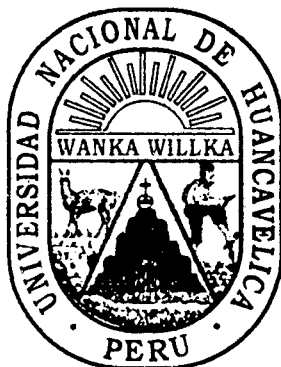


UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE ELECTRÓNICA**

TESIS

**“CONTROL EFICAZ DE UN ROBOT MÓVIL,
UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Control y Automatización

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

Edwar Alexanders, VIDALON DIAZ

HUANCAMELICA - PERÚ

2013



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Electrónica - Sistemas, a los 30 días del mes de ABRIL del año 2013, a horas 16:10, se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

Presidente: ING. CARLOS ROEL SALVAN MALDONADO
Secretario: ME. ING. ANGEL ALMIDON ELESCAND
Vocal: ING. EVERTH MANUEL RAMOS LAPA

Designados con Resolución N° 076-2013-FIES-UNH del: proyecto de investigación (Tesis), Titulado: "CONTROL EFICAZ DE UN BOAT MOVIL UTILIZANDO COMUNICACION INALAMBRICA"

Cuyos autores son los graduado (s):

BACHILLER (S): EDUAR ALEXANDERS VIDALON DIAZ

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Finalizado la evaluación; se invito al público presente y a los sustentantes a abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente el resultado:

APROBADO ☒ PORMAYORIA.....

DESAPROBADO ☐

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.

Carlos R. Maldonado
Presidente

Angel Almidon Elescand
Secretario

Everth Manuel Ramos Lapa
Vocal

A Dios; a mis padres Eduardo y María, a
mis hermanos y a ti Milagros fuentes
inagotables de apoyo e inspiración.

ÍNDICE

	Página
PORTADA	i
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	x
 CAPÍTULO I	 1
PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Formulación del Problema	4
1.3 Objetivo: General y Específicos	4
1.4 Justificación	4
 CAPÍTULO II	 6
MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes	6
2.2 Bases Teóricas	20
2.3 Hipótesis	62
2.4 Variables de Estudio	63
 CAPÍTULO III	 64
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1 Ámbito de estudio	64
3.2 Tipo de Investigación	64
3.3 Nivel de Investigación	64
3.4 Método de Investigación	65
3.5 Diseño de Investigación	65
3.6 Población, Muestra, Muestreo	65
3.7 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	66

3.8	Procedimiento de Recolección de Datos	67
3.9	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	67
CAPÍTULO IV		68
RESULTADOS		
4.1.	Presentación de Resultados	68
4.2.	Discusión	130
CONCLUSIONES		131
RECOMENDACIONES		133
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		134
ARTÍCULO CIENTÍFICO		135
ANEXOS A		142
ANEXOS B		147
ANEXOS C		150
ANEXOS D		154

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Locomoción del sistema Ackerman.	21
Figura 2.2 Locomoción del sistema Triciclo clásico.	22
Figura 2.3 Configuración de pines del microcontrolador PIC18F2550.	23
Figura 2.4 Arquitectura del microcontrolador PIC18F2550.	25
Figura 2.5 Memoria de programa del microcontrolador PIC18F2550.	26
Figura 2.6 Memoria de datos del microcontrolador PIC18F2550.	28
Figura 2.7 Registros de función especial de la memoria de datos.	30
Figura 2.8 Fuentes de interrupciones del CCS para el PIC18F2550.	31
Figura 2.9 Los escaladores del USB, nos permite múltiples configuraciones.	33
Figura 2.10 Opciones de CCS para los temporizadores.	35
Figura 2.11 Opciones de CCS para la comunicación serie RS232.	36
Figura 2.12 Opciones de CCS para el módulo (CCP).	37
Figura 2.13 Pines del PIC18F2550 que intervienen en la comunicación USB.	40
Figura 2.14 Diferentes opciones a nivel conexión del USB con el exterior.	41
Figura 2.15 Sistema de control del intercambiador de calor.	44
Figura 2.16 Diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto.	45
Figura 2.17 Diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado.	46
Figura 2.18 Modelo estructural de un sistema automatizado.	47
Figura 2.19 Clasificación tecnológica.	48
Figura 2.20 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación.	55
Figura 2.21 Cobertura y estándares de Wireless.	60
Figura 4.1 Diagrama bloques general del sistema diseñado.	68
Figura 4.2 Esquema general del sistema de control eficaz de un robot móvil, utilizando comunicación inalámbrica.	69
Figura 4.3 Diagrama de bloques de la Estación de Control.	70
Figura 4.4 Panel frontal del programa aplicativo desarrollado en el lenguaje de programación gráfico LabView 11.0.	72
Figura 4.5 Diagrama de bloques del aplicativo desarrollado en el lenguaje de programación gráfico LabView 11.0.	73

Figura 4.6	Iconos para ejecutar las órdenes de movimiento del robot.	74
Figura 4.7	Esquema electrónico del circuito transmisor, al que se conecta los módulos de RF.	77
Figura 4.8	Diagrama de flujo del circuito transmisor.	78
Figura 4.9	Aspecto físico y asignación de pines del módulo transmisor de RF.	82
Figura 4.10	Diagrama de bloques del circuito de la fuente de alimentación.	84
Figura 4.11	Esquema electrónico del circuito de la fuente de alimentación.	85
Figura 4.12	Diagrama de bloques del sistema móvil.	87
Figura 4.13	Sistema de control diseñado para el sistema móvil.	88
Figura 4.14	Módulo sensor ultrasónico de distancia PING.	89
Figura 4.15	Funcionamiento del sensor ultrasónico PING.	89
Figura 4.16	Protocolo de comunicación del sensor PING.	90
Figura 4.17	Aspecto físico y asignación de pines del módulo receptor de RF.	91
Figura 4.18	Esquema electrónico del circuito receptor al cual se conecta el módulo de RF y el módulo ultrasónico.	92
Figura 4.19	Diagrama de flujo del programa para el circuito receptor.	93
Figura 4.20	Circuito de la fuente de alimentación del sistema móvil.	101
Figura 4.21	Ubicación de los motores de dirección y tracción en el robot móvil.	102
Figura 4.22	Puente H para el motor de dirección.	102
Figura 4.23	Puente H para el motor de tracción.	103
Figura 4.24	Estación de Control implementado.	104
Figura 4.25	Sistema Móvil implementado.	104
Figura 4.26	Tarjeta de circuito impreso del Circuito Transmisor.	105
Figura 4.27	Tarjeta de circuito impreso del Circuito Receptor.	105
Figura 4.28	Sistema de Control Eficaz del robot móvil.	106
Figura 4.29	Recta de regresión de la correlación entre las variables independiente y dependiente.	128

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Unidades funcionales del PIC18F2550.	34
Tabla 2.2 Puertos de E/S del PIC18F2550.	34
Tabla 2.3 Las variables sus indicadores y unidades de medida.	63
Tabla 3.1 Muestra los valores que toma Z y E.	66
Tabla 3.2 Muestra las técnicas e instrumentos de recolección de datos.	66
Tabla 3.3 Técnicas de procesamiento.	67
Tabla 4.1 Íconos con la descripción de movimiento que realiza el robot y su codificación respectiva.	76
Tabla 4.2 Recursos y pines utilizados por el PIC del circuito transmisor.	79
Tabla 4.3 Recursos y pines utilizados por el PIC del circuito receptor.	94
Tabla 4.4 Información que llega al módulo receptor de RF y entrega al PIC	94
Tabla 4.5 Giro de los motores D.C., según la orden.	103
Tabla 4.6 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden avanza al robot.	107
Tabla 4.7 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden retrocede al robot.	108
Tabla 4.8 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden movimiento a la derecha.	109
Tabla 4.9 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden movimiento a la izquierda.	110
Tabla 4.10 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden giro a la derecha.	111
Tabla 4.11 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden giro a la izquierda.	112
Tabla 4.12 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden sin movimiento (parado).	113
Tabla 4.13 Procesamiento de los datos para la variable independiente: Comunicación inalámbrica.	114
Tabla 4.14 Procesamiento de los datos para la Variable Independiente:	115

Comunicación inalámbrica. (continuación).

Tabla 4.15	Procesamiento obtenido de los datos para la Variable Independiente: Comunicación inalámbrica.	116
Tabla 4.16	Resultados obtenidos de las pruebas del control de movimiento cuando el robot móvil avanza.	117
Tabla 4.17	Resultados obtenidos de las pruebas del control de movimiento, cuando el robot móvil retrocede.	118
Tabla 4.18	Resultados obtenidos de las pruebas del control de movimiento, cuando el robot va a la derecha.	119
Tabla 4.19	Resultados obtenidos de las pruebas del control de movimiento, cuando el robot móvil va a la izquierda.	120
Tabla 4.20	Resultados obtenidos de las pruebas del control de movimiento, cuando el robot móvil realiza giro a la derecha.	121
Tabla 4.21	Resultados obtenidos de las pruebas del control de movimiento, cuando el robot móvil realiza giro a la izquierda.	122
Tabla 4.22	Resultados obtenidos de las pruebas del control de movimiento, cuando el robot móvil no realiza movimiento (parado).	123
Tabla 4.23	Procesamiento de los datos de la variable dependiente: Control eficaz.	124
Tabla 4.24	Procesamiento de las pruebas de la variable independiente y dependiente.	126

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado "CONTROL EFICAZ DE UN ROBOT MÓVIL, UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA"; surge, debido a que en los movimientos: Adelante, atrás, derecha, izquierda y parado; que realizan los robots móviles a control remoto, a través de un mando tipo joystick, todos a una frecuencia de 27 MHz sin distinción alguna; no importa el control del móvil, sino que este realice simplemente su movimiento; planteándose el siguiente problema: ¿Cómo realizar el control eficaz a distancia de un robot móvil, respecto a su movimiento, utilizando comunicación inalámbrica?. El propósito es controlar a distancia el movimiento del robot móvil a través de un programa desarrollado en LabView, utilizando la computadora.

El prototipo implementado consta de dos partes: La Estación de Control y el Sistema Móvil. La Estación de Control está constituida por el módulo PC, el módulo transmisor y su fuente de alimentación. El Sistema Móvil está constituido por el módulo receptor y su fuente de alimentación, que consta de una batería recargable de Ni-Cd de 4.8 V/500 mA y otra batería de 6 V/1.3 AH. Se implementó el sistema de control a distancia del robot móvil para una frecuencia de 315 MHz e identificación propia, controlando su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado; mediante un puente H para el control del motor D.C. de dirección y del motor D.C. de tracción; realizándose las siguientes fases de diseño: Determinar la tecnología para el control de las variables, así como la tecnología de comunicación inalámbrica para el enlace entre el robot móvil y la computadora. Se determinó que para el control de las variables, la tecnología de lógica programada utiliza el microcontrolador PIC18F2550 y que la tecnología de RF con modulación-demodulación ASK a 315MHz y 2400 baudios, permite el enlace entre el robot móvil y la computadora. Además se realizó el programa del microcontrolador utilizando el Compiler PCWHD CCS 4.128 y se programó con el grabador PicKit 2 para su implementación y comprobación respectiva.

El tipo de investigación es tecnológica, utiliza el método específico experimental, en la muestra que es el robot móvil tipo Ackerman (carro-juguete), en espacios exteriores e interiores de mi hogar. Utilizando el estadístico "r" de Pearson se comprobó la hipótesis.

El investigador.

INTRODUCCIÓN

Los microcontroladores conquistaron el mundo. Están presentes en nuestro trabajo, en nuestra casa y en nuestra vida, en general. El siglo XXI es testigo de la conquista masiva de estos diminutos computadores, que gobiernan la mayor parte de los aparatos que fabricamos y usamos. Las extensas áreas de aplicación de los microcontroladores, que pueden considerarse ilimitadas, exigen un gigantesco trabajo de diseño y fabricación.

El presente trabajo tiene el propósito de poner al alcance de los estudiantes, información amplia sobre los microcontroladores de Microchip de la gama alta (PIC18F2550); así como sus herramientas de hardware y software que permitan la comprensión y el desarrollo de aplicaciones con estos microcontroladores, que sirven como punto de partida para continuar con familias superiores. Además, poner al alcance los circuitos implementados en campo: (1) Módulo transmisor, utilizado para enviar las órdenes de control de movimiento del robot móvil, mostrándose gráficamente la trayectoria recorrida; a través de un aplicativo desarrollado en LabView 2011; (2) Circuito de la fuente de alimentación del módulo transmisor; (3) Módulo receptor, que se encarga de recepcionar las órdenes enviadas desde el módulo transmisor para el control de movimiento del robot y (4) El circuito de la fuente de alimentación para el módulo receptor.

El sistema diseñado es esencialmente, un sistema digital basado en microprocesador orientado al control, que utiliza el microcontrolador PIC18F2550. Fue desarrollado a través de varias etapas. La primera etapa, fue la recopilación de información, una labor ardua; obteniéndose información de los libros comprados y principalmente de Internet. En la segunda etapa, se procedió al estudio y análisis de la información recopilada. La mayor parte de esta información está contenida en los Capítulos 1, 2, y 3; así como también en los anexos de la presente tesis. La tercera etapa consistió en el diseño, rediseño y simulación a nivel hardware de los esquemas electrónicos del circuito de transmisión y del circuito de recepción, con el CAD electrónico Proteus 7.10; los diseños de los circuitos que funcionaron adecuadamente, se utilizaron en la implementación de las tarjetas de circuito impreso. La cuarta etapa, bastante laboriosa por cierto, consistió en el desarrollo del software: Para los programas de los microcotroladores PIC18F2550 de los circuitos de transmisión y circuito de recepción; en la edición, depuración y compilación se utilizó el

Compiler PCWHD CCS 4.128 y se programó los microcontroladores con el grabador PickKit 2; y para el desarrollo del programa aplicativo de la Laptop se utilizó LabView 2011. En la quinta etapa se realizó el diseño, fabricación, implementación y prueba final de las tarjetas de circuito impreso; que está contenido en el Capítulo 4. Finalmente como última etapa podemos señalar la toma de datos cuando se realizaron las pruebas a la variable independiente y dependiente; y la conclusión de la elaboración de la tesis.

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo de personas; las cuales paso a mencionar. A mis padres, que dieron todo de sí en provecho mío. A los docentes de la Universidad Nacional de Huancavelica, por haberme instruido en esta fascinante especialidad. A mi Alma Mater, que me cobijo muchos años con equidad. Finalmente; mi agradecimiento a todas aquellas personas, que de una u otra forma, hicieron posible se realice este proyecto.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Los robots son herramientas, que se usan para reducir la cantidad de trabajo humano que requiere para realizar una tarea o satisfacer una necesidad. La robótica móvil es un campo de desarrollo de gran auge en la actualidad. Al principio se visualizaron robots móviles descendiendo dentro de los volcanes, explorando la superficie de Marte y limpiando pisos en instalaciones y oficinas. Estas ideas y otras se han estado desarrollando en los últimos años¹.

Otra área de desarrollo de robots móviles son los usados en situaciones que implican riesgo y peligro para los humanos. Estos son robots teleoperados, y han sido usados en el seguimiento de la limpieza; de incidentes como los ocurridos en las plantas nucleares de Chernobyl y Three Mile Island. Además, la policía y la milicia de diversos países usan robots controlados remotamente para recoger, probar o destruir bombas y explosivos contenidos en paquetes sospechosos.

La misión Pathfinder que viajó a Marte en 1997 llevó el que se puede considerar el robot móvil autónomo de mayor éxito en la historia. El robot Sojourner concentró la atención de millones de personas en su exploración del planeta rojo. El Sojourner ejecutó fielmente los comandos enviados desde controladores en el laboratorio de Propulsión a Cohete en California. Este robot enviado a otro planeta podía tomar acciones por sí mismo, estando alerta de obstáculos y abismos².

Las nuevas tendencias en robótica han ayudado a desarrollar muchos sistemas de robótica, que pretenden ampliar el uso de los robots en la vida diaria. La mayoría de estas nuevas tendencias se ha hecho posible gracias a la evolución de las tecnologías telemáticas.

¹ Javier de Lope Asiain. ROBOTS MÓVILES. Tripod Member. Page:
<http://mrt.tripod.com.co/Robots%20Moviles.htm>.

² Idem ¹.

La interacción hombre-robot juega un papel importante en cualquier sistema de robótica teniendo en cuenta que todavía no existe un robot con capacidad totalmente autónoma. Incluso si esta meta de la autonomía completa se alcanzara, el papel humano y el nivel de interacción variarían pero el hombre seguirá siendo una parte del sistema.

La interacción remota es un tipo especial de la interacción hombre-robot, donde el hombre y el robot están separados por barreras físicas pero se comunican vía las tecnologías telemáticas. Se puede usar este tipo de interacción en muchas aplicaciones útiles como teleoperación, telepercepción, teleprogramación, etc.

Los principales desarrollos en el campo de los robots móviles se han llevado a cabo sobre robots que trabajan en entornos altamente estructurados y básicamente bidimensionales, como son prácticamente la totalidad de recintos interiores o carreras en el caso de exteriores³.

Informe Anual World Robotics 2008⁴

Según el último informe del Departamento de Estadística IFR, 'World Robotics 2008', publicado en octubre pasado, a finales de 2007 habían alrededor de 1 millón de robots industriales en todo el mundo, es decir tres por ciento más que en 2006, con la instalación de 114.365 equipos nuevos. En términos de valor, el mercado creció 11 por ciento y se consolidó en US\$6.000 millones, cifra que no incluye el costo del software, periféricos y sistemas de ingeniería, por lo que se estima que el valor real del mercado, en 2007, superó los US\$18.000 millones.

El año pasado, a pesar de la caída en cuatro por ciento, cerca de 36.000 unidades menos, el mercado de la robótica de Asia y Japón continuó siendo el más grande, seguido de Europa con un aumento del 15 por ciento, el más alto registrado en los últimos años y 34.900 unidades vendidas. Por su parte, en Estados Unidos se incrementaron las colocaciones 9 por ciento, con 19.600 unidades más que en 2006. Alemania es el país que más incrementó el uso de la robótica, con un crecimiento de 30 por ciento y la industria automotriz el motor de este desempeño.

³ Miguel Angel Salichs. Robot móvil para trabajos en campo abierto (ROCA). Universidad Carlos III de Madrid. <http://www.uc3m.es/uc3m/dpto/IN/dpin04/roca.html>.

⁴ http://metalactual.com/revista/10/tecnologia_robotica.pdf.

América Latina presenta resultados mixtos, porque mientras México disminuyó en 10 por ciento la compra de robots industriales, Argentina y Brasil aumentaron la demanda de estos equipos; las entregas a estos países casi se duplicaron. En cuanto a las proyecciones, se prevé que el mercado mundial de robots industriales aumente un cuatro por ciento de 114.365 unidades en 2007 a 118.900 en 2008. A partir de 2009, se estima que aumentará en promedio anual 4,1 por ciento y llegará a 134.100 unidades más en 2011, es decir, cerca de 1.500.000 robots industriales en todo el mundo. Los proveedores comenzarán a penetrar en otros tipos de industrias diferentes a la fabricación de automóviles, tales como: metalmecánica, siderúrgica, plásticos, vidrio, alimentos-bebidas, equipos del hogar y oficina, y laboratorios farmacéuticos.

De lo señalado: Ante el crecimiento del uso de la robótica en la industria, educación, metalmecánica, agricultura, etc. en los países de Brasil y Argentina (América Latina) mientras que otros países y el Perú no figuran. Que los robots móviles desarrollados para entornos abiertos son teleoperados (El robot Sojourner en la misión Pathfinder viaje a Marte) y debido a que en los movimientos: Adelante, atrás, derecha, izquierda y parado; que realizan los robots móviles a control remoto, a través de un mando tipo joystick, todos a una frecuencia de 27 MHz sin distinción alguna; no importa el control del móvil, sino que este realice simplemente su movimiento. Por las razones expuestas y habiendo muy poca investigación al respecto en nuestra región, se establece el trabajo de investigación solo en el control a distancia de un robot móvil, el cual es un juguete comercial con locomoción tipo Ackerman (se utiliza tal como está fabricado y no se interviene en la parte mecánica lo cual sería materia de otra tesis); en un espacio exterior y en las mejores condiciones climáticas. El control a distancia (teleoperado) del robot móvil, respecto a su movimiento es comandado por la acción del mouse a través de un programa aplicativo desarrollado en LabView, utilizando comunicación inalámbrica de RF con identificación propia e interfaz USB; teniendo como objetivo principal el control de su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado, evitando cualquier obstáculo. El trabajo de investigación

realizado puede servir para el desarrollo de robots móviles que tengan aplicaciones específicas.

1.2 Formulación del Problema

Teniendo en cuenta el problema de estudio se formula las siguientes interrogantes:

¿Cómo realizar el control eficaz a distancia de un robot móvil, respecto a su movimiento, utilizando comunicación inalámbrica?

Problemas Específicos:

- ¿Qué tecnología se adecua para el control eficaz a distancia de un robot móvil respecto a su movimiento; avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado?
- ¿Qué tecnología de comunicación inalámbrica permite el enlace entre el robot móvil y la computadora?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar el prototipo de un sistema de control para realizar el control eficaz a distancia de un robot móvil, respecto a su movimiento, utilizando comunicación inalámbrica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el prototipo de un sistema de control con la tecnología que permita el control eficaz a distancia de un robot móvil respecto a su movimiento; avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado.
- Implementar la tecnología de comunicación inalámbrica que permite el enlace entre el robot móvil y la computadora.

1.4 Justificación

Esta investigación utiliza la tecnología electrónica de lógica programada en el diseño e implementación de un sistema para el control eficaz a distancia de un robot móvil, el cual utiliza un juguete comercial (locomoción con sistema Ackerman);

respecto a su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado. El control eficaz a distancia del robot móvil, respecto a su movimiento es comandado por la acción del mouse de la computadora a través de un programa aplicativo desarrollado en LabView 2011. Se utilizan módulos de comunicación inalámbrica de radio frecuencia con modulación/demodulación ASK, que permite el enlace entre el sistema de control de movimiento del robot basado en el microcontrolador PIC18F2550 y la interface con el puerto USB de la computadora, que tiene como principal dispositivo otro microcontrolador PIC18F2550. El sistema implementado puede ser utilizado por cualquier persona, y a través del aplicativo desarrollado en LabView realizará el control de movimiento del robot.

En nuestra Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas, que es sinónimo de desarrollo y vigencia en el ámbito del conocimiento tecnológico y científico, se ha desarrollado solo un proyecto tangible relacionado con el control de un robot (silla de ruedas); pero no se han desarrollado investigación específicamente sobre un robot móvil, como el que se presenta en esta investigación. Se pretende realizar el control de un prototipo de robot móvil que motive e incentive a los estudiantes de Ingeniería Electrónica para incursionar en el tema y realicen proyectos de mayor envergadura, con la finalidad de llegar a un producto final que pueda solventar algunos de los problemas que ponen en riesgo la vida del hombre y la imposibilidad de tener acceso a áreas, debido a sus restricciones físicas, entre otras; los cuales pueden ser realizados por un robot móvil.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Entre los antecedentes del estudio de carácter internacional, consideramos los siguientes trabajos de investigación:

Tesis: **“CONTROL DE UN ROBOT MÓVIL USANDO COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA⁵”**. Presentado por Erinson Romero. Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela; noviembre de 2008.

El presente proyecto describe el control de un robot móvil a través del computador usando comunicación por radio frecuencia (RF). Esto con el fin de controlar un vehículo móvil que sirve como medio educativo para la enseñanza y aprendizaje en el área de la robótica. Además de incentivo para aquellas personas que quieran incursionar en esta rama de la tecnología.

El desarrollo del proyecto está basado en utilizar un carro juguete perteneciente a una casa comercial. Está enfocado en dos partes; una referente al sistema móvil y otra a la estación de control. El sistema móvil está constituido por el chasis, un sensor óptico, dos motores de corriente continua y la tarjeta de control del vehículo, además del módulo de comunicación. La estación de control está comprendida por un sistema de supervisión y monitoreo, conformado por la PC y la tarjeta de comunicación. La comunicación del vehículo es realizada por RF la cual permite trabajar tanto en espacios cerrados como en espacios limitados, a corta distancia, dependiendo del alcance de los módulos de RF.

⁵ http://tesis.ula.ve/pregrado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1486.

Tesis: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL TIPO HEXÁPODO TELEDIRIGIDO⁶"**. Presentado por: César Alfredo Fuertes Rosero y Romel Patricio Llumiquinga Llumiquinga. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador, mayo de 2005.

El presente proyecto tiene como principal objetivo la construcción y control de un robot móvil tipo hexápodo, para lo cual se usa el PIC de radiofrecuencia RfPIC que realiza un control remoto del robot, y se utiliza una cámara de video montada en el robot para la transmisión de video hacia la estación de control mediante el kit transmisor/receptor wireless 1.2GHz. Además se utiliza sensores infrarrojos y ultrasónicos que dotan al robot de un cierto grado de inteligencia, que le permite tomar ciertas decisiones sin necesidad de recurrir al mando de control externo.

El proyecto se divide en siete capítulos, los cuales se detalla a continuación:

En el CAPÍTULO I, se realiza una introducción, antecedentes y justificación, y descripción general del proyecto.

En el CAPÍTULO II, se realiza la descripción del principio de funcionamiento de los servomotores y sensores, una descripción de los tipos de sensores, una descripción de cada sensor que presenta características favorables para ser utilizado dentro del proyecto, y se describe de forma general el sensor de visión usado en el proyecto.

En el CAPÍTULO III, se analiza las características principales de los robots hexápodos, y así como las diferentes formas de locomoción por patas; dentro de la locomoción por patas se analizan las diferentes formas del movimiento de las patas de los hexápodos articulados. También se diseña y se simula el ensamblaje de cada pieza del robot mediante la utilización del software Solidworks, luego con la utilización de madera se realiza el primer prototipo y con la fibra de vidrio el prototipo final.

En el CAPÍTULO IV, se detalla todo lo referente al hardware utilizado en el robot y en la estación de control.

⁶ <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/181/1/T-ESPE-012202.pdf>.

En el CAPÍTULO V, se realiza la programación de los algoritmos para el movimiento del robot mediante la utilización del programa Visual Code Studio, y para la programación del control remoto se utiliza el programa del Kit de Rfpic's; el cual permite la comunicación de la estación de control y el robot.

En el CAPÍTULO VI, se detalla las diferentes pruebas realizadas para el buen funcionamiento del prototipo y sus consecuentes limitaciones.

En el CAPÍTULO VII, se indican las conclusiones y recomendaciones que servirán para futuras investigaciones en el campo de la robótica móvil mediante locomoción por patas.

Tesis: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT ÁPODO PARA TAREAS DE EXPLORACIÓN⁷". Presentado por: Cristian Paúl González Espín y Paúl Fernando Urrutia Goyes. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador, 2006.

El proyecto consistió en el diseño y construcción de un sistema de exploración conformado por un robot ápodo y una central de control y monitoreo.

El robot consta de tres módulos que fueron contruidos en madera y se articulan mediante servomotores Futaba 3003. Dispone de una cámara de video inalámbrica y una lámpara para que el operador pueda observar el ambiente donde se encuentra el robot. El prototipo dispone de un receptor de control remoto, y una tarjeta de control que procesa las señales recibidas de la central.

La central de control y monitoreo, cuyo elemento principal es una PC, permite el control del robot remotamente mediante una interfaz gráfica. El robot es manipulado mediante control remoto inalámbrico que trabaja mediante RF con modulación FM a una frecuencia de 72.150 MHz. La central recepta las señales capturadas por la cámara para visualizar el entorno del robot.

⁷ <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/228/6/T-ESPE-014314.pdf>.

Mediante este robot se puede explorar cualquier tipo de terreno sin la necesidad de exponer al humano a las diversas condiciones del terreno, y a los diversos peligros que pueda tener el ambiente en el cual se esté desarrollando.

Tesis: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ (SOFTWARE Y HARDWARE) ENTRE UN SIMULADOR Y UN ROBÓTICO, USANDO UN MICROCONTROLADOR⁸”**. Presentado por Yuliany Quintero. Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela; noviembre de 2008.

En este trabajo se presenta la información relacionada con el diseño e implementación de una interfaz (software y hardware). La tarjeta de interfaz permite conectar un brazo robótico con un simulador usando un microcontrolador. La información requerida por el microcontrolador para ejercer el control, en los actuadores del brazo robótico, es transmitida por el computador (simulador) por vía puerto serial. Cuando se desea diseñar una interfaz de este tipo se deben tomar en cuenta varios factores, tales como: Elementos, motores o actuadores, sensores disponibles, amplificadores de potencia, método para la asignación de tareas, programación, etc., estos aspectos son considerados cuidadosamente para lograr el fin perseguido.

Tesis: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL TELEOPERADO PARA LA LOCALIZACIÓN DE OBSTÁCULOS EN TUBERÍAS⁹”**. Presentado por Magali Elizabeth Espinoza Velásquez. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador, 2006.

Este proyecto titulado “Diseño y Construcción de un Robot Móvil Teleoperado para la Localización de Obstáculos en Tuberías” es el resultado de una investigación orientada a satisfacer la necesidad primaria de Refinería Estatal Esmeraldas de obtener una visualización interna de las tuberías por donde circulan los diversos productos que intervienen en la industrialización del petróleo.

⁸ http://tesis.ula.ve/pregrado/tde_busca/archivo.php?codArquivo=1489.

⁹ <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/227/6/T-ESPE-014311.pdf>.

El punto de partida fue crear un prototipo que permita al personal de mantenimiento localizar grandes elementos en lugares inaccesibles, ya sea por la dimensión del lugar o por el peligro que el medio implica, como es el caso de las líneas de petróleos y derivados.

Mecanismos extranjeros, cuyo precio de alquiler sobrepasa los 4000 dólares diarios, han venido siendo empleados para determinar el estado de los tubos y tuberías de la Refinería, tal es el caso de los “marranos o raspadores” que son dispositivos mecánicos introducidos en la línea y empujados por el flujo del producto. Divididos en dos clases, los marranos utilitarios sirven para limpiar, separar productos o desaguar al oleoducto; mientras que los raspadores inteligentes se usan como herramientas de inspección interna que proveen la información de la condición de la tubería así como la extensión y localización de cualquier problema. Cabe recalcar que para la inspección con estos dispositivos las plantas deben detener sus funciones algunas horas e incluso días, lo que implica pérdida en la producción.

La unidad móvil diseñada y construida en este proyecto es pionera de un futuro robot que se desea reproducir para reemplazar las funciones de los raspadores inteligentes a menor precio y con tecnología vigente.

En este trabajo se observará el estudio para la adquisición de elementos que permitan una comunicación inalámbrica entre el operador y el robot. Una vez cumplido este objetivo, con un diseño mecánico básico pero confiable y con un software de supervisión y control satisfactorios, se plantean soluciones para el incremento de las facultades del prototipo en el sistema de adquisición de imagen y el alcance de trabajo, desafiando al diseño de un mecanismo electrónico que permita ver el estado interno del oleoducto de gases, sea cual sea su extensión, esto, con el propósito de analizar, detalladamente, la corrosión presente para la prevención de futuras fugas y todo esto sin la necesidad de detener las plantas de tal forma que Refinería Estatal Esmeraldas ahorre gastos de alquiler de robots extranjeros y pérdidas de producción.

Tesis doctoral: **“INTERACCIÓN REMOTA CON ROBOTS MÓVILES BASADA EN INTERNET¹⁰”**. Presentado por Alaa Mohamed Khamis Rashwan. Universidad Carlos III De Madrid, Madrid-España, 2003.

El objetivo de esta tesis es el desarrollo de una arquitectura software para un laboratorio remoto en el campo de robótica móvil para facilitar la interacción remota con robots móviles utilizando varios dispositivos de interacción.

Se ha realizado esta tesis en el marco del proyecto IECAT, que pretende desarrollar una red de laboratorios remotos entre seis universidades en Europa y EE.UU. en el campo de los sistemas autónomos y teleoperados. Este laboratorio distribuido internacional proporciona un conjunto coordinado de experimentos a los estudiantes, con recursos hardware físicamente distribuidos en varios lugares pero accesibles vía Internet, ayudando así a intercambiar recursos hardware y materiales educativos entre los participantes.

En la tesis se estudian las ventajas y los inconvenientes de utilizar la red Internet como medio de comunicación en los sistemas de interacción remota con robots móviles. Se ha realizado un estudio para evaluar el rendimiento de la comunicación entre la Universidad Carlos III de Madrid y la Universidad de Ciencias Aplicadas FH-Weingarten en Alemania, que son miembros del proyecto IECAT. Se ha hecho hincapié en los inconvenientes más destacadas de Internet como el retraso temporal, el ancho de banda y el jitter.

Se ha utilizado el paradigma del control supervisado en el desarrollo del sistema propuesto para disminuir el ancho de banda necesario y la sensibilidad del sistema al retraso temporal.

En la tesis se propone la utilización de los patrones de software para desarrollar interfaces hombre-robot flexibles y reutilizables. Las interfaces de usuario se han desarrollado utilizando el patrón proxy visual. Este patrón proporciona interfaces de usuario flexibles con relaciones de acoplamiento

¹⁰ <http://roboticslab.uc3m.es/publications/Thesis%20Khamis.pdf>.

minimas entre los subsistemas. La generación de la interfaz de usuario está completamente separada de los objetos de la capa de abstracción proporcionando así facilidad de reutilización y extensibilidad. En esta tesis se estudia también el uso de los dispositivos móviles tales como las PDAs y los teléfonos móviles como elementos de interacción con el robot. Los experimentos desarrollados han demostrado que estas tecnologías mejoran el alcance y la funcionalidad de los entornos de interacción remota.

Finalmente, se propone una metodología para construir entornos educativos innovadores para la robótica móvil. Dicha metodología combina varias actividades para resolver los problemas del paradigma tradicional de instrucción y para permitir a los estudiantes tener un papel activo y creativo en el sistema.

Tesis: "ROBOT CARTESIANO: SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS IRREGULARES ARBITRARIAS MEDIANTE COMPUTADORA¹¹".

Presentado por: José Luis López Segovia, Misael Alamilla Santiago y Juan Francisco Domínguez Vázquez. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo-México, noviembre de 2007.

En este proyecto de tesis se realizó un estudio general de todo lo que se refirió a robótica y robots, desde sus sistemas en los que abarcan los actuadores. Sensores, sistemas de transmisión de potencia en los que se encuentran los engranes, tornillos etc. además del estudio de las diferentes configuraciones de robots como sus tipos. Se estudia a grandes rasgos los tipos de motores, así como de los diferentes tipos de articulaciones que son movidas por los actuadores. En esta tesis se da a conocer desde tomar esta configuración de robot para el trazado de líneas y un bosquejo general de lo que es un robot; sus diferentes configuraciones, el espacio de trabajo, dependiendo de su tipo de configuración, los diferentes sistemas que lo componen, así como el funcionamiento de cada uno de estos. Podemos ver

¹¹ [http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Robot %20 cartesiano%20seguimiento%20de%20trayectorias.pdf](http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Robot%20cartesiano%20seguimiento%20de%20trayectorias.pdf).

desde el cómo se diseñó y se realizó cada uno de los componentes del robot cartesiano así como el diseño de la etapa de potencia para los movimientos de desplazamiento en los ejes X-Y. Este proyecto de robot tiene la finalidad de reproducir una trayectoria irregular arbitraria, que en muchas ocasiones este tipo de configuraciones robóticas solo son utilizadas en la ubicación de un punto en específico o para trazar solo líneas rectas. El principio que se maneja fue el de generación de comandos GERBER. Que ayudan a la fabricación de PCB's (Placas de Circuito Impreso, por sus siglas en inglés).

Para hacer que el robot tenga un control de sus movimientos hacia su área de trabajo se utiliza el puerto paralelo controlado a través de una interfaz gráfica creada en Visual Basic que manda el código de pulsos hacia los motores de las articulaciones de este robot. En la interfaz gráfica se cuenta con una pantalla de trazado, que con la ayuda del ratón podemos realizar un trazo curvo o lineal para posteriormente ser trazado, así como otra que indica el seguimiento del trazo de la trayectoria que siguen las diferentes líneas. A la vez que se ve la reproducción de la trayectoria en la segunda pantalla, el robot también recibe los datos y comienza a dibujar el trazo dando un dibujo similar al trazado en la primera pantalla.

Tesis: **"ROBOT MÓVIL PARA RECONOCIMIENTO DE TERRENOS¹²"**

Presentado por: Francisco Castañón Decena, Carlos Cosme Bustamante y Carlos Uriel Martínez Tovar. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.- México, 2011.

La robótica móvil en la actualidad se ha desarrollado para un sinnúmero de soluciones particulares, en este trabajo se atacará principalmente el problema de reconocer terrenos que son de difícil acceso a prioridad para el ser humano.

Por lo tanto, el presente proyecto propone una solución tecnológica para un acceso remoto por parte del usuario en zonas no conocidas, con la finalidad

¹² <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/10710/1/104.pdf>.

principalmente de localizar personas u objetos en cualquier tipo de siniestro natural desastre, escombros, ruinas o simplemente en lugares de exploración, entre otras cosas.

La solución se presenta inicialmente con un Estudio del Estado del Arte (Capítulo I), el cual integra los contextos de información necesarios para darle la sustentabilidad teórica al proyecto y al mismo tiempo, que resulte una herramienta valiosa para documentar en estos temas para el equipo de trabajo.

Por su parte, en el Capítulo II, se desarrolla el diseño del robot para atacar la problemática, delimitando así todas las cualidades y características que tendrá el robot móvil; todo esto estará basado en un riguroso análisis de la estructura más idónea y el sistema electrónico más apto para su control.

Con lo anterior, se desarrolla en si el robot móvil, teniendo en cuenta la Ingeniería de Automatización y Control, Ingenierías de Diseño Mecánico e Ingeniería Industrial las cuales se podrán observar en el Capítulo III, realizando el análisis del robot construido como una solución integral a través de la sinergia que cada uno de estos elementos aporta al proyecto.

En el Capítulo IV, se enuncian los resultados obtenidos, a través de la comparación de los objetivos unciales con el resultado final, basándose en la experiencia propia de cada uno de los integrantes del equipo de trabajo y sus respectivas aportaciones en el proyecto.

Finalmente el Capítulo V, detalla los costos generales del robot, las conclusiones, recomendaciones y discusiones, los cuales representan mía valiosa retroalimentación para el equipo de trabajo en relación a mejorar todos aquellos aspectos que sean necesarios, y al mismo tiempo representan información valiosa para aquellos interesados en el tema en estudio.

El equipo de trabajo pretendió desarrollar un prototipo con tecnología disponible a nivel nacional que ayude a las actividades de reconocimiento de terrenos, que sea alcanzable para un mayor número de tareas, no sólo de reconocimiento.

Tesis: "INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ROBOTS MÓVILES DE COMPETENCIA PARA SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE UN AGENTE INTELIGENTE EN UN ROBOT SEGUIDOR DE TRAYECTORIAS¹³".

Presentado por Mario Alberto González Torres. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.-México, enero de 2009.

En nuestro país, se realizan distintas competencias de robótica, en la última década el crecimiento de la tecnología ha ido desarrollando componentes con dimensiones reducida para la aplicación en la robótica.

En esta década las competencias se han dividido en los siguientes tipos por mencionar algunos:

- Robots autónomos móviles.
- Micro robots autónomos móviles
- Micro robots dirigidos móviles.
- Etc.

La robótica móvil en México surge en los 90, con robots analógicos. Una de las primeras competencias se dio en el año 1994, donde la competencia se basaba en dar un recorrido por una pista recta.

En este trabajo de tesis se describirán los agentes que integran la inteligencia artificial de un robot autónomo móvil para poder construir un modelo basado en estos agentes.

La robótica móvil siempre se plantea en torno a unas metas, las cuales se consiguen en un ambiente determinado con el cual el robot interactúa por medio de percepciones y acciones, a medida de lo deseado el robot móvil tendrá que 'aprender' sobre las metas marcadas las estrategias necesarias o almacenadas en su memoria digital.

Podemos representar la autonomía como los cuatro pilares de un edificio. Estos deben tener sus dimensiones en la proporción justa para que el tejado se sustente correctamente. Cuanta más altura tengan, el grado de consecución de objetivos es mayor y proporcional a su autonomía.

¹³ <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/2593/1/ROBOTSMOVILES.pdf>

La aplicación de tales agentes inteligentes en nuestro país, esta empezado a desarrollarse, ya que países como España, Japón y Alemania por mencionar algunas, se ha implementado desde el año 2000. Por ello esta investigación trata de concientizar a los alumnos, profesores y toda la gente interesada en la robótica móvil, a diseñar los elementos del robot según el agente inteligente diseñado en base a las matrices PAMA.

Una matriz PAMA como lo fundamentaremos más adelante, definirá la forma y construcción del agente inteligente de un robot con base a su percepción, ambiente, metas y acciones a tomar en cada punto de una competencia. Este modelo PAMA es tomado de la inteligencia del razonamiento del ser humano y como sabemos, la robótica trata de imitar los movimientos y pensamientos del ser humano.

Tomando en cuenta que esta tesis va dirigida a la mejora de técnicas de construcción de dichos robots, se utilizaran materiales de bajo costo pero que no estarán limitados, se podrán sustituir siempre y cuando cumplan con los requerimientos del agente inteligente que lo integra.

Tesis: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT PERSEGUIDOR DE OTRO ROBOT COMO JUEGO DIDÁCTICO PARA NIÑOS DE LA U.E.N. CNEL. CARLOS DELGADO CHALBAUD EN CARACAS¹⁴”. Presentado por Br. Daniela Ferrer y Br. Daniel Hernández. Universidad Nueva Esparta. Caracas-Venezuela, julio de 2011.

Los juegos son todas aquellas actividades mentales, físicas o ambas, cuyo objetivo es ofrecer diversión a los participantes. En la actualidad, los juegos que llaman la atención de los niños son los tecnológicos. El problema de este tipo de juegos es el nivel de violencia que estos incluyen.

En el presente Trabajo de Grado se plantea la construcción del juego Pac-Man y su posterior implementación en la U.E.N. Cnel. Carlos Delgado Chalbaud. Para esta simulación se desarrollan dos Robot (El Pac-Man y el enemigo).

¹⁴<http://miunespace.une.edu.ve/jspui/bitstream/123456789/309/3/TG4549%20tesis%20cc.pdf>.

El Robot Pac-Man es controlado por el niño a través de una consola inalámbrica, realizada con un módulo RF. Por su parte, el robot enemigo se desplazará a lo largo de la consola. Cuando detecte su proximidad al Pac-Man, empleará un sensor de herradura para tocarlo y mandará una señal a la consola indicando que se ha acabado el juego. El laberinto, es representado con una consola hecha con madera de fibra de media densidad (MDF) con leds y sensores ópticos reflexivos. Una vez detectada la presencia del Pac-Man, se apaga el led indicando que se comió ese punto.

Tesis: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL PROTOTIPO DISPENSADOR DE BANDEJAS¹⁵"**. Presentado por Santiago Vladimir

Gómez Rosero. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador, 2010.

Este escrito documenta los procesos realizados para diseñar y construir un robot prototipo móvil que lleve a cabo la tarea de entregar bandejas con medicinas o comida en distintos cuartos de una pista de recorrido.

El objetivo de realizar y poner en funcionamiento un primer prototipo, es generar información base y documentación para posteriores proyectos robóticos que realicen entrega de bandejas en cuartos de un hospital o clínica. Para lograr que el prototipo realice la tarea de entrega de bandejas, se ha diseñado, construido piezas y mecanismos de un brazo manipulador, se ha diseñado y construido una plataforma móvil que cargue el peso de todo el prototipo en conjunto con el brazo manipulador y que permita la movilidad para trasladarse y seguir la pista de recorrido. Igualmente, se documenta el diseño e implementación de la instrumentación, el hardware de control y actuadores requeridos para poner en marcha electrónicamente al prototipo. Se documenta el desarrollo del firmware cargado en el microcontrolador del robot para que realice secuencialmente las distintas acciones tales como seguir la línea de la pista de recorrido, identificar puntos de cruce y de entrega, recoger la bandejas, trasladarlas y

¹⁵ <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/252>.

depositarlas en la mesa designada para la entrega, retornar a la pista de recorrido, trasladarse hasta el siguiente punto de entrega designado por el operador, hasta completar la entrega de las bandejas designadas, y finalmente, volver al punto desde donde partió.

Posteriormente, se documenta el funcionamiento del robot prototipo en un recorrido de prueba para la entrega de dos bandejas en dos cuartos diferentes y cómo realizar todas las tareas para las que fue diseñado, construido y programado para que el lector pueda constatar el resultado final del prototipo construido.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Tesis: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO ROBOT DE DOS GRADOS DE LIBERTAD PARA EL TRAZADO DE DIAGRAMAS EN UN PLANO¹⁶”**. Presentado por: Jaime Ricardo Nakamura Lam, Miguel Antonio Chávez Tapia y César Olivera Susanibar. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú, abril de 2009.

El presente trabajo consiste en el diseño y la implementación de un brazo robot de dos grados de libertad para su aplicación en el trazado de diagramas en un plano de trabajo A3. El diseño implicó el desarrollo de un modelo mecánico del sistema, desarrollado parcialmente por Luis Felipe López Apostolovich, alumno de la especialidad de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú y complementado con el diseño del Sr. Alberto Orihuela, egresado del instituto técnico SENATI, quien también apoyó en los procesos de manufactura que fueron realizados en su taller. El diseño del sistema de control para el brazo robot de dos grados de libertad se dividió en tres partes: una etapa de interfaz de usuario, encargada de interactuar con el usuario mediante un computador personal y comunicarse con la etapa del controlador; la cual, se encarga de recibir del computador personal los valores de trayectoria ingresados por el usuario y generar las señales de control necesarias para accionar los

¹⁶ <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>.

actuadores encargados de realizar el movimiento, así como de recibir información de los sensores acoplados al sistema; y por último una etapa de interfaz de potencia, encargada de recibir las señales de control generadas por el microcontrolador, llevándolas a los niveles de potencia adecuados para los actuadores.

La implementación del sistema se llevó a cabo de la siguiente manera: la interfaz de usuario se realizó programando en el lenguaje Visual C++, para la etapa del controlador se utilizó un microcontrolador ATmega8 de la familia AVR de la compañía ATMEL Corporation, así como un interruptor óptico OPB940 y un potenciómetro rotatorio como sensores del sistema; y para la etapa de interfaz de potencia se utilizaron semiconductores de potencia: transistores Darlington TIP122, transistores MOSFET IRF540 e IRF9540, dimensionados para manejar dos tipos de motores: un motor paso a paso unipolar y motor de corriente continua de imán permanente.

Tesis: “DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS INTELIGENTE CON INTEGRACIÓN MULTISENSORIAL”. Presentado por Irma Luz Mauricio Villalba. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica-Perú, 2008.

El trabajo de investigación parte desde la perspectiva de superar el problema que atraviesa los discapacitados del sistema locomotor, quienes al ser dependientes física y económicamente de segundas personas representan una carga social. Para darle cierta independencia y mejorar la capacidad de desplazamiento, se diseña una silla de ruedas con una estructura capaz de soportar el peso de los discapacitados y poder desplazarse en superficies planas, la arquitectura de la silla permite incorporar el sistema de comando por voz, aprovechando las características especiales del software de reconocimiento de voz comercial: Dragon Naturally Speaking desarrollado por Nuance INC.

La misma arquitectura diseñada permite la incorporación de módulos de interfaz hombre-máquina (HIM), reconfigurables y adaptables a las voces de un usuario en particular incluyendo a las personas con discapacidades

graves. Para lograr el reconocimiento de la voz de una persona en particular se hace un entrenamiento previo que consiste en la lectura de un texto que ya viene pre establecido en el software especializado en reconocimiento de voz.

La silla de ruedas está constituido por sensores de ultrasonido y sensores infrarrojos que permitirán detectar obstáculos en forma automática, sin la participación del usuario, estos sensores le dan cierta autonomía por lo que se le puede denominar silla inteligente.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Robots móviles [1]

Vehículos con Ruedas: Los vehículos con ruedas son la solución más simple y eficiente para conseguir la movilidad en terrenos suficientemente duros y libres de obstáculos, permitiendo conseguir velocidades relativamente altas. Como limitación más significativa cabe mencionar el deslizamiento en la impulsión. Dependiendo de las características del terreno pueden presentarse también deslizamientos y vibraciones. La locomoción mediante ruedas es poco eficiente en terrenos blandos.

Los robots móviles emplean diferentes tipos de locomoción mediante ruedas que les confiere características y propiedades diferentes respecto a la eficiencia energética, dimensiones, cargas útiles y maniobrabilidad. La maniobrabilidad se consigue en vehículos omnidireccionales. Un vehículo omnidireccional en el plano es capaz de trasladarse simultáneamente e independientemente en cada eje del sistema de coordenadas, y rotar según el eje perpendicular.

A continuación se comentan brevemente las características más significativas de los sistemas de locomoción más comunes en los robots móviles.

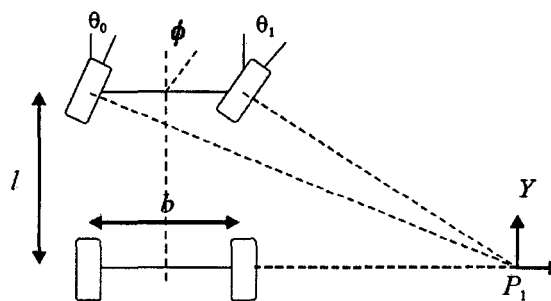
A. Ackerman

Es el utilizado en vehículos de cuatro ruedas convencionales. De hecho, los vehículos robóticos para exteriores resultan normalmente de la modificación

de vehículos convencionales tales como automóviles o incluso vehículos más pesados. Este sistema de locomoción se ilustra en la figura 2.1. La rueda delantera interior gira un ángulo ligeramente superior a la exterior ($\theta_1 > \theta_0$) para eliminar el desplazamiento. Las prolongaciones de los ejes de las dos ruedas delanteras intersectan en un punto sobre la prolongación del eje de las ruedas traseras. El lugar de los puntos trazados sobre el suelo por los centros de los neumáticos son circunferencias concéntricas con centro el eje de rotación P_1 en la figura. Si no se tienen en cuenta las fuerzas centrífugas, los vectores de velocidad instantánea son tangentes a estas curvas.

Este tipo de locomoción es del NavLab 1, un vehículo autónomo que ha venido empleándose en el Robotics Institute de Carnegie Mellon University desde 1986 para experimentos de navegación autónoma en exteriores y del NavLab 2, vehículo todo terreno que se emplea desde 1991.

El mayor problema de la locomoción Ackerman es la limitación en la maniobrabilidad.



Fuente: **Robótica manipuladores y robots móviles**. Anibal Ollero Baturone.

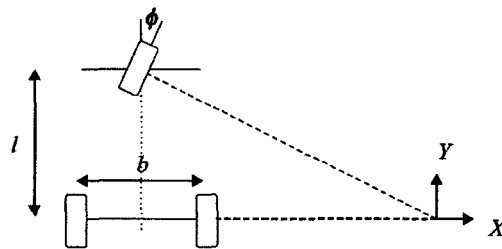
Figura 2.1 Locomoción del sistema Ackerman.

B. Triciclo clásico

Este sistema de locomoción se ilustra en la figura 2.2. La rueda delantera sirve tanto para la tracción como para el direccionamiento. El eje trasero, con dos ruedas laterales, es pasivo y sus ruedas se mueven libremente. La maniobrabilidad es mayor que la configuración anterior pero puede presentar problemas de estabilidad en terrenos difíciles. El centro de

gravedad tiende a desplazarse cuando el vehículo se desplaza por una pendiente, causando la pérdida de tracción.

Este sistema de locomoción es la del vehículo robótico Romero 3R (Ollero y otros, 1999) desarrollado en los laboratorios de la Escuela de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. Debido a su simplicidad, es bastante frecuente en vehículos robóticos para interiores y exteriores pavimentados.



Fuente: **Robótica manipuladores y robots móviles**. Anibal Ollero Baturone.

Figura 2.2 Locomoción del sistema Triciclo clásico.

2.2.2 Microcontrolador PIC18F2550 [2]

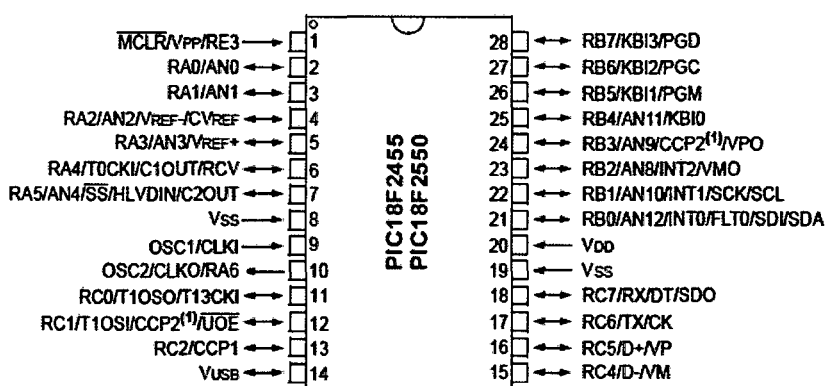
Introducción

En los últimos años, Microchip ha lanzado varias gamas de PIC con elevadas prestaciones, los PIC18, los PIC24 y los dsPIC. Con la gama alta, Microchip mantiene la arquitectura básica que tan buenos resultados ha obtenido con la gama baja y media, además; reduce las limitaciones de estas dos últimas. Los PIC18 tienen una arquitectura RISC avanzada Harvard con 16 bits de bus de programa y 8 bits de bus de datos.

Principales Características

- Arquitectura RISC avanzada, hardware de 16 bits con 8 bits de datos.
- Memoria de programa de 64 KB y 77 instrucciones.
- Multiplicador Hardware 8x8.
- Hasta 3968 bytes de RAM y 1 KB de EEPROM.
- Frecuencia máxima de reloj 48 MHz.
- Pila de 32 niveles.

- Múltiples fuentes de interrupción.
- Periférico de comunicación avanzada CAN.
- Periférico de comunicación serial USB y EUSART
- Temporizadores: TMR0, TMR1, TMR2 y TMR3.
- Módulos Captura/Comparación/PWM (CCP).
- Módulo mejorado de CAPTURA/COMPARACIÓN/PWM (ECCP).
- Módulo convertidor de 10-bit analógico digital (A/D).



Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC.** Eduardo García B.

Figura 2.3 Configuración de pines del microcontrolador PIC18F2550.

Organización de la Memoria

El PIC18F2550 dispone de las siguientes memorias:

- Memoria de programa: Memoria FLASH interna de 32.768 bytes:
 - Almacena instrucciones y constantes/datos.
 - Puede ser escrita/leída mediante un programador externo o durante la ejecución del programa mediante unos punteros.
- Memoria RAM de datos: Memoria SRAM interna de 1.536 bytes en la que están incluidos los registros de función especial:
 - Almacena datos de forma temporal durante la ejecución del programa. Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución mediante diversas instrucciones.
- Memoria EEPROM de datos: Memoria no volátil de 256 bytes.

- Almacena datos que se deben conservar aun en ausencia de tensión de alimentación.
- Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución a través de registros.
- Pila: Bloque de 31 palabras de 21 bits.
 - Almacena la dirección de la instrucción que debe ser ejecutada después de una interrupción o subrutina.
- Memoria de configuración: Memoria en la que se incluyen los bits de configuración (12 bytes de memoria flash) y los registros de identificación (2 bytes de memoria de sólo lectura).

Arquitectura

En la figura 2.4 se muestra la arquitectura del microcontrolador PIC18F2550, el cual dispone de buses diferentes para el acceso a la memoria de programa y a la memoria de datos (arquitectura Harvard):

- Bus de la memoria de programa: 21 líneas de dirección y 16/8 líneas de datos (16 líneas para instrucciones / 8 líneas para datos).
- Bus de la memoria de datos: 12 líneas de dirección y 8 líneas de datos.

Esto permite acceder simultáneamente a la memoria de programa y a la memoria de datos. Es decir, se puede ejecutar una instrucción (lo que por lo general requiere acceso a la memoria de datos) mientras se lee de la memoria de programa la siguiente instrucción (proceso pipeline).

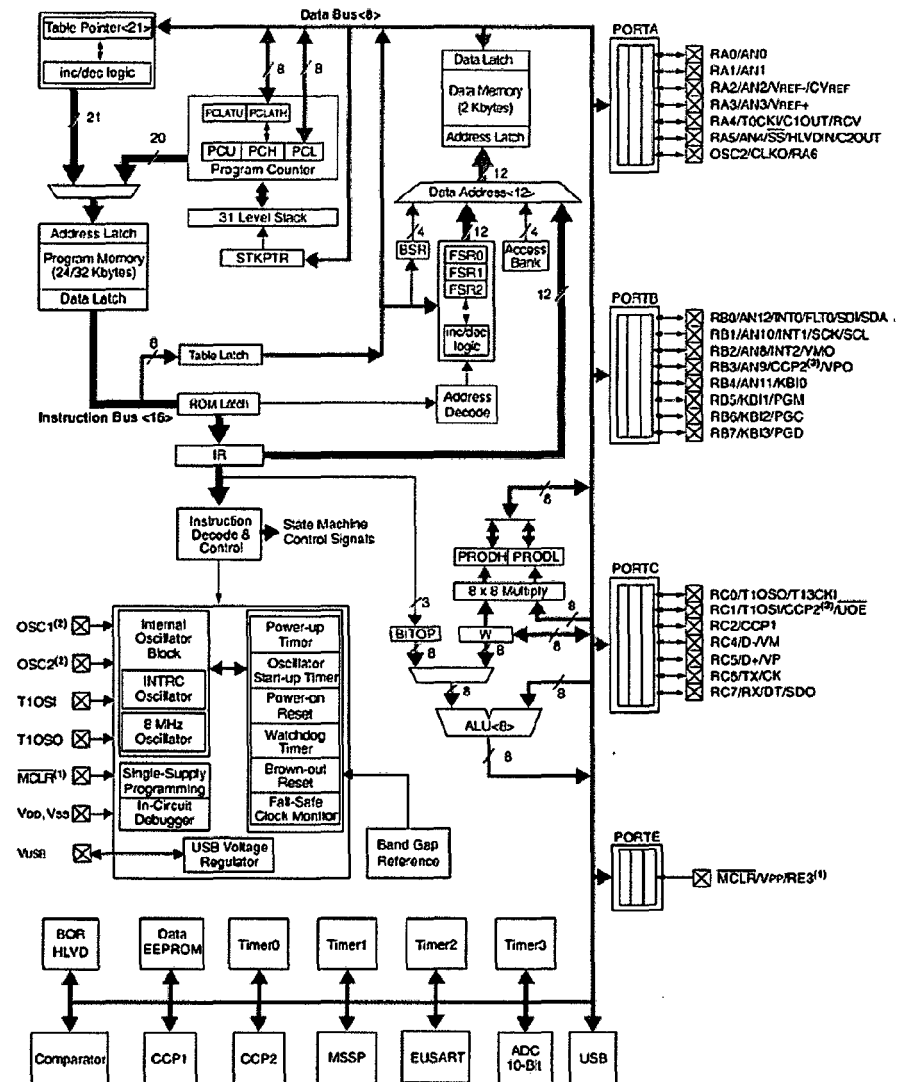
Memoria de Programa

El PIC18F2550 dispone de una memoria de programa de 32.768 bytes (7FFFH - 0000H), como se observa en figura 2.5.

Las instrucciones ocupan 2 bytes (excepto las instrucciones CALL, MOVFF, GOTO y LSFR que ocupan 4). Por lo tanto, la memoria de programa puede almacenar hasta 16.384 instrucciones.

Primero se almacena la parte baja de la instrucción y luego la parte alta (para las instrucciones de 4 bytes primero los bytes menos significativos y luego los más significativos). Las instrucciones siempre empiezan en

direcciones pares. La operación de lectura en la posición de memoria por encima de 7FFFH da '0' como resultado (equivalente a la instrucción NOP).

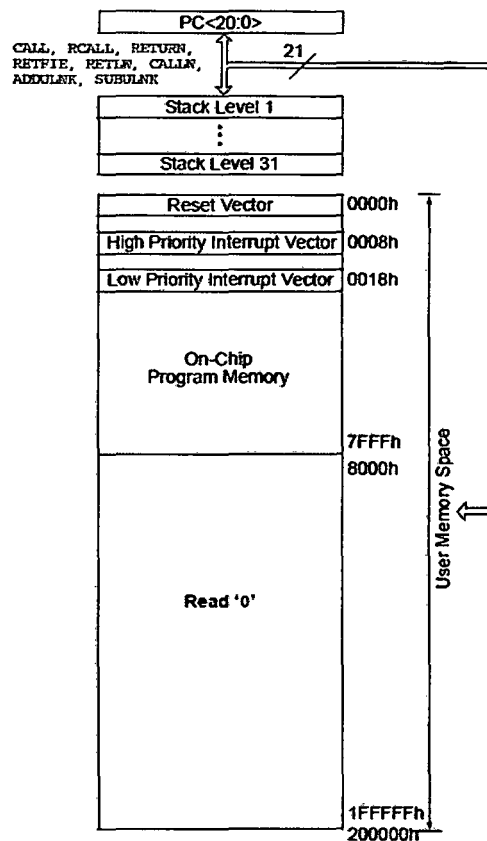


Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC.** Eduardo García B.

Figura 2.4 Arquitectura del microcontrolador PIC18F2550.

Direcciones especiales de la memoria de programa:

- Vectorización del Reset es 0000H.
- Vectorización de las interrupciones de alta prioridad es la 0008H.
- Vectorización de las interrupciones de baja prioridad es la 0018H.



Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC**. Eduardo García B.

Figura 2.5 Memoria de programa del microcontrolador PIC18F2550.

La memoria de programa puede ser leída, borrada y escrita durante la ejecución del programa. La operación que se utiliza normalmente en tiempo de ejecución es la de lectura de tablas o datos almacenados en memoria de programa.

Contador de Programa: El PC (contador de programa) tiene 21 bits (PCU, PCH y PCL). El bit menos significativo del PC apunta a BYTES, no a WORDs, por lo que es "0". El PC se incrementa de dos en dos. Se dispone de los correspondientes registros auxiliares PCLATU y PCLATH para actuar de forma combinada con el PC cuando éste se escribe o se lee.

Memoria de Configuración: Se trata de un bloque de memoria situado a partir de la posición 30000H de la memoria de programa (más allá de la

zona de memoria de programa de usuario). En esta memoria de configuración se incluyen:

- Bits de configuración: Contenidos en 12 bytes de memoria flash permiten la configuración de algunas opciones del PIC como:
 - Opciones del oscilador.
 - Opciones de reset.
 - Opciones del Watchdog.
 - Opciones de la circuitería de depuración y programación.
 - Opciones de protección contra escritura de la memoria de programa y de la memoria EEPROM de datos.

Estos bits se configuran generalmente durante la programación C, aunque también pueden ser leídos y modificados durante la ejecución del programa.

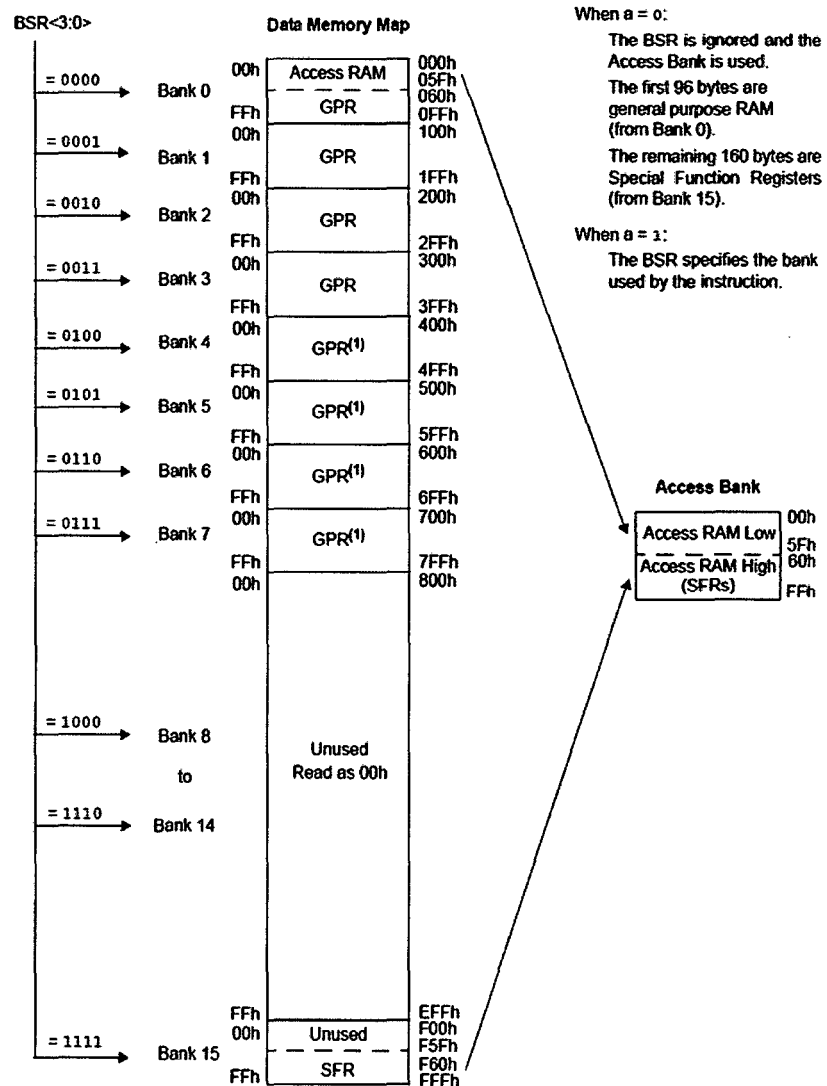
- Registros de identificación: Se trata de dos registros situados en las direcciones 3FFFFEH y 3FFFFFH que contienen información del modelo y revisión del dispositivo. Son registros de sólo lectura y no pueden ser modificados por el usuario.

Pila: La Pila es un bloque de memoria RAM independiente de 31 palabras de 21 bits y un puntero de 5 bits, que sirve para almacenar temporalmente el valor del PC cuando se produce una llamada a una subrutina o interrupción. El "Top Of Stack" es accesible se puede leer y escribir (será conveniente quitar previamente las interrupciones). El puntero de pila (contenido en el registro STKPTR) es un contador de 5 bits que indica la posición actual del final de pila. El contenido del final de la pila es accesible mediante los registros TOSU, TOSH, TQSL.

Cuando se procesa una interrupción o se ejecutan las instrucciones CALL o RCALL (el PC está apuntando a la siguiente instrucción) se incrementa el STKPTR y se almacena el valor del PC en el final de pila. Cuando se ejecutan las instrucciones RETURN, RETLW o RETFIE se copia en el PC el valor almacenado en la cima de pila y se decrementa el STKPTR.

Memoria de Datos

Los PIC18 tienen hasta un total de 4 KBytes agrupados en 16 bancos, con 256 bytes cada uno. Como en el resto de las gamas, existen los registros de propósito general GPR y los registros especiales SFR; éstos últimos se sitúan en la zona más alta (desde F00h hasta FFFh). El PIC18F2550 dispone una memoria RAM de datos 2048 bytes (8 bancos de 256 bytes). Además dispone de 126 bytes dedicados a los registros de función especial (SFRs) situados en la parte alta del banco 15, que muestra en la figura 2.6.



Fuente: Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC. Eduardo García B.

Figura 2.6 Memoria de datos del microcontrolador PIC18F2550.

Para acceder a un byte de la memoria RAM de datos primero se debe seleccionar el banco al que pertenece el byte mediante el registro de selección de banco (BSR) y, a continuación, direccionar el byte dentro del banco. Además existe una modalidad de acceso rápido a las 126 posiciones de la parte baja del banco 0 y a los 126 bytes de SFR.

La memoria RAM de datos se compone de registros de propósito general (GPRs), los cuales pueden ser utilizados por el usuario y de registros de función especial (SFRs), con los cuales se puede monitorizar/controlar el funcionamiento de la CPU y de las unidades funcionales del PIC. En el PIC18F2550 se sitúa en el bloque de memoria de 0xF60 a 0xFFFF, como se observa en la figura 2.7. Se distinguen dos conjuntos de SFRs:

- SFRs asociados con el núcleo del PIC: CPU: WREG, STATUS, BSR, etc.; Interrupciones: INTCON, PIE1, PIR1, IPRI, etc.; Reset: RCON.
- SFRs asociados con las modalidades funcionales: Timers: TOCON, TMRIH, TMRIL, TICQN, etc.; Convertidor ADC: ADRESH, ADRESL, ADCON0, AOCON1, etc.; EUSART: TXREG, TXSTA, RCSTA, etc.; CCP: CCPRIH, CCPRI1, CCPICON, etc. y MSSP: SSPSTAT, SSPDATA, SSPCFG, etc. Puertos de E/S: TRISA, PORTA, TRISB, PORTB, TRISC, PORTC, etc.

Memoria EEPROM: El PIC18F2550 dispone una memoria EEPROM de datos de 256 bytes. Al ser una memoria no volátil, los datos almacenados en ella se mantienen en ausencia de tensión de alimentación. El acceso a esta memoria se realiza mediante los SFRs: EECON1, EECON2, EEDATA y EEADR. Esta memoria permite hasta 1.000.000 de ciclos de borrado/escritura. Se puede leer/escribir de forma individual en cada una de las 256 posiciones de memoria. La duración de un ciclo completo de borrado/escritura de un byte en la memoria EEPROM es de unos 4 ms.

Modos de Direccionamiento: El modo de direccionamiento es la forma en la que se obtienen los datos que van a ser utilizados en la instrucción. Existen 4 modos de direccionamiento: Inherente, literal, directo e indirecto.

Address	Name	Address	Name	Address	Name	Address	Name	Address	Name
FFFh	TOSU	FDfh	INDF2 ⁽¹⁾	FBfh	CCPR1H	F9fh	IPR1	F7fh	UEP15
FFEh	TOSH	FDEh	POSTINC2 ⁽¹⁾	FBEh	CCPR1L	F9Eh	PIR1	F7Eh	UEP14
FFDh	TOSL	FDDh	POSTDEC2 ⁽¹⁾	FBDh	CCP1CON	F9Dh	PIE1	F7Dh	UEP13
FFCh	STKPTR	FDCh	PREINC2 ⁽¹⁾	FBCCh	CCPR2H	F9Ch	— ⁽²⁾	F7Ch	UEP12
FFBh	PCLATU	FDBh	PLUSW2 ⁽¹⁾	FBBh	CCPR2L	F9Bh	OSCTUNE	F7Bh	UEP11
FFAh	PCLATH	FDAh	FSR2H	FBAh	CCP2CON	F9Ah	— ⁽²⁾	F7Ah	UEP10
FF9h	PCL	FD9h	FSR2L	FB9h	— ⁽²⁾	F99h	— ⁽²⁾	F79h	UEP9
FF8h	TBLPTRU	FDBh	STATUS	FB8h	BAUDCON	F98h	— ⁽²⁾	F78h	UEP8
FF7h	TBLPTRH	FD7h	TMR0H	FB7h	ECCP1DEL	F97h	— ⁽²⁾	F77h	UEP7
FF6h	TBLPTL	FD6h	TMR0L	FB6h	ECCP1AS	F96h	TRISE ⁽³⁾	F76h	UEP6
FF5h	TABLAT	FD5h	TOCON	FB5h	CVRCON	F95h	TRISD ⁽³⁾	F75h	UEP5
FF4h	PRODH	FD4h	— ⁽²⁾	FB4h	CMCON	F94h	TRISC	F74h	UEP4
FF3h	PRODL	FD3h	OSCCON	FB3h	TMR3H	F93h	TRISB	F73h	UEP3
FF2h	INTCON	FD2h	HLVDCON	FB2h	TMR3L	F92h	TRISA	F72h	UEP2
FF1h	INTCON2	FD1h	WDTCON	FB1h	T3CON	F91h	— ⁽²⁾	F71h	UEP1
FF0h	INTCON3	FD0h	RCON	FB0h	SPBRGH	F90h	— ⁽²⁾	F70h	UEP0
FEfh	INDF0 ⁽¹⁾	FCfh	TMR1H	FAfh	SPBRG	F8fh	— ⁽²⁾	F6fh	UCFG
FEeh	POSTINC0 ⁽¹⁾	FCEh	TMR1L	FAeh	RCREG	F8eh	— ⁽²⁾	F6eh	UADDR
FEdh	POSTDEC0 ⁽¹⁾	FCdh	T1CON	FADh	TXREG	F8dh	LATE ⁽³⁾	F6dh	UCON
FECh	PREINC0 ⁽¹⁾	FCCh	TMR2	FACH	TXSTA	F8Ch	LATD ⁽³⁾	F6Ch	USTAT
FEbh	PLUSW0 ⁽¹⁾	FCBh	PR2	FABh	RCSTA	F8Bh	LATC	F6Bh	UEIE
FEAh	FSR0H	FCAh	T2CON	FAAh	— ⁽²⁾	F8Ah	LATB	F6Ah	UEIR
FE9h	FSR0L	FC9h	SSPBUF	FA9h	EEADR	F89h	LATA	F69h	UIE
FE8h	WREG	FC8h	SSPAD	FA8h	EEDATA	F88h	— ⁽²⁾	F68h	UIR
FE7h	INDF1 ⁽¹⁾	FC7h	SSPSTAT	FA7h	EECON2 ⁽¹⁾	F87h	— ⁽²⁾	F67h	UFRMH
FE6h	POSTINC1 ⁽¹⁾	FC6h	SSPCON1	FA6h	EECON1	F86h	— ⁽²⁾	F66h	UFRML
FE5h	POSTDEC1 ⁽¹⁾	FC5h	SSPCON2	FA5h	— ⁽²⁾	F85h	— ⁽²⁾	F65h	SPPCON ⁽³⁾
FE4h	PREINC1 ⁽¹⁾	FC4h	ADRESH	FA4h	— ⁽²⁾	F84h	ORTE	F64h	SPPEPS ⁽³⁾
FE3h	PLUSW1 ⁽¹⁾	FC3h	ADRESL	FA3h	— ⁽²⁾	F83h	PORTD ⁽³⁾	F63h	SPPCFG ⁽³⁾
FE2h	FSR1H	FC2h	ADCON0	FA2h	IPR2	F82h	PORTC	F62h	SPPDATA ⁽³⁾
FE1h	FSR1L	FC1h	ADCON1	FA1h	PIR2	F81h	PORTB	F61h	— ⁽²⁾
FE0h	BSR	FC0h	ADCON2	FA0h	PIE2	F80h	PORTA	F60h	— ⁽²⁾

Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC**. Eduardo García B.

Figura 2.7 Registros de función especial de la memoria de datos.

- Modo de direccionamiento inherente: En este modo, o bien la instrucción no tiene operando o bien el operando viene especificado en el propio código de operación de la instrucción.
- Modo de direccionamiento literal: En este modo, el valor del operando viene indicado de forma explícita en la instrucción.
- Modo de direccionamiento directo: En este modo, la dirección en la que se encuentra el valor del operando viene indicada de forma explícita en la instrucción.
- Modo de direccionamiento indirecto: En este modo, la dirección de memoria en la que se encuentra el dato viene especificado en uno de los registros FSR0, FSR1 y FSR2.

Interrupciones

Se dispone de dos niveles de prioridad:

- Nivel alto vectorizado en la dirección 0008H.
- Nivel bajo, vectorizado en la dirección 0018H.

Todas las interrupciones pueden ser programadas con cualquiera de las dos prioridades, salvo la interrupción externa 0 (siempre tiene alta prioridad). Se puede forzar el modo compatible "sólo alta prioridad", mediante el bit IPEN = 0. GIE/GIEH & PEIE/GIEL controlan los respectivos permisos globales. El servicio de interrupción de alta prioridad impide el servicio de baja prioridad. Cuando se ejecuta RETFIE se pone el permiso correspondiente al nivel que se está sirviendo.

Todas las interrupciones disponen de 3 bits de configuración (excepto la interrupción externa 0 que tiene dos):

- Bit de habilitación de interrupción: Permite habilitar a nivel individual la interrupción.
- Flag de interrupción: Se pone a '1' cuando se produce la condición de interrupción independientemente de si la interrupción está habilitada o no. Debe ponerse a '0' por software cuando se procesa la interrupción.

Valid #INT_ Keywords	
PIC18F2550	
RTCC	Timer 0 overflow (using RTCC name)
TIMER0	Timer 0 overflow (using TIMER0 name)
TIMER1	Timer 1 overflow
TIMER2	Timer 2 overflow
TIMER3	Timer 3 overflow
EXT	External interrupt
EXT1	External interrupt #1
EXT2	External interrupt #2
RB	Port B any change on B4-B7
AD	Analog to digital conversion complete
RDA	RS232 receive data available
TBE	RS232 transmit buffer empty
SSP	SPI or I2C activity
CCP1	Capture or Compare on unit 1
CCP2	Capture or Compare on unit 2
BUSCOL	Bus collision
LOWVOLT	Low voltage detected
COMP	Comparator event
EEPROM	Write complete
OSCF	System oscillator failed
USB	Universal Serial Bus activity

Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC**. Eduardo García B.

Figura 2.8 Fuentes de interrupciones del CCS para el PIC18F2550.

- Bit de prioridad de interrupción: Establece si la interrupción es de alta o de baja prioridad (no está disponible para la interrupción externa 0).

Oscilador

El microcontrolador necesita un reloj estable para proporcionar una fuente de reloj separada.

Control del oscilador: El oscilador se controla mediante dos registros de configuración y otros dos de control.

En CONFIG1L y CONFIG1H se elige el oscilador y las opciones de los escaladores del USB (prescaler y postscaler), como se ve en la figura 2.9.

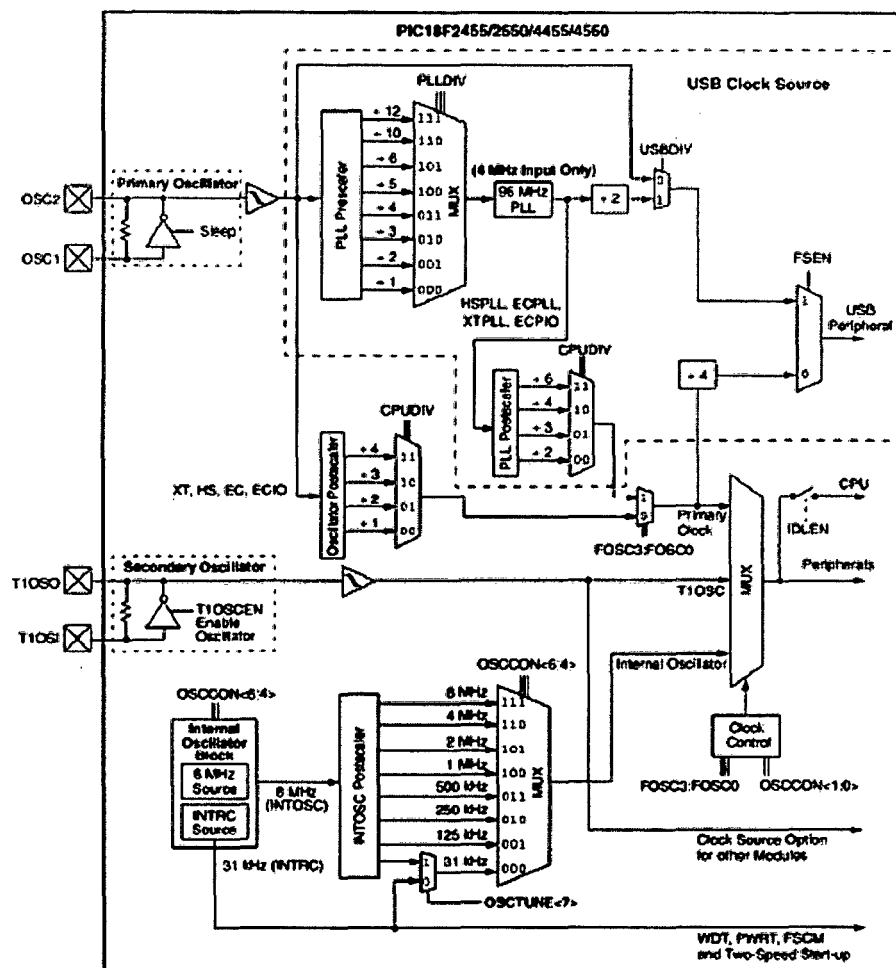
Los bits de configuración se seleccionan al programarlos y permanecerán hasta que se vuelvan a programar.

El registro OSCCON selecciona el modo activo de reloj.

El registro OSCTUNE se utiliza para recortar frecuencia de la fuente INTRC.

Tipos de oscilador: Hay que programar los bits de configuración FOSC3:FOSC0 para seleccionar un modo de estos:

- **XT:** XTAL/circuito resonante.
- **XTPLL:** XTAL/circuito resonante con PLL activo.
- **HS:** XTAL/circuito resonante muy rápido.
- **HSPLL:** XTAL/circuito resonante muy rápido con PLL activo.
- **EC:** Reloj externo con $F_{osc}/4$ como salida en RA6.
- **ECIO:** Reloj externo con RA6 como E/S.
- **ECPLL:** Reloj externo con $F_{osc}/4$ como salida en RA6 y PLL activo.
- **ECPIO:** Reloj externo con RA6 como E/S y PLL activo.
- **INTHS:** Oscilador interno usado como reloj del microcontrolador y HS como reloj del USB.
- **INTXT:** Oscilador interno usado como reloj del microcontrolador y XT como reloj del USB.
- **INTCKO:** Oscilador interno usado como reloj del microcontrolador y EC como reloj del USB con $F_{osc}/4$ como salida en RA6.



Fuente: Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC. Eduardo García B.

Figura 2.9 Los escaladores del USB, nos permite múltiples configuraciones.

Unidades Funcionales

El PIC18F2550 dispone de una serie de Unidades Funcionales (UF) que:

- Realizar tareas específicas especializadas (conversión A/D, transmisión/recepción de datos, generación de señales digitales con temporizaciones programables, etc.).
- Optimizar el rendimiento del PIC, ya que estas unidades trabajan en paralelo a la CPU permitiendo que esta se centre en otras tareas como el procesamiento de datos, cálculos, movimiento de datos, etc.

Las Unidades Funcionales más importantes del PIC18F2550, se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Unidades funcionales del PIC18F2550.

Puerto de E/S	Unidad de comparación/PWM mejorada (ECCP)
Temporizador 0	Canal de comunicación serie EUSART
Temporizador 1	Canal de comunicación serie MSSP
Temporizador 2	Módulo analógico de comparación
Temporizador 3	Canal de transmisión de datos en paralelo (SPP)
Conversor A/D	Acceso a memoria externa (EMA)
Módulo USB	Unidad de comparación/captura/PWM (CCP)

Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC**. Eduardo García B.

Puertos de entrada/salida: El PIC18F2550 dispone de 4 puertos de E/S que incluyen un total de 23 líneas digitales de E/S, como en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Puertos de E/S del PIC18F2550.

Puerto E/S	Líneas de entrada/salida
PORTA	7 Líneas de entrada/salida
PORTB	8 Líneas de entrada/salida
PORTC	7 Líneas de entrada/salida
PORTE	1 Línea de entrada

Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC**. Eduardo García B.

Cada puerto de E/S tiene asociado 3 registros:

- Registro TRIS: Mediante este registro se configuran cada una de las líneas de E/S del puerto como ENTRADA (bit correspondiente a '1') o como SALIDA (bit correspondiente el '0').
- Registro PORT: Mediante este registro se puede leer el nivel de pin de E/S y se puede establecer el valor del latch de salida.
- Registro LAT: Mediante este registro se puede leer o establecer.

Temporizadores

Temporizador 0: Configurable como temporizador/contador de 8 bits/16 bits. Pre-escalar de 8 bits programable e interrupción por desbordamiento.

Temporizador 1: Configurable como temporizador/contador de 16 bits. Dispone de un oscilador propio que puede funcionar como: Señal de reloj del temporizador 1. Señal de reloj del PIC en modos de bajo consumo. Pre-escalar de 3 bits programable e interrupción por desbordamiento.

Temporizador 2: Temporizador de 8 bits (registro TMR2). Registro de periodo PR2. Pre-escalar de 2 bits programable (1:1, 1:4, 1:16). Post-escalar de 4 bits (1:1...1:16). Interrupción por igualdad entre TMR2 y PR2. Se puede utilizar junto con los módulos CCP y ECCP. Se puede utilizar como señal de reloj del módulo MSSP en modo SP.

Temporizador 3: Configurable como temporizador/contador de 16 bits. Dispone de varias opciones de señal de reloj en el modo temporizador: Oscilador principal con o sin pre-escalar. Oscilador del temporizador 1 con o sin pre-escalar. Pre-escalar de 3 bits programable.

The screenshot shows the 'Timers' configuration window in CCS. It is divided into four main sections:

- WDT:** Includes a 'Not used' checkbox and a 'WDT Reset' list with options: 18 ms, 36 ms, 72 ms, 144 ms, 288 ms, 576 ms, 1152 ms, and 2304 ms.
- Timer 0 (RTCC):** Includes radio buttons for 'Internal', 'ext_L_to_h', and 'ext_h_to_l'. A 'Resolution' list shows options from 1.0 us to 256 us. The 'Frequency' is set to 1,000,000. The 'Overflow' is 65.5 ms. Checkboxes for 'Rtcc_Off' and 'Rtcc_8_Bit' are present.
- Timer 1:** Includes radio buttons for 'Disabled', 'Internal', and 'External'. A table shows 'Resolution' and 'Overflow' values:

Resolution	Overflow
1.0 us	65.5 ms
2.0 us	131 ms
4.0 us	262 ms
8.0 us	524 ms

 Checkboxes for 'Clock out for crystal' and 'Sync Ext Clock to Osc' are at the bottom. The 'Frequency' is 1,000,000.
- Timer 2:** Includes a radio button for 'Enabled'. The 'Overflow Period' is set to 0, which is equal to 1.0 us. The 'Interrupt Period' is set to 1, which is equal to 1.0 us. A 'Resolution' list shows options: 1.0 us, 4.0 us, and 16.0 us.

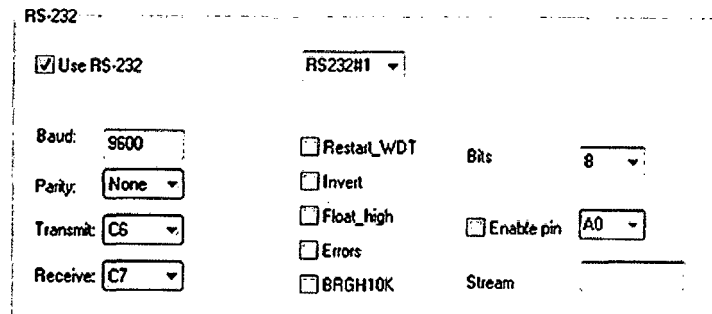
Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC.** Eduardo García B.

Figura 2.10 Opciones de CCS para los temporizadores.

Canal de Comunicación Serie (EUSART)

Características fundamentales:

- Modos de trabajo: Modo asíncrono de 8 bits, modo asíncrono de 9 bits, modo síncrono Maestro, modo síncrono Esclavo.
- Auto-activación por detección de dato recibido.
- Detección automática de velocidad de comunicación (baudrate).
- Transmisión y detección de carácter de BREAK (bus LIN).



Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC.** Eduardo García B.

Figura 2.11 Opciones de CCS para la comunicación serie RS232.

Módulo de Comparación/Captura/PWM (CCP)

Dispone de tres modos de funcionamiento:

- Modo de Captura: Se utiliza para medir eventos externos como la duración de pulsos digitales.
- Modo de Comparación: Se utiliza para generar señales digitales con temporizaciones programables. Este tipo de señales son muy útiles para el control de etapas de potencia (convertidores DC/DC, DC/AC, AC/DC).
- Modo PWM: Se utiliza para generar señales PWM.

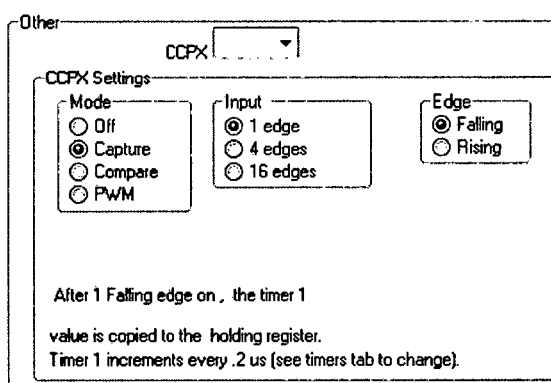
También existe un módulo de comparación/captura/PWM mejorado (ECCP), que dispone de cuatro modos de funcionamiento:

- Modo de Captura: Se utiliza para medir eventos externos como la duración de pulsos digitales.
- Modo de Comparación: Se utiliza para generar señales digitales con temporizaciones programables. Este tipo de señales son muy útiles para el control de etapas de potencia (convertidores DC/DC, DC/AC, AC/DC).
- Modo PWM: Se utiliza para generar señales PWM.
- Modo PWM mejorado: Se utiliza para generar señales PWM complementarias para el control de semi puentes de transistores.

INTRODUCCIÓN AL PUERTO USB

USB es una especificación de las empresas Compaq, Intel, Microsoft y NEC, que describe un canal serie que soporta una gran variedad de

periféricos de media y baja velocidad, con soporte integral para transferencias en tiempo real (isócronas) como voz, audio y vídeo comprimido, y que permite mezclar dispositivos, aplicaciones isócronas y asíncronas. Por lo tanto, entre los dispositivos USB más característicos se pueden citar teclados, ratones, joysticks, tabletas gráficas, monitores, módems, impresoras, escáneres, CD-ROMs, dispositivos de audio (como micrófonos o altavoces digitales), cámaras digitales y otros dispositivos multimedia.



Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC**. Eduardo García B.

Figura 2.12 Opciones de CCS para el módulo (CCP).

La versión 1.1 (La que soporta el PIC18F2550) establece:

- Un acceso al bus gestionado directamente por el Controlador USB, para permitir transferencias isócronas y eliminar los tiempos de arbitración.
- Una velocidad de 12 Mbps (Full Speed o FS) y un subcanal de 1,5 Mbps (Low Speed o LS) para los dispositivos más lentos, como ratones y joysticks. La coexistencia en un mismo sistema de dispositivos FS y LS se maneja mediante conmutación automática y dinámica de velocidad entre unas transferencias y otras.
- Una conectividad excepcional, ya que puede manejar hasta 127 dispositivos simultáneamente que se pueden conectar y desconectar en caliente, sin tener que reiniciar el sistema.
- Una configuración automática de dispositivos, que elimina la necesidad de realizar configuraciones manuales por medio de conmutadores.

- La coexistencia de dispositivos isócronos y asíncronos. Los dispositivos isócronos se atienden en función del ancho de banda y latencia requeridos, y los asíncronos se atienden durante el tiempo restante no consumido por los dispositivos isócronos.
- Una distribución de alimentación desde el Controlador USB, que permite la conexión tanto de dispositivos alimentados desde el bus como autoalimentados.
- Una arquitectura fácilmente escalable para permitir la existencia de varios controladores USB en un sistema.
- La versión 1.1 es soportada por los siguientes sistemas operativos: Windows 98\Windows 2000\Windows XP\Windows Vista\Windows 7 y además los siguientes OS ajenos a Windows, Linux\Mac OS.

Protocolo USB

El protocolo de nivel físico se basa en tokens (testigos). El controlador USB transmite tokens que incluyen la dirección del dispositivo destino, y el dispositivo que detecta su dirección en el token responde y lleva a cabo la transferencia de datos con el controlador. De esta manera, el Controlador USB maneja la parte más compleja del protocolo, generando los tokens de transferencias de datos a 12 Mbps o a 1,5 Mbps, y controlando la conexión lógica entre el sistema y las funciones internas de cada dispositivo. El controlador USB también maneja el consumo en el bus a través de las funciones Suspend/Continuar, por medio de las cuales controla los modos Reposo/Activo de los dispositivos. Esta arquitectura permite el diseño de dispositivos extremadamente simples y de bajo costo.

USB divide el tiempo en espacios de 1ms denominados Tramas, durante las cuales se llevan a cabo las comunicaciones a través de Transacciones, las cuales se componen a su vez de Paquetes. Las transacciones se componen de 3 fases: Token, Dato y Validación (Handshake):

- La fase de Token se compone de un paquete, enviado por el controlador USB, y está presente en toda transacción. Contiene los campos:

- PID (identifica el tipo de paquete). Todos los PIDs van protegidos por bits redundantes.
- Dirección del elemento destino (7 bits de dispositivo + 4 bits de elemento interno al dispositivo), y CRC5.
- La fase de Datos (opcional) se compone de los paquetes de datos que se transfieren entre el Controlador USB y el dispositivo. Cada paquete se compone de los campos PID, Datos, y CRC16.
- La fase de Validación (opcional) se usa para indicar el resultado de la transacción. Se compone sólo de un campo PID.

Adicionalmente, el controlador USB indica el principio de cada Trama y la transmisión hacia dispositivos LS mediante tokens especiales.

Tipos de Transferencia de Datos

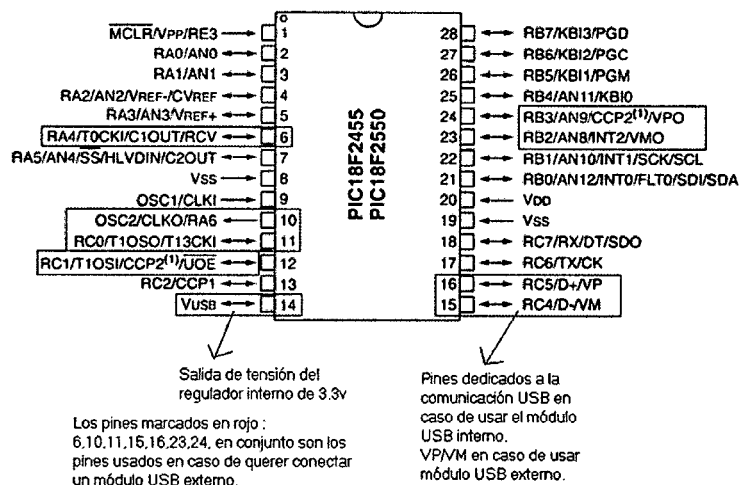
USB soporta 4 tipos de transferencias de datos:

- Síncrona: Este tipo proporciona un método de transferencia para cantidades de datos grandes (hasta 923 bytes) con la entrega puntual asegurada; sin embargo, la integridad de los datos no se asegura. Es bueno en aplicaciones donde los datos son pequeños.
- Bulk: Este método de transferencia permite grande cantidades de datos que se transferirán asegurando la integridad de los datos; sin embargo, la puntualidad de la entrega no se asegura.
- Interrupción: Este tipo de transferencia prevé la entrega puntual asegurada para bloques pequeños de datos, se asegura su integridad.
- Control: Para configuración y control de dispositivos, y manejo del bus.

El PIC18F2550 soporta la transferencia interruptiva (mouse, teclado y cualquier dispositivo HID) y transferencias tipo Bulk (paquetes) en dispositivos como por ejemplo osciloscopios USB.

Módulo USB del PIC18F2550

Para empezar observemos la figura 2.13, donde están ubicados los pines D- y D+ (Correspondientes a las señales de datos del puerto USB en el PIC18F2550), así como también los otros pines que intervienen.



Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC**. Eduardo García B.

Figura 2.13 Pines del PIC18F2550 que intervienen en la comunicación USB.

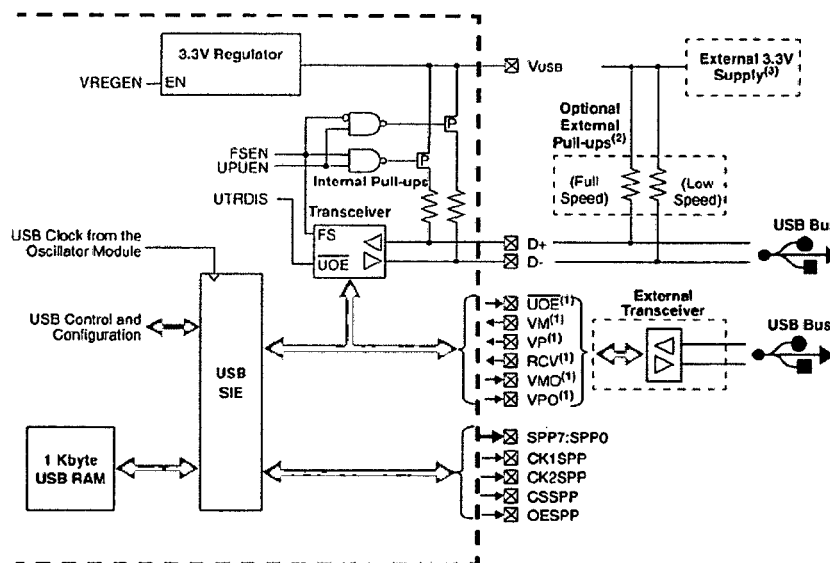
Funcionamiento del módulo USB: La familia de dispositivos PIC18FX455/X550 contiene una interfaz serie compatible con el SIE (serial interfase engine) USB “full-speed” (2.0) y “de poca velocidad” (1.0) que permite la comunicación rápida entre cualquier dispositivo USB y el microcontrolador PIC®.

El SIE puede interconectarse directamente al USB, utilizando el transmisor-receptor interno, o puede conectarse a través un transmisor-receptor externo. El PIC tiene un regulador interno de 3.3V para alimentar el transmisor-receptor interno en aplicaciones de 5V.

Se han incluido algunas características especiales en el hardware para mejorar el funcionamiento. Se proporciona memoria de puerto dual en la memoria de datos del dispositivo (RAM del USB) para tener acceso directo a la memoria desde el núcleo del microcontrolador y desde el SIE.

También se proporcionan unos buffer para que el programador elija libremente el uso de la memoria dentro del espacio de la RAM del USB.

Existe un puerto paralelo para transmitir grandes cantidades de datos (SSP) como se observa en la figura 2.14, para esto se ha proporcionado la ayuda de transferencia ininterrumpida de volúmenes de datos grandes, por ejemplo datos síncronos, a los buffers de memoria externos.



Fuente: **Compilador C CSS y simulador proteus para microcontroladores PIC**. Eduardo García B.

Figura 2.14 Diferentes opciones a nivel conexasión del USB con el exterior.

Nota 1: Esta señal solo está disponible si el transmisor interno está desactivado (UTRDIS=1).

Nota 2: Las pull-ups externas son opcionales, pero si queremos usarlas hay que desactivar las propias resistencias de pull-up internas.

Nota 3: El regulador de voltaje de 3.3V, nos provee de tensión al módulo USB en aplicaciones de 3.3V. En caso de tener una fuente externa de 3.3V conectada a Vusb, tenemos que desactivar el módulo interno del regulador. Vemos en la imagen los diferentes pines que según configuración de la SIE, podemos usar un transceptor externo.

Algo muy importante que tenemos que ver es el puente bidireccional entre la SIE y el SSP. Este puente nos va a permitir el transporte a alta velocidad de grandes flujos de datos en modo síncrono.

Estado y control del módulo USB: En total hay 22 registros para manejar las transacciones del USB. Los registros son:

- Registro de control del USB (UCON).
- Registro de configuración del USB (UCFG).
- Registro de estado de la transferencia del USB (USTAT).

- Registro de dirección de dispositivo USB (UADDR).
- Registros del número del frame (UFRMH: UFRML).
- Registros activadores de los Endpoints de 0 a 15 (UEPN).

Enumeración: Cuando el dispositivo se une al bus, el anfitrión crea un proceso de enumeración en un intento por identificar el dispositivo. Esencialmente, el anfitrión interroga al dispositivo, recopila información tal como el consumo de energía, tarifas y tamaños de los datos, protocolo y otra información descriptiva, que contienen los descriptores. El proceso de enumeración sería:

1. Reset del USB: Resetea el dispositivo. Así, el dispositivo no se configura y no tiene una dirección (dirección 0).
2. Conseguir el descriptor del dispositivo: El anfitrión solicita una pequeña parte del descriptor del dispositivo.
3. Reset del USB: Resetea el dispositivo otra vez.
4. Fijar la dirección: El anfitrión asigna una dirección al dispositivo.
5. Conseguir el descriptor del dispositivo: El anfitrión recupera el descriptor del dispositivo, recolectando la información; del fabricante, tipo de dispositivo, control máximo del tamaño de los paquetes.
6. Conseguir los descriptores de configuración.
7. Conseguir cualquier otro descriptor.
8. Fijar una configuración.

El proceso exacto de enumeración depende del anfitrión.

2.2.3 Sistema de Control

A. Control [3]

Durante la década de los cuarenta, los métodos de respuesta en frecuencia hicieron posible que los ingenieros diseñaran sistemas de control lineales en lazo cerrado que cumplieran con los requerimientos de desempeño. A finales de los años cuarenta y principios de los 50, se desarrolló por completo el método del lugar geométrico de las raíces propuesto por Evans.

Los métodos de respuesta en frecuencia y del lugar geométrico de las raíces, que forman el núcleo de la teoría de control clásica, conducen a sistemas estables que satisfacen un conjunto más o menos arbitrario de requerimientos de desempeño. En general, estos sistemas son aceptables pero no óptimos en forma significativa.

Conforme las plantas modernas con muchas entradas y salidas se vuelven más complejas, la descripción de un sistema de control moderno requiere de una gran cantidad de ecuaciones. La teoría del control clásica, que trata de los sistemas con una entrada y una salida, pierde su solidez ante sistemas con entradas y salidas múltiples.

El mismo autor menciona que alrededor de 1960, debido a la disponibilidad de las computadoras digitales se hizo posible el análisis en el dominio del tiempo de sistemas complejos; la teoría de control moderna está basada en el análisis del dominio del tiempo, y la síntesis a partir de variables de estados, y se ha desarrollado para enfrentar la creciente complejidad de las plantas modernas y los requerimientos limitativos respecto de la precisión, el peso y el costo en aplicaciones militares, espaciales e industriales.

Durante los años comprendidos entre 1960 y 1980, se investigaron a fondo el control óptimo tanto de sistemas determinísticos como estocásticos, y el control adaptable, mediante el aprendizaje de sistemas complejos. De 1980 a la fecha, los descubrimientos en la teoría de control moderna se centraron en el control robusto.

Ahora que las computadoras digitales se han vuelto baratas y compactas, se usan como parte integral de los sistemas de control. Las aplicaciones recientes de la teoría de control moderna incluyen sistemas ajenos a la ingeniería, como los biológicos, biomédicos, económicos y socioeconómicos.

A₁. Principios de Control

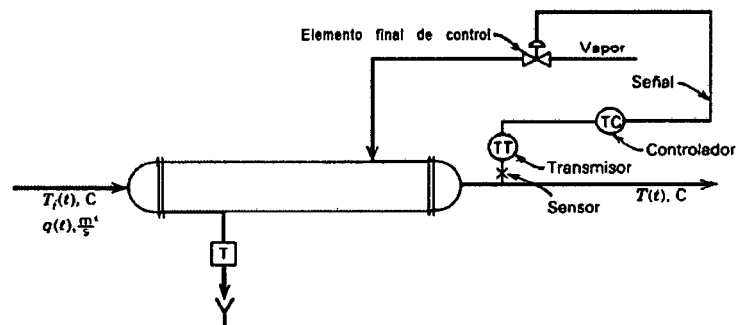
- Está basado en la ley universal del equilibrio.
- Es perfectible, con tendencia a la eficacia.
- Es secuencial y repetitivo, debido a que es un sistema.

- El control se apoya en la comprobación, que es una forma de evaluación, supervisión y monitoreo de un proceso.
- Todo control de variables sufre perturbaciones o trastornos por la influencia de ciertos factores, internos y externos.
- Tiene respuesta oscilatoria.
- Es una comparación entre lo realizado con lo esperado.
- El ser humano es el controlador nato de toda tarea, proceso o acción de controlar.

A₂ Componentes y Operaciones Básicas en un Sistema de Control [4]

En la figura 2.15, se puede observar los cuatro componentes básicos de todo sistema de control:

- Sensor, que también se conoce como elemento primario.
- Transmisor, el cual se conoce como elemento secundario.
- Controlador, que es el "cerebro" del sistema de control.
- Elemento final de control, frecuentemente son actuadores como pueden ser válvulas, bombas de velocidad variable, motores eléctricos, transportadores, etc.



Fuente: Control automático de procesos. Smith y Corripio.

Figura 2.15 Sistema de control del intercambiador de calor.

La importancia de estos elementos radica en que realizan las tres operaciones básicas que deben estar presentes en todo sistema de control:

- Medición (M), la medición de la variable que se está controlando, se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor.

- ii. Decisión (D), en base a la medición, el controlador decide que hacer para mantener la variable dentro de un rango preestablecido.
- iii. Acción (A), como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de control.

B. Estrategia de Control [5]

El autor propone que hay dos sistemas de control:

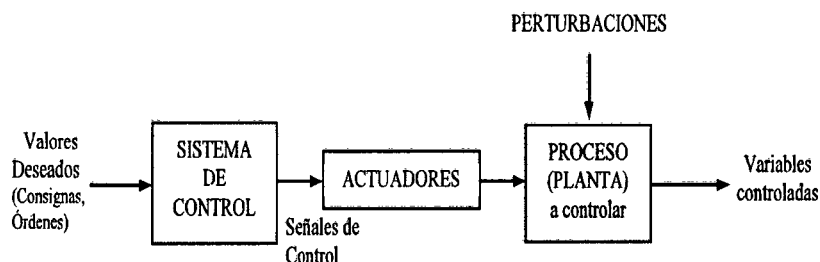
Sistemas de control de lazo abierto: Es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida.

Son aquellos en que la acción del controlador no se relaciona con el resultado final. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Un ejemplo simple es el llenado de un tanque usando una manguera de jardín. Mientras que la llave siga abierta, el agua fluirá. La altura del agua en el tanque no puede hacer que la llave se cierre.

Estos sistemas se caracterizan por ser:

- Sencillos
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación
- La salida no se compara con la entrada
- Es afectado por las perturbaciones
- La precisión depende de una previa calibración del sistema

“Los sistemas en lazo abierto son económicos pero normalmente inexactos”. Kuo Benjamín C. (1996:09). Ver la figura 2.16.



Fuente: **Sistemas de control automático**. Kuo Benjamin C.

Figura 2.16 Diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto.

Sistemas de control de lazo cerrado: Es aquel en el que la acción de control se ejerce en función de la salida. Ver la figura 2.17.

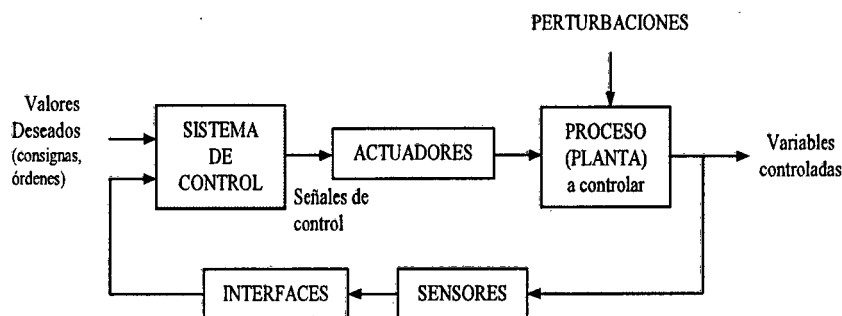
La acción de control se realiza en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida. Este tipo de estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. La gran mayoría de los sistemas de control que se desarrollan en la actualidad son en lazo cerrado.

Sus características son:

- Complejos, y amplios de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y la afecta para el control del sistema.
- Estos sistemas se caracterizan por su propiedad de retroalimentación.
- Más estable a perturbaciones y variaciones internas.

Este sistema de control, es más completo, integral y confiable, por las características señaladas como afirma **Kuo Benjamín C. (1996:10)** "Los sistemas en lazo cerrado tienen muchas ventajas sobre los sistemas en lazo abierto".

Se caracteriza por que existe una realimentación a través de los sensores desde el proceso hacia el sistema de control, que permite a este conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente sobre el proceso.



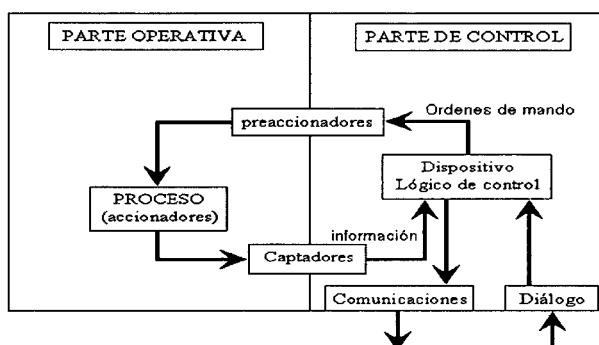
Fuente: **Sistemas de control automático**. Kuo Benjamín C.

Figura 2.17 Diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado.

La mayoría de los procesos existentes en la industria utilizan el control en lazo cerrado; por que el producto que se pretende obtener o las variables que se controlan necesita un control continuo en función de unos determinados parámetros de entrada, o bien porque el proceso a controlar se subdivide en una serie de acciones elementales de tal forma que, para realizar una determinada acción sobre el proceso, es necesario que previamente se hayan realizado otra serie de acciones elementales.

C. Modelo Estructural de un Sistema Automatizado [6]

García Moreno, Emilio (2001:10-11), clasifica la estructura de un sistema automatizado en dos partes claramente diferenciados: Parte Operativa, y la Parte de Control o Mando, como se puede apreciar en la figura 2.18.



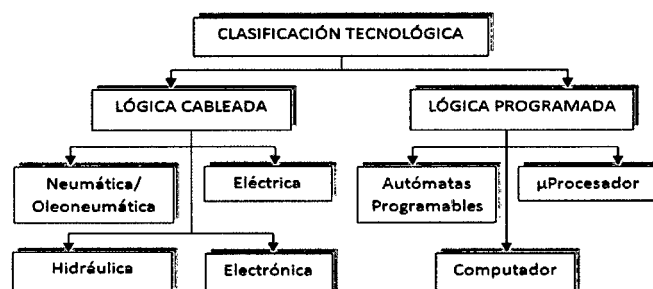
Fuente: **Automatización de procesos industriales**. Emilio García Moreno.

Figura 2.18 Modelo estructural de un sistema automatizado.

- C₁ Parte operativa: Es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera, etc.
- C₂ Parte de control o mando: Que independientemente de su implementación tecnológica electrónica, neumática, hidráulica etc., es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones encaminadas a mantener a la parte operativa bajo control.

El sometimiento de la parte operativa se logra mediante el mantenimiento continuo de un intercambio de información entre la primera y la parte de control o mando. Dicho intercambio se establece a través de los captadores binarios, transductores analógicos y digitales, los dispositivos de pre accionamiento. A partir de los dos primeros se recoge información de los valores de las magnitudes físicas a controlar, así como de sus cambios de estado; tras el tratamiento de la información se envían acciones de mando a través de los preaccionadores. Estos son dispositivos que permiten el control de grandes potencias mediante las señales de pequeña potencia que son emitidas por la parte de control.

Como se puede observar en esta parte, es la tecnología quien se encarga de coordinar las operaciones que gobiernan a la parte operativa. A continuación, describiremos dichas tecnologías que según **García Moreno, Emilio (2001:22-24)** están señalados en la siguiente clasificación, que se muestra en la figura 2.19.



Fuente: Automatización de procesos industriales. Emilio García Moreno.

Figura 2.19 Clasificación tecnológica.

C_{2.1} Lógica cableada: Su denominación viene dada por el tipo de dispositivos que intervienen en su implementación.

- Tecnología eléctrica: Las uniones físicas se realizan mediante cables eléctricos, relés electromagnéticos, interruptores pulsadores etc. El relé actúa como un intermediario para alimentar un determinado circuito en función de una señal

externa, se compone de bobina, conjunto magnético y contactos. El contactor funcionalmente equivalente a un relé, pero más robusto para soportar mayores tensiones y corriente utilizados en la aplicación industrial.

- **Tecnología electrónica:** La electrónica, es la rama de la física y fundamentalmente una especialización de la ingeniería que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control de flujo microscópico de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente. La automatización electrónica se caracteriza por el empleo de componentes electrónicos tales como: las puertas lógicas, registro de desplazamiento, temporizadores, contadores viables, multiplexadores/demultiplexadores, sumadores, etc., son elementos fundamentales mediante los cuales se elaboran los controladores.
- **Tecnología neumática:** Esta tecnología ha sido, y es aun frecuentemente utilizada en los automatismos industriales, aunque va quedando relegada a los accionamientos de cierta potencia con algoritmos de control relativamente simples y también para aplicaciones de carácter especial para ambientes explosivos.
- **Tecnología hidráulica:** En la actualidad en las grandes y medianas empresas de producción se tiene implementado procesos que poseen la necesidad de emplear grandes cantidades de energía. El empleo de la energía hidráulica se hace necesario en este momento, por ejemplo en las máquinas pesadas, grúas, entre otros, son áreas en donde se requieren grandes esfuerzos y presiones que tanto la energía neumática como la energía eléctrica no son apropiados ya sea por razones económicas o por las magnitudes de los esfuerzos requeridos.

C_{2.2} Lógica programada: Se trata de una tecnología desarrollada a partir de la aparición del microcontrolador, y de los sistemas programables basados en el: Computador, controladores lógicos y autómatas programables. Constantemente, debido a los altos niveles de integración alcanzados en la microelectrónica, el umbral de rentabilidad de esta tecnología decrece y frente a la lógica cableada presenta gran flexibilidad, posibilidad de cálculo científico e implementación de algoritmos complejos de control de procesos, arquitectura de control distribuido, comunicaciones y gestión.

Las tecnologías más utilizadas para la lógica programada son:

- PLC: Se entiende por controlador lógico programable (PLC) o autómata programable, a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. Realiza funciones lógicas: serie, paralelo, temporizaciones, contaje y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc.
- Computador: Los computadores no son más que automatismos programables. Se puede decir entonces que la aplicación de los computadores está vinculada a la automatización y el control. Los diferentes requerimientos en cuanto a potencia de cálculo, robustez en el comportamiento, fiabilidad, resistencia a condiciones de operación en ambientes abrasivos, corrosivos etc., ha motivado el desarrollo de diversos tipos de computadores industriales.
- Microprocesador: Es un circuito integrado que viene incluido en un microcontrolador, así como también están incluidos los periféricos necesarios para llevar a cabo el control de un proceso. Los microcontroladores PIC fabricados por microchip constituyen una familia de microcontroladores de distintas presentaciones. Son microcontroladores RISC con arquitectura

Harvard, tienen muy pocas instrucciones y son muy fáciles de utilizar.

En la práctica se suelen usar la combinación de ambas tecnologías, la lógica cableada y la programada según como dice **García Moreno, Emilio (2001:23)** "...muy a menudo, se suelen articular soluciones mediante implementaciones mixtas aprovechando las mejores características de ambas tecnologías...".

De acuerdo con el modelo estructural descrito, son dos las partes principales que se puede encontrar en un sistema automatizado, la parte operativa y la parte de control; el sistema de control de movimiento del robot móvil realizado, ha utilizado en la parte operativa: captadores (detección de obstáculo y nivel de voltaje D.C.), actuadores (motor D.C. de tracción, motor D.C. de dirección, leds y LCD) y en la parte de control o mando la utilización de la tecnología de lógica programada (computador).

D. Control Eficaz

La palabra control tiene muchas connotaciones y su significado depende de la función o del área en que se aplique.

[URL1], aborda que control proviene del término francés *contrôle* y significa **comprobación, inspección, fiscalización o intervención**. También puede hacer referencia al **dominio, mando y preponderancia**, o a la **regulación** sobre un **sistema**.

El control tiene como objetivo cerciorarse de que los hechos vayan de acuerdo con los planes establecidos.

Control es la "comprobación que se realiza para definir la extensión de un error en observaciones o mediciones experimentales".

El control se apoya en la comprobación, fiscalización e inspección, por lo tanto es el proceso que permite verificar, constatar, palpar, medir, si la actividad, proceso, unidad, elemento o sistema seleccionado está cumpliendo y/o alcanzando o no los resultados que se esperan.

[URL2], menciona que el control es imposible si no existen estándares de alguna manera prefijados y será tanto mejor cuanto más precisos y cuantitativos sean dichos estándares. Es obvio que para llevar a cabo el control debemos comparar lo realizado (salida) con lo esperado (set point) de acuerdo con los objetivos establecidos, es por ello que el control no es un fin, sino un medio para alcanzarlos.

A continuación trataremos sobre eficacia, para ello en [URL3], nos brinda el siguiente significado de eficacia: (del latín *efficacia*) capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.

Para Reinaldo O. Da Silva (2002:20), la eficacia “está relacionada con el logro de los objetivos/resultados propuestos, es decir con la realización de actividades que permitan alcanzar las metas establecidas. La eficacia es la medida en que alcanzamos el objetivo o resultado”.

Según **Idalberto Chiavenato (2004:132)**, eficacia “es una medida del logro de resultados”.

Para Koontz y Weihrich (2004:14), eficacia es “el cumplimiento de objetivos”.

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores se define control eficaz como: Las Operaciones necesarias de medición, decisión y acción, ejercidas con el fin de lograr mantener las variables dentro de los rangos de valores preestablecidos.

Por lo expuesto anteriormente, para el presente trabajo de investigación titulado: “CONTROL EFICAZ DE UN ROBOT MÓVIL, UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA”, podemos señalar:

Entendemos por control eficaz de un robot móvil, respecto a su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado; a la comprobación del desarrollo de las operaciones de: Toma de datos, transmisión, recepción de datos, decisión y activación; contando con los componentes básicos: captadores, controlador y actuadores; con un soporte en caso de fallas, estando éste en lazo abierto; así como también el sistema de comunicación inalámbrica.

La respuesta del controlador para el sistema de control de movimiento es del tipo ON/OFF (Si/No). Las órdenes son ejecutadas con el fin de que el robot móvil pueda realizar sus movimientos evitando los obstáculos; que según el problema identificado y conforme al criterio técnico del responsable de ésta investigación, son las siguientes:

- Avanza: Robot avanza hacia adelante.
- Retrocede: Robot retrocede.
- Derecha: Robot realiza giro de 90° hacia la derecha.
- Izquierda: Robot realiza giro de 90° hacia la izquierda.
- Giro a la Derecha: Robot realiza giro hacia la derecha.
- Giro a la Izquierda: Robot realiza giro hacia la izquierda.
- Parado: Robot no realiza movimiento.

2.2.4 Comunicaciones Inalámbricas

A. Telecomunicaciones

El término telecomunicación fue definido por primera vez en la reunión conjunta de la XIII Conferencia de la UTI (Unión Telegráfica Internacional) y la III de la URI (Unión Radiotelegráfica Internacional) que se realizó en Madrid el 3 de septiembre de 1932. La definición aprobada del término fue: "Telecomunicación es toda transmisión, emisión o recepción, de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos".

John Markus (1984:750), resalta que la telecomunicación es la "transmisión y recepción a distancia de señales escritos, mensajes, sonidos, o cualquier clase de información...".

Wayne Tomasi y otros (1996:01) [7], detallan que la comunicación electrónica, es la "...transmisión, recepción y procesamiento de información usando circuitos electrónicos...", la información se define como el conocimiento, la sabiduría o la realidad y puede ser en forma analógica (proporcional o continua), tal como la voz humana, información sobre una

imagen de video, música, etc.) o en forma digital (números codificados en binario, códigos alfanuméricos, símbolos gráficos, códigos operacionales del microprocesador), así mismo refiere que "...toda información debe convertirse a energía electromagnética antes de que se pueda propagarse por un sistema de comunicaciones electrónicas".

Briceño Márquez, José (2005:261) menciona a los principios de la transmisión de información, "...como el proceso mediante el cual se transfiere información desde un punto en el espacio y en el tiempo, denominado fuente de información, hasta otro punto denominado destino de la información, con el mínimo de pérdidas o perturbaciones".

[URL4] define telecomunicaciones, como todo procedimiento que permite a un usuario hacer llegar a uno o varios usuarios determinados (telefonía) o eventuales (radio, televisión), información de cualquier naturaleza (documento escrito, impreso, imagen fija o en movimiento, videos, voz, música, señales visibles, señales audibles, señales de mandos mecánicos, etc.), empleando para dicho procedimiento, cualquier sistema electromagnético para su transmisión y/o recepción (transmisión eléctrica por hilos, radioeléctrica, óptica, o una combinación de estos diversos sistemas). Así también menciona que un sistema de telecomunicaciones es el conjunto de equipos y enlaces tanto físicos como electromagnéticos, utilizables para la prestación de un determinado servicio de telecomunicaciones.

[URL5] menciona el siguiente concepto para telecomunicación, (del prefijo griego tele, "distancia" o "lejos", "comunicación a distancia") es una técnica, que consistente en transmitir un mensaje de un punto a otro, normalmente con el atributo típico adicional de ser bidireccional. El término telecomunicación cubre todas las formas de comunicación a distancia, incluyendo radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de ordenadores a nivel de enlace. Telecomunicaciones, es toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, datos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúa a través

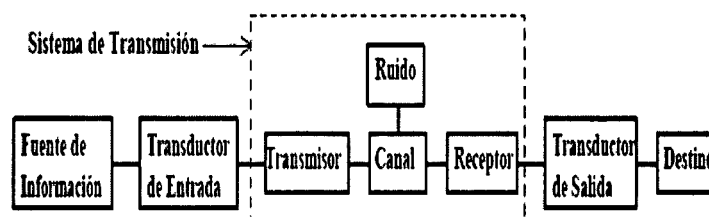
de cables, radioelectricidad, medios ópticos, físicos u otros sistemas electromagnéticos.

B. Modelo de un Sistema de Transmisión de Información

En cualquier sistema de comunicación se transmite información desde un origen o fuente a un destino por medio de un canal. Por lo general, la información de la fuente no está en una forma, que tenga la capacidad de viajar a través de un canal, por tal razón se utiliza un dispositivo llamado transmisor en un extremo y un receptor en el otro. Y los elementos son: fuente, transmisor, canal, receptor y destino.

Para **Lathi B. P. (1994:172)** un sistema de comunicación consta de los siguientes componentes: fuente, transmisor, canal, receptor y destinatario.

Para **Briceño Márquez, José (2005:261-264)** los componentes de un sistema completo de transmisión de información se puede representar como se muestra en la figura 20.



Fuente: De **Principios de las comunicaciones**. Briceño Márquez, José.

Figura 2.20 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación.

B₁ Fuente de Información: La información o inteligencia a transmitir se origina en la fuente de información. Esta información se materializa como un conjunto (que sin perder generalidad supondremos finito y discreto) de n símbolos o mensajes distintos e independientes cuyo significado es conocido en el destino del sistema. La fuente de información así definida se denomina “fuente discreta sin memoria”. Hay muchas clases de fuentes de información, incluyendo personas y máquinas, de manera que los símbolos o mensajes pueden tomar una gran variedad de formas: una secuencia de símbolos discretos o letras,

una magnitud que varía en el tiempo, etc.; pero cualquiera que sea el mensaje, el propósito del sistema de comunicación es el de proporcionar una réplica más o menos exacta del mismo en el destino.

- B₂ Transductor de Entrada: El mensaje que produce la fuente no es de naturaleza eléctrica y, por lo tanto, es necesaria la presencia de un "transductor" o "codificador" que convierta el mensaje en una "señal". Esta última es una magnitud eléctrica variable en el tiempo (corrientes o voltajes) compatible con el tipo particular de sistema de transmisión que se emplee. Nótese entonces la diferencia entre información, mensaje y señal: información es la inteligencia o significado que se va a transmitir; es una entidad intangible. Mensaje es la materialización de la información en una cantidad mensurable: el mensaje es el soporte de la información. Señal es la magnitud eléctrica que resulta de la transformación de una magnitud no eléctrica portadora de información en una magnitud eléctrica variable en el tiempo. A este respecto, el número de elementos del conjunto de las señales de salida del transductor debe ser igual al número de elementos del conjunto de símbolos o mensajes de la fuente de información. La señal de salida del transductor se conoce también con el nombre de "señal mensaje". El transductor de salida o "descodificador", efectúa la operación inversa del transductor de entrada; es decir, reconvierte las señales eléctricas recibidas en los símbolos o mensajes correspondientes, los cuales son presentados al destinatario para su interpretación.
- B₃ Transmisor: Aunque no deja de ser frecuente encontrar el transductor de entrada acoplado directamente al canal, como sucede, por ejemplo, en un sistema telefónico local, generalmente es necesario "modular" una señal sinusoidal con la señal del transductor de entrada, sobre todo para transmisión a gran distancia. La "modulación" es la variación sistemática de alguna característica de una señal, denominada "portadora", en concordancia con la señal mensaje o "señal modulante".

- B₄ Canal: El canal de transmisión es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor. Puede ser un par de conductores, un cable coaxial, una fibra óptica o sencillamente el espacio libre en el cual la señal se propaga en forma de una onda electromagnética. Al propagarse a través del canal, la señal transmitida se distorsiona debido a las no linealidades y/o las imperfecciones en la respuesta de frecuencia del canal. Otras fuentes de degradación son el "ruido" y la "interferencia" que recoge la señal a su paso por el canal.
- B₅ Ruido: El término "ruido" se utiliza comúnmente para denominar aquellas señales que perturban la transmisión y procesamiento de señales en los sistemas de comunicación y sobre las cuales no se tiene un control completo. El ruido que afecta a un sistema de comunicación se clasifica en categorías dependiendo de su origen. Cuando el ruido proviene de los componentes del sistema tales como resistencias, tubos al vacío y dispositivos de estado sólido, se conoce como "ruido interno". La segunda categoría de ruido resulta de fuentes externas al sistema de comunicación e incluye el ruido atmosférico, extraterrestre y el producido por el hombre; es el "ruido externo".
- B₆ Receptor: El objetivo del receptor es el de extraer la señal deseada a partir de la señal degradada transmitida por el canal. Como las señales recibidas en general son débiles y plagadas de ruido, una primera operación del receptor es la amplificación y filtrado de dichas señales para poderlas procesar. Pero la operación fundamental del receptor es la "demodulación" o "detección", que es el proceso inverso de la modulación en el transmisor. Debido a la degradación de la señal recibida, el receptor no puede reconstruir exactamente la señal original, aunque el tipo de degradación que resulta depende del sistema de modulación que se utilice. Hay ciertos sistemas de modulación que son menos sensibles que otros a los efectos del ruido y de la distorsión.

B₇ Ancho de Banda y Potencia de Transmisión: En los sistemas de transmisión existen dos parámetros de gran importancia: el ancho de banda del canal y la potencia transmitida. Los sistemas de comunicación deben diseñarse entonces para utilizar estos dos recursos en la forma más eficiente posible. En general, es difícil optimizar ambos recursos simultáneamente, pues en la mayoría de los canales de comunicación, son "limitados en potencia" o "limitados en ancho de banda". Por ejemplo, los canales telefónicos son canales limitados en ancho de banda, mientras que un canal de microondas lo es en potencia. La meta ideal en el diseño de un sistema de comunicación es la de transmitir información a la máxima velocidad con el mínimo de potencia y ancho de banda. La utilización óptima y eficiente de estos recursos es el principal objetivo en el diseño de los sistemas de comunicación prácticos.

C. Modos de Transmisión

Wayne Tomasi y otros (1996:09), detallan que en los sistemas de comunicaciones electrónicas existen cuatro modos de transmisión: en una dirección (Simplex), en ambas direcciones pero solo uno a la vez (Half-Duplex), o en ambas direcciones al mismo tiempo (Full-Duplex) y en ambas direcciones al mismo tiempo pero con diferentes estaciones (Full/Full-Duplex).

- C₁ Simplex (SX): Las transmisiones pueden ocurrir sólo en una dirección, solo para recibir o solo para transmitir.
- C₂ Half-Duplex (HDX): Las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo, llamados también sistemas con alternativa de dos sentidos.
- C₃ Full-Duplex (FDX), Las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones al mismo tiempo, también se les denomina líneas simultáneas de doble sentido, dúplex o de ambos sentidos, una ubicación puede transmitir y recibir simultáneamente; sin embargo, la

estación a la que está transmitiendo también debe ser la estación de la cual está recibiendo.

- C₄ Full/Full-Duplex (F/FDX), es posible transmitir y recibir simultáneamente, pero no necesariamente entre las dos estaciones, es decir una estación puede transmitir a una segunda estación y recibir de una tercera estación al mismo tiempo. Las transmisiones full/full dúplex se utilizan exclusivamente con circuitos de comunicaciones de datos.

D. Red inalámbrica [URL6]

El término red inalámbrica (Wireless network en inglés) es un término que se utiliza en informática para designar la conexión de nodos sin necesidad de una conexión física (cables), ésta se da por medio de ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realizan a través de puertos.

Una de sus principales ventajas es notable en los costos, ya que se elimina todo el cable Ethernet y conexiones físicas entre nodos, pero también tiene una desventaja considerable ya que para este tipo de red se debe tener una seguridad mucho más exigente y robusta para evitar a los intrusos.

En la actualidad las redes inalámbricas son una de las tecnologías más prometedoras.

Existen dos categorías de las redes inalámbricas.

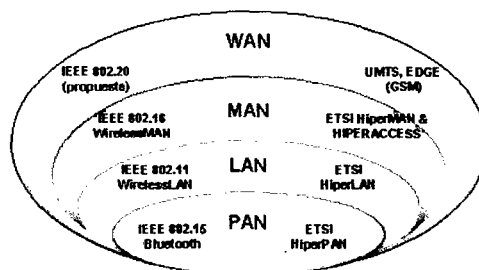
1. Larga distancia: Estas son utilizadas para distancias grandes como puede ser otra ciudad u otro país.
2. Corta distancia: Son utilizadas para un mismo edificio o en varios edificios cercanos no muy lejanos.

Según su cobertura, se pueden clasificar en diferentes tipos:

I. Redes inalámbricas de área personal (WPAN) [URL7]

Una red inalámbrica de área personal (WPAN) incluye redes inalámbricas de corto alcance que abarcan un área de algunas decenas de metros. Este tipo de red se usa generalmente para conectar dispositivos periféricos (por ejemplo, impresoras, teléfonos móviles y electrodomésticos) o un asistente

personal digital (PDA) a un ordenador sin conexión por cables. También se pueden conectar de forma inalámbrica dos ordenadores cercanos. Se usan varios tipos de tecnología para las WPAN:



Fuente: <http://es.kioskea.net/contents/wireless/wpan.php3>.

Figura 2.21 Cobertura y estándares de Wireless.

La tecnología principal WPAN es Bluetooth, lanzado por Ericsson en 1994. Ofrece una velocidad máxima de 1 Mbps con un alcance máximo de unos treinta metros. La tecnología Bluetooth, también conocida como IEEE 802.15.1, tiene la ventaja de tener un bajo consumo de energía, algo que resulta ideal para usarla en periféricos de pequeño tamaño.

HomeRF (Home Radio Frequency), lanzada en 1998 por HomeRF Working Group (que incluye a los fabricantes Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola y Microsoft, entre otros) ofrece una velocidad máxima de 10 Mbps con un alcance de 50 a 100 metros sin amplificador. A pesar de estar respaldado por Intel, el estándar HomeRF se abandonó en enero de 2003, en gran medida porque los fabricantes de procesadores empezaron a usar la tecnología Wi-Fi en placa (por medio de la tecnología Centrino, que incluía un microprocesador y un adaptador Wi-Fi en un solo componente).

La tecnología Zigbee (también conocida como IEEE 802.15.4) también se puede utilizar para conectar dispositivos en forma inalámbrica a un costo muy bajo y con bajo consumo de energía. Resulta particularmente adecuada porque se integra directamente en pequeños aparatos electrónicos (como, por ejemplo, electrodomésticos, sistemas estéreos y juguetes). Zigbee funciona en la banda de frecuencia de 2,4 GHz y en 16

canales, y puede alcanzar una velocidad de transferencia de hasta 250 Kbps con un alcance máximo de unos 100 metros.

Por último, las conexiones infrarrojas se pueden utilizar para crear conexiones inalámbricas en un radio de unos pocos metros, con velocidades que puedan alcanzar unos pocos megabits por segundo. Esta tecnología se usa ampliamente en aparatos electrónicos del hogar (como los controles remotos), pero puede sufrir interferencias debidas a las ondas de luz. La IrDA (Infrared Data Association), fue creada en 1995.

II. Wireless Local Area Network (WLAN)

En las redes de área local podemos encontrar tecnologías inalámbricas basadas en HIPERLAN (del inglés, High Performance Radio LAN), un estándar del grupo ETSI, o tecnologías basadas en Wi-Fi, que siguen el estándar IEEE 802.11 con diferentes variantes.

III. Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)

Para redes de área metropolitana se encuentran tecnologías basadas en WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, es decir, Interoperabilidad Mundial para Acceso con Microondas), un estándar de comunicación inalámbrica basado en la norma IEEE 802.16. WiMAX es un protocolo parecido a Wi-Fi, pero con más cobertura y ancho de banda. También podemos encontrar otros sistemas de comunicación como LMDS (Local Multipoint Distribution Service).

IV. Wireless Wide Area Network (WWAN)

Una WWAN difiere de una WLAN (Wireless Local Area Network) en que usa tecnologías de red celular de comunicaciones móviles como WiMAX (aunque se aplica mejor a Redes WMAN), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), GPRS, EDGE, CDMA2000, GSM, CDPD, Mobitex, HSPA y 3G para transferir los datos. También incluye LMDS y Wi-Fi autónoma para conectar a internet.

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores se entiende por telecomunicación inalámbrica a: Toda transmisión y recepción a distancia, de señales, datos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúa a través de la propagación de ondas electromagnéticas.

En la investigación se entiende por comunicación inalámbrica, a la transmisión y recepción de señales digitales de los captadores (detección de obstáculo y nivel de voltaje D.C), actuadores (motor D.C de tracción, motor D.C de dirección, leds y LCD) provenientes del robot móvil hacia la estación de control y de ésta de retorno al robot para los diversos actuadores mencionados; existiendo entre ellas una comunicación de tipo Full-Duplex, estando separadas ambas estaciones unos 60 metros de distancia; utilizando como medio de comunicación o transmisión inalámbrica el aire, basado en la propagación de ondas TEM espaciales. Así mismo comprende al conjunto, microcontroladores, módulos transreceptores inalámbricos, PC y software de control, organizados, interrelacionados e interactuando entre sí, bajo los principios de la automatización y la comunicación, con el propósito de controlar y monitorear a distancia de manera eficaz el movimiento del robot: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis General

Mediante un sistema de control, se realiza el control eficaz de un robot móvil respecto a su movimiento, utilizando comunicación inalámbrica.

2.3.2 Hipótesis Específicas

- La tecnología de lógica programada es la adecuada para el control eficaz a distancia de un robot móvil, respecto a su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado.
- La tecnología RF-ASK permite el enlace adecuado entre el robot móvil y la computadora.

2.4 Variables de Estudio

2.4.1 Variable Independiente

Comunicación inalámbrica.

2.4.2 Variable Dependiente

Control eficaz de un robot móvil: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado.

La operatividad de las Variables y sus Indicadores

En la tabla 2.3 se muestra la operatividad de las variables, señalando sus indicadores y sus unidades de medida.

Control eficaz de un robot móvil = $f(A, R, D, I, d, i, P)$

Tabla 2.3 Las variables sus indicadores y unidades de medida.

	Indicador	Unidad de medida
Comunicación inalámbrica: CI	Voz, Datos, Video	bps, baudios

Control eficaz de un robot móvil:

Movimiento	Indicador	Unidad de medida
Avanza: A	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Retrocede: R	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Derecha: D	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Izquierda: I	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Giro a la Derecha: d	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Giro a la Izquierda: i	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Parado: P	Desplazamiento, posición	m, coordenadas

Fuente: Elaborado por el investigador.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Ámbito de estudio

El ámbito de estudio se establece en el control a distancia de un robot móvil, el cual es un juguete comercial (locomoción con sistema Ackerman); respecto a su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado; en un espacio exterior y en las mejores condiciones climáticas. El control eficaz a distancia del robot móvil, respecto a su movimiento es comandado por la acción del mouse de la computadora a través de un programa aplicativo realizado en Labview 2011. Se utilizan módulos de comunicación inalámbrica de RF-ASK (transmisor: ST-TX01-ASK, receptor: ST-RX04-ASK) de SUMMITEK Technology Co. que permite el enlace entre el sistema de control de movimiento del robot basado en el microcontrolador PIC18F2550 y la interface con el puerto USB de la computadora, que tiene como principal dispositivo otro microcontrolador PIC18F2550. Para realizar el programa del microcontrolador se utilizó el Compiler PCWHD CCS 4.128 y para su programación el grabador PicKit 2. Las pruebas se realizaron en los ambientes de mi hogar y en el laboratorio de electrónica se encuentra en la ciudad universitaria de la Escuela Académico Profesional de Electrónica ubicado en distrito de Pampas, provincia de Tayacaja, región Huancavelica.

3.2 Tipo de Investigación

Tecnológica.

3.3 Nivel de Investigación

El nivel de investigación que se realizó es del tipo explicativo. Los estudios explicativos están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales. Van más allá de la descripción y la correlación.

3.4 Método de Investigación

El método de investigación general es dialectico porque orienta la investigación a partir de fenómenos concretos sin descuidar la interrelación de sus elementos internos y externos. El método específico es experimental porque es el proceso de investigación que genera las condiciones necesarias y suficientes para medir y revelar las relaciones de los fenómenos que interesan a la investigación. El método particular es referente a la autorización y telecomunicaciones.

3.5 Diseño de Investigación

En la investigación se ha utilizado el diseño de series de tiempo o de series cronológicas, que pertenece al diseño experimental, con observaciones antes y después de aplicar; que tiene el siguiente esquema:

M: O _{1a} O _{2a} ... O _{25a} X O ₁ O ₂ ... O ₂₅

Dónde: M : Es la muestra de investigación.
 O_{1a} ... O_{25a} : Observaciones a la variable dependiente antes del experimento.
 X : Experimento (variable independiente)
 O₁ ... O₂₅ : Observaciones a la variable dependiente después del experimento.

3.6 Población, Muestra, Muestreo

Población: Está constituida por las infinitas órdenes de control que se da al robot móvil respecto a su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado.

Muestra: El tamaño de la muestra, para una población **N** infinita, se establece de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(Z^2)(P)(1-P)}{E^2} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.1}$$

Dónde: n = Tamaño de la muestra

Z = Nivel de confianza o coeficiente de confianza.

E = Error de la muestra o error permitido.

P = Proporción de unidades que poseen el atributo de interés en la población. Se conoce de antecedentes de estudios similares o de lo contrario de un estudio piloto. En caso no existiera estudios similares y no pudieran hacerse un estudio piloto se considera la máxima varianza cuando P = 0.5 con un error absoluto de E = 0.05.

Tabla 3.1 Muestra los valores que toma Z y E.

Los valores Z más utilizados y sus niveles de confianza son:							
Z	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95,5%	99%
Error (E)	25%	20%	15%	10%	5%	4,5%	1%

Fuente: Elaborado por el investigador.

Reemplazando los valores en la ecuación 3.1, obtenemos el siguiente resultado:

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.5)(1-0.5)}{(0.05)^2}, \quad n = \frac{0.9604}{0.0025}, \quad n = 384$$

Por lo tanto el número de muestras que necesitaremos para la prueba de hipótesis es 384 datos.

Muestreo, el muestreo es aleatorio simple porque cada uno de los elementos de la población tiene la misma probabilidad de ser elegida para integrar la muestra.

3.7 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En la tabla se muestra las técnicas e instrumentos que fueron usados:

Tabla 3.2 Muestra las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas	Instrumentos	Aplicación
Observación	Ficha de observación Cámara video/fotográfica	Tabla 4.6 a la tabla 4.12. Fotos de la 1 a la 8.
Análisis Documental	Fichas de investigación Archivo electrónico	Las tesis anteriores. Archivo: vida.xlsx
Experimentación	Análisis matemático Análisis electrónico Criterios de diseño Prueba de ensayo – error	Tabla 4.24. Simulación con Proteus ISIS. Diagrama de flujo del programa. 25 pruebas de 49 y 7 ítems.

Fuente: Elaborado por el investigador.

3.8 Procedimiento de Recolección de Datos

Para la recolección de datos del presente trabajo se procedió a través de las siguientes fases:

Fase de Pre-campo: Revisión de trabajos de investigación con contenidos afines a la tesis, a través de las fichas de investigación para validar los criterios de diseño, tomando como referencia para definir las diferentes variables a utilizar en la presente investigación.

Fase de Campo: Simulaciones del sistema electrónico antes de implementar el hardware. Prueba en campo del sistema completo para el "CONTROL EFICAZ DE UN ROBOT MÓVIL, UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA", que está conformado por la **estación de control** y el **sistema móvil**.

Fase de Gabinete: Registro manual en fichas de observación y análisis, registro automático con el aplicativo LabVIEW usando Excel.

3.9 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Los datos recolectados fueron agrupados y estructurados con el único propósito de validar las hipótesis, utilizando el **análisis cuantitativo y la interpretación porcentual** de los datos estadísticos con la ayuda del software informático Excel, según las fichas de investigación para validar nuestros criterios de diseño del hardware. Se realizó con el apoyo del software informático Excel.

Tabla 3.3 Técnicas de procesamiento.

Técnicas	Instrumentos	Aplicación	Ubicación
Estadística Descriptiva	- Estadígrafos • Promedio • Efectividad • Desviación estándar	Variable independiente Pruebas: Tabla 4.6 a la tabla 4.12. Resultado: Tabla 4.13 y 4.14. Estadístico: Tabla 4.15. Variable dependiente Pruebas: Tabla 4.16 a la tabla 4.22. Estadístico: Tabla 4.23. Recta de regresión: Figura 4.29.	Página 107 a la página 113. Página 114 y 115 Página 116. Página 117 a la página 123. Página 124. Página 128.
	- Gráficas		
Estadística Inferencial	- "r" de Pearson	Procesamiento: Tabla 4.24.	Página 126.

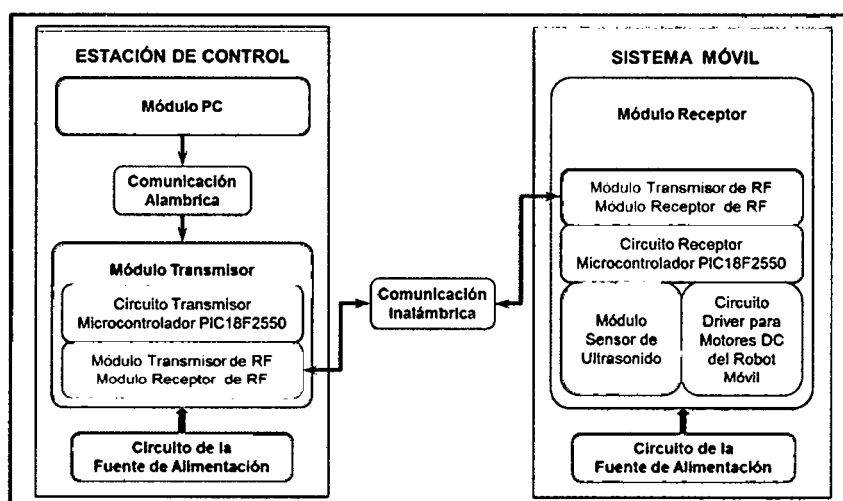
Fuente: Elaborado por el investigador.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados

4.1.1. Diseño e Implementación

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de bloques general del sistema diseñado para la investigación titulado "CONTROL EFICAZ DE UN ROBOT MÓVIL, UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA", y la figura 4.2 muestra el **esquema del sistema** implementado, destacando la **estación de control** y el **sistema móvil**; con sus fuentes de alimentación.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.1 Diagrama de bloques general del sistema diseñado.

ESTACIÓN DE CONTROL

Es la encargada de supervisar y controlar el movimiento del robot desde el computador a través del aplicativo realizado en LabView con interface USB (ver figura 4.3). Está constituido por el módulo PC, un módulo transmisor y el circuito de la fuente de alimentación, los cuales tendrán la tarea de controlar y monitorear el movimiento del robot móvil por medio de la

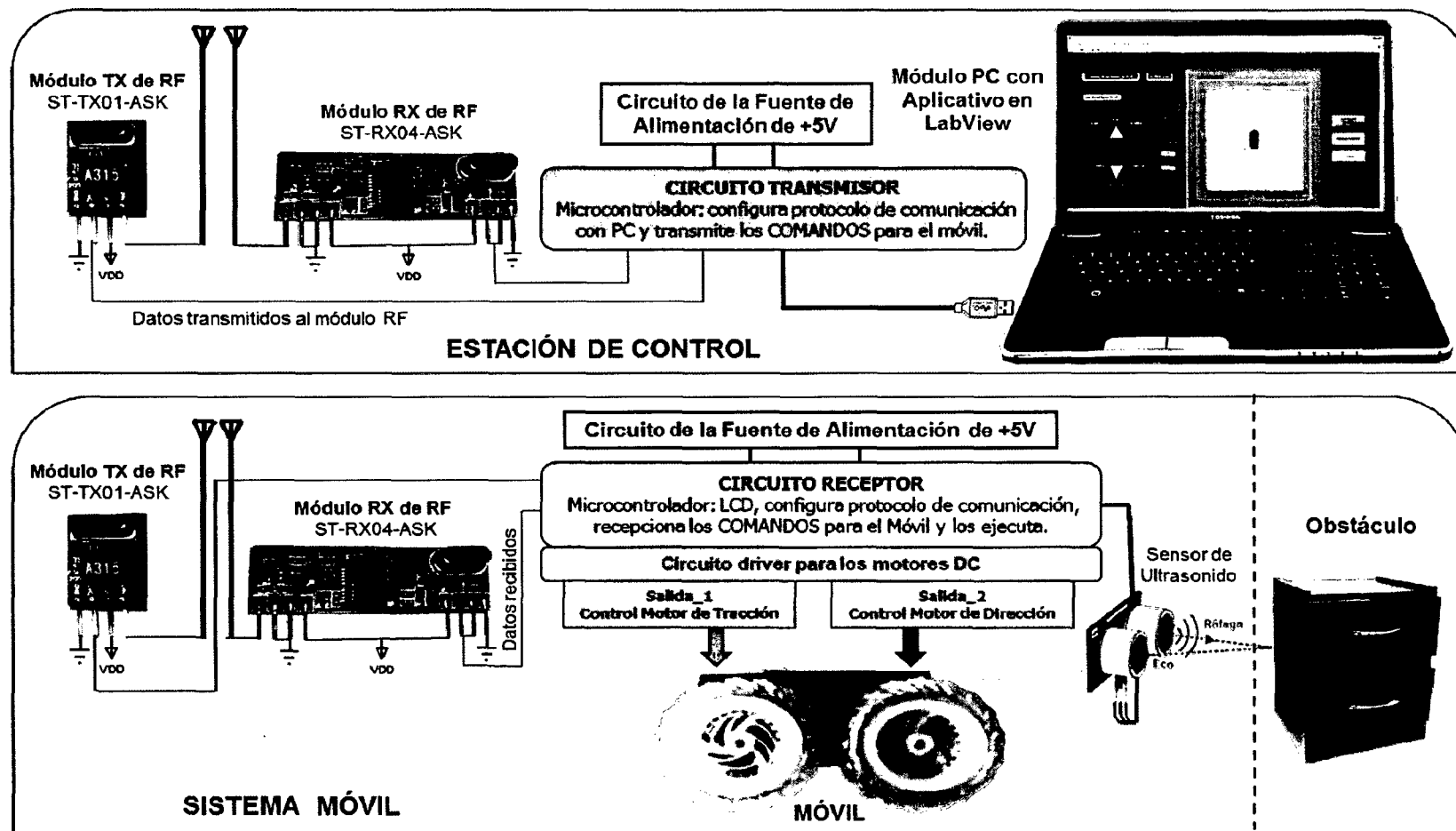


Figura 4.2 Esquema general del sistema de control eficaz de un robot móvil, utilizando comunicación inalámbrica.

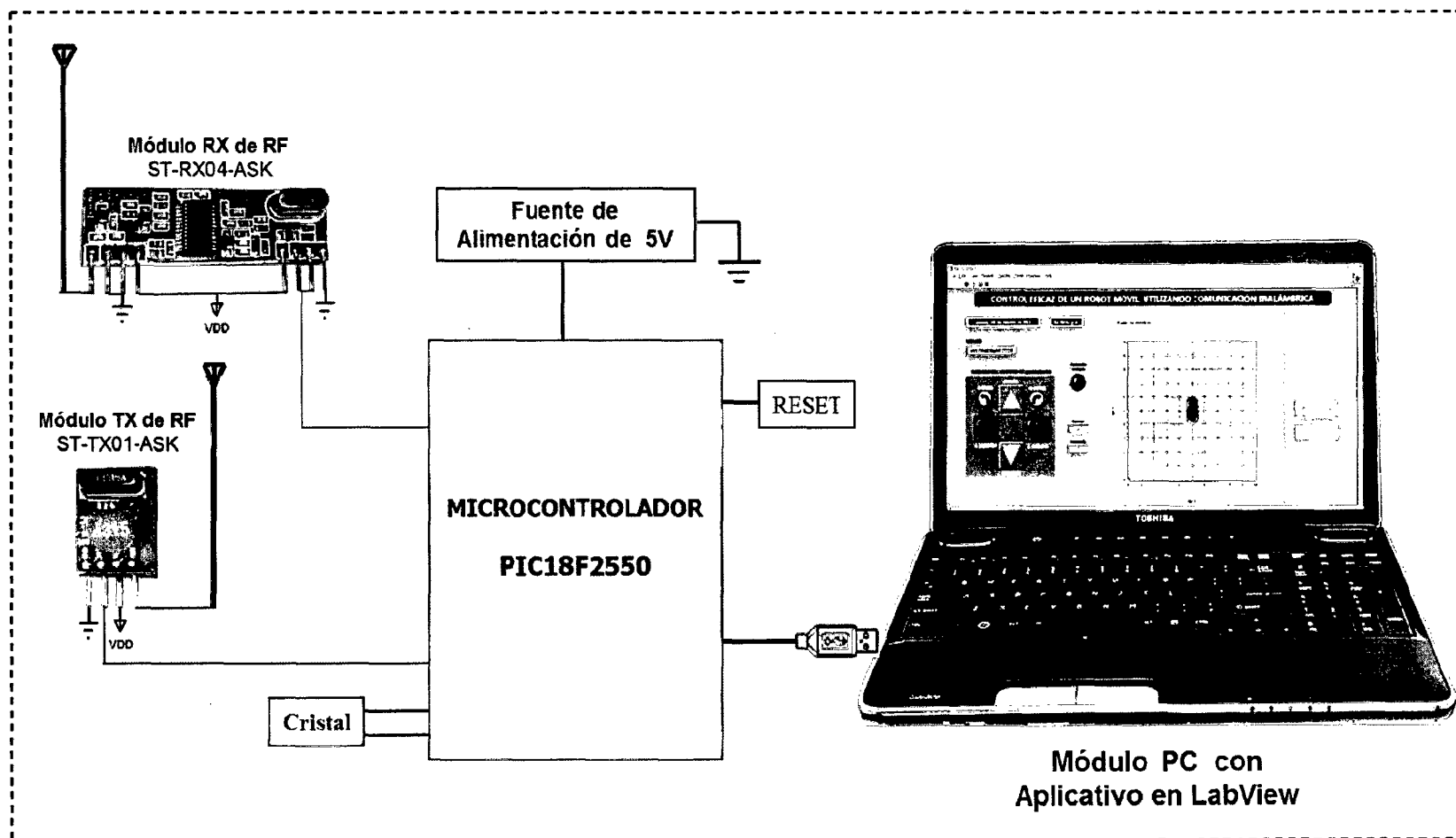


Figura 4.3 Diagrama de bloques de la Estación de Control.

emisión de las acciones a través del microcontrolador PIC18F2550 y de los módulos de transmisión y recepción de radio frecuencia. La Estación de Control está conformado por:

A. Módulo PC

En este módulo se desarrolló un programa que controla y monitorea los movimientos del robot móvil, bajo la plataforma de Windows, usando como lenguaje de programación LabView 2011, el cual ofrece un entorno de desarrollo gráfico, amigable y de fácil programación.

En la figura 4.4 se muestra el panel frontal del programa aplicativo y en la figura 4.5 se muestra su diagrama de bloques. Para el manejo del Aplicativo, esta aplicación presenta:

Fecha y Hora: el cual se actualiza automáticamente, mostrando la fecha y hora actual, al ejecutarse el aplicativo.

Numeración VIP&PID: En este panel se selecciona el VIP&PID del puerto USB, proporcionado por Microchip el cual permite comunicar el modulo PC con el modulo transmisor, utilizando el método de transferencia Bulk.

Control de Movimiento del Robot: El panel contiene programadas todas las órdenes en los íconos relacionados con el movimiento del robot: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado, (que se ve en la figura 4.6); la acción se ejecuta al ser clic en el ícono correspondiente siendo transmitido automáticamente el código correspondiente para el movimiento a realizar, siempre que no se encuentre un obstáculo a 30 cm de su frente, el obstáculo es detectado por el sensor de ultrasonido.

Si el robot se ve impedido para realizar el movimiento por la presencia de un obstáculo, se deberá realizar el movimiento adecuado para evitarlo, luego se podrá realizar el control de su movimiento normalmente.

Plano de Trayectoria: Se posee un panel que dibuja la trayectoria que sigue el robot. La trayectoria seguida por el robot se realiza secuencialmente, según se van ejecutando las órdenes de movimiento realizado por el robot móvil.

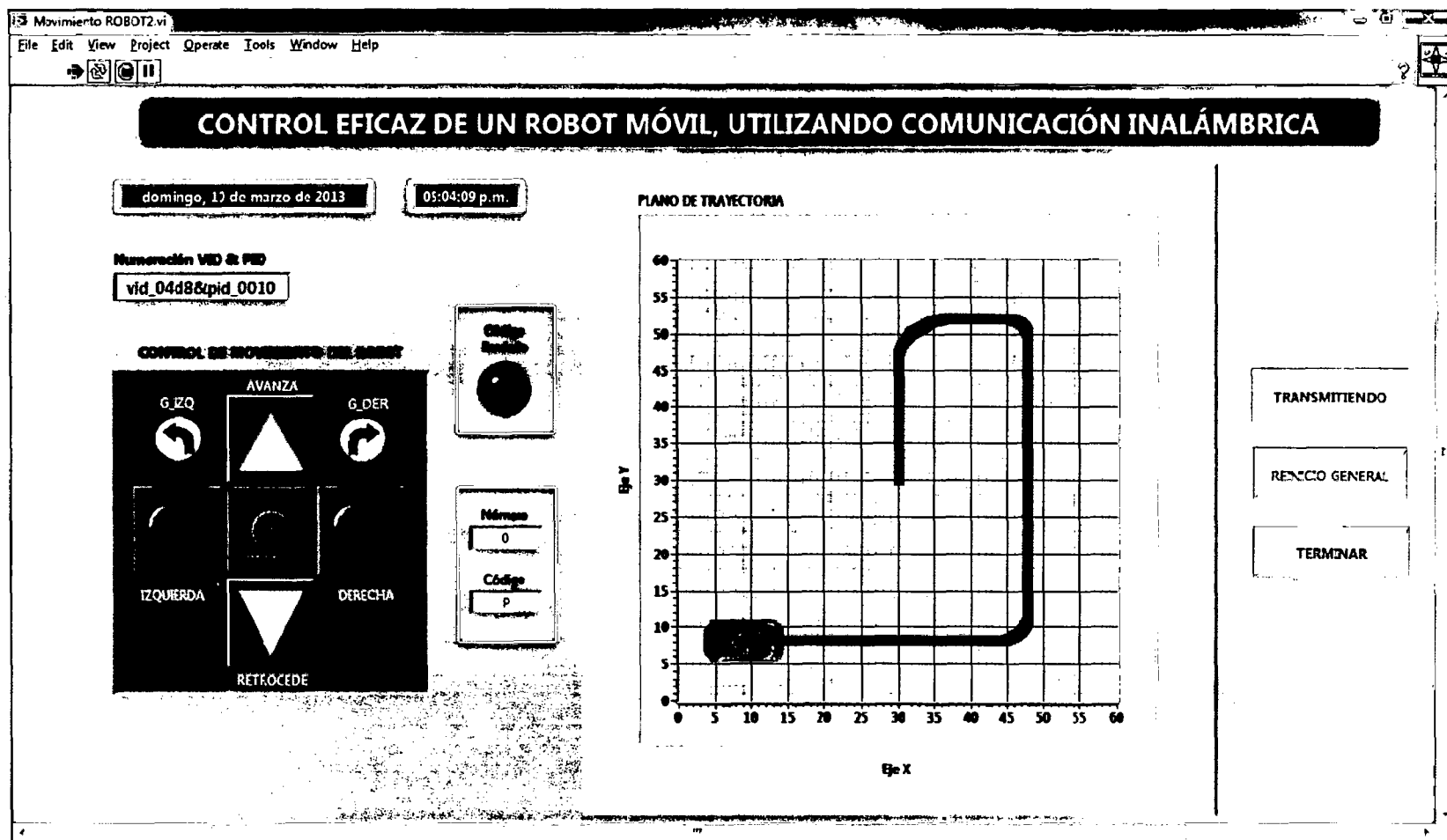


Figura 4.4 Se muestra el panel frontal del programa aplicativo desarrollado en el lenguaje de programación gráfico LabView 11.0.

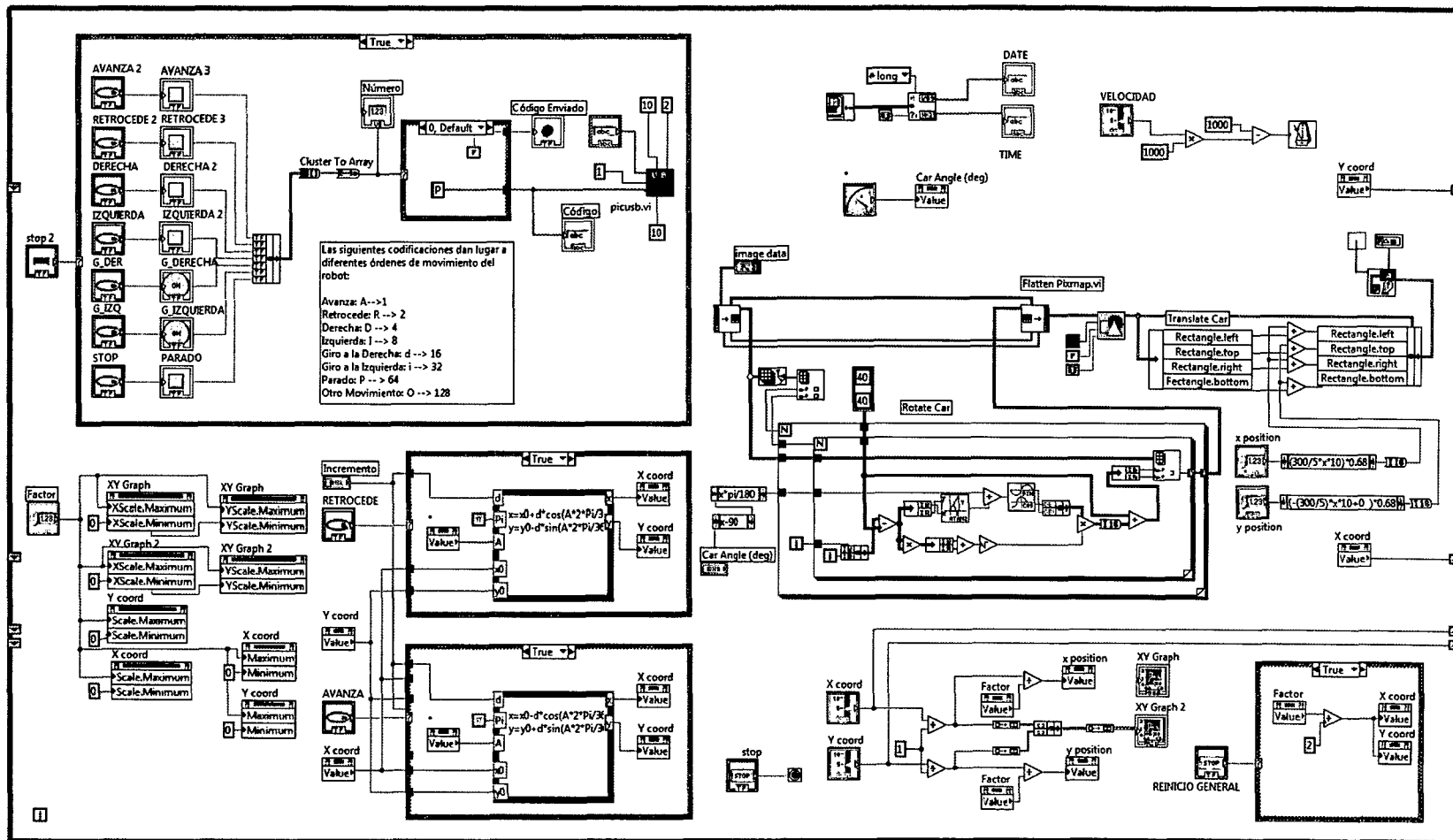
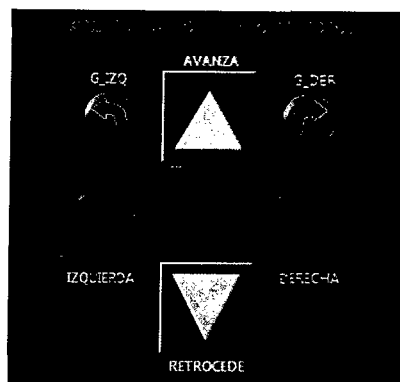


Figura 4.5 Se muestra el diagrama de bloques del aplicativo desarrollado en el lenguaje de programación gráfico LabView 11.0.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.6 Íconos para ejecutar las órdenes de movimiento del robot.

Icono: Transmitiendo, Reinicio General y Terminar: Al hacer clic en el icono correspondiente se transmite la orden de movimiento; el móvil del plano de trayectoria se ubica al centro del mismo y se termina de ejecutar el aplicativo.

B. Comunicación Alámbrica

Se utilizó como medio de comunicación alámbrica para conectar la Laptop con el módulo transmisor, un cable adecuado para el puerto USB. El puerto USB (Universal Serial Bus) permite conectar una amplia variedad de periféricos fácilmente a computadoras, sin reiniciar ni volver a configurar.

C. Módulo Transmisor

Fue desarrollado para enviar los mandos ordenados desde el aplicativo hacia el sistema móvil, al igual que recibir la información proporcionada por el módulo receptor, garantizando el control y monitoreo de los movimientos del robot. Este módulo se encuentra constituido por el circuito transmisor y el módulo transmisor/receptor de RF.

Circuito Transmisor: Puesto que los módulos de RF no se pueden conectar directamente con la Laptop, se implementó un circuito denominado **circuito transmisor**, que conecta el módulo de transmisor/receptor con el **módulo PC** basado en la comunicación USB, debido a que en la actualidad las Laptops cuentan con este puerto, que permiten una conexión sencilla y universal. El circuito transmisor utiliza el microcontrolador PIC18F2550 que

por un lado permite la conexión con el modulo PC a través del puesto USB y por el otro, permite la conexión RS232 con los módulos de RF a nivel TTL (0 y 5 V D.C.).

En la figura 4.7 se muestra el esquema del circuito transmisor, el cual se configura automáticamente tan pronto como se conecta a la Laptop, a través del puerto USB del PIC18F2550 (implementado en el hardware del chip) y el respectivo programa grabado, para poder transmitir las órdenes para el control de movimiento del robot.

Para transmitir las órdenes que controlan el movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado; se hace clic con el mouse en el icono correspondiente del panel frontal, la orden se codifica en un caracter y vía el puerto USB de la Laptop se pasa al microcontrolador PIC18F2550, que se encarga de codificar cada orden en una trama de cuatro bytes a través de la comunicación serial RS232; esta trama ingresa al módulo transmisor de RF a través del pin 2, que internamente realiza una modulación digital ASK, para luego enviarlo a la antena que se encuentra en el pin 4, es así que la información viaja en el espacio libre a través de las ondas electromagnéticas tipo TEM omnidireccionalmente hasta llegar a la antena receptora, en la que, por inducción electromagnética se genera una corriente, que es el equivalente de la orden de movimiento transmitido.

Programación del Microcontrolador PIC18F2550

El proceso de programación del microcontrolador se realizó en tres etapas:

1. Edición del programa.
2. Compilación y simulación del programa.
3. Grabación del programa en el PIC.

Existe una gran variedad de lenguajes de programación que permiten la edición, compilación, simulación y grabación del programa para el PIC, para la presente investigación se decidió trabajar con el lenguaje C; usando para ello el Compiler C de CCS Inc., el cual cuenta con un entorno de desarrollo

integral (IDE) que permite que los programas sean editados y compilados a instrucciones de máquina en el entorno de trabajo de la PC, el código de máquina puede ser cargado de la PC al PIC mediante el ICD2 (o mediante cualquier programador) y puede ser depurado (puntos de ruptura, paso a paso, etc.) desde el IDE del Compiler C de CCS.

Teniendo en consideración que el objetivo de la Estación de Control es monitorear y controlar el movimiento del robot, se sigue el diagrama de flujo que se muestra en la figura 4.8. El programa del microcontrolador PIC18F2550 del circuito transmisor debe realizar las tareas siguientes:

- Comunicación USB con el modulo PC.
- Recibir el equivalente del movimiento a realizar caracter/número.
- Transmitir la orden de movimiento del robot hacia el módulo transmisor de RF, codificado en una trama de cuatro bytes (información), como se muestra:

1010 1010	XXXX XXXX	XXXX XXXX	XXXX XXXX
Encabezado (1 byte)	Orden de movimiento (1 byte)	Orden de movimiento (1 byte)	Orden de movimiento (1 byte)

Fuente: Elaborado por el investigador.

- Recibir la información transmitida desde el circuito receptor de RF.

Tabla 4.1 Íconos con la descripción de movimiento que realiza el robot y su codificación respectiva.

Ícono (orden)	Descripción del Movimiento del Robot	Codificación Carácter / Número
Avanza	Robot avanza hacia adelante.	'A' / 1
Retrocede	Robot retrocede.	'R' / 2
Derecha	Robot realiza giro de 90° hacia la derecha.	'D' / 4
Izquierda	Robot realiza giro de 90° hacia la izquierda.	'I' / 8
Giro a la Derecha	Robot realiza giro de ángulo variable hacia la derecha.	'd' / 16
Giro a la Izquierda	Robot realiza giro de ángulo variable hacia la izquierda.	'i' / 32
Parado	Robot no se mueve.	'P' / 64

Fuente: Elaborado por el investigador.

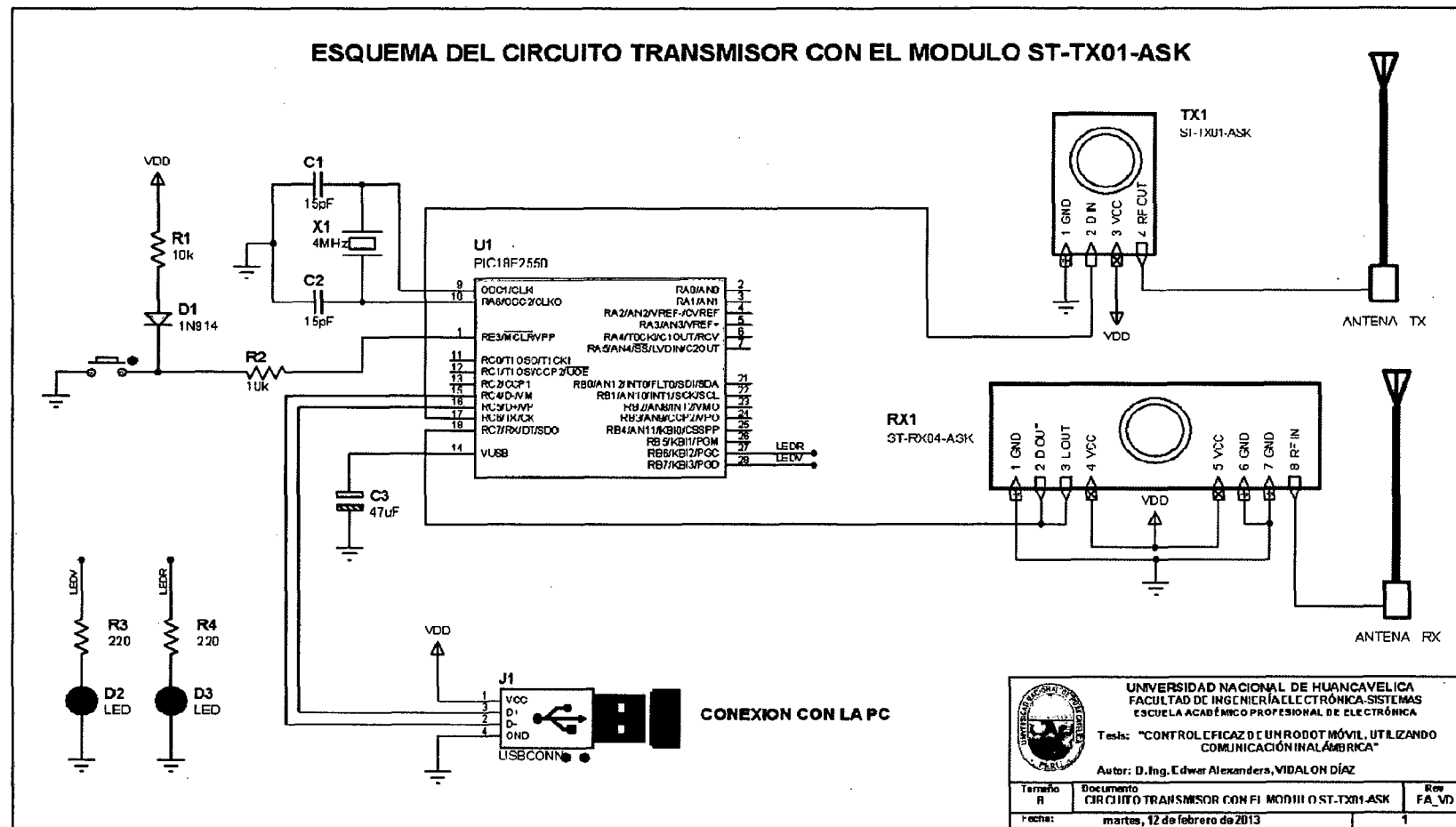
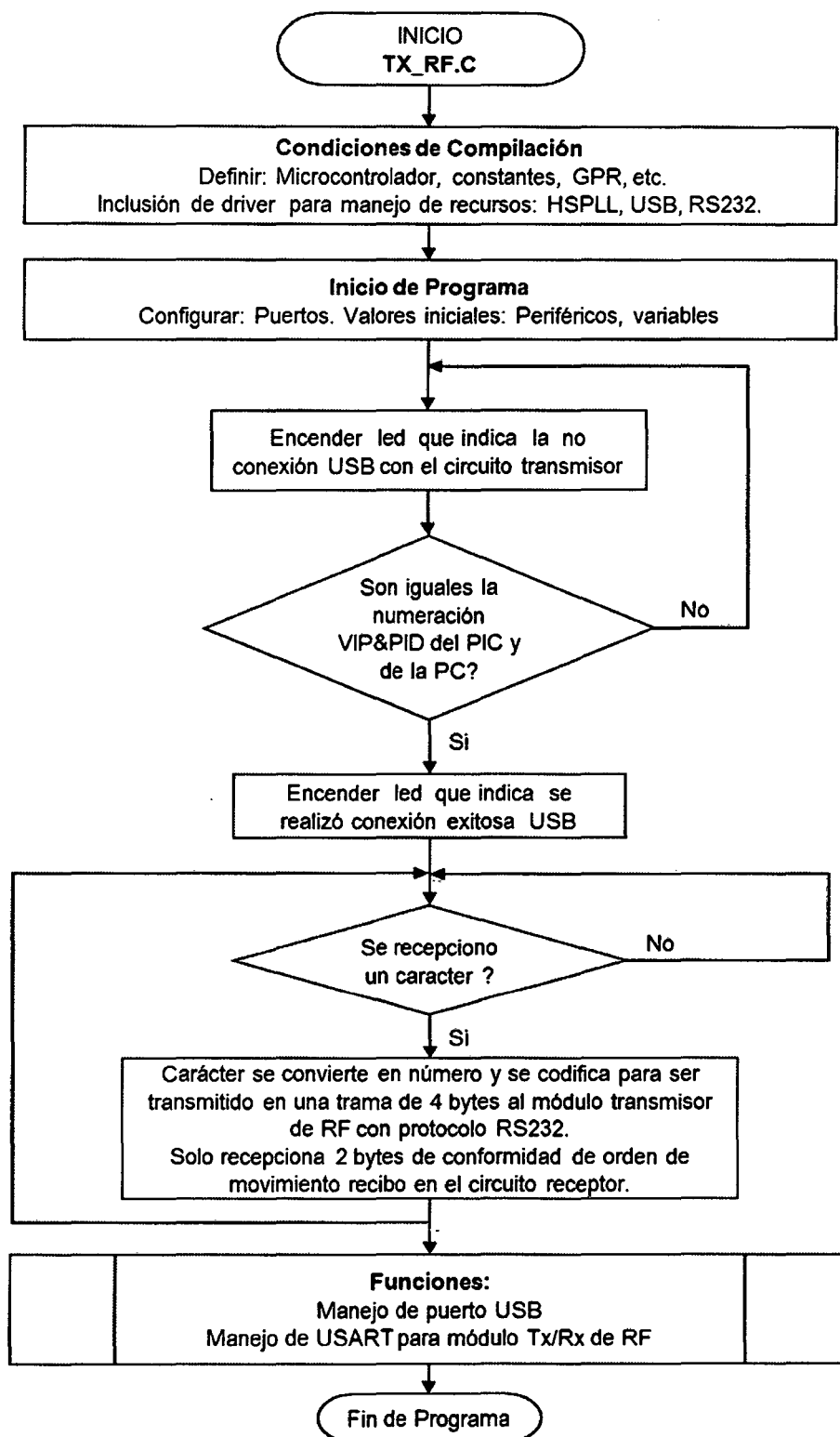


Figura 4.7 Esquema electrónico del circuito transmisor, al que se conecta los módulos de RF.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.8 Diagrama de flujo del circuito transmisor.

Los recursos utilizados para la programación del PIC18F2550 y la distribución de pines, se pueden apreciar en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Recursos y pines utilizados por el PIC del circuito transmisor.

Recursos	Cantidad	Pines	Descripción
USB	1	RC4, RC5 VUSB	Transmisión-Recepción de datos Generador de voltaje para USB
EUSART	1	RC6 RC7	Transmisión de datos Recepción de datos
Puertos E/S	1	RA0	Led indicador de transmisión
Reloj	1	OSC1 OSC2	Generador de reloj del sistema por cristal de 4MHz
Reset	1	RE3	Para reiniciar el programa

Fuente: Elaborado por el investigador.

Cabe resaltar, que para hacer la transmisión por RF, se envía un código de 16 bits asociado a la identificación del dispositivo y la acción a realizar por el robot móvil (avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado).

El código del programa para el circuito transmisor se muestra a continuación.

```
//*****
/**      UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA      *
/**  Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas    *
/**  Escuela Académico Profesional de Electrónica    *
/**                                              *
/**  Archivo      : TX_RF.C                        *
/**  Autor        : Edwar Alexanders Vidalon Díaz   *
/**  Compilador   : CCS 4.128                      *
/**  Date        : 10/01/2013                      *
/**  Versión     : 1.10                          *
//*****
#include <18F2550.h>          //Se declara PIC a usar
#fuses HSPLL,MCLR,PUR,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG
#fuses USBDIV,PLL3,CPUDIV1,VREGEN,NOPBADEN
#use delay(clock=48000000)    //Frecuencia del cristal 48MHz
#use rs232(baud=1200,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,parity=N)
//Configuro el módulo USART como asíncrono para Tx y Rx
#define USB_HID_DEVICE FALSE
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_BULK
```

```

#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_BULK
#define USB_EP1_TX_SIZE 2
#define USB_EP1_RX_SIZE 1
#include <pic18_usb.h> //PIC18Fxx5x hardware layer for CCS
#include <PicUSB.h> //Configuración del USB y los descriptores
#include <usb.c> //handles USB setup tokens
#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)

// DECLARACIÓN DE CONSTANTES \\
#define LEDV PIN_B7
#define LEDR PIN_B6
#define LED_ON output_high
#define LED_OFF output_low
#define COMANDO recibe[0]

// INICIO DE PROGRAMA \\
//*****\\
//Inicio del programa principal
void main()
{
char cabecera=170; //Identificación único
char recibe[1];
int i;
int8 envia[2];
setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
set_tris_a(0x00); //Puerto A como salida
output_a(0x00); //Limpiamos el puerto A
set_tris_b(0x00); //Puerto B como salida
output_b(0x00); //Limpiamos el puerto B
set_tris_c(0b10000000);
LED_OFF(LEDV); //Apagamos led Verde
LED_ON(LEDR); //Encendemos led Rojo
usb_init(); //Inicializamos el USB
usb_task(); //Habilita USB e interrupciones
usb_wait_for_enumeration(); //Esperamos PicUSB sea configurado
delay_ms(50)
LED_ON(LEDV); //Encendemos led verde
LED_OFF(LEDR); //Apagamos led Rojo

while (TRUE)
{
if(usb_enumerated()) //Si el PicUSB está configurado
{
if (usb_kbhit(1)) //Endpoint de salida contiene datos
{

```

```

usb_get_packet(1, recibe, 1); //Byte del EP1 lo almacenamos
    COMANDO=recibe[0];
    output_a(COMANDO);
    envia[0]=cabecera;
    envia[1]=COMANDO;
    usb_put_packet(1, envia, 2, USB_DTS_TOGGLE);

    if (COMANDO=='A') //Avanza=65
    {putc(cabecera); //Por el USART nuestra identificación
    for(i=1;i<4;i++) //Enviamos la orden
        {putc(1);
        delay_ms(1);}}

    else if (COMANDO=='R') //Retrocede=82
    {putc(cabecera);
    for(i=1;i<4;i++)
        {putc(2);
        delay_ms(1);}}

    else if (COMANDO=='D') //Derecha=68
    {putc(cabecera);
    for(i=1;i<4;i++)
        {putc(4);
        delay_ms(1);}}

    else if (COMANDO=='I') //Izquierda=73
    {putc(cabecera);
    for(i=1;i<4;i++)
        {putc(8);
        delay_ms(1);}}

    else if (COMANDO=='d') //Giro_der=100
    {putc(cabecera);
    for(i=1;i<4;i++)
        {putc(16);
        delay_ms(1);}}

    else if (COMANDO=='i') //Giro_izq=105
    {putc(cabecera);
    for(i=1;i<4;i++)
        {putc(32);
        delay_ms(1);}}

    else if (COMANDO=='P') //Parado=80
    {putc(cabecera);
    for(i=1;i<4;i++)
        {putc(64);

```

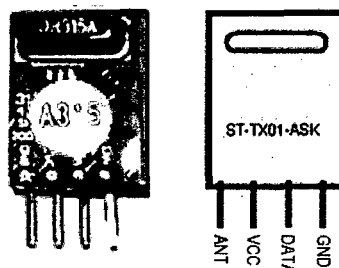
```

        delay_ms(1);}}
    }
}
}
//Fin de programa

```

Módulo Transmisor de RF

Se utilizó el módulo ST-TX01-ASK de SUMMITEK Technology Co. que tiene una potencia de salida de hasta 8mW (de 4 a 16dBm) a 315 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps, usa modulación ASK (Amplitudes-Shift Keying), donde la señal moduladora (datos) es digital; alcanza distancias de aproximadamente 150 metros en espacios abiertos. En la figura 4.9 se muestra su aspecto físico y su disposición de pines. Este módulo se ha conectado al PIC18F2550 del circuito transmisor como se muestra en la figura 4.7. Para transmitir la información se debe enviar por el pin 2 el dato deseado, el cual será procesado internamente por el módulo, para ser enviado por RF a través de la antena.



Fuente: Manual técnico de ST-RX04-ASK.

Figura 4.9 Aspecto físico y asignación de pines del módulo transmisor de RF.

D. Circuito de la Fuente de Alimentación

En la figura 4.10 se muestra el diagrama de bloques del circuito de la fuente de alimentación. Se observa que partiendo de un voltaje de suministro de 220 V A.C., se minimiza los altos voltajes transitorios de las descargas atmosféricas con el circuito de protección y a esta se filtra las señales EMI. El filtrado de las señales EMI en modo diferencial es usualmente reducido usando un par de inductancias acopladas llamado choque en modo común y dos capacitores desde cada línea a tierra, de capacidades 100nF a 250 V

A.C. relativamente bajos. En este arreglo la alta impedancia del inductor a frecuencias altas es usada para bloquear la salida de corriente hacia la carga. Una vez realizado el filtrado EMI, esta señal pasa por el transformador para luego ser rectificado utilizando dos diodos y filtrando con el condensador electrolítico de 1000uF. Los reguladores de voltaje en C.I. (7805 y 7812) con encapsulado TO 220 que recibe una entrada de voltaje D.C. relativamente constante y suministra una salida de voltaje D.C., que el regulador mantiene fijo sobre un amplio rango de corriente de carga, y voltaje de entrada. Los voltajes de salida de los reguladores son: VDD= 5 V D.C. y VCC1= 12 V D.C. En la figura 4.11, se muestra el esquema electrónico del circuito.

COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

En la comunicación por RF se trata de enviar o recibir la información (datos) mediante el campo electromagnético desde un módulo emisor hasta un módulo receptor o viceversa. Para el presente trabajo se utilizó una portadora sinusoidal con una frecuencia establecida de 315 MHz (existen módulos para otras frecuencias como 434 MHz o 915 MHz) y como señal moduladora las órdenes (datos) para el control de movimiento. Como cualquier otro tipo de comunicación inalámbrica, el rendimiento de la conexión estará afectado por la potencia de la señal y por la degradación de la señal debido a la distancia o interferencia. Existe una gran variedad de módulos de RF, los cuales se pueden conectar con los microcontroladores a través del puerto serial RS232.

Como se ha mencionado, el desarrollo de la tesis está basado en el uso de comunicación por radio frecuencia (RF); por ello se decidió trabajar con el **Módulo Transmisor de RF ST-TX01-ASK** y el **Módulo Receptor de RF ST-RX04-ASK** de SUMMITEK Technology Co., que presentan modulación ASK y demodulación ASK respectivamente; con una portadora sinusoidal que tiene una frecuencia de 315 MHz y la DATA es la información que tiene formato serial RS232 para la transmisión o luego de la recepción.

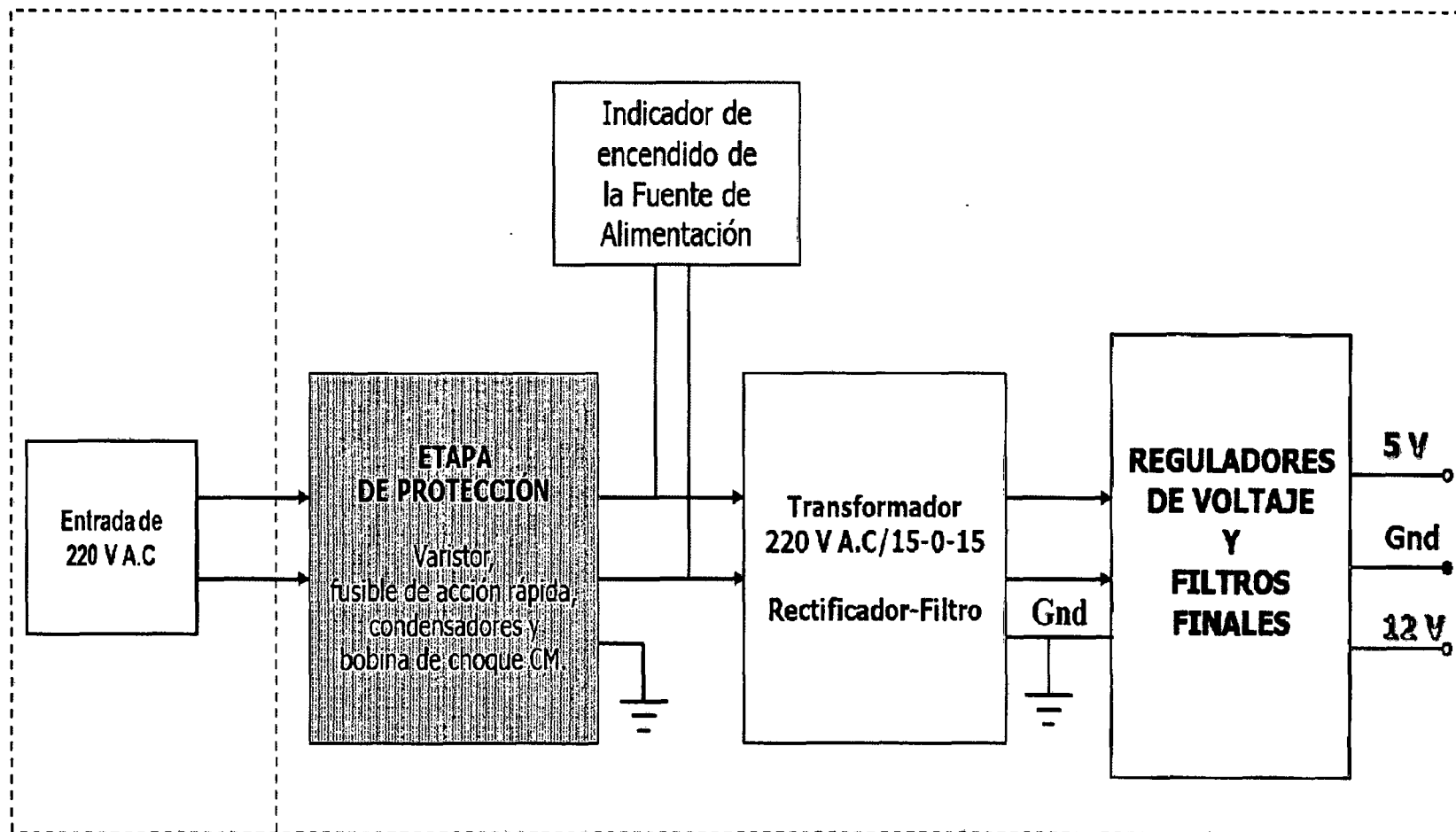


Figura 4.10 Diagrama de bloques del circuito de la fuente de alimentación de la Estación de Control.

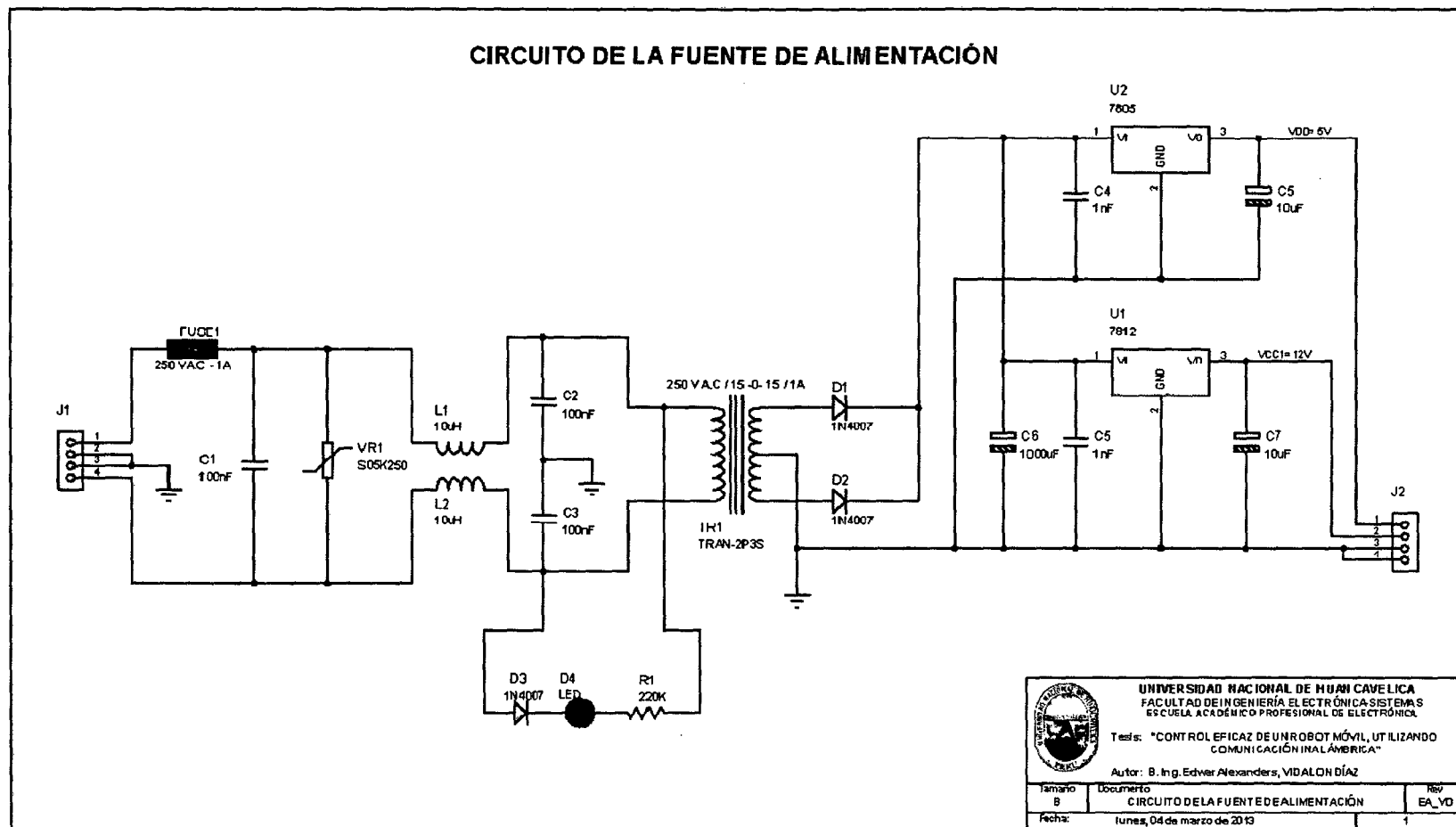


Figura 4.11 Esquema electrónico del circuito de la fuente de alimentación de la Estación de Control.

SISTEMA MÓVIL

Es el encargado de cumplir las órdenes enviadas desde la estación de Control referente al movimiento del robot; para ello, utiliza el microcontrolador PIC18F2550 como procesador del sistema.

Está constituido por el circuito receptor, que a su vez está conformado por el modulo sensor de ultrasonido, módulo transmisor y receptor de RF, circuito driver del motor de tracción, circuito driver del motor de dirección del robot y su respectiva fuente de alimentación (como se puede observar en la figura 4.12); los cuales tendrán la tarea de mantener los motores D.C. en movimiento cuando se les ordene, además de informar el cumplimiento del recorrido realizado por el robot móvil.

En la figura 4.13 se muestra el sistema de control diseñado que se utilizó en el diseño del sistema móvil, se observa que el sistema de control empleado es del tipo de lazo abierto, debido a que enviada la orden para el movimiento del robot desde la estación de control y luego de ser recibida por el circuito receptor en el robot móvil el microcontrolador PIC18F2550 se encarga de decodificar la orden y ejecutarla enviando las señales digitales adecuadas para que los motores D.C. tanto de tracción y de dirección puedan actuar; en el sistema que se muestra no se puede verificar si el robot realmente realizo la orden enviada para el control de movimiento, no hay ningún sensor que sirva como lazo de realimentación, la forma de verificar el movimiento del robot, será visualmente, de esta forma se verificara la ejecución del movimiento del robot.

El control eficaz se refiere a la comprobación del desarrollo de las operaciones de: Toma de datos, transmisión y recepción de datos, decisión y activación; contando con los componentes básicos: Captadores, controlador y actuadores, al realizarse las pruebas para la variable independiente y variable dependiente; con un soporte en caso de fallas, estando éste y el sistema de comunicación inalámbrica en lazo abierto. La comprobación o validación de la hipótesis se realiza con el estadístico "t" de Pearson, utilizando la información tomada en las pruebas realizadas.

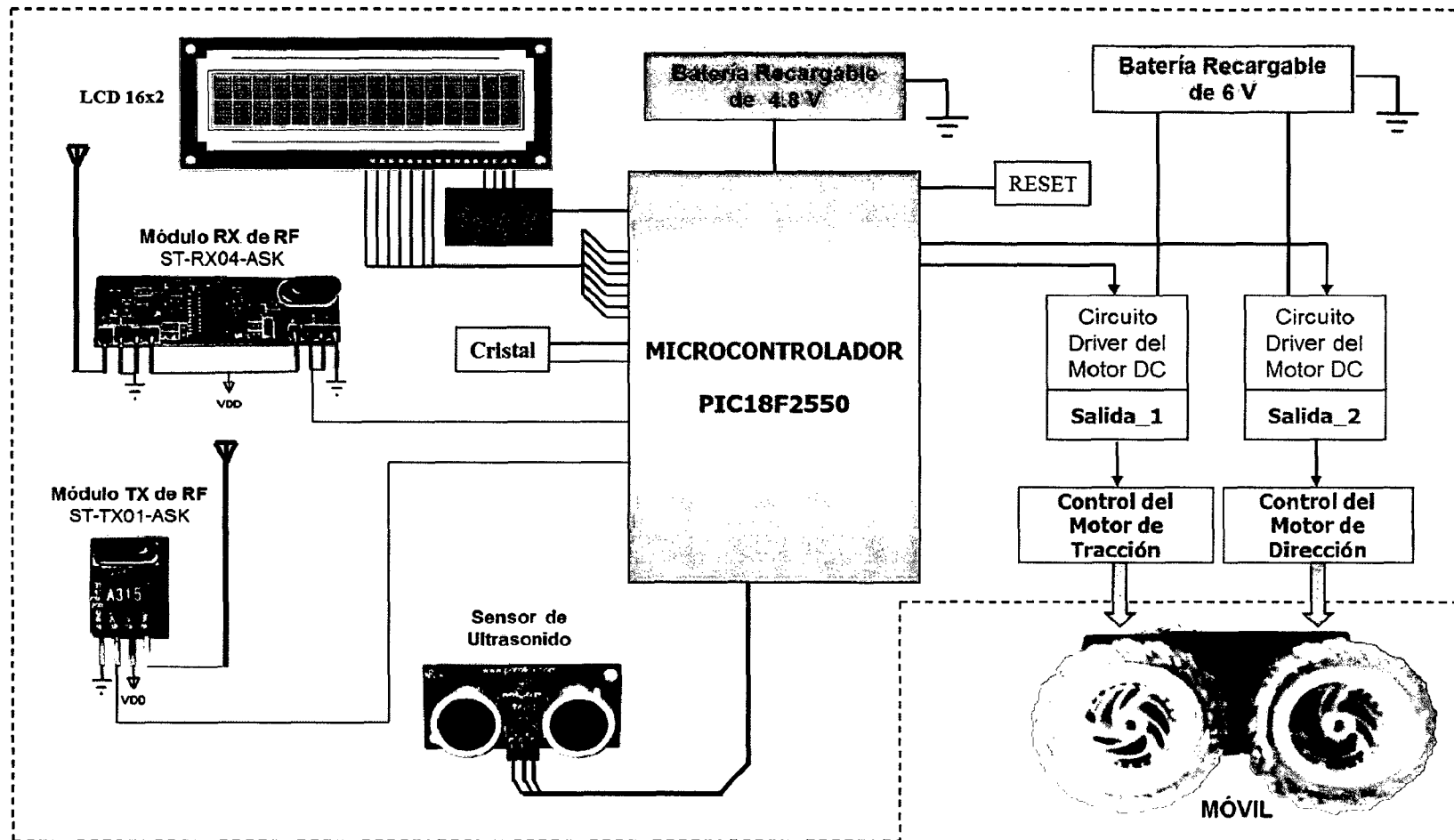
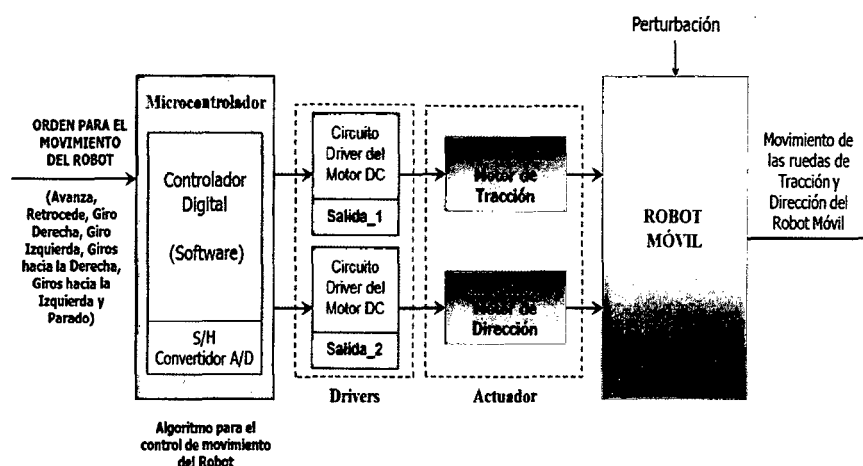


Figura 4.12 Diagrama de bloques del Sistema Móvil.

La respuesta del controlador para el sistema de control de movimiento es del tipo ON/OFF. Las órdenes son ejecutadas con el fin de que el robot móvil pueda realizar sus movimientos evitando los obstáculos.



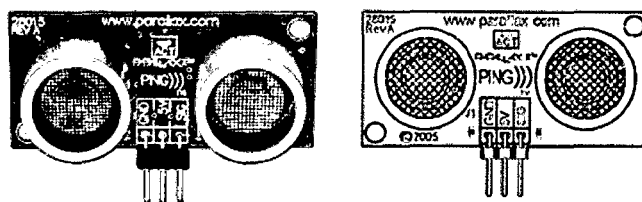
Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.13 Sistema de control diseñado para el sistema móvil.

Módulo Sensor Ultrasónico

Los sensores ultrasónicos (sensores de ultrasonido) permiten medir distancias desde los 2 centímetros hasta los 6 metros sin la necesidad de un contacto físico, lo cual es muy útil en una amplia variedad de aplicaciones, desde la robótica, los sistemas de alarma y aplicaciones industriales y por supuesto, también en proyectos de pasa tiempo.

El sensor ultrasónico de distancia PING, como lo denomina su fabricante, tiene una interfaz simple de tres terminales y utiliza una sola línea para lograr una comunicación serial bidireccional con su dispositivo de control, como se observa en la figura 4.14. El sensor PING funciona mediante la transmisión de una ráfaga de ultrasonido en una frecuencia muy por encima del rango auditivo humano y provee un pulso de salida, el cual corresponde con el tiempo requerido por el eco (rebote) para retornar hasta el sensor. Al medir la duración de este pulso se puede calcular fácilmente la distancia al objetivo.



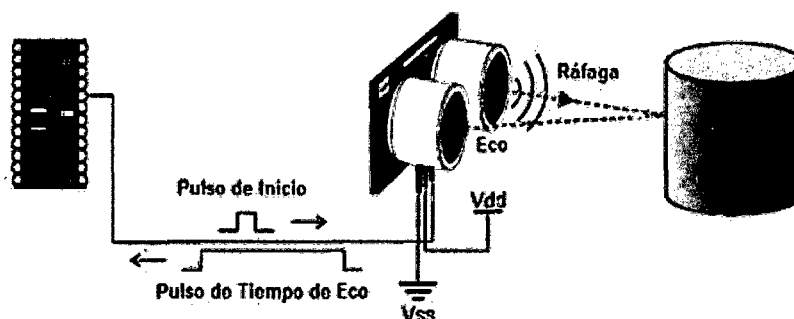
Fuente: Manual técnico de Ultrasonic Distance Sensor.

Figura 4.14 Módulo sensor ultrasónico de distancia PING.

Características del Sensor PING

Las características más importantes del sensor PING son las siguientes:

- Rango: 2 cm a 3 m.
- LED indicador de ráfaga que muestra la actividad del sensor.
- Disparo de entrada: Pulso TTL positivo, 2 μ s mínimo, 5 μ s típico.
- Interfaz bidireccional por pulso, en un único pin de E/S para comunicación con microcontroladores TTL (0 - 5V) o CMOS (3.3V).
- Pulso eco de salida: Pulso positivo de 115 μ s mínimo a 18.5 ms máximo.
- Posee solamente tres terminales, dos de las cuales son para la alimentación de voltaje (VDD / GND) y la tercera el pin denominado (SIG), es usada para la comunicación bidireccional con el microcontrolador.



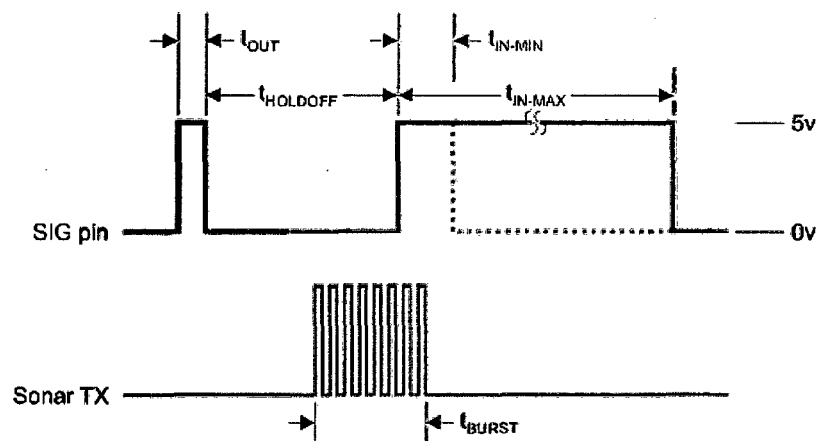
Fuente: Manual técnico de Ultrasonic Distance Sensor.

Figura 4.15 Funcionamiento del sensor ultrasónico PING.

Protocolo de Comunicación

El sensor PING detecta objetos mediante la emisión de una ráfaga ultrasónica y luego "escucha" el eco de retorno. El microcontrolador envía un

pulso corto de disparo, el sensor emite una corta ráfaga ultrasónica a una frecuencia de 40 KHz. La ráfaga viaja a través del aire, choca con un objeto y luego rebota hacia el sensor como se observa en la figura 4.16. El sensor PING provee un pulso de salida al microcontrolador, que se inicia cuando la ráfaga es enviada y termina cuando el eco es detectado, de ahí que la longitud del pulso corresponda con la distancia al objeto.



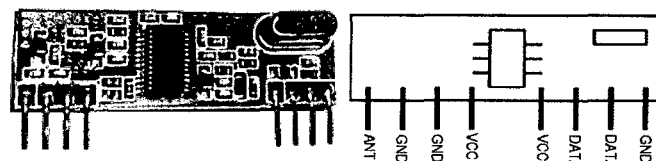
Fuente: Manual técnico de Ultrasonic Distance Sensor.

Figura 4.16 Protocolo de comunicación del sensor PING.

Modulo Receptor de RF

Se utilizó el módulo ST-RX04-ASK de SUMMITEK Technology Co. que tiene una sensibilidad de 3 μ V, al igual que el módulo transmisor alcanza distancias aproximadamente de 150 metros proporcionando salidas tanto lineales como digitales, trabaja a una frecuencia de 315 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps, usa demodulación ASK. En la figura 4.17 se muestra su aspecto físico y su disposición de pines.

Este módulo se ha conectado al PIC18F2550 del circuito receptor como se muestra en la figura 4.18. Como se está transmitiendo señales digitales, para la recepción de la señal RF de la información se conectó una antena al pin 8, donde llegara el dato transmitido por el módulo transmisor el cual será procesado internamente, obteniéndose por el pin 2 el dato digital originalmente enviado.



Fuente: Manual técnico de ST-RX04-ASK.

Figura 4.17 Aspecto físico y asignación de pines del módulo receptor de RF.

Circuito Receptor

Este circuito opera al igual que el circuito transmisor; pero como no se conecta directamente a la PC, no tiene implementado la circuitería de comunicación USB; pero tiene implementado la comunicación RS-232 a nivel TTL con el módulo receptor de RF, su objetivo es de recibir la información proveniente de la Estación de Control, procesarla y enviarla al circuito driver para los motores D.C. de tracción y dirección del robot móvil, para luego de verificar que se cumplió el mando enviando una señal a la Estación de Control. Basado en esto, se implementó el circuito receptor de que se muestra en la figura 4.18.

Programación del Microcontrolador PIC18F2550

El proceso de programación del microcontrolador se realizó en tres etapas:

1. Edición del programa.
2. Compilación y simulación del programa.
3. Grabación del programa en el PIC.

Teniendo en consideración que el objetivo del Sistema Móvil es ejecutar las órdenes enviadas desde la Estación de Control referente al movimiento del robot, se sigue el diagrama de flujo que se muestra en la figura 4.19.

Los recursos utilizados para la programación del PIC18F2550 y la distribución de pines, se pueden apreciar en la Tabla 4.3.

Cabe resaltar, que el receptor de RF, recepciona una trama de 4 bytes (32 bits), de los cuales el primer byte corresponde a la identificación del dispositivo y los tres siguientes bytes corresponde a la orden de movimiento que debe realizar el robot móvil que son: Avanza, retrocede, derecha,

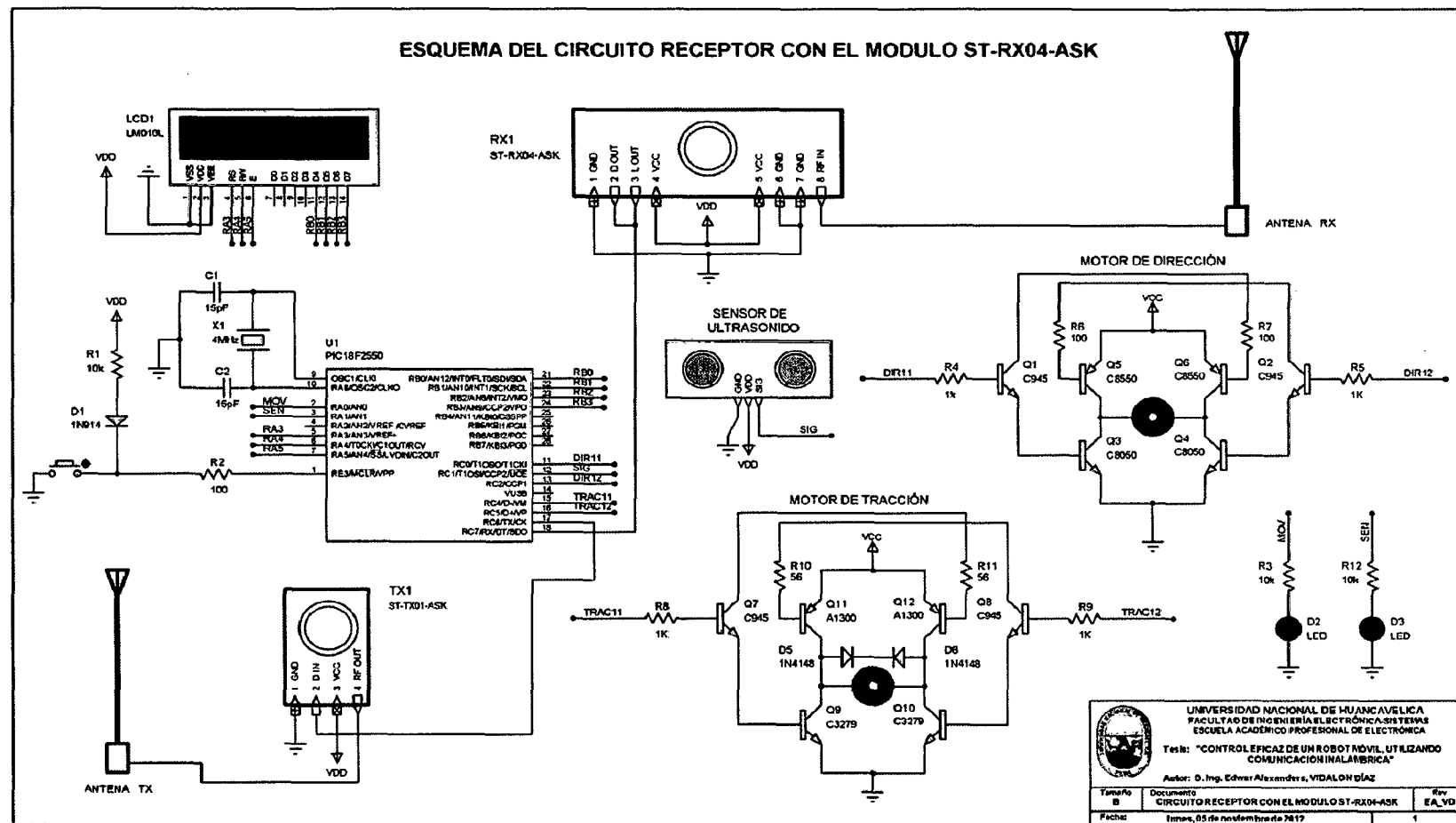
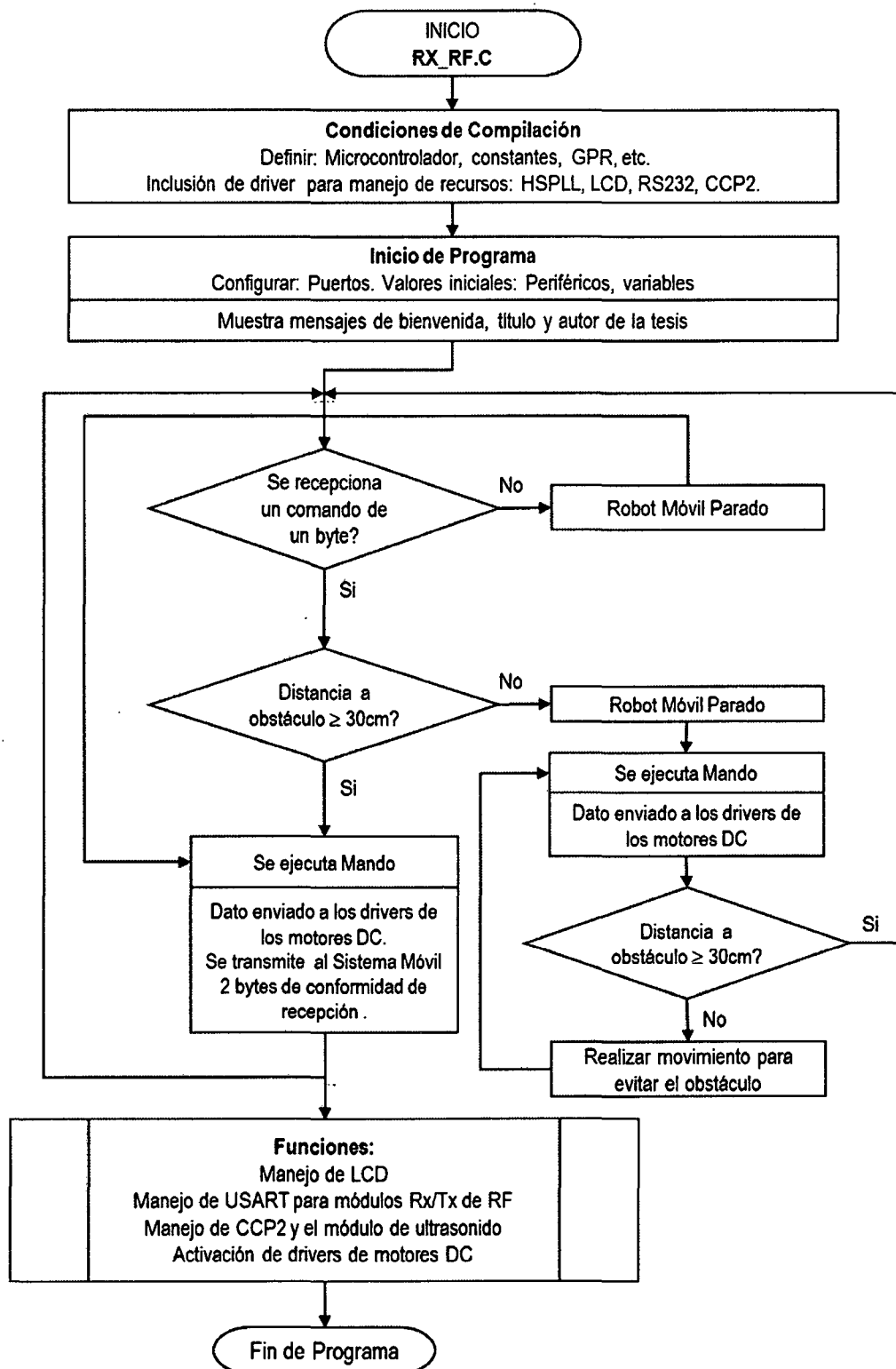


Figura 4.18 Esquema electrónico del circuito receptor al cual se conecta el módulo de RF y el módulo ultrasónico.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.19 Diagrama de flujo del programa para el circuito receptor.

izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado (ver tabla 4.4).

El programa del microcontrolador PIC18F2550 para el circuito receptor debe realizar las tareas siguientes:

- Al encender el sistema, solo al iniciarse muestra en el LCD de 16x2: Un mensaje de bienvenida, título y autor de la tesis. En funcionamiento normal muestra la orden recibida para el movimiento.
- Recibe la información desde el módulo transmisor de RF.
- Transmitir la información hacia el módulo transmisor de RF.
- Ejecutar las órdenes recibidas para el control de movimiento del robot, través de los drivers de los motores DC de dirección y tracción.

Tabla 4.3 Recursos y pines utilizados por el PIC del circuito receptor.

Recursos	Cantidad	Pines	Descripción
CCP2	1	RC1	En modo comparador
EUSART	1	RC6 RC7	Transmisión de datos Recepción de datos
Puertos E/S	3	RA0 RA1 RC2, RC3 RC4, RC5 RA3, RA4, RA5 RB0, RB1, RB2, RB3	Led, movimiento de robot Led, sensor ultrasónico Motor de dirección del móvil Motor de tracción del móvil Módulo LCD
Reloj	1	OSC1 OSC2	Generador de reloj del sistema por cristal de 4MHz
Reset	1	RE3	Para reiniciar el programa

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.4 Información que llega al módulo receptor de RF y entrega al PIC.

Orden	Trama de bits que se transmite y luego se recibe	Código decodificado
Avanza	10101010 00000001 00000001 00000001	00000001
Retrocede	10101010 00000010 00000010 00000010	00000010
Derecha	10101010 00000100 00000100 00000100	00000100
Izquierda	10101010 00001000 00001000 00001000	00001000
Giro a la Derecha	10101010 00010000 00010000 00010000	00010000
Giro a la Izquierda	10101010 00100000 00100000 00100000	00100000
Parado	10101010 01000000 01000000 01000000	01000000

Fuente: Elaborado por el investigador.

El código del programa para el microcontrolador del circuito receptor se desarrolló con en el Compiler CCS 4.128, el cual se muestra a continuación.

```

/*****
/**      UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA      *
/**      Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas      *
/**      Escuela Académico Profesional de Electrónica      *
/**      *
/**      Archivo      : RX_RF.C      *
/**      Autor      : Edwar Alexanders Vidalon Díaz      *
/**      Compilador   : CCS 4.128      *
/**      Date        : 10/01/2013      *
/**      Versión     : 1.10      *
*****/
#include <18F2550.h>      //Se declara PIC a usar
#fuses XT,NOWDT,PUT,NOBROWNOUT,NOLVP,NOCPS,NOWRT,NOPROTECT
#use delay(clock=4000000) //Frecuencia del cristal oscilador 4MHz
#use rs232(baud=1200,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,parity=N)
//Configuro el módulo USART asíncrono como TX y RX

// DECLARACIÓN DE CONSTANTES \
#priority rtcc
#define ENI PIN_C1
#define END PIN_C2
#define INI_1 PIN_C0
#define INI_2 PIN_C3
#define IND_1 PIN_C4
#define IND_2 PIN_C5
#define PTD PIN_B0
#define ALTO OUTPUT_HIGH
#define BAJO OUTPUT_LOW
#use fast_io (b)
#use fast_io (c)
#define ULTRASONIC PIN_C1
#bit Bit_PWM = PORTB.7      //Bit 7 puerto B Salida modulación

// Prototipos de las funciones \
void main (void);      //Función principal
void Generacion_pwm (void);      //Señales para control de servos
void rda_isr();      //Adquisición de Datos
void pulso_test (void);      //Calcula distancia al obstáculo
void ccp2_int (void);      //Mide pulso de eco ultrasonidos
void navegacion (void);      //Avance sorteando obstáculos

// Variables para generación PWM \

```

```

int8 PWM=0; //Guardará los valores de la señal PWM
int8 Pulso_pwm=0; //Ancho del pulso de control del servo

// Variables para lectura obstáculo \
int16 nuevopulso=0; //Entra otro pulso de lectura
int16 TFB=0,TFS=0,TF=0; //Tiempo flancos
float AP=0.0; //Valor del pulso al obstáculo en us
int16 distancia=0; //Valor distancia al obstáculo
int16 distancia_derecha=0;
int16 distancia_izquierda=0;
int1 cambio=0; //Flanco subida o bajada del impulso leído
char valor[4]; //Se almacena los datos recibidos
int i=0;
char dato; //Dato a ejecutar

////////////////////
// INTERRUPCIONES \
////////////////////
//FUNCIÓN GENERACIÓN MODULACIONES PWM
#INT_TIMER0
void Generacion_pwm()
{
    Pulso_pwm++; //Incremento cada rebose del timer0
    if (Pulso_pwm==0)
    {
        Bit_PWM=1;
    }
    if (Pulso_pwm==PWM)
    {
        Bit_PWM=0;
    }
    delay_us(5);
    set_timer0(255);
}

//FUNCIÓN DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE IDENTIFICACIÓN Y MOVIMIENTO
#INT_RDA
void rda_isr()
{
    valor[0]=fgetc(); //Primer dato adquirido: identificación
    if (valor[0]==170) //Valor único, '@',10101010
    {
        //Si la identificación es autenticada se
        //Procede a capturar los 3 datos faltantes
        for(i=1;i<4;i++) //Almacena 3 datos del módulo USART
        {
            valor[i]=fgetc();
        }
        if(valor[1]==valor[2] && valor[2]==valor[3]) //Comparamos
        {
            dato=valor[3];
        }
    }
}

//LECTURA DE DISTANCIA AL OBSTÁCULO

```

```

#INT_CCP2 //Llamada por interrupción flanco en RC2
void ccp2_int()
{
    if(cambio==0) //Si es flanco de subida
    {
        TFS=CCP_2;
        setup_ccp2(CCP_CAPTURE_FE); //Captura en flanco de bajada
        cambio=1; //Próximo flanco de bajada
    }
    else
    {
        //Si es flanco de bajada
        TFB=CCP_2; //Carga en valor flanco
        setup_ccp2(CCP_CAPTURE_RE); //Captura en flanco de subida
        cambio=0; //Próximo flanco de subida
        if(nuevopulso==0) //Fin de pulso.
            nuevopulso=1; //Pulso finalizado.
    }
}

// DECLARACIÓN DE FUNCIONES \
// Movimiento del robot hacia adelante
void AVANZA()
{
    ALTO(ENI);
    ALTO(END);
    ALTO(INI_1);
    ALTO(IND_1);
    BAJO(INI_2);
    BAJO(IND_2);}

// Movimiento del robot hacia atrás
void RETROCEDE()
{
    ALTO(ENI);
    ALTO(END);
    ALTO(INI_2);
    ALTO(IND_2);
    BAJO(INI_1);
    BAJO(IND_1);}

// Giro de 90° del robot hacia la derecha
void DERECHA()
{
    ALTO(ENI);
    ALTO(END);
    ALTO(INI_2);
    ALTO(IND_1);
    BAJO(INI_1);
    BAJO(IND_2);
    delay_ms(255);}

```

```

// Giro de 90° del robot hacia la izquierda
void IZQUIERDA()
{
  ALTO(ENI);
  ALTO(END);
  ALTO(INI_1);
  ALTO(IND_2);
  BAJO(INI_2);
  BAJO(IND_1);
  delay_ms(255);
}

// Giro a la derecha del robot
void G_DERECHA()
{
  ALTO(ENI);
  ALTO(END);
  ALTO(INI_2);
  ALTO(IND_1);
  BAJO(INI_1);
  BAJO(IND_2);
  delay_ms(75);
}

// Giro a la izquierda del robot
void G_IZQUIERDA()
{
  ALTO(ENI);
  ALTO(END);
  ALTO(INI_1);
  ALTO(IND_2);
  BAJO(INI_2);
  BAJO(IND_1);
  delay_ms(75);
}

// Robot parado
void PARADO()
{
  BAJO(ENI);
  BAJO(END);
  BAJO(INI_2);
  BAJO(IND_2);
  BAJO(INI_1);
  BAJO(IND_1);
  BAJO(PTD);
}

// Parpadeo de led, que indica se puede transmitir
void GLP()
{
  ALTO(PTD);
  DELAY_MS(100);
  BAJO(PTD);
  DELAY_MS(100);
}

```

```

//FUNCIÓN PULSO DE TEST
void pulso_test()
{
    enable_interrupts(INT_CCP2);    //Interrupción medida de pulso eco
    delay_ms(10);                  // generamos un trigger de 10 ms
    output_high(ULTRASONIC);
    delay_us(10);
    output_low(ULTRASONIC);
    delay_us(250);

    while(nuevopulso==0)    //Espera a finalizar el pulso eco
    {
        if(nuevopulso==1)    //Finalizado pulso eco se calcula su valor
        {
            TF=(TFB-TFS);    //Valor entre pulso de subida y bajada
            AP=TF*1.0;
            AP = AP/58;        //Distancia del obstáculo en cm
            distancia =(int16)AP;    //paso de flotante a entero largo
            nuevopulso=0;        //Listo para recibir nuevo pulso
        }
        disable_interrupts(INT_CCP2);
    }

//FUNCIÓN AVANCE - DETECCIÓN OBSTÁCULO
void navegacion()
{
    pulso_test();
    if (distancia>=30)        //Si distancia >= 30cm avanza
    { AVANCE;}
    else
    {
        PARADO;
        pwm=8;
        delay_ms(500);
        pulso_test();
        distancia_derecha=distancia;
        pwm=25;
        delay_ms(500);
        pulso_test();
        distancia_izquierda=distancia;
        pwm=16;

        if (distancia_derecha>distancia_izquierda)
        {DERECHA;
            delay_ms(500);}
        else
        {IZQUIERDA;

```

```

        delay_ms(500);
    }
}

//*****\\
// INICIO DE PROGRAMA \\
//*****\\

void main()
{set_tris_b(0);
output_b(0);
set_tris_c(0b10000000);
output_c(0);
pwm=16;                //Impulso de 1,5 ms de pwm posición 0°
PARO;
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_32);
setup_timer_1(T1_INTERNAL);    //Configuración timer1
setup_ccp2(CCP_CAPTURE_RE);    //Modo captura en flanco de subida
setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
enable_interrupts(INT_TIMER0); //Habilitación interrupción de pwm
disable_interrupts(INT_TIMER1);
disable_interrupts(INT_CCP2);  //Deshabilita interrupción
enable_interrupts (GLOBAL);
enable_interrupts(int_rda);    //Interrupción por recepción de USART
delay_ms(500);                //Estabilización en el arranque
while (TRUE)
    {delay_ms(500);    //Tiempo entre impulsos test
    navegacion();      //Salto a la función navegación
    }
while(true)
    {
        //Bucle while
        switch(dato)    //Comparamos el dato y ejecutamos
        {case 1:
            AVANZA();
            break;
        case 2:
            RETROCEDE();
            break;
        case 4:
            DERECHA();
            break;
        case 8:
            IZQUIERDA();
            break;
        case 16:
            G_DERECHA();
            break;
        case 32:
            G_IZQUIERDA();

```

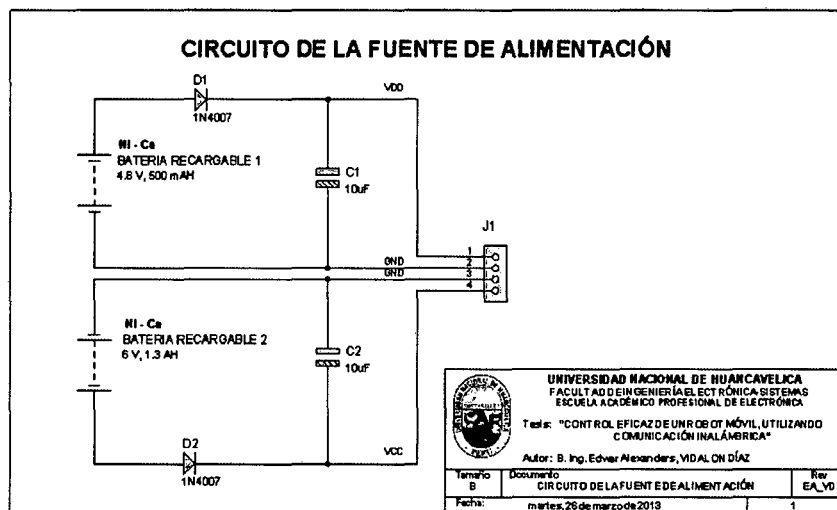
```

        break;
    case 64:
        PARADO();
        break;
    default:
        GLP();
        break;
    }
}
//Fin de programa

```

Circuito de la Fuente de Alimentación

La alimentación del circuito receptor, será proporcionada por: Una batería recargable de Ni-Cd de 4.8 V D.C. (VDD), de 500 mAh, exclusivamente para el circuito receptor y una batería recargable de Ni-Cd de 6 V D.C. (VCC), con una duración de 1.3 AH, exclusivamente para los circuito drivers del motor de dirección y del motor de tracción (ver figura 4.20).

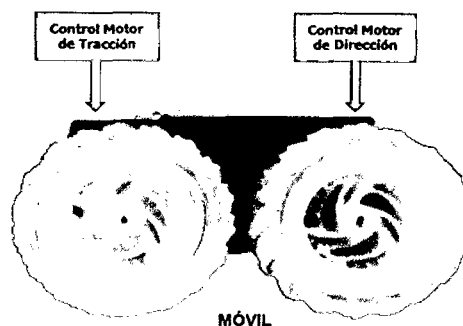


Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.20 Circuito de la fuente de alimentación del sistema móvil.

Circuito Driver para Motores D.C. del Móvil

El proyecto está basado en un carro-juguete comercial para la construcción del robot móvil. Debido a que se puede reutilizar su chasis, así como sus dos motores DC. Uno para el control de la dirección y otro para el control de la tracción del robot móvil, lo que se puede observar en la figura 4.21.

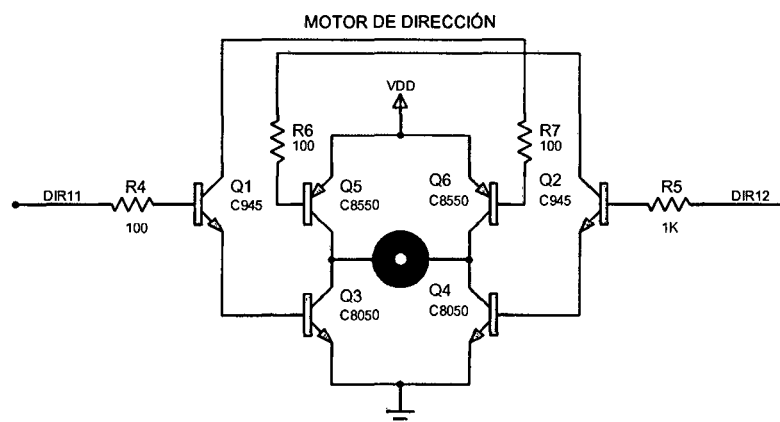


Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.21 Ubicación de los motores de dirección y tracción en el robot móvil.

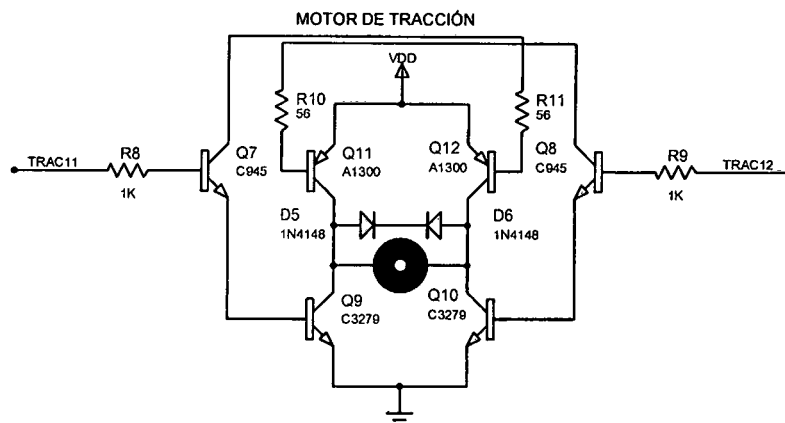
Estos motores son controlados por el microcontrolador, a través de un circuito driver para amplificar las señales de corriente. El circuito típico usado en el manejo de estas señales recibe el nombre de Puente H, aunque existen drivers como el L293B, que funcionan como amplificador para motores D.C.

El puente H como su nombre lo indica, es un circuito que sirve como puente entre un sistema digital y el motor D.C., amplificando la potencia para mover dicho motor y garantizar el giro del mismo. Para lograr esto, el puente está conformado por cuatro transistores, de los cuales, si dos transistores opuestos diagonalmente se activan la corriente fluirá de un sentido a otro, permitiendo así controlar el giro del motor. Véase la figura 4.22 y figura 4.23.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.22 Puente H para el motor de dirección.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.23 Puente H para el motor de tracción.

Para determinar el sentido de giro de los motores DC, se siguió el comportamiento de los transistores respecto al nivel lógico en sus respectivas bases, tal como se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Giro de los motores D.C., según la orden.

Q1	Q2	Q7	Q8	Giro del Motor
1	0	1	0	Giro hacia la derecha
0	1	0	1	Giro hacia la izquierda
0	0	0	0	Motor parado
1	1	1	1	Motor parado

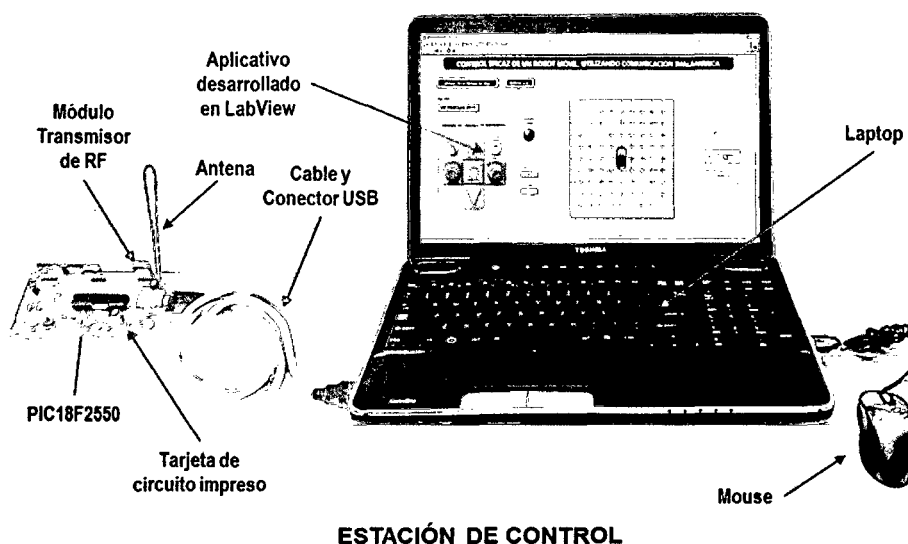
Fuente: Elaborado por el investigador.

Prototipo Final del Sistema

El prototipo implementado que se utilizó para realizar las pruebas del sistema; está conformado por la Estación de Control, que se muestra en la figura 4.24 y el Sistema Móvil que se observa en la figura 4.25.

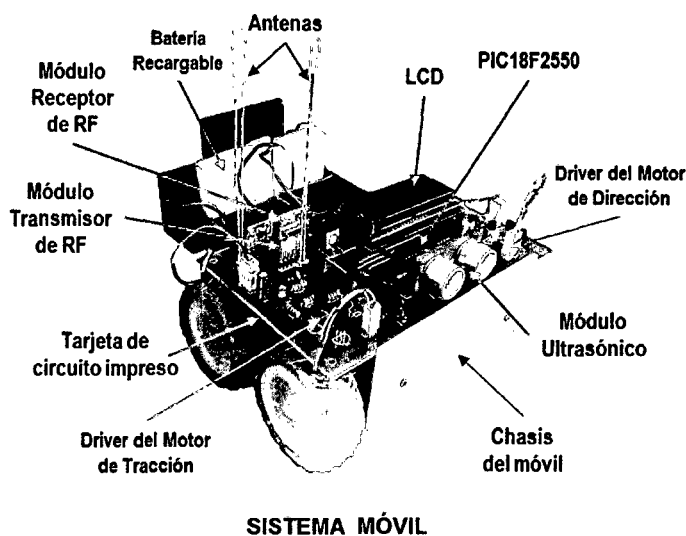
Se ejecuta el aplicativo en la PC desarrollado en LabView 2011; luego de ser energizados los circuitos electrónicos concernientes a la Estación de Control y Sistema Móvil, que contienen los microcontroladores PIC18F2550 que fueron grabados con sus respectivos programas utilizando el PICKit 2 y montados en protoboard con todos los dispositivos electrónicos requeridos. Así mismo a través del puerto USB del módulo de la Laptop se conectó el módulo transmisor y desde el

circuito transmisor a través de la comunicación RS-232 se conectó al módulo al transmisor de RF. En el módulo receptor, desde el circuito receptor a través del puerto RS-232 se conectó el módulo receptor de RF, el módulo ultrasónico al puerto C y a los drivers de los motores de dirección y tracción del robot móvil.



Fuente: Elaborado por el investigador.

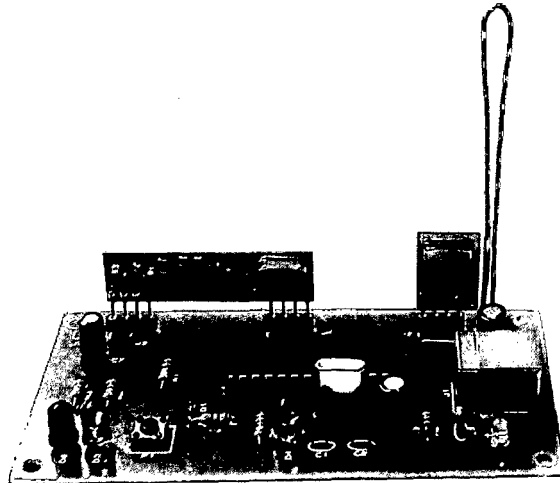
Figura 4.24 Estación de Control implementado.



Fuente: Elaborado por el investigador.

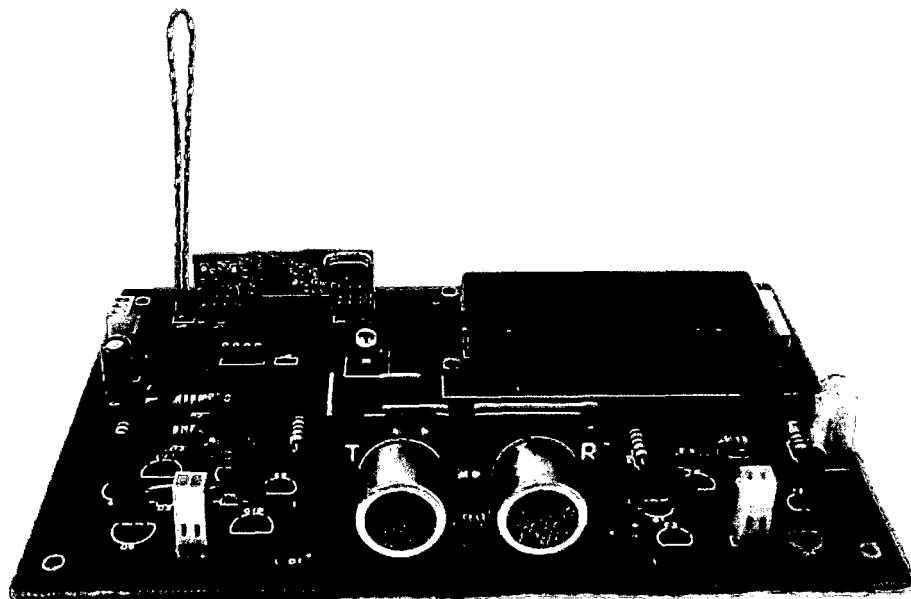
Figura 4.25 Sistema Móvil implementado.

El prototipo final del sistema que se utilizó para realizar las pruebas experimentales; está conformado por la Estación de Control y Sistema Móvil, cuenta con los circuitos impresos implementado en fibra de vidrio para el circuito de transmisión que se muestra en la figura 4.26 y para el circuito de recepción que se observa en la figura 4.27.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.26 Tarjeta de circuito impreso del Circuito Transmisor.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.27 Tarjeta de circuito impreso del Circuito Receptor.

Pruebas de funcionamiento del sistema

En la figura 4.28, se muestra el sistema implementado completo, para el “CONTROL EFICAZ DE UN ROBOT MÓVIL, UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA”; sobre el cual se realizaron las 25 pruebas experimentales.

Procesamiento y Presentación de Resultados de la Variable Independiente

Para la variable independiente comunicación inalámbrica, al realizar las pruebas experimentales se observó que en la prueba N° 4 y en prueba N° 9 no hubo una comunicación entre el circuito transmisor y el circuito receptor, debido a que la batería recargable de su fuente de alimentación se descargó, no pudiendo alimentarse adecuadamente el circuito. Los datos obtenidos en las pruebas realizadas sobre la comunicación inalámbrica para el control de movimiento del robot móvil, se muestran en las tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.28 Sistema de Control Eficaz del robot móvil.

Procesamiento y Presentación de Resultados de la Variable Dependiente

El procesamiento de los datos obtenidos en las pruebas realizadas a la variable dependiente: control eficaz de un robot móvil, respecto a su movimiento: Avanza,

retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y sin movimiento (parado), se muestran desde la tabla 4.16 a la tabla 4.22.

Tabla 4.6 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden avanza al robot.

Movimiento avanza del Robot Móvil									
Pruebas	Nº		1	2	3	4	5	6	7
	Fecha y Hora	Items	¿A través del aplicativo de LabView, luego de hacer clic en el icono correspondiente, la PC transmite vía USB automáticamente el equivalente digital del movimiento avanza al Circuito Transmisor?	¿En la PC, a través del aplicativo de LabView se grafica y visualiza automáticamente el equivalente digital del movimiento avanza?	¿El Circuito Transmisor, recibe automáticamente el equivalente digital del movimiento avanza?	¿El Circuito Transmisor, convierte a formato RS232 y transmite automáticamente el equivalente digital del movimiento avanza al Módulo Transmisor de RF?	¿El Módulo Transmisor de RF, modula en ASK y transmite automáticamente el equivalente digital del movimiento avanza al Módulo Receptor de RF?	¿El Módulo Receptor de RF, demodula en ASK y recibe automáticamente el equivalente digital del movimiento avanza del Robot Móvil?	¿El Módulo Receptor, visualiza en el LCD y acciona automáticamente la orden para movimiento avanza del Robot Móvil?
1	10/01/13 08:00:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	10/01/13 08:03:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	10/01/13 08:06:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	10/01/13 08:09:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	10/01/13 08:12:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	10/01/13 08:15:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	10/01/13 08:18:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	10/01/13 08:21:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	10/01/13 08:24:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	10/01/13 08:27:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11	10/01/13 08:30:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12	10/01/13 08:33:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
13	10/01/13 08:36:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	10/01/13 08:39:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	10/01/13 08:42:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	10/01/13 08:45:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17	10/01/13 08:48:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	10/01/13 08:51:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
19	10/01/13 08:54:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20	10/01/13 08:57:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
21	10/01/13 09:00:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	10/01/13 09:03:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
23	10/01/13 09:06:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
24	10/01/13 09:09:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
25	10/01/13 09:12:00	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.7 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden retrocede al robot.

Movimiento retrocede del Robot Móvil									
Pruebas	Nº	Items	8	9	10	11	12	13	14
			¿A través del aplicativo de LabView, luego de hacer clic en el icono correspondiente, la PC transmite vía la USB automáticamente el equivalente digital del movimiento retrocede al Circuito Transmisor?	¿En la PC, a través del aplicativo de LabView se grafica y visualiza automáticamente el equivalente digital del movimiento retrocede?	¿El Circuito Transmisor, recibe automáticamente el equivalente digital del movimiento retrocede?	¿El Circuito Transmisor, convierte a formato RS232 y transmite automáticamente el equivalente digital del movimiento retrocede al Módulo Transmisor de RF?	¿El Módulo Transmisor de RF, modula en ASK y transmite automáticamente el equivalente digital del movimiento retrocede al Módulo Receptor de RF?	¿El Módulo Receptor de RF, demodula en ASK y recibe automáticamente el equivalente digital del movimiento retrocede del Robot Móvil?	¿El Módulo Receptor, visualiza en el LCD y acciona automáticamente la orden para movimiento retrocede del Robot Móvil?
1	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	No							
2	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:03:00	No							
3	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:05:00	No							
4	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:08:00	No							
5	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:12:00	No							
6	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:15:00	No							
7	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:18:00	No							
8	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:21:00	No							
9	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:24:00	No							
10	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:27:00	No							
11	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:30:00	No							
12	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:33:00	No							
13	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:36:00	No							
14	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:39:00	No							
15	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:42:00	No							
16	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:45:00	No							
17	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:48:00	No							
18	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:51:00	No							
19	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:54:00	No							
20	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:57:00	No							
21	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:00:00	No							
22	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:03:00	No							
23	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:06:00	No							
24	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:09:00	No							
25	11/01/13	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:12:00	No							

Tabla 4.8 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden movimiento a la derecha.

Movimiento a la derecha del Robot Móvil									
N°		15	16	17	18	19	20	21	
Pruebas	Items	¿A través del aplicativo de LabView, luego de hacer clic en el icono correspondiente, la PC transmite a la USB automáticamente el equivalente digital del movimiento a la derecha al Circuito Transmisor?	¿En la PC, a través del aplicativo de LabView se genera y visualiza automáticamente el equivalente digital del movimiento a la derecha?	¿El Circuito Transmisor, recibe automáticamente el equivalente digital del movimiento a la derecha?	¿El Circuito Transmisor, transmite a través de RS232 y transmite automáticamente el equivalente digital del movimiento a la derecha al Módulo Transmisor de RF?	¿El Módulo Transmisor de RF, transmite automáticamente el equivalente digital del movimiento a la derecha al Módulo Receptor de RF?	¿El Módulo Receptor de RF, transmite automáticamente el equivalente digital del movimiento a la derecha al Robot Móvil?	¿El Módulo Receptor, visualiza en el LCD y acciona automáticamente la orden para movimiento a la derecha del Robot Móvil?	
1	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
13	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
19	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
21	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
23	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
24	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
25	12/01/13 Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.9 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden movimiento a la izquierda.

Nº		Movimiento a la izquierda del Robot Móvil							
Pruebas	Fecha y Hora	22	23	24	25	26	27	28	
		¿A través del aplicativo de LabView, luego de hacer clic en el botón correspondiente, la PC transmite vía USB automáticamente al equipo digital el movimiento a la izquierda al Circuito Transmisor?	¿En la PC, a través del aplicativo de LabView se genera y visualiza automáticamente al equipo digital el movimiento a la izquierda al Circuito Transmisor?	¿El Circuito Transmisor, recibe automáticamente al equipo digital el movimiento a la izquierda al Circuito Transmisor?	¿El Circuito Transmisor, convierte a formato RS232 y transmite automáticamente al equipo digital el movimiento a la izquierda al Módulo Transmisor de RF?	¿El Módulo Transmisor de RF, transmite automáticamente al equipo digital el movimiento a la izquierda al Módulo Receptor de RF?	¿El Módulo Receptor de RF, demodula en ASK y recibe automáticamente al equipo digital el movimiento a la izquierda al Módulo Receptor de RF?	¿El Módulo Receptor, visualiza en el LCD y acciona automáticamente la orden para movimiento a la izquierda del Robot Móvil?	
1	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2	10:03:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
4	10:06:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
5	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
6	10:12:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
7	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
8	10:18:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
9	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
10	10:24:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
11	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
12	10:30:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
13	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
14	10:36:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
15	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
16	10:42:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
17	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
18	10:48:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
19	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
20	10:54:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
21	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
22	11:00:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
23	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
24	11:06:00 No	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
25	13/07/13 SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Tabla 4.10 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden giro a la derecha.

Pruebas	Fecha y Hora	Items	Movimiento giro a la derecha del Robot Móvil					
			29	30	31	32	33	34
1	14/07/13 SI	¿A través del aplicativo de LabView, luego de hacer clic en el icono correspondiente, la PC transmite vía USB automáticamente el código de la dirección del movimiento giro a la derecha al Circuito Transmisor?	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	14/07/13 SI			✓	✓	✓	✓	✓
3	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
11	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
12	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
13	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
17	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
19	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
20	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
21	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
23	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
24	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
25	14/07/13 SI		✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.11 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden giro a la izquierda.

Movimiento giro a la izquierda del Robot Móvil										
Pruebas	Nº	Fecha y Hora	Ítem	36	37	38	39	40	41	42
				¿A través del aplicativo de LabView, luego de hacer clic en el ícono correspondiente, la PC transmite vía USB automáticamente el equivalente digital del movimiento giro a la izquierda al Circuito Transmisor?	¿En la PC, a través del aplicativo de LabView se grafica y visualiza automáticamente el equivalente digital del movimiento giro a la izquierda?	¿El Circuito Transmisor, recibe automáticamente el equivalente digital del movimiento giro a la izquierda?	¿El Circuito Transmisor, convierte a formato RS232 y transmite automáticamente el equivalente digital del movimiento giro a la izquierda al Módulo Transmisor de RF?	¿El Módulo Transmisor de RF, modula en ASK y transmite automáticamente el equivalente digital del movimiento giro a la izquierda al Módulo Receptor?	¿El Módulo Receptor de RF, demodula en ASK y recibe automáticamente el equivalente digital del movimiento giro a la izquierda del Robot Móvil?	¿Módulo Receptor, visualiza en el LCD y acciona automáticamente la orden para movimiento giro a la izquierda del Robot Móvil?
1	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	Ne								
2	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:03:00	Ne								
3	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:06:00	Ne								
4	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:09:00	Ne								
5	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:12:00	Ne								
6	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:15:00	Ne								
7	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:18:00	Ne								
8	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:21:00	No								
9	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:24:00	No								
10	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:27:00	No								
11	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:30:00	No								
12	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:33:00	No								
13	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:36:00	No								
14	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:39:00	No								
15	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:42:00	No								
16	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:45:00	No								
17	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:48:00	Ne								
18	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:51:00	No								
19	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:54:00	Ne								
20	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10:57:00	No								
21	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:00:00	Ne								
22	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:03:00	Ne								
23	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:06:00	No								
24	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:09:00	Ne								
25	15/01/13	Si		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11:12:00	Ne								

Tabla 4.12 Resultados obtenidos de las pruebas de la comunicación inalámbrica, cuando se envía la orden sin movimiento (parado).

Pruebas		Fecha y Hora		Sin movimiento (parado) el Robot Móvil									
Pruebas		Fecha y Hora		43	44	45	46	47	48	49	50		
				¿A través del aplicativo de LabView, luego de hacer clic en el ícono correspondiente, la PC transmite a la USB automáticamente el equivalente digital sin movimiento al Circuito Transmisor?	¿En la PC, a través del aplicativo de LabView se genera y visualiza automáticamente el equivalente digital sin movimiento?	¿El Circuito Transmisor, recepción automáticamente el equivalente digital sin movimiento?	¿El Circuito Transmisor, convierte a formato RS232 y transmite automáticamente el equivalente digital sin movimiento al Módulo Transmisor de RF?	¿El Módulo Transmisor de RF, modula en ASK y transmite automáticamente el equivalente digital sin movimiento al Módulo Receptor de RF?	¿El Módulo Receptor de RF, demodula en ASK y recibe automáticamente el equivalente digital sin movimiento del Robot Móvil?	¿Módulo Receptor, visualiza en el LCD y acciona automáticamente la orden sin movimiento del Robot Móvil?			
1		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
2		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
3		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
4		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
5		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
6		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
7		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
8		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
9		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
10		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
11		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
12		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
13		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
14		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
15		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
16		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
17		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
18		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
19		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
20		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
21		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
22		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
23		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
24		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
25		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
26		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
27		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
28		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
29		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
30		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
31		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
32		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
33		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
34		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
35		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
36		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
37		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
38		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
39		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
40		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
41		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
42		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
43		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
44		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
45		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
46		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
47		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
48		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
49		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
50		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
51		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
52		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
53		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
54		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
55		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
56		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
57		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
58		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
59		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
60		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
61		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
62		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
63		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
64		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
65		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
66		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
67		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
68		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
69		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
70		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
71		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
72		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
73		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
74		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
75		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
76		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
77		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
78		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
79		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
80		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
81		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
82		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
83		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
84		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
85		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
86		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
87		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
88		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
89		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
90		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
91		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
92		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
93		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
94		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
95		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
96		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
97		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
98		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
99		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
100		18/07/13	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

Tabla 4.13 Procesamiento de los datos para la variable independiente: Comunicación inalámbrica.

	Pruebas																								
Ítems	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
2	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
4	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
5	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
6	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
7	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
8	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
9	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
10	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
11	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
12	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
13	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
14	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
15	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
16	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
17	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
18	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
19	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
20	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
21	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
22	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
23	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
24	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Tabla 4.14 Procesamiento de los datos para la Variable Independiente: Comunicación inalámbrica. (continuación).

Ítems	Pruebas																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
25	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
26	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
27	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
28	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
29	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
30	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
31	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
32	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
33	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
34	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
35	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
36	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
37	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
38	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
39	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
40	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
41	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
42	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
43	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
44	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
45	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
46	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
47	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
48	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
49	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Tabla 4.15 Procesamiento obtenido de los datos de la Variable Independiente: Comunicación inalámbrica.

Resultados	Pruebas												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Si	49	49	49	48	49	49	49	49	48	49	49	49	49
No	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Promedio	1	1	1	0.9795	1	1	1	1	0.9795	1	1	1	1
Efectividad	100%	100%	100%	97.95%	100%	100%	100%	100%	97.95%	100%	100%	100%	100%

Resultados	Pruebas												Total
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Si	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	
No	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Promedio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9983
Efectividad	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99.83%

Tabla 4.16 Resultados obtenidos de las pruebas experimentales del control de movimiento, cuando el robot móvil avanza.

Robot Móvil Avanza			
N°			1
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿El microcontrolador ejecuta la orden avanzar el Robot Móvil y acciona automáticamente el circuito driver del motor de traccion con giro horario?
1	10/01/13	Si	✓
	09:00:00	No	
2	10/01/13	Si	✓
	09:03:00	No	
3	10/01/13	Si	✓
	09:06:00	No	
4	10/01/13	Si	✓
	09:09:00	No	
5	10/01/13	Si	✓
	09:12:00	No	
6	10/01/13	Si	✓
	09:15:00	No	
7	10/01/13	Si	✓
	09:18:00	No	
8	10/01/13	Si	✓
	09:21:00	No	
9	10/01/13	Si	✓
	09:24:00	No	
10	10/01/13	Si	✓
	09:27:00	No	
11	10/01/13	Si	✓
	09:30:00	No	
12	10/01/13	Si	✓
	09:33:00	No	
13	10/01/13	Si	✓
	09:36:00	No	
14	10/01/13	Si	✓
	09:39:00	No	
15	10/01/13	Si	✓
	09:42:00	No	
16	10/01/13	Si	✓
	09:45:00	No	
17	10/01/13	Si	✓
	09:48:00	No	
18	10/01/13	Si	✓
	09:51:00	No	
19	10/01/13	Si	✓
	09:54:00	No	
20	10/01/13	Si	✓
	09:57:00	No	
21	10/01/13	Si	✓
	10:00:00	No	
22	10/01/13	Si	✓
	10:03:00	No	
23	10/01/13	Si	✓
	10:06:00	No	
24	10/01/13	Si	✓
	10:09:00	No	
25	10/01/13	Si	✓
	10:12:00	No	

Tabla 4.17 Resultados obtenidos de las pruebas experimentales del control de movimiento, cuando el robot móvil retrocede.

Robot móvil retrocede			
N°			2
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿El microcontrolador ejecuta la orden retrocede el robot móvil y acciona automáticamente el circuito driver del motor de traccion con giro antihorario?
1	11/01/13	Si	✓
	10:00:00	No	
2	11/01/13	Si	✓
	10:03:00	No	
3	11/01/13	Si	✓
	10:06:00	No	
4	11/01/13	Si	✓
	10:09:00	No	
5	11/01/13	Si	✓
	10:12:00	No	
6	11/01/13	Si	✓
	10:15:00	No	
7	11/01/13	Si	✓
	10:18:00	No	
8	11/01/13	Si	✓
	10:21:00	No	
9	11/01/13	Si	✓
	10:24:00	No	
10	11/01/13	Si	✓
	10:27:00	No	
11	11/01/13	Si	✓
	10:30:00	No	
12	11/01/13	Si	✓
	10:33:00	No	
13	11/01/13	Si	✓
	10:36:00	No	
14	11/01/13	Si	✓
	10:39:00	No	
15	11/01/13	Si	✓
	10:42:00	No	
16	11/01/13	Si	✓
	10:45:00	No	
17	11/01/13	Si	✓
	10:48:00	No	
18	11/01/13	Si	✓
	10:51:00	No	
19	11/01/13	Si	✓
	10:54:00	No	
20	11/01/13	Si	✓
	10:57:00	No	
21	11/01/13	Si	✓
	11:00:00	No	
22	11/01/13	Si	✓
	11:03:00	No	
23	11/01/13	Si	✓
	11:06:00	No	
24	11/01/13	Si	✓
	11:09:00	No	
25	11/01/13	Si	✓
	11:12:00	No	

Tabla 4.18 Resultados obtenidos de las pruebas experimentales del control de movimiento, cuando el robot va a la derecha.

Robot móvil a la derecha			
N°			3
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿El microcontrolador ejecuta la orden gira a la derecha el robot móvil, accionando automáticamente los circuitos drivers de los motores de tracción y dirección con giro horario por los 255 ms programado?
1	12/01/13	Si	✓
	10:00:00	No	
2	12/01/13	Si	✓
	10:03:00	No	
3	12/01/13	Si	✓
	10:06:00	No	
4	12/01/13	Si	✓
	10:09:00	No	
5	12/01/13	Si	✓
	10:12:00	No	
6	12/01/13	Si	✓
	10:15:00	No	
7	12/01/13	Si	✓
	10:18:00	No	
8	12/01/13	Si	✓
	10:21:00	No	
9	12/01/13	Si	✓
	10:24:00	No	
10	12/01/13	Si	✓
	10:27:00	No	
11	12/01/13	Si	✓
	10:30:00	No	
12	12/01/13	Si	✓
	10:33:00	No	
13	12/01/13	Si	✓
	10:36:00	No	
14	12/01/13	Si	✓
	10:39:00	No	
15	12/01/13	Si	✓
	10:42:00	No	
16	12/01/13	Si	✓
	10:45:00	No	
17	12/01/13	Si	✓
	10:48:00	No	
18	12/01/13	Si	✓
	10:51:00	No	
19	12/01/13	Si	✓
	10:54:00	No	
20	12/01/13	Si	✓
	10:57:00	No	
21	12/01/13	Si	✓
	11:00:00	No	
22	12/01/13	Si	✓
	11:03:00	No	
23	12/01/13	Si	✓
	11:06:00	No	
24	12/01/13	Si	✓
	11:09:00	No	
25	12/01/13	Si	✓
	11:12:00	No	

Tabla 4.19 Resultados obtenidos de las pruebas experimentales del control de movimiento, cuando el robot va a la izquierda.

Robot móvil a la izquierda			
Pruebas	N°		4
	Fecha	Hora	¿El microcontrolador ejecuta la orden gira a la izquierda el robot móvil, accionando automáticamente el circuito driver del motor de tracción con giro horario y el circuito driver del motor de dirección con giro antihorario por los 255 ms programado?
1	13/01/13	Si	✓
	10:00:00	No	
2	13/01/13	Si	✓
	10:03:00	No	
3	13/01/13	Si	✓
	10:06:00	No	
4	13/01/13	Si	✓
	10:09:00	No	
5	13/01/13	Si	✓
	10:12:00	No	
6	13/01/13	Si	✓
	10:15:00	No	
7	13/01/13	Si	✓
	10:18:00	No	
8	13/01/13	Si	✓
	10:21:00	No	
9	13/01/13	Si	✓
	10:24:00	No	
10	13/01/13	Si	✓
	10:27:00	No	
11	13/01/13	Si	✓
	10:30:00	No	
12	13/01/13	Si	✓
	10:33:00	No	
13	13/01/13	Si	✓
	10:36:00	No	
14	13/01/13	Si	✓
	10:39:00	No	
15	13/01/13	Si	✓
	10:42:00	No	
16	13/01/13	Si	✓
	10:45:00	No	
17	13/01/13	Si	✓
	10:48:00	No	
18	13/01/13	Si	✓
	10:51:00	No	
19	13/01/13	Si	✓
	10:54:00	No	
20	13/01/13	Si	✓
	10:57:00	No	
21	13/01/13	Si	✓
	11:00:00	No	
22	13/01/13	Si	✓
	11:03:00	No	
23	13/01/13	Si	✓
	11:06:00	No	
24	13/01/13	Si	✓
	11:09:00	No	
25	13/01/13	Si	✓
	11:12:00	No	

Tabla 4.20 Resultados obtenidos de las pruebas experimentales del control de movimiento, cuando el robot móvil realiza giro a la derecha.

Robot móvil realiza giro a la derecha			
N°			5
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿El microcontrolador ejecuta la orden giros hacia la derecha del robot móvil, accionando automáticamente los circuitos drivers de los motores de tracción y dirección con giro horario por los 75 ms programado?
1	14/01/13	Si	✓
	10:00:00	No	
2	14/01/13	Si	✓
	10:03:00	No	
3	14/01/13	Si	✓
	10:06:00	No	
4	14/01/13	Si	✓
	10:09:00	No	
5	14/01/13	Si	✓
	10:12:00	No	
6	14/01/13	Si	✓
	10:15:00	No	
7	14/01/13	Si	✓
	10:18:00	No	
8	14/01/13	Si	✓
	10:21:00	No	
9	14/01/13	Si	✓
	10:24:00	No	
10	14/01/13	Si	✓
	10:27:00	No	
11	14/01/13	Si	✓
	10:30:00	No	
12	14/01/13	Si	✓
	10:33:00	No	
13	14/01/13	Si	✓
	10:36:00	No	
14	14/01/13	Si	✓
	10:39:00	No	
15	14/01/13	Si	✓
	10:42:00	No	
16	14/01/13	Si	✓
	10:45:00	No	
17	14/01/13	Si	✓
	10:48:00	No	
18	14/01/13	Si	✓
	10:51:00	No	
19	14/01/13	Si	✓
	10:54:00	No	
20	14/01/13	Si	✓
	10:57:00	No	
21	14/01/13	Si	✓
	11:00:00	No	
22	14/01/13	Si	✓
	11:03:00	No	
23	14/01/13	Si	✓
	11:06:00	No	
24	14/01/13	Si	✓
	11:09:00	No	
25	14/01/13	Si	✓
	11:12:00	No	

Tabla 4.21 Resultados obtenidos de las pruebas experimentales del control de movimiento, cuando el robot móvil realiza giro a la izquierda.

Robot móvil realiza giro a la izquierda			
N°			6
Pruebas	Fecha Hora	Items	¿El microcontrolador ejecuta la orden giros hacia la izquierda del robot móvil, accionando automáticamente el circuito driver del motor de tracción con giro horario y el circuito driver del motor de dirección con giro antihorario por los 75 ms programado?
1	15/01/13	Si	✓
	10:00:00	No	
2	15/01/13	Si	✓
	10:03:00	No	
3	15/01/13	Si	✓
	10:06:00	No	
4	15/01/13	Si	
	10:09:00	No	✓
5	15/01/13	Si	✓
	10:12:00	No	
6	15/01/13	Si	✓
	10:15:00	No	
7	15/01/13	Si	✓
	10:18:00	No	
8	15/01/13	Si	✓
	10:21:00	No	
9	15/01/13	Si	
	10:24:00	No	✓
10	15/01/13	Si	✓
	10:27:00	No	
11	15/01/13	Si	✓
	10:30:00	No	
12	15/01/13	Si	✓
	10:33:00	No	
13	15/01/13	Si	✓
	10:36:00	No	
14	15/01/13	Si	✓
	10:39:00	No	
15	15/01/13	Si	✓
	10:42:00	No	
16	15/01/13	Si	✓
	10:45:00	No	
17	15/01/13	Si	✓
	10:48:00	No	
18	15/01/13	Si	✓
	10:51:00	No	
19	15/01/13	Si	✓
	10:54:00	No	
20	15/01/13	Si	✓
	10:57:00	No	
21	15/01/13	Si	✓
	11:00:00	No	
22	15/01/13	Si	✓
	11:03:00	No	
23	15/01/13	Si	✓
	11:06:00	No	
24	15/01/13	Si	✓
	11:09:00	No	
25	15/01/13	Si	✓
	11:12:00	No	

Tabla 4.22 Resultados obtenidos de las pruebas experimentales del control de movimiento, cuando el robot móvil no realiza movimiento (parado).

Robot móvil sin movimiento (parado)			
N°			7
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿El microcontrolador ejecuta la orden detener el robot móvil, accionando automáticamente el circuito driver driver del motor de traccion sin giro?
1	16/01/13	Si	✓
	10:00:00	No	
2	16/01/13	Si	✓
	10:03:00	No	
3	16/01/13	Si	✓
	10:06:00	No	
4	16/01/13	Si	✓
	10:09:00	No	
5	16/01/13	Si	✓
	10:12:00	No	
6	16/01/13	Si	✓
	10:15:00	No	
7	16/01/13	Si	✓
	10:18:00	No	
8	16/01/13	Si	✓
	10:21:00	No	
9	16/01/13	Si	✓
	10:24:00	No	
10	16/01/13	Si	✓
	10:27:00	No	
11	16/01/13	Si	✓
	10:30:00	No	
12	16/01/13	Si	✓
	10:33:00	No	
13	16/01/13	Si	✓
	10:36:00	No	
14	16/01/13	Si	✓
	10:39:00	No	
15	16/01/13	Si	✓
	10:42:00	No	
16	16/01/13	Si	✓
	10:45:00	No	
17	16/01/13	Si	✓
	10:48:00	No	
18	16/01/13	Si	✓
	10:51:00	No	
19	16/01/13	Si	✓
	10:54:00	No	
20	16/01/13	Si	✓
	10:57:00	No	
21	16/01/13	Si	✓
	11:00:00	No	
22	16/01/13	Si	✓
	11:03:00	No	
23	16/01/13	Si	✓
	11:06:00	No	
24	16/01/13	Si	✓
	11:09:00	No	
25	16/01/13	Si	✓
	11:12:00	No	

Tabla 4.23 Procesamiento de los datos de la variable dependiente: Control eficaz.

	Pruebas												
Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
2	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
4	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
5	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
6	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
7	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7
No	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Promedio	1	1	1	0.8571	1	1	1	1	0.8571	1	1	1	1
Efectividad	100%	100%	100%	85.71%	100%	100%	100%	100%	85.71%	100%	100%	100%	100%

	Pruebas												
Items	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
2	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
3	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
4	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
5	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
6	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
7	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
Si	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Total
No	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Promedio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9885
Efectividad	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98.85%

Fuente: Elaborado por el investigador.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para iniciar la investigación se ha aplicado la llamada pre prueba (25 veces en momentos diferentes) a la variable dependiente de control eficaz de un robot móvil, respecto al control de su movimiento; habiéndose evaluado el comportamiento del control de movimiento: Avanza, retrocede, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado. Observándose de acuerdo a los resultados que las variables de control de movimiento: Avanza, retrocede; debido a que no se realizan movimientos rectos y algunas veces se excedían casi girando 360°. Asimismo; los movimientos, gira a la derecha y gira a la izquierda del robot tampoco eran bien controlados, porque el móvil no realiza giros de por lo menos 90° en sentido horario o sentido antihorario. De acuerdo a este análisis podemos afirmar que este control lo que pretende es que el móvil realice el movimiento no importando claramente su control del mismo.

Finalmente se puede señalar que el móvil realiza los movimientos: avanza, retrocede, gira a la derecha, gira a la izquierda y parado, sin un criterio de control, sino; que simplemente este se desplace.

Habiéndose implementado la variable independiente (sistema de comunicación inalámbrico) se procedió a aplicar las pruebas (25 veces en momentos diferentes), evaluándose a la variable independiente y la dependiente. Las evaluaciones de dichas variables se realizaron en simultáneo, observándose de acuerdo a los resultados que en la prueba N° 4 y la prueba N° 9 del ítem 28, no se pudo realizar la comunicación entre el módulo transmisor RF y el módulo receptor de RF debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil, falla que no depende de sistema de comunicación inalámbrica pero igualmente fue considerado, tomándose en cuenta los 49 ítems de pruebas. Concluyéndose de acuerdo a la tabla 4.24 que el sistema de comunicación inalámbrica tiene un promedio de rendimiento del 99,83%, con una desviación estándar de 0.56 que significa que los valores son muy homogéneos.

En la evaluación del control eficaz, se pudo observar en la prueba N° 4 y la prueba N° 9 del ítem 6; no se pudo ejecutar las ordenes debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil, pudiéndose concluir de acuerdo a la tabla 4.24 que el promedio del control eficaz del robot móvil es del 98,85 % con una desviación estándar de 3.95 lo que indica que los valores son relativamente homogéneos.

Validando la Hipótesis

Para validar la hipótesis, se ha utilizado la prueba estadística del coeficiente de correlación "r" de Pearson; teniendo como hipótesis de trabajo lo siguiente:

H₀: No existe relación ($H_0=0$)

H₁: Existe una fuerte correlación positiva lineal, entre el sistema de Comunicación Inalámbrica y el Control Eficaz de las variables para el control de movimiento del robot móvil ($H_1>0$).

Esta evaluación se realizó con un nivel de confianza del 95%, que fue el valor utilizado para realizar el cálculo de la muestra, que se muestra en la página 66.

Los resultados de la post prueba de la variable independiente y dependiente se muestra en la tabla 4.24, el cual se utiliza para obtener la ecuación y la gráfica correspondiente de la recta de regresión.

Tabla 4.24 Procesamiento de las pruebas de la variable independiente y dependiente.

Prueba	Comunicación Inalámbrica	Control Eficaz	x^2	y^2	xy
	x	y			
1	100	100	10000	10000	10000
2	100	100	10000	10000	10000
3	100	100	10000	10000	10000
4	97.95	85.71	9594.2025	7346.2041	8395.2945
5	100	100	10000	10000	10000
6	100	100	10000	10000	10000
7	100	100	10000	10000	10000
8	100	100	10000	10000	10000
9	97.95	85.71	9594.2025	7346.2041	8395.2945
10	100	100	10000	10000	10000
11	100	100	10000	10000	10000
12	100	100	10000	10000	10000
13	100	100	10000	10000	10000
14	100	100	10000	10000	10000
15	100	100	10000	10000	10000
16	100	100	10000	10000	10000
17	100	100	10000	10000	10000
18	100	100	10000	10000	10000
19	100	100	10000	10000	10000
20	100	100	10000	10000	10000
21	100	100	10000	10000	10000
22	100	100	10000	10000	10000
23	100	100	10000	10000	10000
24	100	100	10000	10000	10000
25	100	100	10000	10000	10000
Σ	2495.9	2471.42	249188.405	244692.408	246790.589
Promedio	99.8360	98.8568		b	a
Varianza	0.3222	15.6556		-4752.284	48.591
Desviación Estandar	0.5676	3.9567		Pearson	1.00

Fuente: Elaborado por el investigador.

$$r = \frac{N(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{[N(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2][N(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2]}}$$

$$r = \frac{25(246790.589) - (2495.9)(2471.42)}{\sqrt{[25(249188.405) - (2495.9)^2][25(244692.408) - (2471.42)^2]}}$$

$$r = 1.00$$

Sabiendo que la ecuación de la recta es: $y = a x + b$.

Hallando los parámetros "a" y "b" de la recta de regresión, según la ecuación.

$$y_R = \bar{y} + r \left(\frac{S_Y}{S_X} \right) x - r \left(\frac{S_Y}{S_X} \right) \bar{x}$$

$$y_R = 98.8568 + 1.00 \left(\frac{15.6556}{0.3222} \right) x - 1.00 \left(\frac{15.6556}{0.3222} \right) 99.8360$$

$$y_R = -4752.284 + 48.591x$$

De donde $a = 48.591$ y $b = -4752.284$

Por lo que la ecuación de la recta es: $y_R = 48.591x - 4752.284$

La representación se muestra en la figura 4.26. A partir de esta ecuación se puede predecir los valores de "y" a partir de los valores de "x", siempre teniendo en cuenta el error.

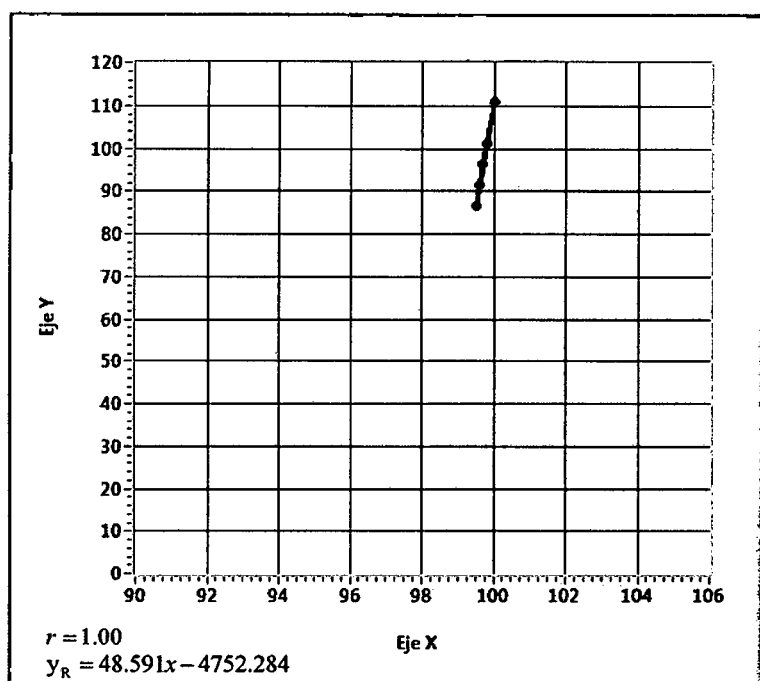
De acuerdo a la dirección y sentido de la recta, se puede afirmar que existe una fuerte correlación directa y positiva entre ambas variables.

Este resultado concuerda con el nivel de automatización centralizado empleado en la investigación, conforme afirma GARCÍA MORENO, Emilio citado en el capítulo II, por ocuparse de un proceso de control completo de carácter secuencial incluido en nuestro caso de control de movimiento del robot.

De acuerdo al cálculo del coeficiente de correlación "r" de Pearson, que fue obtenido con el valor de $r = 1.00 > 0$, este resultado nos demuestra que la relación entre la variable independiente y dependiente además de ser lineal, es una relación positiva muy fuerte, con lo que queda demostrado la hipótesis alterna H_1 que "si existe una relación lineal positiva entre el sistema de control inalámbrico y el control eficaz del robot móvil.

Finalmente este resultado nos confirma la evidencia que el control eficaz del robot móvil respecto su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado, etc.; está fuertemente relacionado con el sistema de comunicación inalámbrica; de tal manera que con el diseño,

programación e implementación sólida del sistema de comunicación inalámbrica, se asegura un control eficaz. En nuestro caso la hipótesis queda demostrada.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.29 Recta de regresión de la correlación entre la variable independiente y dependiente.

4.2. Discusión

Se ha demostrado que el sistema implementado el control de movimiento de un robot móvil mediante comunicación inalámbrica utilizando módulos de transmisión y recepción de RF, con modulación y demodulación ASK respectivamente, cumpliéndose así el objetivo planteado en la presente tesis y que están justificados por el aspecto social, tecnológico y económico.

Como toda investigación siempre es un precedente para desarrollar otro mejor, en nuestro caso el proyecto implementado tiene ventajas limitadas, claro, con posibilidades de mejorar y hacer más eficiente el funcionamiento. La información recibida consta solo de datos para el control de los motores, más no de video, que son importantes pero no suficientes para un buen enrutamiento del robot móvil.

Lo ideal sería compartir una información completa basada en datos numéricos y video confiable en tiempo real, sobre medio por donde se moverá el robot, para hacer esto posible el sistema debe contar con una cámara. Nuestro sistema tiene la posibilidad de dotarse de una cámara gracias a la herramienta Publishing Tools de LabView, pero no tenemos la posibilidad de publicar el contenido en un servidor, por no contar con una dirección IP pública en vista de que las operadoras de telefonía móvil no tienen habilitados este sistema en su plataforma de red.

En nuestro medio no hay muchas investigaciones sobre el uso de la telefonía móvil, como medio telemétrico, a pesar de contar con la tecnología; sin embargo se pueden desarrollarse innumerables aplicaciones en distintas áreas tales como agricultura, minería, seguridad y otros.

La motivación fundamental para el desarrollo de esta tesis es incentivar a muchos estudiantes e investigadores a desarrollar más aplicaciones utilizando esta tecnología por muchas razones entre ellas que no necesitamos implementar un sistema muy costoso y mucho más mantenerla, también por sus características de propagación y cobertura que facilita el acceso desde amplios espacios para diversas aplicaciones que solucionarían diversos problemas en la vida diaria de las personas.

CONCLUSIONES

1. Se utilizó como medio de comunicación alámbrica para conectar la Laptop con el módulo transmisor, un cable adecuado para el puerto USB. Así mismo se conoció sobre la Numeración VIP&PID del puerto USB, proporcionado por la compañía Microchip, que pueden ser: VID_04D8&PID_000B, VID_04D8&PID_000C, VID_04D8&PID_01F0, VID_04D8&PID_01F1, VID_04D8&PID_01F2, VID_04D8&PID_01F3, VID_04D8&PID_01F4, VID_04D8&PID_01F5, VID_04D8&PID_0010, el cual permite la conexión y comunica el módulo PC con el módulo transmisor, utilizando el método de transferencia Bulk.
2. Se ha obtenido conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas RF (radio frecuencia) con modulación/demodulación ASK, y cada una de las partes que interactúan en estos. Se utilizó el módulo transmisor de RF ST-TX01-ASK de SUMMITEK que tiene una potencia de salida de 8mW (de 4 a 16dBm) a 315 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps y el módulo receptor de RF ST-RX04-ASK de SUMMITEK que tiene una sensibilidad de 3 uV, trabajando a una frecuencia de 315 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps.
3. Se aplicó 25 pruebas de 49 ítems (en momentos diferentes) a la variable independiente: Comunicación inalámbrica y 25 pruebas de 7 ítems a la variable dependiente: Control eficaz. Las evaluaciones de dichas variables se realizaron en simultáneo, observándose de acuerdo a los resultados que en la prueba N° 4 y la prueba N° 9 del ítem 28, no se pudo realizar la comunicación entre el módulo transmisor RF y el módulo receptor de RF debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil; falla que no depende del sistema de comunicación inalámbrica, pero igualmente fue considerado en el análisis. En la evaluación del control eficaz, se pudo observar que en la prueba N° 4 y la prueba N° 9 del ítems 6; no se pudo ejecutar las ordenes respecto al movimiento del robot, debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil; falla que no depende del sistema de control, pero igualmente fue considerado en el análisis. Por lo tanto se debe tener en cuenta los niveles de voltaje de las fuentes de alimentación, para lo cual se añadió vía software la detección de los mismos.

4. De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 4.24, el sistema de comunicación inalámbrica tiene un promedio de rendimiento del 99.83%, con una desviación estándar de 0.56; y el promedio del control eficaz del robot móvil es del 98.85 % con una desviación estándar de 3.95, lo que indica que los valores obtenidos en las pruebas realizadas para las variables, son relativamente homogéneos.
5. De acuerdo al cálculo del coeficiente de correlación "r" de Pearson, que fue obtenido con el valor de $r = 1.00 > 0$, este resultado nos demuestra que la relación entre la variable independiente y dependiente además de ser lineal, es una relación positiva muy fuerte, con lo que queda demostrado la hipótesis alterna H_1 que "si existe una relación lineal positiva entre el sistema de control inalámbrico y el control eficaz del robot móvil; con lo cual se comprueba el control eficaz del robot, respecto a su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado; utilizando comunicación inalámbrica.
6. Un buen diseño lleva un estudio minucioso de cada una de las partes que lo componen, tales como mecánica, eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, en esta investigación se adquirió conocimientos de otras especialidades diferentes a la ingeniería electrónica, sobre temas relacionados al proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Se debe utilizar la Numeración VIP&PID del puerto USB, proporcionado por el fabricante, para una correcta conexión del prototipo y la PC.
2. Se debe trabajar con módulos de RF (radio frecuencia), de mejores prestaciones, los cuales pueden ser configurados y probados con su propio software, como la tecnología Zigbee de los fabricantes Xbee, Microchip, Texas Instruments, entre otros.
3. Configurar Labview para que se pueda controlar mediante teclado o Joystick, para el caso que fuera Joystick esto permitiría un control más fino sobre la trayectoria a realizar y posición del robot móvil.
4. Para dar más complejidad al proyecto, se está considerando instalar una cámara de visión remota.
5. Diseño definitivo del robot e implementación de la estructura mecánica, que cumplan con requisitos mínimos, según estándares internacionales.
6. Para otras aplicaciones y teniendo presente la disponibilidad de los componentes electrónicos en el mercado nacional, se debe realizar un estudio sobre las características de los mismos para su mejor aplicación.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Ollero Baturone, Aníbal. ROBÓTICA MANIPULADORES Y ROBOTS MÓVILES. México: Alfaomega Grupo Editor S.A.; 2009.
- [2] García Breijo, Eduardo. COMPILADOR C CSS Y SIMULADOR PROTEUS PARA MICROCONTROLADORES PIC. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.; 2008.
- [3] Ogata Katsuhiko. INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA. México: Editorial Prentice Hall. Tercera Edición; 1998.
- [4] Smith Carlos A. y Corripio Armando B. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS. México: Limusa S.A. Primera Edición; 1991.
- [5] Kuo Benjamín C. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO. México: Prentice Hall Hispanoamérica S.A. Séptima Edición; 1996.
- [6] García Moreno, Emilio. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES. México: Alfaomega; 2000.
- [7] Wayne Tomasi. SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS. México: Pearson Educación. Segunda Edición; 1996.

- [URL1] <http://definicion.de/control/>, visitado el 16 de febrero de 2012.
- [URL2] <http://www.mitecnologico.com/main/principiosdelcontrol>, visitado el 16 de febrero de 2012.
- [URL3] http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?tipo_bus=3&lema=eficiencia, visitado el 16 de febrero de 2012.
- [URL4] <http://www.monografias.com/trabajos16/telecomunicaciones/tele.shtml>, visitado el 15 de enero de 2013.
- [URL5] <http://es.wikipedia.org/wiki/Telecomunicaci%C3%Bn>, visitado el 15 de enero de 2013.
- [URL6] http://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1brica, visitado el 16 de febrero de 2012.
- [URL7] <http://es.kioskea.net/contents/wireless/wpan.php3>, visitado el 16 de febrero de 2012.

CONTROL EFICAZ DE UN ROBOT MÓVIL, UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA EFFECTIVE CONTROL OF A MOBILE ROBOT, USING WIRELESS COMMUNICATION

Edwar Alexanders, Vidalon Diaz

Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de Huancavelica

Resumen—El presente trabajo de investigación titulado "CONTROL EFICAZ DE UN ROBOT MÓVIL, UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA"; surge, debido a que en los movimientos: Adelante, atrás, derecha, izquierda y parado; que realizan los robots móviles a control remoto, través de un mando tipo joystick, todos a una frecuencia de 27 MHz sin distinción alguna; no importa el control del móvil, sino que este realice simplemente su movimiento; planteándose el siguiente problema: ¿Cómo realizar el control eficaz a distancia de un robot móvil, respecto a su movimiento, utilizando comunicación inalámbrica?. El propósito es controlar a distancia el movimiento del robot móvil a través de un programa desarrollado en LabView, utilizando la computadora.

El prototipo implementado consta de dos partes: La Estación de Control y el Sistema Móvil. La Estación de Control está constituida por el módulo PC, el módulo transmisor y su fuente de alimentación. El Sistema Móvil está constituido por el módulo receptor y su fuente de alimentación, que consta de una batería recargable de Ni-Ca de 4.8 V/500 mA y otra batería de 6 V/1.3 AH. Se implementó el sistema de control a distancia del robot móvil para una frecuencia de 315 MHz e identificación propia, controlando su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado, mediante un puente H para el control del motor D.C. de dirección y del motor D.C. de tracción; realizándose las siguientes fases de diseño: Determinar la tecnología, así como la tecnología de comunicación inalámbrica para el enlace entre el robot móvil y la computadora. Se determinó que para el control de las variables, la tecnología de lógica programada utiliza el microcontrolador PIC18F2550 y que la tecnología de RF con modulación-demodulación ASK a 315MHz y 2400 baudios, permite el enlace entre el robot móvil y la computadora. Además se realizó el programa del microcontrolador utilizando el Compiler PCWHD CCS 4.128 y se programó con el grabador PickIt 2 para su implementación y comprobación respectiva.

El tipo de investigación es tecnológica, utiliza el método lógico inductivo-deductivo, y la técnica de experimentación, en la muestra que es el robot móvil tipo Ackerman (carro-juguete), en espacios exteriores e interiores de mi hogar y de la ciudad universitaria de la Escuela Académico Profesional de Electrónica. Utilizando el estadístico "r" de Pearson se comprobó la hipótesis.

Palabras clave: Comunicación inalámbrica, sistema de control, modulación-demodulación ASK, robot móvil, puerto USB, módulo transmisor/receptor de RF, sensor ultrasónico de distancia PING, microcontrolador PIC18F2550, PickIt 2, LabView, batería recargable de Ni-Ca, puente H, motor D.C., compiler PCWHD CCS.

ABSTRACT

The present titled investigation work "EFFECTIVE CONTROL OF A MOBILE ROBOT, USING WIRELESS COMMUNICATION"; you arises, because in the movements: Ahead, behind, right, left and stopped; that the mobile robots carry out to remote control, inclination of a control type joystick, all to a frequency of 27 MHz without distinction some; you doesn't care the control of the motive, but rather this you simply carries out your movement; thinking about the following problem: How to carry out the effective control at a mobile robot's distance, regarding your movement, using wireless communication?. is The purpose to control at distance the mobile robot's movement through a program developed in LabView, using the computer.

The implemented prototype consists of two parts: The Station of Control and the Mobile System. The Station of Control is constituted by the module PC, the module transmitter and your feeding source. The Mobile System is constituted by the receiving module and your feeding source that you consists of a rechargeable battery of Ni-Ca of 4.8 V/500 mA and another battery of 6 V/1.3 AH. The control system was implemented at the mobile robot's distance for a frequency of 315 MHz and own identification, controlling your movement: You advances, you goes back, right, left, turn to the right, turn to the left and stopped, by means of a bridge H for the control of the motor D.C. of address and of the motor D.C. of traction; being carried out the following design phases: To determine the technology, as well as the technology of wireless communication for the connection between the mobile robot and the computer. You was determined that for the control of the variables, the technology of programmed logic uses the microcontroller PIC18F2550 and that the technology of RF with modulation-demodulation ASK to 315MHz and 2400 bauds, allows the connection between the

mobile robot and the computer. You was also carried out the program of the microcontroller using the Compiler PCWHD CCS 4.128 and you was programmed with the recording PickIt 2 for your implementation and respective confirmation.

The investigation type is technological, you use the inductive-deductive logical method, and the experimentation technique, in the sample that is the robot mobile type Ackerman (car-toy), in external spaces and interiors of my home and of the university city of the School Professional Academic of Electronic. Using the statistical one "r" of Pearson he/she was proven the hypothesis.

Key words: Wireless communication, control system, modulation-demodulation ASK, mobile robot, port USB, module transceiver of RF, ultrasonic sensor of distance PING, microcontroller PIC16F2550, PicKit 2, LabView, rechargeable battery of Ni-Ca, bridge H, motor D.C., compiler PCWHD CCS.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene el propósito de poner al alcance de los estudiantes, información amplia sobre los microcontroladores de Microchip de la gama alta (PIC18F2550); así como sus herramientas de hardware y software que permitan la comprensión y el desarrollo de aplicaciones con estos microcontroladores, que sirven como punto de partida para continuar con familias superiores. Además, poner al alcance los circuitos implementados en campo: (1) Módulo transmisor, utilizado para enviar las órdenes de control de movimiento del robot móvil, mostrándose gráficamente la trayectoria recorrida; a través de un aplicativo desarrollado en LabView 2011; (2) Circuito de la fuente de alimentación del módulo transmisor; (3) Módulo receptor, que se encarga de recepcionar las órdenes enviadas desde el módulo transmisor para el control de movimiento del robot y (4) El circuito de la fuente de alimentación para el módulo receptor.

El sistema diseñado es esencialmente, un sistema digital basado en microprocesador orientado al control, que utiliza el microcontrolador PIC18F2550. Fue desarrollado a través de varias etapas. La primera, fue la recopilación de información, una labor ardua; obteniéndose información de los libros comprados y principalmente de Internet. En la segunda etapa, se procedió al estudio y análisis de la información recopilada. La mayor parte de esta información está contenida en los Capítulos 1, 2, y 3; así como también en los anexos de la presente tesis. La tercera etapa consistió en el diseño, rediseño y simulación a nivel hardware de los esquemas electrónicos del circuito de transmisión y del circuito de recepción, con el CAD electrónico Proteus 7.10; los diseños de los circuitos que funcionaron adecuadamente, se utilizaron en la implementación de las tarjetas de circuito impreso. La cuarta etapa, bastante laboriosa por cierto,

consistió en el desarrollo del software: Para los programas de los microcontroladores PIC18F2550 de los circuitos de transmisión y circuito de recepción; en la edición, depuración y compilación de se utilizó el Compiler PCWHD CCS 4.128 de CCS y se programó los microcontroladores con el grabador PicKit 2; y para el desarrollo del programa aplicativo de la Laptop se utilizó LabView 2011. Luego se realizó el diseño, fabricación, implementación y prueba final de las tarjetas de circuito impreso. Lo que encuentra contenido en el Capítulo 4. Finalmente como última etapa podemos señalar la toma de datos cuando se realizaron las pruebas a la variable independiente y dependiente; y la conclusión de la elaboración de la tesis.

Entre los antecedentes tenemos:

Tesis: "CONTROL DE UN ROBOT MÓVIL USANDO COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA". Presentado por Erinson Romero. Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela; noviembre de 2008.

"En el presente proyecto se describe el control de un robot móvil a través del computador usando comunicación por radio frecuencia (RF). Esto con el fin de controlar un vehículo móvil que sirve como medio educativo para la enseñanza y aprendizaje en el área de la robótica. Además de incentivo para aquellas personas que quieran incursionar en esta rama de la tecnología.

El desarrollo del proyecto está basado en utilizar un carro juguete perteneciente a una casa comercial. Está enfocado en dos partes; una referente al sistema móvil y otra a la estación de control. El sistema móvil está constituido por el chasis, un sensor óptico, dos motores de corriente continua y la tarjeta de control del vehículo, además del módulo de comunicación. La estación de control está comprendida por un sistema de supervisión y monitoreo, conformado por la PC y la tarjeta de comunicación.

La comunicación del vehículo es realizada por RF la cual permite trabajar tanto en espacios cerrados como en espacios limitados, a corta distancia, dependiendo del alcance de los módulos de RF".

Problema: Ante el crecimiento del uso de la robótica en la industria, educación, metalmecánica, agricultura, etc. en los países de Brasil y Argentina (América Latina) mientras que otros países y el Perú no figuran; que los robots móviles desarrollados para entornos abiertos son teleoperados y debido a que en los movimientos: Adelante, atrás, derecha, izquierda y parado; que realizan los robots móviles a control remoto, a través de un mando tipo joystick, todos a una frecuencia de 27 MHz sin distinción alguna; no importa el control del móvil, sino que este realice simplemente su movimiento. Por estas razones y habiendo muy poca investigación al respecto en nuestra región, se establece el trabajo de investigación solo en el control a distancia de un robot móvil, el cual es un juguete comercial con locomoción tipo Ackerman (se utiliza tal como está fabricado y no se interviene en la parte mecánica lo cual sería materia de otra tesis); en un espacio exterior y en las mejores condiciones climáticas. El control a distancia (teleoperado) del robot móvil, respecto a su movimiento es comandado por la acción del mouse a través de un programa aplicativo desarrollado en LabView 2011, utilizando comunicación inalámbrica de RF a 315 MHz con identificación propia, con una interfaz USB para la computadora; teniendo como objetivo principal el control de su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado, evitando cualquier obstáculo.

Hipótesis Específicas

- La tecnología de lógica programada es la adecuada para el control eficaz a distancia de un robot móvil, respecto a su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado.
- La tecnología RF-ASK permite el enlace adecuado entre el robot móvil y la computadora.

Objetivos Específicos

- Realizar el prototipo de un sistema de control con la tecnología que permita el control eficaz a distancia de un robot móvil respecto a su movimiento; avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado.

- Implementar la tecnología de comunicación inalámbrica que permite el enlace entre el robot móvil y la computadora.

Resultados: Se desarrolló el proyecto que consta de dos partes: la Estación de Control y el Sistema Móvil. La Estación de Control está constituida por el módulo PC, el módulo transmisor y su fuente de alimentación. El Sistema Móvil está constituido por el módulo receptor y su fuente de alimentación. Implementamos un sistema de control a distancia de un robot móvil respecto a su movimiento: adelante, atrás, derecha, izquierda y parada; cuyas fases fueron: determinar la tecnología para el control de las variables, así como la tecnología de comunicación inalámbrica para el enlace entre el robot móvil y la computadora. Determinándose que la tecnología de lógica programada utiliza el microcontrolador PIC18F2550 y que la tecnología de RF con modulación-demodulación ASK permite el enlace entre el robot móvil y la computadora. Además se realizó el programa del microcontrolador utilizando el Compiler PCWHDCCS 4.128 y se programó con el grabador PickIt 2 para su implementación y comprobación respectiva.

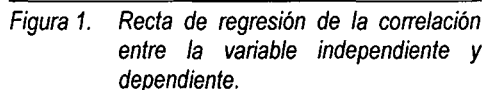
MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación es de tipo tecnológico, el método de investigación específico cuasi-experimental porque es el proceso de investigación que genera las condiciones necesarias y suficientes para medir y revelar las relaciones de los fenómenos que interesan a la investigación y el método particular es Telecomunicaciones. En la investigación se utiliza el diseño cuasi-experimental, para proporcionar la máxima cantidad de información pertinente al problema bajo investigación.

Para la recolección de datos usaremos como instrumento de control el sistema electrónico implementado, se realizará la prueba de funcionamiento del sistema de control remoto de a distancia, en campo y se hace el registro manual de datos de interés en una ficha de observación y registro automático con el aplicativo del Labview utilizando la herramienta Excel.

Finalmente los datos recolectados serán agrupados y estructurados con el único propósito de validar la hipótesis, utilizando el análisis cuantitativo se podrá analizar los datos estadísticos con la ayuda del software informático Excel, según los objetivos e hipótesis de la investigación realizada. Para la prueba de hipótesis se utiliza el estadístico "r" de Pearson y

2:



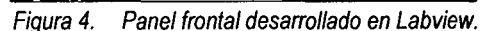
RESULTADOS

[illegible]

Estación de control: Es la encargada de supervisar y controlar el movimiento del robot desde la Laptop a través del aplicativo realizado en LabView con interface USB. Está constituido por el módulo PC, un módulo transmisor y el circuito de la fuente de alimentación, como se

Diagrama de la Estación de Control. El sistema incluye un Módulo Transmisor de RF conectado a una Antena. El transmisor está conectado a una Tarjeta de circuito impreso (PIC 16F358) y a un Cable Conector USB. El cable USB conecta el módulo con un Laptop. El Laptop muestra una interfaz de usuario en su pantalla. Un Mouse está conectado al Laptop.

Para la Estación de Control se desarrolló un programa aplicativo que controla y monitorea los movimientos del robot móvil, bajo la plataforma de Windows, usando como lenguaje de programación LabView 11.0, el cual ofrece un entorno de desarrollo gráfico, amigable y de fácil programación. En la figura 4 se muestra el panel frontal del programa aplicativo. Esta aplicación presenta tres paneles para el manejo del aplicativo, como son: **Control de movimiento**, **Selección de puerto** y **Plano de trayectoria**.



Está constituido por el módulo transmisor, que a su vez está conformado por el modulo sensor de ultrasonido, modulo receptor de RF, circuito driver de los motores de tracción y dirección del robot móvil, y el circuito de la fuente de alimentación (ver figura 5); los cuales tendrán la tarea de mantener los motores DC en movimiento cuando

se les ordene, además de informar el cumplimiento del recorrido a realizar el móvil.

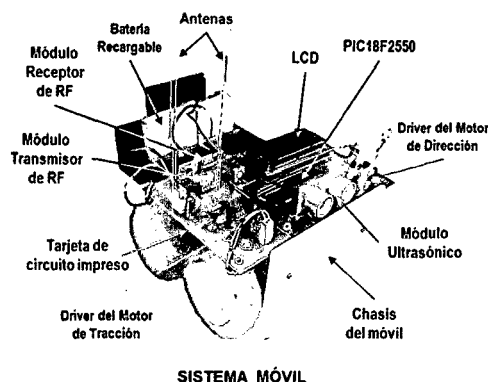


Figura 5. Sistema Móvil.

Se desarrolló también el software: Para los programas de los microcontroladores PIC18F2550 del circuito de transmisión (ver figura 6) y del circuito de recepción (ver figura 7); en la edición, depuración y compilación de se utilizó el Compiler PCWHD CCS 4.128 de CCS y se programó los microcontroladores con el grabador PicKit 2; y para el desarrollo del programa aplicativo de la Laptop se utilizó LabView 2011.

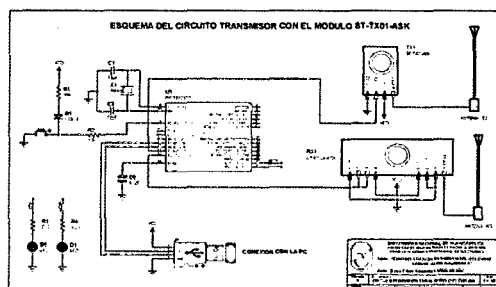


Figura 6. Esquema electrónico del circuito transmisor.

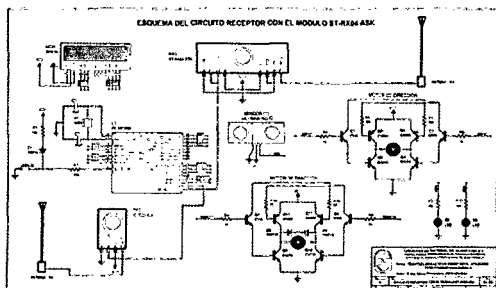


Figura 7. Esquema electrónico del circuito receptor.

En la figura 8 se muestra las tarjetas de circuito impreso de los esquemas electrónicos del circuito de transmisión y del circuito de recepción.

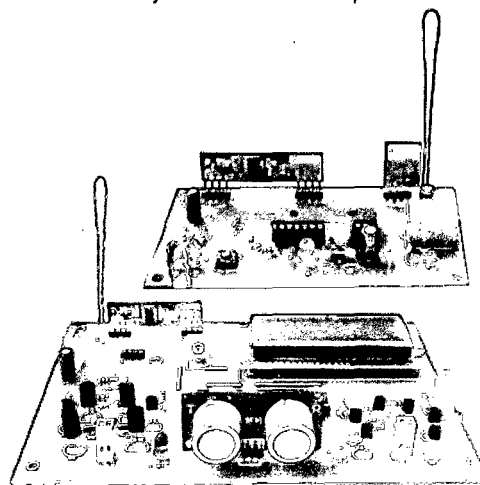


Figura 8. Tarjetas de circuito impreso.

DISCUSIÓN

Se ha demostrado que el sistema implementado el control de movimiento de un robot móvil mediante comunicación inalámbrica utilizando módulos de transmisión y recepción de RF, con modulación y demodulación ASK respectivamente, cumpliéndose así el objetivo planteado en la presente tesis y que están justificados por el aspecto social, tecnológico y económico.

Como toda investigación siempre es un precedente para desarrollar otro mejor, en nuestro caso el proyecto implementado tiene ventajas limitadas, claro, con posibilidades de mejorar y hacer más eficiente el funcionamiento. La información recibida consta solo de datos para el control de los motores, más no de video, que son importantes pero no suficientes para un buen enrutamiento del robot móvil.

Lo ideal sería compartir una información completa basada en datos numéricos y video confiable en tiempo real, sobre medio por donde se moverá el robot, para hacer esto posible el sistema debe contar con una cámara. Nuestro sistema tiene la posibilidad de dotarse de una cámara gracias a la herramienta Publishing Tools de LabView, pero no tenemos la posibilidad de publicar el contenido en un servidor, por no contar con una dirección IP pública en vista de que las operadoras de telefonía móvil no tienen habilitados este sistema en su plataforma de red.

En nuestro medio no hay muchas investigaciones sobre el uso de la telefonía móvil, como medio

telemétrico, a pesar de contar con la tecnología; sin embargo se pueden desarrollarse innumerables aplicaciones en distintas áreas tales como Agricultura, Minería, Seguridad y otros.

La motivación fundamental para el desarrollo de esta tesis es incentivar a muchos estudiantes e investigadores a desarrollar más aplicaciones utilizando esta tecnología por muchas razones entre ellas que no necesitamos implementar un sistema muy costoso y mucho más mantenerla, también por sus características de propagación y cobertura que facilita el acceso desde amplios espacios para diversas aplicaciones que solucionarían diversos problemas en la vida diaria de las personas.

Conclusiones

1. Se utilizó como medio de comunicación alámbrica para conectar la Laptop con el módulo transmisor, un cable adecuado para el puerto USB. Así mismo se conoció sobre la Numeración VIP&PID del puerto USB, proporcionado por la compañía Microchip, que pueden ser: VID_04D8&PID_000B, VID_04D8&PID_000C, VID_04D8&PID_01F0, VID_04D8&PID_01F1, VID_04D8&PID_01F2, VID_04D8&PID_01F3, VID_04D8&PID_01F4, VID_04D8&PID_01F5, VID_04D8&PID_0010, el cual permite la conexión y comunica el módulo PC con el módulo transmisor, utilizando el método de transferencia Bulk.
2. Se ha obtenido conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas RF (radio frecuencia) con modulación/demodulación ASK, y cada una de las partes que interactúan en estos. Se utilizó el módulo transmisor de RF ST-TX01-ASK de SUMMITEK que tiene una potencia de salida de 8mW (de 4 a 16dBm) a 315 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps y el módulo receptor de RF ST-RX04-ASK de SUMMITEK que tiene una sensibilidad de 3 uV, trabajando a una frecuencia de 315 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps.
3. Se aplicó 25 pruebas de 49 ítems (en momentos diferentes) a la variable independiente: Comunicación inalámbrica y 25 pruebas de 7 ítems a la variable dependiente: Control eficaz. Las evaluaciones de dichas variables se realizaron en simultáneo, observándose de acuerdo a los resultados que en la prueba N° 2 y la prueba N° 9 del ítem 28, no se pudo realizar la comunicación entre el módulo transmisor RF y el módulo receptor de RF debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil;

falla que no depende de sistema de comunicación inalámbrica, pero igualmente fue considerado en el análisis. En la evaluación del control eficaz, se pudo observar que en la prueba N° 2 y la prueba N° 9 del ítem 6; no se pudo ejecutar las ordenes respecto al movimiento del robot, debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil; falla que no depende del sistema de control, pero igualmente fue considerado en el análisis. Por lo tanto se debe tener en cuenta los niveles de voltaje de las fuentes de alimentación, para lo cual se añadió vía software la detección de los mismos.

4. De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 4.24, el sistema de comunicación inalámbrica tiene un promedio de rendimiento del 99.83%, con una desviación estándar de 0.32; y el promedio del control eficaz del robot móvil es del 98.85 % con una desviación estándar de 3.95, lo que indica que los valores obtenidos en las pruebas realizadas para las variables, son relativamente homogéneos.
5. De acuerdo al cálculo del coeficiente de correlación "r" de Pearson, que fue obtenido con el valor de $r = 1.00 > 0$, este resultado nos demuestra que la relación entre la variable independiente y dependiente además de ser lineal, es una relación positiva muy fuerte, con lo que queda demostrado la hipótesis alterna H1 que "si existe una relación lineal positiva entre el sistema de control inalámbrico y el control eficaz del robot móvil; con lo cual se comprueba el control eficaz del robot, respecto a su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado; utilizando comunicación inalámbrica.
6. Un buen diseño lleva un estudio minucioso de cada una de las partes que lo componen, tales como mecánica, eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, en este proyecto se adquirió conocimientos de otras especialidades diferentes a la ingeniería electrónica, sobre temas relacionados al proyecto.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo de personas; las cuales paso a mencionar. A mis padres, que dieron todo de sí en provecho mio. A los docentes de la Universidad Nacional de Huancavelica, por haberme instruido en esta fascinante especialidad. A mi Alma Mater, que me

cobijo muchos años con equidad. Finalmente; mi agradecimiento a todas aquellas personas, que de una u otra forma, hicieron posible se realice este proyecto.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Ollero Baturone, Anibal. ROBÓTICA MANIPULADORES Y ROBOTS MÓVILES. México: Alfaomega Grupo Editor S.A.; 2009.
- [2] García Breijo, Eduardo. COMPILADOR C CSS Y SIMULADOR PROTEUS PARA MICROCONTROLADORES PIC. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.; 2008.
- [3] Ogata Katsuhiko. INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA. México: Editorial Prentice Hall. Tercera Edición; 1998.
- [4] Smith Carlos A. y Corripio Armando B. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS. México: Limusa S.A. Primera Edición; 1991.
- [5] Kuo Benjamín C. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO. México: Prentice Hall Hispanoamérica S.A. Séptima Edición; 1996.
- [6] García Moreno, Emilio. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES. México: Alfaomega; 2000.
- [7] Wayne Tomasi. SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS. México: Pearson Educación. Segunda Edición; 1996.
- [URL1] <http://definicion.de/control/>, visitado el 16 de febrero de 2012.
- [URL2] <http://www.mitecnologico.com/main/principiosdelcontrol>, visitado el 16 de febrero de 2012.
- [URL3] http://buscon.rae.es/drae/SrvltConsulta?tipo_bus=3&lema=eficiencia, visitado el 16 de febrero de 2012.
- [URL4] <http://www.monografias.com/trabajos16/telecomunicaciones/tele.shtml>, visitado el 15 de enero de 2013.
- [URL5] <http://es.wikipedia.org/wiki/Telecomunicación>, visitado el 15 de enero de 2013.
- [URL6] http://es.wikipedia.org/wiki/Red_inalámbrica, visitado el 16 de febrero de 2012.
- [URL7] <http://es.kioskea.net/contents/wireless/wpan.php3>, visitado el 16 de febrero de 2012.
1. Rashid Muhammad H. ELECTRÓNICA DE POTENCIA. España: Editorial Prentice Hall. Segunda Edición; 2000.
2. Angulo Martínez, Ignacio y Angulo Usategui, José María. MICRO CONTROLADORES PIC-DISEÑO PRÁCTICO DE APLICACIONES, Segunda Parte. México: Editorial Mc Graw Hill; 2000.
3. Campos Cerda, Manuel Fernando. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DESARROLLO UTILIZANDO LOS MICRO CONTROLADORES PIC. México: Editorial Mc Graw Hill; 2000.
4. Lathi B. P. INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA Y SISTEMAS DE COMUNICACIÓN. México: Limusa S.A.; 2001.
5. Briceño Márquez, José E. Principios de las Comunicaciones. Mérida, Venezuela: ULA Ingeniería, Tercera Edición; 2005.
6. Lajara Vizcaino, José Rafael y Pelegri Sebastián, José. LABVIEW ENTORNO GRÁFICO DE PROGRAMACIÓN. España: Alfaomega, Primera Edición; 2007.
7. Pérez Legos, Luis Alberto. ESTADÍSTICA BÁSICA. Lima, Perú: San Marcos; 2001.
8. Bejarano Benites Leopoldo, Mormontoy Laurel Wilfredo, Tipacti Alvarado César. MUESTREO E INFERENCIA ESTADÍSTICA en Ciencias de la Salud. Lima, Perú: Editorial Imprenta Unión, Primera Edición; 2006.
9. Pérez García Miguel A., Álvarez Antón Juan C., Campo Rodríguez Juan. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA. España: Thomson Editores Spain; 2004.
10. Dorado Víctor. MANUAL DE USUARIO DEL COMPILADOR PCW DE CCS. [en línea] España: 2010. [fecha de acceso 18 de marzo de 2012]. URL disponible en: http://www.migsantiago.com/index.php/Compilador_CCS_PICC.pdf.
11. Moyano Jonathan. PIC18F250 Y USB DESARROLLO DE APLICACIONES. [en línea] España: 2010. [fecha de acceso 18 de marzo de 2012]. URL disponible en: http://www.migsantiago.com/index.php/PIC18F250_y_USB.pdf.
12. Custom Computer Services, Inc. C COMPILER REFERENCE MANUAL JULY 2011. [en línea] Miami Florida: 2011. [fecha de acceso 19 de marzo de 2012]. URL disponible en: <http://www.ccsinfo.com/download>.

ANEXO A
FOTOS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN

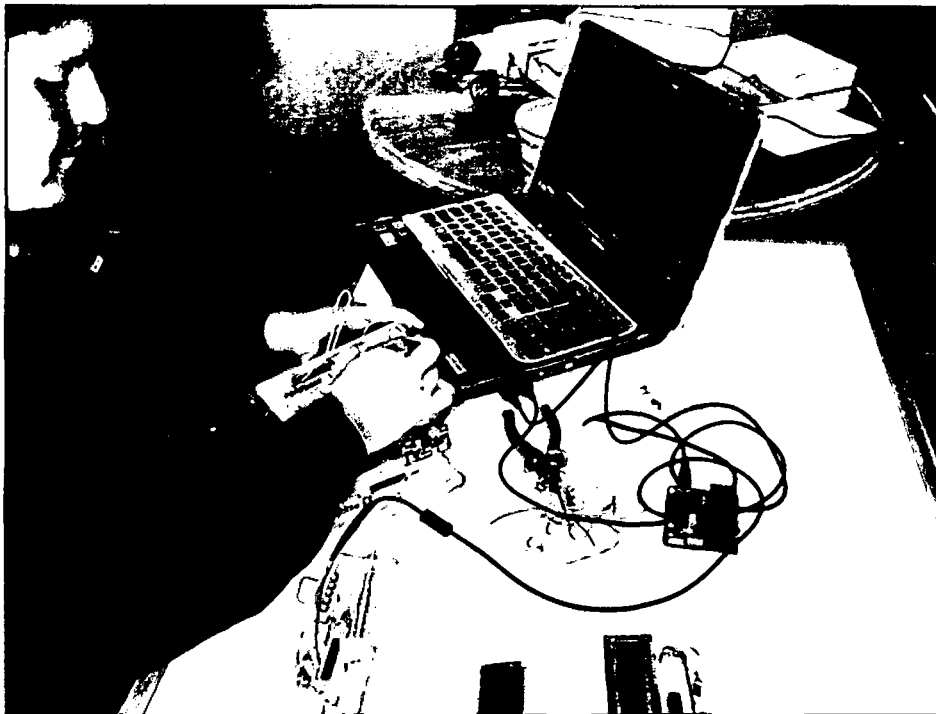


Foto 1 Investigador realizando las pruebas con el puerto USB.



Foto 2 Investigador realizando pruebas al Módulo de Control.

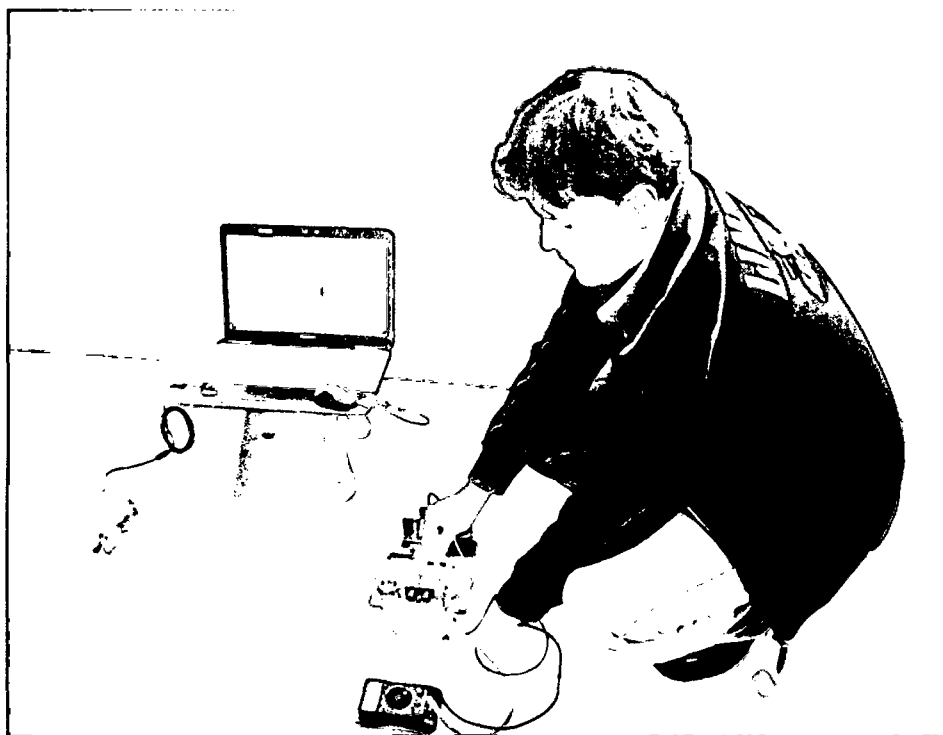


Foto 3 Investigador realizando las pruebas al Sistema Móvil.

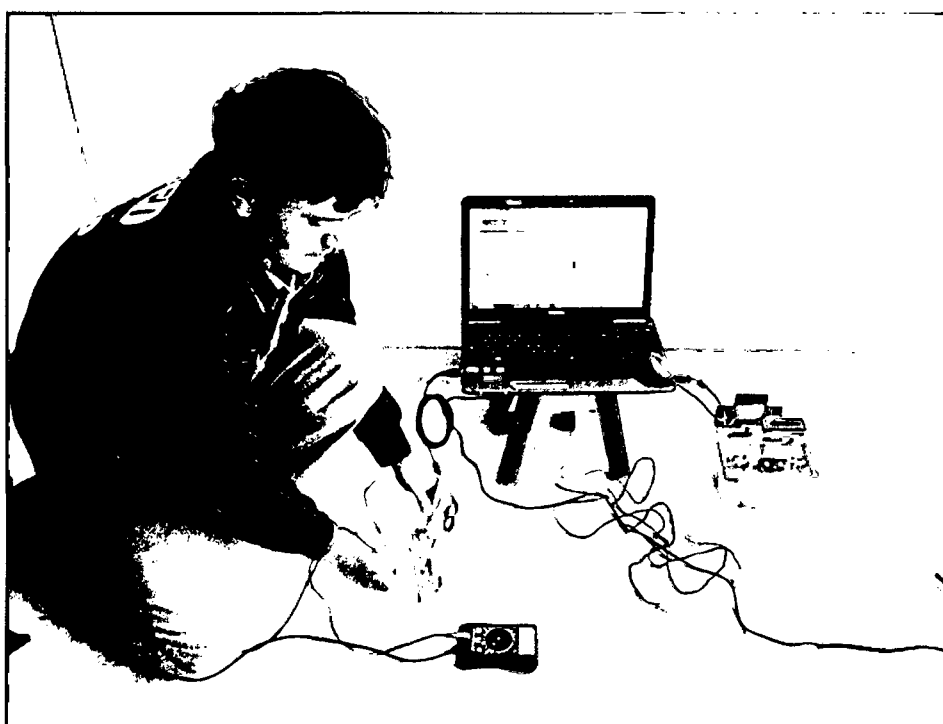


Foto 4 Investigador realizando las pruebas al sistema completo.

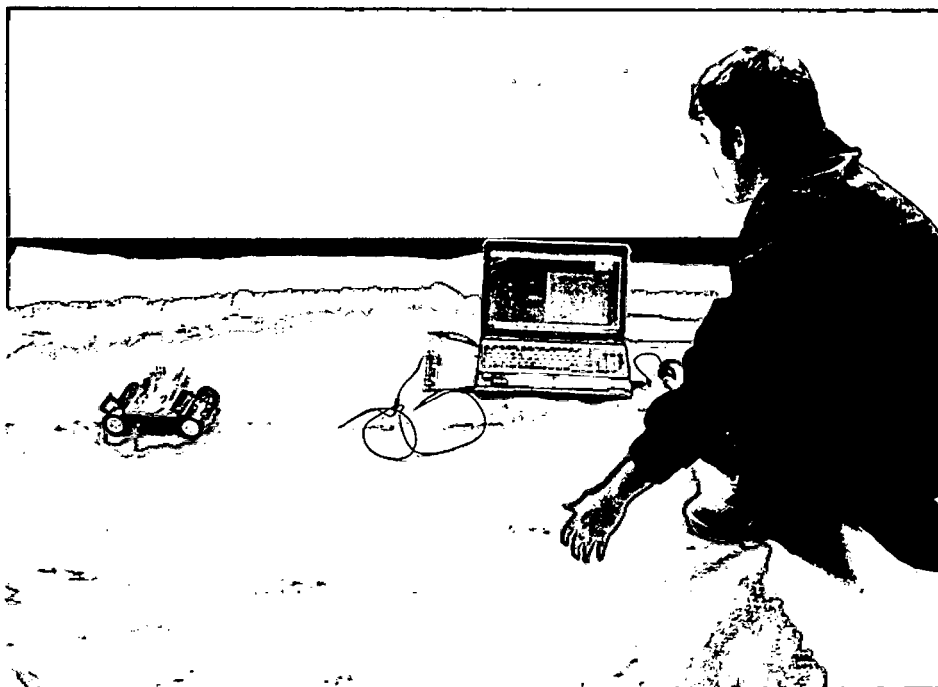


Foto 5 Investigador observando el movimiento del robot, luego de enviado las órdenes en las primeras pruebas realizadas al prototipo.



Foto 6 Investigador observando el movimiento del robot, luego de enviado las órdenes en las pruebas realizadas en el prototipo final.



Foto 7 Investigador realizando pruebas al sistema completo implementado.



Foto 8 Investigador observando el movimiento del robot, luego de enviado las órdenes para la toma de datos, en el prototipo final con las tarjetas de circuito impreso.

ANEXO B
MÓDULO TRANSMISOR DE RF

ASK Transmitter Module

ST-TX01-ASK(Saw Type)

General Description:

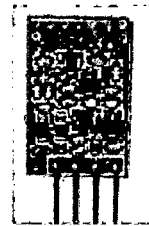
The ST-TX01-ASK is an ASK Hybrid transmitter module. ST-TX01-ASK is designed by the Saw Resonator, with an effective low cost, small size, and simple-to-use for designing.

Frequency Range: 315 / 433.92 MHz.

Supply Voltage: 3-12V.

Output Power : 4-16dBm

Circuit Shape: Saw

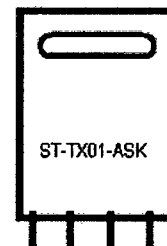


315/434 MHz ASK TRANSMITTER

Applications

- *Wireless security systems
- *Car Alarm systems
- *Remote controls.
- *Sensor reporting
- *Automation systems

PIN Description:

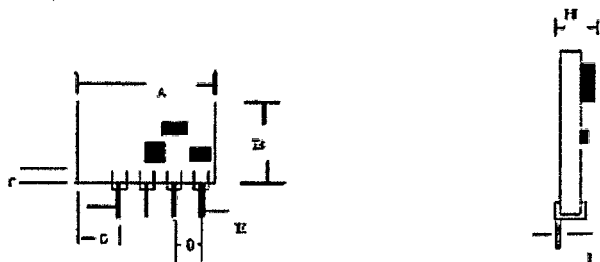


ANT VCC DATA GND

Absolute Maximum Ratings

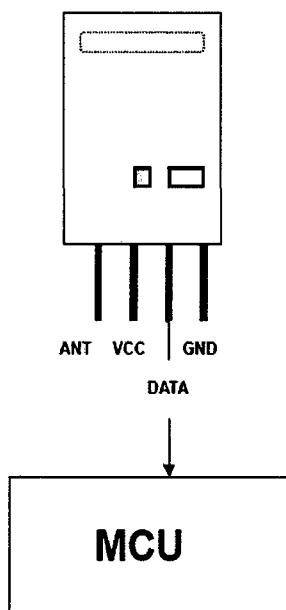
Parameter	Symbol	Condition	Specification				Unit
			Min.	Typical		Max.	
Operation Voltage				3V	5V	12V	V
Output power	Psens	DATA 5V	315MHz	4	10	16	dBm
			Supply current	11	20	57	mA
		1Kbps Data Rate	434MHz	4	10	16	dBm
			Supply current	11	22	59	mA
Tune on Time	Ton	Data start out by Vcc turn on	10	20			ms
Data Rate			200	1k		3k	bps
Input duty		Vcc=5V; 1kbps data rate	40			60	%
Temperature			-20			+80	°C

Pin Dimension



Dimensions	Millimeters	Dimensions	Millimeters
A	14+0.25mm	F	2.50+0.15mm
B	21+0.25mm	G	3.50+0.15mm
C	4.1+0.30mm	H	5.5mm
D	2.54+0.05mm	I	0.32+0.05mm
E	0.65+0.05mm		

Typical Application:



ANEXO C
MÓDULO RECEPTOR DE RF

SUMMITEK Technology Co., Ltd.

ST-RX04-ASK

ASK Superheterodyne Receiver Module

ST-RX04-ASK Receiver

315/434 MHz ASK RECEIVER

General Description:

The ST-RX04-ASK is an ASK superhet receiver module with PLL synthesizer and crystal oscillator.

The circuit shape is PLL.

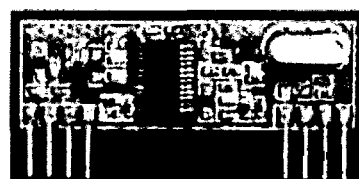
Receiver Frequency: 315 / 433.92 MHz

Operation Voltage: 5V

IF Frequency: 500K

Typical sensitivity: -105dBm

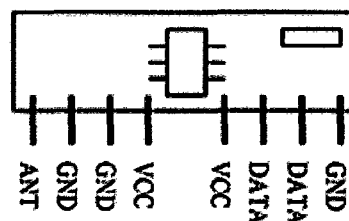
Supply Current: 2.3mA



Pin Description:

Features

- Low power consumption.
- Easy for application.
- On-Chip VCO with integrated PLL using crystal oscillator reference.
- Integrated IF and data filters.
- Operation temperature range : - 40°C ~ + 80°C
- Operation voltage : 5 Volts.
- Available frequency at : 315/434 MHz

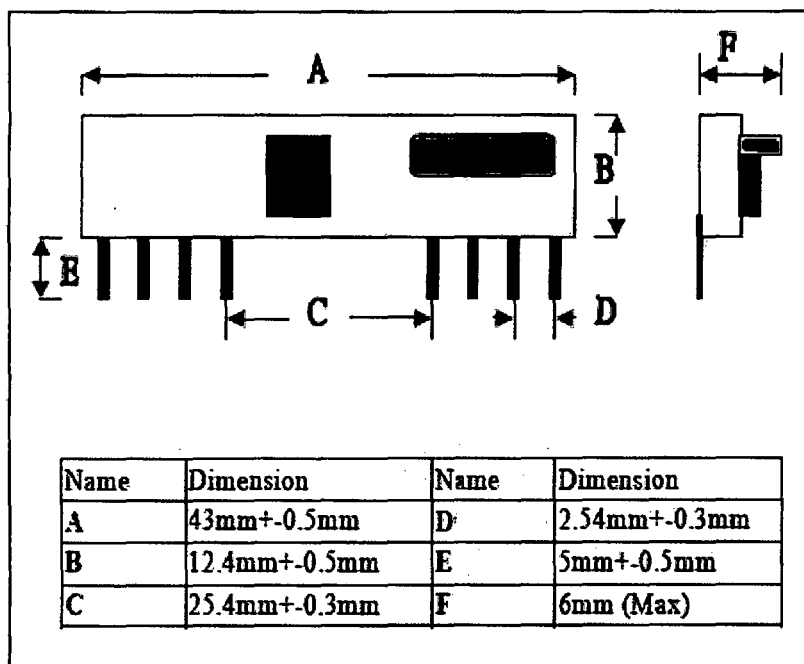


Applications:

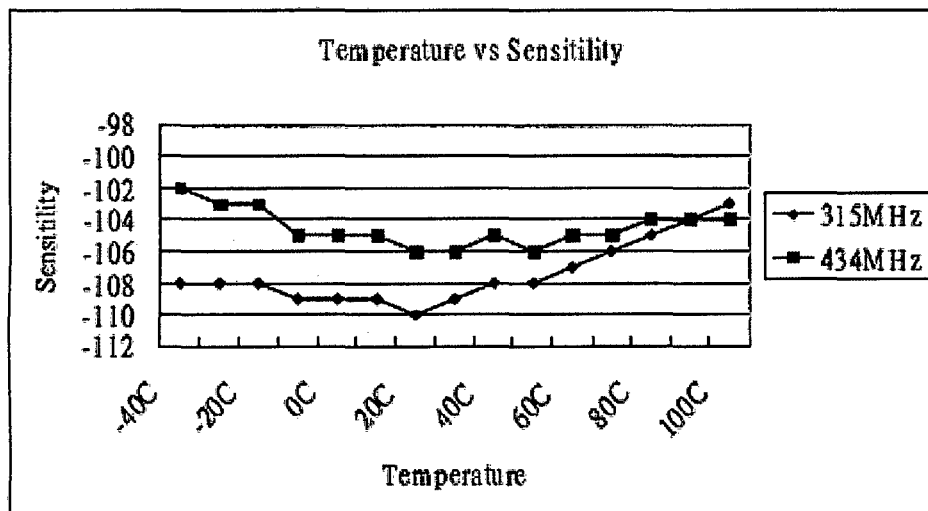
- Car security system
- Wireless security systems
- Sensor reporting
- Automation system
- Remote Keyless entry

Electrical Characteristics :

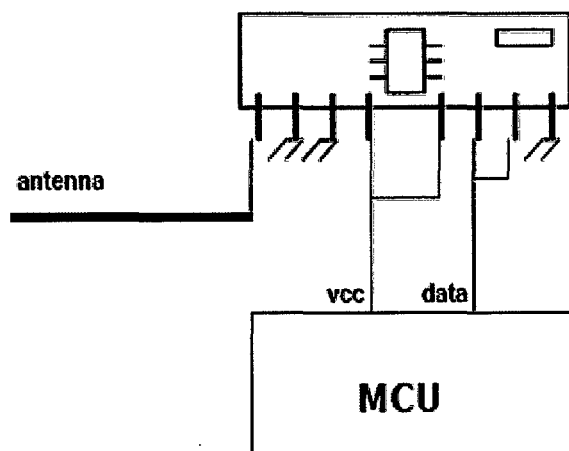
CHARACTERISTIC	MIN	TYP	MAX	UNIT
Vcc Supply Voltage		5		VDC
Is Supply Current		2.3	3	mA
FR Receiver Frequency		315/434		MHz
RF Sensitivity(Vcc=5V 1Kbps Data Rate)		-105		dBm
Max Data Rate	0.3	1	3	Kbit/s
V _{OH} High Level Output (I=30uA)	0.7Vcc			VDC
V _{OL} Low Level Output (I=30uA)			0.3Vcc	VDC
Turn On Time(Vcc off-Turn on)	25	30		ms
TOP Operating Temperature Range	-40		80	°C
Output Duty	40		60	%

Mechanical Dimension:

Typical Characteristics



Typical Application:



Remark:

1. Antenna length about :23cm for 315 MHz
17cm for 434 MHz

ANEXO D
MÓDULO ULTRASÓNICO



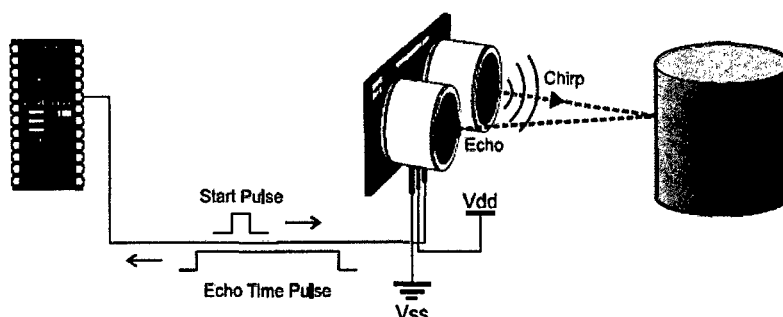
Web Site: www.parallax.com
 Forums: forums.parallax.com
 Sales: sales@parallax.com
 Technical: support@parallax.com

Office: (916) 624-8333
 Fax: (916) 624-8003
 Sales: (888) 512-1024
 Tech Support: (888) 997-8267

PING)))™ Ultrasonic Distance Sensor (#28015)

The Parallax PING))) ultrasonic distance sensor provides precise, non-contact distance measurements from about 2 cm (0.8 inches) to 3 meters (3.3 yards). It is very easy to connect to microcontrollers such as the BASIC Stamp®, SX or Propeller chip, requiring only one I/O pin.

The PING))) sensor works by transmitting an ultrasonic (well above human hearing range) burst and providing an output pulse that corresponds to the time required for the burst echo to return to the sensor. By measuring the echo pulse width, the distance to target can easily be calculated.



Features

- Range: 2 cm to 3 m (0.8 in to 3.3 yd)
- Burst indicator LED shows sensor activity
- Bidirectional TTL pulse interface on a single I/O pin can communicate with 5 V TTL or 3.3 V CMOS microcontrollers
- Input trigger: positive TTL pulse, 2 μ s min, 5 μ s typ.
- Echo pulse: positive TTL pulse, 115 μ s minimum to 18.5 ms maximum.
- RoHS Compliant

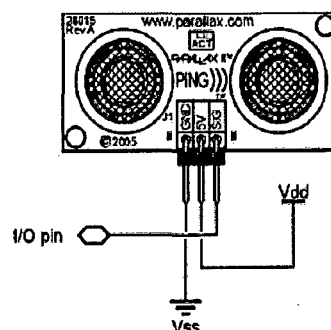
Key Specifications

- Supply voltage: +5 VDC
- Supply current: 30 mA typ; 35 mA max
- Communication: Positive TTL pulse
- Package: 3-pin SIP, 0.1" spacing (ground, power, signal)
- Operating temperature: 0 – 70° C.
- Size: 22 mm H x 46 mm W x 16 mm D (0.84 in x 1.8 in x 0.6 in)
- Weight: 9 g (0.32 oz)

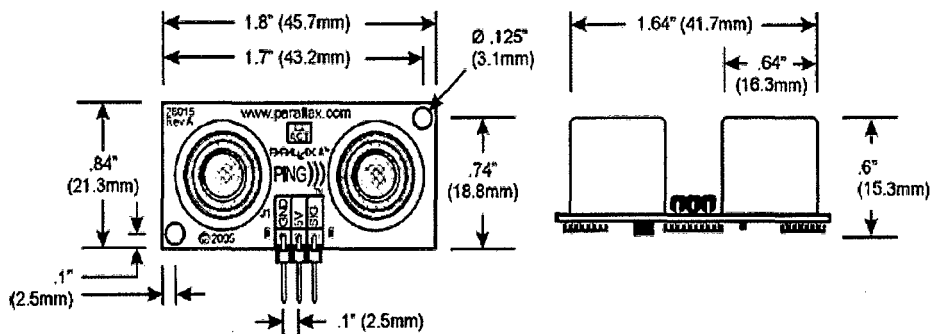
Pin Definitions

GND	Ground (Vss)
5 V	5 VDC (Vdd)
SIG	Signal (I/O pin)

The PING))) sensor has a male 3-pin header used to supply ground, power (+5 VDC) and signal. The header may be plugged into a directly into solderless breadboard, or into a standard 3-wire extension cable (Parallax part #805-000012).

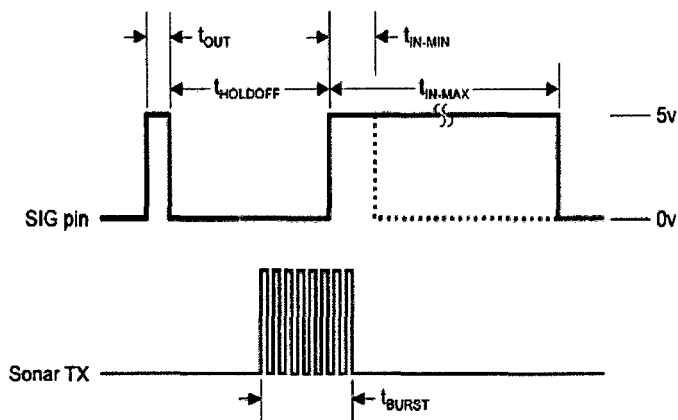


Dimensions



Communication Protocol

The PING))) sensor detects objects by emitting a short ultrasonic burst and then "listening" for the echo. Under control of a host microcontroller (trigger pulse), the sensor emits a short 40 kHz (ultrasonic) burst. This burst travels through the air, hits an object and then bounces back to the sensor. The PING))) sensor provides an output pulse to the host that will terminate when the echo is detected, hence the width of this pulse corresponds to the distance to the target.

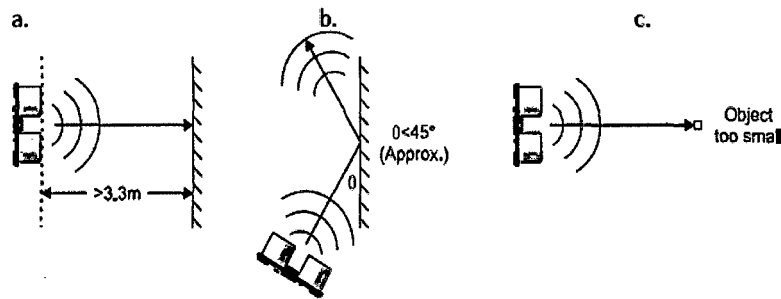


	Host Device	Input Trigger Pulse	t _{OUT}	2 μs (min), 5 μs typical
	PING))) Sensor	Echo Holdoff	t _{HOLDOFF}	750 μs
		Burst Frequency	t _{BURST}	200 μs @ 40 kHz
		Echo Return Pulse Minimum	t _{IN-MIN}	115 μs
		Echo Return Pulse Maximum	t _{IN-MAX}	18.5 ms
		Delay before next measurement		200 μs

Practical Considerations for Use

Object Positioning

The PING))) sensor cannot accurately measure the distance to an object that: a) is more than 3 meters away, b) that has its reflective surface at a shallow angle so that sound will not be reflected back towards the sensor, or c) is too small to reflect enough sound back to the sensor. In addition, if your PING))) sensor is mounted low on your device, you may detect sound reflecting off of the floor.



Target Object Material

In addition, objects that absorb sound or have a soft or irregular surface, such as a stuffed animal, may not reflect enough sound to be detected accurately. The PING))) sensor will detect the surface of water, however it is not rated for outdoor use or continual use in a wet environment. Condensation on its transducers may affect performance and lifespan of the device.

Air Temperature

Temperature has an effect on the speed of sound in air that is measurable by the PING))) sensor. If the temperature (°C) is known, the formula is:

$$C_{\text{air}} = 331.5 + (0.6 \times T_c) \text{ m/s}$$

The percent error over the sensor's operating range of 0 to 70 ° C is significant, in the magnitude of 11 to 12 percent. The use of conversion constants to account for air temperature may be incorporated into your program (as is the case in the example BS2 program given in the Example Programs section below). Percent error and conversion constant calculations are introduced in Chapter 2 of *Smart Sensors and Applications*, a Stamps in Class text available for download from the 28029 product page at www.parallax.com.

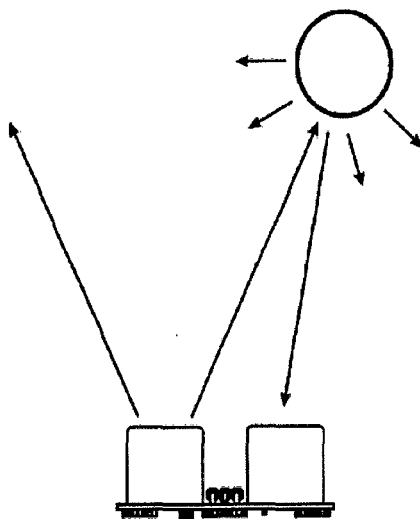
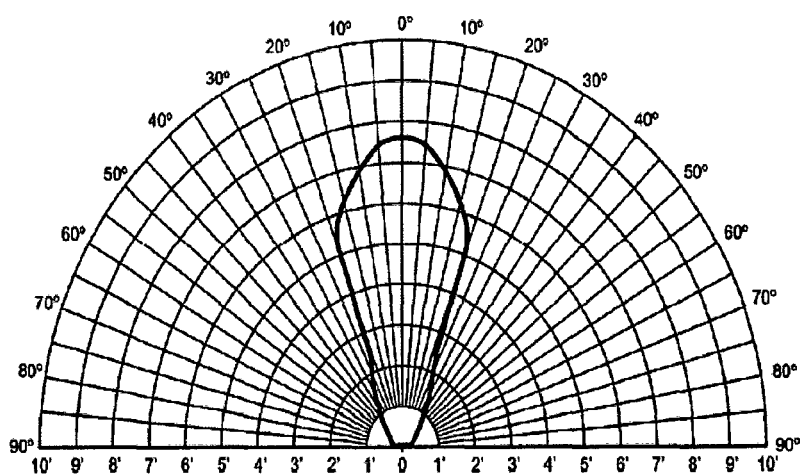
Test Data

The test data on the following pages is based on the PING))) sensor, tested in the Parallax lab, while connected to a BASIC Stamp microcontroller module. The test surface was a linoleum floor, so the sensor was elevated to minimize floor reflections in the data. All tests were conducted at room temperature, indoors, in a protected environment. The target was always centered at the same elevation as the PING))) sensor.

Test 1

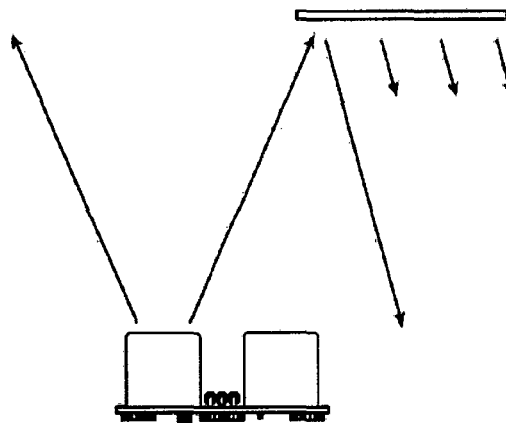
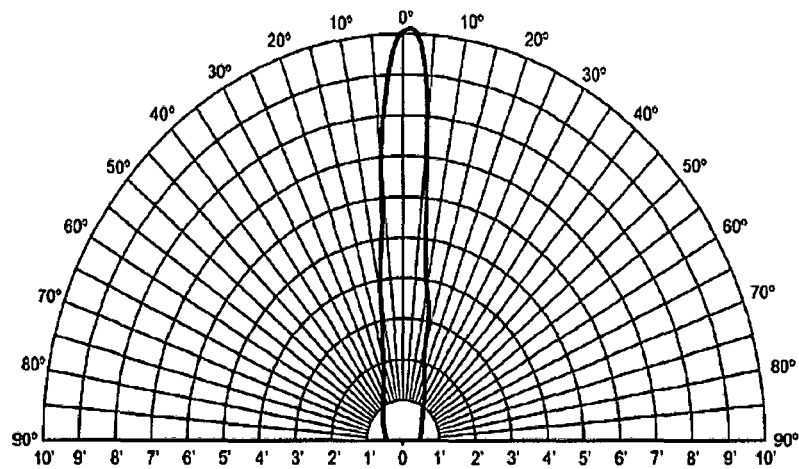
Sensor Elevation: 40 in. (101.6 cm)

Target: 3.5 in. (8.9 cm) diameter cylinder, 4 ft. (121.9 cm) tall – vertical orientation



Test 2

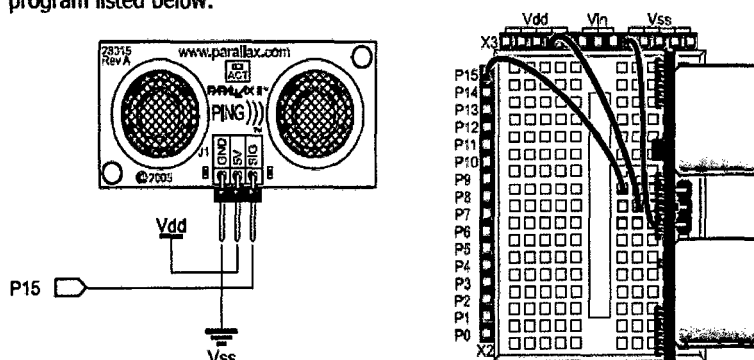
Sensor Elevation: 40 in. (101.6 cm)
 Target: 12 in. x 12 in. (30.5 cm x 30.5 cm) cardboard, mounted on 1 in. (2.5 cm) pole
 Target positioned parallel to backplane of sensor



Example Programs and Applications

BASIC Stamp 2

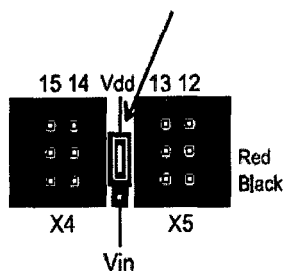
This circuit allows you to quickly connect your PING))) sensor to a BASIC Stamp® 2 via the Board of Education® breadboard area. The PING))) module's GND pin connects to Vss, the 5 V pin connects to Vdd, and the SIG pin connects to I/O pin P15. This circuit will work with the example BASIC Stamp program listed below.



Extension Cable and Port Cautions for the Board of Education

If you are connecting your PING))) sensor to a Board of Education platform using an extension cable, follow these steps:

1. When plugging the cable onto the PING))) sensor, connect Black to GND, Red to 5 V, and White to SIG.
2. Check to see if your Board of Education servo ports have a jumper, as shown at right.
3. If your Board of Education servo ports have a jumper, set it to Vdd as shown. Then plug the cable into the port, matching the wire color to the labels next to the port.
4. If your Board of Education servo ports do not have a jumper, **do not use them with the PING))) sensor**. These ports only provide Vin, not Vdd, and this may damage your PING))) sensor. Go to the next step.
5. Connect the cable directly to the breadboard with a 3-pin header as shown above. Then, use jumper wires to connect Black to Vss, Red to Vdd, and White to I/O pin P15.



Board of Education Servo Port Jumper, Set to Vdd