



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN PARA EL
DESPLAZAMIENTO DE UN DISPOSITIVO AUTÓMATA EN LA
EXTINCIÓN DE INCENDIOS”**

**FIGUEROA RAFAEL
KHAMMOUNI ANDRAOS**

VALENCIA, DICIEMBRE 2003



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN PARA EL
DESPLAZAMIENTO DE UN DISPOSITIVO AUTÓMATA EN LA
EXTINCIÓN DE INCENDIOS”**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**FIGUEROA RAFAEL
KHAMMOUNI ANDRAOS**

VALENCIA, DICIEMBRE 2003

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación fue el desarrollo de un sistema de navegación de un robot para la extinción de un incendio petroquímico. Este proyecto incluye la elección de las partes que conforman físicamente el sistema de navegación; además del programa que dirige hacia donde se desplaza el robot y como realiza este movimiento.

Luego de determinar que el siniestro comenzó, el autómatas comienza su recorrido mediante rutas preprogramadas hasta la zona del siniestro utilizando sensores para superar posibles obstáculos y el programa para la navegación efectiva hasta su destino. Una vez en las adyacencias, el operador se encarga, con un control remoto y observación directa de la zona mediante una cámara, de apuntar a la base del incendio para luego disparar una sustancia que lo extingue. Debido a que los componentes electrónicos del robot son sensibles a altas temperaturas, este cuenta en su diseño, con sensores de temperatura que le permitan evitar entrar en zonas de alta peligrosidad térmica que lo afecten. Además de zonas de acción previamente delimitadas.

El sistema de navegación fue probado para demostrar su correcto funcionamiento mediante la construcción de un prototipo y una serie de pruebas que permitieron determinar el comportamiento de los elementos del sistema de navegación en condiciones reales de funcionamiento, además se pudo conocer ciertos parámetros y capacidades de estos elementos. El sistema de navegación del prototipo tiene la capacidad de caminar en línea recta en ambos sentidos, hacia delante y hacia atrás.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar se agradece principalmente a Darwin, José y Fernando Cachón por su apoyo, ayuda y contribución a distintas áreas del proyecto.

A la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo por prestar su laboratorio para la realización de experimentos con el autómata.

Además, se agradece especialmente al CDCH, por su colaboración desde el inicio del proyecto.

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación esta dedicado en primer lugar a Dios, quien gracias a su sabiduría, me brindo el apoyo necesario para lograr llevar a termino esta meta, a pesar de las dificultades.

A mis padres y a mi hermana porque gracias a sus enseñanzas, formación y soporte he logrado culminar exitosamente otra etapa de mi vida.

A mi compañero de Tesis y a quien considero mi amigo incondicional, Rafael, por su trabajo y dedicación constante al proyecto, y por brindarme su confianza.

A quienes me acompañaron desde el primer momento en mi carrera y quienes siempre serán mis amigos Claudia, Romy, Eliana, Yamy y Virginia. Así como mis compañeros de trabajo, quienes supieron comprenderme y apoyarme en todo momento Geuely, Maria y José Antonio.

Andraos Khammouni

DEDICATORIA

Les dedico mi Tesis a mis amigos Andraos y Eliana.

Rafael Figueroa

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	3
INFORMACIÓN INICIAL.....	4
DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	4
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
OBJETIVO GENERAL	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
JUSTIFICACIÓN	7
ALCANCE.....	7
LIMITACIONES	8
CAPITULO II	9
ANTECEDENTES.....	10
INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	14
La Robótica y el Robot.....	15
LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	17
Clasificación por su nivel	19
Clasificación por su estilo.....	20
TARJETAS CONTROLADORAS.....	21
Circuitos Integrados.....	22
Microcontroladores.....	23
Memoria.....	25
Circuitos Digitales y Líneas I/O	26
Puertos y protocolos de comunicación	27
ACTUADORES.....	28
Servomotores	29
Neumática e Hidráulica	30
SENSORES Y AMBIENTE	31
Sensores de distancia	31
Sensores de contacto.....	32

Sensores para fuego	33
Cámaras	34
SISTEMAS DE NAVEGACIÓN	35
Posición	37
Destino.....	42
Encontrar el camino.....	43
Recorrer el camino.....	45
CONTROL REMOTO	47
Sistema Infrarrojo	48
Radio Control	48
Codificadores y Decodificadores.....	49
EL ROBOT Y LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS	50
GLOSARIO.....	51
CAPITULO 3.....	52
MARCO METODOLÓGICO	53
Nivel de investigación	53
Diseño de Investigación.....	53
Población y Muestra	54
Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	54
Aspectos administrativos.....	55
PUESTA EN MARCHA.....	57
Activación de sistemas	57
Conocer el destino	58
Seleccionar ruta	58
RECORRIDO.....	60
Verificación continua de ruta.....	60
Sistemas alerta	60
Fase rastreo y extinción de incendio.....	61
OBSTÁCULOS.....	62
Parámetros definidos	62
Métodos de superación	63
Métodos alternos.....	64
ESTRUCTURA DEL SISTEMA PROPUESTO	64
Lenguaje de programación	64
Controlador del sistema de navegación	65
Actuador	65
Sensores	65
EL PROGRAMA	67
CAPITULO 4.....	69
SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	70
Selección de Tarjeta Controladora	70

Selección de Actuadores.....	71
Selección del Control Remoto.....	71
Selección de la Cámara.....	72
Selección de Baterías.....	73
EXPERIMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	75
Experimentando con la tarjeta controladora.....	75
Experimentando con los actuadores.....	77
Experimentando con la cámara.....	78
Experimentando con los sensores.....	79
Experimentando con el control remoto.....	80
CIRCUITOS DEL PROTOTIPO.....	82
Circuito de conexión extremidades.....	82
Circuito de energía.....	82
CAPITULO 5.....	84
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	85
Prueba 1: Extremidad inicial.....	85
Prueba 2: Comunicación.....	85
Prueba 3: Circuitos del prototipo.....	86
Prueba 4: Conectividad y potencia.....	87
Prueba 5: Primer programa en Tarjeta impresa.....	91
Prueba 6: Movimiento.....	91
Prueba 7: Jerarquía de las tarjetas controladoras.....	92
Prueba 8: Control remoto.....	94
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97
Libros consultados.....	97
Paginas de Internet consultadas.....	97
ANEXOS.....	99
Anexo 1: Diagrama eléctrico del prototipo.....	100
Anexo 2: Esquema caminata simplificada.....	101
Anexo 3: Cruzar a la derecha.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Concurso extintores de fuego	12
Figura 2.2 Concurso camino de obstáculos.....	12
Figura 2.3 Robot resaltando algunos elementos	17
Figura 2.4 Tarjetas controladoras, marca OOPIC, Basic Stamp y Handy Board	21
Figura 2.5 IC NOR.....	23
Figura 2.6 Microcontrolador.....	24
Figura 2.7 Memoria EEPROM	25
Figura 2.8 Puertos de comunicación	27
Figura 2.9 Motor AC.....	28
Figura 2.10 Motor DC.....	28
Figura 2.11 Servomotor acoplado con disco.....	29
Figura 2.12 Sistema neumático e hidráulico.....	30
Figura 2.13 Aplicación Hidráulica.....	30
Figura 2.14 Sensor infrarrojo	31
Figura 2.15 Sensor Ultrasónico.....	32
Figura 2.16 Sensor de choque miniatura.....	32
Figura 2.17 Sensor de presión.....	33
Figura 2.18 Sensor Piroeléctrico	33
Figura 2.19 Termómetro Digital	34
Figura 2.20 Cámara digital miniatura	34
Figura 2.21 Brazo Mecánico	35
Figura 2.22 Sextante	37
Figura 2.23 Faros Infrarrojos-Ultrasónicos.....	40
Figura 2.24 Frecuenciómetro Óptico	41
Figura 2.25 Métodos para encontrar el camino.....	44
Figura 2.26 Esquema de un control remoto por radio.....	49
Figura 3.1 Ejemplo de mapa electrónico.....	59
Figura 3.2 Marca en la cámara.....	61
Figura 3.3 Visión de la cámara	61
Figura 3.4 Tipos de obstáculos.....	62
Figura 3.5 Tipos de obstáculos.....	63
Figura 3.6 Sensor de contacto con alargamiento	66
Figura 3.7 Distribución de sensores de contactos	66
Figura 3.8 Diagrama de la programación del robot	68

Figura 4.1 Cámara inalámbrica a color X-10.....	72
Figura 4.2 Conexión de OOPIC en red.....	77
Figura 4.3 Prueba de Torque.....	77
Figura 4.4 Esquema de conexión de tres servomotores al OOPIC.....	78
Figura 4.5 Izquierda: conexión original; derecha: conexión con baterías.....	79
Figura 4.6 Conexión de sensores binarios a la tarjeta controladora.....	80
Figura 4.7 Circuito de conexión del receptor RX-99.....	80
Figura 4.8 Programa para envío de datos desde el computador hasta el transmisor...	81
Figura 4.9 Circuito extremidades.....	82
Figura 4.10 Circuito de energía.....	83
Figura 5.1 Ubicación de las baterías y las tarjetas controladoras.....	89
Figura 5.2 Vista frontal de la tarjeta impresa.....	89
Figura 5.3 Vista posterior de la tarjeta impresa.....	90
Figura 5.4 Estructura auxiliar para la colocación de la tarjeta impresa.....	90
Figura 5.6 Prototipo caminando.....	93

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

Grafico 3.1 Cronograma de actividades.....	56
Tabla 3.1 Métodos de superación de obstáculo según tipo.....	63
Tabla 4.1 Recursos necesarios del OOPIC	70
Tabla 4.2 Especificaciones de los servomotores.....	71
Tabla 4.3 Requerimientos Teóricos	73
Tabla 4.4 Datos de algunas baterías de litio para cámaras fotográficas.....	73
Tabla 4.5 Cantidad de baterías en serie.....	74
Tabla 4.6 Cantidad de baterías en paralelo	74

INTRODUCCIÓN

El alto grado de riesgo humano en los incendios que tienen lugar en la industria petroquímica y la iniciativa de impulsar el avance tecnológico en el ámbito de la robótica de nuestro país, han llevado al desarrollo de este proyecto de grado. Comprendiendo el diseño y elaboración de un dispositivo autómatas de características específicas que permiten solventar ambas necesidades.

Este proyecto se lleva a cabo combinando tres áreas de investigación de trabajo conjunto: estructura mecánica, control y sistema de navegación; logrando esta última, entre otros cometidos, la conexión entre los mecanismos de movimiento y soporte y los dispositivos de sensado y control.

La navegación, punto de desarrollo de esta tesis, comprende componentes electrónicos y eléctricos que conforman su estructura física, esto le permite conectarse con otros dispositivos para llevar a cabo el movimiento, percepción, reconocimiento y demás funciones necesarias para el procesamiento de información por parte del sistema; esto gracias a un programa, que definido por las capacidades del autómatas, conlleva a una navegación limpia y efectiva.

La indagación tecnológica implícita en los requerimientos propios de la tesis, implica una amplia preparación bibliográfica previa y una sólida base teórica, centrándose en principio en una formación básica para luego adentrarse en la generación propia de avances técnicos.

Posteriormente, una amplia fase experimental permite redefinir los parámetros prefijados, esto es logrado mediante la construcción de un dispositivo prototipo, con características similares, dentro de lo posible, a las esperadas en el autómata real, determinando la precisión de los conceptos y teorías, y por ende, definiendo las especificaciones del dispositivo necesario para el cumplimiento de su objetivo, la extinción segura del siniestro.

CAPITULO I

INFORMACIÓN INICIAL

La navegación de los dispositivos autómatas se puede traducir en la capacidad de percepción que los mismos poseen con el medio ambiente y su habilidad para aprender del mismo.

Esta navegación por percepción se ha venido desarrollando en función de sensores, que le permiten al dispositivo interactuar con lo desconocido para tomar decisiones conducentes a realizar una labor determinada. Los sensores son tan variados y precisos como lo sean las exigencias terminales del dispositivo automático. Sin embargo, deben estar orientados a la ejecución de una navegación limpia y segura, condición difícil de alcanzar por lo impredecible de los ambientes en los que se desenvolverá el dispositivo.

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En Venezuela, debido a su condición social, económica y en su mayoría tecnológica; el desarrollo de proyectos de robótica se ve altamente restringido. Uno de los mayores problemas a enfrentar, a lo largo de la elaboración del sistema de navegación, es que el material bibliográfico y asesoría humana puede ser inexistente o quizás no se corresponda a los niveles que exige el proyecto. Esta situación se ve además agravada ya que los componentes y materiales requeridos para la elaboración de circuitos, sistemas y afines; son de difícil adquisición.

El sistema para la navegación de un dispositivo autónoma implica, además de un detallado desarrollo del programa que lo controla, de la interconexión de numerosos componentes electrónicos; conformados por partes frágiles que no admiten condiciones severas de funcionamiento en el entorno inmediato que lo rodea. Esto obliga a que a pesar de que el dispositivo estará sometido a altas temperaturas, el ambiente donde se encuentran estos componentes no debe exceder de 40° C de operación, restricción a la cual los componentes del sistema para la navegación del dispositivo pueden sufrir daños.

El robot se desenvolverá en un ambiente físico real, lo que implica una innumerable cantidad de variables externas que no se pueden predecir o controlar con anticipación. El sistema de navegación debe ser capaz de recopilar información del entorno tales como obstáculos, temperatura, irregularidades del terreno, escaleras, vigas, paredes, etc.; por tanto el robot debe incluir sistemas adicionales que le permitan reconocer el medio donde esta operando y sus alteraciones, siendo estos quienes definan su próximo comportamiento. También, se debe conocer la ubicación específica del robot en todo momento y estar familiarizado con la planta física donde se desenvuelve, ya que el sistema de navegación deberá proveer la mejor ruta para acceder al lugar del incendio.

El dispositivo autónoma se desplaza mediante un movimiento de trípode alternado, lo que adiciona dificultad al proyecto, ya este es uno de los sistemas de locomoción más complejos usado en la robótica. Finalmente, el sistema de navegación deberá coordinar acciones en conjunto para lograr los objetivos del robot.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Diseñar y construir un sistema que controle la navegación de un dispositivo automático capaz de extinguir incendios petroquímicos de una clasificación específica.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de navegación que permita el desplazamiento coherente y limpio de un dispositivo automático para la extinción de incendios.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema de navegación para el desplazamiento limpio de un dispositivo automático.

- Programar y simular el sistema de navegación.

- Construir y probar el sistema de navegación.

- Instalar y probar el sistema de navegación en un dispositivo automático.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo en la Escuela de Ingeniería Mecánica de dispositivos mecánicos que simulan movimientos específicos de desplazamiento, sumado a la necesidad por parte de la industria petroquímica y petrolera de contar con dispositivos automáticos que faciliten la extinción de incendios químicos donde el riesgo es demasiado elevado; ha conducido a la generación de temas de tesis en esta área de investigación tan específica y necesaria.

Este tema de tesis permite el desarrollo de actividades concretas de áreas igualmente específicas y la simbiosis multidisciplinaria entre las diferentes áreas del conocimiento, incrementando con ello el potencial tecnológico y la investigación aplicada.

ALCANCE

Este proyecto de grado comprende una investigación compuesta por tres secciones, dirigiéndose el presente trabajo específicamente al desarrollo de un sistema de navegación. El sistema involucra el diseño, programación, construcción, instalación y prueba, estando dirigido a un dispositivo que simula el trípode alternado cuyo prototipo existe en la actualidad. Por otra parte, el proceso de navegación para el dispositivo estará restringido a las áreas donde se produzcan incendios químicos para su extinción.

Es necesario acotar que el dispositivo que se diseñará y construirá será un modelo a escala que permita realizar las pruebas para la posterior construcción en tamaño real.

LIMITACIONES

Los componentes y equipos idóneos para la construcción del autómata tienen un alto costo en el mercado y son de difícil obtención, por ende se incluirán en el prototipo aquellos que los recursos de la investigación permitan adquirir, implicando la adaptación del diseño del dispositivo para las pruebas a la disponibilidad existente.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

Por siglos el ser humano ha construido máquinas que imiten las partes del cuerpo humano o realicen operaciones generalmente mecánicas por sí solas; comenzando a experimentar con creaciones ingeniosas, en cada época, que cumplen con órdenes y movimientos especificados por el hombre.

Durante los siglos XVII y XVIII en Europa fueron construidos muñecos mecánicos muy ingeniosos que tenían algunas características de robots. En 1662 se abre en Osaka el teatro Takedo de autómatas. En 1690 se construyen fuentes, dispositivos voladores, diligencias y cajas de música basadas en autómatas.

A partir del siglo XIX los adelantos se hacen más significativos. En 1801, J. Jaquard invento su telar, que era una máquina programable para la urdimbre. En 1805, Henri Maillardert construyó una muñeca mecánica que era capaz de hacer dibujos. Una serie de levas se utilizaban como “el programa” para el dispositivo en el proceso de escribir y dibujar. Estas ingeniosas creaciones mecánicas de forma humana se concibieron durante la revolución industrial, creadas por mentes de igual genio.

W. Greg Walter, en el siglo XX, crea dos tortugas electrónicas: Elmer y Elsie, capaces de evitar obstáculos en su camino, lo que represento un adelanto en el reconocimiento entre la máquina y el medio que la rodea.

1961. Un robot Unimate se instaló en la Ford Motors Company para atender una máquina de fundición de troquel.

1968. Un robot móvil llamado “Shakey” se desarrolló en SRI (Stanford Research Institute), estaba provisto de una diversidad de sensores así como una cámara de visión y sensores táctiles y podía desplazarse sobre una superficie sólida.

1971. El “Stanford Arm”, un pequeño brazo de robot de accionamiento eléctrico, se desarrolló en la Stanford University. También se crea el primer microcomputador de uso general, gracias a Intel Corporation.

1975. El robot ‘Sigma’ de Olivetti se utilizó en operaciones de montaje, una de las primitivas aplicaciones de la robótica al montaje.

El desarrollo de la tecnología, donde se incluyen las poderosas computadoras, los actuadores de control retroalimentados y la tecnología en sensores ha contribuido a flexibilizar los mecanismos autómatas para desempeñar tareas dentro de la industria.

No obstante las limitaciones y funciones de las máquinas robóticas actuales, el concepto popular de un robot es que tiene una apariencia humana y que actúa como tal. Este concepto humanoide ha sido inspirado y estimulado por varias narraciones de ciencia-ficción. La robótica se ha caracterizado por el desarrollo de otro tipo de sistemas; cada vez más flexibles, versátiles y polivalentes, mediante la utilización de nuevas estructuras mecánicas y de nuevos métodos de control y percepción. Estos

robots han sido objeto de investigación y finalidad de innumerables proyectos alrededor del mundo.

Sin embargo, el progreso de los avances tecnológicos en el campo de la robótica ha sido lento, es por ello que se crea la necesidad de desarrollar conceptos que permitan promover las innumerables aplicaciones que ella tiene. Algunas de las propuestas, es la creación de concursos y eventos de participación pública, donde se aspira promover e incentivar el desarrollo de proyectos de robótica en la comunidad, además de demostrar a los gobiernos y empresas, que esta tecnología e ideas pueden ser soluciones aplicables y rentables. Entre los concursos existentes de robótica se mencionan dos: El concurso para extintores de fuego de la Universidad Trinity (Figura 2.1) y el camino de obstáculos de Acroname (Figura 2.2); eligiéndolos por la estrecha relación con este proyecto.



Figura 2.1 Concurso extintores de fuego



Figura 2.2 Concurso camino de obstáculos

Cada concurso tiene reglas estrictas, en general se basan en un robot autómatas (no radio controlado) que debe, en el primer caso, encontrar una vela encendida y apagarla; en el segundo, completar el recorrido superando los obstáculos que se presenten. Estos concursos traen participantes de todo el mundo y de todas las edades y profesiones; acarreando muchos proyectos, ideas y tecnologías que forman base de conocimiento para nuevos robots como el desarrollado en este proyecto.

Durante la década de los 90, ocurre uno de los hechos más importantes en la historia de la robótica, la creación de tarjetas controladoras, que permiten manejar un robot sin poseer extensos conocimientos sobre electrónica o programación, tal característica representa una enorme ventaja para los principiantes en ese campo. Esto ha llevado a entusiastas a fabricar y controlar sus propios robots; aportando nuevos conocimientos, ideas y aún más importante el crecimiento de un mercado de herramientas y accesorios para construir robots. Hay tres modelos resaltantes en el mercado: “OOPIC”, “Basic Stamp” y “68HC11 Handy Board”.

Gracias a la investigación hecha en este campo, la robótica ha logrado expandirse hoy en día en casi todas las áreas de trabajo en las que el humano a incursionado a lo largo de la historia, permitiendo realizar las tareas de una manera eficiente y a la larga más económica, lo cual se evidencia en el mejoramiento de la calidad de vida, dado que ya no es igual de necesario realizar tareas difíciles, repetitivas, peligrosas o fatigantes físicamente, dándonos oportunidad de realizar trabajos administrativos o científicos que expandan esta misma forma de vida en la que se ha formado nuestra sociedad moderna.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Desde la antigüedad el hombre ha deseado librarse de las tareas más pesadas y complejas que realiza, y esto le ha llevado a un esfuerzo continuo que poco a poco ha ido dando sus frutos, los desarrollos de Inteligencia Artificial (en lo sucesivo I.A.) son un paso más en este camino.

La I.A. se define como la ciencia que trata de la comprensión de la inteligencia y del diseño de máquinas inteligentes, es decir, el estudio y la simulación de las actividades intelectuales del hombre (manipulación, razonamiento, percepción, aprendizaje, creación, etc.).

La I.A., tal como hoy la concebimos, hace su aparición en la década de los cincuenta; cuando se empiezan a escribir programas de ordenador de tipo simbólico para la resolución automática de problemas.

El desarrollo de la I.A. ha estado unido desde sus orígenes a los avances tecnológicos en el campo de los ordenadores, y éstos están íntimamente ligados a los desarrollos de la microelectrónica.

Actualmente se desarrollan en todo el mundo proyectos que envuelven inteligencia artificial, para controlar robots o simplemente procesos industriales, pero aun se están colocando las bases en este campo de la ciencia.

Los principales avances que se han podido observar, se encuentran el campo de la creación de software inteligente para computadoras, cientos de programadores a diario trabajan en lograr esta meta, en muchas ramas de la sociedad, incluyendo entretenimiento y educación.

Dentro de la I.A., dada su gran extensión, existen muchos campos; en este caso se hará referencia a la robótica (manipulación), ya que tiene mayor aplicación en este proyecto. Tomando en cuenta que los otros campos (razonamiento, percepción, etc.) también se encuentran intrínsecamente relacionados con la robótica.

La Robótica y el Robot

La robótica abre una nueva y decisiva etapa en el actual proceso de automatización, creciente en los procesos de producción. Lo cual consiste esencialmente en la sustitución de máquinas o sistemas independientes que realizan operaciones concretas, por dispositivos mecánicos de uso general, dotados de varios grados de libertad en sus movimientos y capaces de adaptarse a la automatización de un número muy variado de procesos y operaciones.

Este concepto, nos permite definir lo que da vida a la robótica; el robot. El cual es, cualquier dispositivo mecánico que puede ser programado para realizar un cierto número de tareas que comprenden manipulación y movimiento bajo control automático. Sean estas tareas operaciones industriales o no, ya que la robótica ha encontrado aplicaciones en muchos campos de la ciencia y del entretenimiento.

Gracias a su uso en la ciencia-ficción, el robot tiene apariencia humana y opera como humanoide, pero en realidad los robots industriales modernos tienen muy poco o ningún parecido a los humanos.

Estos robots, por un lado poseen cualidades físicas para ejecutar tareas diversas y, por otro, la ejecución diversificada de una misma tarea. La versatilidad implica una primera característica de un robot. La auto-adaptabilidad al entorno, que se trata de la capacidad de iniciativa de un robot para desarrollar de manera correcta tareas no especificadas, a pesar de las modificaciones imprevistas del entorno.

Esta propiedad conduce al robot a:

- Ser capaz de captar el entorno que le rodea.
- Ser capaz de analizar el espacio de trabajo y elaborar una estrategia de ejecución.
- Utilizar modos automáticos de operación.

Los dispositivos autómatas o robots, en general, están compuestos por una parte física que le permite manipular y desplazarse en su entorno (motores, brazos, etc.), y contienen un sistema central (circuitos electrónicos, memoria, etc.), donde se almacena el programa que decide y controla los movimientos del robot, tomando en cuenta los datos que entran a este por medio de sensores. La figura 2.3 muestra un dispositivo autómatas, programado para seguir rutas y responder a eventos de su exterior, resaltando ejemplos de algunas de las partes que permiten su funcionamiento.

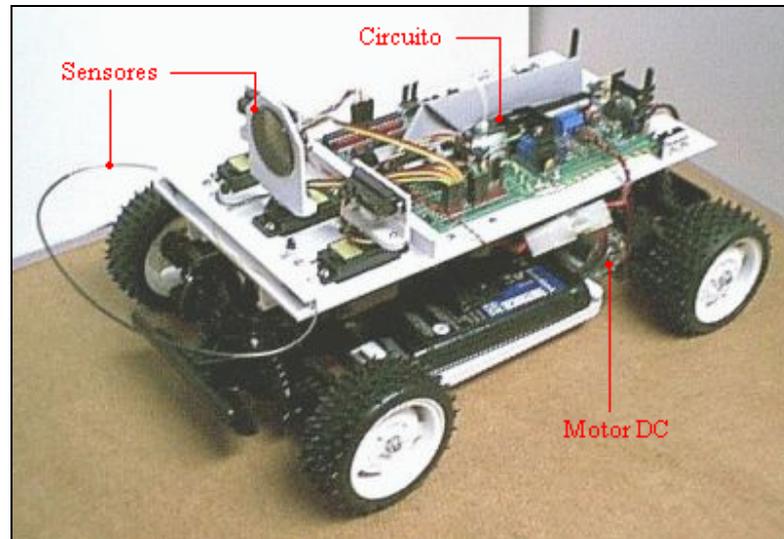


Figura 2.3 Robot resaltando algunos elementos

LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Un Lenguaje de Programación es un conjunto de reglas, símbolos y palabras especiales para construir un programa; mientras que un programa o software es una secuencia de instrucciones que son ejecutadas por una computadora o microcontrolador en una secuencia específica para llevar a cabo una o más tareas.

Los sistemas de navegación modernos prácticamente en su totalidad usan o dependen de programas de computadora o software para su manejo, tanto que se llega a considerar al programa como el sistema en sí, aunque esta aseveración es técnicamente incorrecta, la dependencia de los sistemas de navegación de sus programas y en general de las computadoras, es tan obvia e importante que el uso de esta expresiones se ha popularizado.

El software de las computadoras normalmente es escrito por profesionales especializados en este campo, ya que esta “escritura” tiene sus propias reglas, que conforman al lenguaje de programación, de manera que, el conocimiento de estas reglas es necesario para escribir software. La información relacionada con los lenguajes de programación es necesaria para realizar cualquier proyecto que contenga un sistema de navegación.

Cada lenguaje de programación tiene su propio estilo; algunos lenguajes hacen de la programación algo tediosa y distante, otros hacen la programación entretenida. Un buen lenguaje de programación, tal como una buena notación matemática, nos ayuda a formular y comunicar ideas claramente. Los lenguajes de programación ocupan una posición importante en la ciencia de la computación e informática, y la programación por si sola es muy importante.

Los lenguajes de programación de hoy en día, son el producto del desarrollo que empezó en los años 50. Muchos conceptos acerca de lenguajes han sido inventados, probados y mejorados al ser incorporados en lenguajes sucesivos. Sin contar con algunas pocas excepciones, el diseño de cada lenguaje ha sido fuertemente influenciado con la experiencia de los lenguajes primitivos.

Hay, al menos, dos formas fundamentales desde las que pueden verse o clasificarse los lenguajes de programación: por su nivel y por su estilo. Esta clasificación esta condicionada por la visión histórica por la que ha transcurrido el lenguaje.

Clasificación por su nivel

Lenguaje de Bajo Nivel: Entre ellos se encuentran el Lenguaje de Máquina y el Lenguaje Ensamblador. El Lenguaje de máquina es el que interpreta directamente el sistema de procesamiento, en este lenguaje las instrucciones se presentan sólo en código binario, así por ejemplo la instrucción “restar” puede tener como código binario el lenguaje máquina 11110000. El Lenguaje Ensamblador es simplemente una representación simbólica del lenguaje máquina asociado, lo cual permite una programación menos tediosa que con el anterior. Los Lenguajes Ensambladores y los Lenguajes Máquina son dependientes de la máquina. Cada tipo de máquina, como los procesadores Intel, tiene su propio lenguaje máquina distinto y su lenguaje ensamblador asociado, y es necesario un conocimiento de la arquitectura mecánica subyacente para realizar una programación efectiva en cualquiera de estos niveles.

Lenguajes de Alto Nivel: Son los más utilizados como lenguaje de programación. Estos lenguajes permiten que los algoritmos se expresen en un nivel y estilo de escritura fácilmente legible y comprensible por otros programadores. Además, los lenguajes de alto nivel tienen normalmente las características de "Transportabilidad". Es decir, están implementados sobre varias máquinas de forma que un programa puede ser fácilmente "Transportado" (Transferido) de una máquina a otra sin una revisión sustancial. En ese sentido se llama "Independientes de la máquina". Ejemplos de estos lenguajes de alto nivel son PASCAL, LISP, C, BASIC, etc. La programación de un lenguaje de alto nivel o en un lenguaje ensamblador requiere, por tanto, algún tipo de interfaz con el lenguaje máquina para que el programa pueda ejecutarse. Lo que se logra por medio de los compiladores que traducen el programa de un lenguaje de alto nivel al lenguaje máquina.

Clasificación por su estilo

Los lenguajes de alto nivel son los únicos que pueden clasificarse en varios estilos debido a su complejidad y diversidad. Es posible entonces, encontrar una amplia variedad de estilos de lenguaje de programación, entre los cuales, por su extensa utilización, resalta:

Orientados a Objetos: Entre los lenguajes orientados a objetos se encuentran Visual Basic y C++, donde un objeto es una combinación de código y datos que se puede tratar como una unidad. Un objeto puede ser una parte de una aplicación, como un control o un formulario. También puede ser un objeto una aplicación entera.

Los objetos aceptan propiedades, métodos y eventos. Los datos de un objeto (configuración o atributos) se llaman propiedades, mientras que los diversos procedimientos que pueden operar sobre el objeto se conocen como sus métodos. Los programas orientados a objetos responden a eventos, donde un evento es una acción reconocida por un objeto, como hacer clic con el mouse o presionar una tecla, y el programador puede escribir código que permite que un objeto responda a ese evento.

A pesar que estos lenguajes han hecho populares sus respectivos estilos, no poseen los derechos sobre ellos, de manera que el estilo de lenguaje orientado a objetos puede ser aplicado en cualquier lenguaje que se desee crear, por lo que existen muchos procesadores que permiten ser programados con estos lenguajes de alto nivel y ser compilados a lenguaje de máquina.

TARJETAS CONTROLADORAS

Actualmente, los robots no son producidos en serie, a excepción de algunos con aplicaciones industriales, ya que la robótica se encuentra en un proceso de crecimiento, donde existen muchos proyectos robóticos independientes y cada año se crean nuevas aplicaciones para ésta. Por tal motivo, se han popularizado tarjetas controladoras prefabricadas, cuyo uso no requiere extensos conocimientos en electrónica, compuestas por microcontroladores reprogramables y con una interfase capaz de conectarse con otros dispositivos, haciéndola muy versátil, por lo que la misma tarjeta podría ser usada para un controlar un modelo a escala de un cohete, un sistema de alarma, un robot, etc. En la figura 2.4 puede observarse la estructura de algunas de las tarjetas más funcionales y populares en el mercado.

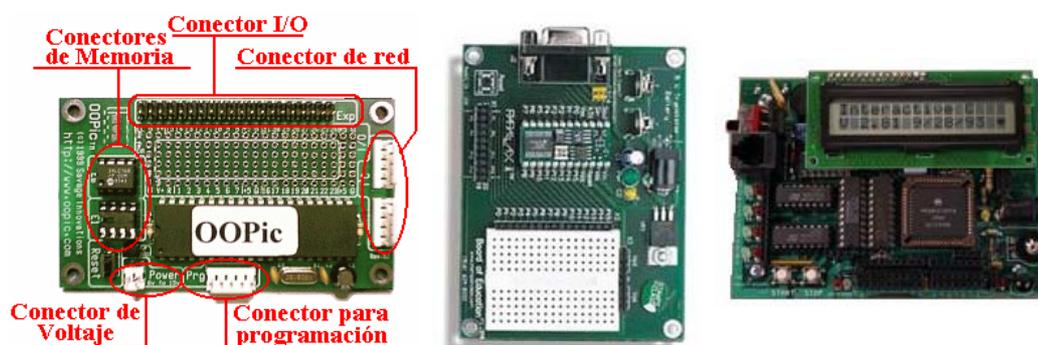


Figura 2.4 Tarjetas controladoras, marca OOPIC, Basic Stamp y Handy Board

Para programar las tarjetas, se utilizan computadoras personales. En el computador se realiza el programa mediante el uso de un lenguaje de programación específico, que corresponda a las necesidades del proyecto, este luego es revisado para eliminar posibles errores que produzcan fallas en el funcionamiento óptimo del robot.

Finalmente se verifica si existen errores en la programación, se compila en la computadora a un lenguaje de máquina que pueda ser entendido por la tarjeta controladora, luego se baja a la tarjeta controladora mediante puertos de comunicación especiales ubicados en la tarjeta.

A continuación se listan y explican algunos de los componentes básicos que conforman a una tarjeta controladora. Debido a que cada tarjeta es construida por diferentes fabricantes, cada uno incluye en ellas lo necesario para aplicaciones diferentes, es decir, algunas poseen sólo los componentes mínimos de operación para disminuir costos y hacerlas más accesibles para principiantes, mientras que otras contienen características que permiten realizar otras tareas específicas, lo que representa más complejidad en su uso.

Circuitos Integrados

Son circuitos electrónicos que han sido miniaturizados y combinados dentro de un paquete pequeño y conveniente. Por el hecho de contener todo esto en un solo elemento, se les ha llamado circuitos integrados o IC.

Los microcontroladores, microprocesadores y memorias, de los que se hará referencia mas adelante en este capítulo son ICs; así mismo, puede hacerse un circuito integrado para cualquier aplicación, siempre que se justifique el costo de realizar una producción en serie o lo amerite la aplicación. Entre los ICs más vendidos se encuentran los Timers y los operadores lógicos para circuitos digitales. En la figura 2.5

se muestra un ejemplo de la configuración de una puerta lógica NOR.

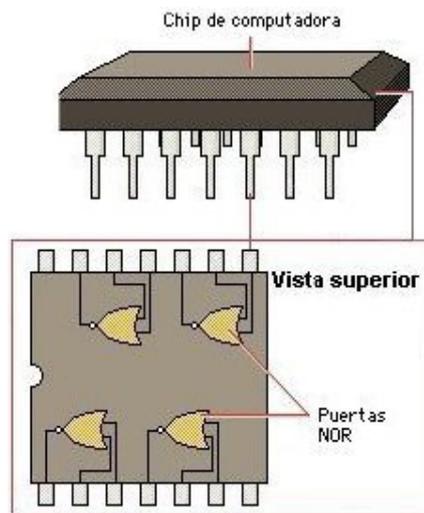


Figura 2.5 IC NOR

Microcontroladores

Un microcontrolador (MCU) es una computadora empaquetada en un IC hecho para interactuar preferiblemente con máquinas en lugar de personas; que según la aplicación puede incluir varios elementos. Entre ellos los más significativos son: la memoria, donde se almacenan las instrucciones del programa y el procesador de la información.

Algunos microcontroladores son hechos para aplicaciones específicas por lo que son programados una sola vez por el fabricante, para producciones en serie. Por ejemplo, existe un microcontrolador para controlar la velocidad del motor dentro de un VHS. Otros pueden ser programados sólo una vez o miles de veces por el usuario final, dependiendo principalmente del tipo de memoria que se utilice.

Por su versatilidad y relativo bajo costo pueden ser empleados en múltiples aplicaciones, por lo que actualmente se encuentran alrededor de nosotros en todo momento, controlando microondas, impresoras, cornetas, juguetes, puertas automáticas, equipos de sonido, etc. Además de ser empleados en aplicaciones avanzadas de robótica y automatización.

En la figura 2.6 se muestra un ejemplo del microcontrolador Basic Stamp que es incluido en una tarjeta controladora.

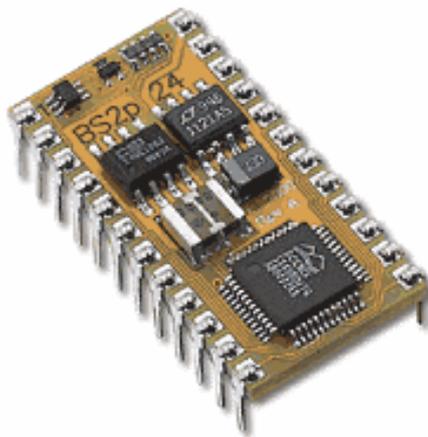


Figura 2.6 Microcontrolador.

Memoria

En la memoria se almacenan las instrucciones del programa y sus variables, por lo tanto son necesarias en cualquier microcontrolador programable, sean internas o externas a este. Deben ser ICs para cumplir con los mismos requerimientos de tamaño y versatilidad de los microcontroladores, en oposición a las computadoras que utilizan grandes discos magnéticos para almacenar sus datos, la desventaja es que las memorias de los microcontroladores pueden guardar poca información, en el orden de los miles de bytes.

Existen muchos tipos de memorias, dependiendo de la forma como se programen y la cantidad de veces que pueden ser programadas, como se hizo referencia en la sección de microcontroladores, en este caso se explicará uno de ellos, que se emplea en los proyectos de robótica.

EEPROM: (Electrically-Erasable Programmable Read Only Memory) Memoria de solo lectura, eléctricamente borrable y programable, esto permite realizar varias pruebas con una memoria, ya que el programa puede cargarse, usarse, y luego borrarse de nuevo para cargar otro programa o una versión mejorada. Esta operación puede realizarse aproximadamente mil veces con cada memoria si es necesario. La imagen siguiente es una memoria EEPROM de 256 kiloBits (32 KiloBytes).



Figura 2.7 Memoria EEPROM

Circuitos Digitales y Líneas I/O

Los circuitos digitales operan en el sistema numérico binario, que implica que todas las variables de circuito deben ser 1 o 0. El álgebra utilizada para resolver problemas y procesar la información en los sistemas digitales se denomina álgebra de Boole, basada sobre la lógica más que sobre el cálculo de valores numéricos reales. El álgebra booleana considera que las proposiciones lógicas son verdaderas (corresponden al valor digital 1) ó falsas (corresponden al valor digital 0). De manera que los valores binarios pueden evaluarse en función del álgebra booleana, inclusive grandes cadenas de números en formato binario.

Las líneas I/O se refieren a señales Input (entradas) y Output (salidas), sus valores son estados binarios de nivel de voltaje, por lo general +0V y +5V, que corresponden a valores digitales 0 y 1 respectivamente. Si la línea es un Input el valor se lee de ella y si es un Output se escribe en ella. Por ejemplo un salida presenta un estado en su línea de +5V cuando se le da un valor digital 1 y presenta 0V cuando se le da un valor digital 0. Las líneas I/O son muy importantes para los microcontroladores y por esto la mayoría de los fabricantes tratan de maximizarlas, algunos microcontroladores contienen líneas que pueden ser configuradas para ser Inputs u Outputs; mientras que en otros las líneas están predefinidas.

Normalmente en los robots los Inputs se utilizan para conectar sensores y los Outputs para controlar actuadores, al mismo tiempo son la forma de comunicación más elemental que existe. Pero para que haya una comunicación formal entre dispositivos, debe haber un acuerdo entre las partes como se explicará en la siguiente sección.

Puertos y protocolos de comunicación

Los puertos de comunicación, son todas aquellas áreas de un circuito que funcionan como interfase con otros elementos, como sensores, motores, una computadora u otro dispositivo. En la figura 2.8 se observa como un circuito se comunica con un pequeño teclado.

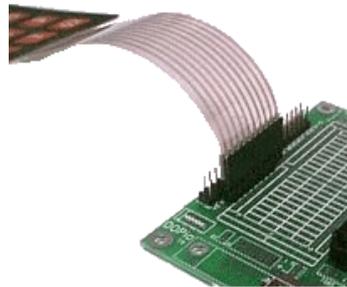


Figura 2.8 Puertos de comunicación

Un protocolo consiste en la comunicación o la transferencia de información entre dispositivos de envío y de recepción de datos, quienes establecen un acuerdo entre los conjuntos de normas que ambos utilizarán al comunicarse.

Las comunicaciones serial son las más usadas por microcontroladores, porque transmiten los datos en paquetes, lo que permite minimizar la cantidad de puertos I/O usados para esta tarea, entre ellas tenemos:

I2C (Inter Integrated Circuit): Es un sistema que necesita solo dos cables, se usa para comunicar circuitos integrados.

ACTUADORES

Los robots en general necesitan mover algunas de sus partes, para realizar una tarea o desplazarse, esto lo logran con sistemas de locomoción; accionando extremidades, ruedas, alas, etc. Estos accionamientos se realizan por medio de diferentes actuadores, donde cada uno tiene sus ventajas en su campo de aplicación. A continuación se nombran los más usados en la robótica:

Los motores eléctricos

Estos motores se encuentran a nuestro alrededor con múltiples aplicaciones en gran variedad de tamaños y modelos, existen motores AC (Corriente Alterna), figura 2.9, que son usados para accionar lavadoras, maquinas de coser, ventiladores, etc. en el hogar, así como una gran cantidad de elementos en la industria; y motores DC (Corriente directa), figura 2.10, que dominan el campo de la robótica, podemos verlos comúnmente en los juguetes, reproductores de casetes y discos compactos, también en la mayoría de los dispositivos que usan baterías. Son económicos, sencillos de usar y pueden controlarse directamente mediante circuitos eléctricos, por lo que son muy utilizados.



Figura 2.9 Motor AC



Figura 2.10 Motor DC

Servomotores

Son motores de corriente directa, que tienen incorporados: una caja reductora de engranajes y un circuito de control, este ultimo permite que los motores formen un ciclo cerrado con su sistema de control, por ende dada una señal estos ajustan su comportamiento hasta cumplir con el requerimiento en la señal. Los servomotores abarcan en su mayoría las aplicaciones robóticas, dentro del campo de los motores de corriente directa.

Existen varios tamaños para este motor, pero se popularizaron como motores pequeños para aviones, carros y botes a control remoto, disminuyendo sus costos ya que se convirtieron en algo común y fácil de encontrar. Esta aplicación ha hecho que los servomotores estén diseñados para oscilar, rotar hacia un lado y hacia el otro en un campo de acción angular específico, pero pueden ser modificados para rotar continuamente. Este tipo de servomotor pequeño, es también llamado “motor R/C”, por ser conocido como motor para radio control, aunque el dispositivo en sí no está exclusivamente diseñado para esto. Es solo un actuador, que como cualquier otro, puede ser radio controlado. En la figura siguiente se muestra uno de estos motores, acoplado a un disco útil para muchas aplicaciones.



Figura 2.11 Servomotor acoplado con disco

Neumática e Hidráulica

Estos sistemas utilizan fluidos para transmitir potencia, en el caso de la neumática normalmente se usa aire, mientras que la hidráulica utiliza aceite u otros fluidos dependiendo de la aplicación. En la figura 2.12 se observa un esquema del funcionamiento básico de ambos sistemas, este se basa en el principio de que la presión es constante en todo el sistema y que la fuerza aplicada es proporcional a su área de aplicación y la presión ejercida ($Fuerza = Presión \times \text{Área}$); por ejemplo cuando el cilindro se mueve hacia la derecha, el área de entrada (alimentación del fluido naranja) es menor que el de salida (embolo del cilindro), por lo que a una misma presión se obtiene una fuerza mayor, que es utilizada por el actuador (vástago del cilindro), la posición del embolo es controlada por medio de las válvulas de entrada y salida del fluido. No todos estos sistemas usan cilindros, pero los cilindros permiten obtener movimientos lineales directamente. Ambos sistemas son utilizados en aplicaciones robóticas, la neumática en sistemas pequeños y en animatrónica, mientras que la hidráulica es aplicada en sistemas donde se necesite aplicar grandes fuerzas. La figura 2.13 muestra una maquinaria pesada levantando una gran carga mediante el uso de cilindros hidráulicos.



Figura 2.12 Sistema neumático e hidráulico



Figura 2.13 Aplicación Hidráulica

SENSORES Y AMBIENTE

Los sensores son el mecanismo de reconocimiento del ambiente, sin significar esto que lo entienda. Los sensores le permiten al robot recopilar el estado actual y cambiante del espacio físico con el cual debe permanecer conectado. Esta información le permite al sistema de navegación, en muchos casos, conocer la posición del robot o determinar la trayectoria a seguir, según las necesidades de este.

Existen miles de sensores que se pueden adaptarse al funcionamiento de un robot, dependiendo de la variable que miden, la forma en que lo hacen, precisión, rango, y muchas otras variables importantes para cualquier tipo de sensor. De esta gran variedad se nombrarán algunos por su aceptación en el campo de la robótica.

Sensores de distancia

Infrarrojo:(Figura 2.14) Esta compuesto por dos partes, un emisor y un receptor de luz infrarroja, mide el ángulo con el que la luz se refleja en los objetos, y a partir de esto calcula la distancia. Su principal defecto es que la luz no se refleja en objetos transparentes o cuerpos oscuros, por lo que no detecta este tipo de superficies.



Figura 2.14 Sensor infrarrojo

Ultrasónico:(Figura 2.15) De la misma manera que el sensor infrarrojo, contiene un emisor y un receptor, pero este mide el tiempo en el que regresa una onda de sonido a frecuencia ultrasónica para calcular la distancia, este puede detectar cualquier superficie, pero muchas veces no detecta esquinas o cuerpos muy delgados.



Figura 2.15 Sensor Ultrasónico

Sensores de contacto

Choque:(Figura 2.16) Se trata de un interruptor cuyo accionador es normalmente una extremidad que al hacer contacto con un cuerpo, enviando una señal al robot. Pueden construirse u obtenerse prefabricados, son los sensores mas económicos y simples que se pueden usar, en ciertos robots pueden conectarse directamente a sus motores, ya que son solo interruptores.



Figura 2.16 Sensor de choque miniatura

Presión:(Figura 2.17) En la figura sólo se muestra el dispositivo que mide la presión. El sentido de tacto puede darse, agregando un cilindro lleno de aire, que se comprima mediante un embolo colocado en el lugar donde se quiera medir la presión, como en las puntas de las extremidades del robot. Al aumentar la presión del aire dentro del tubo, puede calcularse el cambio de presión en la punta de la extremidad.



Figura 2.17 Sensor de presión

Sensores para fuego

Piroeléctrico:(Figura 2.18) El sensor detecta los cambios de radiación infrarroja en el ambiente, con lo que puede detectar fácilmente llamas, así como cualquier cosa que genere calor por radiación. Reduciendo el campo de visión pueden detectarse llamas cada vez más pequeñas, en esto casos generalmente se montan sobre bases giratorias que le permiten examinar el ambiente como un radar.



Figura 2.18 Sensor Piroeléctrico

Termómetro digital:(Figura 2.19) Miden la temperatura del entorno, se mide usando un termopar, que da una señal analógica de voltaje, pero el termómetro la convierte en una señal digital, minimizando el uso de recursos de los microcontroladores para esta tarea. El termómetro de la siguiente figura, no utiliza partes externas.

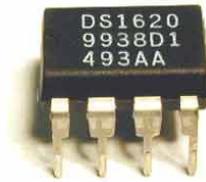


Figura 2.19 Termómetro Digital

Cámaras

La tecnología no ha logrado analizar imágenes, ni videos tal como nosotros lo hacemos, en este campo los científicos especialistas solo están comenzando a investigar, lo que promete ser una tarea muy ardua y de lento avance. En casos especiales, las cámaras pueden ser usadas como sensores de luz, o encontrar en una imagen un patrón especial de color o de forma, pero esto exige mucho espacio del programa dentro de la memoria, para poder procesar la información y convertirla en algo que pueda ser útil para tomar alguna decisión. Pero pueden ser conectadas a los robots y grabar o enviar información a una computadora o usuario remoto para ser analizada. La cámara en la figura 2.20 esta hecha para usarse en una computadora.



Figura 2.20 Cámara digital miniatura

SISTEMAS DE NAVEGACIÓN

Un sistema de navegación es un conjunto de elementos que conectados o relacionados, proporcionan la información y orientación necesaria para realizar un desplazamiento determinado. Los componentes más importantes de este sistema son: la posición, el destino, los métodos para encontrar el camino entre la posición inicial y el destino y el uso correcto de las herramientas e instrumentos disponibles para recorrer el camino.

Existen dispositivos robóticos que aunque no realizan un desplazamiento respecto al lugar donde se encuentran, sus piezas o sus partes si realizan movimientos respecto a otras partes fijas del dispositivo, haciendo que el concepto de sistema de navegación sea también aplicable a estos, el brazo mecánico (Figura 2.21) usado ampliamente en la industria es un ejemplo de ello.



Figura 2.21 Brazo Mecánico

El motivo para el desplazamiento comúnmente es conocido, en el caso humano podría ser un viaje de negocios, de compras al mercado o querer caminar hasta el comedor. En el caso de los robots, el motivo de un desplazamiento puede ser la razón de su existencia, como los robots que transportan alimentos, como también puede ser un paso necesario dentro de la realización de sus tareas u objetivos.

Para ilustrar mejor la diferencia y significado de cada uno de los componentes, de un sistema de navegación, nombrados anteriormente; se dará el siguiente ejemplo: Se necesita hacer un viaje de vacaciones por vía terrestre, donde la *posición* inicial será la ciudad de Valencia, se decide que la posición final o *destino* serán los Andes merideños, para *encontrar el camino* se observa un mapa y se deciden las autopistas, carreteras o rutas que se tomaran y finalmente cuando se *recorre el camino* debe manejarse un automóvil, evitar accidentes y obstáculos, verificar la gasolina y otros indicadores, elegir la velocidad, el carril de avance, etc.

Existen sistemas de navegación que deben adaptarse a ciertas aplicaciones, en otros casos se adaptan al dispositivo a navegar, es importante acotar que no todos los componentes de la navegación, sufren este tipo de adaptaciones. En el ejemplo anterior si se realiza un sistema para *encontrar el camino*, como una voz que indique “cruzar a la derecha”, el sistema debe adaptarse a viaje por carreteras (adaptación a una aplicación), pero puede funcionar para cualquier automóvil (el sistema es relativamente independiente del dispositivo).

La información acerca de los elementos del sistema de navegación es importante para tener criterios apropiados para tomar las decisiones en su diseño, por esto a continuación se explican detalladamente.

Posición

Desde tiempos prehistóricos, el hombre ha buscado maneras confiables de poder determinar donde se encuentra para ayudar a otros a llegar a donde están o para poder llevarlos de regreso. Los primeros marineros seguían de cerca la costa para evitar perderse. Cuando los primeros navegadores fueron a mar abierto descubrieron que podían guiarse por las estrellas para seguir su curso. Los antiguos fenicios utilizaban la estrella del norte para guiarse desde Egipto a Creta. Desgraciadamente para los marineros, las estrellas eran visibles sólo de noche y cuando estas eran despejadas. Los siguientes adelantos obtenidos en la navegación fueron el compás magnético y el sextante (Figura 2.22).



Figura 2.22 Sextante

La aguja del compás siempre apuntaba hacia el norte y era posible saber hacia donde se dirigían. El Sextante utilizaba espejos ajustables para medir exactamente el Angulo de las estrellas, la luna y el sol sobre el horizonte. Sin embargo, en los primeros días de su uso era sólo posible determinar la latitud (la ubicación en la tierra medida de norte a sur desde el ecuador) desde la observación sextante. Los marineros todavía no podían determinar su longitud (la ubicación de la tierra medida de este a oeste). Esto era un serio problema hasta que en el siglo 17, los británicos organizaron un equipo con los mejores científicos para buscar la manera de medir la longitud.

En 1761, un carpintero llamado John Harrison invento un reloj para barco que ganaba o perdía no mas de un segundo por día, durante los próximos dos siglos el sextante y el cronometro fueron utilizados en combinación para proveer la información de latitud y longitud.

A continuación se muestran algunas formas de calcular o conocer la posición que pueden ser aplicados en la robótica así como en otros campos:

Radio Frecuencia: A principios del siglo 20 fueron desarrollados diversos sistemas de navegación basados en ondas de radio. Al usar ondas de radio se elige entre un sistema muy preciso pero que no puede cubrir una basta región o uno que cubre un gran espacio pero no es muy preciso. Radio señales de altas frecuencia (como UHF) pueden proveer una posición precisa dentro de una pequeña área. Radio señales de baja frecuencia (como AM) pueden cubrir una gran área pero sin dar una posición precisa.

Para aplicaciones donde la zona de desplazamiento del dispositivo es relativamente pequeña, como el área de una industria, se usan ondas de alta frecuencia, al aplicarse en zonas de menor tamaño se aumenta la precisión considerablemente.

GPS: Después de estudiar los sistemas de radio frecuencia anteriores, los científicos, decidieron que la única manera de proveer una cobertura para todo el planeta era colocando radio transmisores de alta frecuencia en el espacio. Un transmisor de alta frecuencia puede cubrir una gran área enviando radio señales de alta frecuencia con una señal especial y sobrepasar la interferencia y llegar a la tierra.

Desde los primeros satélites, se ha probado con éxito en las aplicaciones de navegación habituales, tanto que ahora podría decirse que es casi el único sistema utilizado para determinar la posición, dentro de los sistemas de navegación, en aplicaciones de gran envergadura, tanto comercial, como militar, personal, científico, etc. Pero existe una limitación relacionada con la aplicación de este método, su precisión, el sistema de posicionamiento global (GPS) puede dar la posición (normalmente en coordenadas) dentro de una exactitud de 6 a 30 metros, dependiendo de las características del equipo, en cualquier lugar del mundo; aunque considerando la superficie de la tierra podemos ver que su precisión es impresionante, para ciertas aplicaciones no será suficiente.

Faro: En un contexto amplio, se le llaman faros a dispositivos que puedan enviar o mostrar una referencia de posición al elemento que navega, para ayudarle a encontrar su propia posición o camino a seguir. Al igual que el faro de luz que usan los barcos, los robots utilizan faros especializados.

Uno de ellos que puede fabricarse fácilmente es el faro Infrarrojo-ultrasónico: cada faro envía al mismo tiempo dos señales a un receptor ubicado en el robot, una señal ultrasónica y una infrarroja, midiéndose el tiempo que tarda en llegar la ultrasónica en referencia a la infrarroja, conociendo este tiempo, la velocidad del sonido y considerando que la luz llega en el momento que se envía, se calcula la distancia del receptor al emisor. Se colocan varios emisores, para activarse en secuencia, cada uno usa una frecuencia de envío diferente (frecuencia de luz infrarroja e infrasonido), permitiendo al robot determinar a que distancia se encuentra de cada uno y al conocer la posición de estos, conoce su posición (Figura 2.23). Nótese que los emisores envían su señal independientemente del control del robot, por lo que no ocupa el programa del robot.

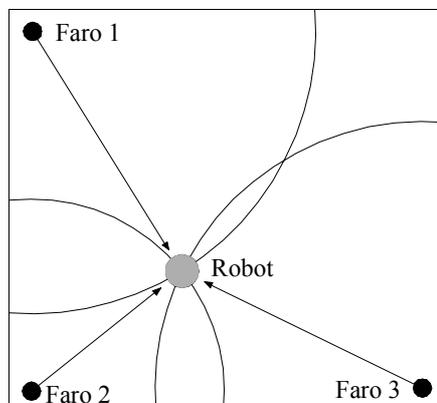


Figura 2.23 Faros Infrarrojos-Ultrasonicos

Otro tipo de faro, muestra el área o sector donde se encuentra el robot, pero no su posición exacta. Se colocan faros con emisores infrarrojos, a cada faro se le coloca una secuencia (un código binario único) que corresponde en la memoria del robot a un área o sector, usado normalmente en lugares que contienen habitaciones, donde cada habitación es un sector. Deben cuidarse los códigos usados, ya que estos pueden coincidir con los usados en controles remotos de aparatos electrónicos.

Por ultimo existen sistemas de posicionamiento que no dependen de señales externas al dispositivo, por ejemplo el contador de kilómetros de los automóviles o la posición de alguna parte de un brazo mecánico, que se calcula indirectamente a partir de los movimientos que ha realizado el aparato.

Estos últimos tienen una importancia considerable, ya que mientras que un dispositivo se esta moviendo en una dirección, puede que necesite accionar varios mecanismos dentro de su estructura. Imaginemos por ejemplo un robot que imita el movimiento del caminar de una araña, el sistema de navegación debe conocer o calcular la posición de las patas antes de tomar cualquier decisión o acción.

También son importantes porque la mayoría de los procesos automatizados en las industrias presentan dispositivos que no se desplazan del lugar de trabajo, pero necesitan gran precisión dentro del rango de movimientos y tareas que estos realizan.

En muchos sistemas robóticos y otros dispositivos se utiliza un mecanismo llamado *frecuenciómetro óptico* que puede medir la posición o velocidad de un eje rotativo. El frecuenciómetro de la figura 2.24 dispone de un disco opaco perforado periféricamente acoplado al eje cuya velocidad desea medirse, un foto-emisor y un foto-receptor. Cuando el disco gira, el haz de luz proveniente del foto-emisor atraviesa intermitentemente las perforaciones en el disco; por lo que la señal del foto-receptor es una respuesta binaria. Su precisión y rango dependen del tamaño del disco, el número de divisiones y el número de fotocélulas.

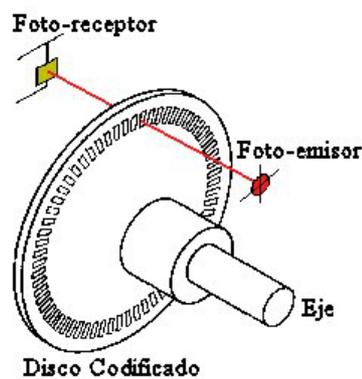


Figura 2.24 Frecuenciómetro Óptico

Existen sistemas de posicionamiento construidos para aplicaciones específicas, como por ejemplo sensores incrustados dentro de las carreteras para guiar a automóviles sin piloto, aunque aun se encuentre en estudio la factibilidad de muchos proyectos, estos contribuirán a la expansión de este campo de la navegación con ideas nuevas

Destino

En la mayoría de las aplicaciones el destino de un viaje es algo conocido, ya que por lo general el hecho de llegar o llevar algo a un lugar es el mismo propósito del viaje. Aunque por lo general esta fracción de información es bastante pequeña y simple, como un par de coordenadas o el número de un sector, es uno de los datos más importantes que puede tener un sistema de navegación.

En otros casos, el propósito del viaje o desplazamiento podría diferir de lo dicho anteriormente, un propósito común es querer salir o alejarse de un lugar, por ejemplo estar atrapado en una casa en llamas; el huir del fuego se convierte en lo más importante, y aunque se tenga una idea del destino que se persigue, una puerta o una ventana, el sistema de navegación debe tomar las decisiones en base a donde dirigirse, tomando como criterios cual esta mas cerca o cual camino esta más despejado, etc. Teniendo en cuenta que no es lo mismo decidir hacia donde vamos que como o porque camino vamos a ir.

En el caso de la prevención de incendios, por la naturaleza del siniestro, en muchos casos es imposible conocer el lugar exacto del incendio antes de que este ocurra, recordando que para cualquier robot que apaga fuego este seria su destino. Por esto desde hace décadas se han implementado en las empresas sensores que permiten, en este caso a bomberos humanos, no a robots, conocer las zonas afectadas por un incendio de manera que sea posible determinar su destino y atacar al fuego eficientemente. Si el incendio se expande u ocurre en varios lugares, alguna parte del sistema (un sistema de alarma, bomberos, un robot, etc.) deberá decidir donde atacarlo.

Encontrar el camino

Con un GPS pueden obtenerse las coordenadas del lugar donde nos encontramos, pero es necesario tener un mapa o software, para tener una ubicación que podemos entender en términos humanos, como en que ciudad nos encontramos. El sistema tampoco nos proporcionara distancias o rutas, así que el sistema de navegación, debe contener las herramientas para analizar el significado de estas coordenadas, para poder tomar una decisión o estar correctamente informado.

Algunos robots deciden el camino a recorrer una vez activos, para otros es el programador o diseñador quien predetermina su camino, en este caso corresponde al programador decidir con antelación cual será la ruta del robot. Esta decisión depende del espacio disponible en la memoria para esta tarea y la aplicación.

En la figura 2.25, en la página siguiente, se observan las tres formas de las que un robot puede encontrar un camino. Estos métodos pueden combinarse para así aprovechar las ventajas de cada uno y emplearlas donde sea apropiado dependiendo de los requerimientos de la aplicación.

En el caso 1 el robot posee el mapa entero de lugar donde se desenvuelve, este caso es apropiado cuando el destino puede cambiar de posición o se cambia de destino, o en general cuando se desea que el robot pueda acceder a toda el área. Este método utiliza relativamente mucha memoria para guardar los mapas, pocos sensores y mucho procesamiento para seleccionar cual camino debe escoger.

En el caso 2 el robot sólo posee el camino predeterminado, algunas veces no es necesario que conozca el entorno donde se encuentra, esto es ideal cuando el objetivo o destino del robot no cambia. Este método utiliza relativamente; poca memoria para guardar el camino, pocos o ningún sensor y poco procesamiento. Este método parece ser la más apropiada, pero no es factible en todo momento.

En el caso 3 el robot no conoce su entorno en lo absoluto y hace uso de sus sensores para encontrar el camino que debe recorrer hasta su destino, en este caso el robot puede tardar mas en llegar a su destino debido a que es un proceso de ensayo y error y además sólo conoce lo que sus sensores pueden captar, este caso es el apropiado cuando no se conoce la posición del destino. Este método utiliza relativamente; mediana capacidad para la memoria para registrar lo que ha recorrido, muchos sensores para explorar y poco procesamiento ya que es un programa muy simple.

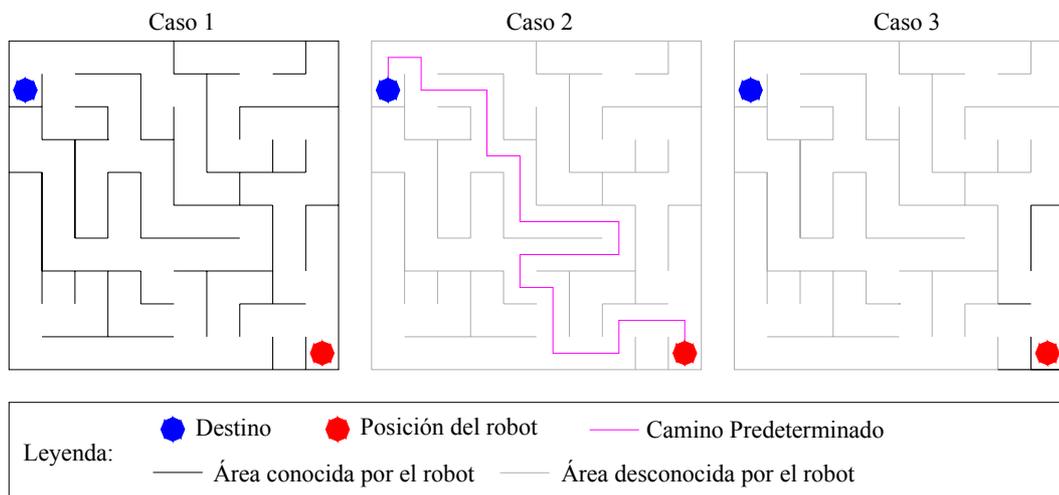


Figura 2.25 Métodos para encontrar el camino

Recorrer el camino

El efectuar un cambio en nuestra posición, con intenciones de llegar a un destino deseado, involucra una serie de decisiones que tomar, ya que el camino tiene ciertas propiedades o características independientes de nuestras intenciones, que debemos tomar en cuenta, para poder realizar un desplazamiento limpio y eficiente.

El sistema de navegación debe tener una forma de llevar al dispositivo que controla a su destino. En el caso de los humanos esto podría ser mediante la locomoción del cuerpo, un automóvil, un autobús, etc. Lo que implica que el sistema de navegación también debe saber utilizar estos medios, como por ejemplo si necesita un carro debe saber conducirlo.

Mientras que en los humanos la conexión entre los medios y el propósito comúnmente esta clara, debido a que, a lo largo de nuestras vidas aprendemos el cómo hacer las cosas cuando tenemos una meta. En el caso de los robots la creación de esta conciencia para entender esa relación, seria una complicada tarea que requiere de alta tecnología, quizás aún no creada, y de mucha dedicación. Para lo que por razones económicas la mayoría de los robots manejan estos elementos por separado y busca puntos en común para relacionarlos.

Por un lado un robot debe tomar la decisión de hacia donde y cuanto debe trasladarse, y por otro lado debe ser programado para manejar sus componentes físicos de manera de crear una relación entre todos los movimientos que debe realizar la estructura para llegar al objetivo decidido por el sistema de navegación. Sin embargo, estas predicciones no son perfectas, lo que implica un margen de error. Por

tanto, algunas veces es necesario un sistema de control, que verifique estas diferencias y las comunique al sistema de navegación para que este pueda corregir la relación entre el objetivo y la manera de llegar a él.

En el caso de los robots que se trasladan, los posibles movimientos que deben realizar durante su desplazamiento deben ser diseñados en base a los caminos a recorrer. Para así ser capaz de superar, dependiendo de la aplicación, las dificultades de terreno y ambiente que se presenten.

Todos los robots necesitan de movimiento, ya que esto es parte de su concepto, lo cual se logra diseñando una estructura física que contenga grados de libertad. Cada estructura mecánica con un grado de libertad es llamada mecanismo, donde ocurre un movimiento de una parte de la estructura respecto a la otra, sea este movimiento de rotación o traslación. Para realizar las tareas que el robot tiene programada, este debe accionar estos mecanismos de una manera predeterminada, dirigiendo todos los movimientos de la estructura del robot, de manera que este pueda manipular los elementos en su entorno y en ciertos casos desplazarse.

El software de navegación es un programa que decide que mecanismo accionar y como accionarlo, logrando que el dispositivo que controla realice las tareas para las cuales ha sido programado, con la mayor efectividad posible, de acuerdo con sus requerimientos.

El programador debe conocer la secuencia de movimientos que debe realizar el robot y como debe hacerlo, más no es necesario que este en conocimiento por que debe realizarlo, ya que las personas son especializadas en ciertas áreas de

conocimiento; por ejemplo un programador de una máquina cualquiera sabe que necesita mover un punzón a una velocidad y dirección determinada, mas no el porque de estos parámetros, por lo que el diseñador de la máquina debe especificar al programador todos los parámetros necesarios para el funcionamiento de esta.

El programador convierte esta secuencia de movimientos y parámetros en un lenguaje que pueda ser entendido por los circuitos electrónicos de la máquina. Estos lenguajes por lo general se encuentran estandarizados dentro de la industria de la computación o al menos son basados en estos, como por ejemplo lenguaje Ensamblador, lenguaje C, Basic, Java, etc., entre los más conocidos.

Esto es colocándolo en un ámbito multidisciplinario donde existe un programador y un diseñador de la máquina, más ambos pueden ser la misma persona o equipos de muchas personas, dependiendo de la envergadura del proyecto.

CONTROL REMOTO

Los robots pueden ser comandados a distancia, al igual que otros dispositivos operados a control remoto. Ya sea mediante computadores, consolas de comando independientes o simples botones. La conexión entre el robot y su control puede lograrse mediante cables o en ausencia de ellos, de acuerdo a la aplicación y las restricciones del proyecto. Existen muchas opciones de sistemas remotos; pueden ser adquiridos diversos dispositivos preensamblados, que hacen la conexión directa entre el robot y su control o partes de ellos.

Sistema Infrarrojo

Hoy en día los equipos electrónicos cotidianos que pueden ser operados vía control remoto como televisores, reproductores, DVDs, VHSs, etc.; operan con luz infrarroja, a excepción de algunos casos especiales que usan señales de radio UHF. Desde el control es enviada una señal patrón específica al presionar un botón, la cual es descifrada por la unidad controlada.

Este principio es aplicado para operar robots, para lo cual es necesario un *control remoto*; quien es el modulo emisor de la señal patrón infrarroja intermitente. Un *modulo receptor*; que contiene un detector de luz infrarroja, y otros componentes que permiten limpiar, amplificar y modular la señal. Además de un dispositivo que decodifique la luz patrón.

Radio Control

Este sistema trabaja con señales de radio y permite comandar más confiablemente el robot, a mayores distancias que el infrarrojo. El alcance del sistema depende de la antena y de si existe alguna obstrucción entre el transmisor y el receptor. Dentro del sistema transmisor se encuentra el codificador y una antena, en el sistema receptor otra antena y el decodificador.

En cualquiera de los dos casos anteriores, es necesario un computador o microcontrolador; que recibe las señales ya decodificadas, para así ejecutar los comandos finales requeridos y que el robot realice lo ordenado.

Codificadores y Decodificadores

Los sistemas de control remoto comúnmente utilizan un circuito integrado especial llamado *codificador*, para generar una única secuencia binaria, a partir de una acción realizada en el control. Esta es enviada, por medio de un haz de luz infrarroja intermitente u ondas de radio, a un *decodificador* ubicado en el receptor, que traduce la secuencia binaria a su formato original.

En la figura 2.26 se muestra el funcionamiento de un sistema de control remoto radio controlado. A la izquierda se encuentra el controlador, que puede ser un computador, un microcontrolador o un ser humano. Este envía una señal digital hasta el codificador, esta señal es llevada al receptor por medio del emisor. De allí se decodifica a su formato original y llega hasta el elemento controlado, que puede ser un robot, un carro de juguete, etc.

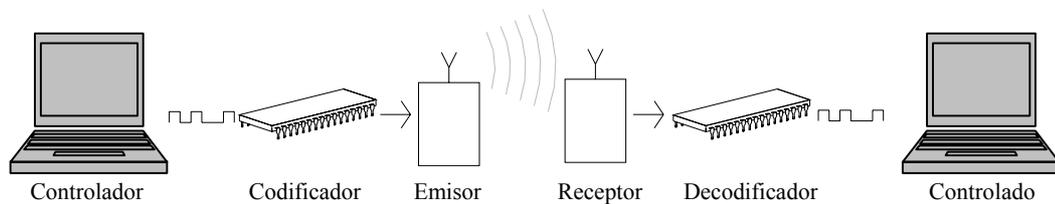


Figura 2.26 Esquema de un control remoto por radio

EL ROBOT Y LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS

En el campo de la extinción de incendios, hay ciertas ventajas que los robots tienen respecto a los humanos, una de las más importantes es que en caso de un accidente no previsto, las pérdidas serían sólo materiales. Esto tiene implicaciones económicas, ya que conociendo los riesgos de muerte o heridas que debe afrontar una persona en estas situaciones, los gastos en honorarios y seguros serían muy elevados. Muchas veces esto justifica la construcción de robots que pueden ser reutilizados, ya que a la larga la construcción y mantenimiento de un robot podría ser menos costoso que la opción humana.

Otra ventaja importante es que los robots pueden ser construidos para soportar condiciones extremas o realizar tareas especializadas, con lo que se puede lograr mayor precisión y confiabilidad, también se puede destacar que los robots pueden aguardar cerca de las zonas de peligro listos para operar en caso de un incidente, con alta velocidad de respuesta, impidiendo que se extienda el siniestro.

Un robot que apague incendios, no sólo cumplirá esta función, sino que también servirá como parte de una base de conocimientos. Esta base de conocimientos será utilizada por los constructores de robots futuros, perfeccionándose y haciéndose más eficientes, sin que necesariamente sean diseñados para extinguir incendios; de manera que aunque en algunos casos la vida útil de un robot no supera a la de un ser humano, podríamos decir que los conocimientos adquiridos por la comunidad científica permanecerán en el tiempo para ser usados cuando sea necesario, creando robots que de nuevo logren cambiar nuestra sociedad y manera de pensar como lo han venido haciendo hasta ahora.

GLOSARIO

Autómata	Procede del griego autómatas que significa actuar por si mismo. Es un mecanismo artificial que imita comportamientos de la vida real.
CPU	Unidad de Procesamiento Central. Es también llamado procesador o microprocesador.
Dispositivo autómata	Es aquella máquina que posee mecanismos o sistema que le imprime ciertos movimientos y capacidades para el cual esta destinado.
Microcontrolador	Es un circuito integrado que contiene muchos de los mismos elementos que una computadora, comprende un CPU, memorias, etc. Pero no contiene monitor, teclado, Mouse, etc. Los microcontroladores están diseñados para controlar máquinas, más que, para interacción humana.
Hardware	Son los componentes físicos del sistema de una computadora o microcontrolador.
Señales Digitales	Representan la información con valores numéricos discretos en forma de dígitos binarios (0 y 1).
Sistemas de control	Combinación de elementos interactuantes cuyo objetivo es controlar a si mismo o a otros sistemas una o varias de sus características, propiedades o variables.
Sistema de navegación	Es un conjunto de elementos que conectados o relacionados proporcionan la información y orientación necesaria para realizar un desplazamiento determinado.

CAPITULO 3

MARCO METODOLÓGICO

Nivel de investigación

El proyecto contempla una *Investigación Exploratoria*, debido a que se efectúa sobre un tema poco conocido o estudiado dentro de nuestro país y en especial en nuestro campo de estudio, donde posee amplia aplicación.

Diseño de Investigación

Debido al tipo de proyecto, es necesaria la búsqueda y obtención de datos bibliográficos, antecedentes y referencias escritas, pero en su mayoría se basa en la generación propia de ideas y soluciones. Por ende, se complementa una investigación documental con una exploratoria.

En la fase documental se obtienen nuevos conocimientos del tema y de la parte técnica (especificaciones de los circuitos electrónicos, comportamiento de los sensores y motores, programación, partes y componentes electrónicos, etc.).

En la fase experimental se estudia el comportamiento de los componentes seleccionados, conociendo su capacidad, alcance, operación, etc.; esto se obtiene mediante ensayos, controlando las situaciones y variables bajo las cuales es realizado. Esta fase es importante ya que permite definir bajo que condiciones se está

trabajando, y permite delimitar las acciones que el dispositivo final será o no capaz de realizar, con los recursos disponibles.

Población y Muestra

Debido a que los experimentos son requeridos, estos deben realizarse bajo ciertas condiciones. El control de estas condiciones hace que el proyecto de elaboración de un sistema de navegación para un robot con una función específica, no contemple el análisis probabilístico o fortuito.

Los experimentos se ejecutaran bajo ciertos criterios, se comenzaran realizando pruebas de resistencia, comportamiento, programas, etc.; observando como funcionan y a partir de esto, llevar un control de los errores, hechos interesantes, resultados relevantes y mediciones. Esto permite:

- ✓ Detectar y eliminar posibles fallas o carencias.
- ✓ Delimitando el comportamiento de cada componente.
- ✓ Mejorar el diseño y crear nuevas ideas mediante el conocimiento de los errores.

Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron fuentes mundiales de información, para contar con orientación de ultima tecnología. Esto se logra mediante la

navegación a través de la red, Internet, y la obtención de material bibliográfico especializado, que permita manejar conocimientos concretos y específicos sobre robótica que no están disponibles en Venezuela.

Sin embargo, como se hizo referencia, la experimentación bajo un ambiente controlado, además de las especificaciones del fabricante de los componentes electrónicos utilizados, proporcionara mas información relevante al proyecto.

Aspectos administrativos

Recursos Necesarios: Los recursos más importantes son los electrónicos, componentes que permitan explorar en la investigación y realizar las pruebas, con sus respectivas hojas de datos, método de funcionamiento y conexión, especificaciones técnicas, entre otras. Algunos de ellos son servomotores, para dirigir la locomoción a través del sistema de navegación; sensores para determinar como se comporta el programa ante los cambios en el ambiente; tarjetas controladoras, que llevan el programa a los demás componentes, procesan la información y contienen toda la programación del sistema de navegación. Además de elementos que permiten unirlos entre sí, como protoboards y cableado.

Es también requerida una computadora con acceso a Internet, ya que es uno de los medios de información en el ámbito de la robótica más completo, accesible y confiable. A través de la red se obtienen las especificaciones de los elementos electrónicos, así como también, los programas que controlan a los componentes de las pruebas. Se debe contar con equipos de medición (voltímetros, amperímetros, etc.), que permitan controlar y medir las variables que contempla cada experimento,

variando sus parámetros de forma sistemática, logrando recolectar datos y obtener resultados confiables y cuantificables.

A pesar de solo constituirse por elementos de prueba, muchos de los componentes electrónicos estarán en el autómata final, ya que son básicos en el funcionamiento de cualquier sistema como el propuesto.

Cronograma de actividades: A continuación se muestra un grafico donde se especifican las actividades en función del tiempo de ejecución.

ACTIVIDAD		SEMESTRE LECTIVO		
		I	II	III
1	Planteamiento del problema	X		
2	Marco Teórico	X		
3	Marco Metodológico	X		
4	Planteamiento de la Solución	X		
5	Desarrollo de la solución		X	
6	Pruebas y Simulación		X	
7	Resultados y conclusiones			X

Grafico 3.1 Cronograma de actividades

PUESTA EN MARCHA

Activación de sistemas

El robot debe acudir rápidamente al lugar donde se encuentra el incendio, para así evitar la mayor cantidad de pérdidas producidas por el siniestro. Por lo cual, debe encontrarse en las cercanías de los posibles lugares donde el incendio pueda ocurrir.

Durante las operaciones normales de la empresa, el robot se mantendrá preparado para su activación. Esto implica que sus baterías, partes y programas deben ser verificadas con regularidad, para evitar un mal funcionamiento. Estará conectado al sistema de alarma de incendios de forma que este provea de información al robot acerca del siniestro. La conexión al sistema de seguridad debe hacerse de forma tal que el robot pueda desconectarse por si mismo para comenzar su rutina.

En esta fase el robot se encontrara trabajando con el mínimo de elementos activados, como consecuencia algunos sistemas controladores y de locomoción estarán apagados para ahorrar energía. Cuando ocurra el siniestro el robot activará todos sus sistemas y colocará sus extremidades en posición para comenzar a desplazarse.

Al finalizar su activación el robot efectuará una rutina de verificación, se conectará con un centro de control mediante ondas de radio, enviará la respuesta de su verificación y pedirá instrucciones.

Conocer el destino

El sistema de alarma debe ser capaz de reconocer el sector donde ocurre el incendio, por lo que, el programa del robot debe ser diseñado para adaptarse y configurarse a dicho sistema.

El sistema de alarma indicará al robot su destino. En el caso que ocurra un solo incendio este sistema proporcionará la zona, si se dan varios incendios el sistema decidirá a cual de ellos atacará el robot. En todo caso, cada vez que el robot pida instrucciones; ya sea porque esta activándose o en el incendio; el sistema de alarma deberá indicar su próximo destino.

Seleccionar ruta

El sistema de navegación albergará un mapa de la industria, hecho a base de trayectorias y coordenadas. Las coordenadas le permiten al robot conocer su ubicación en el espacio y su lugar de destino. La trayectoria describe como es el recorrido: recto, escalera o cualquier elemento que deba rodear o superar.

El robot conseguirá la ruta más factible hacia el lugar del incendio, usando el mapa descrito anteriormente, a partir de su posición y la zona de destino. Es importante destacar que el principal criterio a considerar para la selección de la ruta a seguir, es el tiempo y no la distancia. El robot debe ser capaz de recorrer cualquier distancia dentro de la empresa, pero debe hacerlo en el menor tiempo posible.

Dada la estructura y funcionamiento de un robot, este durará menor tiempo en recorrer una línea recta, mientras que escaleras o muchas curvas podrían retrasarlo considerablemente. Por lo tanto, el programa debe ser capaz de anticipar el tiempo aproximado que llevaría cada ruta, basado en la suma de los tiempos de cada uno de sus trayectos. Por ejemplo, el tiempo que tarda en transitar por una recta de 6 metros, más el de una curva de 90° , más una recta de 9 metros, más el de una escalera de 2 metros de largo, etc.

Antes del siniestro, el programa debería tener la información de cuanto tiempo duraría por unidad de distancia el robot en realizar cada tipo de trayecto. Debido a la complejidad del dispositivo, esta información debería recopilarse experimentalmente para tener una idea más clara de lo que sucedería en la realidad.

Los principales trayectos que deben medirse son: las líneas rectas, las curvas en cualquier ángulo y los trayectos por escaleras; que dependen de factores como su inclinación, la forma de sus escalones y la distancia de su recorrido. La figura 3.1 ejemplifica lo explicado anteriormente.

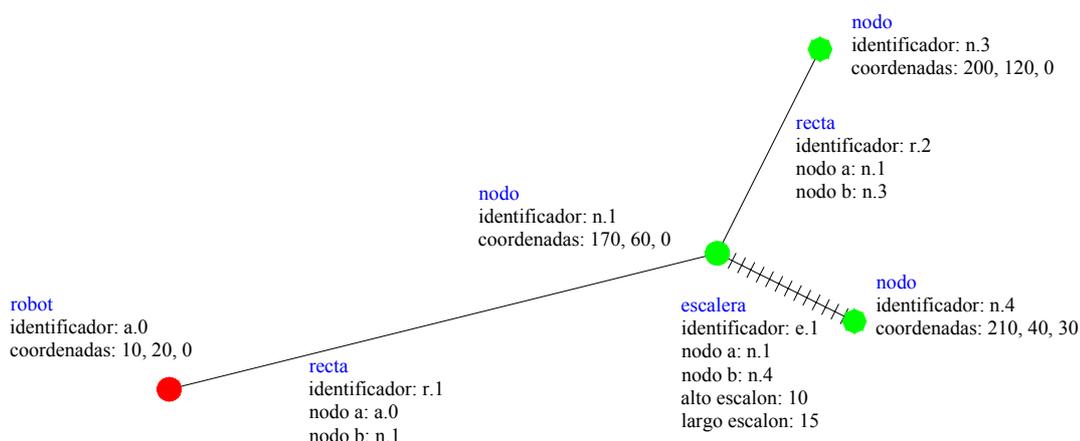


Figura 3.1 Ejemplo de mapa electrónico

RECORRIDO

El robot debe trasladarse automáticamente tan cerca del lugar del incidente como para poder rastrear el incendio con sus herramientas, pero lo suficientemente lejos como para asegurar que no se llevara al dispositivo dentro del incendio, antes de que este pase a la fase de rastreo y extinción del incendio, ya que podría no resistir las condiciones extremas de la situación, averiándose irreversiblemente.

Verificación continua de ruta

A lo largo del recorrido de la ruta seleccionada, el sistema de navegación verificará continuamente al sistema de alarma: la confirmación de su objetivo ya sea porque es necesario apagar otro incendio o porque este cambió, la existencia de obstáculos insuperables en el camino o por un desvío.

Sistemas alerta

El sistema de navegación mantendrá vigilado el estado de sus sensores designados para alertar en caso de acercarse a algún obstáculo imprevisto o alguna parte del camino que difiera del estándar definido según la trayectoria original, como un agujero, protuberancia u objeto en el suelo. De esta manera se evitará que el robot pueda sufrir algún accidente o el sistema de navegación confunda un movimiento de avance normal con un movimiento erróneo, asegurando que se lleve a cabo el plan de movimientos especificado por la ruta.

Fase rastreo y extinción de incendio

Al encontrarse en las adyacencias de la zona del incendio, el robot entrará en otra fase de funcionamiento, donde el operador empezará a buscar el lugar exacto del incendio dentro del sector y decidirá las acciones del robot por medio de una cámara y usando el control remoto del robot para controlar su movimiento.

El robot incluye en su diseño un cañón que dispara un chorro de material extintor de incendios petroquímicos. El operador se encargará de localizar y apuntar la base del incendio para activar el cañón, realizando esta acción tantas veces como sea necesario para extinguir el incendio. Para apuntar la base se colocará marcas en una pantalla frente al lente de la cámara, o en este mismo (figura 3.2), de manera que el operador pueda conocer donde caerá el chorro extintor. Para hacer la marca, se colocará un objeto o señal en el piso a la distancia prudente a la cual debe ser lanzado el chorro (figura 3.3) observándose desde la cámara, haciendo la marca en la posición de la pantalla donde se observe la señal. Sólo se podrá apagar el incendio en suelo horizontal o con poca inclinación por limitaciones en la estabilidad física del robot. La línea roja en la figura 3.2 indica la distancia máxima a la cual el robot puede estar del incendio pero también se tomará en cuenta lo que indica el sensor de temperatura.

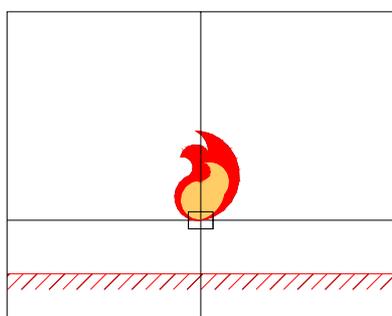


Figura 3.2 Marca en la cámara

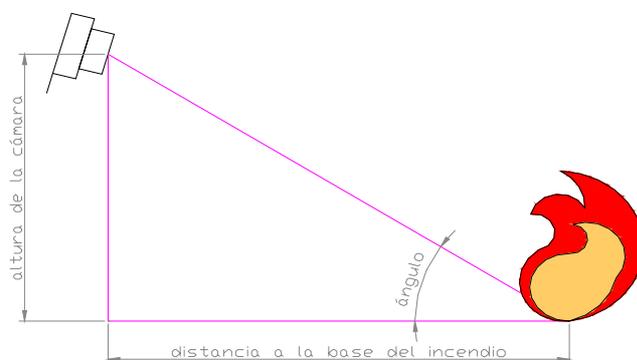


Figura 3.3 Visión de la cámara

OBSTÁCULOS

Parámetros definidos

El robot sensorará su entorno en busca de obstáculos a medida que se desplaza, serán definidos los parámetros que los sensores considerarán como obstáculos para especificar la manera de superarlos. En la figura 3.4, se observan los tipos de obstáculos que se definirán y las áreas que será necesario sensorar para detectarlos.

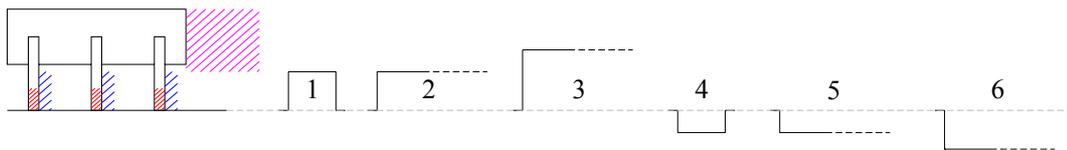


Figura 3.4 Tipos de obstáculos

Las áreas coloreadas representan el campo de lectura de los sensores. Los obstáculos 1 y 2 serán detectados por los sensores ubicados en las extremidades (área azul); el tercero, por los sensores ubicados en la parte frontal (área magenta); el cuarto, quinto y sexto, por sensores ubicados debajo de las extremidades, en este caso, el área roja representa a que profundidad puede llegar la extremidad. Estas áreas son representativas de las reales en el robot, aunque estas por ahora se desconocen, permiten definir el comportamiento del robot ante diferentes situaciones. El área azul en las extremidades, también representa la altura máxima que el robot puede escalar, por lo que existe la diferencia entre el obstáculo 2 y 3, si el obstáculo es más alto que esto, se detectara con el área magenta. Podría observarse una diferencia análoga con los obstáculos 5 y 6 respecto a su descenso, sólo que el robot diferenciaría el 5 del 6, cuando no encuentre fondo en el agujero.

Métodos de superación

En la sección anterior se definieron los parámetros de los obstáculos para clasificarlos, y poder definir los métodos de superación de acuerdo a su tipo.

Tabla 3.1 Métodos de superación de obstáculo según tipo

Tipo de obstáculo	Elementos afectados	Métodos de superación
1	Extremidad	Evadir por encima, escalar
2	General	Escalar, rodear
3	General	Rodear
4	Extremidad	Evadir por encima, apoyar en el fondo
5	General	Descender, rodear
6	General	Rodear

Fuente: Generación propia

En la tabla 3.1 se muestran tres columnas; en la primera, el tipo de obstáculo según la figura 3.4; en la segunda, los elementos afectados según se muestra en la figura 3.5 donde se ejemplifica cuando la acción de superación es tomada por una sola extremidad o por todo el robot; en la tercera, los métodos de superación en el orden en que serán aplicados, por ejemplo en el obstáculo tipo 1 la extremidad afectada intentará primero evadirlo por encima, sin tocarlo, si esto no funciona tratará de escalarlo.

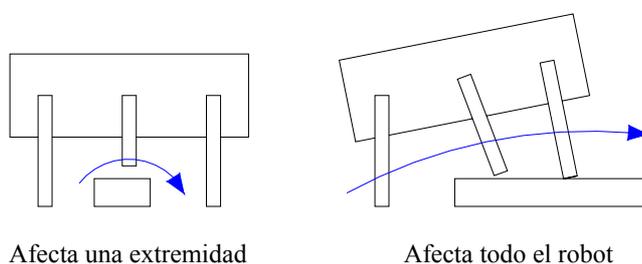


Figura 3.5 Tipos de obstáculos

Métodos alternos

El robot verificará si el obstáculo fue superado, de lo contrario pondrá en marcha métodos alternos debido a que existen obstáculos en el camino, para los que sería muy complicado anticipar una manera de solventarlos. Por lo que debe existir una forma alterna de manejar al robot, que interrumpirá cualquier secuencia referida anteriormente. Un control remoto del robot, manejado por personal capacitado para esta tarea, desde algún lugar seguro dentro o fuera de la planta, de manera de darle al sistema de navegación la información faltante para superar los obstáculos.

Para que el operador pueda entender la situación del robot con su ambiente, se colocará una cámara de video al robot, de manera que el operador pueda moverla y observar el lugar como si este estuviese allí.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA PROPUESTO

Lenguaje de programación

Se necesita un lenguaje de programación capaz de responder a eventos, ya que como se hizo referencia a obstáculos y sensores, el robot decidirá muchas de sus acciones en base de eventos en su entorno. También será útil un lenguaje que incluya dentro de sí, la información de configuración de componentes electrónicos, esto ayudará a que el proceso de programación se concentre en el funcionamiento del robot. El lenguaje orientado objetos es el adecuado tomando en cuenta estas dos aseveraciones y además entender el programa será más fácil.

Controlador del sistema de navegación

Basado en lo dicho anteriormente, se necesita un controlador que: pueda soportar un lenguaje orientado a objetos, sea capaz de procesar las señales de los sensores, manejar el sistema de locomoción y comunicarse con otros dispositivos como un control remoto u otro controlador.

Actuador

Como actuador se eligen los servomotores porque pueden ser fácilmente manejados electrónicamente, ya que poseen internamente el sistema de control integrado como se refirió en el marco teórico. También porque según la situación problemática del proyecto en Venezuela es difícil obtener un sistema de transmisión para motores de ese tamaño, y este tipo de motor ya lo incluye. Además, estos servomotores se usan en aplicaciones similares, por lo que están contruidos con una buena relación de potencia y peso.

Sensores

El robot necesita reconocer los obstáculos del recorrido, por lo que usará una serie de sensores que puedan localizarlos antes de que el robot impacte contra ellos, esto se puede lograr mediante el uso de sensores ultrasónicos e infrarrojos, utilizando las características de cada uno. Poseen comúnmente un rango de 3 cm. a 3m. A pesar de que indican la existencia del obstáculo no dan mucha información de su forma.

Para analizar su entorno físico a corto rango el robot, al igual que las hormigas, utilizará antenas. Estas antenas son fabricadas a partir de sensores de contacto, por lo que serán llamadas así. La diferencia esta en la forma del gatillo accionador, el cual será adecuado al obstáculo a detectar, como se muestra en la figura 3.6.

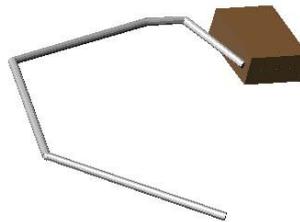


Figura 3.6 Sensor de contacto con alargamiento

Los obstáculos se clasificaron en escalables y no escalables, este límite será definido por la ubicación de los sensores de contacto como se muestra en la figura 3.7, de manera que si los sensores de contacto frontales no detectan el obstáculo y los de las extremidades si lo hacen, este se puede escalar.

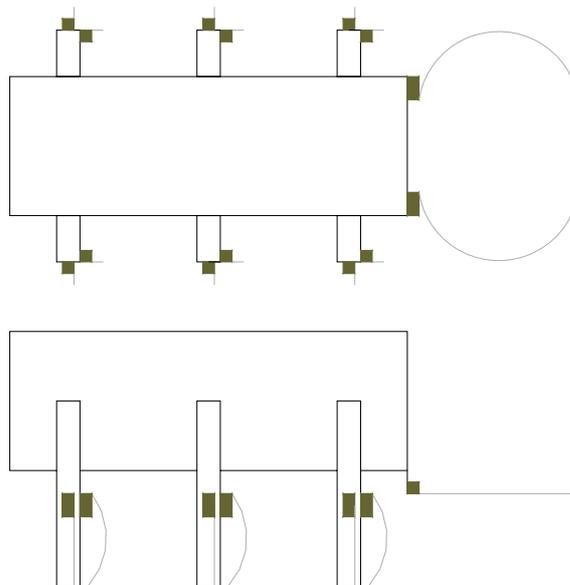


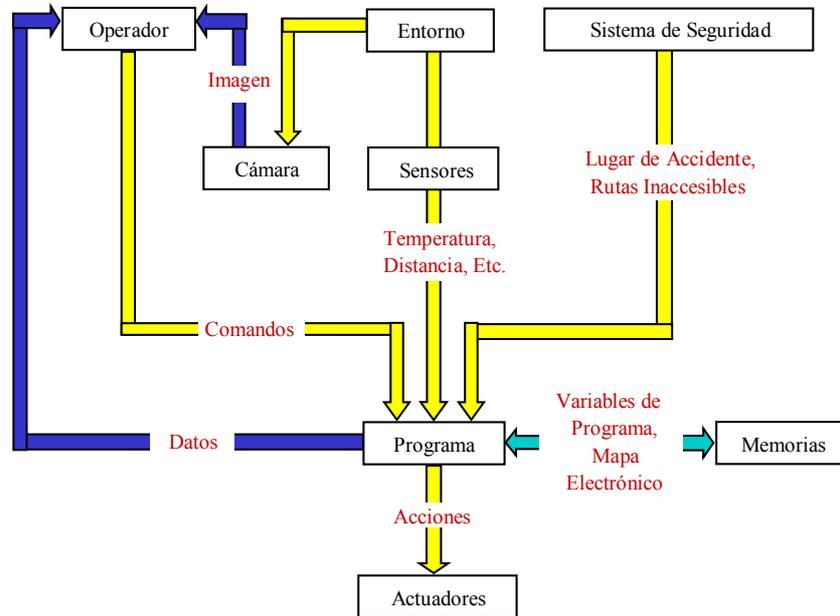
Figura 3.7 Distribución de sensores de contactos

EL PROGRAMA

El programa o software integra todos los aspectos del diseño del robot, ya que este lo controlará así como nuestra mente controla nuestro cuerpo. De hecho para el programa o software, un operador es sólo otra fuente de información, como lo sería un sensor.

El sistema de navegación a través del conocimiento de funcionamiento de los motores y mecanismos del robot, debe ser capaz de controlar independientemente el movimiento de cada motor que accione un mecanismo. Ya que todos estos están interconectados y dependen uno del otro, toda esta información debe ser manejada en base a conjuntos, para que en la combinación de movimientos se logre un objetivo en común.

En la figura 3.8 se observa como fluir la programación del robot, a medida que este entre en funcionamiento, puede observarse que hay cuatro diferentes niveles, de arriba hacia abajo, donde se encuentran agrupados los bloques de programación. En el primer nivel se encuentra el mundo exterior al robot; en el segundo, los bloques encargados de transformar la información a variables entendibles y transmisibles electrónicamente; en el tercero, se encuentra el programa donde se procesan los datos y se toman las decisiones; y finalmente en el cuarto, se llevan a cabo las acciones enviadas por el programa.



Leyenda:

-  Líneas de flujo en la programación del robot. (Hacia el nivel siguiente)
-  Líneas de retroalimentación en la programación del robot. (Hacia el nivel anterior)
-  Línea de comunicación entre dos bloques del mismo nivel.
- Aa Información que se transmite
-  Bloques de programación

Figura 3.8 Diagrama de la programación del robot

CAPITULO 4

SELECCIÓN DE COMPONENTES

Selección de Tarjeta Controladora

Para aprovechar las capacidades de la tarjeta a seleccionar, se tomo en cuenta la cantidad de información sobre su operación y asesoría disponible para resolver las posibles complicaciones que se presenten durante el desarrollo del proyecto, además de que trabaje con un lenguaje que permita una programación versátil.

Las tarjetas OOPIC II (Fig. 2.4) cumplen con estas especificaciones, debido a que es posible programarlas en una forma propia parecida BASIC el cual es un lenguaje orientado a objetos, además permite la creación de circuitos virtuales para realizar circuitos a nivel de software que funcionan como circuitos a nivel de hardware mientras que el programa corre al mismo tiempo que estos circuitos.

Luego se procedió a determinar si era necesario el uso de otro tipo de tarjeta o circuitos, los dispositivos que se conectaran al OOPIC se listan a continuación y cuya selección se describirá luego en el capítulo:

Tabla 4.1 Recursos necesarios del OOPIC

Sistema	Recurso unitario	Cant.	Recurso total usado	Acumulado
Sensores Binarios	1 I/O	14	14 I/O	14 I/O
Servomotor	1 I/O	18	18 I/O	32 I/O
Control Remoto	1 I/O	4	4 I/O	36 I/O

Fuente: Generación Propia

Según el cuadro anterior es posible controlar el sistema con solo dos OOPIC ya que estas tarjetas cuentan con 31 líneas I/O cada una, sin embargo existe la limitante adicional de que solo pueden controlar un máximo de ocho servomotores por tarjeta, por ende se requirió usar un total de tres OOPIC II.

Selección de Actuadores

Para el sistema de locomoción del robot fueron seleccionados servomotores estándar que cumplieran con la mejor relación torque-peso de los que se encontraron en el mercado, además de contar con un bajo costo de adquisición, este último motivo descartó la compra de servomotores de alto torque.

Cada una de las seis patas del autómatas cuenta con tres grados de libertad proporcionados por un servomotor cada uno, por lo que se tienen dieciocho motores en total. Los servos seleccionados poseen las siguientes especificaciones:

Tabla 4.2 Especificaciones de los servomotores

Marca	Tipo	Torque máximo	Peso	Observaciones
Mpi	Estándar	0,3107N.m @ 4.8V	47,6 g	Accesorios incluidos facilitan montaje

Fuente: <http://www.acroname.com/robotics/parts/R29-MX-400.html>

Selección del Control Remoto

En principio era necesario un control remoto compatible con el OOPIC, para lograr la interfase e intercambio de información ambos dispositivos. Además debía

ser posible comandar el robot mediante un computador. En el mercado se comercializa el receptor RX-99 y transmisor TX-99 que se comunican entre si mediante radiofrecuencia de 300MHz AM, estos son ideales para la aplicación ya que el receptor se comunica por puertos binarios (0-5V) al igual que la tarjeta controladora y el transmisor con el uso de un dispositivo de interfase TX-4-PC permite la comunicación mediante puerto serial con el PC.

Selección de la Cámara

Las características principales que debía reunir la cámara a seleccionar son: ser inalámbrica; transmisión de señal mediante ondas de radio para así superar obstáculos, como paredes, con facilidad; ser pequeña y ligera y el poder visualizar una imagen a color para diferenciar y rastrear la base del fuego.

En el mercado se consiguen varias cámaras que cumplen con estas propiedades. Diferenciándose en general por su aplicación, ya sea seguridad, robótica, etc. Debido a esto, se selecciono la cámara inalámbrica de 2.4Ghz marca y modelo X-10 (Figura 4.1) basándose en su bajo costo respecto a las otras, además esta presenta una base móvil que permite ubicarla según se desee.



Figura 4.1 Cámara inalámbrica a color X-10

Selección de Baterías

Para la selección de las baterías que se utilizaran en el prototipo es necesario contar con los requerimientos de voltaje y amperaje teóricos, según su hoja de datos, de cada elemento del sistema como se lista a continuación:

Tabla 4.3 Requerimientos Teóricos

Nivel de Voltaje (V)	Elemento	Amperaje unitario requerido (mA.)	Cant.	Amperaje Total
12	OOPIC	250	3	750
	Cámara	80	1	80
4.8	Servomotor	460	18	8280

Fuente: Generación Propia

Debido a la configuración y diseño de robot y torque de los servomotores es necesario contar con baterías livianas y de alta capacidad, que cubran la demanda de amperaje por el tiempo requerido, conseguido esto con baterías de litio. Existen varias presentaciones para este tipo de baterías, sin embargo en el mercado nacional se consiguen comúnmente las siguientes:

Tabla 4.4 Datos de algunas baterías de litio para cámaras fotográficas

Modelo	V	Capacidad (mAh)	Diam/ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Peso (g)
CR123A	3	1300	17.0	34.5	~	17.0
2CR5	6	1300	17.0	45.0	34.0	40.0
DL223A	6	1300	19.6	36.1	33.8	72.6

Fuente: Generación a partir de datos en Internet y tiendas nacionales.

Para determinar si cumplen con lo requerido y la cantidad necesaria de baterías (Tabla 4.5 y 4.6), se utilizó un tiempo de funcionamiento continuo de 30 min.

y los datos de la Tabla 4.3. Se realizaron los siguientes cálculos de acuerdo al elemento:

Tabla 4.5 Cantidad de baterías en serie

Elemento	Nivel de Voltaje (V)	Cant. de baterías (en serie)
OOPIC	12	Dos baterías de 6V o cuatro baterías de 3V
Cámara		
Servomotor	4.8	Una batería de 6V o dos baterías de 3V

Fuente: Generación Propia

Tabla 4.6 Cantidad de baterías en paralelo

Nivel de Voltaje (V)	Elemento	Amperaje-hora unitario (mAh)	Amperaje-hora total (mAh)	Cant. de baterías teórica (paralelo)	Cant. de baterías real (paralelo)
12	3 OOPIC	375	415	0.32	1
	Cámara	40			
4.8	18 Servomotor	4140	4140	3.18	4

Fuente: Generación Propia

Es necesario acotar que para determinar la casilla denominada como *Cantidad de baterías teórica (paralelo)* se dividió el Amperaje-hora total entre el máximo de 1300mAh entregado por las baterías.

Como se presenta en las tablas cualquiera de las baterías cubre lo requerido por el dispositivo, sin embargo la batería modelo DL223A tiene el mayor peso, que no es lo deseado, por lo que es descartada. Por su parte la utilización de las baterías de 3V significaría utilizar el doble de baterías respecto a las de 6V, lo que a su vez requiere mas espacio y conexiones en cuanto a circuito, sin ser esto beneficioso para el sistema, por lo que son también descartadas frente a las modelo 2CR5.

Adicionalmente, considerando que el consumo de amperaje y voltaje de los servomotores puede variar significativamente de acuerdo al torque que apliquen los servomotores, además de la distribución del autómatas (tres motores en cada extremidad), será utilizada una batería por cada extremidad lo que corresponde a un total de seis (6) baterías en lo que se refiere a servomotores, esto además facilita la realización de los circuitos de alimentación y regulación de voltaje del robot.

Según lo anterior, la cantidad de ocho (8) baterías de litio de 6V 1300mAh marca Sanyo modelo 2CR5 cubren los requerimientos del dispositivo.

EXPERIMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Una vez seleccionados cada uno de los elementos del sistema se procedió a realizar las pruebas que permiten comprobar información teórica, obtener datos experimentales, establecer funcionamiento y capacidades y conocer cada componente que conforma el sistema.

Experimentando con la tarjeta controladora

Al momento de realizar cada una de las operaciones con las tarjetas controladoras se presentaron problemas, en donde el voltaje de salida de los puertos I/O no era de +5V, el cual es el requerido para el control de los dispositivos electrónicos. Mediante las pruebas recomendaciones del fabricante y consultas realizadas a personas especializadas en electrónica se determinó que el regulador utilizado por la tarjeta se encontraba dañado, por lo que siguiendo especificaciones

del manual se reemplazaron los reguladores originales por LM7805 en un empaque TO-220, el cual permite una alimentación de voltaje de 6-18V y una salida regulada de 5V manejando un amperaje de 1000mA superior a los 100mA que permite el regulador original, además de contar con un disipador de calor.

Para ensayar las funciones y alcance de las OOPIC era necesario el montaje de un circuito o sistema que manejara las variables que se trabajaran en el proyecto final, por lo que se realizó una extremidad de tres sectores con un servomotor acoplado a cada una, similar a las extremidades del autómatas prototipo real, diferenciándose en las dimensiones y forma. Además, se acoplaron dos sensores de presión y contacto con aplicaciones específicas. Esta configuración permitió:

- ✓ Manipular la posición de los servomotores, mediante los objetos incluidos en las tarjetas.
- ✓ Manejar y procesar entradas y salidas de información binaria, mediante los sensores.
- ✓ Cuantificar los requerimientos eléctricos de las tarjetas coincidiendo con los especificados en su hoja de datos.
- ✓ Probar componentes integrados como transformador a 5V, memoria, pines, botón reset, etc.

Las tarjetas controladoras tienen también la propiedad de comunicarse entre sí, esto permite colocar varias tarjetas en red para intercambiar información entre ellas. Esta conexión se hace mediante un cableado y puertos especiales que contiene la tarjeta y a través de la programación. El diagrama de conexión se muestra en la figura 4.2 y el valor de la resistencia que se muestra es de 4.7 kohm.

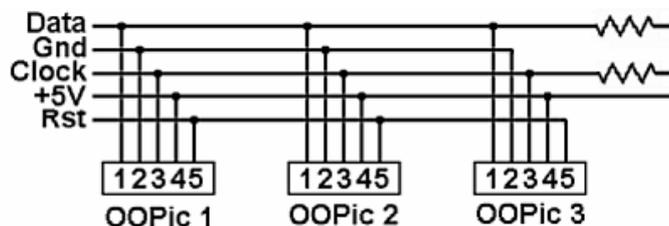


Figura 4.2 Conexión de OOPIC en red

Experimentando con los actuadores

Prueba de Torque: Se realizó con la finalidad de determinar la cantidad máxima de torque que puede entregar el servomotor Mpi estándar, para ello se alimentó con un voltaje de 5V (ligeramente superior al máximo teórico de 4.8V) y se le anexó una barra graduada al eje con un peso de 1 Kg. cuya distancia al centro de giro del eje podía ser variada (Figura 4.3)

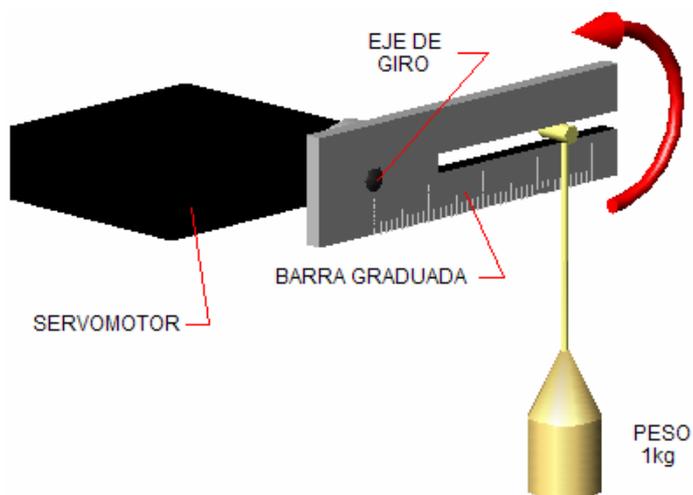


Figura 4.3 Prueba de Torque

El servomotor experimentalmente soporta un torque de 3.2 kg cm, semejante al torque teórico de 3.17 kg cm especificado por el fabricante. Según datos contenidos

en la tesis *Dispositivo para la Extinción de Incendios Petroquímicos* el torque máximo necesario es de 2.71 kg cm, por lo que estos motores cumplen con los requerimientos.

Prueba de aplicación: Se conectaron tres servomotores a una tarjeta OOPIC como se explico anteriormente, según el esquema de la figura 4.4, cada una fue controlado mediante el objeto oServo de la tarjeta controladora, este permite posicionarlos mediante la asignación de valores enteros de 0 a 63 que corresponden a un ángulo específico entre 0 y 180°. Se coordinó el movimiento de los tres servos para que desplazara la estructura donde se encontraban conectados sus circuitos y fuentes de energía (baterías).

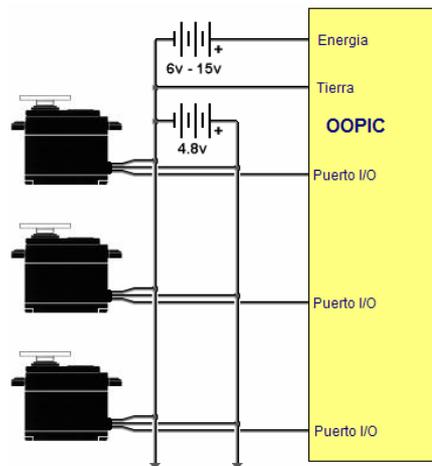


Figura 4.4 Esquema de conexión de tres servomotores al OOPIC

Experimentando con la cámara

La cámara no se encontrara conectada a ningún otro componente debido a que se utiliza solo para la visualización del operario. Tiene incorporada un transmisor

inalámbrico que envía ondas de radio a un receptor que se conecta directamente al televisor para obtener la imagen a color. Se alejó la cámara (transmisor) del receptor una distancia aproximada de 25m y una diferencia de altura de 3m aproximadamente, teniendo como obstáculos paredes, escaleras, mesas, etc. La imagen siempre se mantuvo clara y nítida, considerando esta distancia considerablemente mayor a la requerida, el comportamiento de la cámara es satisfactorio. Durante la prueba se midieron el voltaje y amperaje que la cámara requiere, detectándose dos niveles de voltaje diferentes durante funcionamiento +12Vcc y +12,7Vcc, este último difícil de lograr con las baterías ya que implica nuevos circuitos de regulación y más baterías, por lo que se alimentó con +12Vcc para ambos niveles y así determinar su comportamiento (figura 4.5), la cámara funcionó y aunque la calidad de la imagen disminuyó es aún suficiente para la aplicación.



Figura 4.5 Izquierda: conexión original; derecha: conexión con baterías

Experimentando con los sensores

Dos sensores de presión fueron conectados al OOPIC, situados en la sección más alejada de la extremidad utilizada para las pruebas; siendo asignadas funciones precisas y diferentes a cada uno como mover o detener alguno de los servomotores, permitiendo introducir datos binarios a las tarjetas y procesarlos, además de utilizarlos para instrucciones en otras líneas I/O de la tarjeta.

Gracias a la incorporación de circuitos virtuales en la tarjeta, es posible que en algunos de sus pines se active mediante programación una resistencia interna llamada *Pullup resistor*. Esto permite una fácil conexión de los sensores, uno de sus extremos conectado a tierra y el otro conectado a la línea I/O con la resistencia activada como se muestra en la figura 4.6.

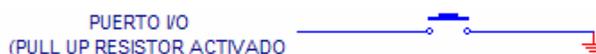


Figura 4.6 Conexión de sensores binarios a la tarjeta controladora

Experimentando con el control remoto

El circuito de conexión del receptor del control remoto se muestra en la figura 4.7, las líneas de datos (D0, D1, D2 y D3) se conectan a un grupo del OOPIC. Mientras que el transmisor no requiere de la construcción de un circuito debido a que se monta directamente en el dispositivo de interfase con el computador TX-4-PC.

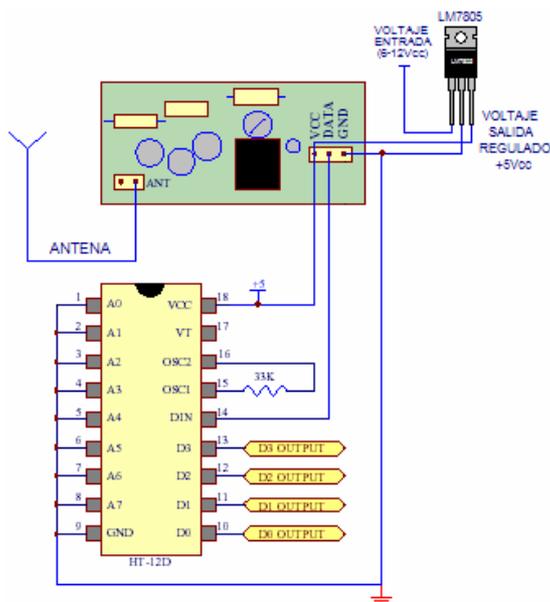


Figura 4.7 Circuito de conexión del receptor RX-99

Para comprobar el funcionamiento correcto se realizo un circuito de prueba que contaba con cuatro LED en línea dispuesto en la misma distribución de los datos de la figura 4.7 pero conectados al OOPIC, que encendían de acuerdo a los cuatro datos que se envían desde un programa por el computador (figura 4.8). A continuación se muestra el programa usado para la prueba, cuatro líneas I/O reciben los datos del receptor y los envía a otra cuatro líneas I/O diferentes que enciende los LED.

```
Dim cuatro As New odio4
Dim rc As New oDio4
Dim b As New obus
```

```
Sub Main()
  oopic.pullup = 1 'activa la resistencia interna para trabajar con los led
  rc.IOGroup = 1 'recibe los datos del receptor
  rc.Nibble = 1
  rc.Direction = 1 'especifica que son datos de entrada
  cuatro.iogroup = 3 'enciende los led de acuerdo a los datos de entrada
  cuatro.Nibble = 1
  cuatro.direction = 0 'especifica que son datos de salida
  b.Input.Link(rc.Value) 'lleva los datos del control remoto a las salidas I/O
  b.Output.Link(cuatro.Value)
  b.Operate = cvTrue
End Sub
```

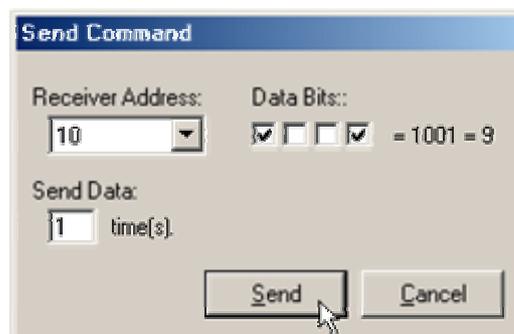


Figura 4.8 Programa para envío de datos desde el computador hasta el transmisor

CIRCUITOS DEL PROTOTIPO

Circuito de conexión extremidades

En la siguiente figura se muestra el circuito de conexión de las extremidades, un circuito igual por cada extremidad, a este se conectan los tres servomotores (S1, S2 y S3), el sensor de contacto (SW1) y el de presión (SW2), según las configuraciones explicadas antes en el capítulo.

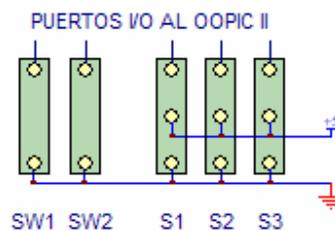


Figura 4.9 Circuito extremidades

Circuito de energía

La alimentación de energía del dispositivo se realiza con baterías, sin embargo se cuenta con una fuente de energía alterna para la realización de pruebas antes de su funcionamiento. La energía proveniente de las baterías puede ser interrumpida mediante los interruptores que se muestran, para dar paso a la alimentación alterna. Existen cuatro líneas de alimentación de +12V de las cuales tres se regulan a +5V hacia las extremidades (servomotores y sensores) y una línea de +12V para la cámara y las tarjetas controladoras. En la figura 4.10 se observa esta distribución.

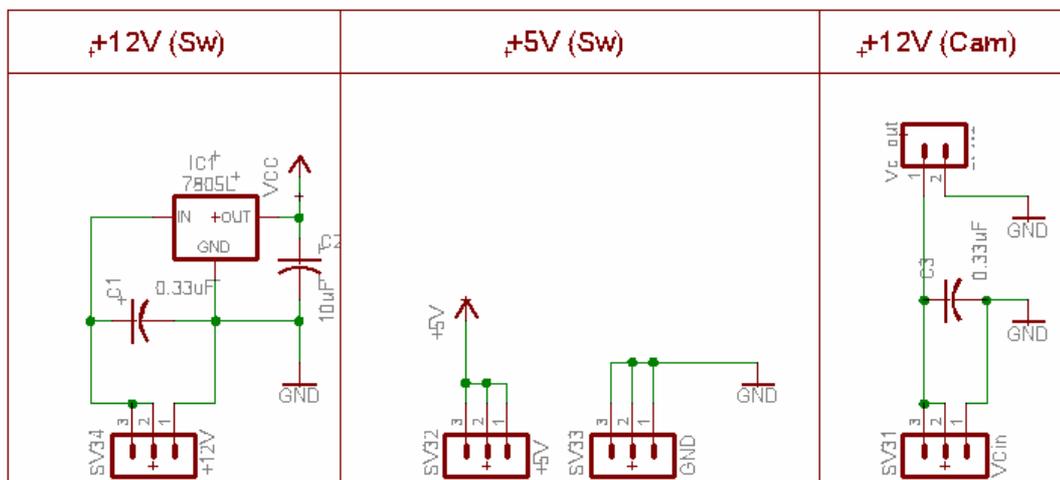


Figura 4.10 Circuito de energía

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Prueba 1: Extremidad inicial

Como experimento inicial, una extremidad fue construida con la finalidad de probar el comportamiento de algunos dispositivos que conforman en conjunto el autómatas, como son las tarjetas controladoras, servomotores y su esquema eléctrico de funcionamiento, reguladores de voltaje y otros elementos del circuito.

Esta extremidad contaba con tres servomotores dispuestos al igual que los del proyecto final. Estos se encontraban conectados a las tarjetas mediante un protoboard que brindaba flexibilidad a las pruebas y luego estas conexiones se llevaron a los OOPic II. Mediante programación se dieron funciones y posiciones a los servos los cuales reaccionaron según lo deseado, todos los programas trabajan como se requería, permitiendo determinar que era posible el control satisfactorio de estos dispositivos con ese esquema eléctrico.

Prueba 2: Comunicación

Una vez probado los servomotores, se procedió a trabajar con la comunicación entre las tres tarjetas controladoras con que cuenta el autómatas, estas permiten el intercambio de información mediante el puerto I2C. Las tarjetas fueron igualmente conectadas mediante cableado en el protoboard y se inició la sincronización del envío de datos entre tarjetas, luego de solventar algunos problemas (se colocó un valor de

resistencia erróneo), se completo la transferencia teniendo acceso a datos que se manejan en el sistema de navegación, entre tarjetas.

Prueba 3: Circuitos del prototipo

Una vez logrado el funcionamiento de circuitos y dispositivos de forma individual, se procedió a combinarlos para el desarrollo del prototipo.

Las conexiones de los circuitos en el robot (energía, extremidades y control remoto) y ensamblaje de los dispositivos de sensado y locomoción, se realizaron con elementos universales, como protoboards, tarjetas perforadas universales, microinterruptores, cable de red extraído de un cable UTP, cable IDE de disco duro (40 pines para conectar los puertos de la tarjetas controladoras) y soldaduras elaboradas por el equipo de trabajo de este proyecto. Se emplearon estos componentes y técnicas de trabajo con el fin de minimizar los costos y tener versatilidad en el autómeta.

Al momento de realizar las pruebas para evaluar el desempeño del autómeta, se presentaron fallas de funcionamiento ya que no existía coordinación ni continuidad en los movimientos de las extremidades, traduciéndose en un comportamiento impredecible, por ende era necesario determinar las posibles causas.

Como experimento inicial se desconectaron todos los servomotores (dejando el circuito intacto) a excepción de los tres que conformaban una de las extremidades y una tarjeta controladora con la finalidad de reproducir la condiciones de la prueba

Extremidad Inicial, sin embargo este funcionaba perfectamente solo en algunas ocasiones, luego se adicionaron mas servomotores y este conservaba este comportamiento erróneo, por lo que, considerando que se trata del mismo esquema eléctrico y de programación, se determino que la posible falla era debido a un corto no encontrado, una conexión defectuosa o potencia insuficiente.

Prueba 4: Conectividad y potencia

Durante las pruebas se realizaron revisiones continuas de voltaje y conectividad y verificación de uniones soldadas y provisionales, además de observación general del sistema. Estas pruebas se dificultaban debido a que las tarjetas controladoras y el circuito de control remoto se encontraban dentro de la estructura del autómeta, imposibilitando el acceso y comprobación de sus funciones. El seguimiento permitió determinar:

- ✓ Al momento de verificar continuidad entre líneas eléctricas del circuito los resultados no eran concluyentes ya que indicaban conexión en algunas ocasiones y en otras no, esto para una misma línea, se determino que se causo por el uso de cable sólido (un hilo) el cual se separaba internamente, haciendo falso contacto, sin que sea visible su fallo. Debido a esto y por recomendaciones de especialistas se debía sustituir este cable sólido por cable multihilo, dando flexibilidad a la conexión.
- ✓ Debido a que las conexiones soldadas fueron realizadas por el grupo de trabajo estas presentaban fallas continuas que debían ser reparadas constantemente,

disminuyendo la confiabilidad de los circuitos, por lo que estas operaciones debían ser realizadas por un profesional en el área.

- ✓ La ubicación de los OOPIC II y circuito de control remoto en el interior de la estructura imposibilitaban la verificación directa de su funcionamiento, por lo que era necesario permitir el acceso externo con la ubicación de las tarjetas, aun cuando se encuentre ensamblado el prototipo.
- ✓ El circuito principal (alimentación eléctrica de servomotores, cámara y tarjetas controladoras) fue elaborado con el uso de un protoboard este presentaba errores de conexión interna que disminuía su confiabilidad, por lo que fue eliminado de los circuitos.

Estas observaciones dieron lugar al planteamiento de una solución no prevista, que resultase más confiable y permitiera solventar los inconvenientes que se presentaron en la propuesta anterior. Para ello se planteo la sustitución de todos los circuitos individuales por el de una tarjeta impresa diseñada de acuerdo a los requerimientos del dispositivo.

Esta tarjeta incluye los circuitos de energía, control remoto, tarjetas controladoras, sensores, actuadores y cámara; permitiendo minimizar el uso de conexiones cableadas a largos tramos y el número de cables, eliminar circuitos individuales, centrar el área operacional del dispositivo, facilitar las mediciones durante las pruebas y finalmente reducir riesgos de errores.

Además fue necesario modificar la ubicación de los OOPIC II para tener acceso desde el exterior del dispositivo (figura 5.1) y así poder realizar el seguimiento pertinente de su funcionamiento.

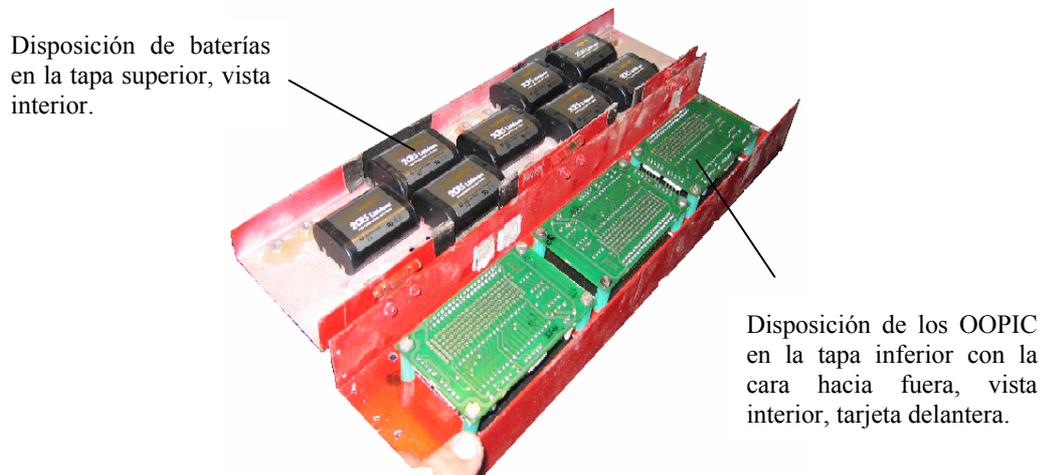


Figura 5.1 Ubicación de las baterías (tapa superior) y las tarjetas controladoras (tapa inferior)

Para la realización de la tarjeta impresa es necesario contar con un circuito eléctrico a partir del cual generar la configuración de las conexiones reales. Para la elaboración de este circuito se hizo uso de un programa diseñado para esta necesidad llamado *Eagle* y cuya configuración final se muestra en las figuras 5.2 y 5.3.

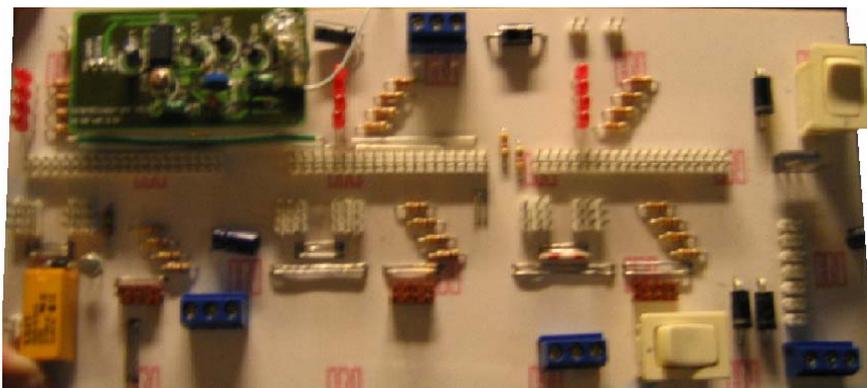


Figura 5.2 Vista frontal de la tarjeta impresa

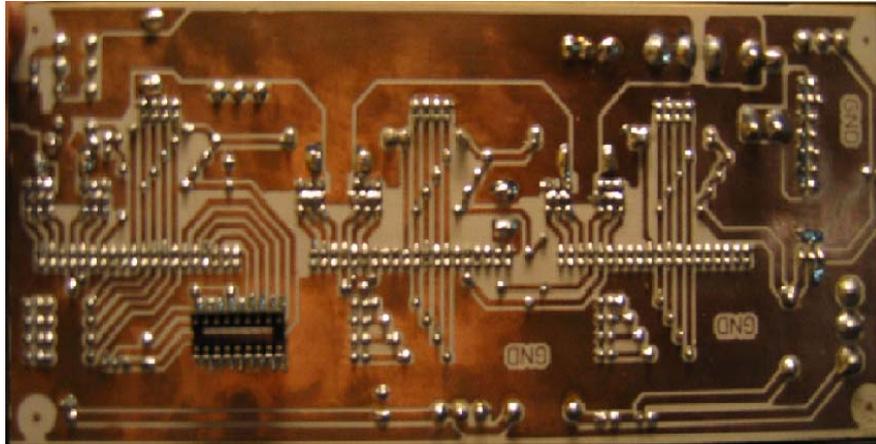


Figura 5.3 Vista posterior de la tarjeta impresa

En los anexos se puede visualizar el esquema eléctrico de la tarjeta impresa, apreciando cada uno de los elementos y componentes que la conforman, también incluye el circuito que permite a las tarjetas controladoras comunicarse entre si.

La tarjeta tiene una medida final de 10x22cm y esta ubicada en el exterior del autómeta ya que sus dimensiones exceden las previstas en la estructura original como se muestra en la figura 5.4.



Figura 5.4 Estructura auxiliar para la colocación de la tarjeta impresa

Prueba 5: Primer programa en Tarjeta impresa

Para comprobar las conexiones y estructura de la tarjeta impresa, además de las respectivas pruebas de conectividad, se cargo un programa similar a los anteriores que permiten mover los tres servomotores de una de las extremidades, este funciono según lo esperado.

Luego se cargo un programa previamente elaborado, que se encuentra en el *Anexo 4* de este trabajo. Este incluía los sensores en las extremidades y estos eran usados por el programa para coordinar los movimientos para desplazarse, introduciendo complejidad al programa y haciéndolo difícil de depurar. Por lo que se elimino por completo, comenzando el desarrollo del programa conforme se trabajaba con el prototipo, aprendiendo del comportamiento que presentaba ante las instrucciones.

Prueba 6: Movimiento

Una vez verificada la resistencia de los motores, se procedió a poner en movimiento al robot. Para ello se cargo en los microcontroladores el programa que le permitía realizar la secuencia de movimientos de los servomotores de modo tal que las extremidades permitieran el desplazamiento del prototipo. Sin embargo, al intentar caminar perdía el equilibrio y caía, esto debido al movimiento brusco de los motores.

Con esta información y la combinación de un procedimiento iterativo y experimental se logró determinar la velocidad óptima a la que el prototipo era capaz de caminar en línea recta y hacia delante. Se hizo que los motores giraran a 40° por segundo, siendo la velocidad estándar de rotación 400° por segundo.

Para lograr la disminución de velocidad deseada se escribió un subprograma que introducía un tiempo de espera de 0.07 segundos entre cada posición del servomotor, mediante este tiempo se logró la sincronización de los movimientos de las extremidades, sin embargo en caso de existir interferencia en algunas de ellas, esta sincronización se perdía perturbando la trayectoria lineal del autómatas, ya que no existía ningún tipo de comunicación entre ellas.

Prueba 7: Jerarquía de las tarjetas controladoras

Cada una de las tres tarjetas controladoras tiene conectado seis servomotores (dos extremidades) correspondientes a la posición de la tarjeta, la tarjeta delantera conectada a las extremidades delanteras, la tarjeta central a las extremidades centrales y la tarjeta posterior a las extremidades posteriores. La tarjeta delantera comanda a las demás debido a que, entre otras cosas, esta tiene conectado el control remoto, esto permite que la información del control no tenga que ser enviado de una tarjeta a otra, manteniendo los puertos de comunicación libre para otras operaciones.

La caminata del prototipo se logra mediante el uso de subprogramas, los cuales pueden apreciarse en el código del *Anexo 6* ó gráficamente en los *Anexos 2 y 3* para caminar en línea recta y cruzar a la derecha respectivamente. Todas las tarjetas poseen estos subprogramas. La tarjeta delantera, recibe las instrucciones del control

remoto ó usa sus rutas predefinidas para decidir cual subprograma se debe operar, especificando a las otras tarjetas los que a estas les corresponden. Cuando las otras tarjetas terminan sus tareas, la delantera lee esta respuesta e inicia el próximo movimiento coordinadamente. Esta operación de retroalimentación se realiza en puntos de control previamente estudiados, donde el principal sería, antes de levantar alguna extremidad, estos puntos de control se encuentran al final de cada subprograma. Al descargar el programa, el dispositivo logró moverse correctamente según lo esperado, como se muestra en la figura 5.6.

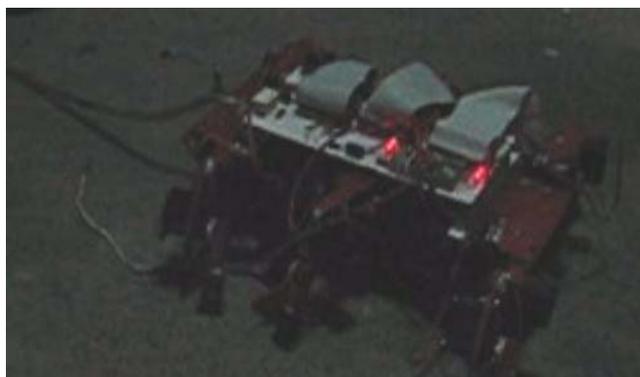


Figura 5.6 Prototipo caminando

Durante las pruebas de movimientos uno de los servomotores de la extremidad trasera se averió lo que implicó el reemplazo del mismo, sin incurrir en mayores complicaciones, más que el desmontaje y montaje del mismo.

Una vez realizada esta operación se pusieron en práctica los programas que permitían al autómatas desplazarse en otras direcciones, se desarrolló un código que coordinaba el movimiento de cruzar hacia ambos lados y caminata en línea recta hacia atrás, estas acciones se lograron por métodos experimentales y pruebas de posición.

Prueba 8: Control remoto

Con el uso del dispositivo de decodificación del control remoto incluido en el circuito del prototipo es posible enviar información y manipular al autómata a través de instrucciones directas, con el uso del computador y un codificador adaptado como se explica en *Experimentando con el control remoto* en el Capítulo 4 de este Trabajo de Grado.

El control remoto permite enviar instrucciones para mover el robot hacia delante, hacia atrás, cruzar y moverse en línea recta en cualquier instante de su recorrido por un operador.

CONCLUSIONES

- ✓ Actualmente el prototipo tiene la capacidad de realizar un recorrido recto, hacia delante, hacia atrás, cruzar y puede además guardar rutas en su memoria y elegir la mas apropiada según criterios preestablecidos.
- ✓ El sistema de movimiento de trípode alternado y tres grados de libertad en cada una de las seis extremidades, permite al sistema de navegación una mayor flexibilidad en el recorrido, logrando solventar obstáculos del camino.
- ✓ Al asegurar la coordinación de tres extremidades del sistema de trípode alternado para que comiencen su movimiento al mismo tiempo, en cada paso, se garantiza el desplazamiento lineal del dispositivo.
- ✓ El giro del autómeta hacia cualquier sentido, esta definido por el intercambio del movimiento de las extremidades delanteras y traseras, opuestas al de desplazamiento lineal.
- ✓ El sistema de navegación se mantiene encendido y alerta en todo momento, para así monitorear los eventos, procesar información, tomar decisiones y determinar acciones.

RECOMENDACIONES

- ✓ Este sistema de navegación fue concebido con elementos que pueden comprender y realizar desde las operaciones más sencillas hasta grandes y complejas configuraciones tecnológicas, brindando flexibilidad al proyecto. Por tanto, se recomienda continuar con el avance del sistema de navegación; considerando el estudio del cruce del prototipo y las variables que esto implica.
- ✓ Es posible mejorar el sistema con la inclusión de otros sensores. Como sensores de temperatura para protección de los circuitos, de proximidad en función de notar la presencia de obstáculos de diferentes configuraciones, optoencoders para posicionamiento angular, entre otros.
- ✓ Se puede desarrollar un programa que le permitan subir escaleras y solventar obstáculos, que requiere superar la limitante de los motores del dispositivo actual.
- ✓ Cuando se realiza un programa, normalmente este pasa por un proceso de depuración hasta llegar a la versión final, corrigiendo o mejorando según sea necesario. Para realizar este proceso en el robot es necesario tener información acerca de cómo está funcionando el programa dentro, por esto se recomienda añadir una pantalla de cristal líquido. Este medio en particular porque existe mucha información al respecto y las tarjetas controladoras OOPIC ya tienen funciones incorporadas para ayudar a manejarlas.
- ✓ A medida que se desarrolle el programa de un robot es recomendable su comprobación continua a medida que se escribe.

BIBLIOGRAFÍA

Libros consultados

- (1) ANGULO USATEGUI, Jose. (1982). *Microprocesadores Curso sobre aplicaciones en sistemas industriales*. (2º Edición). Madrid: Paraninfo.
- (2) CLARK, Dennis. (2003). *Programming and customizing the OOPiC Microcontroller*. (2º Edición). New York: McGraw-Hill.
- (3) KERNIGHAN, Brian W y otros. (1988). *The C programming language*. (2º Edición). New Jersey: Prentice Hall PTR.
- (4) McCOMB, Gordon. (2000). *The Robot Builder's Bonanza*. (2º Edición). New York: McGraw-Hill.
- (5) McKINNON, Gordon P. (1979). *Industrial Fire Hazards Handbook*. (1º Edición). Massachusetts: NFPA
- (6) Libros en pantalla de Visual Basic 5.0 Edición Profesional.
- (7) WISE, Edwin. (1999). *Applied Robotics*. (1º Edición). Indianápolis: PROMPT.

Paginas de Internet consultadas

- <http://www.oopic2.com> (Fabricantes de la tarjeta controladora)
- <http://groups.yahoo.com/group/oopic/> (Grupo de discusión)
- <http://www.acroname.com/> (Distribuidor de los servomotores)
- <http://www.robotprojects.com/rover/rover.htm> (Proyecto de robot)
- <http://www.rentron.com/> (Control remoto)
- http://www.telesound.co.nz/battery_lithium.htm (Baterías de Litio)
- <http://www.robotprojects.com/ir/angle.htm> (Proyecto de robot)

<http://lor.cc.trincoll.edu/~robot/index.html> (Concurso de robots contra fuego)

<http://www.microchip.com> (Fabricante de las memorias y controlador)

<http://www.parallax.com> (Fabricante del Basic Stamp)

<http://www.st.com> (Regulador de 5 voltios)

<http://www.geocities.com/sinactamzt/NAVEGACION.htm> (Navegación)

<http://www.inf.utfsm.cl/~vparada/labsw/descripcion/node21.html>

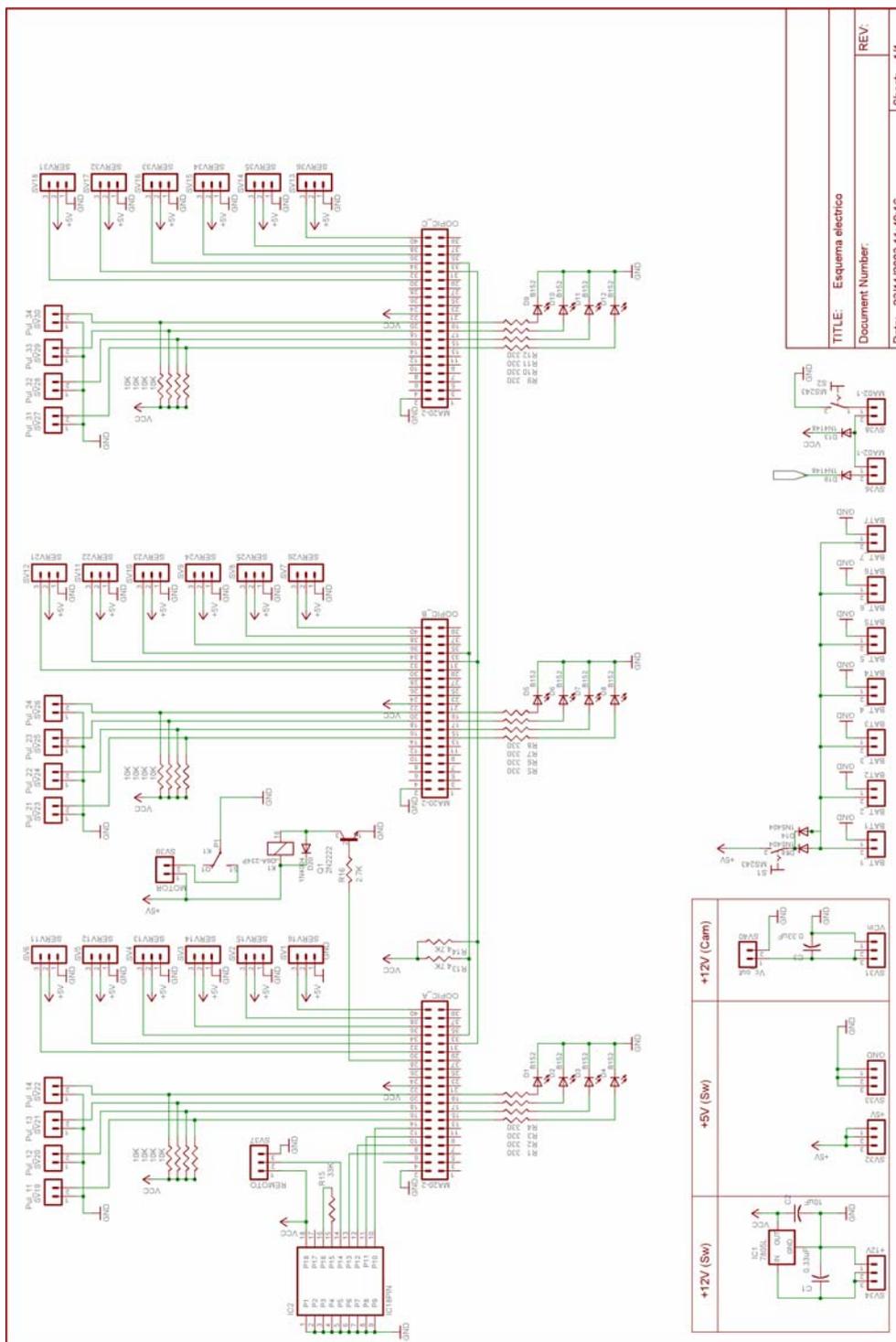
(Navegación)

<http://148.202.12.20/dpto/tesis/quetzal/index.html> (Navegación)

<http://www.disam.upm.es/RobotsAutonomos/Actividades/Tecnologias/Index.html> (Navegación)

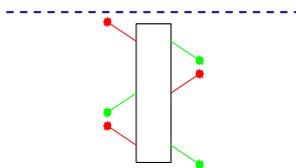
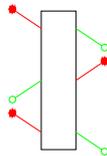
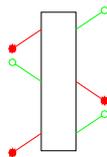
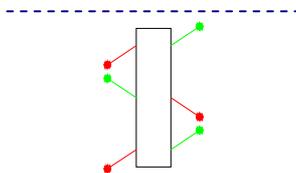
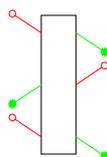
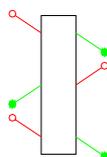
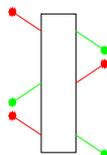
ANEXOS

Anexo 1: Diagrama eléctrico del prototipo



Anexo 2: Esquema caminata simplificada

- Leyenda:
- Extremidad en el suelo (circulo lleno)
 - Extremidad en el aire (circulo vacío)



$C_{\text{lado}} = 2$

$C_{\text{lado}} = 1$

$C_{\text{lado}} = 2$

Anexo 3: Cruzar a la derecha

