



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

INSTITUTO DE ELECTRONICA Y COMPUTACION

Diseño de un robot controlado
por computadora, orientado a la
enseñanza pedagógica

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO EN ELECTRONICA
P r e s e n t a
Héctor Daniel Alfaro Pérez

Trabajo dirigido por:

M.C.C. Carlos Barrón Romero

DEDICO

A mis padres, hermanos y abuelos con todo mi cariño.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por haberme concedido un logro más en mi vida, permitiéndome terminar mi carrera, no dejándome solo en el camino.

A MIS PADRES:

Oscar Alfaro Domínguez.
Iza Pérez Osorio.

Por su profundo amor, ejemplo, dedicación y apoyo durante toda mi vida y por sus sacrificios y privaciones que sufrieron por darme una carrera.

A MIS HERMANOS:

Eduardo Alfaro Pérez.
Oscar Daniel Alfaro Pérez.
David Alfaro Pérez.

Por todo su cariño y apoyo que me han brindado y quienes son mis motivos de superación.

A MIS ABUELOS:

Profr. Héctor Pérez Barahona.
Profra. Lugarda Osorio Canseco.

Quienes han vigitado y ayudado a mi formación.

A MI ASESOR:

M.C.C. Carlos Barrón Romero.

Por la paciencia y seguridad que me dio para el desarrollo de mi trabajo profesional.

A MI AMIGO:

Heriberto Hernández Martínez.

Por el apoyo mostrado en la culminación de este trabajo, por estar conmigo y ayudarme en todo momento.

A MI AMIGO:

Pedro Angel Viloria Martínez.

Por su invaluable ayuda en los momentos difíciles de mi vida y por estar siempre pendiente en el desarrollo de mi tesis.

AL DISTINGUIDO JURADO:

Ing. Hugo Suárez Onofre.

M.C. Hiram Ochoa Arriaga.

M.C. Enrique Guzmán Ramírez.

Que analizaron mi proyecto y que con sus consejos y observaciones orientaron mi trabajo.

A todos mis amigos y compañeros que han estado conmigo en todo momento, y que gracias a sus atinados consejos y motivaciones me han dado la energía suficiente para seguir adelante.

Y a todas aquellas personas que en el trayecto de mi existencia me han apoyado siempre.

La vida nos da la oportunidad de probar de mil formas nuestras capacidades, seguir siempre adelante en la búsqueda constante del ser antes que el tener, y ser felices con lo que logremos con nuestros propios esfuerzos.

GRACIAS.

Indice

INTRODUCCIÓN	1
1. ORÍGENES Y DESARROLLO DE LA ROBÓTICA	5
1.1 EL CAMBIO TECNOLÓGICO	6
1.2 ROBÓTICA	8
1.3 CINEMÁTICA DEL ROBOT	25
1.4 DINÁMICA DE UN ROBOT	31
1.5 PLANEACIÓN DE TRAYECTORIAS	36
1.6 CONTROL	39
1.7 APRENDIZAJE DEL ROBOT	41
2. ROBÓTICA PEDAGÓGICA	43
2.1 LA TENDENCIA EDUCATIVA EN INFORMÁTICA Y AUTOMATIZACIÓN	46
2.2 LA EDUCACIÓN EN NUESTROS TIEMPOS	47
2.3 LA ROBÓTICA EN LA EDUCACIÓN	50
2.4 ROBÓTICA PEDAGÓGICA COMO SOPORTE EN EL APRENDIZAJE	51
2.5 ROBOT PEDAGÓGICO PARA LA ENSEÑANZA DE LA ROBÓTICA	54
2.6 ROBOT PEDAGÓGICO EN UN ESPACIO BIDIMENSIONAL	57
2.7 LA ROBÓTICA EN LA ADQUISICIÓN DE CONCEPTOS	60
2.8 MODELIZACIÓN EN ROBÓTICA PEDAGÓGICA	64
2.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ROBÓTICA PEDAGÓGICA	67
3. DISEÑO DEL ROBOT PEDAGÓGICO	72
3.1 JUSTIFICACIÓN DEL ROBOT PEDAGÓGICO	73
3.2 VENTAJAS DEL USO DE UNA COMPUTADORA EN EL MANEJO DEL ROBOT	75
3.3 ETAPAS DEL DISEÑO DEL ROBOT PEDAGÓGICO CONTROLADO POR CABLE	76
3.4 ETAPAS DEL DISEÑO DEL ROBOT PEDAGÓGICO CONTROLADO POR MEMORIA	94
3.5 PROGRAMA DE CONTROL PARA EL ROBOT	111
3.6 MATERIAL UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS Y LAS RUEDAS DEL ROBOT	121
3.7 DISEÑO DEL CHASIS	122
4. APLICACIONES	126
4.1 APLICACIONES DEL ROBOT CONTROLADO POR CABLE	126
4.2 APLICACIONES DEL ROBOT CONTROLADO POR MEMORIAS	130
4.3 MEDIDOR DE TENSION SUPERFICIAL PARA DETERMINAR LA MADURACIÓN DE FRUTOS	133
CONCLUSIONES	136
BIBLIOGRAFÍA	145
APENDICE A	148
APENDICE B	151

D. T. M. 0067

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha comenzado en México la preocupación de incorporar al sector productivo herramientas tecnológicas que faciliten un aumento de calidad y del nivel de producción a menores costos. Por las exigencias que nuestro país demanda y el hecho de que la tecnología se ha convertido desde la mitad de este siglo en la alternativa idónea para elevar la producción.

La electrónica, la robótica y en general la tecnología tienen en estos momentos gran auge e importancia, ya que no existe actividad humana que no sea afectada por su capacidad innovadora.

Nos proponemos en este trabajo tratar acerca de las posibilidades que las innovaciones tecnológicas y en particular las que los robots ofrecen. También queremos difundir un resumen de sus características para comprender mejor sus alcances. Este trabajo se desarrolló para la obtención del título de ingeniero en electrónica, requirió para su realización de las áreas de electrónica, computación, mecánica y diseño, y plantea soluciones prácticas para el diseño, aprendizaje y recuperación de errores en robots orientados a robótica pedagógica¹.

¹ V. RUIZ VELAZCO 1992, pp 217.

Las nuevas tecnologías aplicadas al campo de la educación tienen implicaciones positivas para que los jóvenes den cauce a sus mejores potencialidades. Esto nos empuja a afirmar que el terreno de la investigación abierto por la robótica pedagógica apenas deja entrever todo un nuevo mundo de aplicaciones tecnológicas para la enseñanza.

Así, la investigación de esta tesis consistió en el diseño de un robot pedagógico que sirva como una herramienta, simple, pero eficaz para que los alumnos conozcan, experimenten y manejen un brazo robótico y un móvil en el plano bidimensional.

El diseño de los controles del robot se simplificó a un sistema básico pero accesible: Una computadora personal, una tarjeta de control, motores y amplificadores mecánicos. Nuestro diseño trata de cumplir las condiciones necesarias para tener un robot barato en un modo de operación para la enseñanza y la motivación al quehacer científico de los jóvenes².

Los objetivos generales del trabajo son los de permitir que cualquier persona, aunque no tenga conocimientos de robótica, descubra progresivamente los principios de funcionamiento de la robótica, que gradualmente adquiera estos conocimientos y que aumente su interés por las aplicaciones en esta área.

Esta herramienta tecnológica busca relacionar los conceptos básicos y técnicos de un robot controlado por computadora, orientado a la

enseñanza (robótica pedagógica), como una innovación tecnológica que sirva de plataforma para que los jóvenes de nivel medio superior hasta superior conozcan los principios básicos de control automático, programación de dispositivos mecánicos y la solución de los problemas de un móvil mecánico en un espacio bidimensional.

En la medida en que los alumnos conozcan a temprana edad como manipular el robot, liberarán su imaginación y al mismo tiempo podrán vislumbrar futuras aplicaciones tecnológicas.

Nuestras metas fueron desarrollar un modelo de control de robots, económicos y rentables para dos aplicaciones específicas: Un móvil y un brazo mecánico.

El trabajo consta de 5 capítulos: Capítulo 1, orígenes y desarrollo de la robótica, capítulo 2, robótica Pedagógica, capítulo 3, diseño del robot pedagógico, capítulo 4, aplicaciones del robot y conclusiones.

En el primer capítulo se mencionan los orígenes de los robots y como se han venido a manifestar a través de la historia, así como el perfil del robot y sus diferentes clasificaciones, también trata el punto de la cinemática y dinámica del robot además del control, aprendizaje y planeación de trayectorias.

En el segundo capítulo se presenta el tema de la robótica pedagógica para saber como opera y como se desenvuelve en el ámbito de la enseñanza, además se dan sus ventajas y desventajas.

En el capítulo tercero se explica el diseño del robot pedagógico, detallando paso a paso el diseño y las consideraciones del programa, de la etapa de control y el chasis.

El interés que despertaron los resultados preliminares del trabajo motivó la elaboración del cuarto capítulo, en donde se mencionan aplicaciones novedosas y propias, así como experimentos de gran interés con el robot. Terminamos el trabajo de esta tesis con las conclusiones del proyecto.

El director de tesis fue el M.C.C. Carlos Barrón Romero. Agradecemos el apoyo económico y las facilidades que las autoridades de la Universidad Tecnológica de la Mixteca nos brindaron para la realización de este proyecto.

Agradezco a mis padres y hermanos, su incondicional apoyo y comprensión.

Menciono, por último, un agradecimiento para mis compañeros y para todos los maestros que me brindaron su asesoría y amistad.

1. Orígenes y desarrollo de la robótica

Desde hace más de 150 años la revolución industrial se ha caracterizado por poner a disposición del hombre la energía de prodigiosas máquinas.

Actualmente se vive una segunda revolución industrial debido a la automatización y la informática. Las nuevas alternativas tecnológicas de producción presentan problemas tales como: mayores necesidades energéticas, escasez de mano de obra calificada, superproducción, desempleo, etcétera. No es posible detener el progreso, a través de la historia el hombre ha inventado mecanismos que le permiten realizar sus tareas o actividades más fácilmente.

Cabe destacar que el hombre en su continua inventiva no solo busca su bienestar sino también busca que las máquinas efectúen las labores rutinarias o peligrosas.

Cada vez más, se requiere la concepción, construcción y mantenimiento de estos ingenios y sobre todo saber utilizarlos en beneficio de la humanidad.

El campo de la robótica tuvo sus orígenes en la ciencia ficción. Pero el término robot se vino manejando a partir de 1917 refiriéndose a máquinas con forma humanoide, pero poco a poco fueron tomando diversas formas de acuerdo a la naturaleza de la aplicación a la que estuvieran dirigidas. Tuvieron que pasar otros cuarenta años antes de que se iniciara la moderna tecnología de la robótica. Actualmente los robots son manipuladores mecánicos muy automatizados controlados por computadora.

En este capítulo veremos los orígenes de los robots a través de la historia y como han ido evolucionando y perfeccionándose a lo largo del tiempo, también veremos el perfil que tiene un robot, es decir, las capacidades que deben tener para conformarse como máquinas capaces de interactuar con el medio y ayudar a realizar tareas específicas, como se realiza la planeación de trayectorias, las áreas de estudio en las que se apoya la robótica como lo son la cinemática y la dinámica para formular métodos matemáticos que permitan modelar el comportamiento de un robot, el aprendizaje del robot de manera dinámica y finalmente el control que debe de tener el robot para llevar a cabo el trabajo de manera efectiva.

1.1 El cambio tecnológico

Los avances tecnológicos en algunos terrenos se deben a los avances en las ciencias físicas y pronto con la automatización en general los hombres evitarán cada día más los trabajos pesados y peligrosos. La tecnología nos permite procesar o fabricar con una mejor calidad, a un menor costo, en un tiempo reducido. La tecnología, por ejemplo la nuclear, nos da un poder

inmenso sobre la naturaleza de modo que el futuro de la civilización depende hoy día de que usemos inteligentemente la alta tecnología.

La tecnología electrónica tiene todos los medios necesarios para proporcionar un control sobre las actividades que se desarrollan a diario y es por eso que hoy en día, la electrónica juega un papel determinante en la formación de una sociedad que cada día se inclina más por labores técnicas como una solución a las actividades que desempeña.

Hay muchos componentes en el futuro tecnológico, pero un elemento clave es la tecnología electrónica. Centrándonos en ella podemos sugerir interfaces y aplicaciones a nuestras necesidades. Los resultados más visibles de estos cambios tecnológicos son en lo económico. Con la automatización, se está alterando toda la industria tradicional, pues aumenta los volúmenes de producción. Por otro lado la tecnología electrónica ha mostrado su potencial y ha logrado condiciones económicas para hacer que las computadoras se vuelvan cosa ordinaria. La computadora y la tecnología electrónica van en la cúspide de la revolución tecnológica.

Los descubrimientos a los que hemos asistido estos últimos años, por ejemplo el transistor, los circuitos impresos, el láser y los procesos de miniaturización, han dado impulso a otra revolución tecnológica. El desarrollo de la informática es la primera consecuencia de esos descubrimientos. Así como la mecanización permitió la extensión de la acción de la mano (pala mecánica), así también la electrónica permite la

extensión de los sentidos (radio, televisión, radar, sonar, etcétera.), de la misma manera la informática permite la extensión del cerebro.

1.2 Robótica

La robótica es un campo interdisciplinario que va desde el diseño de componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos, hasta tecnologías de percepción remota, sistemas de computadoras, inteligencia artificial, control, etcétera. La necesidad cada vez más presionante de aumentar la productividad y conseguir productos acabados de una calidad uniforme, está haciendo que la industria gire cada vez más hacia la automatización controlada por computadoras. Cada día hay más aplicaciones donde se utilizan robots, dado que estos permiten desarrollar un trabajo más flexible a un menor costo.

La robótica es una consecuencia y una causa de la segunda revolución tecnológica. La robótica³ tiene de particular que integra y extiende tres facultades del hombre: los sentidos, gracias a los sensores; la mano gracias a los efectadores o actuadores; y el cerebro gracias a la informática. Lo anterior no quiere decir que los robots sean o tengan forma humana, en la sección 1.2.3 veremos este punto.

Lo que queremos destacar es que un robot con esas tres cualidades puede por ejemplo, realizar en la industria: la fabricación y ensamblado de partes; en el transporte: la navegación automática, o sea el pilotaje asistido

³V. RUIZ-VELAZCO, 1992, pp. 23.

por un robot; en la agricultura: irrigación programada, viveros automatizados; en la ayuda a los minusválidos: prótesis artificiales; en la enseñanza: robots orientados a la educación.

No es exagerado creer que la robótica podrá aplicarse a todos los campos de la actividad del hombre.

1.2.1 Orígenes de los robots

El término robot es checo, y significa "trabajo forzado". Esta palabra fue inventada por Karel Capek, el dramaturgo checoslovaco, que la popularizó en su melodrama R.U.R. (Rossum Universal Robots) en 1921⁴. En aquellos días, definir la palabra "robot" era relativamente fácil; pero en verdad es demasiado difícil hoy en día definir exactamente el concepto de *robot moderno*. La tercera edición del *Webster's New International Dictionary*, por ejemplo, define a un robot como "una máquina con la forma de un ser humano que ejecuta las funciones mecánicas de un ser humano". Sin embargo, los constructores de robots no están interesados en dar a sus creaciones forma humana. Muchos robots industriales parecen y actúan más como insectos descomunales que como seres humanos.

Hace muchos años los miembros del Robot Institute of America, una federación libremente organizada de constructores de robots, tuvieron un congreso especial con el fin de desarrollar una definición del robot

⁴V. Logsdon, 1938, pp. 18.

industrial aceptable para todos, pero resultó ser mucho más difícil de lo que cualquiera de ellos había sospechado "todo el mundo sabe lo que es un robot, pero nadie parece ser capaz de definirlo" mencionaban. Más tarde convocaron otro congreso y, después de un largo debate, establecieron por fin una definición útil⁵:

"Un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover material, piezas, herramientas o aparatos especializados, con movimientos variables y programables, para la ejecución de una variedad de tareas".

Las palabras claves de la definición son "reprogramable" y "multifuncional". Con reprogramable quieren decir que si el robot tiene una nueva tarea, necesita de nuevas instrucciones para hacerlo, pero su estructura básica no cambia. Con multifuncional quiere decir que el robot puede desempeñar varias tareas.

1.2.2 Los robots en la historia

Algunas de las primeras historias de seres mecánicos humanizados están narradas en forma real, algunas de ellas se narran a continuación⁶. En la antigua India, por ejemplo, se dice que están representados por hombres de madera que andan, cantan y bailan en los caminos polvorientos. Otras leyendas indias hablan de "elementos movidos mecánicamente y peces artificiales que nadaban en un suelo de cristal de roca".

⁵ V. Fu, 1988, pp 1.

⁶ V. Logsdon, 1988, Cap. 3.

También se encuentran criaturas semejantes a los robots entre las raíces mitológicas de la civilización occidental. En Antium, lugar donde nació Nerón, se decía que las estatuas de mármol andaban de plaza en plaza, y el templo de Delfos reverberaba con las voces melodiosas y seductoras de las vírgenes de piedra.

En los siglos XVII y XVIII, estos incidentes, sobre todo míticos, dieron vía a descripciones científicas de aparatos reales construidos por diestros artesanos, como el jugador de ajedrez del Barón Wolfgang von Kempelen de Pressburg. La máquina de Von Kempelen era un diseño bien pensado, pero de hecho los mecanismos de otros inventores fueron mucho más efectivos.

Conociendo estos mecanismos imaginativos hechos hace tanto tiempo, bien nos podemos preguntar qué llevó a sus inventores a tales grados de creatividad, especialmente en vista del hecho de que los aparatos en sí no servían para ninguna función útil. Pero la gente siempre ha prodigiado su energía en intrincadas construcciones de poca o ninguna utilidad práctica.

La historia, como hemos visto, incluye numerosas referencias a criaturas semejantes a los robots, algunas mitológicas, otras ficticias, y varios mecanismos reales.

También el escritor Isaac Asimov considera, a los robots y computadoras, útiles servidores del hombre. Dos de sus primeros libros, *Yo robot* (1950) y *The rest of the robots* (1964), son historias cortas sobre robots.

En la segunda guerra mundial se necesitaron manipuladores de control remoto (teleoperadores) para manipular sustancias radioactivas. Los primeros manipuladores a control remoto eran simplemente un par de guantes hasta el codo, fijos a dos agujeros en una pared de cristal. En versiones posteriores se emplearon uniones mecánicas y/o hidráulicas para permitir mayor separación entre el operador y los materiales que se estaba manipulando. Uno de los mejores manipuladores a control remoto fue el "Mobot" que construyó Hughes Aircraft en 1958.

Un robot moderno combina la destreza de un manipulador con una computadora. Las primeras patentes en este campo le fueron concedidas a George C. Devol en 1954, cuando patentó un concepto conocido como "Automatización Universal". Más tarde obtuvo 39 patentes más, cubriendo su trabajo sobre robótica con gran detalle. Devol, nacido en 1912 en Louisville, Kentucky, fue inventor durante toda su vida. Al presentarse la ocasión, Devol vendió sus patentes a Consolited Diesel Corporation (Condec). Después fueron adquiridas por Joseph Engleberge, quien formo, Unimation, la primera compañía fabricante de robots viable. A pesar del considerable talento de Engleberger, Unimation sólo empezó a obtener beneficios después de 14 años de números rojos. En su búsqueda de nuevas ventas, Engleberge fue echado de muchas firmas de manufacturación; pero a la vez fue recibido con mucho mayor entusiasmo cuando visitó Japón en los años 60. Ahora Engleberger, todavía maneja su comercio desde las oficinas de Unimation en Danbury, Connecticut, es conocido en la industria como "el padre de la robótica".

Las contribuciones de Joseph Engleberger y George C. Devol son impresionantes, sobre todo si tenemos en cuenta las condiciones que prevalecían en esa época.

No obstante, los robots que han evolucionado de sus tempranos esfuerzos no son, por lo general muy inteligentes, ni responden a lo que les rodea. Los primeros trabajos en estas áreas han sido efectuados, en su mayoría, en laboratorios de investigación patrocinados por las universidades europeas y norteamericanas. Un ejemplo de los más impresionantes de este tipo de investigaciones culminó en la construcción de una nueva clase de robot creada en el Stanford Research Institute en 1958 por Charles Rosen, quien había empezado el trabajo dos años antes con una beca de 200,000 dólares del departamento de defensa. Rosen y su equipo bautizaron al robot "Shakey". Entre otras cosas, Shakey podía desplazarse con sus ruedas por la habitación, observar la escena con sus "ojos" de televisión, moverse por un terreno desconocido y, de manera limitada, responder a estímulos u objetos circundantes.

Con mucho, solo se obtuvo un provecho minúsculo en la industria robótica durante los años 60 y 70; sin embargo, poco a poco fueron emergiendo de los laboratorios, metodologías muy mejoradas que prepararon el campo para la actual revolución. Los robots de hoy en día se hacen más precisos, más fuertes, versátiles y más accesibles económicamente.

1.2.3 Clasificación

La actividad de los robots se ubica en dos grandes ejes: la manipulación de objetos materiales y el desplazamiento de vehículos autónomos. La manipulación de objetos tiene sus orígenes en las herramientas y el desplazamiento de vehículos al control de dispositivos. A continuación veremos los diferentes tipos de robots, como herramientas imprescindibles, con mayor o menor grado de inteligencia, que nos ayudan en el trabajo y en la investigación.

- **VEHICULOS DE CONTROL REMOTO** : Dirigidos a distancia por medio de un cable o por radio, los robots de control remoto se utilizan para manipular desde un lugar seguro, objetos peligrosos, por ejemplo bombas y granadas sin explotar, o la reparación de tuberías de alta presión sumergidas en el mar o en plantas nucleares.

- **MANOS TELEDIRIGIDAS** : Al igual que en el caso de los vehículos de control remoto, este tipo de robots se emplean para manejar sustancias nocivas, como isótopos radioactivos, cultivos de virus, o de productos químicos corrosivos. Se distinguen de los vehículos de control remoto en que no se pueden desplazar, ya que se encuentran montados en el interior de una cámara de seguridad blindada.

- **PROTESIS HUMANAS** : Las prótesis más modernas para reemplazar miembros amputados pueden conectarse al sistema nervioso del portador para ser gobernadas con el pensamiento.

- **SIMULADORES MEDICOS** : Son autómatas diseñados para el entrenamiento de médicos que reproducen fidedignamente diferentes síntomas y funciones vitales de un enfermo.

- **EXOESQUELETOS** : Estos dispositivos tienen como finalidad multiplicar la fuerza muscular del usuario. El portador se enfunda el miembro articulado y la fuerza que actúa sobre él, se reproduce de manera amplificada mediante la ayuda de servomotores, actuando sobre cualquier otro situado a distancia o sobre ese mismo. Sus aplicaciones son muy limitadas.

- **VEHICULOS DE CONDUCCION AUTONOMA** : Son robots móviles que acarrear materiales en áreas como la producción automatizada de minas, fábricas y almacenes.

- **ROBOTS DE JUGUETE** : Sus capacidades de memoria y de fuerza son muy reducidas, su única aplicación es entretener al propietario circulando por un espacio reducido.

- **MANIQUES PROGRAMABLES** : Este tipo de robots son los más antropomórficos. Sirven como modelo para fabricar toda clase de artículos que vayan a tener relación con el hombre, con objeto de diseñarlos racionalmente y a su medida. Dotados de sensores, también se usan para evaluar la respuesta de una persona ante un impacto mecánico, por ejemplo, en una accidente de automóvil.

- **ROBOTS EDUCACIONALES DE SUELO** : Se emplean preferentemente para enseñar a programar vehículos de conducción autónoma.

- **BRAZOS DE ROBOTS EDUCACIONALES** : Constan de un brazo articulado con varios grados de libertad y una pinza intercambiable. Mecánicamente no son muy fuertes, pero en cambio tienen gran capacidad de memoria, por lo que se les pueden programar secuencias de movimientos muy complicadas y precisas. Se utilizan para enseñar el manejo de los manipuladores industriales.

- **ROBOTS PROMOCIONALES** : Muy vistosos y atractivos, se les ve en ferias y exposiciones. Sus movimientos pueden programarse previamente o dirigirse por control remoto desde un lugar oculto a la vista de los espectadores.

- **ROBOTS DOMESTICOS** : Se les puede considerar como un aparato electrodoméstico más, aunque cuentan con mayor autonomía. Los más sofisticados son capaces de aspirar el polvo de una habitación automáticamente y sin chocar contra los muebles. Otros pueden llevar de un lugar a otro de la casa pequeños objetos, como el periódico o el café. Actualmente son demasiado caros para resultar rentables.

- **ROBOTS DE MOVIMIENTO LIBRE** : Exclusivamente experimentales, no tienen ningún campo de aplicación. Están dotados de varios tipos de sensores y pueden desplazarse por cualquier superficie.

- **MANIPULADORES INDUSTRIALES** : Son robots utilizados en toda clase de procesos fabriles que impliquen la realización de tareas repetitivas. Existen cientos de modelos que se adaptan a los más diversos trabajos, desde el delicado montaje de circuitos electrónicos hasta la fabricación de automóviles. Algunos de ellos tienen sensores ópticos para distinguir piezas por su forma.

- **SONDAS ESPACIALES** : Los más inteligentes y sofisticados, diseñados para estar alejados a millones de kilómetros de la Tierra son capaces de efectuar de manera completamente automática, operaciones como la obtención de muestras y el análisis en minilaboratorios instalados a bordo. Cuentan con potentes computadoras que les confieren una flexibilidad inalcanzable en otros dispositivos robóticos. A pesar de su independencia ciertas tareas son controladas desde la Tierra.

- **ROBOTS SUBMARINOS** : Funcionan de manera similar a los vehículos de control remoto y se emplean en prospección minera, exploración submarina, rescate de buques hundidos, ... Sus posibilidades exceden a la de los submarinos tripulados.

1.2.4 Perfil del robot

Para contar con las características necesarias para su correcta operación, un robot debe realizar ciertas funciones. Estas funciones deben contar con una relación entre el medio circundante y el operador. Es decir, para actuar en un medio circundante se necesita contar con una función de

percepción, una función de acción, funciones de tratamiento, de decisión, funciones de comunicación y un operador que interactúe con todo el sistema.

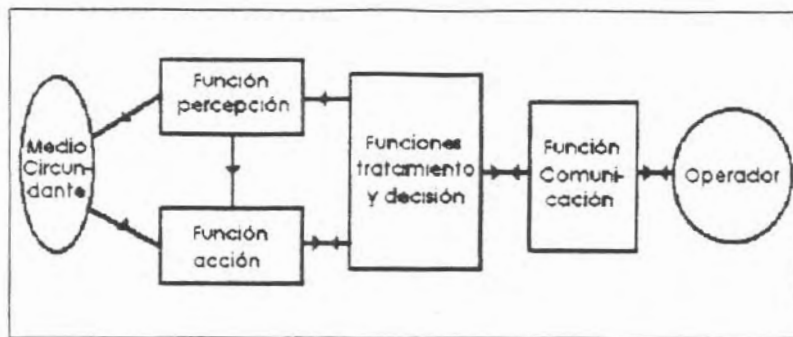


Figura 1.1 Funciones de un robot.

En la (figura 1.1) se ven las diferentes funciones y relaciones que se efectúan en forma de intercambio de información.

1.2.4.1 La acción

En principio un robot se caracteriza por la facultad de actuar sobre su medio. La acción de un robot a menudo es un desplazamiento que se realiza automáticamente mediante un sistema mecánico.

La acción del robot es coherente si cumple con un objetivo, lo que necesariamente implica la existencia de una orden o programa y de un sistema de control sobre los sistemas que permiten la acción, por ejemplo ir del punto A al punto B.

El elemento de orden que dirige la acción puede ser parte integral del robot o exterior a éste. En el caso de los telemanipuladores por ejemplo, el hombre es el que hace las veces del sistema de orden, dirigiendo así los desplazamientos directamente.

El sistema de acciones se construye en torno a un "armazón". Este sistema morfológico está en contacto y en relación con el medio circundante. Generalmente se trata de un sistema mecánico que se pone en movimiento mediante una serie de motores alimentados por una fuente de energía externa o interna al robot. Los movimientos se efectúan bajo el control de un sistema de mando. El armazón es un sistema mecánico formado por varios cuerpos, unidos por medio de articulaciones, que ocasionalmente cuenta con la posibilidad de desplazarse en relación con la superficie.

El sistema motor permite que se ponga en movimiento el sistema morfológico. Los diferentes tipos de energía que se utilizan son: la hidráulica, eléctrica, neumática y mecánica. Estas fuentes de energía tienen sus propias ventajas e inconvenientes.

La energía hidráulica ofrece una gran cantidad de energía instantánea y permite altas aceleraciones que hacen que intervengan masas importantes, más adelante trataremos este punto en el tema de la cinemática del robot.

El empleo de la energía eléctrica es simple y económica. Sin embargo, ofrece inconvenientes tecnológicos como el peso de los motores. La

energía neumática se utiliza para los sistemas de pequeñas dimensiones que ponen en juego cargas débiles. Pueden esperarse altas velocidades de desplazamiento, pero el control de estos elementos es más difícil.

1.2.4.2 Autonomía

La autonomía se refiere a la propiedad que tienen algunos sistemas de actuar de manera efectiva a ciertos estímulos que lo rodean con la ayuda de alguna forma de detección y, retroalimentar estas mismas señales para compararlas con las almacenadas y actuar de acuerdo a un determinado comportamiento en base a las condiciones sensadas.

El autómatas completo es un conjunto entrelazado de cinco funciones⁷: detección (sensores), memoria de programa (conocimiento), memoria de proceso, toma de decisiones y control físico, (ver figura 1.2.)

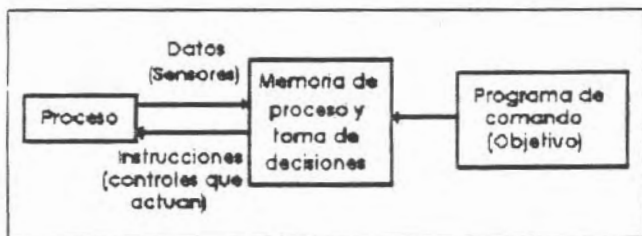


Figura 1.2 El autómatas completo.

La función de detección comprende dos fenómenos distintos: la detección y el reconocimiento, en un autómatas esto se refiere a la transferencia de

⁷V. ROSE, 1984 pp 116.

datos del ambiente, a la unidad de procesamiento de datos por medio de sensores artificiales y enlaces de datos, con esto queremos decir que se deben emplear dispositivos de detección y reconocimiento para que la tarea sea correcta. Después de detectar la información, el autómatas debe ver una acción adecuada para alcanzar un objetivo dado.

En el caso de los robots, los niveles en la autonomía de decisión se confunden con los diferentes grados de los sistemas automáticos. Los primeros autómatas eran máquinas que repetían movimientos incansablemente y que cambiaban de comportamiento cuando intervenía una orden exterior; como esos juguetes que ruedan y adaptan su camino de acuerdo con los obstáculos que se encuentran a su paso.

1.2.4.3 Percepción

Para el buen desempeño de un robot se hace necesario contar con mecanismos de percepción exteriores que permitan al robot interactuar con el ambiente que lo rodea y, con el cual entra en contacto de una manera más flexible. Esto resulta muy diferente cuando nos referimos al funcionamiento preprogramado de un robot, que no es más que "enseñarle" a realizar tareas repetitivas mediante una serie de funciones programadas.

El utilizar tecnología de percepción en los robots para proporcionarle un grado de inteligencia respecto a su ambiente, es en verdad un tema de investigación y desarrollo de la robótica. Podemos decir que un robot que cuente con sensores, es decir que pueda "ver" y "sentir" es más fácil de

enseñarle la ejecución de tareas complejas, y exige mecanismos de control menos estrictos que las máquinas preprogramadas, este tipo de sistemas con sensores son más adaptables a una gama más amplia de tareas, que se traduce, con el tiempo, en bajos costos de producción y de mantenimiento.

La función de los sensores del robot puede dividirse en dos categorías: estado interno y estado externo. Los sensores de estado interno operan con la detección de variables, tales como la posición de la articulación del brazo, para el control del robot. Los sensores de estado externo operan con la detección de variables tales como el alcance, la proximidad y el contacto. Los sensores de estado externo se pueden clasificar como: sensores de contacto o no contacto. Los primeros responden al contacto físico, como el tacto, deslizamiento y torsión. Los sensores de no contacto se basan en la respuesta de un detector a las variaciones de la radiación electromagnética o acústica por ejemplo.

Existen varios métodos de sensores⁹ como por ejemplo:

• **DETECCION DE ALCANCE:** Miden la distancia desde un punto de referencia hasta objetos que se encuentran en el campo de operación del sensor. A continuación mencionaremos algunos:

- Método de triangulación.
- Método de iluminación estructural.

⁹V. FU, 1988, capítulo 6.

- Telémetro de tiempo de vuelo.

• **DETECCION DE PROXIMIDAD:** Estos sensores tienen salidas binarias que indican la presencia de un objeto dentro de un intervalo de distancia que se especifica, en robótica se utilizan para tomar o evadir un objeto. De este tipo de sensores existen:

- Sensores inductivos.
- Sensores de efecto Hall.
- Sensores capacitivos.
- Sensores ultrasónicos.
- Sensores de proximidad ópticos.

• **SENSORES DE CONTACTO:** Estos sensores se utilizan en robótica para obtener información asociada con el contacto entre una mano manipuladora y objetos en el espacio de trabajo. De estos mencionaremos algunos:

- Sensores binarios.
- Sensores analógicos.

1.2.4.4 La comunicación

Los lenguajes de comunicación entre el operador y la máquina responden a dos necesidades: por un lado los lenguajes de mando permiten darle ordenes al robot para que realice una acción, por otro lado los lenguajes de

Inteligencia Artificial (I.A.) se utilizan con fines de estudio y de concepción de robots. Los lenguajes de mando³ son un conjunto de medios que le permiten al operador dictarle al robot las diferentes acciones que tiene que llevar a cabo.

Una vez que se haya definido que lenguaje de mando se utilizará, el operador describe en el lenguaje de mando las acciones que debe realizar el robot. A partir de este punto, el sistema informático debe elaborar las ordenes que producirán las acciones a realizar. Claro que el lenguaje de mando tiene que tomar en cuenta al operador, al robot y el ambiente en el que se desarrollará. El robot por su parte posee ciertas posibilidades de acción y medidas elementales en base a su armazón y a sus sensores que desde luego fijan los límites que tendrá el lenguaje de comunicación. Es decir entre más equipo de sensado y posibilidades de maniobrabilidad así como memoria y dispositivos de interfaz tenga el robot, el lenguaje de mando tendrá que ser más sofisticado y completo para que pueda existir una correcta comunicación entre el robot y el usuario. Más adelante, en el capítulo 3, veremos como se implementa un programa en QBASIC para poder obtener un medio que nos permita comunicarnos adecuadamente con nuestro robot pedagógico.

Para un autómata, la comunicación se reduce a un monólogo sencillo de ordenes elementales simbolizadas por interruptores. Así mismo, se representan como una serie de ordenes grabadas en memoria para que el robot las repita indefinidamente cada vez que sea necesario. Las

³V. PIERRE-JEAN, 1985, pp. 98.

realizaciones físicas de los lenguajes artificiales, han evolucionado notablemente y cada vez más el lenguaje de los robots se acerca al lenguaje natural del hombre. Para ciertos campos específicos, los diálogos son a tal grado que no se puede ya distinguir entre quien es el interlocutor, quien la computadora y quien el robot. Una necesidad que requieren los usuarios de robots es, como enseñarles las tareas que se quiere que lleven a cabo y es aquí en donde el desarrollo de una interface hombre-robot-computadora se puede emplear para facilitar notablemente la comunicación entre ellos y aprovechar al máximo el potencial que se logra obtener al unir cada una de sus capacidades y lograr un ente más capaz para alcanzar mejores resultados.

1.3 Cinemática del robot

En la cinemática de un robot se analizan los problemas del control de sus movimientos y las técnicas matemáticas utilizadas para analizar las posiciones y movimientos del manipulador, por esta razón es necesario desarrollar técnicas para representar la posición de un brazo en cada uno de sus puntos, en relación con el tiempo. Se define a un manipulador de un robot con dos elementos básicos: articulaciones y enlaces. Las articulaciones traen consigo movimientos lineales o rotacionales. En la (figura 1.3) se muestra el marcado para los brazos del robot, donde las articulaciones se marcan con J_n donde n empieza con 1 en la base del manipulador y los enlaces se marcan con L_n .

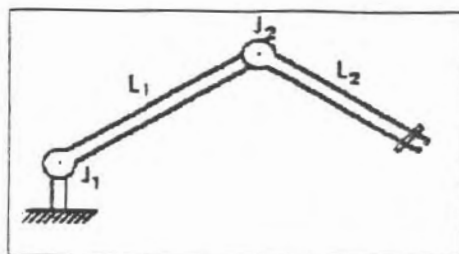


Figura 1.3 Manipulador con dos articulaciones rotacionales.

La cinemática¹⁰ del brazo de un robot trata con el estudio de la geometría del movimiento de un brazo de robot con respecto a un sistema de coordenadas de referencia fijo sin considerar las fuerzas o momentos que originan el movimiento. De esta manera entonces, la cinemática se interesa por la descripción analítica del desplazamiento espacial del robot como una función del tiempo, en particular de las relaciones entre la posición de las variables espaciales de articulación y la posición y orientación del efector final del robot.

Hay dos formas para buscar una trayectoria tomando en cuenta la cinemática de un robot:

1. Dar los ángulos de articulaciones y los parámetros geométricos para determinar la orientación y la posición del efector final con respecto a un sistema de referencia.

¹⁰V. FU, 1988, pp 13.

2. Dar las posiciones y las orientaciones deseadas del efector al inicio y al final del manipulador y buscar las diferentes configuraciones del manipulador que las cumplan.

De estas dos formas la primera corresponde al problema cinemático directo y la segunda al problema cinemático inverso. Como las variables independientes en un brazo de robot son las variables de articulación y una tarea se suele dar en términos de las coordenadas de referencia, el problema cinemático inverso se utiliza de forma más frecuente.

La (figura 1.4) ilustra la forma geométrica del manipulador rotacional. Para el presente análisis se limitará el caso a dos dimensiones.

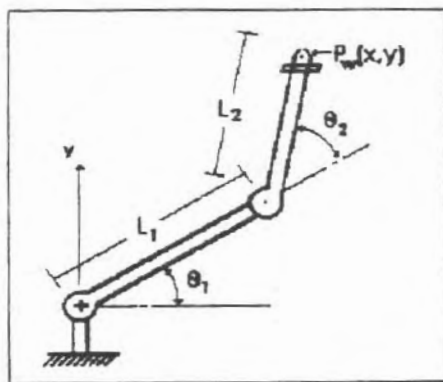


Figura 1.4 Manipulador de dos grados de libertad con dos dimensiones.

Se puede determinar la posición del extremo del brazo en el espacio definiendo un vector para el enlace 1 y el enlace 2, tomando en cuenta la transformación directa de un brazo con dos grados de libertad, mediante las siguientes ecuaciones.

$$r_1 = [L_1 \cos \theta_1, L_1 \sin \theta_1] \quad (1-1)$$

$$r_2 = [L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2), L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)] \quad (1-2)$$

La suma vectorial de (1-1) y (1-2) proporcionan las coordenadas X e Y del extremo del brazo en el espacio universal:

$$x = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (1-3)$$

$$y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

En algunas ocasiones, la obtención de una articulación, dada la posición del extremo del brazo es más importante. El caso más común es aquel en el que el controlador del robot debe determinar los ángulos de la articulación necesarios para desplazar el extremo de su brazo a un punto del espacio definido por sus coordenadas.

Utilizando las identidades trigonométricas:

$$\cos(A + B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$$

$$\sin(A + B) = \sin A \cos B + \sin B \cos A$$

Se pueden reescribir las ecuaciones (1-3) como:

$$x = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - L_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2$$

$$y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + L_2 \cos \theta_1 \sin \theta_2$$

Elevando al cuadrado ambos miembros de la igualdad y sumando las dos ecuaciones tenemos:

$$\cos\theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \quad (1-4)$$

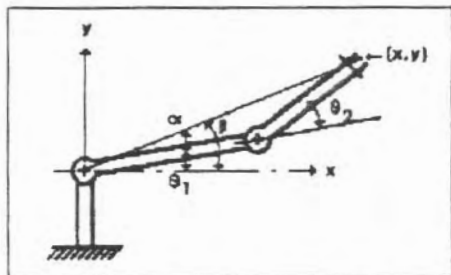


Figura 1.5 Resolución de los ángulos de la articulación.

Definiendo α y β como en la (figura 1.5) conseguimos obtener:

$$\begin{aligned} \tan\alpha &= \frac{L_2 \operatorname{sen}\theta_2}{L_2 \cos\theta_2 + L_1} \\ \tan\beta &= \frac{y}{x} \end{aligned} \quad (1-5)$$

Utilizando la identidad trigonométrica:

$$\tan(A - B) = \frac{\tan A - \tan B}{1 + \tan A \tan B}$$

Obteniendo finalmente:

$$\tan \theta_1 = \frac{y(L_1 + L_2 \cos \theta_2) - xL_2 \sin \theta_2}{x(L_1 + L_2 \cos \theta_2) + yL_2 \sin \theta_2} \quad (1-6)$$

En las ecuaciones (1-4), (1-5) y (1-6) conociendo las longitudes de los enlaces, se puede calcular los ángulos de las articulaciones, necesarios para desplazar el brazo a una posición (X, Y) del espacio universal.

Así, de esta manera podemos deducir ecuaciones para brazos de robots desde tres grados hasta cuatro grados de libertad, modificándose ligeramente las ecuaciones.

El método utilizado anteriormente es muy incómodo cuando se quiere utilizar un manipulador con muchas articulaciones. Existe otro método en donde se ocupan matrices de rotación.

Una matriz de rotación 3 X 3 se puede definir como una matriz de transformación que opera sobre un vector de posición en un espacio euclidiano tridimensional y transforma un sistema de coordenadas rotado OUVW a un sistema de coordenadas de referencia OXYZ. Un punto P en el espacio puede ser representado por sus coordenadas con respecto a ambos sistemas como sigue:

$$P_{uvw} = (P_u, P_v, P_w)^T \quad \text{y} \quad P_{xyz} = (P_x, P_y, P_z)^T$$

Donde P_{xyz} y P_{uvw} representan el mismo punto P en el espacio con respecto a diferentes sistemas de coordenadas.

Nos interesa encontrar una matriz R de transformación 3×3 que transforme las coordenadas de un sistema a otro, a continuación mostraremos las matrices de rotación con respecto a los ejes X , Y y Z :

$$R_{z,\alpha} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\operatorname{sen} \alpha \\ 0 & \operatorname{sen} \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (1-7)$$

$$R_{y,\phi} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \operatorname{sen} \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\operatorname{sen} \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (1-8)$$

$$R_{x,\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\operatorname{sen} \theta & 0 \\ \operatorname{sen} \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-9)$$

Estas matrices, (1-7), (1-8) y (1-9) se llaman, matrices de rotación básicas y nos sirven para encontrar la ubicación de los puntos en otros sistemas de coordenadas.

Existen otros tipos de matrices, como la matriz de rotación compuesta, matriz de rotación respecto a un eje arbitrario, matriz con representación de ángulos de Euler, etcétera. Este tipo de matrices se escapan de los propósitos que perseguimos por lo que únicamente las mencionamos.

1.4 Dinámica de un robot

La dinámica del robot trata con fuerzas no lineales, cargas inerciales, fuerza de reacción de acoplo entre articulaciones y efectos de carga de la gravedad durante el movimiento del brazo. Para representar todos estos

fenómenos que interactúan en el brazo es necesario representarlás en ecuaciones matemáticas que describan su conducta dinámica. Estas ecuaciones son útiles para la simulación en computadora del movimiento del robot, el diseño de ecuaciones de control apropiadas para el robot y la evaluación del diseño y estructura del brazo. El objetivo del control de un manipulador basado en computadora es mantener las respuestas dinámicas de acuerdo con algún rendimiento del sistema preespecificado y objetivos deseados. En general, el rendimiento dinámico de un manipulador depende directamente de la eficiencia de los algoritmos de control y de su modelo dinámico, así como del diseño y la estructura del brazo.

El modelo dinámico de un robot se puede obtener a partir de las leyes de Newton y Lagrange. Esto conduce al desarrollo de las ecuaciones de movimiento dinámico para las diversas articulaciones del manipulador en términos de los parámetros geométricos e inerciales de los elementos.

Comenzaremos a considerar los pares de torsión que requieren las articulaciones para proporcionar una fuerza F al extremo del brazo del robot¹¹ como se indica en la (figura 1.6), si equilibramos las fuerzas en cada uno de los enlaces, obtenemos:

$$F_1 - F_2 = 0$$

$$F_2 - F = 0$$

$$F_1 = F_2 = F$$

¹¹ V. MIKELL, 1990, pp 118.

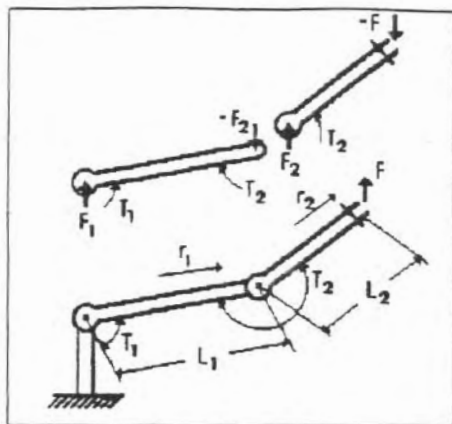


Figura 1.6 Pares de torsión y fuerzas en un brazo con dos enlaces o uniones.

Los pares de torsión son los productos vectoriales de las fuerzas y de los vectores de enlace r . Por lo tanto tenemos que:

$$T_1 = T_2 + r_1 \times F$$

y

$$T_2 = r_2 \times F$$

De esta manera, podemos establecer que:

$$T_1 = (r_1 + r_2) \times F$$

Si $F = (F_x, F_y)$, entonces podemos escribir las torsiones como:

$$T_1 = [L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)] \cdot [L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)] \times (F_x, F_y) \quad (1-10)$$

$$T_2 = L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \times F_x - L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \times F_y$$

Para poder calcular la fuerza generada por el extremo del brazo, dado los pares de torsión, se presentan las siguientes ecuaciones (1-11) y (1-12) sustituyendo resultados de las ecuaciones que se encuentran en (1-10):

$$F_x = \frac{T_1 L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) - T_2 (L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2))}{L_1 L_2 \sin \theta} \quad (1-11)$$

$$F_y = \frac{T_1 L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) - T_2 (L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2))}{L_1 L_2 \sin \theta_2} \quad (1-12)$$

La fuerza de la gravedad se ignoró en el planteamiento pasado, pero en la práctica no se debe pasar por alto, por lo que debemos incluirla. A continuación veremos como se debe considerar la fuerza de la gravedad en el diseño de un brazo robótico.

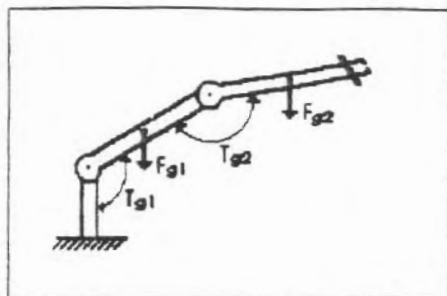


Figura 1.7 Fuerzas de gravedad y pares de torsión.

Como se puede observar en la (figura 1.7) se encuentran los vectores de fuerza F_{g1} y F_{g2} actuando sobre el centro de cada enlace, cada uno con su respectiva masa.

Equilibrando las fuerzas debidas a la gravedad obtenemos:

$$\begin{aligned} F_2 &= m_2 g \\ F_1 &= F_2 + m_1 g \end{aligned} \quad (1-13)$$

como los productos vectoriales de enlace y las fuerzas nos proporcionan los pares de torsión debidas a la gravedad en cada una de las articulaciones, tenemos:

$$\begin{aligned} T_{g2} &= \frac{-m_2 r_2 \times g}{2} = \frac{g[m_2 L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)]}{2} \\ T_{g1} &= g \left[\left(\frac{m_1}{2} + m_2 \right) L_1 \cos \theta_1 + \frac{m_2 L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)}{2} \right] \end{aligned}$$

Si el manipulador actúa bajo cargas de la gravedad, entonces las ecuaciones de los pares de torsión se deben de incluir a las ecuaciones de la articulación, para proporcionar una fuerza de salida deseada.

El tema de la dinámica de un robot como se ha visto trata entonces sobre los pares de torsión y de las fuerzas debidas a la aceleración y desaceleración, además de los pares de torsión que se presentan en las articulaciones producidas por la aceleración de los enlaces, así como también las fuerzas producidas por los enlaces debidas a los pares de torsión aplicados a las articulaciones.

Realizar los cálculos necesarios para resolver los problemas dinámicos del brazo de un robot es complicado, y muy particularmente las aceleraciones que se presentan en los enlaces, esto se debe a varios factores:

Por una parte, la aceleración depende de la inercia del brazo. Sin embargo, la inercia depende, a su vez, de la configuración del brazo y esta cambia continuamente a medida que se mueven las articulaciones.

1.5 Planeación de trayectorias

Para la resolución del problema cinemático inverso (solución del brazo), podemos decir que se debe contar con una forma de programar al robot para que realice una función, para que se lleve a cabo esto se debe describir el movimiento deseado del manipulador como una secuencia de puntos en el espacio (posición y orientación) a través de los cuales debe pasar el manipulador, así como la curva en el espacio que recorre. Dicha

curva espacial del movimiento del robot desde la posición inicial hasta la posición final se llama trayectoria.

Los esquemas de planificación de trayectorias generalmente interpolan o aproximan el camino deseado mediante una clase de funciones polinomiales y genera una secuencia de puntos de consigna para el control a lo largo del tiempo para controlar el manipulador desde su posición inicial hasta su destino. Los puntos extremos del camino se pueden especificar o bien en coordenadas de la articulación o en coordenadas cartesianas. No obstante, se suele especificar en coordenadas cartesianas, porque es más fácil de visualizar las configuraciones correctas del efector final en dichas coordenadas que en coordenadas de articulación.

Con bastante frecuencia, existen una serie de trayectorias posibles entre los dos puntos dados. Por ejemplo, se puede presentar la necesidad de mover el manipulador a lo largo de una trayectoria en línea recta que conecta a los puntos extremos (trayectoria en línea recta); o mover el manipulador a lo largo de una trayectoria polinomial uniforme, que satisface las ligaduras de posición y orientación en ambos extremos.

Se suelen utilizar dos métodos para planificar las trayectorias del manipulador. El primero requiere que el usuario especifique explícitamente un conjunto de ligaduras (es decir, continuidad y regularidad) en la posición, velocidad y aceleración de las coordenadas generalizadas del manipulador en posiciones seleccionadas (llamados puntos nudo o puntos de interpolación) a lo largo de la trayectoria. El planificador de trayectorias entonces selecciona una trayectoria parametrizada de una clase de

función que interpola y satisface las ligaduras en los puntos de interpolación. En el segundo método, el usuario explícitamente especifica el camino que el manipulador debe seguir mediante una función analítica, como por ejemplo, un camino en línea recta en coordenadas cartesianas, luego entonces, el planificador de trayectorias determina la trayectoria deseada, ya sea en coordenadas de articulación o bien en coordenadas cartesianas.

Para controlar un manipulador se requiere que la configuración de su brazo tanto en la posición inicial como en la final se especifique antes de que se planifique la trayectoria de movimiento.

En el capítulo 3 veremos como el robot pedagógico desarrolla sus trayectorias y como se desplaza de un punto a otro, en el capítulo 4 mostraremos las aplicaciones del robot pedagógico, observando como se desenvuelve al realizar sus trayectorias.

Los dos métodos anteriores empleados para la planificación de trayectorias de un manipulador deberían resultar en trayectorias simples que se pretende sean eficientes, uniformes y precisas con un tiempo de cálculo razonable (casi en tiempo real) para generar la secuencia de puntos de control a lo largo de la trayectoria deseada. Sin embargo, las secuencias de los vectores espaciales de las variable de articulación a lo largo del tiempo se generan sin tomar en cuenta la dinámica del manipulador. Así que pueden presentar grandes errores de seguimiento en el control del manipulador.

1.6 Control

El problema del control de un robot, se puede decir de una forma tan simple, su solución se complica por las fuerzas inerciales, las fuerzas de reacción en los acoplos y la fuerza de la gravedad sobre los elementos.

En general, el problema del control consiste en :

- 1) Obtener modelos dinámicos del manipulador.
- 2) Utilizando estos modelos determinar leyes o estrategias de control para conseguir la respuesta y funcionamiento deseado del sistema.

Desde el punto de vista de análisis de control, el movimiento de un brazo se suele efectuar en dos fases de control distintos. La primera es el control del movimiento de aproximación durante el cual el brazo se mueve desde una posición/orientación inicial hasta la cercanía de la posición/orientación final deseada a lo largo de un trayectoria planificada. El segundo es el control del movimiento fino en el cual el efector final del brazo interacciona dinámicamente con el objeto utilizando información de la realimentación sensorial para completar la tarea.

Los métodos industriales actuales para diseñar el sistema de control de un robot tratan cada articulación del brazo como un servomecanismo simple, (ver figura 1.8). El método del servomecanismo modela la dinámica variable del manipulador de forma inadecuada porque desprecia el movimiento y configuración del brazo en su conjunto. Estos cambios en los

parámetros del sistema controlado son bastante significativos para hacer ineficientes las estrategias de control por realimentación convencional. El resultado es una velocidad de respuesta y amortiguamiento del servo reducido, limitando la precisión y velocidad del efector final, lo que les hace apropiado solamente para tareas de precisión limitada.

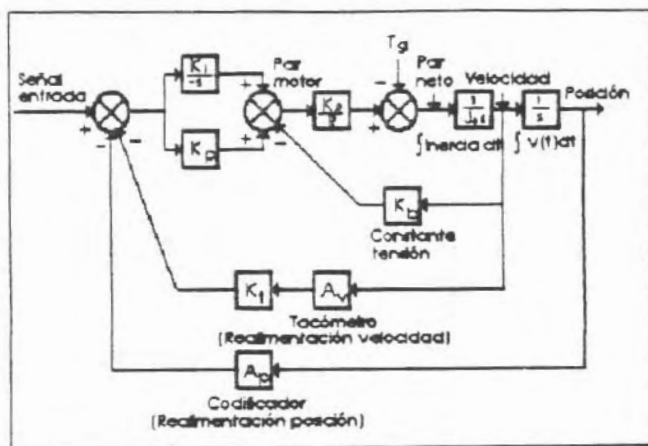


Figura 1.8 Diagrama de control de una articulación del robot.

Considerando el control del robot como un problema de seguimiento de trayectorias, el control del movimiento se puede clasificar en tres grandes categorías:

1. Controles de movimiento de la articulación:

Servomecanismos de la articulación.

Técnica del par calculado.

- Control de tiempo mínimo.
- Control de estructura variable.
- Control desacoplado no lineal.

2. Controles con movimientos resueltos.

- Control de velocidad con movimiento resuelto.
- Control de aceleración con movimiento resuelto.
- Control de la fuerza con movimiento resuelto.

3. Controles adaptativos.

- Control adaptativo con modelo de referencia.
- Control adaptativo autosintonizante.
- Control de perturbación adaptativa con compensación anticipativa.
- Control adaptativo con movimiento resuelto.

1.7 Aprendizaje del robot

El aprendizaje con analogías se considera como una solución muy poderosa y se ha aplicado a la planificación de robots. Algún sistema de planificación de robots con aprendizaje ha sido ya propuesto, se denomina "PULP-I". El sistema emplea la analogía entre una tarea que no ha sido planeada y cualquier tarea similar para reducir la búsqueda de una solución. En vez de una lógica de predicados se emplea una red semántica como una representación interna de tareas. Inicialmente un conjunto de ejemplos de tareas básicas se almacena en el sistema como conocimiento

basado en la experiencia pasada. Se emplea la analogía de sentencias de las dos tareas para expresar la similitud entre ellas y se determina mediante un proceso de comparación semántica. El algoritmo de comparación mide la cercanía semántica; cuanto más pequeño es su valor, más se acerca en significado. Se determina un plan propuesto basado en el proceso de medidas semánticas y en la experiencia pasada que se recupera de la información almacenada. Cada plan propuesto es checado por sus operadores para asegurarse de su aplicabilidad en el estado del mundo actual. Si el plan no es aplicable, sólo hay que rechazar el plan propuesto. Tras comprobar su aplicabilidad, se pueden considerar varios planes candidatos.

El aprendizaje del robot es un punto clave para su desenvolvimiento automático en su espacio de trabajo, debido a que el operador no se preocuparía en enseñarle con muchos detalles lo que el robot tenga que realizar. Para que esto se lleve a cabo de manera efectiva se debe contar con algún método de aprendizaje seguro y confiable.

El robot pedagógico que se propone incluye un tipo de aprendizaje, que permite que el robot aprenda los movimientos que se dibujan en el monitor con la ayuda de las teclas del cursor, una vez que los movimientos se transfieran al robot éste los reproduce tal y como lo aprendió, este punto lo veremos más a detalle en el capítulo 3 en donde se explica como se desarrolló una interface para poder captar información del medio en donde se desplaza.



2. Robótica Pedagógica

La robótica es una área de desarrollo técnico-científica de importancia fundamental para la formación de nuestros profesionales en electrónica, mecánica, computación e informática. Desde el punto de vista técnico el diseño e implementación de sistemas mecánicos, programables, que ejecuten las tareas que desarrollan los humanos, es una meta que la sociedad persigue.

Observando a la robótica desde el punto de vista científico aparece como una excelente "cama de pruebas" para evaluar los postulados teóricos que emanan de la investigación empírica. Así, la robótica enriquece el horizonte multidisciplinario de la investigación sobre procesos cognitivos y biomecánicos. Pero al mismo tiempo se enriquecen a partir del conocimiento experimental en su ruta hacia la construcción de robots inteligentes.

El propósito de este capítulo es mostrar como se pueden emplear herramientas didácticas en la educación y como se puede utilizar en especial la robótica como un auxiliar didáctico en la escuela, también como la robótica pedagógica se puede aplicar para la obtención de conceptos útiles en las aulas y sea un gran auxiliar en el aprendizaje de sus materias

para que cambien de alguna manera el estilo de adquirir el conocimiento y faciliten su educación.

La robótica pedagógica, es una disciplina que nos ofrece una gama de posibilidades de aplicación e investigación para el desarrollo de herramientas cognitivas.

Desde otra perspectiva, la robótica pedagógica busca principalmente desarrollar en el alumno habilidades intelectuales y estrategias cognitivas, ya que dada la alta posibilidad de control de procedimientos, ésta disciplina permite una adecuada administración de experiencias de laboratorio en donde el alumno es invitado a involucrarse en procesos heurísticos de resolución de problemas a través de la exploración y experimentación directa de conjuntos de variables que intervienen en el estudio de un fenómeno determinado, lo cual permite planificar un esquema experimental antes de realizarlo, por otra parte, permite la visualización en pantalla de representaciones gráficas de los fenómenos estudiados.

Uno de los problemas que se manifiesta en forma dramática por parte de los alumnos es su desmotivación, traducida en una apatía generalizada por el aprendizaje y el estudio. Los alumnos esperan que se les dé todo hecho. En este sentido la robótica despierta su deseo de aprender debido a la curiosidad natural por conocer cómo funcionan estos aparatos y al mismo tiempo demostrar capacidad para dominarlos.

El dominio de investigación y aplicación de la robótica pedagógica es cualquier ámbito donde se necesite estudiar espacio, tiempo y movimiento.

Es decir, verificar, descubrir, redescubrir, probar, representar datos; almacenar información, hacer maquetas y prototipos miniaturizados; planificar, coordinar y administrar proyectos o actividades; diseñar instrumentos de laboratorio, controlar el paso de los efectos de las representaciones gráficas a las simbólicas; aprender un lenguaje de programación, construir diferentes tipos de interfaces con recursos financieros limitados, relacionar conceptos y partes de autómatas programables, información e instrucción, interfaces y comunicación. En general las posibilidades son grandes.

Las herramientas que emplea la pedagogía, son video lectores y compiladores de Logo, Pascal, lenguaje C, Hypercard, Linkway o Toolbook e interfaces interactivas.

Las potencialidades que ofrece la robótica pedagógica como alternativa tecnológica son fabulosas y México ha empezado a involucrarse a esta nueva tecnología realizando ya algunas aplicaciones y desarrollos de gran interés, como: "el brazo mecánico-electrónico para la enseñanza de la robótica" de Jorge Kashiwamoto Yabuta y Jesús Figueroa Nazuno de la Universidad La Salle y "robótica y medicina: Estado de arte" de Luis Guillermo Pedraza Moctezuma y colaboradores, del departamento de medicina familiar, de la Facultad de medicina de la UNAM.

2.1 La tendencia educativa en informática y automatización

Es un hecho que en la década actual la educación es una de las mayores industrias del mundo. El rápido aumento de la población, la complejidad técnica y tiempo de ocio forman parte de la explosión de la educación, incluso en las naciones subdesarrolladas. Se han propuesto ideas para producir gente más equilibrada para la edad de la automatización, o sea hombres y mujeres capaces de comprender el significado del pasado, que estén en las corrientes de las ideas actuales y las puedan utilizar, y que tengan la imaginación capaz de anticipar y hacer cumplir el futuro. Sin embargo, se debe moderar esta y otras versiones de las utopías de la educación, tomando en cuenta la factibilidad y economía de la práctica, incluyendo la consideración de las herramientas necesarias, como las computadoras y la gran cantidad de auxiliares audiovisuales¹².

Hay otra cara de la moneda. Las computadoras pueden extender el razonamiento y la intuición del hombre. Aunque el gigantesco proceso de la computadora en el campo de las operaciones manuales pueden significar dudosos beneficios económicos o excitar la imaginación del alumno, acaso el verdadero papel de la máquina, como extensión del cerebro humano, sea el factor decisivo en la aceptación de la computadora como herramienta de la educación y en las aplicaciones científicas; de hecho, el lenguaje de los programas de computadoras puede servir como el propio lenguaje de la ciencia cuando no se cuente con las matemáticas como

¹²V. ROSE, 1984, pp. 242



modo de expresión, por tanto, la computadora podría servir no sólo como cualquier otro medio de investigación que facilite la experimentación, sino también como una herramienta poderosa para incorporarla a la educación de las nuevas generaciones, es decir apoyarse en ésta para expandir la potencialidad de los alumnos y lograr una mayor comprensión de las materias que se quieren aprender.

2.2 La educación en nuestros tiempos

En Velasco-Ruiz dice: "En la historia de la educación es posible distinguir cuatro revoluciones intelectuales..." (Sir Eric Ashby). El primer levantamiento fue cuando los expertos tomaron en sus manos la enseñanza de un grupo de niños, suplementadas por ceremonias de iniciación y tradición, pasadas de padres a hijos. La introducción de la palabra escrita señaló el advenimiento de la segunda revolución, en tanto que la tercera se basó en la invención de la imprenta. En nuestro siglo estamos presenciando la cuarta revolución, hecha posible por los avances tecnológicos de la electrónica y las computadoras, e impuestas por las tendencias sociales de la sociedad urbanizada e industrial. La computadora parlante, la máquina programada de aprendizaje, la videocinta, la grabadora magnetofónica, la televisión de circuito cerrado, los videodiscos, los laboratorios de lenguaje y toda la gama de dispositivos auxiliares audiovisuales, armas de la cuarta revolución de la educación, son herramientas muy prometedoras y eficaces. Como resultado del uso, el estudiante puede aprender más y el profesor trabajar menos, se puede llegar a mayores públicos y elevar la educación de muchas maneras.

Sin embargo, los beneficios que recibe la educación es solo una cara de la moneda, ya que existen peligros potenciales de gran magnitud que compensan estos beneficios. El problema principal es que, grupos de expertos políticos, megalómanos hambrientos de poder, pueden en un futuro llegar a controlar la compleja planeación de los programas escolares y llegar a ejercer una influencia sobre la mente de los jóvenes. Existen algunas otras desventajas más en cuanto a la educación en base a las computadoras, pero la responsabilidad de todos nosotros esta en saber utilizar todo el potencial de las computadoras para bien y aprovecharla eficazmente como auxiliar pedagógico y no caer en una dependencia académica con las máquinas.

Existen cuatro campos principales de aplicación de las computadoras en la educación, que comprenden la computadora como herramienta de la instrucción, como objeto de la instrucción, como herramienta de la administración, y como herramienta de investigación y desarrollo.

a) Herramienta de Instrucción. El potencial de la computadora para resolver problemas permite a los estudiantes estudiar materias que de otra manera serían muy difíciles. Así, los estudiantes pueden resolver problemas numéricos dentro de un tiempo razonable. Por otra parte, la instrucción directa mediante computadora todavía está en su infancia, aunque se han logrado ciertos éxitos enseñando a deletrear, aritmética sencilla y rutinas de solución a preguntas. Se ha descubierto que usar la computadora como herramienta de instrucción mejora el desempeño de las comunicaciones y la toma de decisiones.

b) Objeto de instrucción. Debido a los considerables cambios tecnológicos, es necesario introducirse a los aspectos culturales y tecnológicos de las computadoras¹³. Por tanto se necesita adiestramiento a distintos niveles, y también inculcar una "conciencia" de la computadora a los estudiantes que siguen cursos de ciencias y tecnología. Un estudio reciente de la educación por computadora en 1,260 escuelas de Inglaterra, realizado por una oficina de consultoría mostró que se están realizando grandes esfuerzos a distintos niveles para dar instrucción de computadoras de gran nivel.

c) Herramienta administrativa. El uso de material instructivo requiere de una administración adecuada para reunir y analizar la información requerida y dárla al profesor de manera sencilla para que pueda interpretarla. Otra posibilidad sería para ayudar en la administración de la escuela, programación de calendarios, recuperación de datos de los estudiantes, toma de decisiones, etcétera.

d) Herramienta de Investigación y desarrollo. El análisis de pruebas en el campo del nuevo material educativo es una aplicación útil. El resultado de esos análisis pueden ayudar a los educadores a crear conjuntos revisados de material. En este campo, la computadora es una herramienta ideal, ya que puede elegir entre muchas alternativas dentro de un periodo razonable.

¹³V. ROSE, 1984, pp. 97-104

2.3 La robótica en la educación

Uno de los grandes problemas que existen en el ámbito educativo, es la absoluta disociación que existe entre los conocimientos de ciencia y tecnología que se desea impartirse a los estudiantes. Es evidente que las relaciones entre el sujeto y el objeto científico o tecnológico, no es en ningún momento la que se da en el aula entre el profesor y el alumno. Las relaciones entre el profesor y el alumno son lineales y manejadas directamente por el profesor, sin permitir que el alumno aflore más su creatividad, lo que en principio permite exclusivamente la posibilidad del ejercicio de la memoria para poder aprobar el curso, y la relación alumno objeto sólo se hace presente en algún ejemplo de demostración experimental manejada por el profesor, o en prácticas, que se basan en la forma de receta de cocina, y de esta manera se le presenta al alumno para que las lleve a cabo.

Uno de los mayores problemas educativos en la actualidad es el increíble rezago de la escuela en áreas como matemáticas, ciencias y tecnología. Esta situación, además de indeseable, se ha convertido en un obstáculo para el desarrollo de una sociedad tecnolozada. El problema es complejo y generalizado, se observa la necesidad de un saber distinto, de una formación que muy difícilmente se encuentra en la escuela, se requiere entonces de una alfabetización tecnológica.

En esta tesis se propone la creación de un robot pedagógico con determinadas características de aprendizaje, pero existen otros tipos de robots pedagógicos que son auxiliares en la educación como por ejemplo:

El elevador de Enrique Ruiz Velazco, en la construcción de conceptos de un lenguaje de programación, la tortuga de Papert para la utilización de un lenguaje de programación y el tren de Pierre Nonnon, para la introducción de un lenguaje tecnológico.

2.4 Robótica pedagógica como soporte en el aprendizaje

Los maestros esperan seguir enseñando sus objetivos dentro de secuencias predeterminadas, de acuerdo a su programa de estudios. La causa de esto es que los maestros tienden a favorecer actividades ligadas a aspectos específicos del programa de estudios. Ellos a menudo titubean en proponer actividades abiertas que las consideran como consumidoras de tiempo y difíciles de evaluar. Los maestros deberían tener la seguridad en el progreso de sus estudiantes y estar más interesados en la provisión de actividades que ofrezcan más experiencias físicas significativas que les ayuden a utilizar el razonamiento inductivo.

Esta investigación de desarrollo en tecnología educativa considera a la robótica como una estrategia significativa para el estudio del desarrollo académico de los estudiantes, porque la robótica propone a la pedagogía actividades que alcanzan los principios del aprendizaje a través de la práctica.

Los maestros tienden a establecer nexos entre sus actividades y el proceso de aprendizaje de sus estudiantes, pero tan solo un número muy

pequeño de esas actividades enriquecen el proceso de aprendizaje inductivo de sus estudiantes. La robótica propone un modelo operacional que se construye con el soporte de una microcomputadora, para acrecentar cambios en los maestros y ayudarlos a enriquecer la lógica de sus estudiantes en la comprensión de la ciencia y sus demás materias con el uso de robots en el salón de clases.

Sabemos cual es la problemática general, y la aplicación de la robótica como soporte en el aprendizaje nos permite justificar el por que es necesario implantar esta disciplina en la educación:

- a) Por la necesidad de favorecer la implicación del profesor en el proceso de aprendizaje del alumno.
- b) Por la necesidad de proveer de herramientas didácticas que se adapten bien a las necesidades de los escolares y,
- c) Por la necesidad de contribuir a los esfuerzos de los educadores quienes permiten utilizar la robótica en clases y hacer así un mejor uso de la tecnología y de la informática en la pedagogía.

La robótica pedagógica propone al profesor implicarse más, acercarse, seguir más estrechamente el proceso cognitivo de los alumnos para saber cuales son sus capacidades de aprendizaje y proveerles de un soporte técnico mejor adaptado a sus necesidades.

La robótica pedagógica se practica y se ejerce en un medio ambiente específico. Se caracteriza por un conjunto de directivas y de procedimientos, ejecutados por un robot que actúa sobre su medio ambiente y que efectúa tareas definidas según las etapas sucesivas de avance que presente el alumno.

La robótica pedagógica constituye un soporte eficaz en el aprendizaje del alumno, en el profesor que quiere observar al educando, y al educando que busca concebir, construir y por su puesto, hacer funcionar su robot. Este escenario se desarrolla evidentemente, en un micromundo que reúne interés por parte del profesor y del alumno alrededor de un problema doble, el de construir un robot y el de analizar el proceso de aprendizaje del alumno. Este proceso común del alumno y del profesor sirve para el planteamiento de preguntas, sugerencias y decisiones que tomará el alumno para concebir su robot y el profesor para ajustar sus intervenciones. Sin embargo, si el robot de un alumno ejecuta adecuadamente las tareas para las cuales ha sido concebido, el profesor podrá entonces reconocer que este alumno ha integrado las nociones y los principios necesarios para su fabricación. Así, el proceso de enseñanza-aprendizaje constituye un aspecto fundamental de esta investigación de desarrollo que presenta la robótica pedagógica como un medio didáctico para favorecer la implicación del profesor en el proceso cognitivo de sus alumnos.

La robótica pedagógica propone al alumno utilizar material de construcción para fabricar su robot y darle una función particular y una forma original. Pequeños motores y sensores electrónicos conectados a una

microcomputadora, permiten al alumno dar a su robot los movimientos deseados. La microcomputadora asegurará el control de los procedimientos de desplazamiento del robot para adaptar sus movimientos a las condiciones específicas del micromundo en el que se desarrollará. Se está ligando entonces la informática, la didáctica y la robótica, para servir a la pedagogía en general. Sin embargo, sabemos que los alumnos prefieren explorar situaciones que los incitan a encontrar soluciones prácticas a problemas concretos. Este proceso cognitivo de tipo inductivo es más espontáneo y más natural para el alumno. Estos desarrollos de la robótica en la enseñanza nos conduce a:

- ♦ Desarrollar con alumnos un robot prototipo.
- ♦ Desarrollar una herramienta informatizada para evaluar sus adquisiciones y precisar su progreso en relación a los objetivos del programa.
- ♦ Desarrollar un programa de control de procedimientos para hacer funcionar al robot sin que los alumnos tengan necesidad de programarlo.

2.5 Robot pedagógico para la enseñanza de la robótica

El estudio del movimiento de robots, de sus brazos manipuladores y herramientas, caen dentro del marco de la cinemática de los cuerpos

rígidos, la que estudia, analiza y cuantifica las relaciones geométricas y cinemáticas de manera general. Las relaciones más relevantes a analizar son:

- ♦ Las configuraciones instantáneas de un robot, durante su movimiento.
- ♦ La posición y orientación instantánea del brazo manejador y la herramienta.
- ♦ Las velocidades y aceleraciones lineales de los centros de articulación, así como del centro de masa de cada uno de los elementos del robot.
- ♦ Las velocidades y aceleraciones angulares de cada uno de sus elementos.
- ♦ Los desplazamientos finitos y las rotaciones finitas que efectúan cada uno de los elementos del robot, a partir de sus configuraciones inicial y final.
- ♦ Obtener expresiones matemáticas que permitan describir y cuantificar el movimiento de cada uno de los elementos expresados por ecuaciones vectoriales o matriciales dependientes del tiempo.

Para tal fin, resulta útil como herramienta matemática el álgebra vectorial o bien el álgebra matricial, con un enfoque práctico, consistente, sistemático y operacional, que permita a los estudiantes de ingeniería mecánica e industrial manejarlo con agilidad y destreza en la solución de problemas reales de proyecto y diseño de robots, a partir de modelos didácticos desarrollados e ilustrados en el salón de clase por un laboratorio portátil de mecanismos.

El propósito didáctico del robot pedagógico cubre los siguientes objetivos:

- 1) Permite al profesor de: Mecánica, mecanismos, servomecanismos y robótica, impartir clases teórico-práctico que facilitan y agilizan el proceso de enseñanza-aprendizaje en el estudio de la cinemática de los mecanismos, así como el análisis de las configuraciones geométricas de los elementos que integran un mecanismo en particular.
- 2) Facilita al estudiante la comprensión, interpretación y cálculo de movimientos planos y espaciales de los diferentes elementos que integran un mecanismo, servomecanismo o robot.
- 3) El estudio y análisis de los mecanismos espaciales le proporcionan al estudiante de ingeniería, las bases para la comprensión de los mecanismos utilizados en los procesos de automatización y robótica.
- 4) Permite al profesor de un curso semestral analizar y resolver mayor número de ejercicios en forma objetiva, de los que normalmente se pueden abordar en los cursos tradicionales.

- 5) Se pretende elevar el nivel académico de los estudiantes de ingeniería, al desarrollar el curso por esta modalidad didáctica.
- 6) Elaboración de material didáctico de apoyo (videofilmaciones) a los cursos de mecánica, mecanismos, servomecanismos y robótica utilizando para su filmación 128 mecanismos con movimientos generales en el plano, 28 mecanismos con movimiento general en el espacio, 42 servomecanismos y 15 prototipos de robots didácticos.

Con la ayuda de la robótica pedagógica como auxiliar didáctico, permite a los profesores del área de mecánica impartir clases teórico-prácticas de mecanismos, servomecanismos y robótica, y al estudiante la comprensión e interpretación de los movimientos planos y espaciales de los diversos elementos que integra un mecanismo o un robot objeto de estudio, análisis y cálculo, capacitándolo para resolver problemas prácticos de la mecánica aplicada, en los que intervienen velocidades y aceleraciones tanto lineales como angulares. La utilización de estas herramientas en clase permite dar una idea clara y precisa a los estudiantes acerca del movimiento de los elementos que integra un mecanismo, servomecanismo o un robot.

2.6 Robot pedagógico en un espacio bidimensional

Para desarrollar conocimiento científico y tecnológico es necesario que el sujeto abocado a esta tarea tenga aquel tipo de pensamiento característico del nivel de las operaciones formales. Sin embargo en diversas investigaciones se ha encontrado que, incluso alumnos de nivel superior no han logrado desarrollar su pensamiento a nivel de las

operaciones formales, por lo que se hace necesario poder contar con estrategias didácticas que permitan que los alumnos logren desarrollar sus estructuras cognitivas de la manera más completa posible. Por tal motivo se hace evidente la importancia de estrategias pedagógicas flexibles, que basadas en el uso de nuevas tecnologías, sean aplicables a diferentes niveles de educación o instrucción. Es decir, se trata de utilizar ésta perspectiva pedagógica a diferentes niveles, tanto con niños cuyo nivel de desarrollo es operatorio concreto, hasta con aquellos que han desarrollado un pensamiento de tipo operatorio formal; como preparación introductoria a la investigación científica y tecnológica, e incluso para la capacitación de trabajadores en el uso de tecnologías derivadas de la robótica.

En nuestra perspectiva, la robótica pedagógica puede cubrir todas estas necesidades siempre y cuando se le utilice de una forma rica, imaginativa y desde una perspectiva pedagógica amplia.

- ♦ Promover el desarrollo de las nociones aplicables al plano cartesiano y las nociones básicas de programación, mediante las acciones de manipulación en un plano bidimensional con un prototipo de robot pedagógico.

La interacción del alumno con el robot tiene dos características fundamentales: En un primer momento, la acción se da de manera directa mediante el impulso manual que provoque el desplazamiento del robot sobre una malla. Posteriormente, los desplazamientos del robot se controlan mediante la computadora y a través de un programa.

Una vez que el alumno comprende, las condiciones fundamentales de funcionamiento del prototipo, se le presenta la opción de iniciar las acciones con el robot, en la parte de la secuencia que él mismo decida, o bien, de adelantarse en la secuencia. Este robot tiene la característica de permitir varias formas de interacción ya que permite que en tiempo real se registren sus movimientos mediante un lenguaje apegado a la geometría cartesiana, el cual puede transferirse a un lenguaje de computación.

El robot está directamente relacionado con el sistema de coordenadas cartesiana. El arreglo y disposición de los elementos estructurales del robot son los siguientes: cuarenta carriles horizontales y otros tantos verticales perpendiculares entre sí. Cada carril es de lámina de aluminio con una longitud de 72.5 centímetros de grueso; los carriles van separados a una distancia de 15 milímetros cada una. El ensamblaje de estos carriles está depositado en una caja de madera. En su parte inferior hay un espacio para introducir hojas de papel de 0.72 X 0.72 centímetros. Un minúsculo robot, de uso manual se encuentra instalado en la malla de tal manera, que se desliza por los carriles en dirección horizontal y vertical y permite la formación de diversas trayectorias.

En la malla, los desplazamientos de avance del robot van acompañados por el encendido paulatino de cada uno de los segmentos sobre los que se desliza el robot. En la pantalla se graficará de manera simultánea. Una cifra corresponderá al número de desplazamientos para el avance y la otra cifra, para indicar el retroceso. En el teclado las flechas que indican las direcciones del cursor (arriba, abajo, izquierda y derecha) permitirán el desplazamiento simultáneo del robot sobre la malla.

Con todos estos elementos se pueden realizar diferentes movimientos a través de la malla, dependiendo mucho de la creatividad e imaginación del alumno, así como de la ayuda del profesor y un manual de prácticas, se podrá sacar el máximo de provecho a esta herramienta pedagógica de gran utilidad en la formación de los alumnos.

Este ejemplo que se acaba de ver, es algo de lo mucho que la robótica pedagógica puede aportar para hacer más fácil el aprendizaje del alumno en el salón de clases.

2.7 La robótica en la adquisición de conceptos

¿Existe un denominador común entre la robótica y la adquisición de un concepto?. Por una parte la robótica se define de manera general como el conjunto de estudios y técnicas que tienen como objetivo implantar sistemas aptos para reemplazar o prolongar operaciones humanas. Por otra parte, la adquisición de un concepto se hace a través de un proceso que conduce a un saber del área a tratar. Creemos que existe un denominador común entre la robótica y la adquisición de un concepto. Este denominador común, este nexo, se manifiesta por la robótica pedagógica que aspira entre otras cosas a adquirir habilidades y nociones científicas, a través de la experimentación práctica del alumno.

Este denominador común, éste vínculo se establece cuando el pedagogo hace uso del robot y la computadora, para permitir al alumno aprender y

descubrir. La robótica pedagógica puede servir de medio para verificar el modelo de adquisición de conceptos matemáticos de Ernestine Lepage¹⁴.

Un modelo de adquisición conceptual en matemáticas de inspiración estructuralista, el modelo de Ernestine Lepage nos parece fácil a ligar con el espíritu de la robótica pedagógica. Además de las etapas de adquisición de un concepto, Lepage ha integrado las reacciones del niño así como la intervención que debe hacer el maestro en cada una de las etapas.

El modelo de Lepage se divide en seis etapas:

1) El rol de los sentidos y de la experiencia en la adquisición del conocimiento.

Esta primera etapa de Lepage propone al niño tocar, manipular mientras que el profesor favorece la exploración, despierta la curiosidad y ofrece al alumno un material adecuado. De la misma manera la robótica pedagógica suscita la curiosidad y el interés del alumno. En efecto este último puede tocar su robot y observar sus maniobras. La presencia del robot, se vuelve elemento iniciador para el alumno de 7-8 años que quiere jugar, y que sin saberlo, tranquilamente, está adquiriendo conocimiento a partir de sus juegos. El robot se vuelve entonces un sujeto de intercambio entre el niño y el profesor.

¹⁴ V. RUIZ-VELAZCO (1992), pp.201-214.

2) Adquisición y evocación de experiencia: la conciencia de los hechos.

Siempre, según Lepage, se trata aquí de una etapa en donde el alumno plantea preguntas y en donde el maestro favorece la percepción, la conciencia del alumno a través de frecuentes reflujos sobre las observaciones hechas por éste. El robot responde a esta segunda etapa. En efecto, cuando el niño manipula su robot, esto le sirve como un elemento dinámico para su aprendizaje. El robot por naturaleza pide que el alumno haga numerosos reflujos de experiencias (que él ya ha hecho). El robot se vuelve pues el elemento central de esta etapa, permite el nexo entre las experiencias y lo que pasa en el momento de la manipulación. En suma, el robot favorece la asociación del alumno, entre el objeto percibido y la experiencia vivida.

3) La representación: las adquisiciones a través de las imágenes mentales.

Esta tercera etapa, se caracteriza por la puesta en relación, por la asociación de la experiencia con el problema vivido por el niño. Por su lado, el profesor favorece los nexos y las comparaciones que permiten la actividad. Las preguntas suscitadas por el maestro permite que el alumno rehaga la experiencia con su robot. El alumno hace imágenes mentales de lo que él le indica al robot y de los resultados que obtiene. El niño puede entonces verificar sobre la práctica si el camino que siguió corresponde a sus expectativas.

4) Adquisiciones, intuiciones y abstracciones.

El niño comienza en esta etapa a dominar el concepto, pero él tiene todavía la necesidad de verificar, él intuiciona la noción sin ser capaz de formularla bien, de verbalizarla, con el robot, se trata en esta etapa de llevar al maestro a cuestionar al niño para permitirle formular los nexos entre la acción del robot y las consignas que el alumno le da. El robot sirve entonces de medio para el maestro quien busca verificar el nivel de integración del concepto por el alumno, es decir, al pasaje de la intuición frágil a la abstracción definitiva. Además, el maestro podrá individualizar el proceso aprovechando la acción que cada niño realiza para determinar el escenario específico que se utilizará con el robot.

5) Conceptos y adquisiciones verbalizadas: la abstracción.

Lo que se concibe bien se enuncia claramente y las palabras para decirlo llegan fácilmente. Esta cita refleja muy bien el espíritu de esta etapa. El niño explica en sus propias palabras el aprendizaje hecho para que el maestro pueda verificar la exactitud. El rol del robot en esta etapa es de ser el instrumento que permite al niño verificar su aprendizaje. El puede de esta manera organizar mejor su pensamiento, sus explicaciones al maestro son más claras, son el resultado de varias experiencias.

6) Conceptos y adquisiciones generalizadas.

En esta etapa el niño comprende e intenta un nuevo enfoque afín de verificar su aprendizaje. El quiere establecer una regla que refleje la adquisición del concepto. El robot como en la etapa anterior permite presentarle al niño escenarios diferentes. El niño explica al maestro y a

sus compañeros el concepto dominado. El niño en esa etapa es capaz de explicar bien el concepto con sus propios ejemplos.

Por esta demostración podemos decir que la robótica tiene su lugar en la escuela elemental. Este tipo de proyectos deben de ampliarse para incorporarles una interface que permitirá a una computadora desplazar el robot según los comandos que el niño le de.

2.8 Modelización en robótica pedagógica

En este punto vamos a examinar los modelos de modelización accesibles en robótica pedagógica. Los modos de modelización pueden ser analizados a fin de señalar, del exterior, el interés de modelizar. También es interesante experimentar modos pedagógicos utilizables para llevar al alumno a modelizar por él mismo un mundo físico y hacerle tomar conciencia de las formas y del interés de la modelización.

Desde un primer punto de vista, la robótica pedagógica permite abordar la modelización como un paso para describir y comprender un mundo físico.

La presencia efectiva y permanente de un mundo físico y su puesta en correspondencia con modelos elaborados por alumnos permite crear situaciones interesantes en el plano cognitivo y pertinentes en el plano didáctico.

Se puede modelizar para controlar un proceso, para predecir su comportamiento. La separación entre la modelización tal como lo practica el matemático (modelización geométrica de un robot por ejemplo) y la modelización tal como lo practica el investigador en ciencias experimentales (descripción de un mundo real a través de leyes, por un mundo físico por ejemplo) es también un tema de estudio interesante. La robótica aparece entonces como un terreno privilegiado en el plano didáctico para exhibir la modelización científica.

El interés de la modelización, de la toma de conciencia de lo que es un modelo parece evidente en el plano metacognitivo. La robótica pedagógica puede aparecer como un enfoque conductor para crear situaciones didácticas ricas, basadas sobre una explicación de las experimentaciones en donde la creación y la manipulación de modelos por el alumno es consciente.

Modos de modelización: analizados por los alumnos para señalar el interés de modelizar y hacer la modelización.

El campo de interés consiste en experimentar modos pedagógicos utilizables para:

- ♦ Llevar al propio alumno a modelizar un mundo físico y,
- ♦ Hacerle tomar conciencia de las formas, del interés de la modelización, del concepto de límite de un modelo.

Primer punto de vista:

Modelar como un proceso para describir, aprender, comprender un mundo físico.

Presencia efectiva permanente de un mundo físico, más la puesta en correspondencia con modelos elaborados por el alumno.

Crear situaciones interesantes desde el punto de vista cognitivo y pertinentes desde el punto de vista didáctico.

Desde el punto de vista cognitivo:

El interés capital es el de: trabajar la relación “describir para comprender”.

Desde el punto de vista didáctico: el interés es el de trabajar la relación “describir para mostrar qué se ha comprendido”.

Segundo punto de vista: Modelizar.

- ♦ Para controlar un proceso,
- ♦ Para predecir el comportamiento del mundo.

Separación entre actitud y práctica de la modelización por:

- ♦ El matemático, modelización geométrica de un robot.
- ♦ El investigador en ciencias experimentales (un físico), descripción de un mundo real por leyes,
- ♦ Proceso de construcción de esas leyes,
- ♦ Examen de los límites de esas leyes.

La robótica es un terreno privilegiado en el plano didáctico para exhibir parecidos y diferencias de actitudes intelectuales en el proceso de modelización científica.

2.9 Ventajas y desventajas de la robótica pedagógica

Controlar y manipular tecnología es un trabajo que muchas veces realizamos sin profundizar realmente en lo que estamos haciendo. Al igual que muchas otras tareas o actividades de nuestra vida cotidiana, como caminar, correr, comer, etcétera, que las desempeñamos de manera casi automática. Esto, porque estas actividades resultan tan conocidas y repetitivas que no necesitamos explicitar el conjunto de pasos o actividades necesarias para llevarlas a feliz término.

De esta forma, se pretende mostrar que el simple control y manipulación de tecnología no puede ser tan provechoso desde el punto de vista cognitivo y didáctico, como el aprendizaje que se puede realizar a través del recorrido cognitivo durante el diseño, armado, desarmado, programación y control de la misma tecnología. Para esto es necesario contrastar las ventajas y desventajas que nos ofrece la robótica industrial para dar cuenta de la primera forma de uso de la tecnología y por otra parte, mostrar alguna de las bondades de la robótica pedagógica, tales como permitir aprendizajes significativos de base, que permiten la construcción del conocimiento a través de la apropiación de esta misma tecnología.

Centremos nuestro interés en el estudio de la robótica y la robótica pedagógica como medios de enseñanza-aprendizaje y no como objeto de estudio. Para esto, comenzaremos por mostrar los requerimientos, las ventajas y desventajas de la robótica y de la robótica pedagógica, iniciando con el análisis de sus características.

Dado que la robótica es una ciencia multidisciplinaria, exige conocimientos profundos de mecánica, electrónica, informática y electricidad para llegar a la construcción de un producto (robot) funcional.

Podemos hacer una división de las principales componentes de una unidad robótica o un robot prototipo, más adelante veremos a detalle cada una de estas etapas.

La primera parte sería la de lógica y control, una segunda parte se encargaría de la decodificación de los comandos , una tercera parte se refiere a la parte de potencias y finalmente el módulo mecánico que comprende propiamente dicho el cuerpo del robot.

Aún cuando se piense en la construcción de un robot o un proyecto de robot sencillo, de fácil construcción; se exige de la parte del constructor conocimientos especializados dado el grado de complejidad que implica el diseño, construcción y puesta en marcha de un robot.

Para su construcción hay que tomar en cuenta el control de las unidades robóticas, motores (giros), posibles movimientos; el interfaceamiento directo del módulo de potencia con la salida de la micro-computadora y el

uso general de los sensores; el control total del funcionamiento a través de un programa; el movimiento de los motores y su control por impulsos.

La realización de cada una de estas fases o etapas implica el conocimiento y aplicación de conceptos de electricidad, electromecánica e informática y resulta un poco difícil conjuntar el dominio de estas áreas.

Ahora bien, por otro lado, existen actualmente bastantes posibilidades de construcción y experimentación con robots sencillos. Algunos de estos proyectos y materiales de construcción de robots se encuentran disponibles en el mercado. Únicamente se deberá proceder al armado de piezas. Pero para que estos substratos tecnológicos puedan llamarse robots, sus mecanismos deben de ser programables mediante una computadora y desde el teclado se pueda poner en movimiento al robot a través de un conjunto de instrucciones que han sido previamente grabadas en la memoria.

Si observamos en detalle, nos daremos cuenta de que en ambos casos se requiere de la aplicación de ciertos conocimientos aunque de distinta manera, esto es, en cuanto al grado de reflexión y profundidad.

Si pensamos en el primer caso, es decir en la construcción de un robot industrial ¿cuáles serían los conocimientos que tendríamos que aplicar para poder manipular este robot industrial?. En un principio, es evidente que geometría. Por lo tanto, no existe verdaderamente un problema puesto que no se requiere por parte del alumno de una reflexión profunda sobre el espacio físico en donde se va a mover el robot ni de sus propiedades.

Ahora bien, si la tarea del alumno consiste en "programar" el comportamiento del brazo manipulador y ejecutarlo de manera automática, su tarea ya no será trivial. En este caso, el alumno tendrá que distinguir y coordinar el espacio del robot y el espacio de trabajo en donde actuará el robot.

Por otra parte, ¿Qué tendríamos que saber para interactuar con un robot pedagógico? Pues casi nada, dadas las características psicopedagógicas y didácticas de los robots pedagógicos. Pero la tecnología evoluciona a pasos agigantados. En robótica industrial existen usuarios "especializados" cuyos saberes la mayor parte de las veces se encuentran fraccionados, por lo tanto se sienten amenazados y rebasados constantemente por la tecnología. En realidad no cuentan con una formación tecnológica de base que les permita dar cuenta del cambio continuo de la tecnología, esto es, apropiarse de la tecnología, utilizarla e integrarla a su vida de forma natural.

Lo anterior se debe quizás a que en robótica industrial se da de manera fraccionaria, sin la creación de un medio ambiente tecnológico propicio para la resolución de problemas. Armar, montar, ejecutar una tarea mediante un robot no basta, es necesaria una integración (hacer robótica sin saber necesariamente robótica) y formación multidisciplinaria; que se conciba, construya, diseñe, manipule, utilice, planifique y reflexione sobre la ejecución de una tarea, que se innove, es decir que se inventen sus propias reglas mediante la inducción experimental.

En resumen por lo expuesto anteriormente la robótica pedagógica se revela como una "alternativa tecnológica" con un gran porvenir dentro del terreno educativo.

3. Diseño del robot pedagógico

En este capítulo desarrollaremos básicamente el diseño del robot pedagógico y resaltaremos la gran ayuda que ofrece a la educación, usándola como una herramienta pedagógica en las escuelas. Veremos entonces el diseño de cada una de sus etapas, así como la relación que se presentan entre ellas, el diseño del chasis, el programa manejador del robot y al final se concluye sugiriendo aplicaciones en particular del robot y propondremos algunas aplicaciones que se pueden desarrollar más adelante por alguna persona que se interese en retomar el proyecto.

Es conocido el vínculo que tiene la pedagogía de ciencias experimentales y la educación tecnológica como lo es la informática, junto con la robótica pedagógica, pues dentro de estos campos se requiere un medio ambiente tecnológico adecuado, con implicaciones personales de cada individuo en la resolución de problemas y todo esto se logra mediante la adquisición de un pensamiento sistemático. A partir de esto cada persona debe percibir los problemas, imaginar soluciones, formarlas, construir las y ponerlas a prueba, solo mediante objetivos firmemente construidos es como se logra comprender un problema y es la vía más adecuada para mejorar las hipótesis creadas.

El desarrollo de un robot pedagógico que logre realizar estos objetivos será definitivamente una herramienta de gran utilidad en el mundo de la enseñanza, ya que permite que el proceso de aprendizaje sea más ameno y efectivo, es por eso que la robótica pedagógica es un terreno privilegiado que trataremos de abordarlo con el diseño del robot pedagógico diseñado en este capítulo.

3.1 Justificación del robot pedagógico

La robótica es una consecuencia de la segunda guerra mundial y desde esos momentos a la fecha ha ido penetrando firmemente en las actividades que el ser humano desempeña a diario, presentándose como una herramienta auxiliar en el desempeño de labores repetitivas y peligrosas que no se podrían llevar a cabo con la misma seguridad y exactitud sin la intervención de esta valiosa ayuda. Por ejemplo en el control de procesos nucleares, ensamblado de automóviles, procesos de producción a gran escala, la agricultura, entre otros. Por tal razón, si la robótica nos ayuda a reducir notablemente el trabajo laborioso y muchas veces aburrido ¿porqué no utilizarla para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en un salón de clases?. Basándonos en las facilidades que hoy en día la robótica nos ofrece proponemos el empleo de un robot pedagógico que nos permita fortalecer el proceso de enseñanza en alumnos que demandan un conocimiento técnico y práctico sobre el control de dispositivos móviles a través de una computadora. Es por eso que se considera a la robótica como una estrategia didáctica bien definida para el desarrollo académico de los estudiantes, alcanzando el conocimiento al interactuar de manera práctica con el robot

conduciéndolos a encontrar soluciones inmediatas a problemas muy concretos.

Veamos un ejemplo de como la robótica pedagógica puede ayudar a un grupo de personas a aprender de una manera sencilla sus labores.

Cada día, se ve más frecuente la preocupación de las empresas por buscar nuevas formas de actualizar el mayor número posible de empleados en sus labores cotidianas, pero debido a los desfases que hay entre la vieja tecnología y la nueva, ciertos empleados no están preparados para recibir información específica, pero como dijo Martial Vivet en sus investigaciones, "el robot pedagógico puede servir de objeto de exploración". Dicha exploración puede servir de objeto de aprendizaje de nociones pluritécnicas, como la mecánica, la física, la informática, las matemáticas, etcétera. Por otro lado los empleados que están preparados para recibir información técnica apropiada, a menudo se ven en la situación de aprender por ellos mismos, por ejemplo el funcionamiento de un robot, utilizando manuales, programas y videos. La robótica pedagógica a través de simulaciones apropiadas, puede ayudar a dichos empleados a facilitar el proceso de robotización en el seno de dichas empresas.

La robótica pedagógica a causa de su polivalencia y a causa de su fuerza de evocación, puede ser útil no nada más para transferir la tecnología, sino más bien para ayudar el desarrollo de una verdadera cultura tecnológica y científica, de manera que las sociedades estén en medida de desarrollar su propias tecnologías.

3.2 Ventajas del uso de una computadora en el manejo del robot

La computadora personal es una herramienta que nos ayuda a realizar cálculos laboriosos y complicados que de otra manera nos resultaría difícil realizarlos si los lleváramos a cabo de manera manual. Así, la computadora como cualquier otra herramienta de la revolución cibernética, es de fundamental importancia en la conquista de la naturaleza por el hombre. Usar la computadora como herramienta es dar al hombre una "computadora en la mano", una percepción más eficaz de su medio físico e intelectual. Al unir al hombre y a la computadora se logran realizar cosas que ninguno de los dos puede hacer por sí mismo.

El uso de la computadora como un sistema de soporte tiene las siguientes ventajas:

- a) Cuenta con un programa de control fácilmente variable al estar realizado por "software".
- b) Opción de controlar otras funciones auxiliares.
- c) Posibilidad de almacenar en gran parte de la memoria datos y programas de utilidad.

Así, al utilizar la computadora en el control del robot pedagógico, ésta se puede encargar de la generación de las secuencias de estados, así como de las señales de tiempo y funciones auxiliares, también puede ofrecer la

información digital sobre la posición y los comandos de arranque y parada, dejando la generación de las señales de control de fase de los motores a un controlador de propósito específico.

3.3 Etapas del diseño del robot pedagógico controlado por cable

En este punto se diseña el robot pedagógico controlado por cable, presentando el diseño de cada una de sus etapas que lo constituyen que en este caso son: Una computadora personal (PC), una interface óptica de 5 bits, un transmisor de datos paralelo/serie, un receptor de datos serie/paralelo, etapa de control, etapa de potencia, motores de paso, fuente de energía, reducciones mecánicas, diseño del chasis y un programa en BASIC.

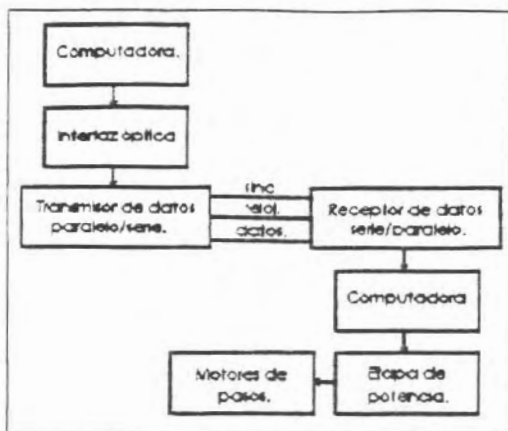


Figura 3.1 Diagrama a bloques del robot controlado por cable.

En la (figura 3.1) se presenta el diagrama a bloques del robot pedagógico controlado por cable.

Cada una de estas etapas se ha construido y probado de manera separada para comprobar su buen funcionamiento, posteriormente se fue integrando etapa por etapa hasta reunir el conjunto completo.

La sencillez y modularidad es de vital importancia en este tipo de proyectos que se encuentran en estrecho contacto con los estudiantes, los cuales desean crear sus propios prototipos basándose en los principios básicos de control robótico empleados en el proyecto. Así se ven motivados a desarrollar sin ningún temor sus propios diseños o en su defecto perfeccionarlo o ampliarlo proponiendo aplicaciones afines a sus necesidades intelectuales.

3.3.1 Consideraciones de la computadora controladora del robot

Para poder controlar al robot se necesita contar con una computadora personal con un microprocesador que sugerimos sea a partir del 286 hasta el más reciente, haciendo notar que básicamente cualquier computadora por sencilla que sea pero que pueda correr el QBASIC es suficiente para utilizarla en el control del robot. El monitor es otro aspecto que hay que tomar en cuenta, se puede utilizar un monitor monocromático en donde se observan perfectamente las gráficas, aunque si se cuenta con un monitor VGA a color resultaría mejor para que se distingan los movimientos del robot a través de la pantalla.

Entonces prácticamente cualquier computadora se puede usar para ejecutar el programa que controla al robot ya que el operador del robot lo único que tiene que hacer es trazar el recorrido del robot con la ayuda de las teclas del cursor, luego la computadora se encargará de traducir esos movimientos a un código que sea comprendido por la lógica de control del robot. Las señales de control generadas por el sistema, han de tener en cuenta las restricciones que impone el motor, la carga y el circuito de adaptación.

El tiempo de ejecución de las instrucciones en el programa QBASIC dependen del tipo de computadora que se esté utilizando, así la ejecución de un ciclo en una computadora 286 diferirá notablemente en una máquina 486 o PENTIUM quedando a consideración del usuario así como el tipo de máquina que esté utilizando determinar el tiempo de ejecución de una

instrucción de retardo y la velocidad con que el programa se ejecuta, esto con la finalidad de obtener una noción del tiempo que se lleva el robot en responder a las instrucciones enviadas por la computadora.

3.3.2 Puerto paralelo y acoplamiento óptico.

Todas las computadoras personales utilizan una interface paralela de 8 bits para comunicarse con la impresora. La interface mencionada es denominada paralela, porque permite la transferencia de 8 bits (1 byte) simultáneamente. La interface nos permite obtener la información del puerto de la computadora accedando a la dirección 378h mediante un programa de computo en la que se obtiene señales digitales (bits) de salida que son compatibles con la lógica TTL (Transistor Transistor Logic) que nos permiten realizar proyectos en los se emplean voltajes de 5 voltios, como por ejemplo: el control de un convertidor analógico digital mediante la computadora para realizar un sistema de adquisición de datos. De esta manera nos evitamos el uso de circuitos de conversión de voltaje de los empleados en las transmisiones en serie. El acoplamiento óptico se logra básicamente por optoacopladores, logrando con esto aislar el puerto paralelo con el resto del circuito, adquiriendo con esta implementación, la seguridad de que si se cometiera por equivocación un corto circuito, el puerto de la computadora no se dañaría ya que al estar manejando corrientes que sobrepasan los 1.5 Amp., sería inminente el daño ocasionado al puerto. Con el uso de los acopladores ópticos en el caso de que se presente algún problema los que sufrirían algún daño serían los optoacopladores.



Un optoacoplador u optoaislador es un dispositivo que incluye en su interior una fuente de luz corta tal como una lampara incandescente, una lampara de neón o un diodo emisor de luz (LED) que se encuentra a un lado de un sensor óptico como por ejemplo, un fotoconductor resistivo, fotodiodo, fototransistor u otro tipo de sensor. Estos dispositivos se encuentran usualmente encapsulados para que únicamente la luz de la fuente interna encuentre el camino a la superficie activa del sensor¹⁵, en la (figura 3.2) se muestra el diagrama de los diferentes optoacopladores que existen y la configuración del circuito optoacoplador que se utilizó en el diseño de la interface.

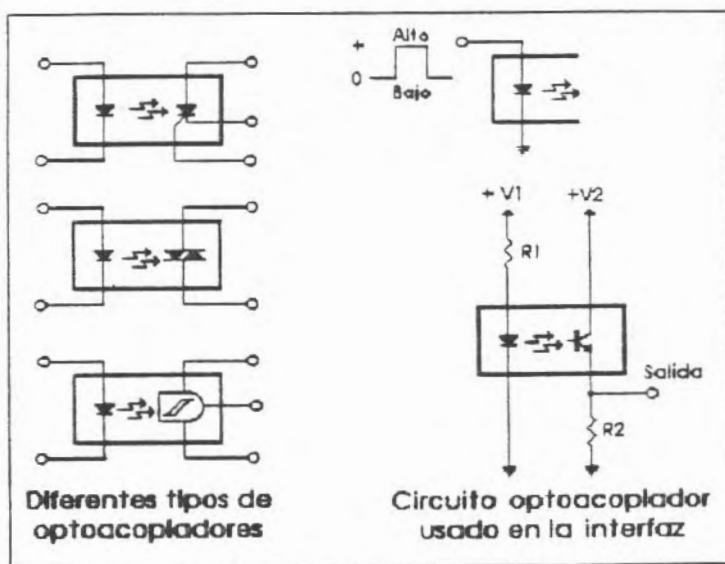


Figura 3.2 Diferentes tipos de optoacopladores.

¹⁵ V. CARR, 1992, pp.53-57.

La interface óptica está formada por 5 optoacopladores cuya función es aislar a la computadora de la alta corriente proporcionada a los motores de pasos. En la (figura 3.3) se muestra el diagrama esquemático de el interface óptico conectado al puerto de la computadora.

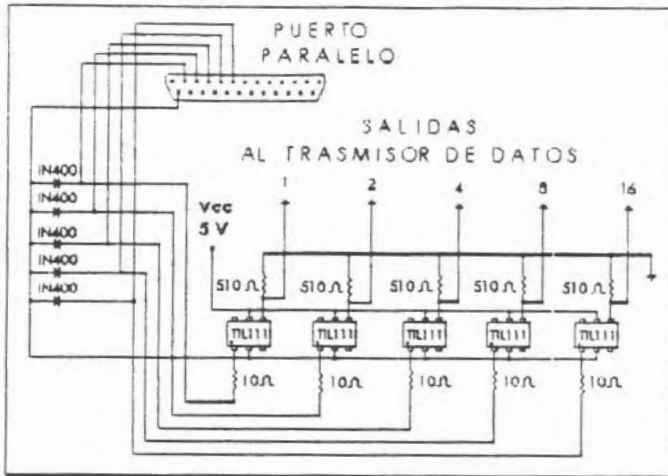


Figura 3.3 Interface óptica hacia la computadora.

Hay que notar que la selección de los valores de los resistores en las patillas 1 y 4 del optoacoplador TIL111 son determinantes para obtener la corriente suficiente para el buen funcionamiento del circuito. En primer lugar para activar correctamente el led emisor del TIL111 se utilizó un resistor de 100 Ω obtenida de la siguiente ecuación $R1 = ((-V) - V_d) / I_L$, suponiendo una corriente que según la hoja de especificaciones puede ser de 20 o 35 mA como valores típicos y un voltaje de 5 voltios a una corriente de 33 mA obtenemos el valor del resistor antes mencionado. En segundo

lugar obtener la corriente necesaria en el transistor de salida para alimentar posteriormente al circuito de transmisión de datos, si la resistencia fuera mayor la corriente disminuiría, por tal motivo se eligió un resistor de 510Ω la que nos proporciona una corriente de 20 mA que es lo necesario para activar correctamente circuitos TTL.

3.3.3 Etapa de transmisión de datos paralelo/serie

Una aplicación típica de datos en serie entre dos módulos se presenta en la (figura 3.4), donde se conectan normalmente tres señales entre un módulo fuente y un módulo destino para realizar la transferencia¹⁶.

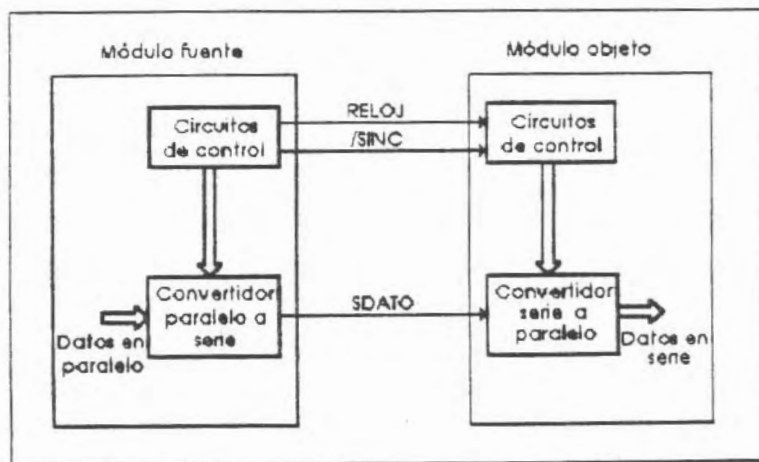


Figura 3.4 Módulo fuente y objeto de transferencia de datos.

¹⁶ V. WAKERLY, (1982) pp. 433-435.

El diseño de esta etapa nos permite reducir el número de cables que se conectan al robot ofreciendo al estudiante la oportunidad de conocer el diseño, la construcción y operación de circuitos transmisores de datos.

Reloj : Señal que proporciona la referencia de tiempo para las transferencias, al definir el tiempo para transferir un bit.

Sincronización : Proporciona un punto de referencia para la definición del formato de datos, como el inicio de un byte o palabra en el flujo de datos serie.

Datos serie : Los datos que se transmiten en una sola línea.

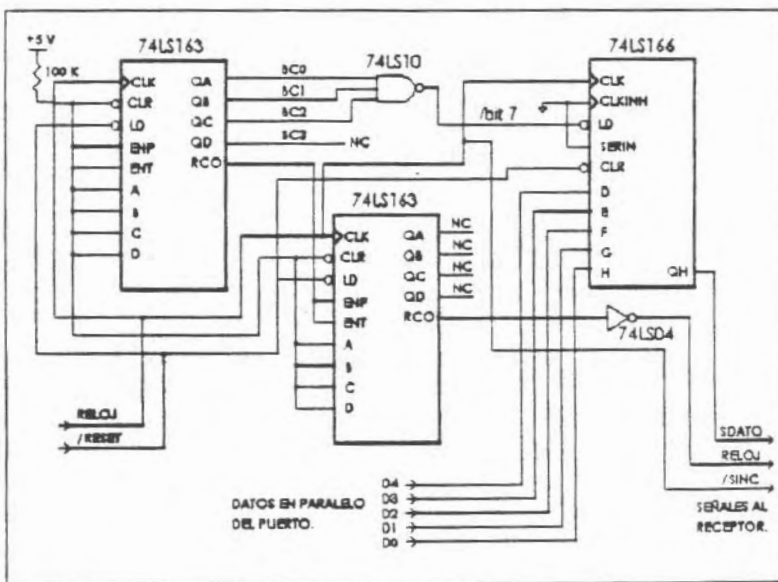


Figura 3.5 Transmisor paralelo/serie.

La (figura 3.5) muestra un circuito que convierte datos paralelos a un formato serie mediante dos contadores 74LS163 alambrados como un contador módulo 256 en carrera libre para determinar el marco. Los cinco bits de orden superior y los tres de orden inferior son el número de intervalo de tiempo y el número de bit respectivamente. Un registro de corrimiento 74LS166 de entrada en paralelo realiza la conversión de paralelo a serie, el bit cero del dato paralelo se conecta a la entrada del 74LS166 más próxima a la salida de datos, transmitiéndose los bits serialmente en el orden de 0 a 7.

Durante el bit 7 de cada intervalo, la señal /bit 7 está activa, lo que ocasiona que se cargue el 74LS166 con los datos en paralelo. El valor de los datos D0-D7 no tienen importancia, excepto durante la ventana de los tiempos de fijación y retención alrededor del flanco del reloj en que se carga el 74LS166.

Las características de tiempo de las señales a transmitir son:

La señal de RELOJ tiene una frecuencia de 1 KHz que permite la transmisión de 32×3.90625 bytes por segundo (125 bytes por segundo). El ancho de pulso de 1 bit en la señal /SINC identifica el inicio del intervalo de 256 milisegundos, llamado marco. Se transmite un total de 256 bits en SDATO durante este intervalo, el cual se divide en 32 intervalos de tiempo que contienen 8 bits cada uno.

Si se quiere transmitir a velocidades más altas, se tiene que modificar la frecuencia de trabajo, por ejemplo si se quisiera transmitir a 16 Kbauds la frecuencia de trabajo sería de 16.384 KHz logrando transmitir 64 x 32 bytes por segundo (2,048 bytes por segundo). Para el robot pedagógico es suficiente una frecuencia de trabajo de 1 KHz ya que los 125 bytes por segundo que se transmiten a esta frecuencia hace posible el buen desempeño en el robot, ya que la lógica de control necesita únicamente el primer byte para accionar los motores de paso teniendo que esperar los restantes 124 bytes para que se envíe otro byte diferente.

Esta etapa nos presenta la posibilidad de enviar mensajes de manera serie para hacerle llegar la información al robot a la etapa de recepción de datos para poder decodificar las instrucciones que tenga que realizar en su trayectoria. Hay que tomar en cuenta que el cable que se emplee no exceda más de 3.5 metros ya que si sobrepasa de este límite se presentarían pérdidas de información, precisamente por sobrepasar la distancia estipulada. Si se quiere entregar la información a distancias más extensas de los 3.5 metros, se requerirá entonces de la utilización del puerto serie, ya que este cuenta con el nivel de voltaje suficiente para alcanzar esta distancia. La etapa de recepción la veremos en el punto que sigue.

3.3.4 Etapa de recepción de datos serie/paralelo

Esta etapa se encarga de convertir los datos seriales de nuevo a formato paralelo usando el circuito de la (figura 3.6). Un contador módulo 256

construido con un par de 74LS163 se usan para reconstruir la entrada de tiempos y números de bits. La señal /SINC está activa durante el estado 255 del contador en el módulo fuente, /SINC carga al contador del módulo destino con 0, pasando ambos contadores a cero con el mismo flanco. Todo el byte recibido está disponible en la salida paralela del registro de comienzo 74LS164 durante el período de reloj siguiente a la recepción del último bit (7) del byte. Los datos paralelos tienen "buffer" doble; una vez recibido por completo, se transfiere a un registro del 74LS377, donde está disponible por ocho períodos de reloj hasta que se reciba el siguiente byte. Hay que hacer notar que de todo el byte que se transmite solo los primeros 5 bits son los que contienen información para mover los motores de paso, los 3 bits restantes no llevan información alguna pero se requieren para completar el conteo y no complicar más el diseño.

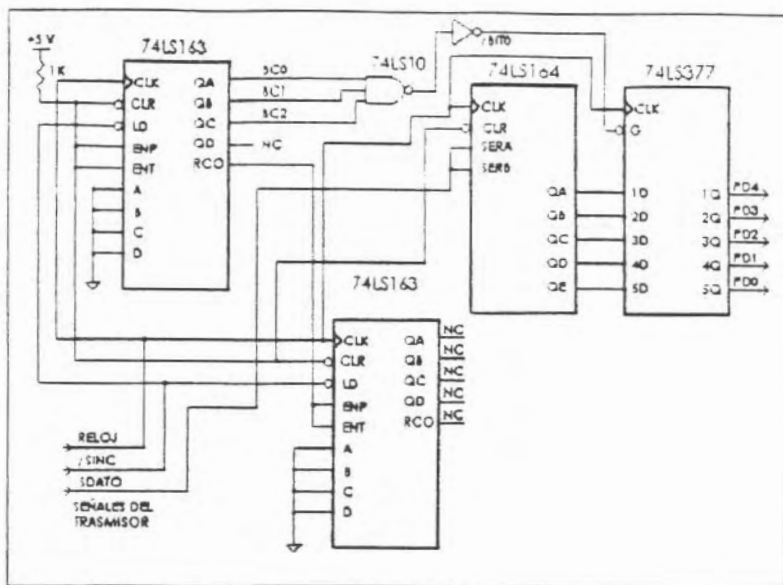


Figura 3.6 Receptor serie/paralelo.

La señal /BIT0 habilita el 74LS377 para que se cargue en el tiempo apropiado. Una vez recibido el dato, este puede almacenarse o modificarse fácilmente mediante otros circuitos digitales como la etapa de control que recibe los datos, los decodifica para que puedan ser interpretados adecuadamente por los motores de paso y así mover al robot.

Además del empleo que se le está dando al transmisor y receptor, esta técnica que se utilizó se puede emplear para mandar datos a otros dispositivos de control que el alumno puede diseñar y emplear en futuros proyectos.

3.3.5 Etapa de potencia

Los motores están acoplados a un módulo de potencia, el que se encarga de generar la corriente necesaria para accionar correctamente los motores de paso, la secuencia de pasos se muestra en la (tabla 1), una buena regulación del movimiento de los motores exige el diseño de un control apropiado.

DEC	DER	1 2 4 8 16	IZQ
29	↑	0 1 0 1 1	↓
9		1 0 0 1 0	
21		1 0 1 0 1	
6		0 1 1 0 0	
10		0 1 0 1 0	
25		1 0 0 1 1	
5		1 0 1 0 0	
22		0 1 1 0 1	

SECUENCIA DE PASOS
DERECHA/IZQUIERDA

DEC	AVA	1 2 4 8 16	RET
26	↑	0 1 0 1 1	↓
25		1 0 0 1 1	
21		1 0 1 0 1	
22		0 1 1 0 1	
10		0 1 0 1 0	
9		1 0 0 1 0	
5		1 0 1 0 0	
6		1 0 1 0 0	

SECUENCIA DE PASOS
AVANZAR/RETROCEDER

Tabla 1 Secuencias de pasos del motor.

En general, el sistema de control recibe las señales de velocidad y el sentido de giro y genera la secuencia de impulsos eléctricos. La frecuencia de operación máxima en el motor de pasos de 7.5 grados queda determinado por la frecuencia de operación de los ciclos de retardo que genera la computadora por ejemplo, para una velocidad angular de 75 revoluciones por minuto (r.p.m.) se necesita un periodo de 4 milisegundos, ahora para que el motor de una vuelta completa en 1 segundo se necesita

una frecuencia de 1.2 KHz, está claro que para velocidades mínimas no hay límite (incluso se puede llegar a dar una vuelta cada 24 horas), pero para velocidades excesivas el motor de pasos no alcanza a responder entre los cambios de un estado a otro. Las entradas de la etapa de potencia se conectan de manera directa a la etapa de recepción de datos serie/paralelo y sus salidas a las bobinas del motor de pasos.

El controlador de los motores de paso de 4 fases, básicamente está formado por un solo circuito que es un manejador darlington de 8 unidades conocido comercialmente como el ULN2803A¹⁷, también llamado "buffer" amplificador, este circuito nos permite manejar una corriente de hasta 8 cargas de 500 mA con un voltaje máximo de 50 voltios de corriente directa (C.D.) por carga, suficiente para excitar a los motores de paso.

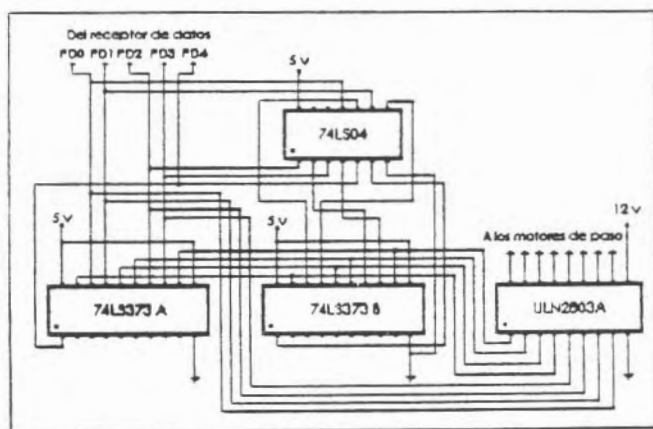


Figura 3.7 Diagrama esquemático de la etapa de potencia del robot por cable.

¹⁷ V. EADY, 1981. pp. 83.

El circuito también cuenta con diodos supresores de protección que lo protegen de los transitorios generados por la propia conmutación de los devanados del motor, además de este circuito la etapa de potencia necesita de 2 circuitos más, que se encargan de controlar la secuencia de salida para alimentar las bobinas del motor, estos circuitos son el 74LS373 que es un "latch" octal tipo D con salida de tres estados, (ver figura 3.7) el empleo de estos "latches" tienen 2 funciones; en primer lugar nos permite utilizar 5 líneas de activación en lugar de 8 líneas y en segundo lugar opera únicamente con un solo ULN2803A, además de simplificar el código de secuencias de salida para los motores de paso.

Los dos circuitos 74LS373 se activan en modo "toggle", es decir, cuando un circuito de estos está activado el otro se desactiva y viceversa. Cuando se reciben los datos, los bits ya transformados del formato serie al paralelo pasan a un canal de 4 bits que se dirigen al 74LS373 (A), el mismo canal con los mismos datos pero pasando primero a un inversor 74LS04 para invertir sus valores llega al segundo circuito 74LS373 (B).

El 74LS373 (A) genera los datos para el motor izquierdo y el 74LS373 (B) para el motor derecho. Cuando al recibir los 5 bits de datos provenientes del receptor el bit más significativo tiene un valor alto ("1"), quiere decir que el 74LS373 (A) contiene el valor de los 4 primeros bits tal y como se recibió, deshabilitando la salida y poniéndolo en un estado de alta impedancia, en cambio el 74LS373 (B) activa sus salidas debido a que el valor del quinto bit que es ("1") pasa por un inversor teniendo finalmente una salida de ("0"). Para activar las salidas del 74LS373 se necesita un

valor ("0") en la patilla 1 y para deshabilitarlas un ("1"). El sentido de giro de los motores en base a las secuencias generadas se mostró en la (tabla 1).

La alimentación de la unidad de potencia se compone de 2 voltajes, uno de 12 V a 3 Amp. que alimenta al ULN2803A y a los motores de paso, y uno de 5 V a 1 Amp. que alimentan a los 74LS373 y los circuitos TTL del transmisor y receptor.

3.3.6 Los actuadores

Los motores de paso del robot pedagógico son de la empresa Copal Electra modelo SP-57 y sus características físicas y eléctricas son:

- Motor de imán permanente.
- Motor de cuatro fases, NP=4.
- Número de dientes del rotor, Nr=48.
- Movimiento del rotor =7.5 grados
- Corriente por fase =500 mA.
- Razón de pasos =48 pasos /revolución.
- Velocidad angular = 60f/200 (r.p.m.).

Las características físicas y eléctricas de un motor de pasos son de vital importancia en el diseño de un controlador¹⁸.

¹⁸ V. URBIETA, 1996, pp. 38-43.

Los motores de imán permanente constan de un imán dentado en toda su longitud, y de un estator compuesto por una serie de bobinados, el funcionamiento de este tipo de motores se basa en las fuerzas electromagnéticas creadas por la atracción y repulsión de los polos magnéticos, el movimiento del rotor se logra generando una secuencia apropiada de conmutación en la conexión de la alimentación a las bobinas¹⁹, (ver tabla 2).

En general los motores de paso son de potencia baja, económicos, limpios y sus circuitos de control son sencillos y eficientes.

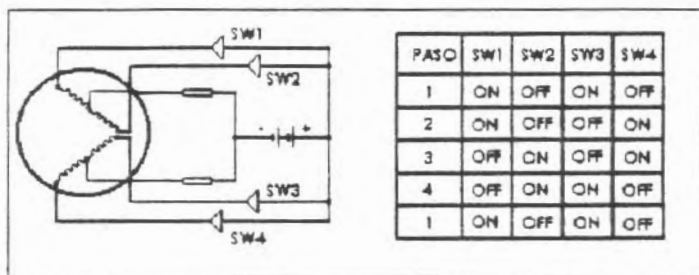


Tabla 2 Conexión de la alimentación al motor de pasos.

Dada la naturaleza de los motores de paso, existen circuitos integrados que generan secuencias de excitación a las bobinas como el SAA1027 de Philips y manejadores de corriente como el ULN2803A, el ULN2003, el SN75439, en nuestro diseño incluimos al SAA1027 y el ULN2803.

¹⁹ V. ANGULO, 1982, pp. 113-114.

Los circuitos que se emplearon para el manejo de los motores de pasos tienen sus ventajas y desventajas. Por ejemplo el SAA1027 genera la secuencia de estados para accionar al motor de pasos, en base a una señal de reloj que es la frecuencia a la que va a trabajar, es decir, este circuito solo necesita un reloj y tres señales de activación, uno para girar en sentido horario y antihorario, un segundo para la entrada de pulsos de reloj y el tercero para el restablecimiento²⁰. En cambio el ULN2803A contiene diodos y transistores de potencia, pero para generar la secuencia de estados es necesario contar con circuitos auxiliares y una computadora personal para que genere la secuencia de los pasos para el movimiento del motor via un programa de computadora.

3.3.7 Alimentación del sistema

Todo el diseño del sistema del robot opera con una fuente de 5V @ 1 Amp. para los circuitos lógicos de transmisión y recepción y 12 V @ 3 Amp. para el circuito manejador de los motores de paso. Hay que tomar en cuenta que al estar utilizando contadores para proporcionar las direcciones de almacenamiento a la memoria (2114) es conveniente colocar un capacitor de 10 μ F para evitar el ruido y no alterar el conteo.

La fuente que se seleccionó para trabajar con el sistema robótico debe tener buenos disipadores de calor, ya que el consumo de corriente es considerable y la fuente puede sufrir calentamientos excesivos lo cual

²⁰ V. ANGULO, 1992, pp. 128-132.

ocasionaría un mal funcionamiento que podría dañar al resto de los circuitos.

El usuario debe ajustarse a las características mencionadas de la fuente, ya que de no ser así, el sistema no operará correctamente.

3.4 Etapas del diseño del robot pedagógico controlado por memoria

En este punto presentaremos las diferentes etapas que forman el diseño del robot pedagógico controlado por memoria, el robot está formado por una interface óptica con la computadora, contadores, entrada de datos provenientes de la computadora, almacenamiento temporal, transceptor de datos, almacenamiento en memoria RAM, monoestables y biestables, etapa de potencia, motores de C.D. y modos de configuración.

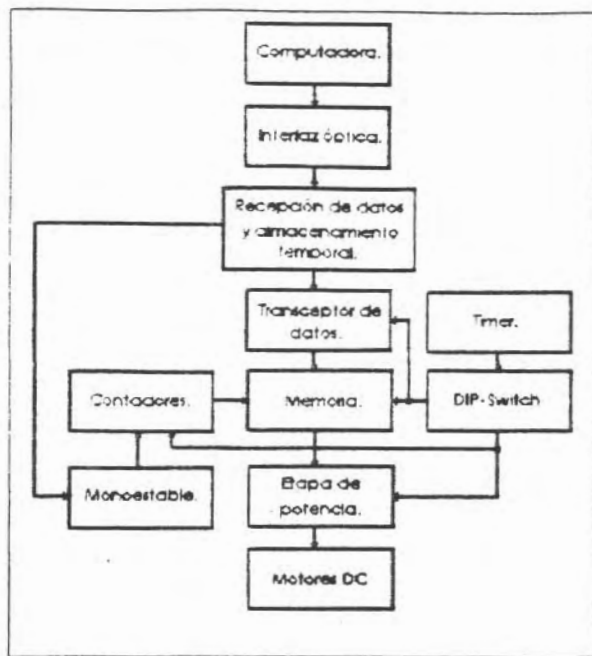


Figura 3.8 Diagrama a bloques del robot controlado por memoria.

En la (figura 3.8) se muestra el diagrama a bloques de las etapas que forman al robot pedagógico controlado por memoria, las cuales serán detalladas más profundamente en los siguientes puntos.

Cada una de estas etapas están ligadas entre sí, hay que aclarar que se utilizó la misma interface empleada en el robot controlado por cable que es de 5 bits, pero ahora en este caso la interface se redujo a 4 bits (no empleando el optoacoplador con el bit más significativo), por que ahora, no es necesario saber en donde se quedó la secuencia de estados para cada

movimiento de la rueda, en el robot controlado por memorias los motores son de C.D. y no se necesita conocer una secuencia de estados.

La información enviada por la computadora para mover los motores de C.D. se almacena en una memoria RAM para posteriormente recuperar las secuencias almacenadas y mover correctamente al robot.

El recorrido se traza primeramente en el monitor, para que después se almacene en la memoria del robot conectando un cable del puerto paralelo de la computadora al robot, de esta manera la información se transfiere y se almacena. Una vez que se termina de grabar los datos se desconecta el cable y se pone en marcha el robot recuperando los datos de la memoria, para que el robot sepa cuando se graban y se leen los datos de la memoria hay que configurar estos estados mediante la configuración de unos microinterruptores que se activan de forma manual por el usuario.

3.4.1 Contadores

Los contadores son circuitos que se encargan de generar la secuencia de direcciones para que se almacene la información proveniente del puerto paralelo de la computadora en la memoria RAM. La memoria RAM a la que se le proporcionarán las direcciones provenientes de los contadores es un circuito comercial con el nombre de 2114 de 4 K bytes, los contadores son circuitos TTL con los nombre comerciales de 74LS393 y 74LS193 (ver figura 3.9). Se utilizó un 74LS393 para ahorrar un circuito contador y no usar 3 circuitos 74LS193.

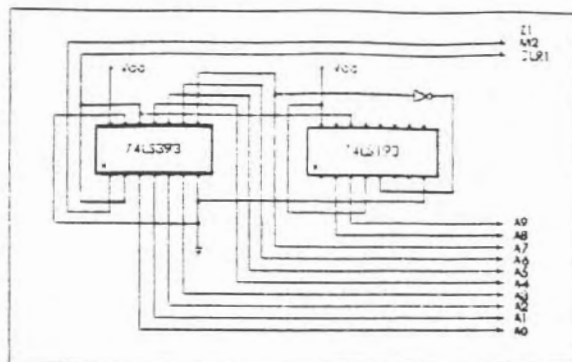


Figura 3.9 Etapa de conteo de direcciones.

El primer contador, el 74LS393, es el que genera los 4 bits más significativos de las direcciones, activando la secuencia de conteo mediante los pulsos generados por un 555 configurado en modo monoestable cuya frecuencia es de 9.09 Hz, y un periodo de 110 milisegundos, los bits de datos en paralelo que se reciben de la computadora pasan a una compuerta "OR" la cual nos da un estado de salida alto si se está recibiendo un dato y un estado bajo si hay ausencia de los mismos, de esta manera con la obtención de pulsos de la compuerta "OR" generamos una secuencia de pulsos de salida, cuya frecuencia está dada por la rapidez con que la computadora envía sus datos, al pasar los pulsos por el monoestable se limpia la señal de rebotes que puedan alterar la secuencia de conteo del 74LS393 el cual contiene dos contadores de 4 bits en un solo circuito y del 74LS193 que es un contador ascendente-descendente de 4 bits.

3.4.2 Entrada de datos provenientes de la computadora y almacenamiento temporal

Esta etapa está formada por los circuitos 74LS32, 74LS194, además de un inversor (74LS04). Con todo este arreglo obtenemos una salida M1 que se dirige hacia un circuito monoestable 555 para limpiar la señal de ruido y pasar al contador, el 74LS194 almacena temporalmente los datos que recibe del puerto de la computadora (ver figura 3.10).

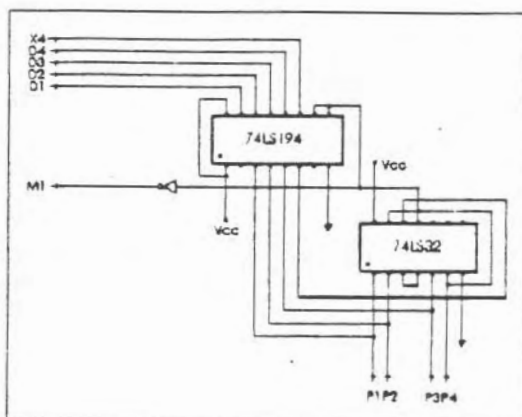


Figura 3.10 Almacenamiento temporal y detección de datos.

Los datos recibidos del puerto de la computadora pasan por una compuerta "OR" que es la que se encarga de detectar cuando hay la presencia de los bits de datos y cuando no, por ejemplo, si el puerto nos envía un dato en binario como el 1001, las compuertas "OR" detectarán la presencia de bits en este dato y dejarán pasar un pulso alto, si el siguiente dato es 0000 la compuerta dejará pasar un pulso bajo, si intercalamos

entre los datos que queremos enviar un dato 0000 se generará una secuencia de pulsos que nos servirá para alimentar a nuestro contador y también al 74LS194 para que almacene temporalmente los datos y pueda ser utilizado posteriormente.

El 555 en modo monoestable se emplea para eliminar el ruido generado por los pulsos y dejarlo limpio de rebotes para que se pueda usar confiablemente y que no altere la secuencia de conteo de los contadores, el inversor es para adecuar el estado lógico de los pulsos para que el monoestable obtenga la salida adecuada para activar el 74LS194.

3.4.3 Transceptor de datos

El transceptor de datos está formado por un 74LS244, el cual se ocupa para transferir los datos en la dirección adecuada de acuerdo al modo de operación en la que se esté trabajando, ya sea para almacenar o leer datos de la memoria RAM, (ver figura 3.11).

El transceptor se usa de tal forma que el canal se ocupa para entradas de datos provenientes del 74LS194, es decir, este canal es direccional porque la información fluye en un solo sentido, se puede emplear también este canal como salida y es la que va a la unidad de potencia y también es direccional, el tercer canal empleado es bidireccional porque es en este donde los datos se dirigen para ser grabados o leídos de la memoria RAM, teniendo un flujo de datos en ambos sentidos.

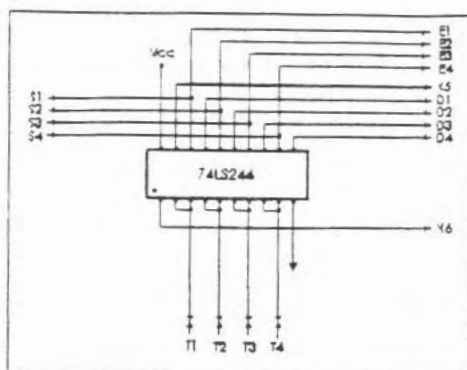


Figura 3.11 Transceptor de datos.

3.4.4 Almacenamiento en la memoria RAM

Como dispositivo de almacenamiento se utilizó la memoria 2114 que es una memoria RAM estática NMOS de 4 K bytes, el tamaño de la palabra es de 4 bits y su organización es de 1 K byte por 4 bits, el tiempo de acceso máximo es de 300 nanosegundos y con una alimentación de 5 V.

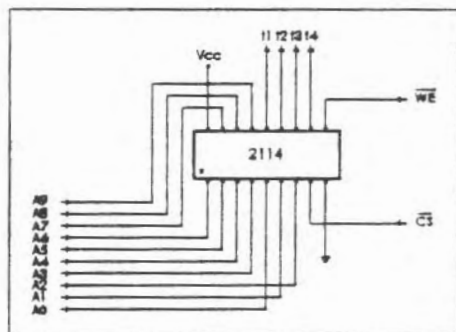


Figura 3.12 Etapa de almacenamiento en la memoria RAM.

El bus de datos de la memoria está conectado al transceptor de datos que es el que manda la información para que la memoria RAM los almacene, (ver figura 3.12), este circuito tiene 2 patillas de control de la memoria, la patilla 8 es habilitación o deshabilitación del circuito ($/CE$) dependiendo a que voltaje se encuentra esta patilla, cuando tiene un estado alto se encuentra deshabilitado el circuito y no se puede grabar o escribir, sin embargo, si tiene un estado bajo la memoria estará habilitada. La patilla 10 es la que nos permite escribir en la memoria o leer de ella ($/WE$), cuando $/WE$ =bajo se escribe en la memoria o se carga un dato en la memoria, cuando $/WE$ =alto se obtienen los datos de la memoria. Estas dos patillas de control están conectadas a un arreglo de microinterruptores (DIP switch) el cual configura el circuito para que trabaje dependiendo de la función que se elija en el DIP switch, por ejemplo, cuando se graban datos en la memoria, $/CE$ y $/WE$, están a nivel bajo indicando que se está habilitando el circuito y que se escribe en la memoria RAM, cuando $/CE$ es bajo y $/WE$ está en alto se estará leyendo información en la memoria RAM.

3.4.5 Monoestable y temporizador

El diseño cuenta con 2 circuitos 555; uno utilizado en el modo monoestable y el otro como temporizador, (ver figura 3.13). El circuito monoestable nos sirve para eliminar el ruido y los posibles rebotes que se producen al obtener los pulsos de reloj al pasar los datos por la compuerta "OR", así, seleccionando la resistencia y los capacitores adecuados obtenemos un retardo de tiempo que en este caso es de 0.11 segundos.

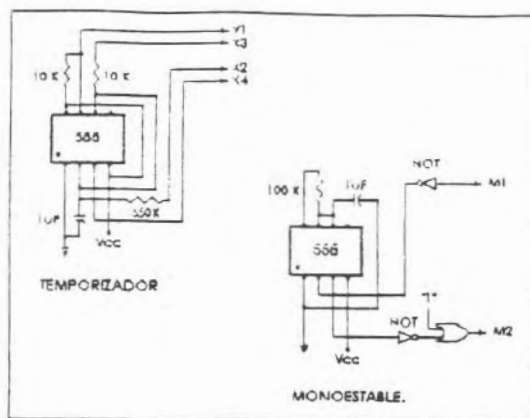


Figura 3.13 Temporizador y monoestable.

Otro 555 se utiliza como temporizador y es que para grabar los datos en la memoria temporal se necesita almacenar los datos temporalmente y el circuito 74LS194 cumple esa función, para llevar a cabo esto se necesita activarlo mediante pulsos de reloj a una frecuencia de 48 Hz, con un periodo de 20.83 milisegundos, según los valores de los resistores, que son de 10 K Ω y un capacitor de 1 μ F, con este mismo circuito temporizador pero con un resistor de 10 K Ω y otra de 750 K Ω se genera una frecuencia de 1.099 HZ, con un periodo de 909 milisegundos, este periodo nos da el tiempo de activación de los motores de C.D..

3.4.6 Etapa de potencia

Cada uno de los motores de la unidad robótica, necesita un módulo de potencia, cuya función es la de generar, a partir de las señales de accionamiento, la corriente necesaria para el movimiento del motor.

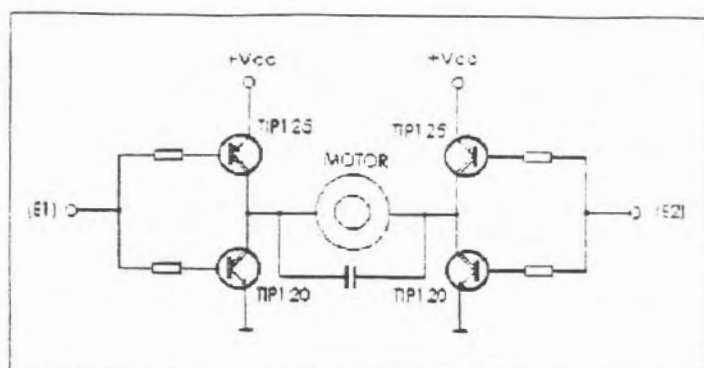


Figura 3.14 Etapa de potencia tipo H.

El módulo de potencia es de configuración tipo H²¹ y emplea transistores de potencia y una sola fuente de alimentación, como se muestra en la (figura 3.14). Esta etapa de potencia es accionada directamente a partir de las señales digitales obtenidas de la memoria RAM.

Analizando el circuito podemos percibir que cuando E1=E2 los transistores TIP125 y los TIP120 estarán cortados, no habiendo por lo tanto diferencia de potencial sobre el motor, que permanecerá parado. Cuando E1=0 y E2=1 el motor girará en un sentido y cuando E1=1 y E2=0 girará en otro. Las entradas E1 y E2 se obtienen de la memoria RAM.

Se puede implementar otro tipo de módulo de potencia tipo H para corrientes más bajas utilizando el transistor 2N4401 y el 2N4403 conectados de la misma manera que el anterior, cambiando solamente el valor de los resistores y capacitores.

²¹ V. MARQUES DE SOUZA, 1991, pp. 7-8.

La etapa de potencia debe entregar una corriente suficiente para arrancar correctamente los motores, el consumo de estos motores es de 250 mA, pero al momento del arranque requiere un consumo de 350 mA estabilizándose posteriormente en 250 mA.

Seleccionando adecuadamente el valor de los resistores que van conectados a la base de los transistores, obtenemos la corriente que consumirán los motores. También se necesita un capacitor conectado en paralelo a las terminales del motor, este capacitor funciona como arrancador y sirve para activar en un principio correctamente al motor, se necesita un capacitor por etapa y puede ser de 220 μ F.

3.4.7 Motores de CD

Se utilizan motores de C.D., y su activación es de manera continua, el tiempo de operación es controlado por el usuario y se configura por medio de un programa, sabemos que los motores de C.D. no son tan precisos como los motores de paso, pero seleccionando alguna reducción mecánica contrarrestamos ligeramente la falta de precisión de estos motores y aumentamos el torque, así el tiempo de accionamiento o "paso" podrá ser mayor para motores con altas tasas de reducción y menor para los motores con poca reducción, esto debido al peso que debe soportar el robot por las baterías y los circuitos, por esta razón los motores deben tener una alta tasa de reducción mecánica, pues en caso contrario no tendrá la fuerza suficiente para moverse, en el siguiente punto se calculará el torque que ofrecen las reducciones mecánicas empleadas en este robot.

Originalmente los motores pueden ser accionados por una sola batería de 1.5 V, pero pueden ser usados también con 4 baterías (un total de 6 V), este tipo de motores son de los empleados en modelos de juguetes.

Para que el robot pueda desplazarse es necesario accionar los 2 motores de CD de manera coordinada dependiendo de los movimientos que se quieran hacer, por ejemplo, si se quiere dar un giro a la derecha el motor izquierdo giraría en sentido horario y el derecho en sentido antihorario, para un giro a la izquierda los movimientos de los motores se invertirían, girando en sentido antihorario para el motor izquierdo y en sentido horario para el motor derecho, si se desplaza hacia adelante los dos motores girarían en sentido antihorario y finalmente si se desplaza hacia atrás se invertiría el sentido de giro de los motores, girando en sentido horario, (ver tabla 3).

MOVIMIENTO DEL ROBOT	GIRO DEL MOTOR IZQUIERDO	GIRO DEL MOTOR DERECHO
DERECHA	SENTIDO HORARIO	SENTIDO ANTIHORARIO
IZQUIERDA	SENTIDO ANTIHORARIO	SENTIDO HORARIO
ADELANTE	SENTIDO ANTIHORARIO	SENTIDO ANTIHORARIO
ATRAS	SENTIDO HORARIO	SENTIDO HORARIO

Tabla 3 Sentido de giro de los motores del robot controlado por memoria.

Cuando se almacena una trayectoria en la memoria RAM del robot, se hace con datos de 4 bits, al reproducirse la trayectoria se recuperan los

datos y se envían a la etapa de potencia y de ahí a los motores. Los datos que controlan los movimientos del robot se presentan en la (tabla 4).

MOVIMIENTO DEL ROBOT	MOTOR IZQUIERDO		MOTOR DERECHO	
	SALIDA DE DATOS DE LA MEMORIA RAM			
	D0	D1	D2	D3
DERECHA	1	0	0	1
IZQUIERDA	0	1	1	0
ADELANTE	0	0	0	0
ATRAS	1	1	1	1

Tabla 4 Datos que controlan el movimiento del robot.

3.4.8 Cálculo del torque y de la potencia mecánica de los motores

Los ejes de los motores se acoplan a un tren de engranajes y estas a las llantas que llevan la carga total del robot.

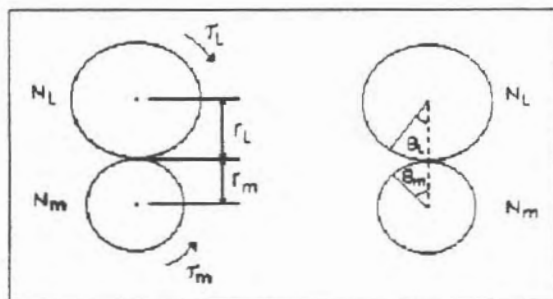


Figura 3.15 Relaciones que existen en un tren de engranajes.

Tomemos como referencia el tren de engranajes mostrado en la (figura 3.15), para obtener algunas relaciones de los engranes, la distancia lineal recorrida sobre cada engranaje es la misma. Esto es,

$$d_m = d_L \quad \text{y} \quad r_m \theta_m = r_L \theta_L \quad (3.1)$$

donde r_m y r_L son, respectivamente, el radio del engrane de entrada y del de salida. Como el radio del engranaje es proporcional al número de dientes que tiene, entonces:

$$N_m \theta_m = N_L \theta_L \quad (3.2)$$
$$\frac{N_m}{N_L} = \frac{\theta_L}{\theta_m} = n < 1$$

donde n es la razón de engranaje y relaciona a θ_L con θ_m y también a N_m y N_L .

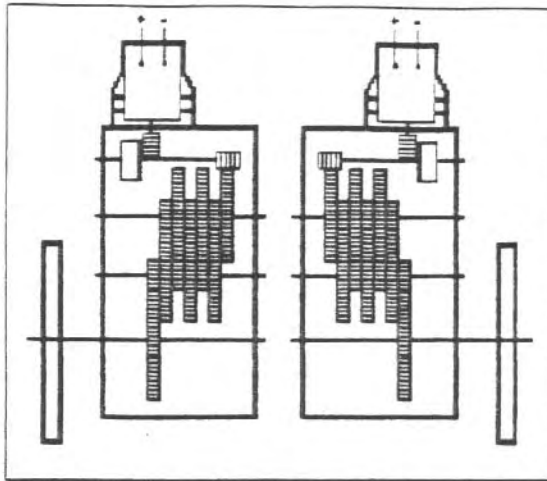


Figura 3.16 Vista del tren de engranajes utilizado en el robot.

El torque de cada uno de los motores de C.D. es de 0.5 oz-in, la amplificación mecánica que se emplea se puede observar en la (figura 3.16) utilizando 6 engranes, cada engrane tiene un engrane más pequeño en el centro el cual nos permitirá conectarnos a su engrane adyacente, el engrane mayor tiene 26 dientes en toda su circunferencia, con un diámetro de 1 centímetro, el pequeño cuenta con 10 dientes y un radio de 0.5 centímetro, con estos datos podemos obtener la razón del engranaje. Sustituyendo valores en la ecuación (3.2) tenemos:

$$\frac{N_m}{N_L} = \frac{10}{26} = 0.3846 = n \quad (3.3)$$

Si conectamos 6 engranes como se muestra en la (figura 3.16), necesitamos saber cual es el torque resultante, basándonos en la ecuación del torque que es la siguiente:

$$r_i = \frac{r_r}{n} \quad (3.4)$$

En la (tabla 5) se pueden observar los diferentes torques de entrada y sus respectivas salidas de cada una de las etapas del amplificador mecánico.

Niveles.	torque de entrada.	Torque de salida.
Primer nivel.	0.500 oz-in.	1.300 oz-in.
Segundo nivel.	1.300 oz-in.	3.360 oz-in.
Tercer nivel.	3.360 oz-in.	8.788 oz-in.
Cuarto nivel.	8.788 oz-in.	22.848 oz-in.
Quinto nivel.	22.848 oz-in.	59.406 oz-in.
Sexto nivel.	59.406 oz-in.	201.983 oz-in.

Tabla 5 Torques de entrada y salida del amplificador mecánico.

Con este amplificador mecánico se tiene más torque que el que nos puede proporcionar el mismo motor sin engranes, esto nos permite tener la posibilidad de mover el robot con un peso razonable sabiendo de antemano que no tendrá muchos problemas para hacerlo.

3.4.9 Modos de lectura y escritura de la memoria RAM

El "DIP switch" que se encuentra en la tarjeta del robot controlado por memoria sirve para configurar los circuitos, de tal manera que se pueda leer y escribir en la memoria RAM, el "DIP switch" cuenta con ocho mini-interruptores que nos permiten enviar pulsos de activación o desactivación a los diferentes circuitos para que se desempeñen las funciones de lectura y escritura.

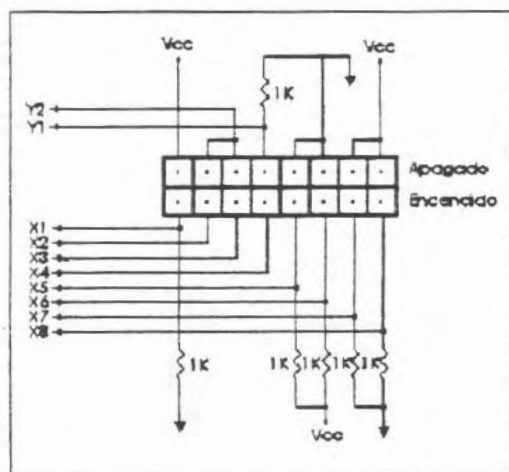


Figura 3.17 DIP Switch para configuración de todo el sistema.

En la (figura 3.17) se muestran las entradas y salidas del DIP switch que se dirigen a los siguientes circuitos:

La señal de X1 sirve para inicializar a cero los contadores, es decir, borra el contenido de los contadores. X2 cierra el circuito que conecta a un resistor de $750\text{ K}\Omega$ del 555 para generar la frecuencia con la que se recupera la información de la memoria RAM. X3 cierra también un circuito que conecta a un resistor de $10\text{ K}\Omega$ del 555 que genera la frecuencia para el 74LS194, que sirve como almacenamiento temporal de los datos que se reciben del puerto de la computadora vía los optoacopladores. X4, deja pasar los pulsos de activación para accionar los contadores cuando se está recuperando los datos de la memoria RAM. X5, permite enlazar datos en la dirección que va de la computadora a la memoria. X6, enlaza datos de la memoria hacia la etapa de potencia de los motores de C.D. X7, activa o desactiva la memoria RAM; si el estado es alto la desactiva, si el estado es bajo, la activa. X8, permite escribir o leer de la memoria RAM; si se encuentra en un estado alto se obtienen datos, si está en bajo se cargan o se escriben en ella.

3.5 Programa de control para el robot

El control de un robot por medio de una computadora resulta complejo al no contar con un lenguaje de programación diseñado para ese fin. QBASIC es un lenguaje que reduce la complejidad de esta tarea.

Existe una gran cantidad de robots que realizan diversas tareas y cuyas funciones están previamente programadas mediante lenguajes especializados para robótica como son AL (Universidad de Stanford), PAL (Universidad de Purdue), RPL (Sri Internacional), SIGLA (Olivetti), TEACH

(Bendix), HELP (DEA), RAIL (Automatics), MCL (Control U.S. Force) y VAL (Unimation), los cuales representan una dificultad para usuarios que no son programadores o ingenieros expertos en el área.

QBASIC es un lenguaje que se ha caracterizado por su fácil comprensión, debido a que sus instrucciones son sencillas; este lenguaje generalmente es utilizado para introducir a las personas al aprendizaje de la programación.

La ejecución de instrucciones que lleva a cabo un robot se pueden realizar de manera automática (programa almacenado en un circuito integrado, EPROM) o de forma directa codificando instrucciones en un lenguaje de programación para que se ejecuten a través de una computadora.

Las posibilidades que se presentan al utilizar una computadora en el diseño del robot combinado con "hardware" y "software", son muy amplias y se pueden concretar en los tres puntos siguientes.

1. Si se desea trabajar a un velocidad variable, esto se puede realizar con "software", con las siguientes características:
 - a) La velocidad de los pasos se puede variar de acuerdo a la que el usuario elija para su aplicación.
 - b) Se asegura la generación de secuencias de las fases, que se aplican a las bobinas del motor.

- c) Se lleva en un registro el conteo de pasos hasta alcanzar el número deseado, en cuyo momento se ordena detener el conteo.

Al gobernar el programa de control estas tres funciones simplifican notablemente el diseño del sistema.

2. El programa se encarga del conteo de los pulsos, de la secuencia de las señales de arranque/parada del reloj, la duración de los pasos se fija por el tiempo en que tardan las señales en salir del puerto paralelo.
3. El programa solo controla el funcionamiento general, pero no está ocupado con cada paso del motor (esto por lo menos en el caso del robot controlado por memoria) pudiendo ser utilizado para otras cosas en esos momentos.

3.5.1 Diagramas de flujo

En esta sección presentamos los diagramas de flujo del programa principal de control de los motores eléctricos tanto del robot móvil bidimensional como para el brazo mecánico.

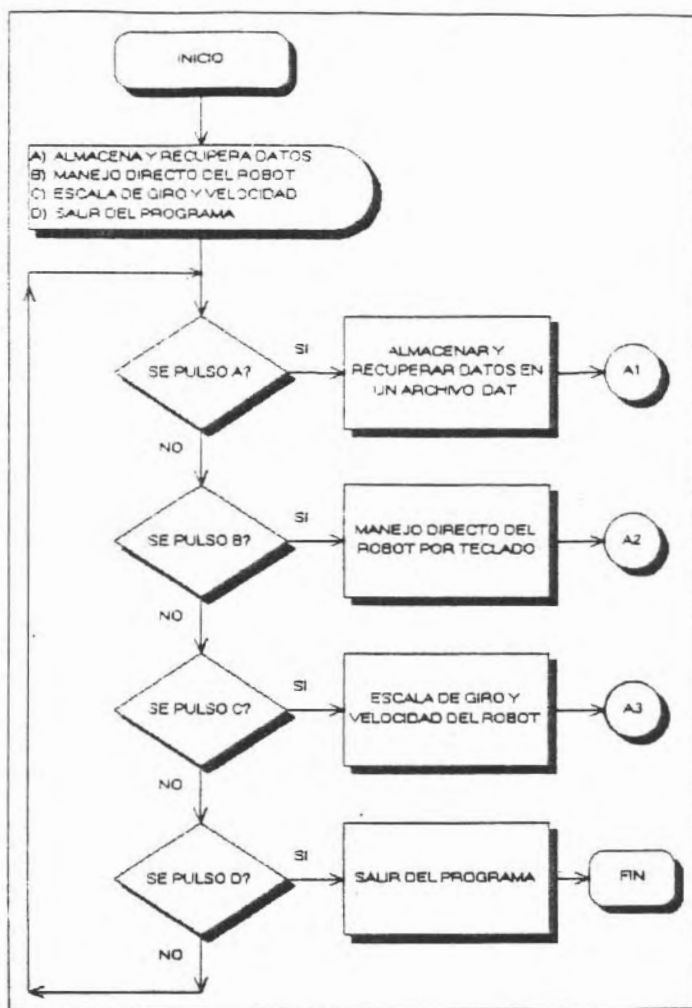


Figura 3.18 Diagrama de flujo principal a rutinas.

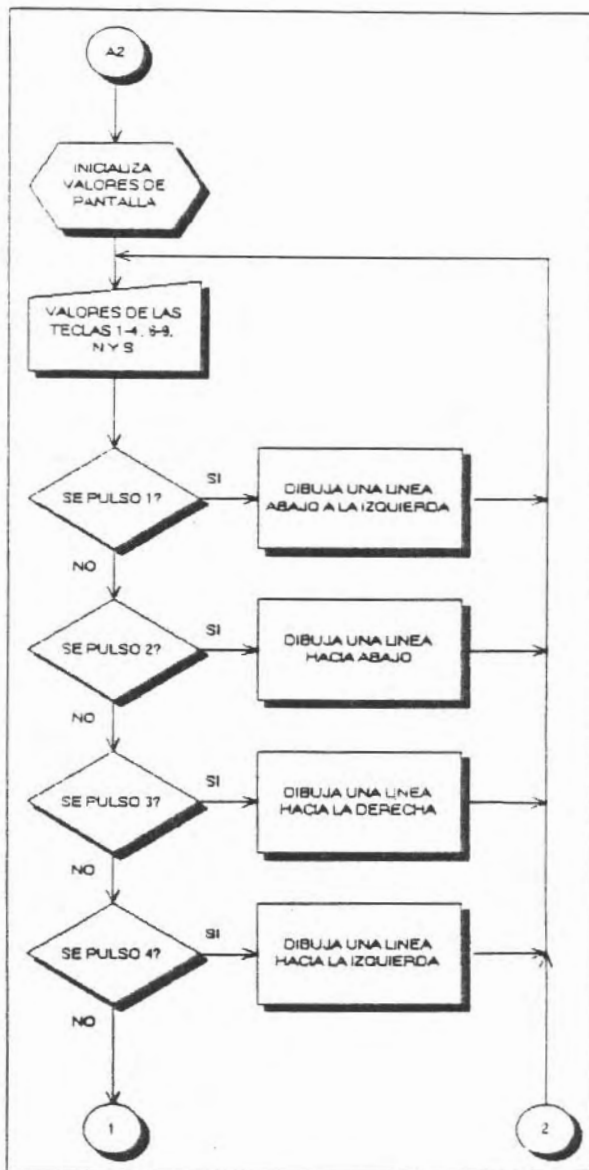


Figura 3.19 Diagrama de flujo de trayectoria.

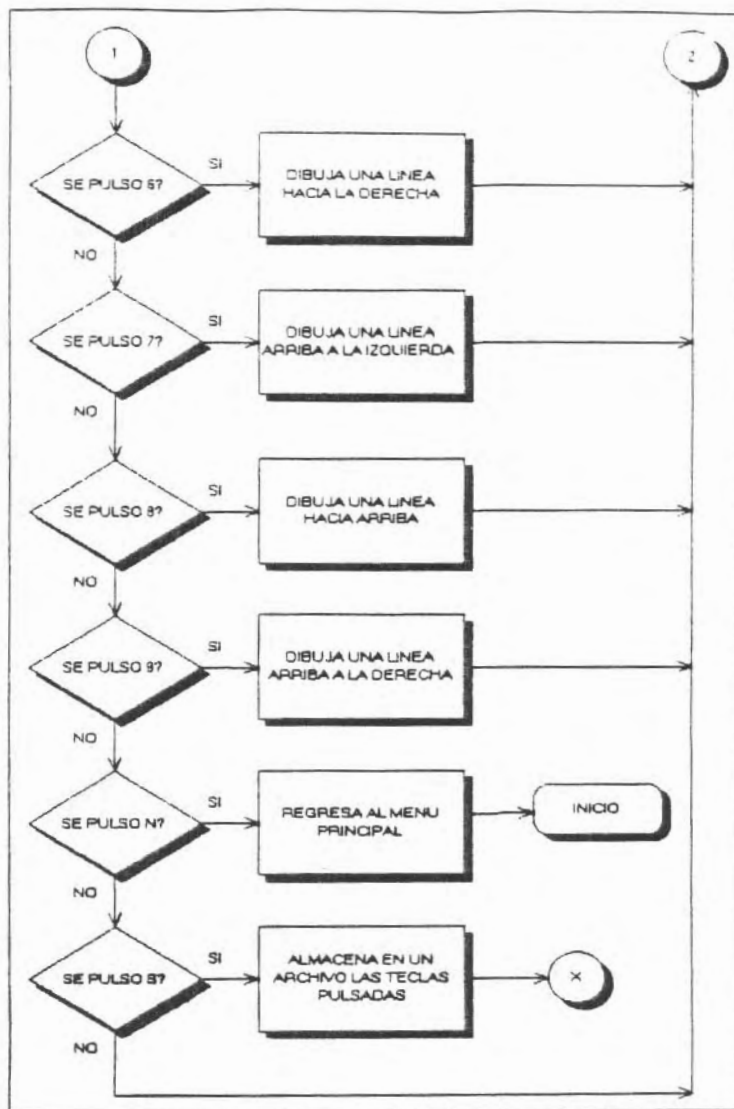


Figura 3.20 Diagrama de flujo de trayectoria (continuación).

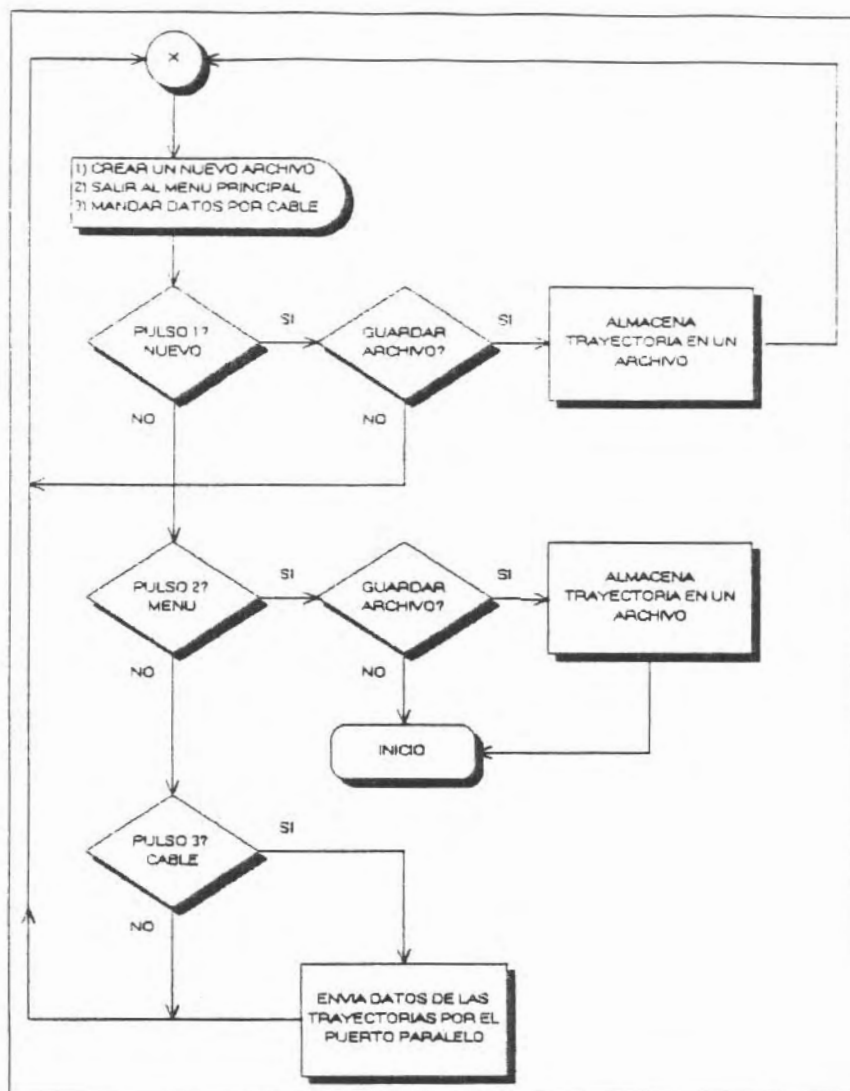


Figura 3.21 Diagrama de flujo de envia por cable o por archivo.

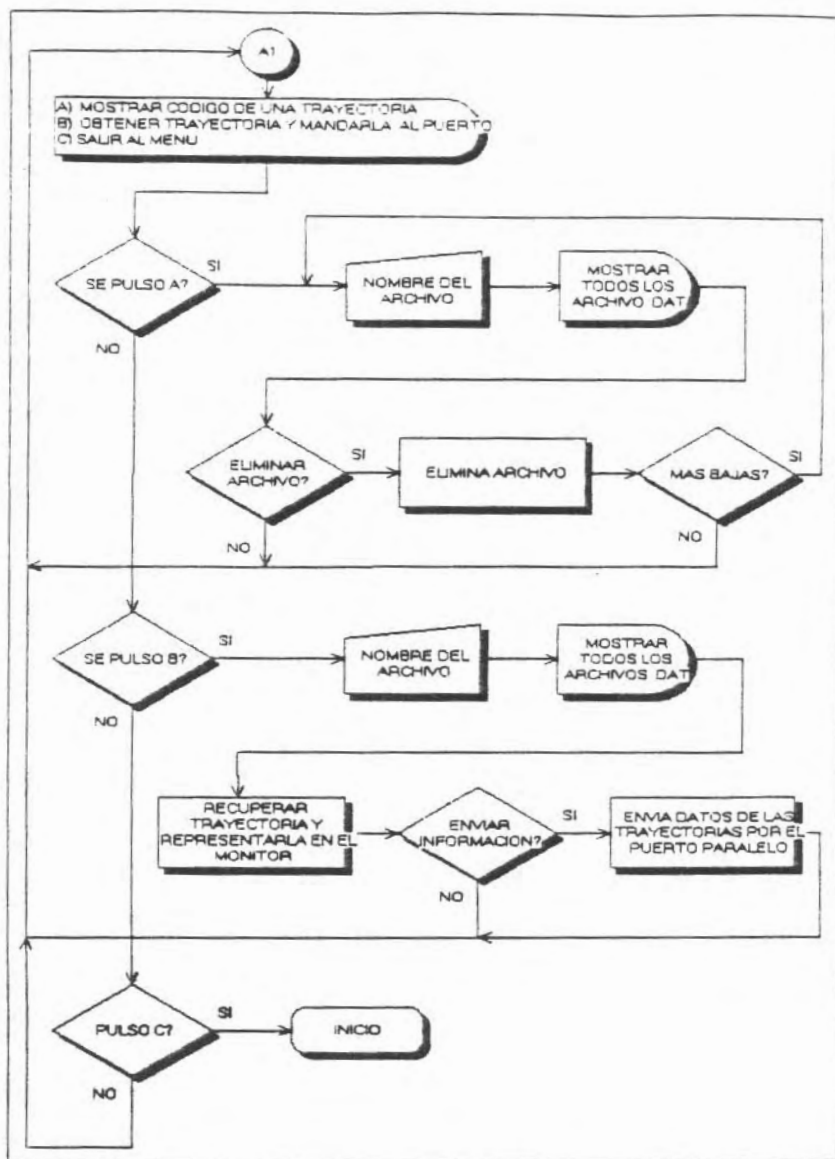


Figura 3.22 Diagrama de flujo de envío al puerto.

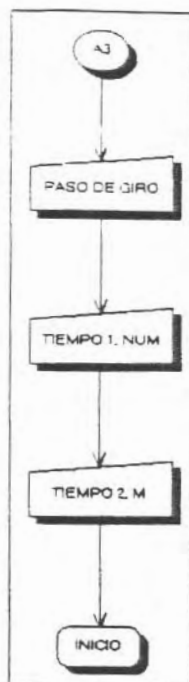


Figura 3.23 Diagrama de flujo de tiempos y giros.

3.5.2 Manejo del programa

El programa en esta versión de prototipo requiere de QBASIC. El uso de la computadora hace más versátil el control de los movimientos del robot, ya que la interface gráfica es entendible y se presentan las diferentes funciones que se pueden realizar siempre por medio de opciones en pantalla. Como por ejemplo cambiar de velocidad, realizar una trayectoria, grabar la trayectoria en un archivo, mandar la información por cable, hacer un nuevo recorrido, o una nueva trayectoria.

Al inicio para que el usuario lo pueda ejecutar debe teclear QBASIC. Posteriormente cerrar el cuadro de bienvenida y pulsar ESC. Luego se selecciona el nombre del archivo que es ROBOT que se encuentra en el directorio ROBOTICA y en este mismo directorio se guardan los archivos de las trayectorias realizadas por el usuario.

Una vez cargado el programa se pulsa F5 para iniciar la ejecución del programa. El programa comienza mostrando un cuadro con cuatro opciones a elegir que son:

- A) Almacenar y recuperar pasos del robot en un archivo con extensión ".DAT".
- B) Manejo directo del programa.
- C) Escala de giro / velocidad del robot.
- D) Salir.

Al pulsar la letra A aparecerá las cuatro opciones siguientes:

- A) Almacenar en pantalla el código de una trayectoria.
- B) Obtener la trayectoria de un archivo y ejecutarla.
- C) Salir al menú principal.

Si se selecciona la opción A, podremos ver las teclas que se pulsaron para crear la trayectoria del robot.

Si se pulsó la opción B, podemos recuperar el código de la trayectoria, mostrando en pantalla el recorrido que se realizó, teniendo la opción de

enviarla por el puerto paralelo hacia el robot, para que este la almacene y ejecute.

Como el programa funciona por opciones esto permite que el usuario realice sus trayectorias sin llegar a confundirse. Lo único que necesita es un conocimiento de las opciones que desea utilizar.

Por ejemplo para almacenar y dibujar un recorrido se hace uso de las teclas del cursor, si el usuario presiona la tecla "S" almacena la trayectoria en un archivo con extensión ".dat" que posteriormente la computadora lo convierte a un código especial que es entendido por la etapa de potencia de los motores, esta información se manda a la memoria RAM del robot por medio de un cable, una vez terminada de pasar toda la información se reproducen los movimientos tal y como se representó en el monitor de la computadora.

3.6 Material utilizado en la construcción del chasis y las ruedas del robot

Robot controlado por memoria: Para este tipo de robot se necesita usar definitivamente un material ligero y resistente, en este caso seleccionamos el cartoncillo que cumple con estas características y presenta una gran facilidad en su manejo.

El cartoncillo es fácil de adquirir y fácil de cortar en secciones de diferentes tamaños, incluso se puede reforzar el robot pegando dos o más

secciones para fortalecer aun más el chasis. Cada sección o parte del robot se pega con resistol blanco, teniendo una unión uniforme de los cortes.

Las ruedas del robot son engranes de 4.2 centímetros de diámetro que se acoplan exactamente en el eje del motor. El diámetro del motor nos da el paso de avance determinado por la duración del pulso enviado a los motores.

Robot controlado por cable : En este caso, el chasis del robot se construyó también de cartoncillo, por las mismas consideraciones mencionadas en el diseño del robot controlado por memoria, pero su forma es diferente, debido al tamaño de los motores de paso, las llantas de este robot son de madera, de 14 centímetros de diámetro (más grandes que las anteriores), con ligas en su circunferencia para adquirir más tracción obteniendo una resolución de paso por pulso mucho mayor que el anterior, en el siguiente punto se mostrarán los diagramas de los dos tipos de chasis.

3.7 Diseño del chasis

El diseño del chasis es un punto significativo en la construcción del robot, ya que es este el que soporta todos los componentes del mismo como las llantas, las baterías, los circuitos y los motores. Para que el robot tenga un buen desempeño el chasis debe de estar bien definido en lo que respecta a su centro de masas y la ubicación de las baterías, esto para que el robot

no sufra alguna volcadura debido a una mala distribución de sus componentes o por la velocidad de avance.

A continuación se presentan los diagramas de los dos tipos de chasis usados en el diseño del robot controlado por cable y por memoria. Los diagramas no están a escala.

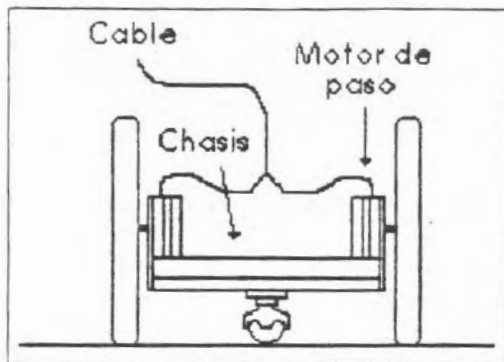


Figura 3.24 Diagrama que muestra la parte de enfrente del robot controlado por cable.

En la (figura 3.24 y 3.25) se puede apreciar el chasis del robot controlado por cable, mostrando el ancho de las ruedas de tracción, la ubicación de la rueda de equilibrio, la localización de los motores de pasos y el espacio para colocar los circuitos de control, todo esto distribuido adecuadamente sobre el chasis.

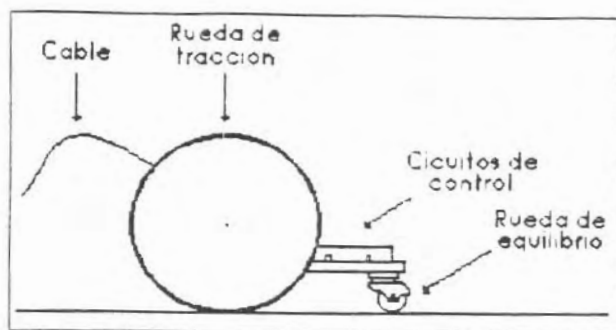


Figura 3.25 Perfil del robot controlado por cable.

A continuación veremos el chasis del robot controlado por memoria visto desde la parte de atrás y de perfil.

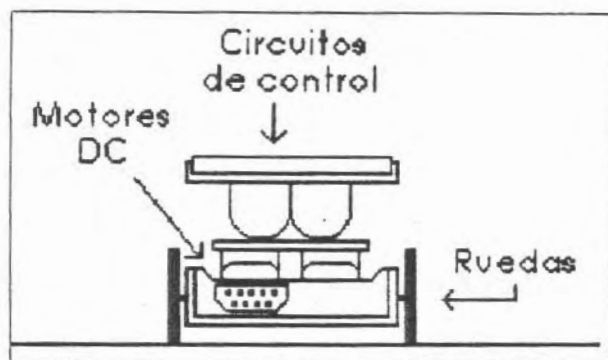


Figura 3.26 Diseño del chasis y distribución de componentes en el robot controlado por memoria.

En la (figura 3.26 y 3.27) se puede apreciar la distribución de cada una de las partes que conforman al robot controlado por memoria, observando la ubicación del conector, de las baterías los circuitos de control y las ruedas.

El robot controlado por memoria es más pesado que el robot controlado por cable debido a que debe soportar 4 baterías que lo alimentan constantemente de energía eléctrica, por tal motivo se le agregaron reducciones mecánicas para darle más torque alterando el diseño del chasis.

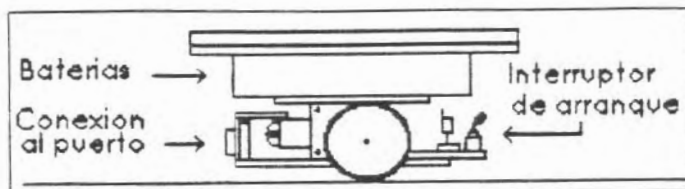


Figura 3.27 Perfil del robot controlado por memoria.

4. Aplicaciones

Actualmente, la robótica pedagógica se presenta como una de las perspectivas educativas-tecnológicas con mayores posibilidades de desarrollo y aplicación para la capacitación y difusión de nociones científicas, experimentales y tecnológicas.

Existen diferentes posibilidades de aplicación de la robótica pedagógica, gracias a sus amplias tendencias de desarrollo, propondremos algunos casos prácticos aunque en verdad el usuario puede obtener más provecho de esta herramienta con base en sus necesidades particulares o de su propia creatividad.

4.1 Aplicaciones del robot controlado por cable

En el salón de clases como herramienta pedagógica.

El robot pedagógico se puede usar en el salón de clase para realizar prácticas de planeación de trayectorias, programación de rutas por medio

de la computadora, interactuando en una área con bloques, representar figuras geométricas con el propio movimiento del robot.

Es posible desarrollar un ambiente de programación para la enseñanza de la programación computacional mediante la manipulación y planeación del robot.

En cada uno de estos casos el alumno deberá de ser capaz de planificar una trayectoria, escribiendo el procedimiento con las teclas del cursor, para ejecutarlo en seguida en modo programado. Esta planificación debe permitirle adquirir el concepto de planeación algorítmica, es decir, conceptos de secuencias lógicas.

Para alcanzar estos objetivos, el alumno deberá enfrentarse a situaciones didácticas que le permitan :

- Hacer observaciones manualmente.
- Observar el desplazamiento del robot una vez que lo haya comandado manualmente y permitirse comparar el movimiento real con el planeado en la pantalla.
- Probar varias instrucciones sucesivas.
- Ejecutar trayectorias previamente almacenadas y crear sus propias trayectorias de acuerdo a sus intereses.

- Repetir una misma secuencia de instrucciones y verificar el efecto en los desplazamientos en el área de trabajo.
- Elaborar y probar acciones simples y acciones combinadas.

Desde el punto de vista didáctico, el alumno tiene un deseo (mover el robot), el profesor sabe que se presenta obligatoriamente una modelización, para alcanzar este punto el alumno deberá:

- Descubrir de que se compone el robot y adquirir diferentes puntos de vista (mecánico, geométrico, cinemático...).
- Realizar vinculaciones entre los motores y la codificación de instrucciones para deducir los movimientos elementales.
- Definir los enlaces de los movimientos elementales, para generar secuencias más complejas que permitan el movimiento del sistema en un entorno en donde se presentan obstáculos.

La exploración debe conducir al control del mundo real y coincidir lo más próximo a las elecciones efectuadas.

Los errores que se cometan serán benéficos para el alumno, porque evitará caer nuevamente en la misma situación, logrando gradualmente sus metas precisamente mediante el cumplimiento de las pruebas y errores.

A partir de estas consideraciones el manejo de un robot pedagógico debe incluir el conocimiento básico de cuatro partes que el alumno debe aprender antes de iniciarse en las prácticas, aunque resultaría mejor que el alumno contara con los conocimientos mínimos relacionados con el tema, que le permitan comprender los conceptos más rápidamente. Los cuatro conocimientos básicos son:

- 1) Descripción de los elementos mecánicos.
- 2) Descripción de los movimientos elementales.
- 3) Composición de la cinemática de los motores.
- 4) Descripción de acciones complejas.

Planeación de conductas.

Se puede almacenar en la memoria RAM del robot diferentes conductas a realizar según se requiera, conductas tales como repulsión, atracción, confort, desorientación, ... De esta forma el alumno puede ir incorporando diferentes conductas, las que se le ocurran, trazadas en el monitor y almacenarlas en varios archivos, que más tarde puede ir llamando, para ejecutarlas.

La idea en este punto es formar un mundo físico de movimientos que exhiban conductas inteligentes, aquí el actor es el robot pedagógico realizando dichas conductas y de esta manera esto queda relacionado con la cognición, de aquí que este desarrollo constituya un instrumento pedagógico listo para ser explotado al máximo.

Si el punto es descubrir principios muy generales y abstractos de la organización cognoscitiva ¿porqué no representarla en un robot de tres ruedas y un lugar en el cual interaccione?. Esta aplicación podría enseñarnos algunos conceptos básicos de la Psicología cognoscitiva humana.

4.2 Aplicaciones del robot controlado por memorias

La automatización del proceso de transporte .

En el proyecto se diseñó un móvil que si bien no tiene una alta precisión de movimiento es capaz de realizar trayectorias en forma confiable.

El robot se diseñó dentro de la Robótica Pedagógica y está controlado por una memoria y con los cambios adecuados se puede modificar para aplicaciones dentro de las empresas como por ejemplo para transportar productos de un lugar a otro.

Para esto el robot pedagógico debe adaptarse para poder recibir el producto y para que pueda entregarlo en forma adecuada.

Considerando la ubicación y tipo de productos a manipular, así como las máquinas que se empleen en el proceso de producción, el robot se modificaría o adaptaría a las condiciones de trabajo añadiéndole algún instrumento de trabajo.

Con la facilidad que ofrece de almacenamiento en la memoria de las trayectorias, mediante la computadora, tomando en cuenta el tiempo y la ruta que debe seguir se puede obtener una ruta óptima para no retrasar un proceso productivo. Además, al robot, se le puede extender su capacidad de memoria para mantener varias rutas en su memoria y con la incorporación de un reloj y un microprocesador dotarlo de inteligencia para saber cuando cambiar de una actividad a otra dependiendo del flujo de trabajo que se presente en una planta productiva.

Servidores automáticos en oficinas.

En este caso como en el anterior se puede adecuar el robot para utilizarlo como mensajero de productos dentro de las oficinas. En una oficina no todo se resuelve por envío de mensajes, hay muchas cosas que se requieren intercambiar o hacer llegar a otra persona.

La propuesta es usar un robot que memorice recorridos entre los pasillos de una oficina. Es posible también tener en la memoria de una computadora un plano de las oficinas de la empresa, para que se seleccionen las trayectorias más adecuadas a seguir por el robot. A este diseño se le debe incorporar un microprocesador que lo dote de la "inteligencia" suficiente para resolver los problemas de posibles obstáculos como escaleras o puertas. Nótese que si se tiene en la memoria de una PC los planos de las oficinas, para ordenar a un robot que vaya hasta un lugar bastará con crear una nueva trayectoria y conectarlo a la

computadora para que en cuestión de segundos la incorpore en su memoria.

Para el caso de enviar información sin utilizar redes de computadora, nuestra propuesta es que la información que se quiera mandar con el robot previamente adaptado para esta función, puede ir en forma de mensaje escrito o en su defecto ir almacenada en la propia memoria del robot en un código especial y ser leída por el destinatario con una interface especialmente diseñada para poder leer la información de la memoria.

Una forma de operación que se propone es que el robot se mantuviera conectado a la línea de 120 voltios mientras se recargan sus baterías, estando a la expectativa de una llamada o de recibir algún mensaje, así las personas que quieran utilizar el robot no perderían tiempo en llamarlo para grabar algún mensaje, si no que, con una interface adecuada le proporcionarían su mensaje por la línea de 120 V, ya que esta línea trabaja con una frecuencia de 60 Hz que se puede aprovechar fácilmente, la idea entonces, es modular la señal que se quiere enviar, ya sea para llamar al robot o para enviarle un mensaje que debe entregar. Para poder realizar estas dos últimas operaciones se necesita contar con moduladores de corriente alterna que puedan enviar la información por la línea, así también sus respectivos demoduladores, además de los adaptadores para recargar las baterías.

Red de actores.

Para poder establecer una red de actores robótico se necesitan varios robots del mismo tipo, los cuales se pueden programar de tal forma que cada uno contenga su propia trayectoria para que actúen conjuntamente estableciéndose una asociación de paralelismo y sincronización.

Cada robot tiene en su memoria la ruta que le corresponde desempeñar frente a todo el grupo y la información de cada robot no necesariamente debe ser la misma, todo depende de los movimientos que quiera uno que adopten, con esto se pueden simular encuentros de robots partiendo de diferentes puntos a velocidades diferentes y constatar los puntos de encuentro desde el punto de vista espacial y temporal. Las posiciones y las velocidades podrán ser calculadas de antemano por el sistema.

Para poder llevar a cabo esta aplicación se necesita incorporar un microprocesador y varias extensiones a nuestro diseño. Con la utilización de un robot controlado por un microprocesador, se podrá interactuar y desplazarse con mayor versatilidad por diferentes espacios.

4.3 Medidor de tensión superficial para determinar la maduración de frutos

La interface que se diseñó para controlar los motores de paso con la ayuda de la computadora, es útil para realizar diferentes tipos de aplicaciones, como por ejemplo, revisar el estado de maduración de frutos.

Esta idea surgió en base a una necesidad del Instituto de Agroindustrias de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (U.T.M.).

La herramienta que se requiere es precisamente para poder determinar cual es el estado de maduración de un fruto, por ejemplo una papaya. El procedimiento consiste en ir incrementando gradualmente la fuerza de un punzón hasta perforar ligeramente el fruto. La perforación se tiene que realizar de manera correcta, sin dañar el fruto, sensando detenidamente la fuerza con la que penetra el punzón, determinaremos el grado de maduración del fruto.

La propuesta consiste en utilizar un motor eléctrico, uno de nuestros controles para motor y una computadora. El motor debe empujar mediante un resorte una barra o punzón que penetre ligeramente el fruto. Mediante un sistema mecánico de engranes se comprime gradualmente el resorte incrementando la fuerza sobre el punzón. Con la ayuda de un interruptor mecánico que logre detectar cuando se obtiene la fuerza máxima aplicada sobre la cascara del fruto, podemos obtener la información necesaria para detener al punzón y no dañar considerablemente el fruto.

Conociendo la constante del resorte, la distancia que se deforma y el torque del motor, podemos determinar la fuerza de penetración del punzón sobre el fruto.

Para este proyecto se necesitarán circuitos de control como apoyo, para determinar si se está ejerciendo la fuerza necesaria cuando se esté probando algún fruto en particular. Este sistema puede funcionar en lazo

cerrado, es decir, apoyarse de la información que se obtiene para ir corrigiendo el proceso. Se requiere diseñar e investigar más profundamente sobre las partes mecánicas (resorte y el punzón) para obtener una herramienta de alta precisión que cumpla con las normas internacionales de alimentos.

El proyecto del robot pedagógico cuenta con el controlador de un motor eléctrico y el programa para controlarlo, de ahí nos podemos basar para adaptarlo al medidor de tensión superficial de frutos. Con la ayuda de este programa podemos incluso graficar las fuerzas aplicadas al fruto con respecto al tiempo hasta que se logre alcanzar la ruptura de la cascara.

CONCLUSIONES

La necesidad de conocimientos y experiencia sobre el diseño de dispositivos de automatización fue el aspecto primordial de este proyecto en donde a partir de la inquietud de construir un dispositivo para la Robótica Pedagógica se logró una primera versión de un programa de control, una interface de control de motores eléctricos, un móvil con memoria y un control rudimentario de un brazo robótico.

Los aspectos de programación de un ente robótico, pongamos por ejemplo el móvil, son planteados sino en la forma más idónea de independencia total, si en forma práctica mediante el empleo de una computadora personal y a partir de ésta se incorporan los conocimientos de rutas a la memoria del móvil en forma muy simple y rudimentaria. La necesidad de ver actuar dentro de un ambiente limpio (sin obstáculos) simplificó notablemente el diseño de nuestro móvil.

Nuestra primera versión del móvil tiene una baja capacidad de interacción con el medio porque no tiene sensores complejos y por tanto una lógica que le permita resolver problemas de actuación en forma independiente y compleja, esto se decidió así porque nuestro interés fundamental era construir una herramienta sencilla y barata para la Robótica Pedagógica.

En donde las instrucciones dadas en la computadora pudieran ser reproducidas en un ambiente controlado y limpio de obstáculos.

Otro aspecto que no realizamos es el de tener independencia de la computadora mediante comunicaciones inalámbricas. Las metas que planteamos en esta primera etapa se dejaron para una siguiente versión. Y tal como mencioné en el capítulo 4 hay muchas extensiones y facilidades que me inquietan para seguir adelante en mis estudios de posgrado y continuar profundizando en proyectos de investigación afines a este trabajo.

Los requerimientos del proyecto se resolvieron en forma práctica centrándonos en un ambiente muy difundido, la computadora personal. Sobre de esta usamos como vía de comunicación el puerto paralelo y seleccionamos circuitos integrados económicos, motores eléctricos simples, y nos basamos para la partes mecánicas en el diseño del kit educacional Robotic Arm Y-01 de OWI Inc.

El kit educacional Robotic Arm Y-01 de OWI Inc es un brazo robótico sin conexión y control por computadora. Nuestro trabajo consistió en el diseño de la interfaz de control y en la adaptación de sus partes mecánicas para el móvil bidimensional. Las razones de tomar un diseño mecánico es porque la construcción de tales partes están fuera de los alcances de una investigación como la nuestra, pues su construcción es difícil y complicada a los medios disponibles en la Universidad, ya que se requiere de maquinaria especial para el diseño de las partes mecánicas.

Algunas partes de nuestro móvil bidimensional, como las ruedas y el chasis las diseñamos y adaptamos del kit educacional Robotic Arm Y-01 y a la tarjeta de interfaz de control y memoria. El diseño global del móvil es para dejar que actúe en un ambiente de pruebas libre de obstáculos y conectado por cable. Se le incluyeron conectores para establecer la conexión a la computadora. Y se decidió que la fuente de alimentación fuera mediante baterías para facilitar en un futuro la independencia del móvil. La etapa de potencia y de acoplamiento a la computadora se hizo para no requerir la incorporación y configuración de tarjetas especiales de control en el bus interno de la computadora. Para otras aplicaciones una tarjeta al bus interno puede ser necesaria, en nuestro proyecto debido a su orientación educativa y su uso común no requiere tal alternativa ya que se incrementaría el costo y su complejidad sin obtener mucho beneficio para nuestro tipo de proyecto. Nuestra elección del puerto paralelo está basada en las facilidades de programación y capacidad de envío de señales digitales al nivel requerido. Otras opciones como el puerto serie requieren de más circuitos externos para adecuar las señales, aumentando considerablemente el costo.

La interfaz de control es la que extiende las capacidades de control y programación vía la computadora del kit educacional Robotic Arm Y-01 de OWI Inc. Esta compañía ofrece una interfaz propia para la conexión a la computadora personal. Este tipo de interface es lo que nosotros podemos desarrollar para el crecimiento e independencia tecnológica que lleve al país a mejorar su situación económica y de su planta industrial ahorrando divisas por tecnología que podemos crear y desarrollar. Con este proyecto

aportamos un granito de arena para mejorar los niveles de cooperación y de intercambio de México.

En este punto nuestra aportación es que el brazo robótico cuente con una conexión por medio del puerto paralelo y que el control se realice mediante la computadora y se le incorpore la facilidad programar el brazo como si fuera un ejemplo orientado a la automatización de tareas, con posibles aplicaciones industriales en conjunción con el móvil.

El contar con la programación en este diseño del robot lo hace más versátil y poderosos y permite a los jóvenes actuar de manera directa con el robot y por lo tanto obtengan el conocimiento que buscan.

Nosotros mismo planteamos que la combinación del móvil y del brazo dan una gran variedad de futuras aplicaciones en la oficina y para la industria como las que planteamos en el capítulo 4.

La robótica tiene una gran diversidad de aplicaciones educativas por lo que puede incorporarse a la pedagogía moderna fácilmente. La implementación de este robot en una computadora personal, lo hace accesible para la enseñanza básica de la robótica y otras disciplinas.

Al ser la robótica una área de mucha investigación y futuro, hay gran necesidad para que las nuevas generaciones cuenten dentro de su proceso educativo con instrumentos modernos.

Entre más moderna y automatizada sea una herramienta, ésta demanda un conocimiento más profundo. Es necesario entonces contar con una formación seria para los futuros usuarios, quienes deben tener conocimientos sobre computación, técnicas de interfaces, programas de computadora, robótica, ... Evidentemente esto representa una inversión importante, pero necesaria, si queremos motivar a los jóvenes estudiantes a que realicen estudios científicos en un futuro.

Terminamos este apartado mencionando los puntos y características más relevantes de los dos tipos de robot, el móvil y el brazo.

Nuestro robot móvil para espacio bidimensional:

- Todos los circuitos se incorporaron en un tablero de pruebas, teniendo esto como finalidad que el alumno puede armar todo el sistema paso a paso, conociendo cuidadosamente cada uno de los circuitos, así como su interconexión.
- El robot controlado por cable tiene la limitación de no avanzar más allá del largo del cable debido a que la distancia en que los datos sufren degradación es mas allá de los 3.5 metros, por lo que el robot se desenvolverá en una área de trabajo limitada.
- Los motores utilizados son de pasos y por lo tanto de gran precisión, obteniendo las trayectorias similares a las planeadas.

- En el caso del robot controlado por cable, no se incorporaron reducciones mecánicas debido a que el torque de los motores es suficiente para mover correctamente al robot en el recorrido de sus trayectorias.
- La incorporación de reducciones mecánicas en el robot implica un diseño mucho más complejo del que se presenta y requiere de conocimientos más profundos de mecánica, cinemática y dinámica complicando su diseño. Aunque se lograría obtener torques más elevados teniendo la posibilidad de soportar más peso en sus movimientos.

En la parte del control del móvil por memoria tenemos:

- Este diseño utiliza motores de C.D. los cuales son controlados directamente por los datos obtenidos de la memoria, estos motores no son de tanta precisión como los motores de paso, pero activándolos por pulsos obtenemos movimientos más constantes.
- Se puede incorporar más memoria por el propio usuario, para incrementar la capacidad de almacenamiento. Esto le da más confianza al alumno el cual se familiarizará rápidamente con el sistema.
- Para incrementar la memoria se necesita integrar al sistema decodificadores, para que manejen cada uno de los módulos de la memoria en expansión. Esto lo puede hacer el alumno fácilmente con

solo colocar los circuitos en el protoboard basándose en un diagrama de apoyo, pero queda como una práctica a realizar con la ayuda de un profesor en el salón de clases.

- Al estar usando circuitos TTL se le da la oportunidad al alumno de que pueda adquirir los circuitos fácilmente, resultándole económico y sencillo de armar.
- En el caso de que el sistema no responda adecuadamente se desconectaría el robot de las baterías de alimentación y se borraría la memoria RAM pudiendo entonces grabar otra trayectoria.
- El robot puede moverse de un lugar a otro y no depende de algún cable para realizarlo, únicamente al momento de grabar la trayectoria se conecta el cable que carga los datos en memoria, pero una vez almacenados, se desconecta el cable y se ejecuta la trayectoria.

Para mantener actualizado y en competencia tecnológica nuestro proyecto debemos tomar en cuenta la información y crecimiento de la tecnología electrónica. Esto nos lleva al termino de este proyecto a reflexionar y considerar seriamente que para seguir adelante debemos adecuarlo con lo último de la tecnología. Presentamos a continuación algunas alternativas:

- Se puede utilizar un microcontrolador para que dirija el funcionamiento del robot. El microcontrolador puede ser de la empresa Intel o Motorola aunque se sugiere que se emplee un PIC 16/17 de la compañía

Microchip, por ser muy fácil de operar. Esto por ejemplo para las aplicaciones mencionadas en el capítulo 4 y las extensiones que hemos mencionado en este apartado.

- Utilizar memorias de gran capacidad de almacenamiento, pudiendo ser de 32 K bytes.
- Almacenar trayectorias previamente establecidas, con propósitos específicos en una memoria EPROM para utilizarlas cuando la ocasión lo requiera.
- Realizar los circuitos impresos en un diseño definitivo, en donde incluso se contaría con un chasis hecho de un material más resistente ligero y vistoso.
- El tiempo de operación se podría hacer con un 8223 compatible con el microcontrolador.
- Implementar un respaldo de batería.
- Desarrollar un lenguaje de programación que logre girar las instrucciones de manera efectiva al robot.
- Incorporar reducciones mecánicas que proporcionen más torque a las ruedas.

Con nuestras dos aplicaciones de ejemplo cumplimos con la tesis y las metas planteadas en la introducción y estamos abiertos a que este proyecto continúe.

Bibliografía

- [RUIZ-VELAZCO, 1992] RUIZ-VELAZCO SANCHEZ, Enrique; *Robótica pedagógica*, CISE-UNAM, México, (1992).
- [RUIZ-VELAZCO, 1991] RUIZ-VELAZCO SANCHEZ, Enrique; *Robótica e inteligencia artificial en la educación*, Información científica y tecnológica. Spectra. Vol. 13 Núm 181. pp. 59-64, Octubre, (1991).
- [FU,1994] FU, K. s; *Robótica: Control, detección e inteligencia*, Mac Graw Hill, México, (1994).
- [ANGULO, 1992] ANGULO, Jose Ma., Aviles, Rafael; *Robótica práctica*, Paraninfo, Madrid, España, (1992).
- [BREY, 1994] BREY, Barry B; *Los Microprocesadores Intel, arquitectura, programación e interfaces*, Prentice Hall, México, (1994).
- [TOMPKINS, 1988] TOMPKINS, J; *Interfacing sensores to the IBM PC*. Prentice Hall, USA, (1988).

- [URBIETA, 1990] URBIETA PARRAZALES, Romeo; *Diseño y construcción de un controlador digital para motor de paso*. POLIBITS, CINTEC-IPN, No. 8, pp 38-48, Oct-Dic, (1990).
- [OCHOA, 1996] OCHOA ARRIAGA, Hiram; *Diseño y construcción de un control supervisorio para robot*, Tesis de maestría, CINTEC-IPN, marzo, (1996).
- [LOGSDON, 1986] LOGSDON, Tom; *La Revolución de los robots*; Orbis, México,(1986).
- [ROSE, 1984] ROSE, J; *La Revolución cibernética*, Fondo de cultura económica, México, (1984).
- [PIERRE-JEAN, 1985] PIERRE-JEAN, Richard; *Los robots*. Fondo de cultura económica, México, (1985).
- [MIKELL, 1990] MIKELL P. Groover; *Robótica Industrial*. McGraw Hill, México, (1990).
- [BOLTER, 1984] BOLTER, David J; *El hombre de Turing, La cultura occidental en la era de la computación*. Fondo de Cultura Económica, México, (1984).
- [WAKERLY, 1992] WAKERLY, F; *Diseño digital, principios y prácticas*, Prentice Hall, México, (1992).

- [RETZINGER, 1996] RETZINGER, Dan; **Build Runabout Robot**.
Electronic Now, Vol. 67, Num. 3, Marzo, (1996).
- [EADY, 1991] EADY, Fred; **Build the stepper-motor Robot**,
Radio-electronics, April. (1991).
- [CARR, 1992] CARR, Joseph; **All about optoisolator**. Popular
Electronics, Vol, 9, Num. 10, Octubre, (1992).
- [MARQUES DE SOUZA, 1991] MARQUEZ DE SOUZA, Marco antonio;
Brazo mecánico para MSX o PC, Saber electrónica.
No. 16, (1991).
- [TTL, 1988] TTL Logic Data Book. Texas Instrument, 1988.
- [NATIONAL, 1989] NATIONAL SEMICONDUCTOR, Manuales de
referencia TTL, 1989.

Apendice A

Rutina en QBASIC que almacena los códigos de las trayectorias del robot pedagógico

```
PRINT "ALMACENA CODIGOS DE MOVIMIENTOS"
SLEEP 1 'Espera un segundo y continua.
OPEN "tiempo.dat" FOR OUTPUT AS #1 'Abre un archivo para
    almacenar la trayectoria.
FOR mas=0 TO 1 'Se incrementa la variable para
    recuperar los datos.
WRITE #1, MIM(mas) 'Almacena los datos en el archivo.
valor=(MIM(MAS)*10+MIM(mas+1)) 'Se almacena la union de dos
    teclas consecutivas.
GOSUB conver 'La subrutina conver determina cuantos pasos
    hay en cada movimiento.
NEXT mas 'Cierra el ciclo de la variable mas.
CLOSE #1 'Cierra el archivo.
```

```

FOR alb=1 TO 2000:MIM(alb)=0:NEXT alb      'Borra el contenido de la
                                           variable MIM.
OPEN "claves.dat" FOR OUTPUT AS #1      'Abre el archivo claves.dat
                                           para almacenar el códigos de los
                                           movimientos.
FOR aed=1 TO cont                        'Se incrementa la variable aed.
WRITE #1,MA(aed)                         'Escribe en el archivo el código de los
                                           movimientos.
NEXT aed                                  'Cierra el ciclo de la variable aed.
CLOSE #1                                  'Cierra el archivo claves.dat.

```

Rutina en QBASIC que envia datos al puerto paralelo de la computadora para mover al robot pedagógico

```

fty=0                                     'Inicializa la variable a cero.
PRINT "ENVIANDO DATOS"
SLEEP 1                                   'Espera un segundo y continua.
OPEN "claves.dat" FOR INPUT AS #1      'Abre el archivo claves.dat para
                                           leer datos.
DO                                        'Se abre un ciclo para leer datos.
fty=fty+1                                'Se incrementa la variable a uno.
INPUT #1,wer                             'Lee datos del archivo secuencialmente.

```

PRINT "CODIGO="; wer	'Imprime el código que se va a enviar al puerto paralelo.
OUT &H378, wer	'Envía por el puerto paralelo el código obtenido del archivo.
FOR p=1 TO M: NEXT p	'Realiza un tiempo de espera.
OUT &H378, 0	'Envía por el puerto paralelo un cero.
FOR k=1 TO num: NEXT k	'Realiza un tiempo de espera.
LOOP UNTIL (EOF(1))	'Regresa al ciclo DO mientras no sea fin de archivo.
CLOSE #1	'Cierra el archivo

Apendice B

Diagramas

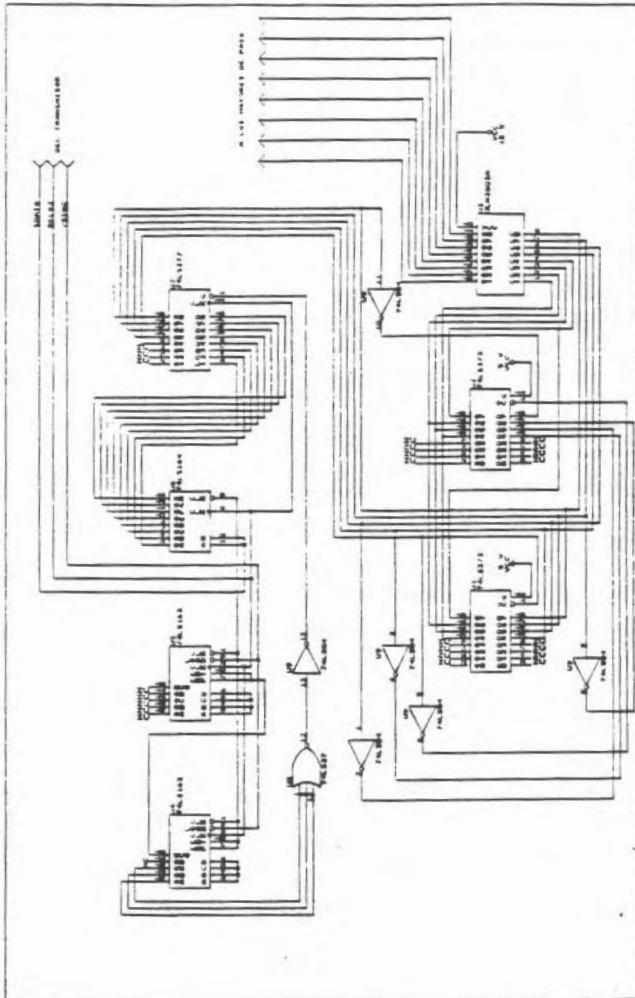


Figura B.1 Diagrama esquemático del robot controlado por cable.

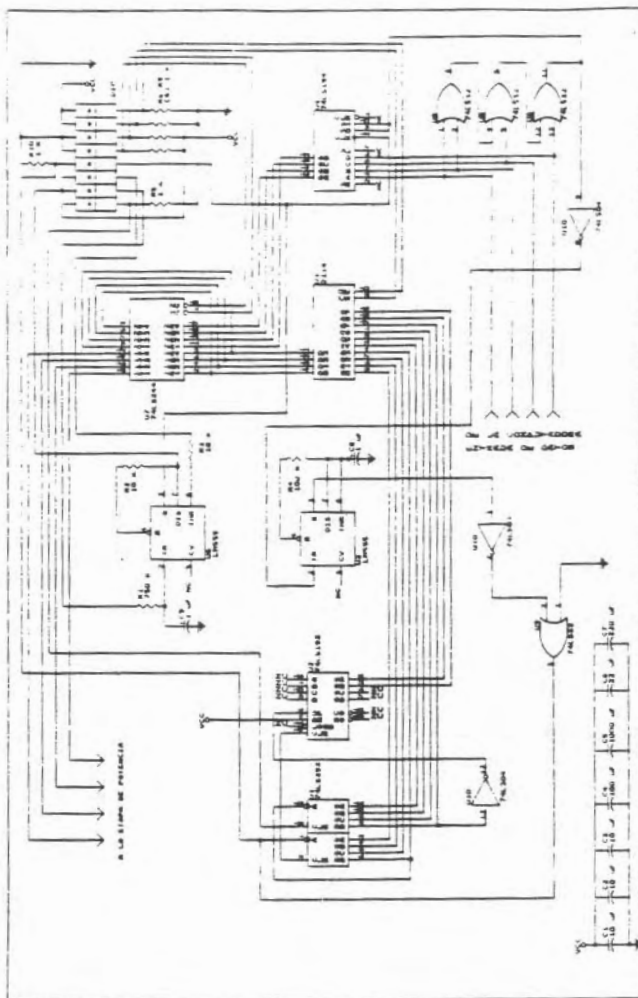


Figura B.2 Diagrama esquemático del robot controlado por memoria.