituye un movimiento lineal por uno rotacional sobre su base, con los que se obtiene un medio de trabajo en forma de cilindro. La figura 3.4 muestra el espacio que maneja este tipo de robots.

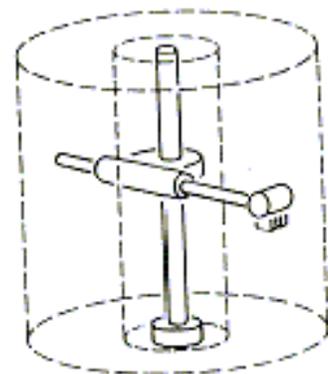


Fig. 3.4 Robot de tipo cilíndrico

b. **Angular o de brazo articulado.** Tiene ejes de rotación que hacen pivotar una pieza sobre otra. Presenta un movimiento rotacional y dos angulares, aunque el brazo articulado puede realizar una interpolación lineal, (para lo que se requiere mover simultáneamente dos o tres de sus articulaciones), el movimiento natural es el de interpolación por articulación, tanto rotacional como angular. La figura 3.5 muestra este tipo de movimiento.

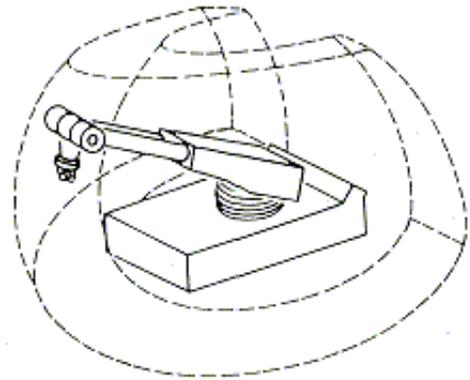


Fig. 3.5 Robot de tipo angular

c. **Configuración polar.** Tienen varias articulaciones cada una de ellas puede realizar un movimiento distinto: *rotacional, angular y lineal*. Este robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y la interpolación lineal para la extensión y retracción.

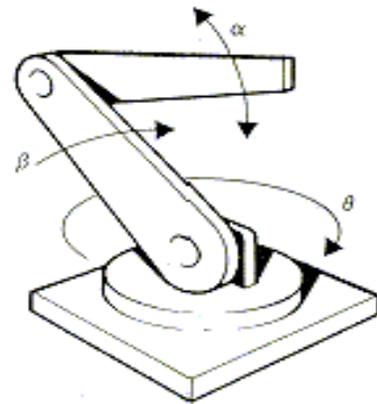


Fig. 3.6 Robot de configuración polar

d. **Mixtos (SCARA).** SCARA cuyas siglas en ingles son *Selective Apliance Arm Robot for Assembly*, poseen varios tipos de articulación.

Este brazo puede realizar movimientos horizontales de mayor alcance debido a sus dos articulaciones rotacionales, e incluso puede hacer un movimiento lineal mediante su tercera articulación. La figura 3.7 muestra dos tipos diferentes.

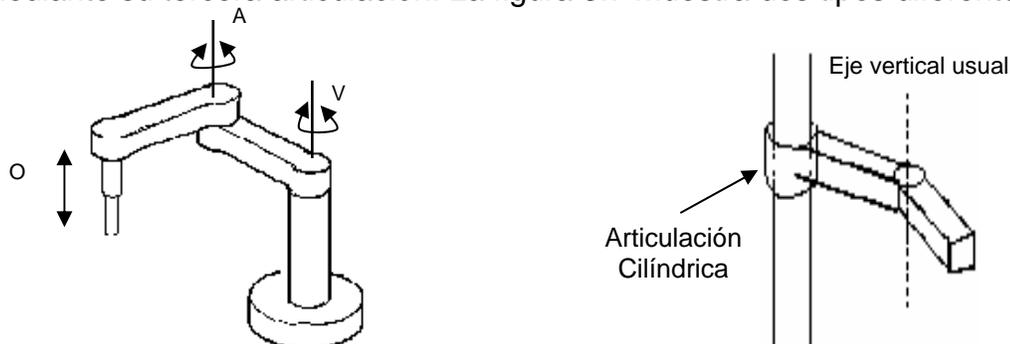


Fig. 3.7 Robots del tipo Mixto

e. Cartesianos. Poseen tres movimientos lineales y su nombre proviene de las coordenadas cartesianas, las cuales son más adecuadas para describir la posición y movimiento del brazo. Los robots cartesianos a veces reciben el nombre de XYZ, donde las letras representan los ejes del movimiento.

Las articulaciones hacen desplazar linealmente una pieza sobre otra, pueden ser de tipo cantilever o pórtico que las figuras 3.8 y 3.9 muestran.

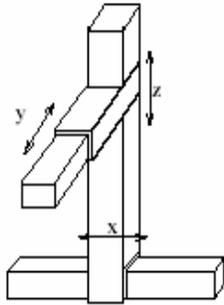


Fig. 3.8 Tipo Cantilever

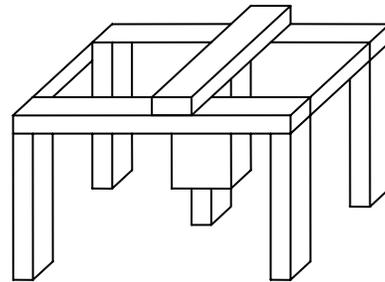


Fig. 3.9 Tipo Pórtico

3.3.2 Clasificación por el método o sistema de control

Este tipo de robots es considerado más sofisticado desde el punto de vista del control, ya que utiliza servomecanismos.

El uso de estos servomecanismos va ligado al uso de sensores, como los potenciómetros, que informan de la posición del brazo o la pieza que se ha movido del robot, una vez que se ha ejecutado la orden se compara con el estado al que debía llegar, si no es el mismo, se efectúan movimientos hasta llegar a la posición indicada. Dentro de esta categoría se tienen tres tipos:

a. No servocontrolados: Son aquellos en los que cada articulación tiene un número fijo de posiciones, generalmente son dos, con topes y solo se desplazan para fijarse en ellas. Suelen ser neumáticos, bastante rápidos y precisos. La figura 3.10 muestra al robot KUKA³, un ejemplo de este tipo de robots.



Fig. 3.10 Robot KUKA

³ http://www.machinery-export.com/de/roboter/kuka/kuka_track_kr_1500_EN.html

b. Servocontrolados : Este tipo de robot tiene cada articulación con un sensor de posición (lineal o angular) que es leído y enviado al sistema de control que genera la potencia para el motor. Se pueden parar en cualquier punto deseado. La figura muestra un ejemplo de este tipo.



Fig. 3.11 Robot servocontrolado

c. Servocontrolados punto a punto: Son los robots más potentes y de más fácil manejo debido a que solo se les programa mediante una caja de control que posee un botón de control de velocidad, por medio del cual se puede ordenar al robot la ejecución de los movimientos paso a paso. Al mismo tiempo se puede ir grabando en la memoria la posición de cada paso, este es el programa que el robot va a ejecutar, una vez terminada la programación, el robot inicia su trabajo según las instrucciones del programa. La figura 3.12 muestra algunos pertenecientes a la compañía FANUC.



Fig. 3.12 Robot de la Compañía FANUC del tipo punto a punto

Se les denomina punto a punto, porque el camino trazado para la realización del trabajo está definido por pocos puntos y gracias a la memoria electrónica que poseen, se pueden tener varios programas almacenados. Este tipo de robots se usan en las cadenas de soldadura de carrocerías de automóviles, en cadenas de pintura por spray, etc.

3.3.3 Clasificación por la función o por propósito

Este tipo de clasificación se realiza de acuerdo al campo al que están orientados.

- a. **Producción:** Se usan para la manufactura de bienes, pueden ser de manipulación, de fabricación, de ensamblado o de test.
- b. **Exploración:** Usados para obtener datos acerca de terreno desconocido, pueden ser de exploración terrestre, minera, oceánica, espacial, etc.
- c. **Rehabilitación:** Con utilizados para ayudar a discapacitados, pueden ser una prolongación de la anatomía, o sustituir la función del órgano perdido.

3.3.4 Número de grados de libertad del efector formal

Al hablar sobre el número de grados de libertad, nos referimos al número de movimientos básicos e independientes que posicionan a los elementos de un robot.

Al observar los movimientos del brazo y de la muñeca, se puede determinar el número de grados de libertad, generalmente se encuentra una variación que va desde uno hasta los tres grados de libertad.

A la muñeca de un manipulador le corresponden los siguientes grados de libertad: **giro** (hand rotate), **elevación** (wrist flex) y **desviación** (wrist rotate). La figura 3.13 muestra los tipos de movimientos mencionados.

Algunas muñecas no pueden realizar los tres tipos de movimientos, los grados de libertad están relacionados con la configuración del manipulador o con su anatomía.

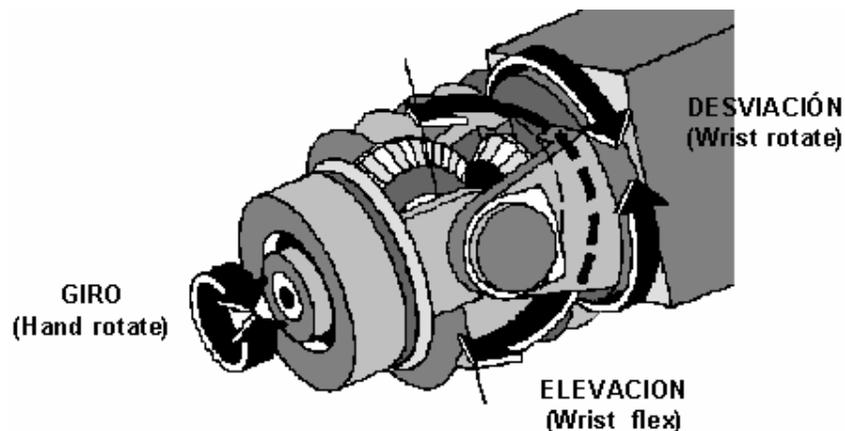


Fig. 3.13 Muñeca de un brazo de robot

Los movimientos que realiza un robot se pueden clasificar como:

- 1. Eje por eje o punto por punto.** El movimiento de cada eje es independiente, por lo que este tipo de movimiento permite mover la muñeca. Es semejante al brazo humano, la figura 3.14 muestra el movimiento de los ejes.

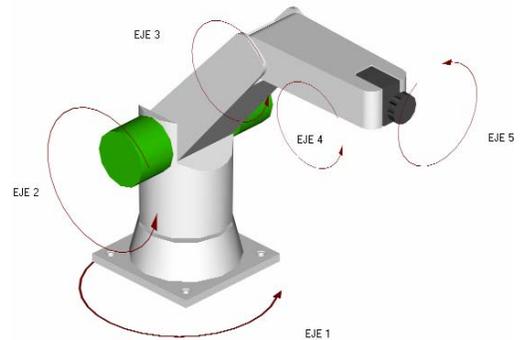


Fig. 3.14 Movimiento eje por eje o punto por punto (Joint)

- 2. World X, Y, Z.** En este movimiento primero se graban los puntos de la trayectoria, mediante coordenadas x, y, z., para posteriormente realizar la secuencia. La muñeca en este caso no tiene tanta libertad, la figura 3.15 muestra el movimiento de los ejes

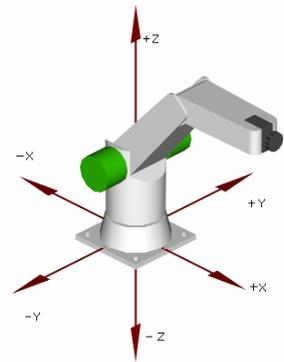


Fig. 3.15 Movimiento en World

- 3. Tool o herramienta.** Se mueve en el sentido x, y, z, pero en este caso, la muñeca se puede mover de manera diagonal.

- 4. Circular.** Este movimiento solo puede ser usado desde el programador manual, puede rotar, extender o contraer el efector final horizontalmente a lo largo del vector o moverse verticalmente de hacia arriba o hacia abajo en base a la línea horizontal formada entre el efector final y el robot. Este tipo de movimiento solo lo pueden realizar algunos robots, la figura 3.16 muestra el movimiento.

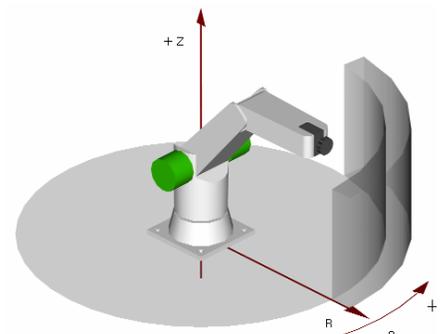


Fig. 3.16 Movimiento circular

3.4 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS PARA UN ROBOT INDUSTRIAL

Algunas características básicas que definen a un robot son las siguientes:

- 1. Grados de libertad:** Es el número de movimientos básicos e independientes que posicionan a los elementos de un robot.
- 2. Capacidad de carga:** Es el peso máximo que puede soportar un robot
- 3. Área de trabajo:** Es el volumen en el cual un robot puede manipular objetos. Se define según las coordenadas de programación.
- 4. Velocidad:** Es la rapidez con que trabaja el robot.
- 5. Tipo de actuador:** Es el tipo de elemento motriz que genera los movimientos de las articulaciones del robot.
- 6. Programabilidad:** Es la manera como se programa el robot dependiendo de las tareas asignadas.
- 7. Volumen de trabajo:** Se refiere únicamente al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca. Para determinar el volumen de trabajo no se toma en cuenta el efector final, la razón de ello es que a la muñeca del robot se le pueden adaptar grippers de distintos tamaños.

3.5 ESTRUCTURA DE UN ROBOT INDUSTRIAL

La estructura es la encargada de darle forma al robot y sostener sus componentes. Se tienen dos tipos de estructura: *endoesqueleto*, mostrados en las figuras 3.17 y 3.18, donde la estructura es interna y los demás componentes externos, o *exoesqueleto*, donde la estructura está por fuera y cubre los demás elementos, un ejemplo muy gráfico se muestra en la figura 3.19.



Fig. 3.17 Endoesqueleto de un brazo de robot



Fig. 3.18 Endoesqueleto de la mano de Terminator



Fig. 3.19 Exoesqueleto capaz de controlar el cuerpo de quien lo viste

3.5.1 Elementos del manipulador o brazo mecánico

Los elementos que conforman el brazo mecánico son:

1. Un **conjunto de eslabones** (generalmente huecos para permitir la introducción de engranajes, cableados eléctricos, mangueras de aire o aceite).
2. **Articulaciones de movimiento lineal o rotacional** formando una cadena, cada

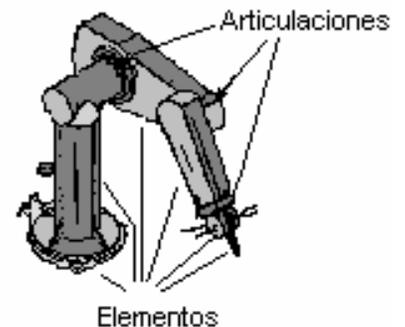


Fig. 3.20 Elementos y articulaciones de un robot industrial

articulación del robot le provee de un grado de libertad, la figura 3.20 muestra las articulaciones. Su función es colocar al efector final (herramienta) del robot en alguna posición determinada del espacio, para realizar algún trabajo.

3. **Base para sujetarse** a una plataforma rígida, como el suelo.
4. **Cuerpo.** Se integra la mayor parte del hardware interno que lo va hacer funcionar como la circuitería, placas impresas, etc.
5. **Brazo.** Permite realizar movimientos en tres dimensiones, sus elementos rígidos se encuentran relacionados entre sí por medio de articulaciones, las cuales pueden ser giratorias o prismáticas y de eslabones.

Las articulaciones de un robot lo proveen de al menos un grado de libertad, lo que le permite al manipulador realizar dos tipos de movimiento: **lineal o por articulación.**

Como se describe a continuación:

- a. **Movimiento Lineal**, estos pueden ser horizontales o verticales, le permiten mover de un punto a otro, la figura 3.21 muestra el movimiento del punto A al punto B. En él se mueven todos los ejes

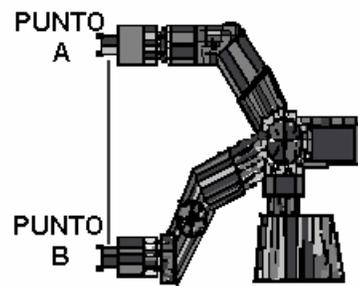


Fig. 3.21 Movimiento lineal

- b. **Por articulación**, realizan un movimiento angular, únicamente se mueve un eje, la figura 3.22 muestra el movimiento que forma un arco al mover del punto A al punto B.

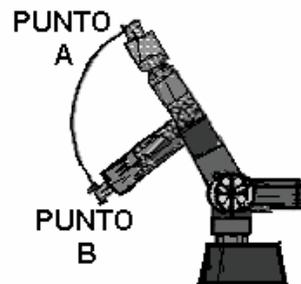


Fig. 3.22 Movimiento por articulación

El número de elementos del brazo y el de las articulaciones que los relacionan determinan los grados de libertad del manipulador, que en los robots industriales suelen ser seis.

6. **Antebrazo o muñeca.** Es un conjunto de pequeños eslabones y articulaciones rotacionales que forman una cadena. Permite hacer movimientos en tres dimensiones, pero de mayor precisión, incluso puede moverse en nanómetros. La muñeca le permite orientar al efector final en la dirección deseada para realizar el trabajo.

7. **Efector final, sujetador o gripper.** Se encuentra en la muñeca del manipulador, se acopla a una herramienta o garra (aprehensor) que será la encargada de desarrollar las tareas. Este dispositivo se divide en pinzas y herramientas. **Las pinzas** han sido diseñadas para que el robot cargue y descargue objetos, transporte materiales y ensamble piezas, la figura 3.23 muestra un ejemplo de una pinza.

Los tipos de pinzas más comunes son del tipo **pivotante**, donde los dedos de la pinza giran en relación con los puntos fijos del pivote, de esta manera, la pinza se abre y se cierra.

Otro tipo de pinzas se denominan de **movimiento lineal**, en este caso los dedos se abren y se cierran ejecutando un movimiento paralelo entre sí.

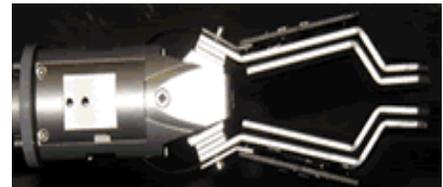


Fig. 3.23 Pinzas

Una regla general sobre las pinzas es que esta no debe sujetar a la pieza de trabajo de su centro de gravedad, ya que ocasiona que se anulen los momentos que se pudieran generar por el peso de la pieza de trabajo. Dependiendo de la aplicación se pueden sustituir las pinzas por herramientas.

Las herramientas pueden ser desarmadores, pistolas para pintar, taladros, dispositivos para soldadura e incluso una serie de sensores que pueden tener diversas aplicaciones como medición, inspección, etc. La figura 3.24 muestra un ejemplo de una herramienta.

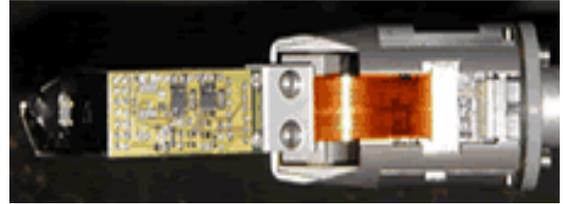


Fig. 3.24 Herramienta

3.5.2 Elementos motrices

También llamados actuadores, se encargan de mover las articulaciones a través de cables, poleas, cadenas, engranajes, etc. Se clasifican de acuerdo al tipo de energía que utilizan y pueden ser:

- **Actuadores neumáticos.** Estos actuadores emplean el aire comprimido como fuente de energía y se utilizan para controlar movimientos rápidos pero no de mucha precisión.
- **Actuadores hidráulicos.** Utilizan como fuente de energía aceite a presión y se utilizan cuando se requiere una gran capacidad de carga, junto con una precisa regulación de velocidad.
- **Actuadores eléctricos.** Que son los que más se utilizan debido a su fácil y preciso control, usan como fuente de energía la energía eléctrica.

3.5.3 Controlador

El controlador se encarga de regular el movimiento de los órganos motrices y recoge la información de los sensores, realiza varias tareas específicas como:

- La iniciación y finalización del movimiento de los componentes individuales del manipulador, en una secuencia de puntos especificados.
- Almacenamiento en su memoria de datos acerca de la posición y secuencia de movimientos.
- Permite al robot interactuar con el entorno por medio de sensores.

- Realiza todo tipo de cálculos y tomas de decisión según el programa en ejecución.

Debido a la adaptación de microprocesadores en los circuitos electrónicos se está mejorando la potencia de los controladores.

Existen varias categorías de controlador:

- **Controlador de posición:** Sólo interviene en el control de posición del elemento terminal, puede actuar *punto a punto* o en modo continuo.
- **Controlador dinámico:** Toma en consideración las propiedades dinámicas del manipulador, motores y elementos asociados.
- **Controlador cinemático:** Además de la posición controla la velocidad del brazo.
- **Controlador adaptativo:** Además de lo indicado en los anteriores, también considera la variación de las características del manipulador al variar la posición.

Los controladores también se clasifican de acuerdo al tipo de respuesta que reciben:

- 1.- **Controlador de lazo abierto.** Manda una señal de control, pero no se verifica si se ha reproducido con exactitud o se ha cometido un error al ejecutarse, no existe la realimentación.
- 2.- **Controlador de lazo cerrado.** Existe una realimentación de salida, cuya información se compara con la señal de mando, si llega a existir un error en el transcurso, este se maneja de manera adecuada para lograr alcanzar lo que se pretendía con la señal de mando.

3.5.4 Dispositivos de entrada y salida

Los dispositivos de entrada y salida más comunes son el teclado, monitor y la caja de comandos llamada “teach pendant” o unidad de programación que se aprecia en la figura 3.25.

El **teach pendant**, es una terminal que muestra los puntos de localización, mueve al robot y corre los programas. Se puede formar por un display LCD de cuatro líneas con veinte caracteres, un switch y un botón de paro de emergencia.

El teach pendant es una herramienta muy útil porque permite manejar y controlar al robot a cierta distancia de la terminal.

Una aplicación se programa y se le dan los valores de las coordenadas de la trayectoria para enseñar la localización para la aplicación, generalmente se programa en lenguaje RAPL-3.



Fig. 3.25 Teach Pendant

El teach pendant, consta de una **unidad de habilitamiento**, que permite manejar el robot de manera manual, dando la seguridad de que en caso de algún accidente o cosa parecida el robot se detenga.

El **botón de paro de emergencia**, permite apagar el brazo y deshabilitar al controlador, únicamente lo tienen algunos robots, en la figura 3.25 es el botón rojo de la esquina superior derecha.

Los dispositivos de entrada y salida, permiten introducir y ver los datos del controlador. Algunos robots necesitan una computadora adicional para mandar instrucciones al controlador y para dar de alta programas de control.

3.5.5 Sensores

Los sensores son detectores necesarios para que la máquina sepa exactamente el estado de todas las variables que precisa para una correcta actuación, aunque estos no son imprescindibles para algunos procesos debido a que existen

manipuladores programados para actuar en forma secuencial sin la necesidad de retroalimentarse con información del sistema.

3.6 COMPONENTES MECÁNICOS DE UN ROBOT

La parte mecánica de un robot está compuesta por varias partes fundamentales: fuentes de movimiento, medios de transmisión de movimiento, medios de agarre, fuente de alimentación y sistemas de impulsión.

a. Fuentes de movimiento

Las fuentes de movimiento son aquellas que le proporcionan movimiento a los robots. Un ejemplo es el motor eléctrico, que convierte la energía eléctrica en energía mecánica rotacional, utilizada en el movimiento de las ruedas.

En robótica se utilizan motores de corriente continua, servomotores y motores paso a paso, en la actualidad han surgido los llamados músculos eléctricos.

b. Medios de transmisión de movimiento

Es utilizado entre dos sistemas para aumentar la fuerza o para cambiar la naturaleza del movimiento, esto se debe a que las fuentes de movimiento no manejan directamente los medios de locomoción de un robot.

c. Medios de locomoción

Son sistemas que permiten al robot desplazarse de un sitio a otro si éste debe hacerlo, pueden ser impulsados neumáticamente o equipados con servomecanismos.

▪ Robos impulsados neumáticamente

La programación de estos robots consiste en la conexión de tubos de plástico a unos manguitos de unión de la unidad de control neumático. Esta unidad se encuentra constituida por dos partes, una superior y una inferior.

La parte superior es el conjunto de manguitos de unión que activan cada una de las piezas móviles del robot y la parte inferior es un secuenciador que

proporciona presión y vacío al conjunto de manguitos de unión en una secuencia controlada por el tiempo.

Las conexiones entre manguitos determinan que piezas intervendrán en el movimiento, en que dirección se van a mover y los diferentes pasos que deben efectuar. Al modificar estas conexiones se programan otras secuencias de paso distintas.

▪ **Robots equipados con servomecanismos**

Este tipo de robots es el más sofisticado, debido al uso de servomecanismos, los cuales van ligados al uso de sensores, como los potenciómetros, quienes informan la posición del brazo o la pieza que se ha movido del robot una vez que se ha ejecutado la orden transmitida. Una vez realizada, esta se compara con la que realmente debería adoptar el brazo o la pieza después de la ejecución de la orden; si no es la misma, se efectúa nuevamente la orden hasta llegar a la posición indicada.

d. Medios de agarre

Son dispositivos que utilizan algunos robots para sostener o manipular algunos objetos, el más común es la mano mecánica.

En los robots industriales se utilizan mecanismos especiales para sostener algunos objetos como las pinzas o herramientas.

e. Fuente de alimentación

Depende de la aplicación que se le dé al robot, en caso de que el robot se tenga que desplazar se alimentará a través de baterías eléctricas, si no debe desplazarse se alimentará mediante corriente alterna.

f. Sistemas de impulsión de los robots industriales

Dentro de los sistemas de impulsión de un robot industrial los más comunes son tres: impulsión hidráulica, impulsión eléctrica e impulsión neumática.

- **Hidráulico.**

El sistema de impulsión hidráulica es en la que se utiliza un fluido, generalmente un tipo de aceite, para que el robot pueda movilizar sus mecanismos. La impulsión hidráulica se utiliza para robots grandes, los cuales presentan mayor velocidad y mayor resistencia mecánica.

- **Eléctrico.**

Se le da el nombre de impulsión eléctrica cuando se usa la energía eléctrica para que el robot ejecute sus movimientos. La impulsión eléctrica se utiliza para robots de tamaño mediano, pues éstos no requieren de tanta velocidad ni potencia como los robots diseñados para funcionar con impulsión hidráulica.

Los robots que usan la energía eléctrica se caracterizan por una mayor exactitud y repetibilidad.

- **Neumático.**

Para realizar la impulsión neumática se debe comprimir el aire abastecido por un compresor, el cual viaja a través de mangueras. Los robots que funcionan con impulsión neumática están limitados a operaciones como la de tomar y situar ciertos elementos. Los robots pequeños están diseñados para funcionar por medio de la impulsión neumática.

Es importante señalar que no todos los elementos que forman el robot pueden tener el mismo tipo de impulsión.

CAPÍTULO IV

PROGRAMACIÓN DE UN ROBOT

La programación de un robot, es el proceso por medio el cual se indica la secuencia de acciones a realizar durante una tarea determinada, estas acciones van a consistir en su mayor parte en moverse a puntos predefinidos y manipular objetos del entorno.

La comunicación de hombre-robot, se puede dar por diferentes medios:

Reconocimiento de palabras separadas, este tipo de comunicación actualmente se considera primitivo, ya que los sistemas únicamente pueden reconocer un conjunto de palabras muy limitado.

Enseñanza y repetición, es la más utilizada en los robots industriales, consiste en enseñar al robot los movimientos que necesita realizar, para su posterior repetición de forma automática.

La enseñanza debe seguir una serie de pasos:

1. Dirigir al robot con un movimiento lento utilizando el control manual (teach pendant), para realizar la tarea completa y grabar los movimientos del robot en los lugares adecuados para que vuelva a repetir el movimiento.
2. Reproducir y repetir el movimiento enseñado. Si este movimiento es correcto, entonces se hace funcionar al robot a la velocidad correcta en el modo automático.

Este tipo de programación, es muy útil, fácil de aprender y requiere un espacio en memoria relativamente pequeño para almacenar la información.

Sin embargo, uno de los inconvenientes presentes es la necesidad de utilizar al propio robot y su entorno para llevar a cabo la programación, obligando a sacar al robot de la línea de producción e interrumpiendo esta.

Utilizando lenguajes de programación de alto nivel, esta es la herramienta más utilizada en la actualidad. Generalmente los lenguajes utilizados son

diseñados de acuerdo al fabricante, por lo cual hasta el momento no se tiene un lenguaje universal.

4.1 SISTEMA DE PROGRAMACION DE UN ROBOT

A pesar de la falta de una normatividad en los métodos de programación de un robot, las necesidades comunes han originado cierto paralelismo y afinidad entre casi todos los sistemas de programación.

La mayoría de los entornos de programación son del tipo intérprete, permitiendo realizar un seguimiento paso a paso de lo programado, evitando el ciclo editar-compile-programar, que resulta una pérdida de tiempo y dinero.

Otra parte fundamental dentro de un sistema de programación, es el **modelado del entorno**, que es la representación que tiene el robot de los objetos con los que interacciona. Normalmente este modelo se limita a características geométricas (posición y orientación de un sistema de referencia solidario unido al objeto), en otras ocasiones se relaciona a la forma, dimensiones, etc.

Algunos modelos del entorno permiten establecer relaciones entre objetos de manera:

- *Independiente*, el movimiento de uno no afecta al otro.
- *De unión no rígida*, el movimiento de uno implica el del otro, pero no al revés.
- *De unión rígida*, el movimiento de uno implica el del otro y viceversa.

En un sistema de programación de robots los **tipos de datos** son convencionales (enteros, reales, booleanos, etc.), pero también cuenta con otros específicamente destinados a realizar operaciones de interacción con el entorno, como los que especifican la posición, la orientación de puntos y de objetos a los que debe acceder el robot. La representación conjunta de posición y orientación de la herramienta del robot se consigue agrupando las tres coordenadas de posición con alguno de los métodos de representación de orientación.

El **lenguaje de programación** permite especificar el flujo de ejecución de operaciones (for, repeat, while, etc.), permitiendo utilizar herramientas de

sincronismo como condiciones. La comunicación del robot con otras máquinas o procesos se puede realizar mediante el uso de **señales de entrada y salida**.

Para el manejo de las señales de salida, el robot dispone de instrucciones de activación y desactivación. Para las señales de entrada, posee la capacidad de leerlas y controlar el flujo del programa según su valor; un caso especial es la generación de interrupciones. Mediante buses de campo o conexiones punto a punto se puede comunicar el robot con su entorno.

En el **control del movimiento**, se debe programar además del punto destino, el tipo de trayectoria espacial a seguir (punto a punto, coordinada o continua), la velocidad (expresada como un tanto por ciento de la velocidad base) o precisión (alta o baja).

La programación de un robot, debe tener características básicas para que se pueda llevar a cabo:

- Debe ser explícita, el programador es el responsable de las acciones de control y las instrucciones adecuadas que las implementan.
- Se debe basar en las necesidades de la línea de producción.
- La programación de un robot se puede llevar a cabo por dos técnicas, las cuales se muestran en el diagrama, mostrado en la figura 4.1.

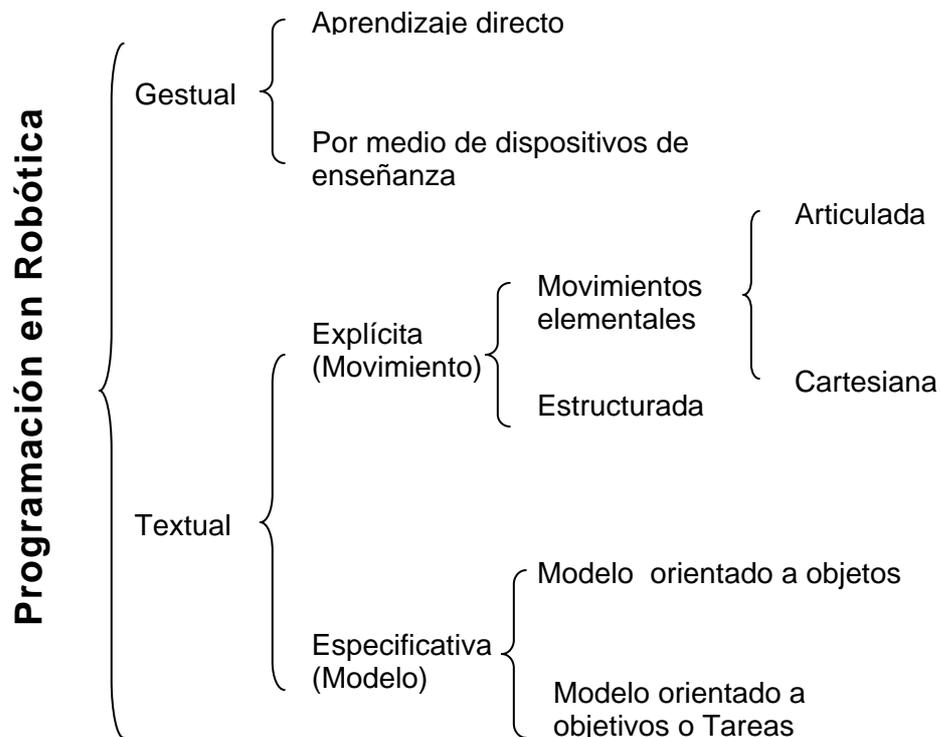


Fig. 4.1 Técnicas de programación

Para programar un robot, se tienen dos tipos principales de programación:

La *programación gestual*, que exige el empleo del manipulador en la fase de enseñanza, esta técnica suele trabajar “on-line”.

La *programación textual*, no permite la participación de la máquina, las trayectorias del manipulador se calculan matemáticamente y se evita el posicionamiento a “ojo”.

4.2 PROGRAMACIÓN GESTUAL

Una de las características de la programación gestual o directa, es que el propio brazo interviene en el trazado del camino y en las acciones a desarrollar en las tareas de la aplicación; esto determina la programación “on – line”.

La programación gestual, tiene como característica principal que el usuario no necesita conocer ningún lenguaje de programación, únicamente debe habituarse al empleo de los elementos que constituyen el dispositivo de enseñanza, de esta manera el usuario puede editar programas muy simples. Los lenguajes de programación gestual, además de necesitar al propio robot en la confección del programa, carecen de adaptabilidad en tiempo real con el entorno y no pueden tratar con facilidad situaciones de emergencia.

La programación gestual o directa, se divide a su vez en dos clases: la programación por aprendizaje directo y la programación mediante un dispositivo de enseñanza.

4.2.1 Programación por aprendizaje directo

En la programación por aprendizaje directo, el punto final del brazo se traslada con ayuda de un dispositivo especial colocado en su muñeca, o utilizando un brazo maestro o maniquí, sobre el que se efectúan los desplazamientos, cuando se memorizan, se repiten por el manipulador.

Este tipo de programación tiene pocas posibilidades de cambio o edición, porque para generar una trayectoria continua, es preciso almacenar o definir una gran cantidad de puntos, cuya reducción origina discontinuidades.

4.2.2 Programación mediante un dispositivo de enseñanza

La programación utilizando un dispositivo de enseñanza, consiste en determinar las acciones y movimientos del brazo manipulador, a través de un elemento especial para esta tarea.

En este caso, las operaciones ordenadas se sincronizan para conformar el programa de trabajo. Los dispositivos de enseñanza modernos permiten generar funciones auxiliares, además de controlar los movimientos como:

- Selección de velocidades
- Selección de programas
- Borrado y modificación del estado de programas I/O (Entradas y salidas)
- Visualización y modificación de los puntos de trabajo
- Otras funciones especiales

4.3 PROGRAMACIÓN TEXTUAL

La programación textual¹ no permite la participación de la máquina, por lo que se dice es “off – line”. El programa queda constituido por un texto de instrucciones o sentencias, con este tipo de programación, el operador no define las acciones del brazo manipulado, sino que se calculan en el programa, mediante el empleo de las instrucciones textuales adecuadas.

Este tipo de programación, maneja una total posibilidad de edición, el robot únicamente interviene en la puesta a punto final.

La programación textual permite indicar la tarea al robot mediante el uso de un lenguaje de programación específico, según las características del lenguaje, se pueden realizar programas de trabajos complejos, utilizando ciclos, saltos condicionales, se pueden incluir bases de datos, crear módulos operativos intercambiables, y tiene la capacidad de adaptarse a las condiciones del mundo exterior, etc.

La programación textual se puede clasificar en tres niveles, dependiendo de que las órdenes se refieran a los movimientos a realizar por el robot, al estado en que deben ir quedando los objetos o al objetivo, por lo cual se tiene:

¹ <http://www.monografias.com/trabajos7/lero/lero2.shtml#len>

▪ **Nivel robot:** En este nivel, es necesario especificar cada uno de los movimientos que debe realizar el robot, la velocidad, las direcciones de aproximación y salida, la apertura y cierre de pinza, etc. En el ejemplo mostrado en la figura 4.2, el robot debe colocar la pieza A sobre la pieza B, a continuación se dan las instrucciones para colocar una pieza sobre otra:

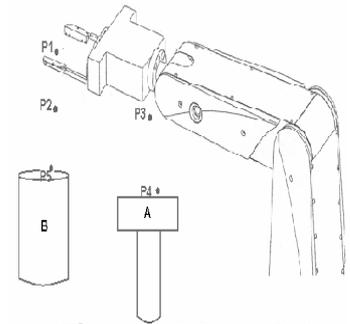


Fig. 4.2 Robot colocando una pieza sobre otra

Mover a p1 via p2	;situarse sobre la pieza A
Vel = 0.2 * VELMAX	;reducir la velocidad
Pinza = ABRIR	;abrir la pinza
Prec = ALTA	;aumentar la precisión
Mover_recta_a p3	;descender verticalmente
Prec = MEDIA	;decrementar la precisión
Vel = VELMAX	;aumentar la velocidad
Mover_a p4 via p2	;situarse sobre la pieza B
Prec = ALTA	;aumentar la precisión
Vel = 0.2 * VELMAX	;reducir la velocidad
Mover_recta_a p5	;descender verticalmente
Pinza = ABRIR	;abrir la pinza

▪ **Nivel objeto:** Este nivel disminuye la complejidad del programa, debido a que las instrucciones se dan en función de los objetos a manejar, un planificador de la tarea se encarga de consultar una base de datos y generar las instrucciones a nivel de robot.

Situar A sobre B haciendo coincidir

LADO – A1 con LADO-B1 y LADO-A2 con LADO-B2

- **Nivel tarea:** Este nivel reduce al programa en una única sentencia que especifica que debe hacer el robot en lugar de cómo debe hacerlo.

Colocar A sobre B

En la actualidad, la programación se basa en los movimientos a realizar por el robot, existiendo una gran variedad de lenguajes de programación textual a nivel objeto, como AL, AML, RAPID, etc.

La programación textual se divide en dos grupos, que presentan marcadas diferencias: la programación textual especificativa y la programación textual explícita.

4.3.1 Programación textual especificativa

La programación textual especificativa es un tipo de programación en el cual, el usuario describe las especificaciones de los productos mediante una modelización, al igual que las tareas que hay que realizar sobre ellos.

El sistema informático para la programación textual especificativa dispone de un modelo del universo o mundo en donde se encuentra el robot, este modelo normalmente es una base de datos, puede ser sencilla o compleja, según la clase de aplicación. Requiere generalmente de computadoras muy rápidas y capaces de realizar procesos que contienen una gran cantidad de información. El trabajo de la programación consiste en la descripción de las tareas a realizar.

4.3.2 Programación textual explícita

En la programación textual explícita, el programa consta de una secuencia de órdenes o instrucciones concretas que definen las operaciones necesarias para llevar a cabo la aplicación.

Esta programación engloba a los lenguajes que definen los movimientos punto por punto, similares a los de la programación gestual, pero bajo la forma de un lenguaje formal. En esta programación, las situaciones anormales, colisiones, etc., quedan a cargo del programador.

Dentro de este tipo de programación se tienen dos niveles: de movimiento elemental y el estructurado.

a. Nivel de movimiento elemental, comprende a los lenguajes dirigidos a controlar los movimientos del brazo manipulador. Existen dos tipos:

- **ARTICULAR** El lenguaje se dirige al control de los movimientos de las diversas articulaciones del brazo.

Los lenguajes del tipo articular indican los incrementos angulares de las articulaciones, aunque esta acción es simple para motores paso a paso y corriente continua, al no tener una referencia sobre la posición de las articulaciones con relación al entorno es difícil relacionar al sistema con piezas móviles, obstáculos, cámaras, etc.

- **CARTESIANO** El lenguaje define los movimientos relacionados con el sistema de manufactura, es decir, los del punto final del trabajo. Este tipo de programación utiliza transformaciones homogéneas, lo que hace que se independice a la programación del modelo particular del robot, un programa diseñado para uno, en coordenadas cartesianas puede utilizarse en otro, con diferentes coordenadas, mediante el sistema de transformación correspondiente.

b. Nivel estructurado, este tipo de programación intenta introducir relaciones entre el objeto y el sistema del robot, para que los lenguajes se desarrollen sobre una estructura formal.

Los lenguajes correspondientes a este tipo de programación tienen gran similitud con el Pascal, describen objetos y transformaciones con objetos, disponiendo de una estructura de datos arborescente. El uso de lenguajes de este tipo, aumenta la comprensión del programa, reduce el tiempo de edición y simplifica las acciones encaminadas a la consecución de tareas determinadas. Los lenguajes estructurados no son muy populares debido a que exigen un cierto nivel de conocimientos.

4.4 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN MAS USADOS EN LA ROBÓTICA

Existe una gran variedad de lenguajes utilizados para programar un robot, como se ha hecho mención, no se tiene ningún lenguaje universal debido principalmente al hecho de que cada lenguaje es creado para un robot con características y finalidad específicas.

Los lenguajes utilizados para la programación de un robot, deben cumplir con ciertas características:

- A. *Debe ser claro y sus reglas sencillas*, la programación gestual cumple con estos requisitos, pero no es posible realizar programas.
- B. *La estructura del programa debe ser clara y sencilla*, de manera que se puedan hacer cambios rápido.
- C. *Sus aplicaciones deben ser sencillas*, algunos lenguajes dedicados a las máquinas herramientas son los que cumplen satisfactoriamente esta característica.
- D. *Debe tener facilidad de ampliación*, por lo que se suele hacer uso de subrutinas definidas por el usuario, empleando una estructura modular.
- E. *El mantenimiento y la corrección deben llevarse a cabo con facilidad*
- F. *Debe tener eficacia* principalmente
- G. *Necesita ser de fácil transportación de un equipo a otro*, sea mecánico o informático
- H. *Que presente adaptabilidad a sensores* como tacto y visión, esto implica la posibilidad de tomar decisiones, ampliando la inteligencia artificial
- I. *Puede interactuar con otros sistemas.*

La mayoría de los lenguajes únicamente cumplen con las seis primeras, si un lenguaje cumple con todas entonces tendríamos un lenguaje universal.

Para facilitar el estudio de los lenguajes utilizados en la programación, se han hecho una clasificación de acuerdo a sus características comunes:

- Gestual punto a punto

- A nivel de movimientos elementales
- Estructurados de programación
- Específicos
- En función de los objetos que manejan

Estos lenguajes generalmente suelen ser de dos tipos: *intérprete o compilador*, la diferencia radica en que los compiladores son más lentos porque revisan el programa varias veces, antes de generar el código ejecutable.

Los intérpretes ejecutan el código como lo encuentran, permitiendo una ejecución parcial del programa, además que permiten modificar las instrucciones de forma más rápida.

4.4.1 Lenguajes del tipo Gestual Punto A Punto

Disponen de instrucciones muy similares a las de cualquier reproductor, como *play, record, ff, fr, pausa y stop*, etc. Además de contar con instrucciones auxiliares como *insert y delete*.

Los más conocidos o populares son el **Funky** (creado por IBM, que dispone de un comando especial para centrar a la pinza sobre el objeto para el control de los movimientos), y el **T3** (creado por MILACROM que dispone de un teach pendant). Los movimientos se pueden realizar en coordenadas cartesianas, cilíndricas o de unión, y también se pueden implementar funciones relacionadas con sensores externos e incluso revisar el programa paso a paso, hacia delante o hacia atrás.

4.4.2 Lenguajes a Nivel De Movimientos Elementales

Los movimientos punto a punto también se expresan en forma de lenguaje, manteniendo el énfasis en los movimientos primitivos en coordenadas articulares o cartesianas y siguen manteniendo pocas posibilidades de programación off - line. Una ventaja de este tipo de lenguaje, es la inclusión de subrutinas, ciclos de repetición y saltos condicionales, además de un aumento de las operaciones con sensores. Estos lenguajes son generalmente del tipo intérprete, la mayoría dispone de comandos de tratamiento a distancia básicos

como el tacto, fuerza, movimiento, proximidad y presencia. Algunos lenguajes de este tipo son presentados en la tabla 4.1.

Tabla 4-1 Lenguajes a nivel de movimientos elementales

Nombre	Características
ANORAD	Creado como una transformación de un lenguaje de control numérico de la Corporación ANORAD. Utiliza como procesador al microprocesador 68000 de Motorola de 16/32 bits
VAL	Diseñado por la Compañía Unimation para sus robots Unimate y PUMA. Su unidad de procesamiento se comunica con procesadores individuales que regulan el servocontrol de cada articulación. Las instrucciones son sencillas e intuitivas como MOVE, CLOSE, APRO PART, APRO DROP, OPEN, etc. Una deficiencia en el lenguaje: tiene demasiados comandos para definir acciones muy parecidas, lo que hace que sea difícil de comprender y de conocer.
RPL	Se aplica a los robots PUMA, fue diseñado por SRI Internacional. Contiene un compilador, dispone de un sistema complejo de visión y es capaz de seleccionar una pintura y reconocer objetos presentes en su base de datos.
SIGLA	Fue desarrollado por la Compañía Olivetti, para su robot Super SIGMA, emplea un mini ordenador con 8 kb de memoria. Esta escrito en ensamblador y es del tipo intérprete.

4.4.3 Lenguajes estructurados de programación explícita

Los lenguajes de este grupo se encuentran provistos de estructuras de datos de tipo complejo, algunos usan vectores, posiciones y transformaciones lo que les permiten la definición de puntos, líneas, planos y posiciones.

Algunos lenguajes tienen comandos para el control de la sensibilidad del tacto de los dedos es decir, fuerza, movimiento, proximidad, etc., además algunos

incluso poseen comandos de visión para identificar e inspeccionar objetos. La tabla 4.2 presenta algunos de los lenguajes pertenecientes a este grupo.

Tabla 4-2 Lenguajes estructurados de programación explícita

Nombre	Características
AL	Diseñado por el laboratorio de Inteligencia Artificial de la Universidad de Stanford, utilizando estructuras de bloques y de control. Trata de proporcionar definiciones acerca de los movimientos relacionados con los elementos sobre los que el brazo trabaja, este lenguaje tiene comandos para el control de la sensibilidad del tacto de los dedos.
HELP	Creado por la compañía General Electric, escrito en Pascal y Fortran. Permite el movimiento simultáneo de varios brazos y dispone de un conjunto especial de subrutinas para la ejecución cualquier tarea, pero no tiene capacidad de adaptación sensorial.
MAPLE	Diseñado como intérprete por IBM para un robot de la misma compañía, tiene capacidad para soportar información proveniente de sensores externos.
PAL	Desarrollado en la Universidad de Purdue, escrito en Fortran y lenguaje ensamblador. Es capaz de aceptar sensores de fuerza y visión, cada una de sus instrucciones para mover el brazo del robot coordenadas cartesianas es procesada para que satisfaga la ecuación del procesamiento.
MCL	Creado por la compañía Mc Donall Duglas, como una ampliación para su lenguaje de control numérico APT. Este lenguaje es compilable, y se puede considerar apto para programación de robots "off-line".

4.4.4 Lenguajes especificativos a nivel objeto

Este grupo de lenguajes son del tipo intérprete, se orientan al ensamblaje de piezas e interactúan con su entorno, los tres principales son mostrados en la tabla 4.3.

Tabla 4-3 Lenguajes especificativa a nivel objeto

Nombre	Características
RAPT	<p>Fue creado en la Universidad de Edimburgo para el robot Fredy, orientado al ensamblaje de piezas, es del tipo intérprete.</p> <p>Se basa en definir una serie de planos, cilindros y esferas, que dan lugar a otros cuerpos derivados</p>
AUTOPASS	<p>Creado por IBM para el ensamblaje de piezas, utiliza instrucciones muy comunes debido a que cuenta con un juego de comandos muy parecidos al idioma ingles.</p> <p>Indica puntos específicos, prevé colisiones y genera acciones a partir de las situaciones reales.</p> <p>Es del tipo intérprete y compilador.</p>
LAMA	<p>Creado en el Instituto Tecnológico de Massachussets, para el robot Silver, se orienta al ajuste de conjuntos mecánicos.</p> <p>Tiene tres funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Creación de la función de trabajo operación inteligente ▪ Generación de la función de manipulación <p>Interpretación y desarrollo de una estrategia de realimentación para la adaptación al entorno de trabajo de forma interactiva.</p>

4.4.5 Lenguajes en función de los objetivos

Los lenguajes orientados en función de los objetivos trabajan definiendo principalmente la situación final del producto a fabricar, a partir de la cual se

generan los planes de acción tendientes a conseguirla obteniendo el programa de trabajo.

Los lenguajes orientados en función de los objetivos, pueden prever la comunicación hombre-máquina a través de la voz. Estos lenguajes son los más potentes dentro de la Inteligencia Artificial, los más conocidos dentro de este grupo son los presentados en la tabla 4.4.

Tabla 4-4 Lenguajes en función de los objetivos

Nombre	Características
STRIPS	Diseñado en la Universidad de Standford para el robot Shakeay. Se basa en un modelo del universo ligado a un conjunto de planteamientos aritmético-lógicos que se encargan de obtener las subrutinas que conforman el programa final. Este lenguaje es de tipo intérprete y puede ser compilado
HILARIE	Diseñado en el laboratorio de Automática y Análisis de Sistemas de Toulouse, esta escrito en lenguaje LISP. Es uno de los lenguajes naturales mejor planteados por sus posibilidades de ampliación e investigación.

CAPÍTULO V

CARACTERÍSTICAS Y PROGRAMACIÓN DEL ROBOT CataLyst-3

Thermo CRS, tiene su base en Burlington, Ontario, Canadá, es un líder mundial en diseño y manufactura en software, robots y laboratorios dedicados a la investigación. Sus robots permiten a las compañías aumentar su productividad y reducir costos. Además, Thermo CRS, es una de las tres compañías más grandes en el mundo, y es la única compañía canadiense que construye plataformas de laboratorios para el descubrimiento de nuevas medicinas.

Muchos de los productos ofrecidos por la compañía CRS, son empleados en diversos mercados, como la industria, laboratorios para nuevos descubrimientos médicos, la creación de nuevas medicinas, procesos clínicos, material de carga y en la educación.

5.1 CARACTERÍSTICAS DEL ROBOT CataLyst – 3

El sistema CataLyst-3, consiste de un brazo de robot CataLyst-3, un controlador C500C, y un cable umbilical que surte de energía y facilita la comunicación del controlador al brazo e incluye el teach pendant, para realizar algunas aplicaciones, cada componente se puede apreciar en la figura 5.1.

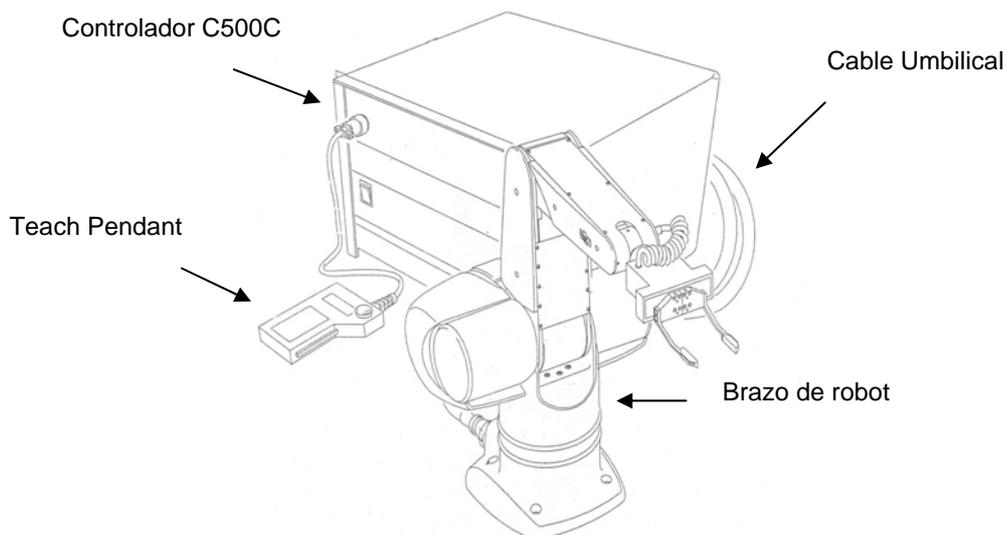


Fig. 5.1 Sistema Robótico CataLyst-3

5.1.1 El brazo

El brazo de robot del CataLyst-3, transporta cargas y realizar diversas acciones en un espacio determinado, una base asegura el brazo a una plataforma asegurada, se puede manejar una gran variedad de efectores finales como grippers o disponer de herramientas.

Las articulaciones, mostradas en la figura 5.2, proporcionan al brazo de tres grados de libertad, permitiendo cambiar de posición la herramienta en varios puntos del área de trabajo.



Fig. 5.2 Brazo de Robot del CataLyst-3

5.1.1.1 Codificadores incrementales

Estos codificadores de cada articulación proporcionan sobre la posición, una vez que el brazo ha llegado a home, los controladores usan esta información para asegurar la posición del brazo con respecto al área de trabajo.

5.1.2 El controlador C500C

El controlador C500C, mostrado en la figura 5.3, suministra los circuitos de seguridad, poder y control de movimiento para el brazo. Maneja los motores de cada articulación, manteniendo la trayectoria del motor de posición a través de la retroalimentación de los codificadores, las trayectorias y almacena las aplicaciones del robot en memoria.



Fig. 5.3 Controlador C500C

El controlador C500C, puede detectar incluso condiciones que provoquen daños potenciales como severas colisiones, pérdida de la retroalimentación, errores en la comunicación y cualquier fuga en el robot. Si una de estas condiciones es detectada, el controlador inmediatamente manda un paro de emergencia o shutdown.

El controlador permite programar procesos e interfaces para mantener las funciones del sistema en un nivel bajo. También permite realizar aplicaciones básicas para desarrollar herramientas, en un ambiente integrado para desarrollar, compilar y correr las aplicaciones del controlador.

5.1.2.1 El panel de control

El panel de control del controlador C500C, proporciona una interfaz básica sobre las funciones del robot. Al momento que ocurre la aplicación, se puede hacer uso de la pantalla LCD, que muestra las acciones que están ocurriendo, de los botones de programación y del indicador de luces, todos ellos situados en

el frente del controlador. Estos muestran mensajes informando el estado y los requerimientos del sistema, la figura 5.4 muestra la ubicación de cada componente.

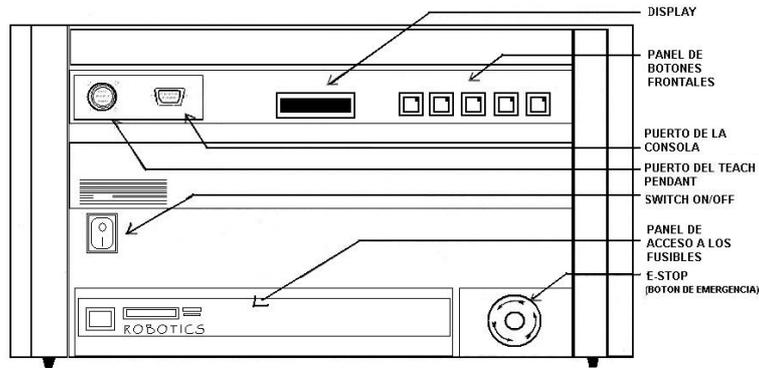


Fig. 5.4 Parte frontal del controlador C500C

5.1.2.2 Puertos del Controlador

Los puertos del controlador, se encuentran en la parte trasera, permitiendo conectar otros aparatos opcionales como el teach pendant, una computadora o paros de emergencia adicionales. En la figura 5.5, se muestran todos los puertos existentes, aunque no todos los controladores los tienen, ya que son opcionales.

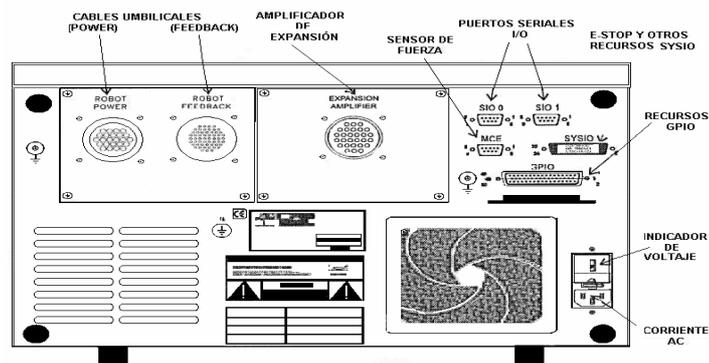


Fig. 5.5 Parte trasera del controlador C500C

Los paros de emergencia o botones de emergencia (E-stop), han sido diseñados para parar inmediatamente el brazo de robot en el caso de emergencia. Cuando un botón de emergencia es accionado, el brazo de robot se queda inmediatamente sin energía, y esta no puede ser restaurada hasta que se resetea manualmente el botón de emergencia.

5.2 Especificaciones técnicas del sistema CataLyst-3

Las características físicas del sistema CataLyst-3, se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 5- 1 Características físicas del brazo del CataLyst-3

Brazo del CataLyst-3 de CRS	
Número de ejes	3
Peso	17 Kg.
Carga soportada	1 Kg.
Efactor final	Servo gripper
Repetibilidad	± 0.05 Mm.
Montaje	Vertical o invertido
Alcance	660 Mm.
Sistema de manejo	DC motores electromecánicos Codificadores incrementados en cada articulación.
Transmisión	Manejo armónico
Frenos	Frenos en todos los puntos
Modos de movimiento	Teach automático
Conexiones finales del brazo	Servo gripper conector en la muñeca

Tabla 5- 2 Características del Controlador C500C de CRS

Controlador C500C de CRS robotics

Microprocesador	133 Mhz i486DX
Memoria	4 Mb Ram memoria 512 Kb NVRam para almacenamiento de aplicaciones 1 Mb memoria flash para uso del sistema
User I/O	16 entradas digitales 12 salidas digitales 1 entrada análoga 4 salidas de retraso
Interfaz del panel frontal	16x2 caracteres, display LCD, botones programables y luces LEC Salidas para control de los paros de emergencia
Sistema de conexiones	2 puertos seriales 1 consola para puerto serial 1 puerto serial para teach pendant
Dimensiones	482.6 Mm. x 266.7 Mm.
Peso	31 Kg.

Tabla 5- 3 Especificaciones eléctricas del sistema

Especificaciones eléctricas

Voltaje de entrada AC	100 / 115 / 230 VAC ± 10%
Línea de frecuencia	50 -60 Hz
Máximo poder de consumo	1000 w

Este sistema ha sido creado para utilizarse en interiores únicamente

Tabla 5- 4 Características de operación

Operaciones ambientales

Temperatura	10° a 40° C
Humedad	Mantener bajo un 80% de humedad Únicamente en un ambiente no condensad
Vibración	No manejar una vibración excesiva
Interferencia electromagnética	No exponer a excesivo ruido eléctrico o plasma

Cuando se esta planeando una aplicación, se debe tomar en cuenta los siguientes datos técnicos para asegurar que se esta utilizando o va a utilizar el robot con las tolerancias recomendadas.

El elegir cargas y aceleraciones apropiadas, permite prolongar la vida del robot. En la tabla 5.5 se muestran las especificaciones para las articulaciones.

Tabla 5- 5 Especificaciones para los ejes del brazo CataLyst-3

Ejes	Rango de movimiento	Velocidad máxima	Aceleración	Radio gear	Grado continuo del esfuerzo de torsión
1	± 180°	210 °/sec	500°/sec ²	72:1	9.6 N·m
2	0° a +110°	210°/sec	500°/sec ²	72:1	9.6 N·m
3	-125° a 0°	210°/sec	500°/sec ²	-72:1	9.6 N·m

5.3 Manejo preventivo del sistema CataLyst-3

El CataLyst-3, ha sido diseñado para utilizarse en pequeñas aplicaciones que requieran cargas pequeñas, no mayores a 1 kg. Este sistema no debe ser operado en ambientes explosivos, ambientes radioactivos o biohazardos, excepto como parte de un sistema que ha sido diseñado específicamente para ese uso y tampoco puede ser operado directamente en humanos.

Cuando se diseña el área de trabajo, se deben aislar todos los posibles peligros asociados con el uso del robot. Para evitar riesgos, se deben seguir los pasos:

- a. Identificar el peligro potencial asociado con la aplicación del robot
- b. Estimar la gravedad real de todos los riesgos y peligros, incluyendo peligros presentes en el robot por sí mismo, y por la aplicación a la que se va a orientar.
- c. Seleccionar medidas apropiadas para controlar los riesgos. Se debe estar completamente seguro que el personal que va a operar cerca del área de trabajo del robot han sido entrenados, al mismo tiempo que se debe cuidar su propia seguridad.

Algunos de los peligros que pueden ocurrir en el sistema pueden ser originados cuando:

- *El brazo entra en contacto con una pieza de equipo que tenga un potencial eléctrico diferente.* El brazo esta conectado a través de cables umbilicales, si una pieza cargada del equipo esta en contacto con el brazo por un periodo extendido de tiempo, los cables umbilicales podrían cortarse y comenzar un incendio.
- *El cable del motor de poder tiene un alto voltaje cuando el sistema esta activado,* se puede originar un shock eléctrico.
- *Los frenos en el brazo de robot no paran instantáneamente cuando este es apagado*
- *Agua u otros líquidos pueden producir corto circuito,* por lo que se debe evitar tener algún líquido en el brazo o en el controlador.

- **El panel frontal del controlador no puede ser deshabilitado**, si se crea un panel de control remoto, se debe asegurar que los botones de encendido, pausa/continuar son accesibles únicamente en una locación.
- **Al usar un controlador no compatible con el brazo puede provocar una colisión**, cuando se repara o se hacen modificaciones, siempre se debe asegurar que el archivo de calibración de los controladores sean compatibles con el brazo al que ha sido conectado.

5.3.1 Área de trabajo

El área de trabajo es el volumen de espacio que puede ser abarcado por todas las partes del robot, mas el espacio que puede ser abarcado por el efector final y la pieza con la que se trabaja, la figura 5.6 muestra el área de trabajo del brazo CataLyst-3.

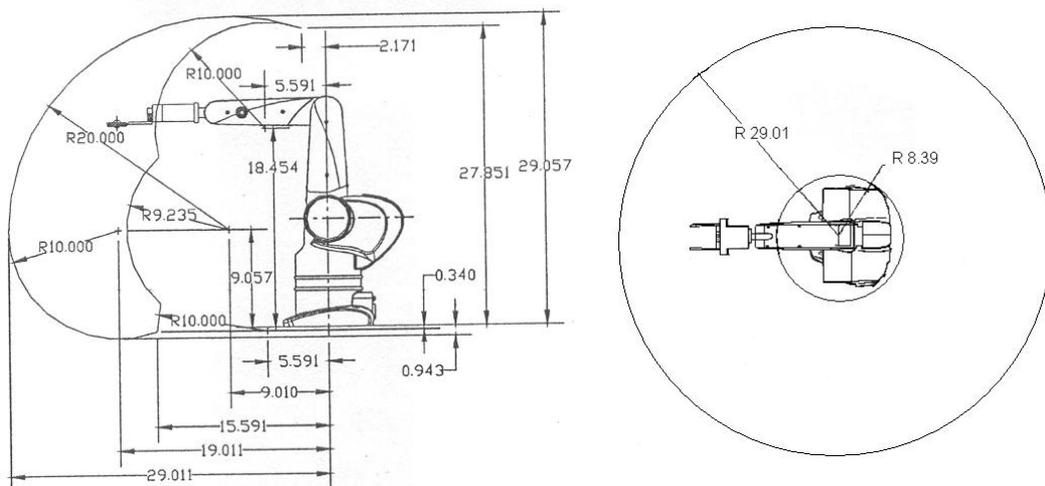


Fig. 5.6 Base del brazo CataLyst-3 con servo gripper

Para calcular el área de trabajo de una aplicación se deben tomar en cuenta las siguientes dimensiones:

- La base del brazo
- Las dimensiones de la pieza de trabajo, calculado aparte del brazo
- Cualquier espacio requerido para evitar el peligro de aplastar o tener una colisión.

Se debe calcular la distancia, extendiendo en todas las direcciones el brazo, representando el mínimo espacio de trabajo para la aplicación.

Para evitar cualquier peligro durante la aplicación, el perímetro del lugar de trabajo debe ser definido por barreras físicas que delimiten el acceso al área de trabajo, o puede consistir de señales de advertencia diseñadas para prevenir a los operadores sobre los posibles peligros presentes.

Cuando se instalan barreras físicas, los criterios a seguir son:

- Las barreras deben estar totalmente fuera del radio del brazo, del gripper y de la carga.
- Además de utilizar algún programa para limitar o restringir los movimientos del brazo a una porción de espacio, las barreras deben extenderse en todo el espacio del brazo.
- Se debe tener suficiente espacio entre las barreras y el espacio de trabajo cubierto para prevenir el peligro de posibles colisiones, aplastamientos o choques.

5.3.2 Alertas pasivas

Las alertas pasivas han sido diseñadas para avisar a los operadores de peligros presentes por el sistema, pero no para prohibir el acceso al área de trabajo.

Para maximizar la seguridad, se incorporan alertas pasivas en el área de trabajo diseñada además de las barreras físicas y la presencia de dispositivos sensores.

Algunos ejemplos de alertas pasivas pueden ser:

- Señales auditivas o visuales, como luces y alarmas, que indican una condición de peligro o advierten a un intruso mantenerse en un área segura.
- Barreras de límite, como tableros, carteles o líneas amarillas pintadas en el piso.



Fig. 5.7 Botón de paro de emergencia del controlador C500C.

Cuando se utilizan este tipo de alertas, se debe estar seguro que todas las personas que tienen contacto con el robot reconocen las alertas y entienden el significado de ellas. Para un uso seguro del robot, los botones de emergencia (E-stop), la figura 5.7 muestra el botón de emergencia del controlador C500C,

deben ser realmente accesibles en todos los puntos donde es posible que se trabaje con el robot, aparte, se pueden instalar botones de emergencia en serie por medio de los puertos SYSIO, que se encuentran en la parte trasera del controlador.

5.3.3 Prevención de accidentes

Para minimizar los posibles riesgos de accidentes alrededor del robot, se deben tomar en cuenta los siguientes principios:

- Diseñar y probar la aplicación deseada todas las veces que sean necesarias para garantizar la seguridad del sistema operador todo el tiempo.
- Alertar a todos los operadores sobre los daños presentes en el robot.
- Prohibir o restringir el acceso al área de trabajo mientras el robot esta en uso. Las barreras utilizadas u otros implementos de seguridad deben ser usadas para establecer un perímetro seguro fuera del alcance del brazo.
- Durante una operación automática del sistema, prevenir al personal de mantenerse en un área segura.
- Programar inspecciones de rutina para todos los dispositivos de seguridad, esto es para garantizar que funcionan normalmente.
- Si el sistema esta bajo alguna reparación o esta actuando anormalmente, desconecta el controlador para evitar que el sistema sea utilizado.

5.3.4 Entrenamiento seguro

Se deben asegurar que todo el personal que programa, opera o da mantenimiento al robot ha sido entrenado para hacer su trabajo de manera satisfactoria. Se recomienda que se entrene sobre el uso de sistemas CRS antes de trabajar en una aplicación del robot.

Se debe tener una asegurar que todos los operadores:

- Han aclarado sus dudas satisfactoriamente
- Han recibido un entrenamiento adecuado
- Están prevenidos y entrenados sobre los posibles peligros que implica la aplicación
- Conocen la ubicación y el uso de los dispositivos de seguridad.

Ya que se está trabajando con el robot, se deben tener siempre en mente los siguientes puntos para garantizar la seguridad del sistema y del operador:

1. Estar pendiente de la posición del brazo todo el tiempo
2. Trabajar con velocidad reducida
3. Tener botones de emergencia y dispositivos que puedan garantizar la seguridad todo el tiempo
4. Nunca trabajar solo dentro de un área que no sea completamente segura
5. Nunca situarse entre el brazo y el objeto con el que se va a trabajar
6. Si el operador no ha sido entrenado con anterioridad, no dejar que trabaje con el brazo.

5.4 Instalación de los componentes del CataLyst-3

Al comenzar la instalación, se debe asegurar que el soporte del brazo no se va a mover o caer durante su uso.

Se debe ensamblar el brazo verticalmente o en posición invertida. En posición vertical, la base del brazo ocupa una porción de su espacio de trabajo, limitando la posible área de trabajo. El área de trabajo puede ser extensa cuando el brazo está invertido, pero las trayectorias que el robot requiere durante las aplicaciones pueden ser más complejas.

De cualquier forma en que se coloque verticalmente o invertida, la plataforma donde se va a montar el brazo debe ser lo suficientemente rígida y fuerte, para soportar el peso del brazo y las fuerzas causadas por la aceleración y la desaceleración mientras el brazo está en uso.

Las características que debe tener una plataforma son:

- La estructura de soporte, debe estar sujeta firmemente al piso o al marco para prevenir cualquier movimiento

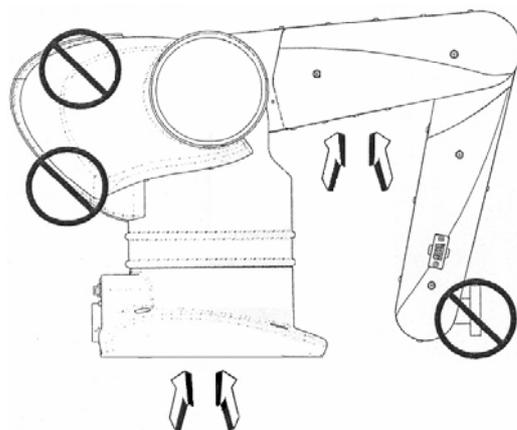


Fig. 5.8 Levantamiento del brazo de la base o debajo la segunda articulación

- La estructura debe estar al mismo nivel, no debe estar suspendida o montada en la pared o estar inclinada.

Ya que se tiene la plataforma del brazo, se debe tomar en consideración que este pesa aproximadamente 17 Kg. y que se puede dañar fácilmente si se cae. Para levantar el brazo, se debe tomar de la base o de la segunda articulación, en la figura 5.8 las flechas muestran de donde se puede levantar.

El controlador puede ser montado a cualquier nivel de la superficie, el chasis mide 482.6 mm de ancho por 266.7 mm de alto. Por seguridad, el controlador debe estar localizado fuera del área de trabajo del brazo, dar al menos unos 225 mm de espacio para la ventilación y los cables de la parte trasera del controlador.

Los botones del panel frontal, la pantalla, y los botones de emergencia deben ser de fácil acceso.

5.5 Puesta en marcha del sistema

Después de instalar, localizar y hacer cualquier cambio en los componentes del sistema, se debe verificar que todo el sistema funcione correctamente.

Cuando se pone en marcha un sistema robótico, se deben tomar en cuenta las siguientes medidas:

- Establecer claramente los límites del área de trabajo donde se ha instalado el brazo
- Designar y entrenar a todo el personal responsable de la puesta en marcha del sistema, hacer pruebas con el robot.

Ya que se han cumplido estas medidas, para poner en marcha el sistema, se deben seguir los pasos mencionados a continuación:

1. Inspeccionar el sistema sobre cualquier peligro
2. Conectar la computadora y la fuente de poder del sistema
3. Configurar el sistema
4. Verificar los codificadores de retroalimentación

5. Prender el brazo
6. Verificar que los botones de emergencia funcionen correctamente
7. Tener en home el brazo
8. Probar las articulaciones de movimiento

5.5.1 Inspección del sistema

Antes de prender el robot, se debe comprobar que los siguientes puntos se cumplan:

- El brazo ha sido asegurado perfectamente a la plataforma de montura y todos los efectores finales están conectados correctamente.
- Los cables umbilicales están conectados al chasis del controlador
- El cable de retroalimentación se conecto al brazo
- La computadora se conecto al puerto del controlador
- El teach pendant se conecto al puerto frontal del controlador
- Todos los cables están conectados y han sido revisados
- El brazo no tiene ninguna carga
- El espacio del área de trabajo del robot esta libre de obstrucciones
- El área de trabajo esta claramente definida y delimitada por barreras, etc.
- Los operadores o cualquier persona esta fuera del área de trabajo del robot.
- Los botones de emergencia han sido cerrados, se mantienen reseteados y todos los otros recursos de los botones de emergencia, como los dispositivos de seguridad y sensores de aproximación, están cerrados y el circuito está completo.
- Si se han hecho cambios o modificaciones al sistema, entonces se debe verificar que el voltaje del controlador es el correcto, que el brazo y todos los componentes se encuentran correctamente instalados y estables.
- También se debe comprobar, que todos los cables se encuentran en buen estado y que no son aplastados por nada
- Si se esta usando un brazo o un controlador diferente, se debe comprobar que los archivos de calibración del controlador concuerdan con el brazo.

5.5.2 Encendiendo el sistema

Cuando se va a trabajar con el sistema, se debe encender primero el controlador, que hace un chequeo de todas sus funciones, archivos, etc. Al encender el controlador, únicamente se enciende este, el brazo permanece apagado.

Cuando se va a apagar el controlador, también se debe tener cuidado debido a que se puede causar pérdida de memoria.

Una vez que el controlador termina de cargar los archivos, en la pantalla debe aparecer la leyenda:

C500C CROS

Si este mensaje no aparece, entonces se deben tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

- Apagar el controlador
- Asegurarse que el controlador esta conectado a la corriente eléctrica
- Verificar que el cable del controlador esta conectado correctamente en la parte trasera del mismo
- Verificar que el indicador de voltaje esta seleccionado correctamente
- Desconectar el controlador y probar los fusibles AC

5.5.3 Cargando los archivos de calibración

Antes de usar el brazo por primera vez con un nuevo controlador, se deben cargar los archivos de calibración del brazo, estos archivos determinan donde se encuentra la posición cero para cada codificador del brazo.

Únicamente se deben cargar estos archivos después de una recalibración, un procesamiento de servicio que afecte a los codificadores o cuando se utiliza un brazo diferente con el controlador.

Si estos archivos no se cargan de forma correcta, entonces puede ocurrir una colisión que afecte permanentemente al brazo.

El archivo de calibración debe tener una extensión **.cal**, y para cargarlo se deben seguir las instrucciones:

1. Se localiza el número de serie del brazo en la etiqueta que se encuentra en la base del brazo.
2. Se debe confirmar que el número de serie del brazo concuerde con el número del disco
3. Se deben transferir el archivo de calibración (**robot.cal**), del disco al directorio **/conf** del controlador conectado al brazo
4. Se resetea el controlador y se apaga el brazo.

Una vez hecho esto, el controlador debe mostrar los cambios hechos en el brazo.

5.5.4 Configuración del sistema

Si se está configurando por vez primera el sistema, se debe utilizar el comando **/diag/setup**

este comando permite configurar los parámetros establecidos como unidades de medida y el número de ejes para el sistema.

Los parámetros de configuración establecidos para el robot, se encuentran almacenados en el archivo de configuración como:

/conf/robot.cfg.

Para configurar el sistema:

1. Se debe inicializar el sistema desde la computadora
2. Introducir el comando **/diag/setup**
3. Se deben contestar una serie de preguntas sobre la configuración. Si la respuesta es incorrecta, únicamente se debe correr **/diag/setup** nuevamente
4. Una vez que ha sido completado, se apaga el controlador ingresando
5. **\$ Shutdown now**
6. Reinicia el controlador para aplicar la nueva configuración.

5.5.5 Encendiendo el brazo por primera vez

Antes de encender el brazo por primera vez, se debe tener la seguridad que los botones de emergencia (E-stop), están al alcance y que los operadores y cualquier otra persona, se encuentra fuera del área de trabajo del robot, como el sistema no ha sido verificado, por seguridad se debe ser sumamente precavido cuando se comienza a trabajar con él.

Para encender el brazo:

1. Estando fuera del área de trabajo, se presiona el botón de encendido que se encuentra en el frente del controlador. El LED del botón debe prenderse, indicando que el brazo está encendido.
2. Si no se puede encender el brazo, se debe verificar que los recursos de emergencia no han sido accionados y los puertos del teach pendant y SYSIO se encuentran conectados de manera apropiada.

Si los problemas para encender el brazo continúan, se deben tomar en consideración las siguientes acciones.

- a. Apagar el controlador
- b. Examinar los cables, no deben estar dañados
- c. Desconectar los cables, examinar los conectores y asegurarse que estos se encuentran limpios y libres de corrosión. Si los cables y los conectores se encuentran en buena condición, se deben conectar nuevamente, de manera apropiada.
- d. Comprobar que los circuitos de emergencia se encuentran cerrados, estos circuitos deben ser reinicializados
- e. Comprobar los fusibles
- f. Rehabilitar el botón de encendido del brazo, si este botón fue deshabilitado, se debe ingresar el comando:
- g. **test> armpower on**

De esta manera, el botón del controlador se habilita para encender el brazo.

5.5.6 Comprobando los paros de emergencia

Antes de programar al robot para realizar una rutina determinada, se debe comprobar que los botones de emergencia funcionan correctamente, el CataLyst-3 tiene uno situado en el teach pendant y otro en el controlador, esto es para proteger al operador en caso de emergencia.

Para demostrar que funcionan correctamente

- 1 Encender el brazo
- 2 Para comprobar todos los botones de emergencia, se debe realizar el siguiente procedimiento:
 - a. Ordenar un paro de emergencia presionando el botón de emergencia situado en la esquina inferior derecha del controlador. Se debe escuchar un clic cuando los frenos se metan y se transmite al controlador apagar el brazo.
 - b. Comprobar que el LED del botón de encendido del brazo está apagado.
 - c. Resetear el botón de emergencia, girándolo en sentido contrario a las manecillas del reloj.
 - d. Encender el brazo nuevamente
- 3 Si se utiliza el teach pendant, se debe probar siguiendo el procedimiento descrito a continuación:
 - a. Si el teach pendant no ha sido activado, se debe escribir en la computadora el comando **pendant**
 - b. Sin accionar el switch se presiona una de las llaves de movimiento del brazo. Se comprueba que se ha mandado un paro de emergencia, lo que apaga el brazo
 - c. Se enciende el brazo

- d. Mientras se presiona el switch solo lo suficiente para que se mande la primer señal de seguridad, presionar una de las llaves de movimiento del brazo. Comprobar que el brazo se puede mover desde el teach pendant sin enviar un paro de emergencia
 - e. Mientras se esta moviendo el brazo por medio del teach pendant, se libera el switch y se ordena un paro de emergencia.
 - f. Encender el brazo
- 4 Probar todos los recursos adicionales conectados a los circuitos de paro de emergencia que se encuentren en el área de trabajo. Asegurarse que todos cortan la energía del brazo.

5.5.7 Prueba de las articulaciones de movimiento

Se deben probar cada una de las articulaciones para comprobar que el todo el rango de movimiento esta disponible.

Para hacer las pruebas desde la computadora

- 1. Se debe comprobar que el brazo esta encendido
- 2. En la computadora se debe abrir el programa y comenzar la sesión con el comando

Ash test

- 3. En la pantalla, para dar el 10% de velocidad, se escribe el comando

Speed 10

- 4. Se debe tener cuidado de evitar otros elementos en el área de trabajo, mover cada punto a un ángulo de 5° en dirección positiva y negativa utilizando el comando joint, un ejemplo sería

test> joint 1, 5

esto significa mueve la primer articulación en un counterclockwise de 5°

Cada articulación se debe mover suave y lentamente. Si el brazo se comienza a mover a altas velocidades, puede ser que los amplificadores no sean tan larga para recibir la retroalimentación del brazo, indicando un problema con el cable de retroalimentación o con los amplificadores o los codificadores.

Se debe inspeccionar el cable de retroalimentación cuidando los siguientes puntos:

1. Comprobar que el cable no esta dañado
2. Desconectar el cable e inspeccionar que los conectores están limpios y libres de corrosión, todos los pins están derechos y en buen estado.
3. Si el cable y los conectores se encuentran en buen estado, se debe desconectar el cable y asegurarse que al conectarlo nuevamente este lo haga bien.

5.5.8 Mandando a home al brazo

Los codificadores incrementales del motor proporcionan una retroalimentación indicando la posición de cada articulación al controlador. Como los codificadores incrementales no tienen una posición absoluta de cero, el brazo se debe mandar a home después de cada uso, esto localiza la posición cero para cada motor y establece un marco de referencia para el brazo. Hasta que el brazo se manda a home, la velocidad se limita a un 10% y los comandos de movimiento se deshabilitan.

El comando **autohome** se utiliza para guardar los datos en el controlador y regresar el brazo a su lugar inicial, este comando es completamente automático, por lo que es mucho más rápido que hacerlo manualmente.

Cada vez que el brazo se apaga, el controlador guarda la posición de los ejes en el archivo **/conf/poweroff.cal**.

El comando **autohome** utiliza esta información para restablecer el sistema a un estado inicial. Para utilizar este comando se deben seguir estos pasos:

1. Presionar el botón para encender el brazo

2. Si el brazo tiene algún obstáculo en su área de trabajo, despejar el área. Durante el autohoming, el brazo puede rotar en cada articulación a través de pocos ángulos.

3. Ingresa el comando:

test> autohome

En este momento, el robot comienza a mandar un autohoming, por default, este comando restaura la información de todos los ejes.

Al mandar a home de forma manual, se debe comprobar que el brazo esta encendido, mover cada articulación hasta que el apuntador se encuentre en la zona de inicio, como se muestra en la figura 5.9.

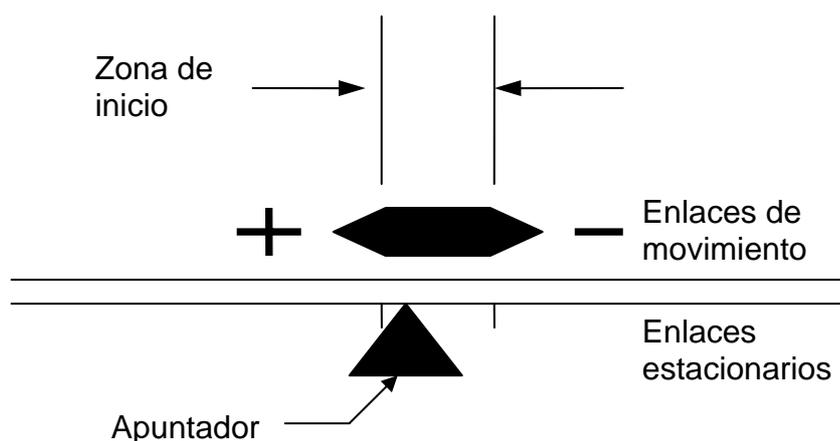


Fig. 5.9 Uso de los marcadores de calibración del lugar del brazo, conocido como posición mecánica

Para mandar a home, introducir el comando **home n**, en donde n es el número de articulación que se va a mandar a home. Si se desea mandar todas las articulaciones simultáneamente, se introduce únicamente el comando **home**, por ejemplo:

Test > home

Después la luz situada en el panel frontal, se enciende automáticamente cuando todas las articulaciones han sido enviadas a su lugar satisfactoriamente.

5.5.9 Comprobando la posición del robot

Una vez que el brazo ha sido enviado a home, se necesita comprobar que va a realizar los movimientos adecuados. Ya que se encuentra listo, se debe ingresar el comando **ready** y se debe comprobar que el brazo esta posicionado correctamente, la figura 5.10, muestra la posición esperada.

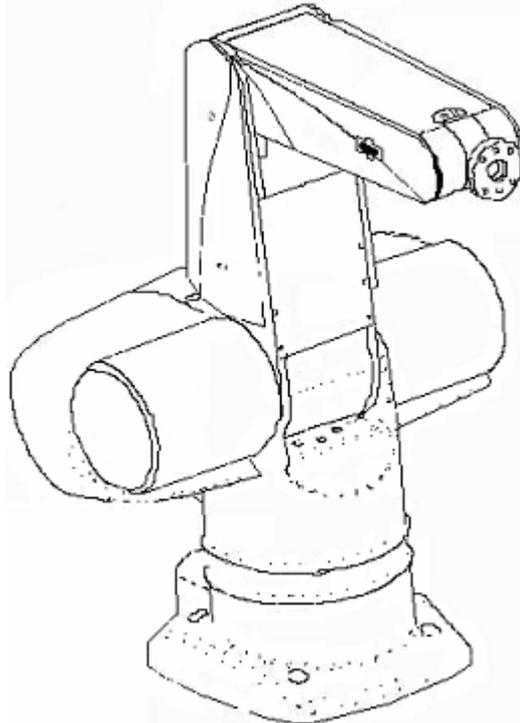


Fig. 5.10 Brazo de robot en la posición inicial

Una vez que se han verificado todos los puntos anteriores, se puede comenzar a trabajar con el brazo, si se va a utilizar una computadora adicional, entonces se debe entrar al programa Robcomm3.

5.6 Lenguaje RAPL-3

Este lenguaje nace en 1985, con el robot M1A, pero hasta 1998 es cuando se estandariza su uso a todos los robots de Thermo CRS.

El lenguaje Rapl-3, es similar a Pascal, con algunas cosas del lenguaje C, la mayor parte del software utilizado en los controladores C500C ha sido creado en Rapl-3, los programas son compilados a 32 bits, antes de ejecutarlos deben compilarse en una computadora o incluso en el mismo controlador.

5.6.1 Estructura básica de un programa en RAPL-3

Todos los programas siguen el mismo formato general, algunos elementos se requieren, otros son opcionales dependiendo de la complejidad del mismo. La estructura básica de un programa debe contener:

1. La función **main** que debe ir al principio de cada programa
2. Las subrutinas, si es que se van a utilizar
3. La declaración de las variables del programa
4. Se puede hacer uso de los distintos comandos del RALP-3

Un ejemplo sencillo:

```
Main                                ;; comienza el programa

fast =50                               ;; declaran e inicializan las variables

show=25

z=1

speed(fast)                            ;; asigna una velocidad

move(_safe)                            ;; mueve y declara una locación implícita

do                                    ;; comienza el ciclo do

  appro(_a,5)                           ;; selecciona de una locación a, declarando

                                          ;; una locación implícita

  grip_open(100)

  grip_finish()

  move(_a)
```

```
finish()

grip_close(100)

grip_finish()

depart(5)

move(_safe)           ;; mueve a un lugar seguro

appro(_b,5)           ;; cambia al lugar b

move(_b)

finish()

grip_open(100)

grip_finish()

depart(5)

move(_safe)           ;; mueve a un lugar seguro

z = z + 1              ;; incrementa el contador

until z == 10         ;; condición para terminar el ciclo

End main             ;; termina el programa
```

5.6.1.1 Función Main

Cada programa debe comenzar con la función principal MAIN, esta indica el principio y el final de la función principal. Su sintaxis es:

Main

Declaraciones

End main

La función MAIN, no regresa un valor explícito, por default regresa cero, pero puede regresar cualquier entero. Ejemplo:

Main

Teachable cloc pick, place

Move (pick)

Grip_close()

Move (place)

Grip_open()

End main

5.6.1.2 Líneas de un programa

Un programa en RAPL-3, consiste de un número de líneas en código ASCII. Si una declaración ocupa varios renglones, se puede continuar en la siguiente línea, con el carácter \.

Por ejemplo la siguiente operación se lee como una sola operación, aún cuando esta escrito en dos renglones,

```
A = b + c + d \  
    + e + f
```

Sin el caracter de continuación, la primera línea se toma como una sola operación y la segunda parte es un fragmento que causa un error de sintaxis cuando se compila el programa, debido a que no se asigna a nada.

```
A = b + c + d  
    + e + f
```

Otro caracter que sirve para indicar la continuación de una línea de código es la coma (,). Ejemplo:

```
Printf ("Las coordenadas son { }, { }, { } \n",  
        x, y, z)
```

5.6.1.3 Comentarios

Un comentario, debe comenzar con ;; (dos puntos y coma) y se extiende al final de la línea. Un comentario puede comenzar al principio de una línea o después de un código del programa.

Ejemplo:

```
;; Calcular la posición de error:  
x_error = x_pos - desired _x_pos      ;; para el eje x
```

5.6.1.4 Etiquetas

Una declaración puede ser marcada con un identificador especial llamado etiqueta. La etiqueta debe tener :: (dos puntos) después del identificador.

La sintaxis para utilizar una etiqueta sería

Etiqueta_identificador :: declaración

En donde etiqueta_identificador es el nombre de la etiqueta y sigue las reglas para los identificadores y la declaración es la línea de declaración que ha sido etiquetada, una declaración también puede ser una línea en blanco.

Ejemplo:

Etiqueta :: ubicación = num

Reinicio ::

5.6.1.5 Palabras reservadas

Los siguientes identificadores, son las palabras reservadas para RAPL-3, tienen funciones definidas en el lenguaje y no pueden ser utilizadas como nombres de variables, subrutinas, funciones o comandos:

And	End	Import	Raise	To
Break	Enum	Int	Resume	Try
_builtin	Except	Libversion	Return	Typedef
Case	Export	Loop	Retry	Union
Cloc	Flota	Main	Sizeof	Unteachat
Command	For	Mod	Static	Until
comment	Fun	Not	Step	Var
Const	Global	Of	String	Void
Continue	Gloc	Or	Struct	Volatile
Do	Goto	Ploc	Sub	While
Else	If	Private	Teachable	With
Elseif	Ignore	Proto	Then	

5.6.2 Tipos de datos

RAPL-3 trabaja con diferentes tipos de datos e incluso le permite al usuario definir tipos de datos. La tabla 5.6 muestra los tipos de datos utilizados

Tabla 5- 6 Tipos de datos del RALP-3

Nombre	Descripción	Tamaño (bytes)
Int	Enteros, su rango va de -214783648 a +2147483647	4
Flot	Reales, de punto flotante su rango va de $\pm 1.7 \times 10^{\pm 38}$	4
String	Carácter, su rango va de 0 a 65535 caracteres de 8 bits	4+ num. de caracteres
Cloc	Locación cartesiana	36
Ploc	Locación de precisión	36
Void	Usados para números de punto flotante	-

CAPÍTULO VI

PRACTICAS DEL ROBOT CRS MODELO F3

El capítulo anterior muestra las características físicas del robot CRS modelo F3, este capítulo muestra una serie de prácticas que dan una breve referencia sobre el sistema y los comandos utilizados para la programación del robot.

Estas prácticas abarcan desde el encendido y apagado del robot, el manejo del teach pendant, los movimientos que se pueden realizar con el robot y la manera de realizar una aplicación en el robot que puede servir de base para el desarrollo de prácticas posteriores.



Fig. 6.1 Robot CRS modelo F3

La figura 6.1 muestra el robot CRS modelo F3 y sus componentes.

PRACTICA NÚMERO CERO:

Elementos del robot CataLyst-3

OBJETIVO: Al finalizar la práctica se conocerán los elementos del robot CataLyst-3 y los botones de paro de emergencia

EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO:

- Brazo
- Teach pendant
- Controlador
- Computadora

DESARROLLO:

1. Identificar el controlador, que se muestra en la figura 6.2, para conocer las características generales del controlador ver Capítulo 5, pág. 60.



Fig. 6.2 Vista frontal del controlador C-500

2. Identificar los cables umbilicales, que son necesarios para la alimentación eléctrica del robot y la retroalimentación del mismo, la figura 6.3

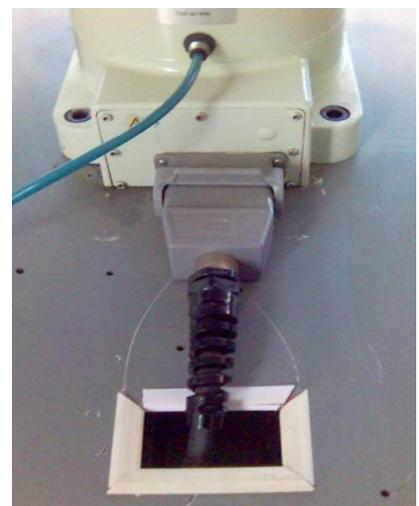


Fig. 6.3 Cable umbilical

- Identificar el teach pendant, que se muestra en la figura 6.4, en la práctica número cuatro se explican las características de la botonadura del teach pendant.



Fig. 6.4 Teach pendant de la marca CRS

- Identificar el brazo de robot, que se muestra en las figuras 6.5 y 6.6 desde diferente ángulo.



Fig. 6.5 Vistas laterales del brazo de robot Catalyst-3

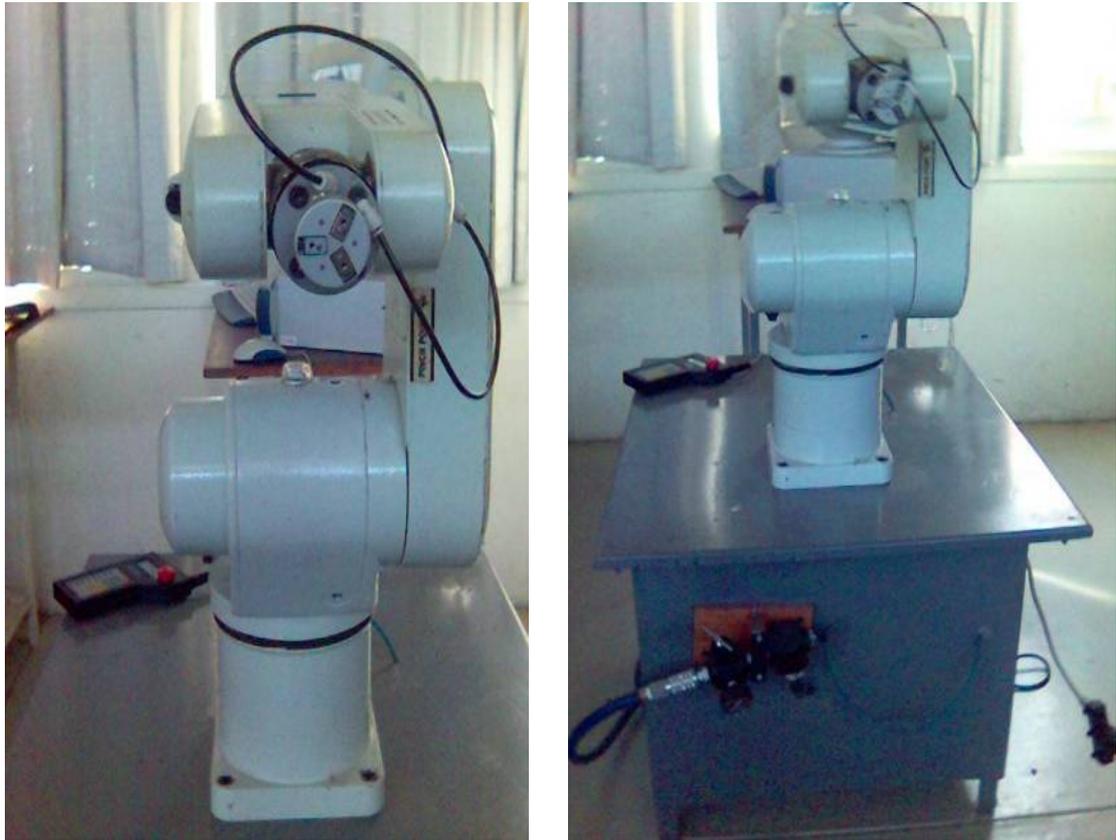


Fig. 6.6 Vistas frontales del brazo de robot CatalLyst-3

5. Reconocer los botones de paro de emergencia, se accionan al oprimirlos y para liberarlos se debe dar un giro en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Cuando se oprime un botón de emergencia, se aplican los frenos a todos los ejes, desacelera, deshabilita la alimentación del robot. Para volver a habilitar el robot, se debe liberar el botón de emergencia y así alimentar al robot.

*El botón de paro de emergencia del teach pendant debe estar oprimido durante el movimiento del robot, esto es un **requisito internacional de seguridad**.*



Fig. 6.7 Botón de paro de emergencia del controlador C500C CRS

En el controlador se encuentra un botón de paro de emergencia y otro en el teach pendant, como lo muestran las figuras 6.7 y 6.8.

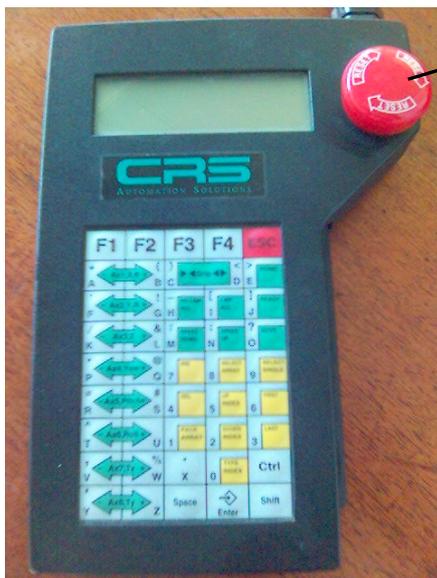


Fig. 6.8 Botón de paro de emergencia del Teach pendant

PRÁCTICA NÚMERO UNO:

Procedimiento de encendido del sistema

OBJETIVO: Al finalizar la práctica se comprenderá el procedimiento de encender el sistema y habilitar el brazo.

EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO:

- Brazo
- Teach pendant
- Controlador
- Cpu
- Terminal
- Software Rob-Com
- Software Ralp III

PRECAUCIONES:

- ▲ Revisar que el área de trabajo se encuentre libre de cualquier obstáculo.
- ▲ Revisar que todos los cables estén bien conectados y en buen estado.
- ▲ Verificar el estado de la conexión eléctrica antes de encender el controlador.
- ▲ El voltaje suministrado debe ser de $115 \pm 10\%$, el cual debe ser regulado.
- ▲ El brazo debe estar bien asegurado a la placa de montaje.
- ▲ El teach pendant y la computadora deben estar conectados al controlador.
- ▲ En caso de algún movimiento extraño o de riesgo para el robot o para el operador, oprimir el botón de paro de emergencia.

DESARROLLO:

1. Comprobar que los botones de emergencia estén libres, la figura 6.9 muestra el que está situado en el controlador C500C

Se debe girar en sentido contrario a las manecillas del reloj para liberarlos



Fig. 6.9 Botón de paro de emergencia del controlador

2. Encienda el interruptor del controlador on / off.
3. Espere a que aparezca en el display del controlador el mensaje: *C500C CROS*. Como lo muestra la figura 6.10



Fig. 6.10 El display del controlador C500C CROS muestra el mensaje

Durante el arranque, el controlador realiza un diagnóstico completo del sistema.

4. Verificar que el led del botón de home este encendido como lo muestra la figura 6.11.



Fig. 6.11 El led del botón de home muestra que esta encendido

Esto indica que la posición del brazo ha sido leída correctamente en la memoria del archivo de calibración.

5. Oprimir el botón de ARM POWER (alimentación del robot). Las figuras 6.12 muestra que debe permanecer encendido el botón de home, al presionar, la figura 6.13 muestra que los dos leds deben estar encendidos y la figura 6.14 muestra que el led del robot se enciende al realizar los pasos mencionados.



Fig. 6.12 Se presiona el botón ARM POWER, el botón de home esta encendido también.



Fig. 6.13 Los led de HOME y ARM POWER deben estar encendidos



Fig. 6.16 El led del robot se enciende después del procedimiento anterior

Después de lo anterior se puede mover el robot con precaución.

PRÁCTICA NÚMERO DOS:

Procedimiento de apagado del sistema

OBJETIVO: Al finalizar la práctica se comprenderán los dos tipos de procedimiento de apagado del sistema.

EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO:

- Brazo
- Teach pendant
- Controlador
- Cpu
- Terminal
- Software Rob-Com
- Software Ralp III

PRECAUCIONES:

- ▲ Apagar el controlador sin cerrar el sistema puede afectar la memoria y dañar algunos archivos.
- ▲ Si el controlador se apaga de forma incorrecta puede causar pérdida de información.
- ▲ Para evitar lo anterior, siempre se debe asegurar que el sistema se ha cerrado antes de apagar el controlador

DESARROLLO:

Existen dos formas de realizar el apagador del sistema: de forma manual o desde la terminal.

▪ Desde el controlador manualmente:

1. Oprimir y mantener oprimido el botón home, como lo muestra la figura 6.15



Fig. 6.15 Se presiona el botón de HOME

2. Oprimir después el botón PAUSE/CONTINUE, la figura 6.16 muestra que se deben mantener los dos botones presionados.



Fig. 6.16 Sin soltar el botón de HOME, se presiona el botón PAUSE/CONTINUE

3. Soltar el botón pause / continue.
4. Finalmente soltar el botón home
5. Esperar a que el display muestre el mensaje: **“system halted”**, la figura 6.17 muestra el mensaje que aparece en el display



Fig. 6.17 El display del controlador muestra el mensaje System Halted

6. Apagar el interruptor del controlador como se muestra en la figura 6.18.



Fig. 6.18 Apagar el interruptor ON/OFF del controlador

▪ Desde la ventana terminal (computadora):

Entrar en el programa Robcomm3, como se muestra en la figura 6.19.

- Inicio
- Programas
- CRS Robotics
- Robcomm3



Fig. 6.19 Entrada al software ROBCOMM3

1. Seleccionar **Menú C500/Terminal** como lo muestra la figura 6.20



Fig. 6.20 Ventana de ROBCOMM3

2. Escribir en el prompt (\$) **“shutdown now”** de la ventana TERMINAL como lo muestra la figura 6.21

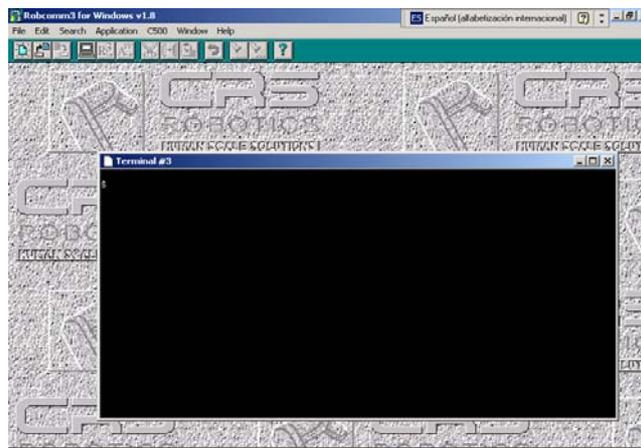


Fig. 6.21 Escribir en el prompt de la ventana TERMINAL y presionar Enter

3. Esperar a que el display del controlador muestre el mensaje: **“system halted”**.
4. Apagar el interruptor del controlador.

PRÁCTICA NÚMERO TRES:

Procedimiento para configurar el sistema y enviar a home al robot

OBJETIVO: Al finalizar la práctica se comprenderá el procedimiento para configurar el sistema y reenviar a home al robot.

EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO:

- Brazo
- Teach pendant
- Controlador
- Cpu
- Terminal
- Software Rob-Com

DESARROLLO:

Esta práctica se divide en dos partes, la primera muestra la manera de configurar el sistema y la segunda parte muestra la forma en que se remite a home al robot.

a) Configuración del sistema

1. Encender la computadora y el controlador.
 - Comprobar que los botones de emergencia estén libres
 - Encienda el interruptor del controlador on / off.
 - Espere a que aparezca en el display del controlador el mensaje: **C500 CROS**.
 - Verificar que el led del botón de home este encendido
 - Oprimir el botón de ARM POWER (alimentación del robot).
2. Seleccionar Menú C500/Terminal e introducir el comando **/diag/setup**.

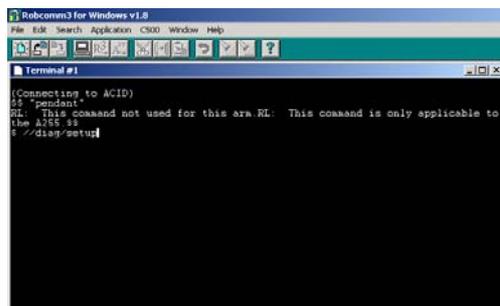


Fig. 6.22 La ventana Terminal muestra las acciones que se realizan en el robot, mostrando una serie de preguntas.

3. Se realizarán una serie de preguntas

- Are your coordinates in English (0) or metric (1) units?
- Your robot has 6 axes, how many additional axes are connected to your controller?
- Do you have a servo gripper installed? (1) yes (0) no
- Are you interfacing a force sensor to this robot? (1) yes (0) no

Una vez contestadas estas preguntas, el sistema muestra el siguiente mensaje:

SET UP IS NOW COMPLETE. PLEASE RESTART CONTROLLER TO ALLOW NEW SETTINGS TO TAKE EFFECT.

*Si ocurre algún error se debe introducir el comando **/diag/setup** nuevamente.*

4. Una vez terminada la serie de preguntas, reiniciar el sistema tecleando: **“shutdown now”**.

5. Reiniciar el controlador para aplicar la nueva configuración.

b) Reenvío a home

1. Conectar la terminal de la computadora al controlador para reenviar a home el brazo. La figura 6.23 muestra como debe estar el brazo en HOME y la figura 6.24 las señales en donde cada una de las articulaciones deben estar situadas para que el robot este en HOME.



Fig. 6.23 En esta posición el robot se encuentra en HOME



Fig. 6.24 Las figuras muestran las señales en donde cada una de las articulaciones deben estar situadas cuando el robot esta en HOME

2. Verificar si el archivo de calibración se encuentra en el programa Robcomm3, en el **Menú C500/File Transfer**.

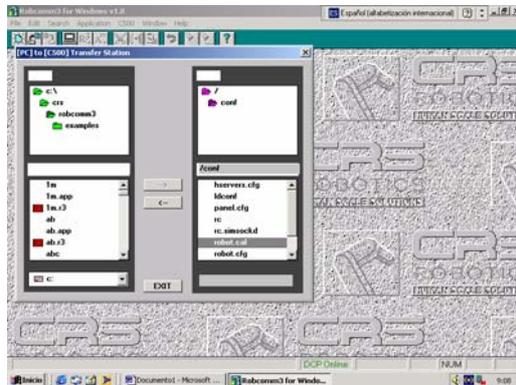


Fig. 6.25 Ventana de Transfer Station, en ella se ubican los archivos de la PC y el Controlador

*El archivo es **robot.clg***

3. Oprimir el botón de paro de emergencia para desenergizar el brazo.
4. Detener cualquier aplicación que este corriendo presionando Ctrl+E.
5. Colocar de forma manual el brazo en sus marcas correspondientes, como se muestra en la figura 6.24

Se deben quitar los seguros del robot que la figura 6.26 muestra.

Fig. 6.26 La figura muestra los seguros del robot, basta presionarlos para poder moverlo de forma manual



6. Desde la terminal del CPU resetear los encoder tecleando el comando **/diag/encres**.
7. Seleccionar wrist o dirección de modulo 8 para el reset de los ejes 4, 5 y 6.
8. En caso de error, realinear las marcas del brazo y volver a introducir el comando.
9. Seleccionar waist o dirección de modulo 16 para el reset de los ejes 1, 2 y 3
10. Seleccionar track o dirección del modulo 80 para el reset de track.
11. Apagar el controlador "shutdown now"
12. Esperar 10 segundos y encender nuevamente.
13. Teclar el comando **calrdy** y revisar que la posición del brazo este en HOME.

PRÁCTICA NÚMERO CUATRO:

Manejo del Teach Pendant

OBJETIVO: Al finalizar la práctica se conocerá el manejo del teach pendant para las siguientes aplicaciones

EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO:

- Brazo
- Teach pendant
- Controlador
- Cpu
- Terminal

La figura 6.27 muestra el teach pendant utilizado por el robot CRS modelo F3.

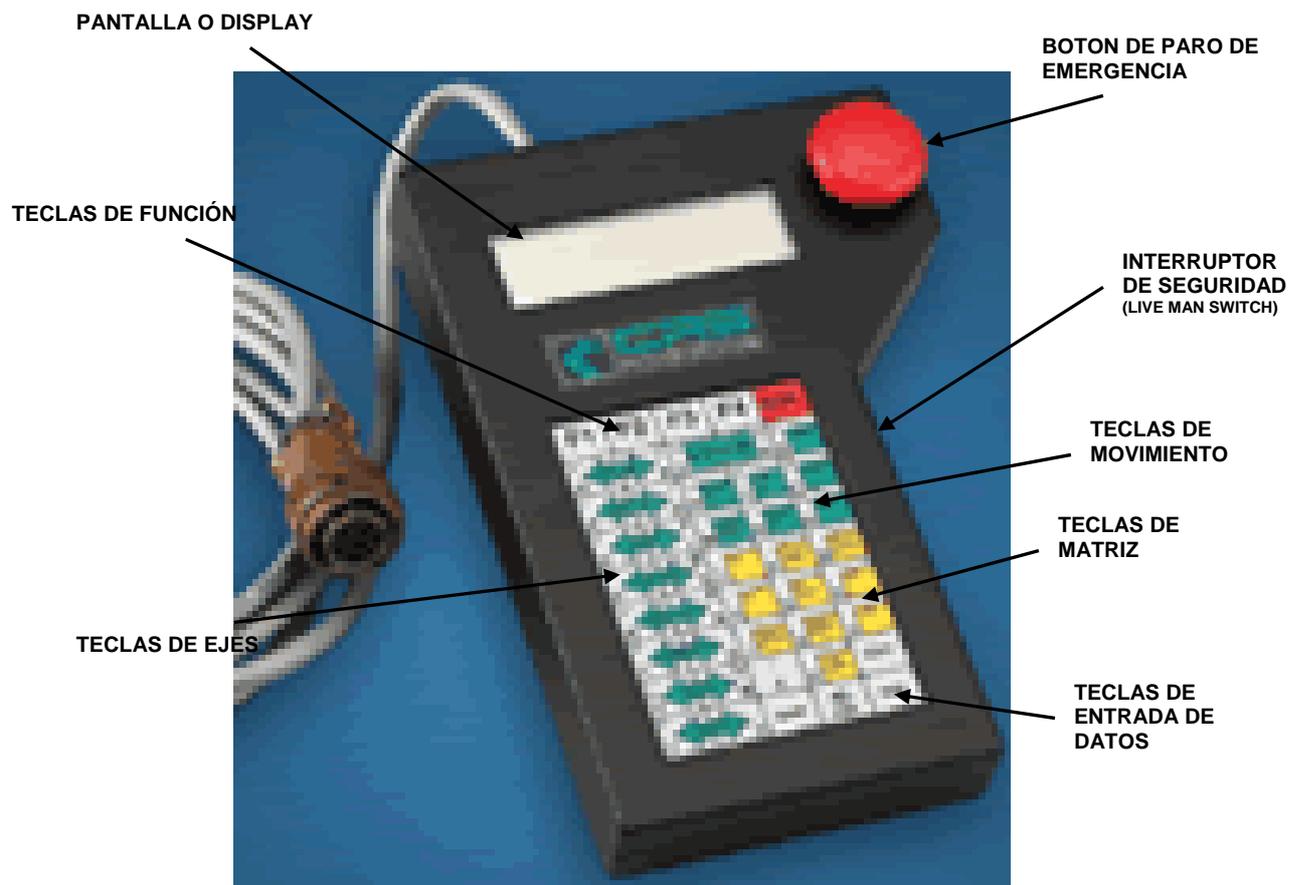


FIG. 6.27 Teach Pendant de la marca CRS para el robot F3 de

INTRODUCCIÓN

- **Teclas de función:** Cada menú tiene una tecla de función, estas teclas son asignadas en la parte baja de la pantalla y están marcadas como **F1, F2, F3 y F4.**
- **Teclas de ejes:** Se emplean para mover al robot, la respuesta del eje a mover depende del modo y sistema de movimiento empleado, son las flechas verdes de la parte izquierda.
- **Teclas de movimiento:** Tienen una función específica, son de color verde y se encuentran en la parte superior derecha del programador. La tabla 6.1 muestra las teclas de función.

Tabla 6.1 Teclas de movimiento

TECLA	FUNCIÓN
GRIP	Abrir o cerrar el gripper
HOME	Mover cada eje al punto de referenci
READY	Ir a la posición ready
LIMP ALL	Liberar ejes del robot
NOLIMP ALL	Mantener en la posición los ejes
MOVE	Ir a la posición seleccionada
SPEED UP	Incrementar la velocidad
SPEED DOWN	Disminuir la velocidad

- **Teclas de matriz:** Se emplean en matrices para seleccionar la variable. Estas teclas son amarillas y se encuentran en la parte derecha, la tabla 6.2 muestra la tecla y la función que le corresponde.

Tabla 6.2 Teclas de matriz

TECLA	FUNCIÓN
FIRST	Seleccionan el primer elemento
LAST	Seleccionan el último elemento
TYPE	No usado
UP	Incrementar índice
DOWN	Decrementar índice

- **Teclas de entrada de datos:** Cada tecla de eje, de movimiento y de matriz cuentan con letras o números, estas teclas representan

Tabla 6.3 Teclas de entrada de datos

TECLA	FUNCIÓN
LETRAS	Se usan para crear una variable, seguridad y para búsqueda de variable y aplicaciones
NÚMEROS	Seleccionar un determinado índice de matriz o crear una variable y especificar el tamaño
SHIFT	Se usa junto con F1 para mostrar una bitácora de errores

Sonidos

El teach pendant está equipado con una pequeña bocina, los sonidos que emite tienen diferente significado como se muestran en la tabla

Tabla 6.4 Tabla de sonidos 1

SONIDO	EVENTO
Corto y grave	Una tecla válida a sido oprimida
Corto y agudo	Una tecla no válida a sido oprimida
Tres cortos y agudos	Se ha iniciado una acción y necesita confirmación
Largo y agudo	Error

Interruptor de seguridad (live-man switch)

El interruptor de seguridad del programador manual cuenta con tres posiciones:

- Al oprimirlo ligeramente, se habilita el movimiento.
- Al presionarlo fuertemente, se deshabilita el movimiento.
- Al soltarlo, se deshabilita el movimiento.

Si se quita la condición de habilitar durante este movimiento provoca la interrupción de alimentación del brazo, por eso el brazo se para súbitamente.

Botón de emergencia o paro de emergencia

Se encuentra en la parte superior derecha, por razones de seguridad interrumpe la alimentación del robot.

Pantalla o display

Los diferentes menús son mostrados por medio de la pantalla. Por medio de las teclas de función se puede acceder, la tecla ESC regresa al menú anterior.

DESARROLLO:

La práctica se va a dividir en tres partes

1. Encender el controlador
 - a. Comprobar que los botones de emergencia estén libres
 - b. Encienda el interruptor del controlador on / off.
 - c. Espere a que aparezca en el display del controlador el mensaje: **C500 CROS**.
 - d. Verificar que el led del botón de home este encendido
 - e. Oprimir el botón de ARM POWER

Verificar que el led del brazo este encendido

2. Encender la computadora y entrar al programa Robcomm3

PARTE 1:

Cambiar el control del teach a la computadora

3. Tomar el teach pendant
4. Oprimir el botón ESC hasta que en el display se muestre el mensaje *“Terminate pendant and release robot control”*
5. Presionar F1 para enviar el control a la computadora
6. Muestra el mensaje *“Pendant Off”*.

PARTE 2:

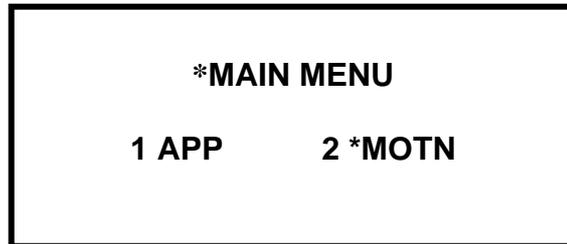
Cambiar el control de la computadora al teach

7. En la computadora, dentro del programa Robcomm3 seleccionar menú *C500/Terminal*
8. Escribir en el prompt *“pendant”*.

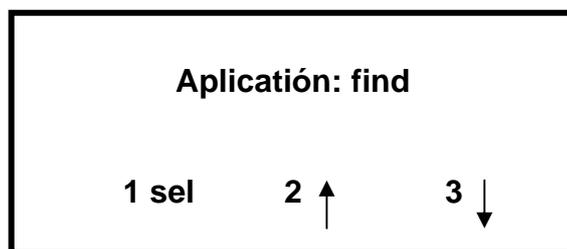
PARTE 3:

Manejo del teach pendant

9. En el display del teach se muestra la siguiente pantalla

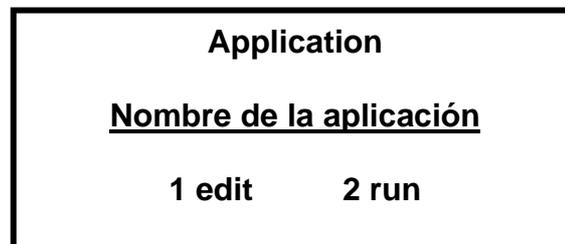


10. Presionar **F1**, al hacerlo se muestra la siguiente pantalla



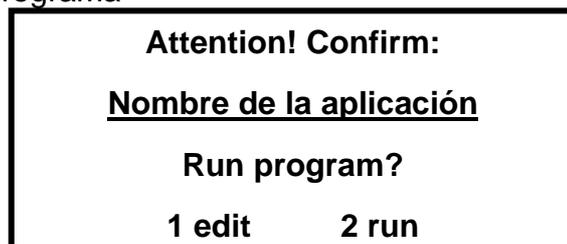
Al presionar F2 busca y muestra alguna aplicación creada en orden ascendente, al presionar F3 buscará alguna aplicación creada en orden descendente.

11. Seleccionar alguna aplicación con **F1**, muestra la siguiente pantalla



Al presionar F1 se edita el programa y F2 corre el programa

12. Presionar **F2** y va a mostrar la siguiente pantalla para preguntar si se quiere correr el programa



Presionar F1 para si y F2 para no.

13. Presionar F1, y aparece la siguiente pantalla

Aplicación: edit		
<u>Nombre de la aplicación</u>		
1 var	2 src	3 * motn

14. Presionar F3, te muestra la siguiente pantalla

Manual menu *ON	
50% VEL JOINT	
3motn	4 mode

**Si el led del robot esta apagado entonces aparece Off*

*Presionar F3 te permite entrar a opciones de configuración de movimiento como 5.0: deg jog, joint, *limp *joint, *algn *world.*

Al presionar F4, se accesa a los movimientos del robot: joint, word, tool y cilíndrico

15. Presionar F3 para que muestre la pantalla

Manual menu *ON	
<u>0.3 deg Tipo de movimiento</u>	
3motn	4 mode

16. Presionar ESC, para regresar a la pantalla de menú de aplicación EDIT

Aplicación: edit		
<u>Nombre de la aplicación</u>		
1 var	2 src	3 * motn

17. Si presiona F2, aparece la siguiente pantalla ahora

Select program:
Kernel o mce.bin o hservers.efg
1 next 2 prev 3 sel 4 exit

Estas opciones no deben modificarse ya que son exclusivas de programación del fabricante del robot

18. Presionar ESC, para regresar al menú de aplicación EDIT

Aplicación: edit
Nombre de la aplicación
1 var 2 src 3 * motn

19. Presionar F1 para que se muestre la siguiente pantalla:

Var. Find:
Tipo de variable *ploc o *cloc
1 sel 2 del 3 ↑ 4 ↓

F1 selecciona la variable a enseñar, F2 borra la variable que se buscó previamente, F3 y F4 buscan la variable a la que se va a enseñar al robot en forma ascendente o descendente respectivamente.

Las variables pueden ser de tipo ploc o cloc.

20. Presionar F1, muestra la siguiente pantalla.

Manual menú ON
50% VEL JOINT
1tch 3*motn 4*mode

21.Mover al robot a la posición que se le quiera enseñar de acuerdo a los diferentes tipos de movimientos.

22.Presionar F1 para que se muestre la siguiente pantalla

<p style="text-align: center;">Confirm:</p> <p style="text-align: center;"><u>Variable seleccionada</u> *teach variable?</p> <p style="text-align: center;">1 yes 2 no</p>

Presionar F1 para si y F2 para no

23.Presionar ESC dos veces para regresar al menú de VAR. FIND del paso 19

24.Repetir los pasos del 19 al 22 tantas veces como puntos se quiera enseñar.

25.Ya enseñadas las variables del programa regresar al menú de APPLICATION y corre el programa.

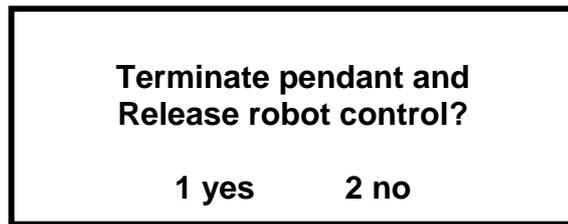
26.De ser necesaria la creación de una nueva variable en el programa, introducirse hasta el menú de VAR. FIND.

27.Presionar la letra correspondiente a la nueva variable, debe aparecer la siguiente pantalla

<p style="text-align: center;">Var. create:</p> <p style="text-align: center;">Tipo de variable: *cloc o *ploc</p> <p style="text-align: center;">1 make 2 type 3 dim 4 bksp</p>

F1 crea una nueva variable y se tienen que repetir los pasos del 19 al 22, F2 cambia el tipo de variable a ploc o cloc, F3 crea un arreglo y con las flechas ascendentes o descendentes se le asigna el valor y F4 regresa al menú de VAR. FIND.

28.Presionar ESC tantas veces como sea necesario hasta que aparezca la siguiente pantalla.



29.Presionar F1, esto manda el control del teach pendant a la computadora.

30.Apagar el sistema con el método de la terminal

- Seleccionar **Menú C500/Terminal**
- Escribir en el prompt (\$) "shutdown now"
- Presionar enter
- Esperar a que el display del controlador muestre el mensaje: "system halted".
- Apagar el interruptor del controlador.

PRÁCTICA NÚMERO CINCO:

Tipos de movimientos del robot

OBJETIVO: Al finalizar la práctica se conocerán los tipos de movimiento del robot y los diferentes usos

EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO:

- Brazo
- Teach pendant
- Controlador
- Cpu
- Terminal
- Software Robocomm3
- Software Ralp III

INTRODUCCIÓN:

Para mover el robot, es necesario especificar el tipo de movimiento y el sistema de coordenadas, entre los tipos de movimiento está el jog, se desplaza una cantidad especificada cada vez que se oprime una tecla, según sea el sistema, se desplaza grados o distancia y mover cada eje en forma continua.

Existen cuatro sistemas de coordenadas y un sistema de eje.

- Eje por eje (Tool)
- Sistema cartesiano (World)
- Sistema cilíndrico (CLY)
- Sistema herramienta (Tool)

Movimiento de coordenadas por Eje o Eje por Eje (Joint)

Se mueve cada eje en forma independiente, cuando no se ha enviado a home es el único sistema que se puede acceder con una velocidad máxima de 10%.

Por medio del teach, se selecciona el tipo de movimiento, el sistema joint F3 y F4 respectivamente y la velocidad.

La numeración de los ejes va de la base hasta el efector final, la figura 6.28 muestra los ejes del robot, y la tabla 6.5 muestra el movimiento efectuado al seleccionar una tecla

Tabla 6.5 Sistema de coordenadas por Eje

Movimiento	Tecla	Descripción
Eje 1	1	Mover eje 1
Eje 2	2	Mover eje 2
Eje 3	3	Mover eje 3
Eje 4	4	Mover eje 4
Eje 5	5	Mover eje 5
Eje 6	6	Mover eje 6

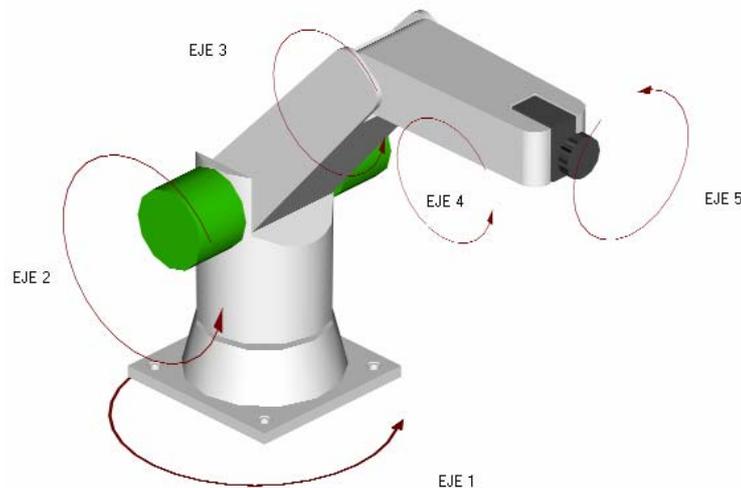


Fig. 6.28 Sistema de coordenadas del movimiento Eje por Eje

Movimiento cartesiano (World)

Toma como origen el centro de la base del robot, la tabla 6.6 muestra las características del manejo desde el teach y la figura 6.29 muestra la forma en que el robot se debe mover.

Tabla 6.6 Movimiento en world

COORDENADA	TECLA	DESCRIPCIÓN
Eje X	1	Mover efector final adelante -- atrás
Eje Y	2	Mover efector final derecha -- izquierda
Eje Z	3	Mover efector final arriba -- abajo
Rotación Z	4	Rotar el efector final en base al eje Z
Rotación Y	5	Rotar el efector final en base al eje Y
Rotación X	6	Rotar el efector final en base al eje X

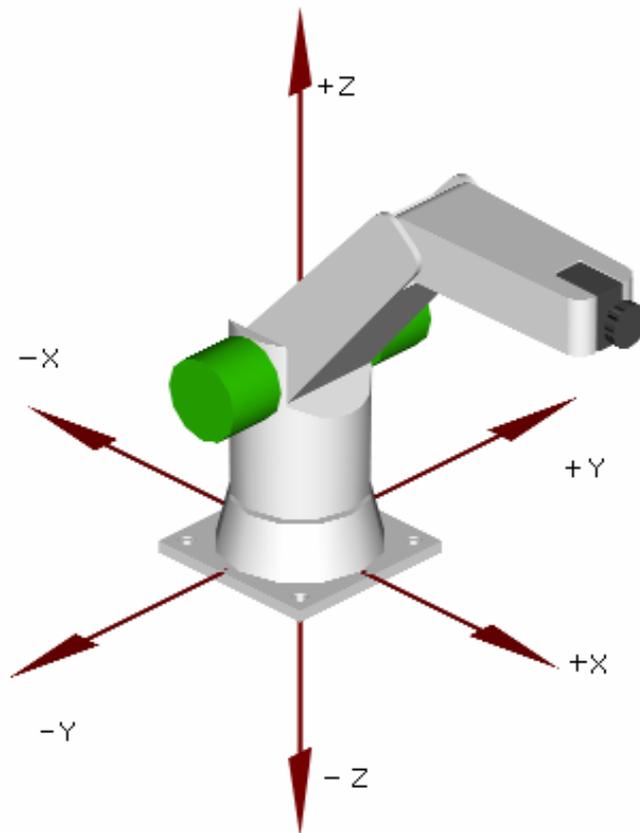


Fig. 6.29 Sistema de coordenadas del movimiento World

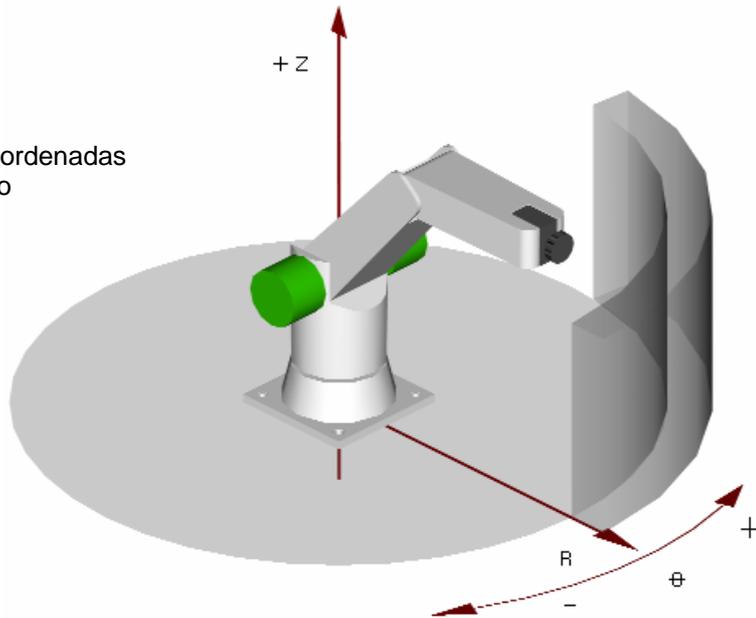
Movimiento cilíndrico

Este sistema solo puede ser usado desde el teach pendant, la tabla 6.7 muestra las características del movimiento y la figura 6.30 muestra el sistema de coordenadas del movimiento.

Tabla 6.7 Movimiento cilíndrico

COORDENADA	TECLA	DESCRIPCIÓN
θ (Tena)	1	Mover efector final sobre θ
R(radio)	2	Mover el efector final adelante atrás
Z	3	Mover el efector final arriba abajo
Yaw	4	Rotar el efector final sobre Z
Pitch	5	Rotar el efector final sobre Y
Roll	6	Rotar el efector final sobre X

Fig. 6.30 Sistema de coordenadas del movimiento cilíndrico



Movimiento de coordenadas herramienta (Tool)

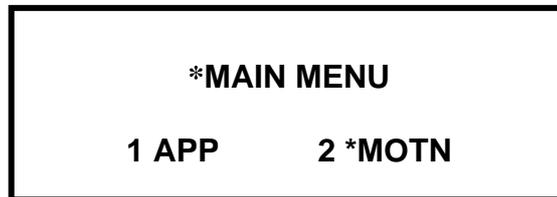
Toma como referencia el efector final, gripper, se tiene que especificar el origen del efector final, en base a él se dan los movimientos. La tabla 6.8 describe los movimientos que se pueden realizar desde el teach.

Tabla 6.8 Movimiento en Tool 1

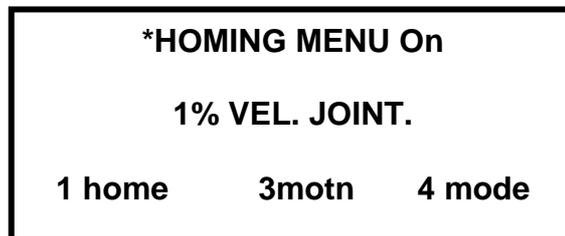
COORDENADA	TECLA	DESCRIPCIÓN
Eje X	1	Mover efector final adelante-- atrás
Eje Y	2	Mover efector final derecha -- izquierda
Eje Z	3	Mover efector final abajo -- arriba
Rotar sobre Z	4	Rotar sobre Z
Rotar sobre Y	5	Rotar sobre Y
Rotar sobre X	6	Rotar sobre X

DESARROLLO:

1. Encender la computadora y abrir el programa Robocomm3
2. En la barra de herramientas seleccionar C500/Terminal
3. Encender el controlador
 - a. Comprobar que los botones de emergencia estén libres
 - b. Encienda el interruptor del controlador on / off.
 - c. Espere a que aparezca en el display del controlador el mensaje: **C500 CROS**.
 - d. Verificar que el led del botón de home este encendido
 - e. Oprimir el botón de ARM POWER (alimentación del robot).
4. Tomar el teach pendant, que muestra la siguiente pantalla



5. Presionar F2, aparece la pantalla siguiente



6. Presionar la tecla SPEED UP 2 veces hasta llegar a 10% de velocidad y poder mover el robot a velocidad lenta
7. Presionar el interruptor de seguridad (Live-man switch) a la posición correcta para que permita mover el robot.

Presionarlo ligeramente para que permita mover al robot

Estando en home, solo hay que seleccionar el tipo de movimiento y comenzar a moverlo. A continuación se dan los 4 tipos de movimientos con los que cuenta el robot.

MOVIMIENTO EN JOINT

Este movimiento solo acepta mover los ejes 1, 2, 3, 4, 5 y 6 en forma independiente, además de incrementar la velocidad a 50% con la tecla “speed up”.

1. Presionar F4 y muestra la siguiente pantalla



2. Comenzar a mover el robot en los ejes antes mencionados.

MOVIMIENTO EN WORLD

Este movimiento solo acepta mover los ejes X, Y y Z principales (sus movimientos son en los ejes cartesianos, tomando como base el centro de la base del eje 1), además de incrementar la velocidad a 50% con la tecla “speed up”.

1. Presionar F4

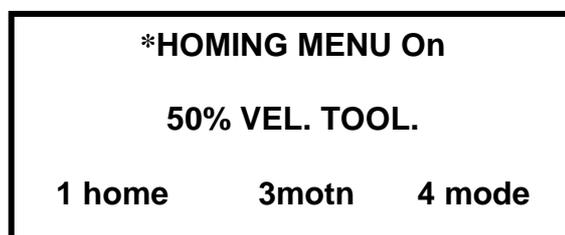


2. Comenzar a mover el robot en los ejes antes mencionados

MOVIMIENTO EN TOOL

Este movimiento solo acepta mover los ejes X, Y y Z principales (sus movimientos son en los ejes cartesianos, tomando en cuenta la posición de la herramienta o gripper); además de incrementar la velocidad a 50% con la tecla “speed up”.

1. Presionar F4

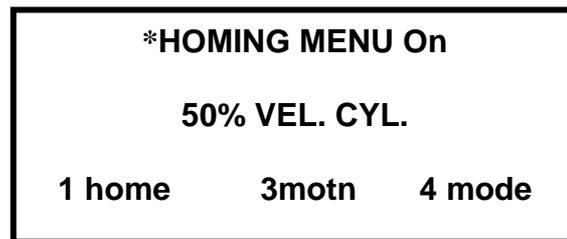


2. Comenzar a mover el robot en los ejes antes mencionados

MOVIMIENTO EN CILINDRICO (CYL):

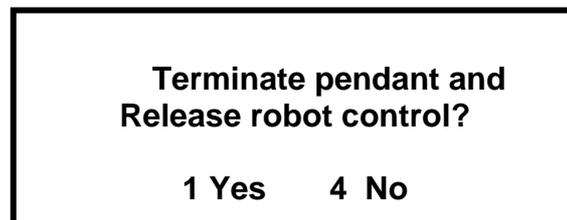
Este movimiento solo acepta mover los ejes X, Y y Z (ejes cartesianos) pitch y roll (movimientos del gripper), además de incrementar la velocidad a 50% con la tecla "speed up".

1. Presionar F4



2. Comenzar a mover el robot en los ejes antes mencionados

10. Transferir el control a la terminal presionando ESC 2 veces, para que muestre la siguiente pantalla



11. Presionar F1

12. Apagar el sistema con el método de la terminal

- a. Seleccionar **Menú C500/Terminal**
- b. Escribir en el prompt (\$) "shutdown now"
- c. Presionar enter
- d. Esperar a que el display del controlador muestre el mensaje: "system halted".
- e. Apagar el interruptor del controlador.

PRÁCTICA NÚMERO SEIS:

Elaboración de un programa utilizando los comandos MOVE y SPEED con dos variables.

OBJETIVO: Al finalizar la práctica se comprenderá la forma de crear una aplicación para el robot CRS modelo F3.

EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO:

- Brazo
- Teach pendant
- Controlador
- Cpu
- Terminal
- Software RobComm
- Software Ralp III

DESARROLLO:

1. Encender el controlador
 - a. Comprobar que los botones de emergencia estén libres
 - b. Encienda el interruptor del controlador on / off.
 - c. Espere a que aparezca en el display del controlador el mensaje: **C500 CROS**.
 - d. Verificar que el led del botón de home este encendido
 - e. Oprimir el botón de ARM POWER (alimentación del robot).
2. Encender la computadora, abrir el programa RobComm3
3. En la barra de herramientas seleccionar **Menú File/ New**, la figura 6.31 muestra la barra de tareas



Fig. 6.31 Barra de herramientas del software Robcomm3

- Introducir el siguiente código para un programa con dos variables utilizando los comandos MOVE y SPEED.

```
Main  
Techeable ploc a, b  
Speed (50)  
Ready ( )  
Move (a)  
Move (b)  
Appro (b, 50)  
Delay (2000)  
Ready ( )  
End Main
```

- Seleccionar el **Menú File / Save as**
- Escribir el nombre del programa (de 1 a 16 caracteres), con extensión **.r3**
- Seleccionar **Menú Application/ New App...**
- Escribir el nombre del programa dado en la instrucción 6, pero con extensión **.app**

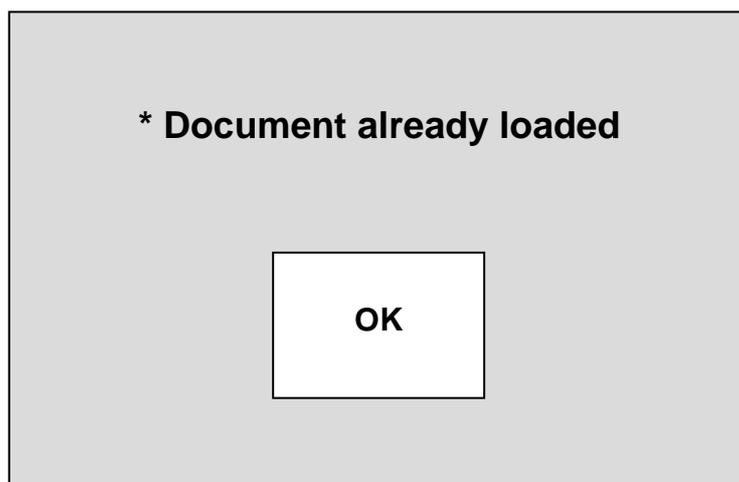


Fig. 6.34 Archivo cargado

- Repetir la instrucción 5, se muestra la siguiente pantalla

10. Seleccionar el **Menú Application/Set Up**, aparece la siguiente pantalla en donde se muestra el nombre que se le dio al archivo en los tres primeros campos, si no aparece alguno entonces el procedimiento se realizó mal y se deben repetir las instrucciones 5 – 10, si los cargo bien muestra la figura 6.33

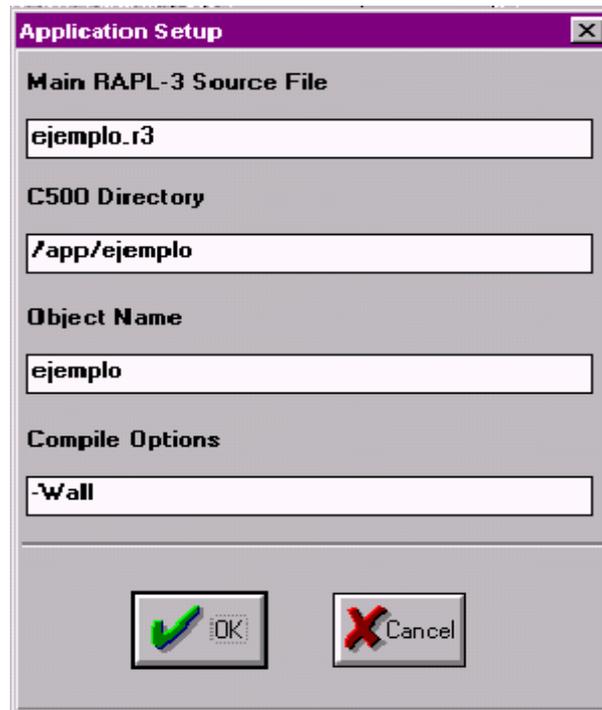
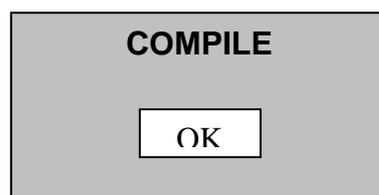


Fig. 6.33 Ventana de aplicación, sirve para verificar si se han cargado los archivos bien

11. Seleccionar el **Menú Application/Compile**, en donde se compila el programa y ve los errores de programación.

Si hay errores entonces se deben corregir y repetir las instrucciones 5 - 11.

12. Después de corregir los errores, se muestra la siguiente pantalla



13. Seleccionar el **Menú Application/ Send**, muestra una pantalla que está enviando la información al controlador.

14. Seleccionar el **Menú C500/Terminal**, debe mostrar la siguiente pantalla y en la terminal un prompt \$., la figura 6.34 muestra la pantalla terminal

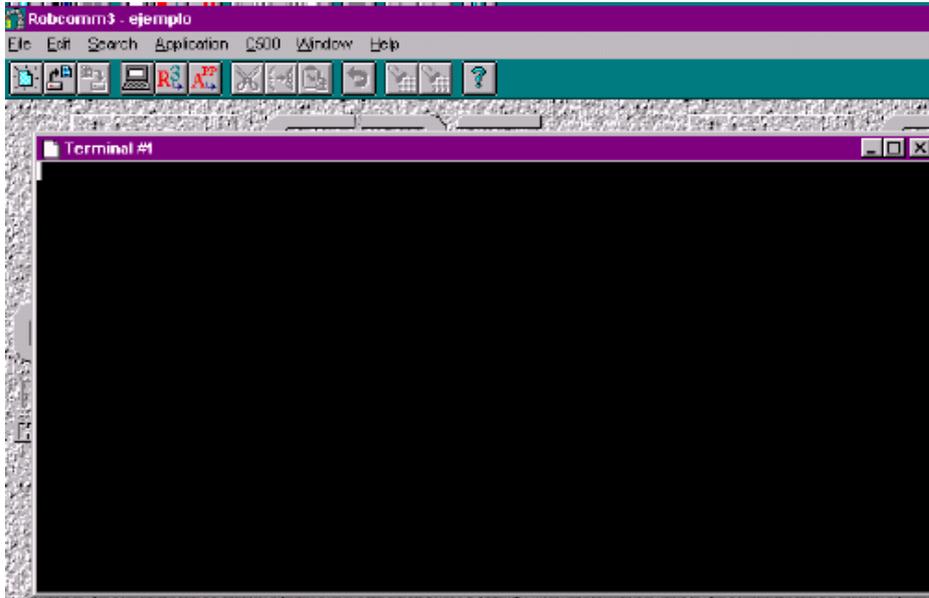


Fig. 6.34 En la pantalla, se muestra el prompt, donde se debe escribir pendant para regresar el control al teach pendant

15. Escribir pendant para mandarle el control al teach pendant.
16. Grabar los puntos como en la práctica 4 y 5.
17. Al terminar de grabar los puntos correr el programa



En caso de que algún movimiento el robot pudiera pegar en un sitio presionar el paro de emergencia o control z.

CONCLUSIONES

Durante el proceso de investigación del proyecto, pude conocer cuáles son y para qué sirve cada uno de los componentes de un robot industrial, existe una gran cantidad de brazos industriales y lamentablemente todavía no existe un lenguaje universal para la programación de estos.

Al buscar un robot para poder poner en práctica estos conocimientos, tuve la oportunidad de manejar el sistema CataLyst-3 modelo F3, perteneciente a la compañía CRS, al comienzo fue un poco difícil poder maniobrar con él por que el manual maneja términos muy técnicos, que podrían ser muy difíciles de asimilar a los operarios, así que mi objetivo fue realizar algunas prácticas para lograr que cualquiera pueda mover el robot y tal vez realizar algunos programas sencillos en él.

Para poder comenzar a trabajar en el brazo, lo primero que un operario debe conocer son los componentes del sistema, los botones que sirven de paros de emergencia: saber cómo activarlos y desactivarlos para volver a habilitar el robot, esto aunque suena muy obvio lo quise hacer porque muchas veces al familiarizarse con algo se da por sentado que todo mundo tiene el mismo conocimiento, lo cual es una idea falsa.

Después de lograr el primer objetivo, que el operario se familiarice con el sistema, se le debe enseñar a encender y apagar el sistema de forma correcta por medio del teach pendant y del software Robcomm3, esto es para evitar afectar la memoria y dañar algunos archivos del controlador que podrían causar pérdida de información.

Hasta este momento no se ha movido el brazo y es porque primero se debe lograr que el operario se familiarice con el uso y manejo del teach pendant, aquí tuve un problema que me hizo esforzarme más en la creación de las prácticas: en los libros sobre robots generalmente hablan sobre los diferentes movimientos que se pueden realizar con el brazo, incluso el manual del sistema habla un poco sobre los movimientos que te permite realizar pero en general ninguno

explicaba para qué funcionaban cada una de las teclas del teach pendant, así que decidí agregar una pequeña introducción sobre el uso de cada una de ellas y los tipos de movimientos que se pueden realizar con el robot, el objetivo de esto es que el operario primero se vaya familiarizando con los movimientos del robot por medio del teach pendant y es hasta la última práctica en dónde decidí crear una pequeña aplicación que se puede tomar como base para realizar aplicaciones más complejas por medio del software Robcomm3.

El software maneja el lenguaje Rapl3, que tiene una sintaxis muy parecida al lenguaje Pascal, las variables se deben declarar dentro de la función principal, los comandos utilizados son sencillos, maneja los ciclos acostumbrados como for, do, case, etc.

Una persona me dio un consejo cuando terminé de hacer las prácticas y fue que se las diera a leer a varias personas, con diferente nivel educativo y si todas las podían entender era que las había hecho bien, de lo contrario debía volver a revisarlas para que fueran más explícitas y tal vez hasta muy obvias pero de fácil comprensión porque el nivel educativo de México para los operarios es de nivel medio superior para abajo y como he mencionado con anterioridad los manuales generalmente están realizados con muchos tecnicismos.

BIBLIOGRAFÍA

- Angulo, José María,** *Curso De Robótica,* España, Editorial Revolucionaria, (1992), pp.178
- Brady, Michael y Richard Paul, eds.** *Robotics Research: The First International Symposium,* Cambridge, The MIT Press, (1984), pp. 1001
- Engelberger, Joseph F.** *Robotics in Practice,* Londres, Editorial AMACOM, Reimpresión (1983), pp. 320
- Ferrate, Gabriel,** *Robótica Industrial,* Barcelona, Editorial Marcombo, (1986), pp. 382
- Groover Mikell P., Weiss Micheli, Roger N y Odrey Nicholas G.** *Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones;* Madrid, Editorial McGraw Hill, (1989) pp. 255
- Haruhiko, Youcef-Toumi, Kamal Asada,** *Direct Drive Robots: Theory and Practice,* Londres, Editorial Cambridge, (1987), pp. 262
- Jones, Joseph L. y Anita M. Flynn,** *Mobile Robots: Inspirations To Implementation,* A K Peters Ltd, (1993), pp.168
- Koren Yoram,** *Computer Control of Manufacturing Systems,* Nueva York, Editorial McGraw Hill College, (1983), pp. 304
- Simón Y. Nof.,** *Handbook Of Industrial Robotics,* Nueva York, Editorial John Wiley, (1985), pp.1378

OTRAS FUENTES

MANUAL CRS ROBOTICS, CRS Robotics Corporation, Estados Unidos, Agosto
2001

INTERNET

<http://diwww.epfl.ch/lami/robots/k-family/khepera.html>

<http://usuarios.bitmailer.com/aperobot/referencias.htm>

<http://web.mit.edu>

<http://www.fing.uach.mx/MatDidactico/Legislacion/robotizac.htm>

<http://www.monografias.com/trabajos7/lero/lero2.shtml#len>

<http://www.mor.itesm.mx/~albreyes/robotica/tres/tres.html>

www.abb.com

www.casadellibro.com/fichas/fichabiblio

www.cinefantastico.com/film.php

www.fanuc.com

www.motoman.com

www.ri.cmu.edu/projects/project_163.htm

www.sony.com