

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Micro robot Teledirigido por RF

Trabajo de graduación presentado por Christian Medina
Armas para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Electrónica

Guatemala

2007

Micro robot Teledirigido por RF

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Micro robot Teledirigido por RF

Trabajo de graduación presentado por Christian Medina
Armas para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Electrónica

Guatemala

2007

Vo.Bo.

(f)  _____

MSc. Carlos Esquit

Asesor de Tesis

Tribunal Examinador

(f)  _____

MSc. Carlos Esquit

(f)  _____

Ing. Marie André Destarac

(f)  _____

Ing. Gonzalo Palaréa

Fecha de aprobación: 4 de diciembre de 2007

PREFACIO

Durante el tiempo que he dedicado a desarrollar este trabajo, he comprobado que lo peor que podemos hacer con nuestras ideas es no hacer siquiera el intento de hacerlas realidad, y no llegar a poder decir "ya no puedo hacer más", que además es falso porque siempre se puede hacer más, siempre podemos hacer de una idea buena, una mejor.

Algo que me ha gustado de mi carrera han sido los microcontroladores y desde que me planteé hacer un trabajo de graduación, siempre fueron proyectos que los incluían. El micro robot ha sido una aplicación que difícilmente la hubiera podido realizar sin estos componentes, y además presentaba un desafío por las dimensiones reducidas. Hasta donde he investigado, puedo decir que es el primer micro robot de Guatemala, aunque seguramente no el último, ya que es una rama reciente, pero con mucho crecimiento y aplicaciones.

Quiero dar un agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma han colaborado en el desarrollo del micro robot con sugerencias, diseños, y horas de trabajo: Erik Tijerino, Otto Ayala, Danny Escobar, Alejandro Arriaza, Vili David y a Carlos Tercero por su apoyo durante todo el Proyecto. Muchas gracias a todos.

CONTENIDO

Página

LISTA DE TABLAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
A. GENERALES	4
B. ESPECÍFICOS	4
III. MARCO TEÓRICO	5
A. ROBÓTICA	5
B. MICRO ROBÓTICA.....	5
C. MICROCONTROLADORES.....	7
D. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	8
E. RADIO FRECUENCIA.....	10
1. EL TRANSMISOR	11
2. MODULACIÓN DIGITAL.....	11
3. EL RECEPTOR	12
4. CARACTERÍSTICAS DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS	14
5. INTERFERENCIA POTENCIAL	15
6. BENEFICIOS DE OPERACIÓN DENTRO DE LA BANDA 260-470 MHZ. ..	16
F. MODULACIÓN OOK	16
G. CANAL DE COMUNICACIÓN.....	18
1. FUENTE DE DATOS.....	18
2. CODIFICACIÓN DE DATOS.....	18
3. TRANSMISIÓN DE DATOS.....	19
4. PROPAGACIÓN	19
5. RECEPCIÓN DE DATOS.....	19
6. DECODIFICACIÓN DE DATOS.....	19
7. INTERPRETACIÓN DE DATOS	19

H.	PROTOCOLO	19
1.	PROTOCOLO SERIAL ASÍNCRONO	20
IV.	DELIMITACIÓN DEL TEMA.....	23
V.	METODOLOGÍA.....	24
A.	HERRAMIENTAS DE TRABAJO	25
VI.	DESARROLLO	26
A.	TRANSMISOR.....	26
1.	TRANSMISIÓN DE INSTRUCCIONES	26
2.	ALGORITMO DE TRANSMISIÓN.....	28
3.	CODIFICACIÓN DE INSTRUCCIONES POR MEDIO DE UN FRAME.....	29
4.	CONFIGURACIONES	30
5.	REGISTRO DE RUTAS	30
6.	CIRCUITO Y PCB	31
B.	RECEPTOR.....	32
1.	ALGORITMO DE RECEPCIÓN.....	32
2.	DECODIFICACIÓN DE INSTRUCCIONES.....	33
3.	CONFIGURACIONES	34
4.	CIRCUITO Y PCB	35
5.	ICSP (IN CIRCUIT SERIAL PROGRAMMING).	37
6.	CHASIS Y RUEDAS.....	39
7.	MOTORES Y ENERGÍA.....	43
8.	OTRAS CARACTERÍSTICAS.....	45
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	49
IX.	APÉNDICE	50
X.	GLOSARIO	77

LISTA DE TABLAS

	Página
1. Mapeo del teclado matricial	27

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig. 1: Fotografía del micro robot Home Boe-bot	6
Fig. 2: Diagrama de bloques de un microcontrolador	7
Fig. 3: Características de una Onda Electromagnética en el tiempo, E: Campo eléctrico, M: Campo magnético, λ : Longitud de onda.....	8
Fig. 4: División del espectro electromagnético en términos de frecuencias y sus aplicaciones en las comunicaciones de radiofrecuencia	10
Fig. 5: Esquema básico de un transmisor	11
Fig. 6: Ejemplo simple de modulación, el Código Morse	12
Fig. 7: Esquema básico de un receptor	13
Fig. 8: Categorías de propagación de ondas	14
Fig. 9: Comparación de anchos de banda de receptores	15
Fig. 10. Modulación OOK. 1. Señal binaria moduladora,2. Señal portadora ...	17
Fig. 11: Circuito detector de diodo	17
Fig. 12: Esquema de un canal de comunicación	18
Fig. 13. Trama asíncrona del protocolo serial asíncrono 4800 8N1	22
Fig. 14: Teclado matricial 4x4	26
Fig. 15: Diagrama de flujo de transmisión serial	29
Fig. 16: Circuito del transmisor	31
Fig. 17: PCB de transmisor con componentes	31
Fig. 18: PCB de transmisor sin componentes	32
Fig. 19. Diagrama de flujo de recepción serial	33
Fig. 20: Comparación entre trama enviada y trama recibida	34
Fig. 21: Circuito del receptor	35
Fig. 22: PCB de receptor con componentes	36

Fig. 23: <i>PCB</i> de receptor sin componentes	36
Fig. 24: Diagrama de una conexión ICSP entre el programador y un PIC ...	37
Fig. 25: Circuito del adaptador para ICSP	37
Fig. 26: <i>PCB</i> de adaptador para ICSP sin componentes	38
Fig. 27: <i>PCB</i> de adaptador para ICSP con componentes	38
Fig. 28: Imagen de adaptador para ICSP	38
Fig. 29: Imagen de chasis con ruedas y motores	39
Fig. 30: Planos del chasis del micro robot	40
Fig. 31: Planos de las ruedas del micro robot	41
Fig. 32: Control del Micro robot terminado.....	42
Fig. 33: Componentes del circuito del micro robot.....	42
Fig. 34: Planos de los motores	44
Fig. 35: Tiempo de respuesta del micro robot	45
Fig. 36: Intensidad de señal en el receptor	46

RESUMEN

Este trabajo consiste en el diseño y construcción de un robot móvil, con un volumen de una pulgada cúbica y la capacidad de moverse en cualquier dirección. El diseño del robot se basa en la locomoción por medio de dos ruedas impulsadas por un motor DC montado en cada costado del chasis, y dos ruedas libres.

La energía será suministrada por dos baterías A23, y la potencia de alimentación para los motores se regulará por medio de drivers de corriente independientes para cada motor. Por protección el circuito de control está alimentado a través de un regulador de voltaje.

Después de definir el método de locomoción se diseñó un chasis con el apoyo de Erik Tijerino, estudiante de Ing. Mecánica de la Universidad del Valle. Para reducir el peso se diseñó un chasis de aluminio, que aloja los componentes electrónicos, baterías y motores. El robot está construido de manera que se utiliza el resto de componentes como parte de la estructura y al mismo tiempo mantienen un diseño sencillo.

Los movimientos del micro Robot serán procesados y ejecutados por un circuito que posee un microcontrolador programado para realizar las funciones deseadas. El software del micro robot puede ser actualizado por medio de de una conexión de programación en circuito, *In Circuit Serial Programming* o ICSP incorporada en el circuito impreso.

Un sistema de módulos de radio frecuencia de 433 MHz es el encargado de establecer un canal de comunicación seguro entre el control de mando y el micro Robot. En el canal se implementó un protocolo serial asíncrono de 4800 baudios.

El micro Robot será desarrollado con la perspectiva de ser una plataforma para soluciones de micro robótica, y la capacidad de ser adaptado con sensores y funciones necesarias para la solución de problemas específicos.

I. INTRODUCCIÓN

Sobre el origen de la palabra robot, sabemos que el escritor checo Karel Čapek la utilizó por primera vez para designar a trabajadores artificiales en su obra de teatro *Los Robots Universales de Rossum*, estrenada en Praga en enero de 1921. *Robota* en checo significa trabajo forzado.

Desde mucho tiempo antes a este hecho, el hombre, en su afán por simplificar sus tareas cotidianas, ha desarrollado métodos y herramientas que le han permitido mejorar su calidad de vida. Como resultado de esa búsqueda constante e incansable, se han realizado grandes avances científicos y tecnológicos en diversos campos del saber, dentro de los cuales podemos destacar la robótica.

Inicialmente, los robots fueron diseñados para operar en entornos industriales o como aplicaciones de carácter científico, pero con el avance vertiginoso de la tecnología, los requerimientos de las tareas a realizar se hicieron cada vez más complejas y exigentes.

Los robots pueden ser clasificados según varios criterios. Las dos clasificaciones principales son por su aplicación y por su medio de locomoción. Ambas clasificaciones se complementan ya que nos dicen qué hace un robot, y cómo lo hace.

Por su aplicación podemos mencionar los robots industriales, domésticos, médicos, de servicio, militares, exploración y entretenimiento. Complementando la clasificación anterior, en la clasificación por la locomoción tenemos robots estacionarios, móviles, caminantes, acuáticos, voladores, móviles esféricos y otros. En cada tipo de robot podemos encontrar múltiples subdivisiones. Por

ejemplo, dentro de los robots estacionarios podemos encontrar: Cartesianos, cilíndricos, esféricos, SCARA, articulados, paralelos.

Los micro robots también pueden ser clasificados por su aplicación o por su medio de locomoción. Existen una gran diversidad de micro robots, entre los cuales podemos destacar: móviles, bípedos, cuadrúpedos, hexápodos y rastreadores, entre otros.

Quizá una de las aplicaciones de la robótica móvil mas conocidas en el campo de la investigación es el micro robot Sojourner, enviado a Marte por la NASA en 1996, el cual fue el primer micro robot móvil enviado para la exploración de la superficie de otro planeta.

Actualmente dentro del campo de la robótica, los términos micro robótica y mili robótica son utilizados para designar la rama de desarrollo de robots con dimensiones que permiten realizar tareas en lugares inaccesibles para robots convencionales y para el hombre.

La meta de las investigaciones de laboratorios especializados más avanzados es la aplicación para soluciones microscópicas. Actualmente se fabrican nano robots más delgados que un cabello humano, e incluso se ha llegado a hablar de construir robots moleculares como futuro de esta rama.

La gama de aplicaciones de los micro robots en la actualidad es amplia. Algunas son: Micro robots voladores, intervenciones médicas, técnicas de micro ensamblaje, espionaje, análisis de procesos químicos, micro robots acuáticos en aplicaciones científicas.

Recientemente han surgido competencias robóticas que han aumentado su popularidad con los años. Actualmente el desarrollo de la micro robótica en

Guatemala es mínimo, y sus aplicaciones a problemas existentes son desconocidas.

El control confiable, dimensiones pequeñas para poder realizar tareas en espacios reducidos, la capacidad de ampliación de las funciones por medio de actualización del programa a bordo y la integración de sensores para soluciones a problemas específicos, le dan al micro robot flexibilidad para poder adaptarse a distintos escenarios de trabajo.

Este trabajo tiene el propósito de ser una plataforma para introducir soluciones electrónicas aplicadas en el campo micro robótica a problemas de nuestro país.

Por otro lado las características del diseño se encuentran dentro de las requeridas para la "International Micro Robot Maze Contest" en Nagoya, Japón, el 11 de noviembre del 2007, en donde participará el robot construido.

II. OBJETIVOS

A. Generales

- Diseñar y construir un robot móvil de una pulgada cúbica de volumen, con la capacidad de ser controlado por radio frecuencia.
- Estimular el interés en Guatemala por el desarrollo de soluciones electrónicas aplicadas en el campo de la micro robótica.

B. Específicos

- Tener un alcance de 5 metros de distancia en el control RF, manteniendo un enlace de comunicaciones confiable.
- Implementar los movimientos hacia la derecha, izquierda, adelante, atrás y giros en ángulos preestablecidos.
- Implementar un protocolo seguro, que garantice la confiabilidad en el control de un robot y un desempeño sin errores.
- Asegurar que el consumo de energía máxima del robot se pueda suministrar por lo menos durante 3 minutos para poder realizar el recorrido dentro del laberinto de la carrera "*International Micro Robot Maze Contest*".

III. MARCO TEÓRICO

A. ROBÓTICA

La robótica es una disciplina que tiene múltiples campos de acción. Inicialmente los robots se diseñaron para aplicaciones industriales, pero con el paso del tiempo, con el desarrollo de tecnologías nuevas, se han ampliado sus campos de acción.

El inicio del desarrollo de la robótica actual puede fijarse en la industria textil del siglo XIX, cuando en 1801 Joseph Jacquard inventó una máquina textil programable mediante tarjetas perforadas denominada "*Telar Programable*" y que posteriormente se produciría en masa.

Los robots tal como se conciben hoy en día no necesariamente tratan de parecerse al ser humano, sino de cubrir las necesidades de éste de la forma más eficiente. Esta concepción actual nos explica el desarrollo que podemos observar y esperar en el crecimiento de las aplicaciones de robots en áreas como: exploración espacial, investigación médica, educación, tareas domésticas y entretenimiento, entre muchas otras.

B. MICRO ROBÓTICA

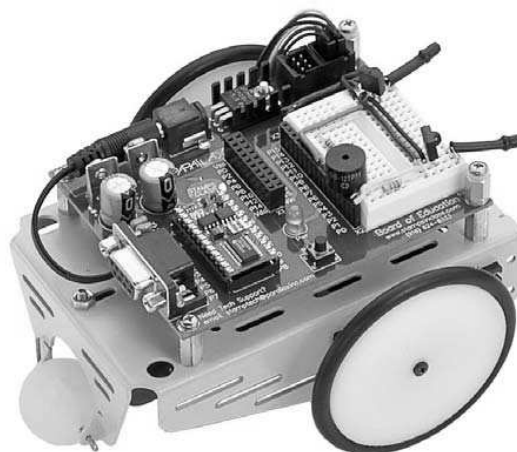
La micro robótica es un área derivada de la robótica industrial que se está imponiendo en multitud de aplicaciones. Se inicia en la década de los 90 y que ha proliferado en la primera década del siglo XXI explotando las ventajas de movilidad, tamaño y tareas que permiten realizar los micro robots.

El micro robot es un dispositivo móvil que puede reaccionar ante el entorno de acuerdo con un plan de acciones programado por el usuario. Para moverse utiliza motores y para reconocer el entorno emplea sensores de todo tipo. Finalmente para controlar motores, sensores y actuadores dispone de un pequeño procesador programado en función de la finalidad a la que se destina el micro robot.

La micro robótica se basa en el uso de pequeños robots móviles o micro robots que, adecuadamente programados para actuar en conjunto, dotados de los correspondientes sensores y actuadores, resuelven de modo óptimo multitud de tareas tales como limpiar, vigilar, explorar; que sin su ayuda, serían difíciles, tediosas o incluso peligrosas de realizar por un ser humano.

Por otro lado podemos mencionar aplicaciones en el campo de la pedagogía, entretenimiento y competencias que aumentan la popularidad y el desarrollo de los micro robots.

Fig. 1: Fotografía del micro robot Home Boe-bot.



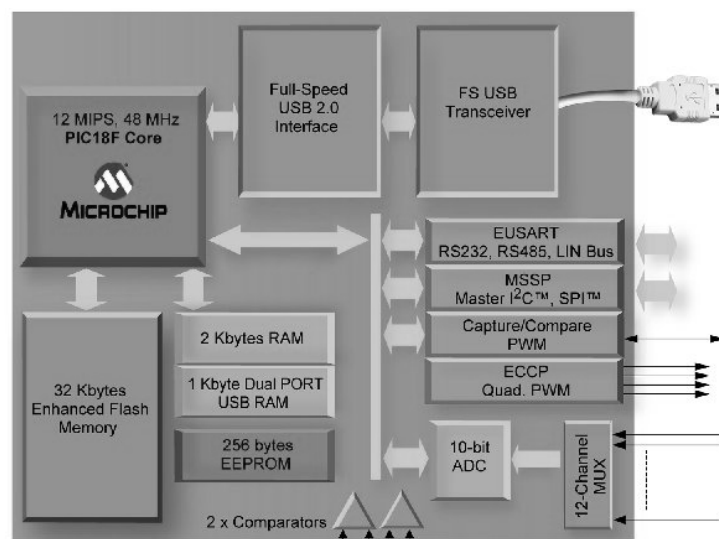
C. MICROCONTROLADORES

El desarrollo de los micro robots ha sido posible gracias al microcontrolador. Un microcontrolador es un circuito integrado programable (en algunos casos reprogramable), con la capacidad de realizar cálculos, utilizar periféricos propios o externos, lectura de entradas y salidas, comunicarse con otros microcontroladores, etc. Las partes básicas de un microcontrolador son: el procesador, memoria de programa, registros, periféricos y puertos de entrada/salida.

En la Fig. 2 se muestra un diagrama de bloques de un microcontrolador PIC con las características mencionadas anteriormente; Capacidad de manejar distintos protocolos (USB 2.0, USART, I2C, SPI), periféricos (comparadores, convertidor A/D), registros y memoria de programa para almacenar las instrucciones.

El microcontrolador se emplea para controlar el funcionamiento de tareas que no requieren el uso de elevada potencia, velocidad o cálculos con un alto grado de complejidad. Debido a reducido tamaño, suele ir incorporado en un circuito de control. Por otro lado ofrece las ventajas de bajo consumo de energía, integración de todos los componentes en un tamaño reducido, y la capacidad de ser programado para responder a las necesidades particulares del usuario.

Fig. 2: Diagrama de bloques de un microcontrolador

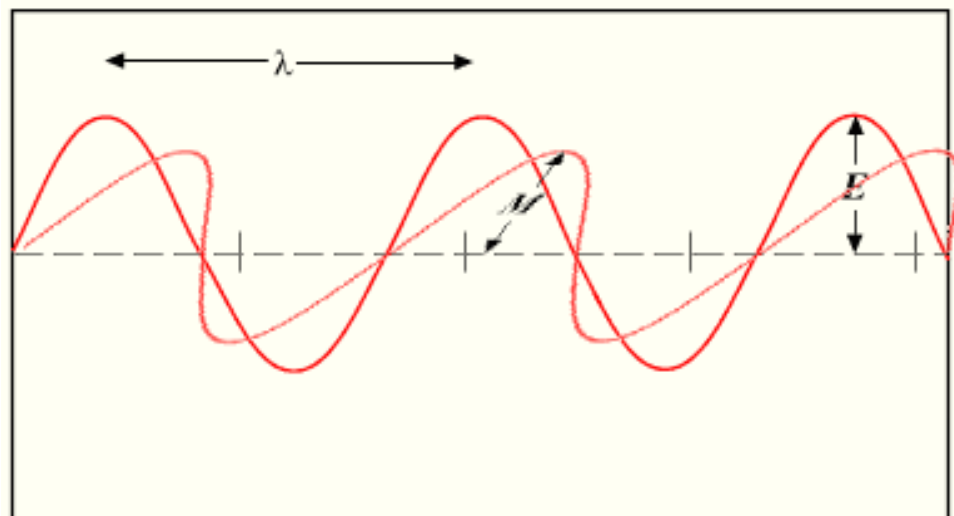


D. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Para iniciar una explicación de la radiofrecuencia es necesario que se posean algunas nociones sobre las ondas electromagnéticas, su origen, características principales.

Las ondas electromagnéticas son el resultado de oscilaciones perpendiculares de un campo eléctrico y un campo magnético, que viajan en el espacio. Las ondas perpendiculares se ilustran en la Fig. 3.

Fig. 3: Características de una Onda Electromagnética en el tiempo, E: Campo eléctrico, M: Campo magnético, λ : Longitud de onda



Una onda posee un número específico de crestas dentro de un espacio de tiempo determinado. Si el tiempo de medición es un segundo, obtenemos una medición de crestas o ciclos por segundo, que se denomina frecuencia (f) y su dimensional son los Hertz (Hz).

El tiempo que transcurre entre cada ciclo será el inverso de la frecuencia. Podemos expresar esta relación en segundos como:

$$T = \frac{1}{f}$$

λ es la distancia que recorre una onda en cada ciclo, llamada longitud de onda, y se mide en nanómetros.

Por lo tanto una onda viaja a velocidad v , que es la distancia que viaja dividida entre el tiempo que tarda en recorrer esa distancia, de manera que:

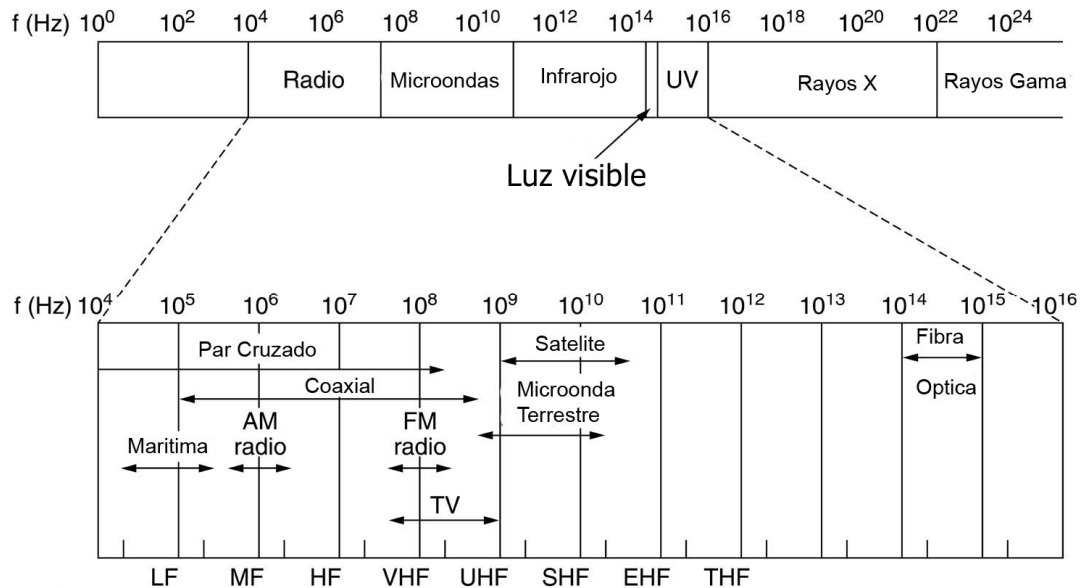
$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Las ondas de radiofrecuencia son ondas electromagnéticas y al viajar en el espacio, la velocidad v es la velocidad de la luz ($c = 299,792,458$ m/s).

Dadas las consideraciones anteriores se puede describir el conjunto de ondas electromagnéticas en términos de su frecuencia f .

El espectro de ondas electromagnéticas se divide según la longitud de onda y el uso asignado dentro de las telecomunicaciones modernas.

Fig. 4: División del espectro electromagnético en términos de frecuencias y sus aplicaciones en las comunicaciones de radiofrecuencia



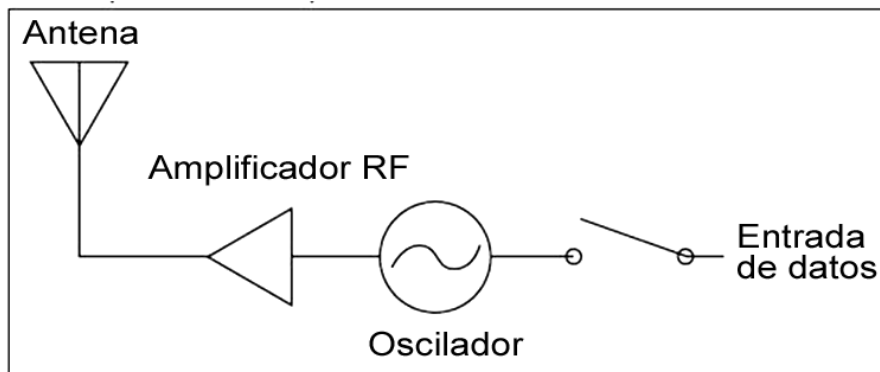
E. RADIO FRECUENCIA

El término radio frecuencia (RF) no se refiere únicamente a transmisiones de radio, sino que abarca todas las emisiones en el espectro electromagnético. La energía RF se clasifica de acuerdo a su frecuencia. El rango de frecuencias se llama Espectro de Radio. El espectro no tiene una frecuencia definida de inicio o fin, sin embargo la Fig. 4 nos muestra las divisiones más conocidas, y sus aplicaciones.

Para poder realizar una transmisión RF es necesario que la señal viaje a través del espacio libre y luego recuperarla, restaurada a la forma original. Dos dispositivos son necesarios para realizar este proceso: El transmisor y el receptor.

1. EL TRANSMISOR. La función del transmisor es convertir una señal analógica o digital y por medio de una antena, enviarla hacia el espacio libre. En la figura 5 se ilustra un transmisor sencillo.

Fig. 5: Esquema básico de un transmisor



Los componentes principales del transmisor son: Una fuente de frecuencia, proporcionada por un oscilador, una etapa de ganancia o un amplificador, y el acoplador al espacio libre, que es la antena. El oscilador genera la frecuencia a la cual el transmisor va a operar. Esta frecuencia es llamada frecuencia fundamental. La antena permite que la energía RF que se amplifica previamente, sea radiada eficientemente al espacio.

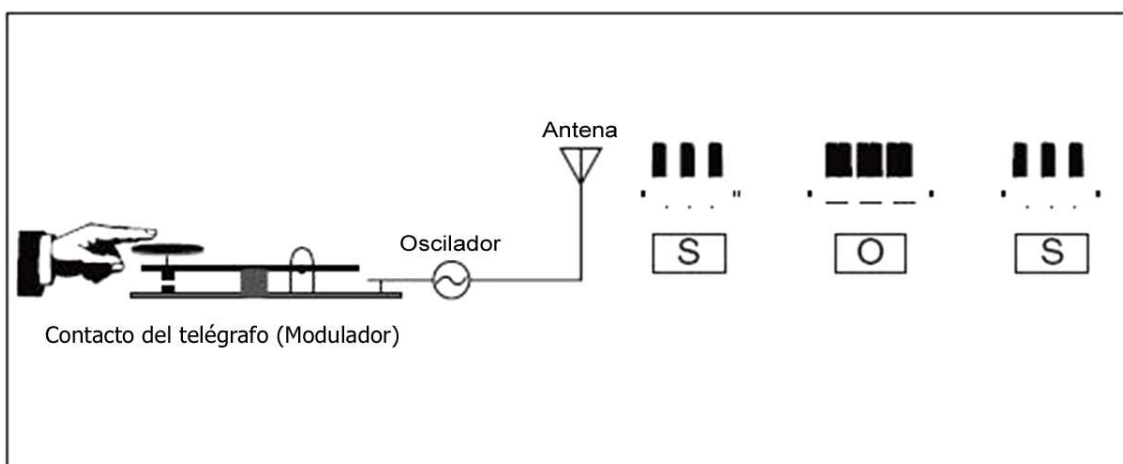
2. MODULACIÓN DIGITAL. Ahora que tenemos los conocimientos básicos de cómo se transmite una señal al espacio libre, es necesario explicar, ¿Cómo se puede representar información útil con una señal transmitida al espacio libre?

La respuesta a esta pregunta es la modulación. La modulación es el proceso por el cual a un medio portador se le agrega un contenido. El medio portador es nuestra señal con una frecuencia fundamental. La información que se desea transmitir se llama la Señal de Control o Programa.

En el caso de la modulación digital, la frecuencia portadora es modulada con una señal de control que consiste en datos binarios, esto significa que la señal de control posee únicamente dos estados, encendido y apagado, representados por un 1 y un 0 respectivamente.

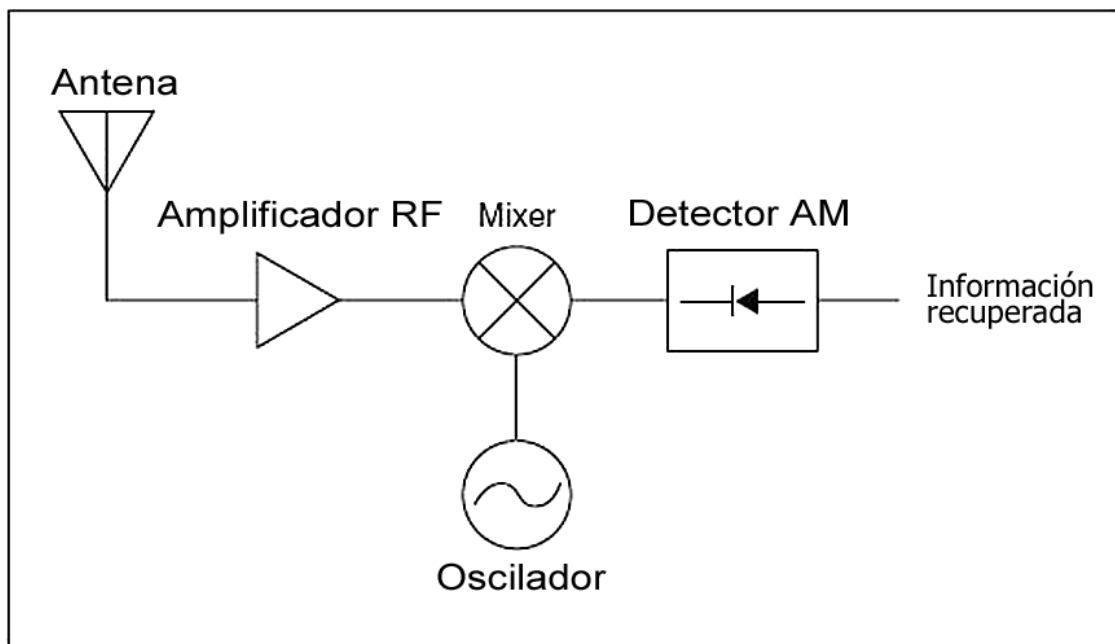
Si bien existen varios métodos de modulación, consideraremos a manera de ejemplo uno de los métodos más simples, el Código Morse. Al analizar la figura 6 se puede entender que al conectar y desconectar la portadora se representa un contenido de un mensaje, el operador del telégrafo hace la función de la fuente de modulación. Esta forma básica de modulación es una de las más populares, hoy es conocida como On-Off Keying (OOK) o Carrier-Present Carrier-Absent (CPCA).

Fig. 6: Ejemplo simple de modulación, el Código Morse.



3. EL RECEPTOR. La función del receptor es recibir la señal portadora modulada, eliminar la portadora, y recuperar la Señal de Control original. Este proceso se llama Demodulación.

Fig. 7: Esquema básico de un receptor.



La Figura 7 representa un receptor AM superheterodino. Las topologías de los receptores pueden variar, todos involucran múltiples etapas para realizar el proceso de recepción y recuperación del mensaje.

El proceso comienza cuando la antena receptora recibe las ondas electromagnéticas radiadas de la antena transmisora.

Estas ondas inducen un voltaje muy pequeño en la antena receptora, lo cual crea una corriente, con la frecuencia de la portadora que se amplifica a un nivel de procesamiento y luego es llevada a lo que se conoce como un Mixer.

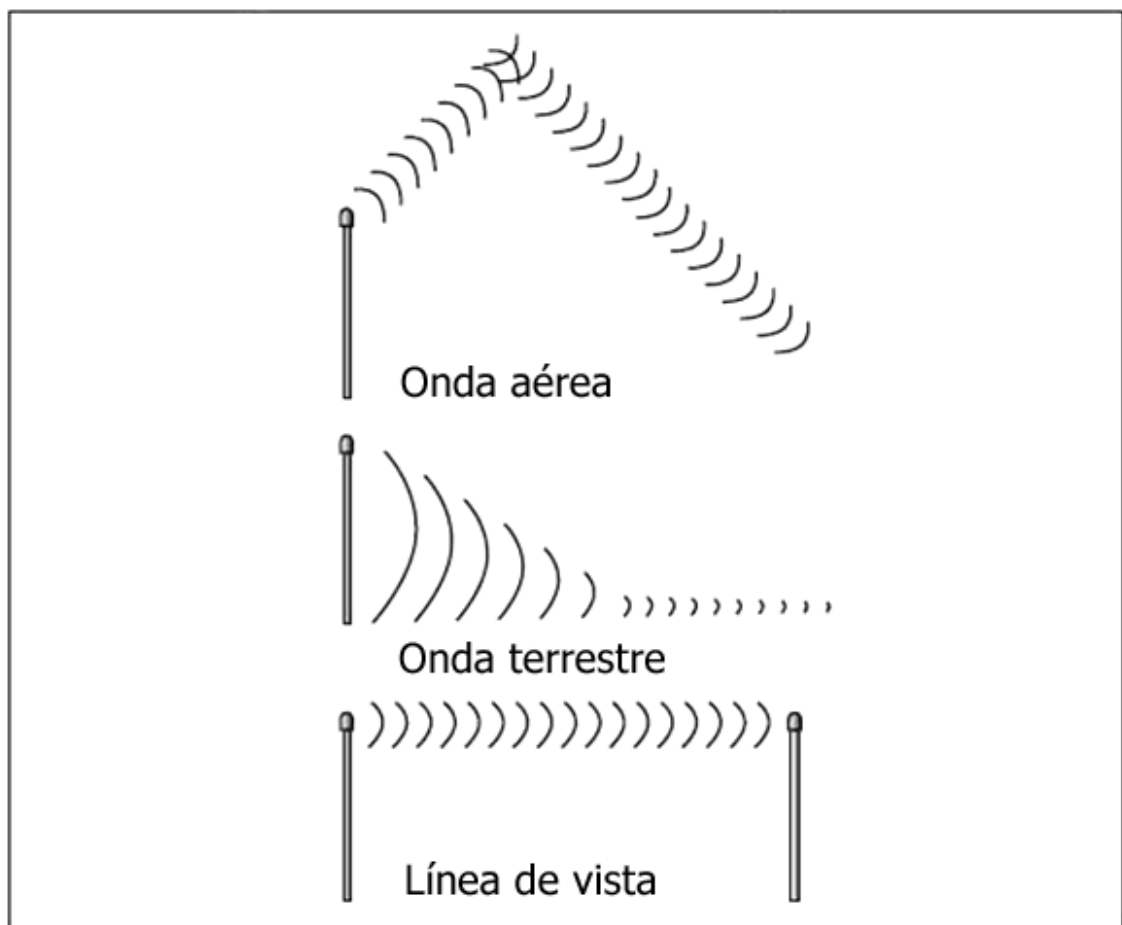
El Mixer toma la señal recibida y la combina con una fuente de frecuencia local llamada el Oscilador Local. Esta modificación convierte la señal a una frecuencia baja llamada la Frecuencia Intermedia o IF. El detector elimina la IF de la señal y la señal resultante contiene solamente el mensaje original.

Hasta ahora hemos cubierto el funcionamiento básico como las señales son transmitidas y recibidas.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS. La transferencia de energía a través del espacio es llamada propagación. En general la propagación de ondas de radio se puede dividir en tres amplias categorías ilustradas en la Fig. 8:

- Propagación ondas aéreas, donde la señal viaja principalmente por medio de reflejos en la ionósfera.
- Propagación de ondas terrestres, en donde la señal viaja a lo largo de la superficie de la tierra.
- Línea de vista, donde la onda viaja casi como un haz de luz, en línea recta, y por o tanto requiere que el transmisor y receptor estén dentro de una distancia de vista uno del otro.

Fig. 8: Categorías de propagación de ondas.



5. INTERFERENCIA POTENCIAL. La interferencia es la presencia de ruido no deseado o señales que dificultan la capacidad de recepción.

La interferencia se puede dividir en tres categorías primarias:

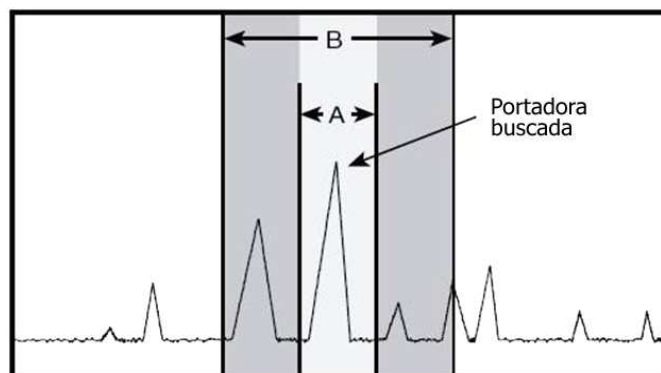
Ruido Natural, ruido generado por el hombre, y señales generadas por el hombre. A continuación una breve descripción de cada una:

- El ruido natural se origina en la atmósfera de la Tierra y el espacio. Tiende a incrementar a frecuencias bajas.
- Ruido generado por el hombre es causado por radiaciones RF sin intención o propósito, como motores, fuentes de poder y micro ondas.
- Las Señales generadas por el hombre son señales RF con propósito como señales de radio, televisión, teléfonos celulares, etc.

La inmunidad al ruido depende del ancho de banda y precisión de frecuencia del transmisor. Al ser más precisa la frecuencia y más angosto el ancho de banda o espacio de espectro que ocupa, más angosto puede ser el filtro del receptor. Esta medida incrementa la proporción de señal a ruido y reduce la interferencia.

La Figura 9 muestra que un receptor con un ancho de banda A tiene una mejor recepción que un receptor con un ancho de banda B.

Fig. 9: Comparación de anchos de banda de receptores



6. BENEFICIOS DE OPERACIÓN DENTRO DE LA BANDA 260-470 MHZ. La banda de frecuencia de 260-470 MHz se encuentra con menos interferencia que otras bandas, como la banda 902-928 MHz, que está poblada con transmisiones continuas de voz, datos, video e interferencia aparatos de emisión de espectro amplio como los hornos microondas.

Además se obtienen mayores distancias de transmisión con menor potencia, debido a que la propagación de las ondas en el espacio libre es significativamente mejor que en frecuencias de 900 MHz o 2.4 GHz.

De esta manera el consumo de potencia para transmisión es menor. Por otro lado, los componentes usados para estas frecuencias tienen un menor costo que aquellos diseñados para funcionar a altas frecuencias.

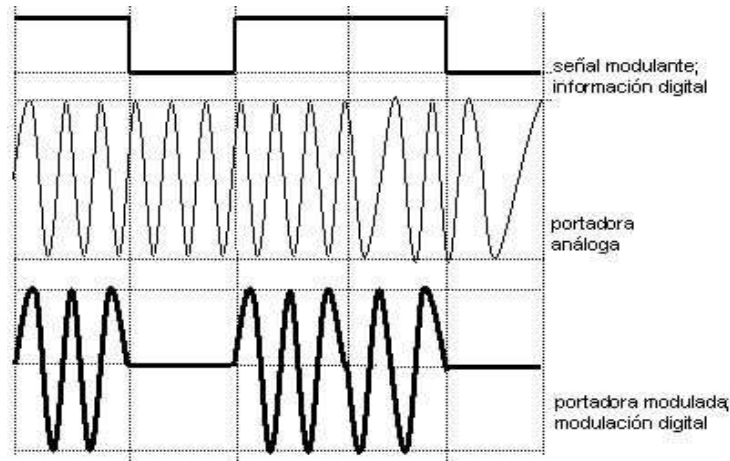
F. MODULACIÓN OOK

La modulación por amplitud (AM) es talvez la técnica más antigua para transmitir información en una portadora RF. En el caso de la modulación AM, la fuente de modulación es una fuente de voltaje que solamente tiene un estado, "encendido" (On). El la modulación se ilustra en la Fig. 10.

Cuando la fuente de modulación es "encendido", representando un alto lógico o un '1' en términos binarios, la amplitud de la portadora estará en máximo valor, y cuando la fuente se encuentre en "apagado" representando un bajo lógico o un '0' binario, la amplitud de la portadora será mínima.

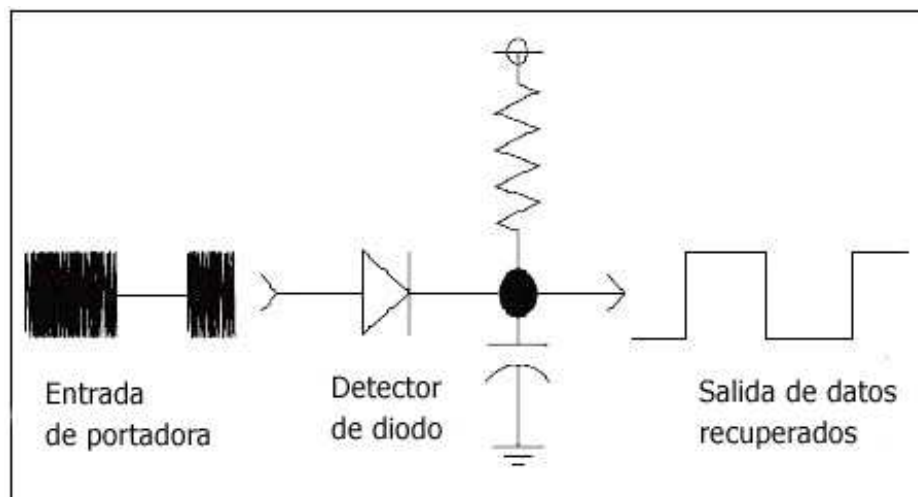
La modulación On/Off Keying (OOK) es un caso especial de la modulación AM, con la particularidad que la amplitud de la señal AM transmitida por un '0' es cero.

Fig. 10. Modulación OOK. 1. Señal binaria moduladora, 2. Señal portadora,
3. Señal modulada



El circuito más común para detectar una señal OOK es un diodo detector, que se muestra en la Figura 11.

Fig. 11: Circuito detector de diodo.

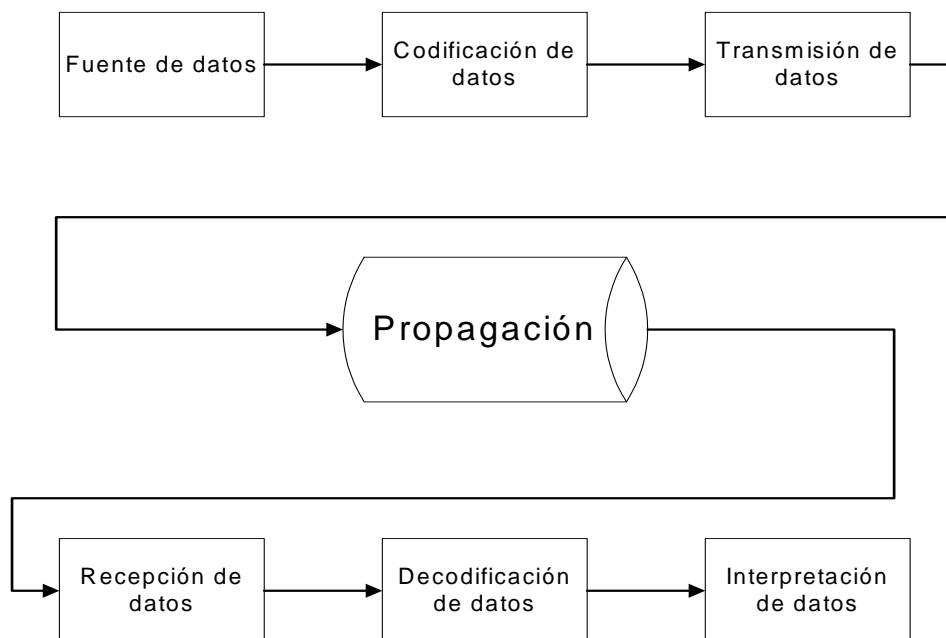


El diodo y el filtro pasa-baja posterior, actúan para remover la portadora y recuperar el mensaje intacto. Se utiliza amplificación en la salida del detector de diodo, para convertir a los datos de salida a su forma original.

G. CANAL DE COMUNICACIÓN

Un canal de comunicación es la ruta que recorren los datos desde el transmisor hasta el receptor, y está compuesto por todos los componentes requeridos para generar el flujo de datos, codificarlos, transmitirlos (incluyendo la propagación), recibirlos, decodificarlos e interpretarlos.

Fig. 12: Esquema de un canal de comunicación.



1. **FUENTE DE DATOS.** La fuente de datos puede ser cualquier señal de entrada, desde un convertidor A/D tomando medidas de temperatura, un archivo de una computadora o una tecla presionada en un teclado. La corrupción de datos en esta etapa del canal de comunicación es poco probable, y usualmente se pueden rastrear a un error en el software o hardware.

2. **CODIFICACIÓN DE DATOS.** Usualmente la fuente de datos envía los datos sin protección. Una codificación de los datos provee una estructura,

seguridad una forma de corrección de errores que puede asegurar la integridad de los datos.

3. TRANSMISIÓN DE DATOS. La transmisión se puede ver afectada por ruido en la fuente de alimentación, o un voltaje insuficiente para modulación puede corromper el flujo de datos.

4. PROPAGACIÓN. La propagación es el camino que las ondas de radio recorren a través del espacio libre desde el transmisor hasta el receptor. Durante este trayecto, las ondas electromagnéticas están sujetas a distorsión y ruido. Es en esta etapa donde existe una mayor probabilidad de corrupción.

5. RECEPCIÓN DE DATOS. Durante la recepción de datos, los datos se pueden corromper por la presencia de otro transmisor con suficiente potencia, éste puede interferir la señal deseada. También se tienen problemas en esta etapa cuando se excede la velocidad de transmisión máxima que se recomienda en las especificaciones del receptor.

6. DECODIFICACIÓN DE DATOS. Los datos recibidos son decodificados y revisados en busca de errores. La corrección de errores se realiza en esta etapa.

7. INTERPRETACIÓN DE DATOS. Una vez decodificados los datos, se procede a darles una interpretación inmediata o se almacenan para un análisis posterior.

H. PROTOCOLO

Para que exista comunicación entre dos sistemas, es necesario que ambos estén de acuerdo sobre las reglas de la comunicación, si no fuera así, cualquier intento de transmitir un mensaje sería inútil.

En el campo de las telecomunicaciones, un protocolo es el conjunto de normas utilizadas para la transmisión de datos a través de un canal de comunicación.

Los protocolos poseen la capacidad de asegurar el intercambio de datos por medio de un canal de comunicación que está sujeto a condiciones no ideales. Para fines de este trabajo, consideraremos las características de los protocolos seriales.

1. PROTOCOLO SERIAL ASÍNCRONO. Un protocolo serial se caracteriza por enviar los bits, que contienen la información, en serie.

Dicho de otra forma, los bits se envían uno detrás de otro. La codificación más común para la transmisión de caracteres es la codificación ASCII (American Standard Code for Information Interchange), en donde cada carácter está representado por 7 bits en la versión estándar y 8 bits en la versión extendida.

En un protocolo serial, la transmisión de un carácter se compone de los siguientes eventos:

- Una señal de START (Start Bit), a continuación se envían los 8 BITS que contienen la representación del carácter.
- Luego se envía el Bit de PARIDAD (indica si el numero de bits transmitidos es par o impar, para detectar fallos), y la transmisión termina con una señal de STOP (1 ó 2 bits de Stop) .
- La señal de STOP es un periodo de inactividad en donde el receptor queda a la espera de la próxima señal de START. Estas condiciones se transmiten dentro de un periodo establecido por una señal de mando, y se establece una sincronía entre la transmisión y recepción. A este tipo de transmisión se le llama Transmisión Serial Síncrona.

La transmisión/recepción que no se realiza con una periodicidad establecida se llama Transmisión Serial Asíncrona. Debido a la falta de señal de sincronía, la velocidad esta determinada por la duración de cada bit (dentro de la magnitud de los microsegundos). Ver Fig. 13.

El protocolo serial puede transmitir los datos en grupos de 5, 6, 7 u 8 bits, a unas velocidades establecidas (normalmente 19,200, 9,600, 4,800, 2,400, etc.) expresadas en unidades llamadas baudios. Por lo tanto el transmisor y el receptor deberán tener los mismos parámetros de velocidad, paridad, número de bits del dato transmitido y de bit de parada.

El hardware que realiza la recepción/transmisión asíncrona es conocido como un UART (universal asynchronous receiver/transmitter).

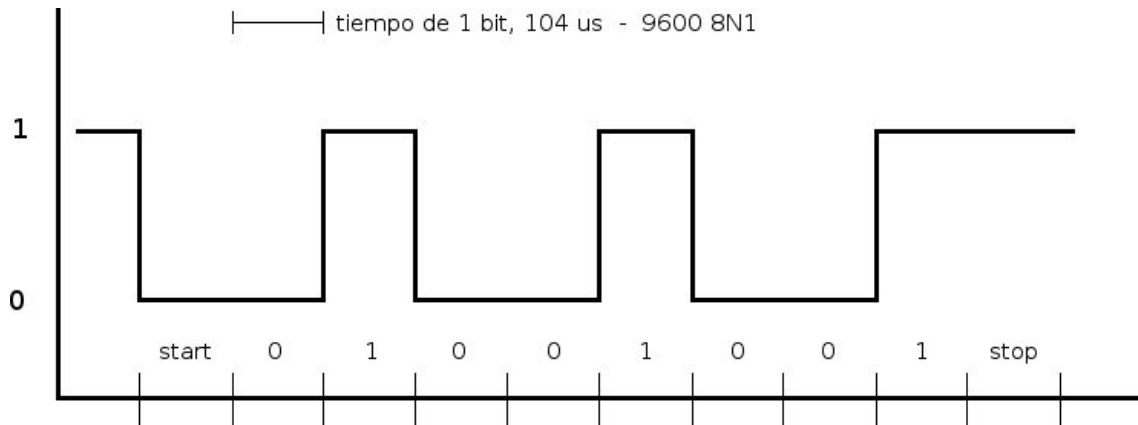
Durante la recepción el UART convierte los 8 bits de información recibidos de forma serial en un formato paralelo para reconstruir el byte recibido.

En los circuitos digitales cuyas distancias son relativamente cortas, se pueden manejar transmisiones en niveles lógicos TTL (0-5V). En este caso un "1" lógico es un voltaje de 5 V y un "0" lógico es un voltaje de 0 V.

Cuando las distancias aumentan, estas señales tienden a distorsionarse debido al efecto capacitivo de los conductores y su resistencia eléctrica. En este caso es posible realizar la transmisión y recepción por medio de una conversión a voltajes más altos, manteniendo la lógica del protocolo.

El incremento en voltaje nos da un incremento en la distancia útil limitada, para distancias superiores es necesario acudir a el proceso de modulación explicado anteriormente.

Fig. 13. Trama asíncrona del protocolo serial asíncrono 4800 8N1



IV. DELIMITACIÓN DEL TEMA

Este trabajo de graduación se limita a diseñar, planificar y construir un micro robot controlado por RF de corta distancia con un volumen máximo de una pulgada cúbica, que tenga las características para ser una plataforma de soluciones particulares en el área de la micro robótica.

Como resultado se tiene un micro robot móvil, controlado por un canal RF que utiliza un medio de locomoción 4 ruedas, de las cuales dos tienen motor independiente e implementan movimientos en cuatro direcciones (adelante, atrás, derecha izquierda), giros, registro, programación y reproducción de rutas, y no se implementa alguna aplicación específica.

V. METODOLOGÍA

La metodología del trabajo consiste en diseñar el micro robot y construirlo en módulos, luego realizar pruebas del funcionamiento del conjunto de módulos, y realizar cambios para la optimización del funcionamiento.

Se hizo un diseño preliminar del principio de locomoción del micro robot, partiendo de los objetivos propuestos, los materiales y herramientas accesibles.

Con un método de locomoción definido se hizo un diseño preliminar de las partes mecánicas con la asistencia de Erick Tijerino, estudiante de Ing. Mecánica de la UVG, y de las partes electrónicas.

Se construyó un prototipo del chasis para evaluar la integración del conjunto de componentes. Luego de evaluar la integración con los componentes seleccionados, para optimizar el aprovechamiento del espacio, se hicieron los cambios que se consideraron necesarios y se construyó el chasis final con sus ruedas.

Los circuitos electrónicos se dividieron en dos módulos:

- Control (Módulo de transmisión RF)
- Micro Robot (Módulo de recepción RF)

Para el desarrollo de los módulos electrónicos se construyeron los circuitos en *proto-board*, se optimizó su el funcionamiento del control de motores y se realizaron pruebas de velocidad de transmisión e interferencia del canal RF.

De forma paralela a las pruebas en *proto-board* se procedió a la construcción de los circuitos finales.

El circuito de control del micro robot se construyó con componentes con empaquetado SOIC para el microcontrolador, el driver de potencia. Las resistencias y capacitores tienen un empaquetado 1206. El circuito fue montado en un *PCB* delgado de fibra de vidrio.

El circuito del control fue construido con componentes *DIP*, resistencias de carbón y capacitores electrolíticos.

A. HERRAMIENTAS DE TRABAJO

Se utilizó el software de desarrollo CCS C versión 3.236, con los compiladores de instrucciones de 14 bits (PCM) para el microcontrolador PIC 12F683 y 16 bits (PCH) para el microcontrolador PIC 18F2585.

Para las comunicaciones RF se usaron los módulos LINX RXM-433-LC-S (receptor) y TXM-433-LR (transmisor). Los módulos poseen un sistema de modulación OOK con una señal portadora de 433MHz, dentro de la banda de frecuencias de VHF (ver Fig. 2).

El chasis del micro robot se fabricó utilizando una máquina CNC instalada en el campus de la Universidad del Valle de Guatemala.

El diseño de las placas del micro robot y del control se harán en el software para diseño de *PCBs* EAGLE 4.16r2.

VI. DESARROLLO

A. TRANSMISOR

1. TRANSMISIÓN DE INSTRUCCIONES. La función de transmisión de instrucciones al micro robot es una función central del trabajo. Esta interacción se realiza por medio de un teclado matricial de 16 teclas; cada tecla está debidamente identificada con un símbolo, como se muestra en la Fig. 14.

Fig. 14: Teclado matricial 4x4



Cada tecla puede tener hasta dos funciones asignadas. La primera función es la de una instrucción hacia el micro robot, y la segunda es para establecer configuraciones del transmisor o del micro robot.

El modo de configuración se activa al presionar la tecla 2ND. El indicador de modo de configuración es un diodo emisor de luz (LED) rojo, que se enciende al entrar al modo de configuración, y solamente se apaga cuando se presiona una

tecla que tiene una configuración asignada o si se vuelve a presionar la tecla 2ND para salir del modo de configuración sin hacer cambios.

Al transmitir una instrucción o configuración, se envía un carácter (llamado dato) por medio de la salida serial hacia el micro robot.

La asignación a los caracteres asociados a cada tecla fueron elegidos sin ninguna secuencia o relación. Los datos asignados a cada tecla se muestran en la tabla 1.

La excepción a lo indicado en el párrafo anterior es la función asignada a la tecla ENTER porque no realiza una transmisión serial, debido a que reproduce la ruta almacenada en la memoria de programa del PIC del mismo transmisor.

El protocolo de transmisión de datos utilizado para la transmisión de dato será serial a 4800 bits por segundo 8N1 half duplex y asíncrono.

La codificación de los datos se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1: Mapeo del teclado matricial, 1. Carácter ASCII transmitido para cada comando, 2. Función de instrucción, 3. Función de configuración

TECLA	DATO	INSTRUCCIÓN	CONFIGURACIÓN
1	q	Giro 90° a la Izquierda	PWM al 99%
2	<	Adelante	PWM al 75%
3	m	Giro 90° a la Derecha	PWM al 50%
4	a	Izquierda	PWM al 25%
5	s	Detener	PWM al 10%

Continuación Tabla 1

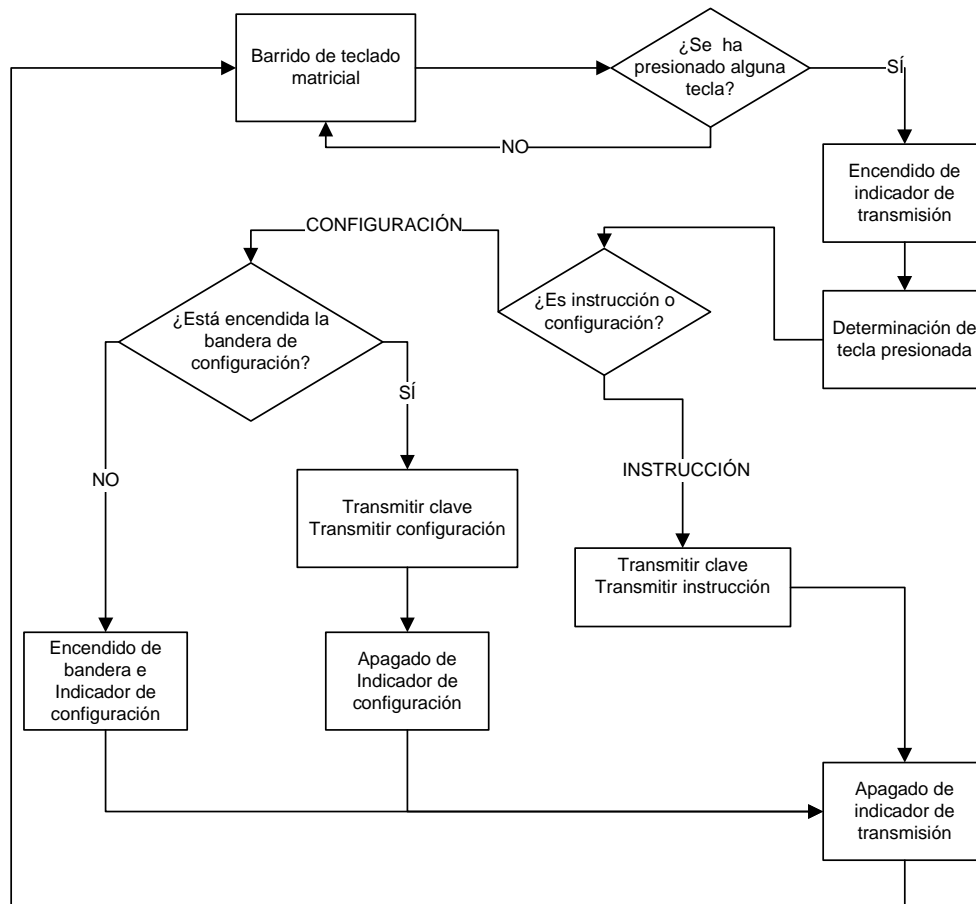
TECLA	DATO	INSTRUCCIÓN	CONFIGURACIÓN
6	d	Derecha	
7	z		
8	x	Atrás	
9	=		
0	h	Giro 180°	
↑	\$		Activa giros de 90° continuos
↓	t		Desactiva giros de 90° continuos
2ND	p	Activa bandera de configuración	Desactiva la bandera de Configuración
ENTER			Reproducir ruta almacenada en memoria
CLEAR	?		Borrado de la memoria de ruta
HELP	k		Activar o desactivar Registro de ruta

2. ALGORITMO DE TRANSMISIÓN. En la transmisión de la información se ha incluido varias medidas de seguridad para reducir la mal interpretación de información enviada por el control, o por interferencia ajena, que puede ocasionar un funcionamiento indeseado al micro robot.

La primera medida de seguridad implementada es la transmisión de un carácter que tiene la función de indicar al micro robot que se le va a transmitir una instrucción desde el control. A esta transmisión previa a la transmisión del dato la llamaremos clave. El carácter asignado a la clave es @ (64 en código ASCII).

Es importante detallar que cada dato transmitido se almacena en un registro de la memoria de programa del PIC.

Fig. 15: Diagrama de flujo de transmisión serial



3. CODIFICACIÓN DE INSTRUCCIONES POR MEDIO DE UN FRAME.

Cada instrucción se transmite a través del protocolo serial de 8 bits (4800 8-N-1), con una modulación OOK de los módulos RF. Por medio de software se utiliza una función de transmisión serial que incluye un parámetro de referencia asignado por el usuario llamado FRAME. Este parámetro funciona como una medida de seguridad, para autenticar que una transmisión aceptada proviene únicamente del control del micro robot y no de un control ajeno. El FRAME configurado para las transmisiones del control es CMDIPT. Para poder transmitir el FRAME, se utiliza la función `fputc(dato, CMDIPT)` que esta incluida en el compilador CCS C.

4. CONFIGURACIONES

- Activar o desactivar Registro de ruta

El activado o desactivado del Registro de rutas en la memoria de programa del PIC se realiza por medio de las teclas 2ND y HELP. El usuario puede hacer un cambio en la configuración en el momento que desee sin afectar la instrucción que esté ejecutando el micro robot en ese momento. El Registro de la ruta está activado por defecto.

- Reproducir ruta almacenada en memoria

La reproducción de la ruta almacenada en la memoria se inicia al presionar las teclas 2ND ENTER

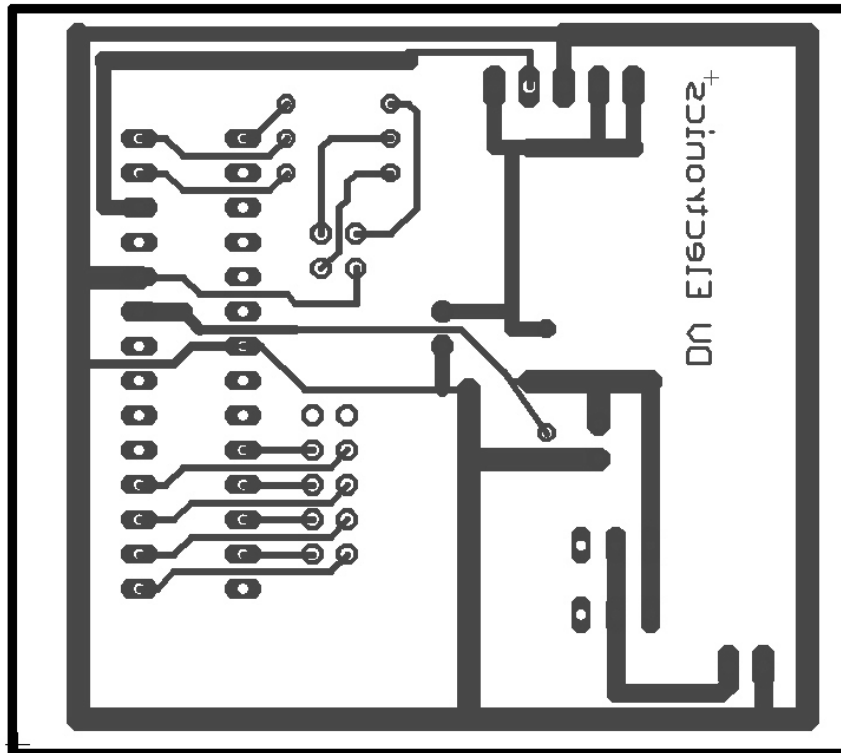
5. REGISTRO DE RUTAS. El Registro de rutas es una opción que nos permite programar una ruta que el usuario desea replicar en cualquier momento, con la capacidad de reproducir los movimientos con error de 0.2 segundos.

El Registro de rutas se realiza de la siguiente manera:

El dato se almacena después de la transmisión, en registros consecutivos de la memoria de programa a partir de la dirección 0x1800h, intercalados con el número de *overflows* que ocurrieron en el TIMER1 entre cada transmisión de datos.

De esta manera para reproducir la ruta se leen las instrucciones y el tiempo entre cada instrucción se reproduce, conociendo cuanto tarda cada *overflow* (aprox. cada 0.51 s), se usa un ciclo de retrasos equivalentes al tiempo requerido. Por medio de las teclas 2ND CLEAR se borra la ruta almacenada en la memoria.

La cantidad de movimientos almacenados en el registro de rutas depende de el tiempo que transcurre entre cada instrucción, debido a que el tiempo registrado también se graba en los 43,000 registros de memoria de programa dispuestos para este fin.

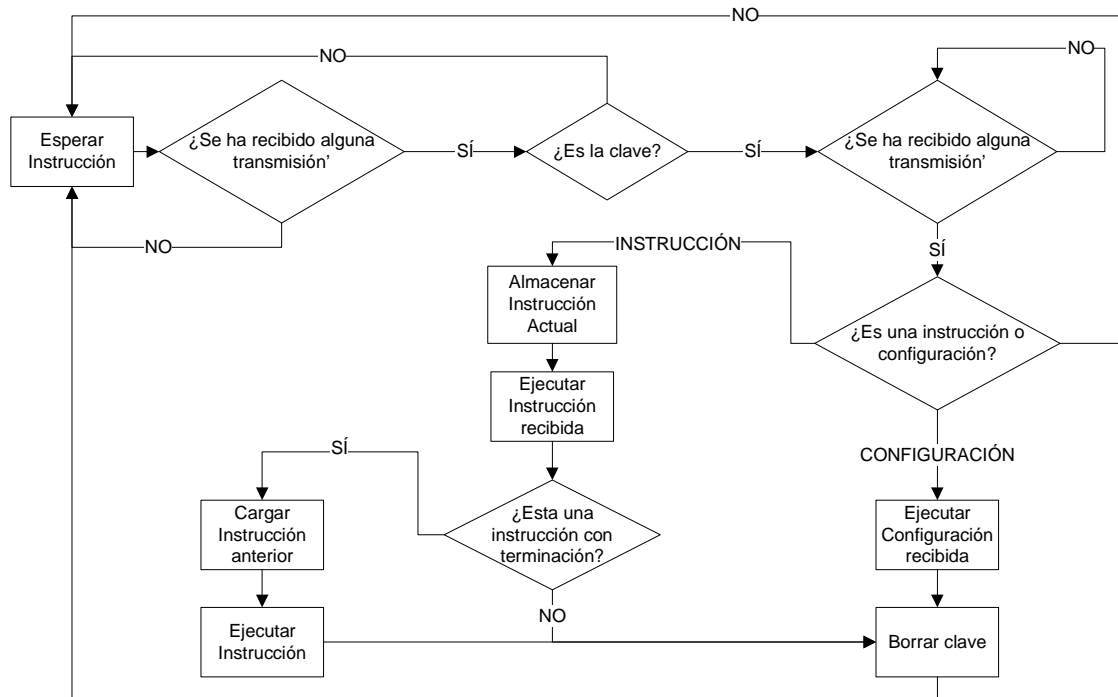
Fig. 18: *PCB* de transmisor sin componentes

B. RECEPTOR

1. ALGORITMO DE RECEPCIÓN. El PIC 12F683 utilizado para el receptor no posee un módulo de interfaz serial, de forma que se las comunicaciones seriales se realizaron implementando un puerto serial por software.

La recepción de datos seriales se lleva a cabo por medio de la verificación de la recepción de la clave, y luego de la recepción de un dato. Ambos se aceptan al tener el FRAME especificado por el usuario.

Fig. 19. Diagrama de flujo de recepción serial

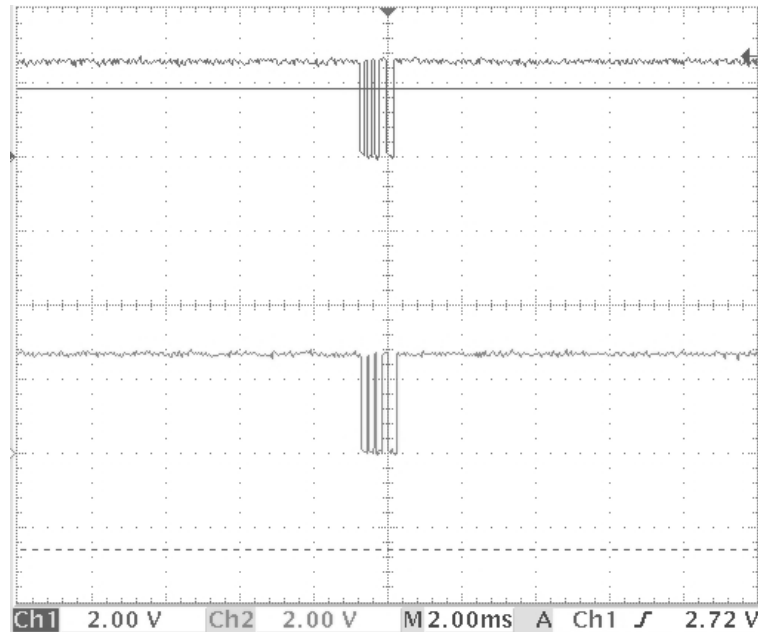


El alcance del control RF efectivo de 10 metros, eliminando interferencia por medio del uso de FRAMES y un carácter como clave de inicio de comando.

2. DECODIFICACIÓN DE INSTRUCCIONES. Las instrucciones recibidas se decodifican comparando el dato recibido, con las instrucciones validas. Al encontrar la instrucción, se hacen los cambios en las salidas del puerto del PIC, que controla los motores.

Después de ejecutar la instrucción se chequea si se necesita regresar a la instrucción anterior. Esto se utiliza en el caso de tener activada la configuración de giros de 90° continuos. Luego se regresa al estado de recepción de datos seriales. La Fig. 20 ilustra la señal transmitida y recibida en in osciloscopio.

Fig. 20: Comparación entre trama enviada y trama recibida respectivamente



3. CONFIGURACIONES. Las configuraciones del micro robot son:

- GIROS CONTINUOS

La configuración de giros continuos da la facilidad al micro robot de realizar giros de 90° sin pérdida de tiempo. Al recibir la instrucción de giro el micro robot la ejecuta e inmediatamente carga la instrucción que estaba ejecutando antes de hacer el giro de 90° .

- PWM

El PIC 12F683 posee un modulo de Pulse Width Modulation (PWM), por medio del cual se regula la velocidad de los motores, variando el ciclo de trabajo del tren de pulsos que se le envía a los motores. Un porcentaje mayor en el ciclo de trabajo hace que se muevan más rápido los motores.

El usuario puede configurar porcentajes de 10, 25, 50, 75 y 90 en el micro robot.

Fig. 22: PCB de receptor con componentes

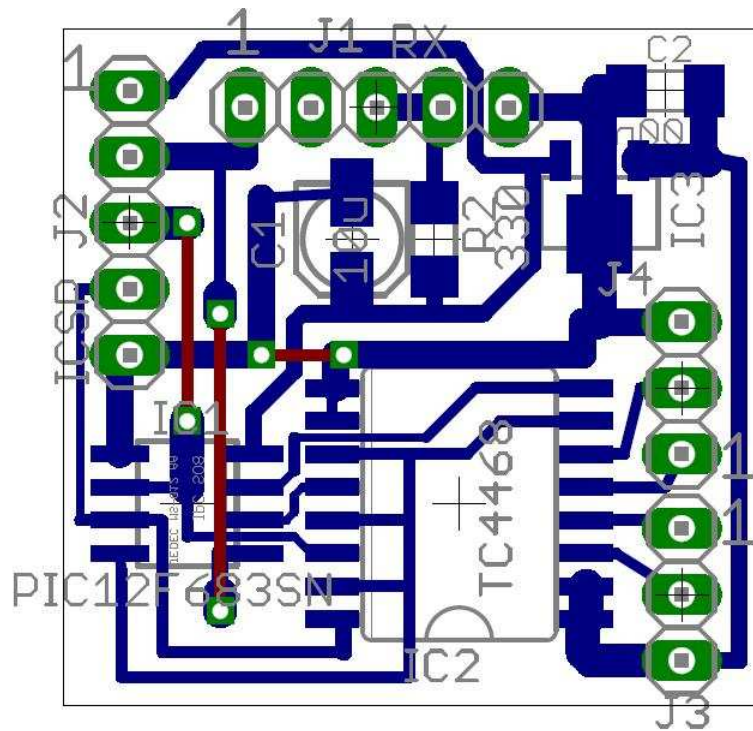
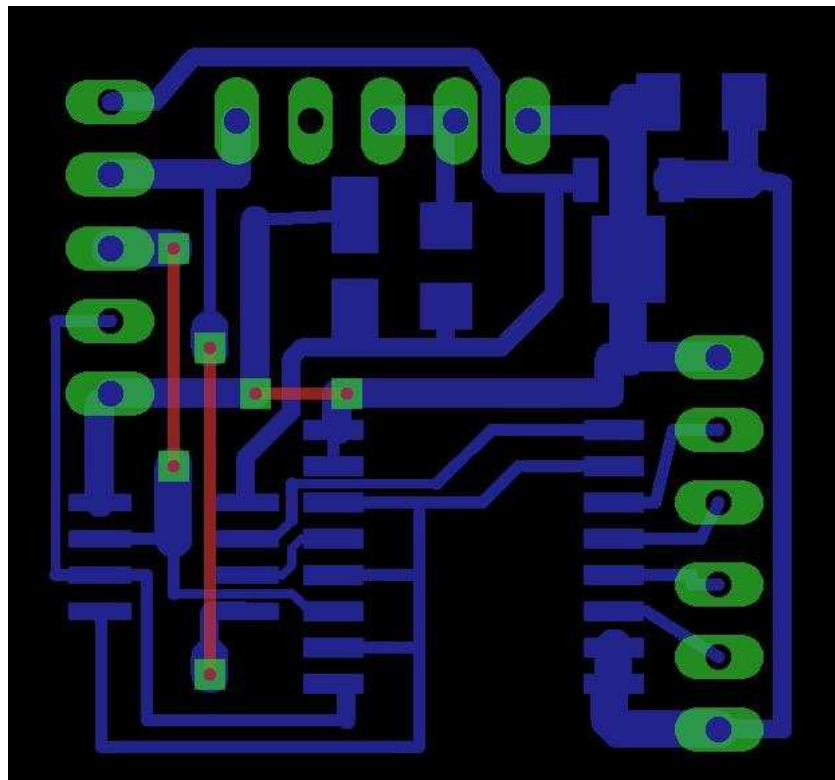


Fig. 23: PCB de receptor sin componentes



5. ICSP (In Circuit Serial Programming). Para la programación del micro robot, se diseñó un conector incorporado al circuito para poder programar el microcontrolador montado en el *PCB* utilizando la modalidad ICSP.

Con este objetivo en mente se construyó un adaptador para el programador de PICs, melabs U2 Programmer. De esta manera se conectan el programador y el circuito.

Fig. 24: Diagrama de una conexión ICSP entre el programador y un PIC.

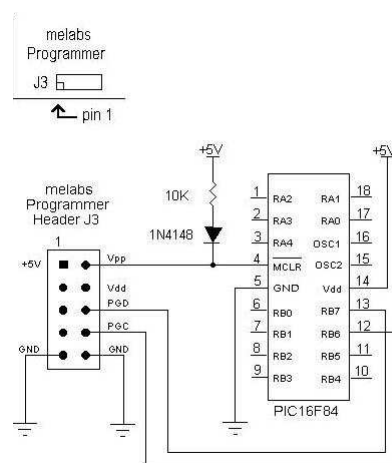


Fig. 25: Circuito del adaptador para ICSP

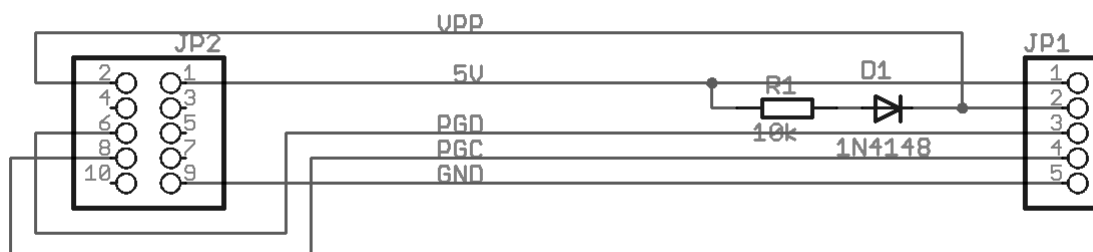


Fig. 26: PCB de adaptador para ICSP sin componentes.

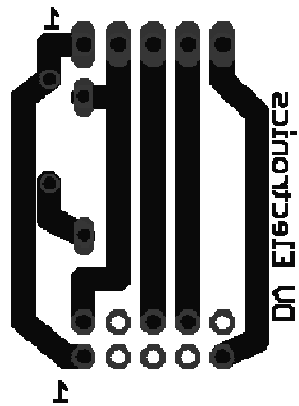


Fig. 27: PCB de adaptador para ICSP con componentes.

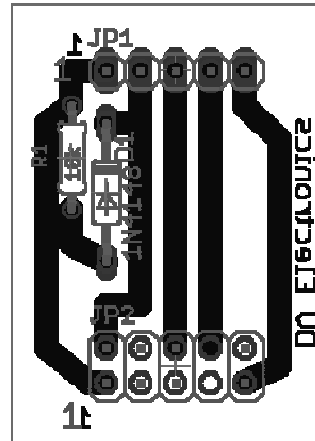
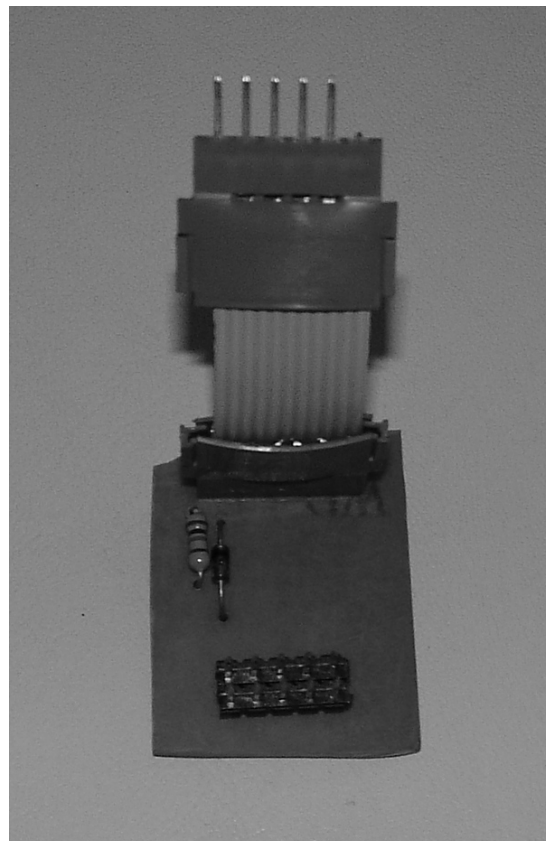


Fig. 28: Imagen de adaptador para ICSP.



6. CHASIS Y RUEDAS. El chasis fue construido por una máquina CNC (Computer Numerical Control) dentro de las instalaciones de la Universidad del Valle.

El chasis se construyó a partir de un bloque de aluminio, aprovechando que es un material liviano y posee una alta resistencia.

El diseño de el chasis fue pensado para alojar los dos motores electros en lados opuestos de el micro robot, (uno adelante y otro atrás). Esta distribución de los motores da al robot un medio de locomoción de ruedas independientes. La Fig. 29 ilustra el chasis del micro robot sus ruedas y motor.

La ubicación de los motores, permite que el micro robot pueda realizar giros de 180° sobre su propio eje, dándole una ventaja para maniobrar en espacios reducidos.

Las ruedas están sostenidas a los ejes del chasis por medio de un seguro de eje externo tipo E para un eje de 1.5 mm de diámetro.

Fig. 29: Imagen de chasis con ruedas y motores

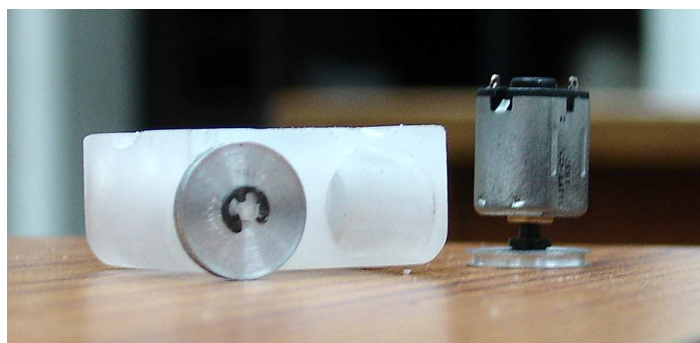


Fig. 30: Planos del chasis del micro robot

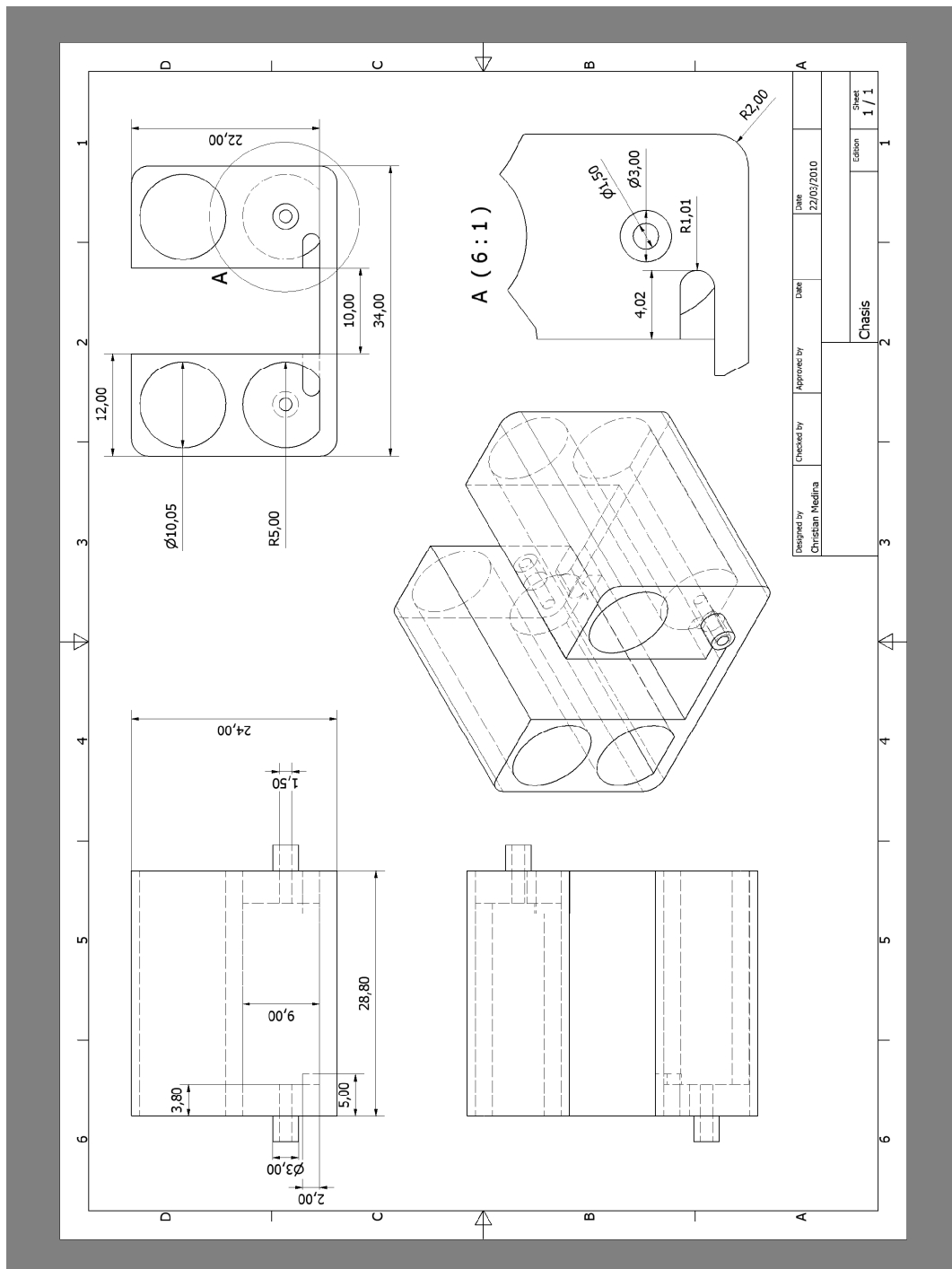


Fig. 31: Planos de las ruedas del micro robot

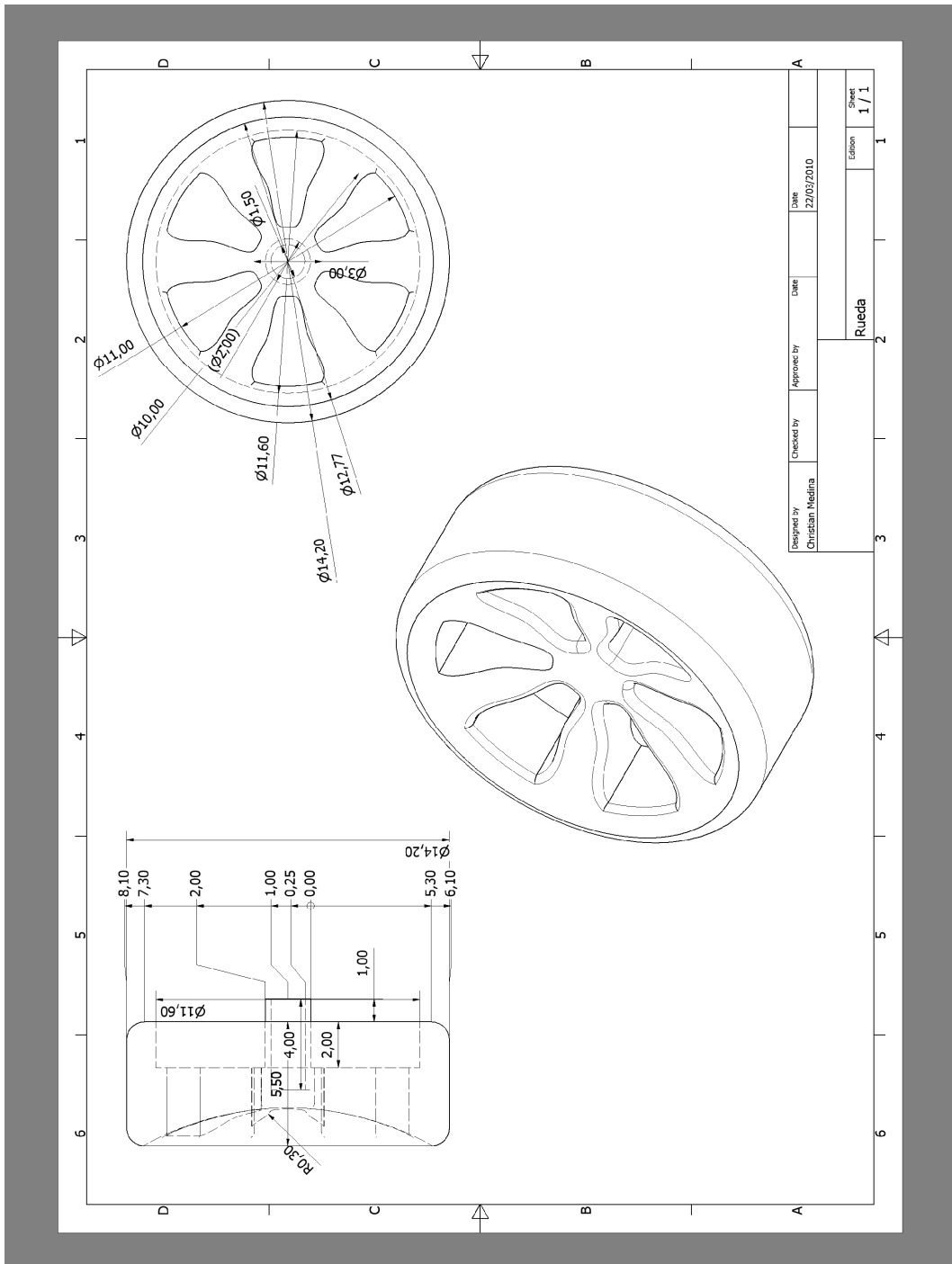
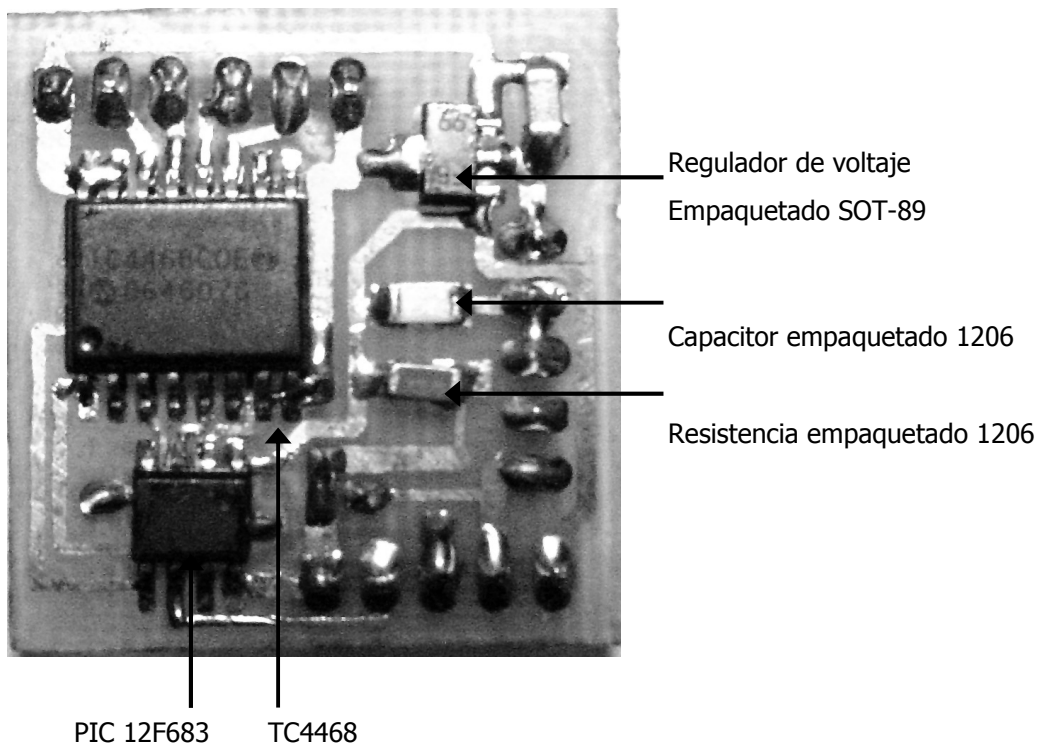


Fig. 32: Control del Micro robot terminado



Fig. 33: Componentes del circuito del micro robot.



7. MOTORES Y ENERGÍA. Los motores DC GH810264V3 fabricados por Gizmo'szone, una fabrica de motores DC basada en Hong Kong, se seleccionaron tomando en cuenta su tamaño y capacidad de torque (80 gcm). Poseen un sistema de engranajes planetario que incrementa considerablemente el torque de salida y bloquea las ruedas en caso de no estar en movimiento. El peso total de cada motor es de 3.4 g.

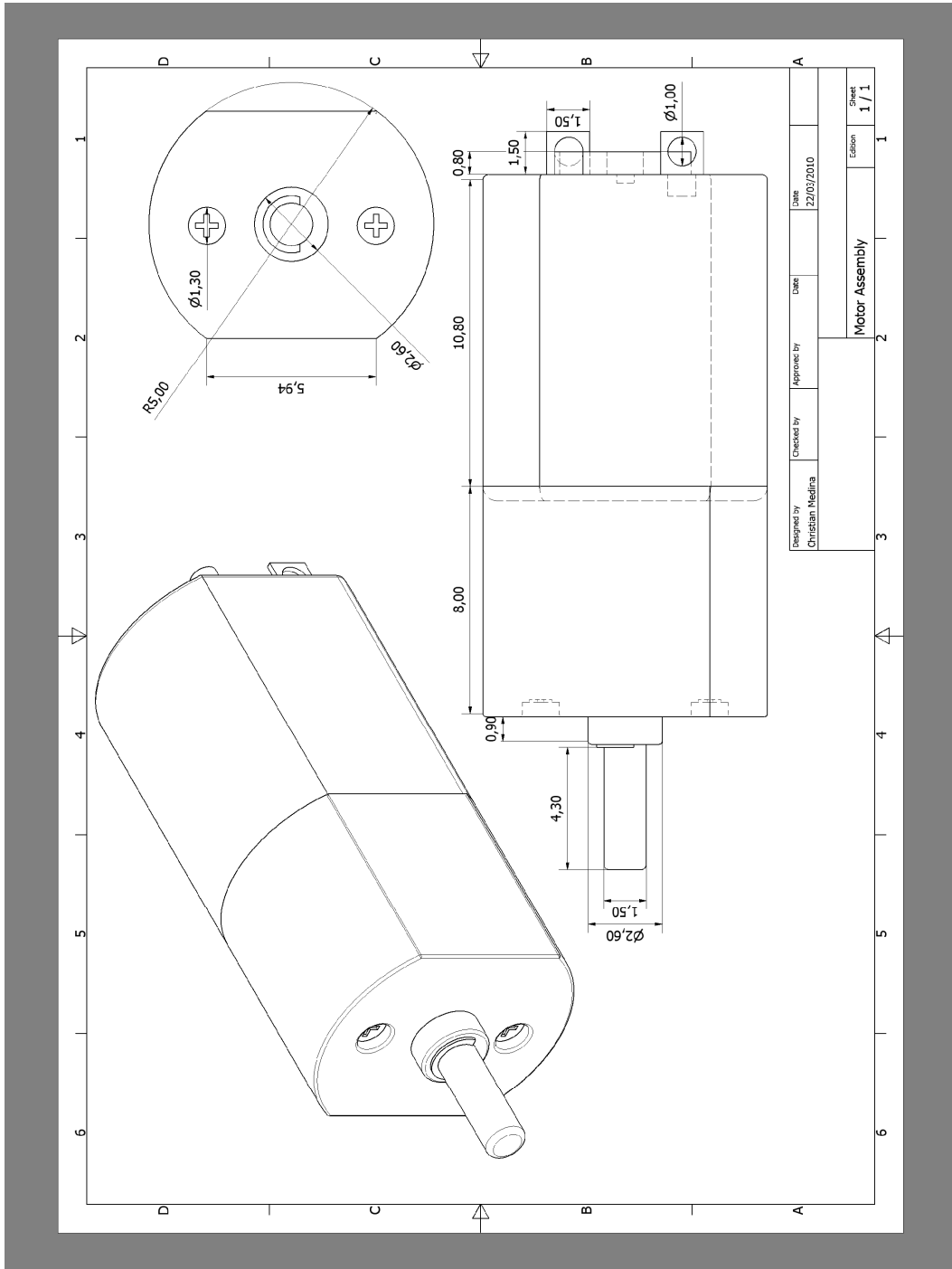
Cada motor está alimentado por una batería A23 de 12V. nominales que se basan en un sistema de químico de Dióxido de Manganeso (MnO_2).

Catalogada como una Alcalina miniatura, la batería A23 posee un peso de 8 gramos y un volumen de 1.1 centímetros cúbicos, lo cual nos permite alojar dos A23 dentro del chasis del micro robot sin ningún problema.

Como inconveniente de las baterías A23 podríamos mencionar que no poseen la capacidad de ser recargadas. Debido a esta desventaja se compararon varios modelos de baterías recargables como opciones para proveer de energía al micro robot, pero no se encontró ninguna que cumpliera con los requerimientos de tener un tamaño adecuado para ser alojado dentro de las dimensiones máximas del chasis.

Los motores DC GH810264V3 tienen un consumo de 80 mA. La capacidad de las baterías A23 es suficiente para impulsar al micro robot de forma continua por cuatro minutos aproximadamente, lo cual cumple con los objetivos planteados para este trabajo.

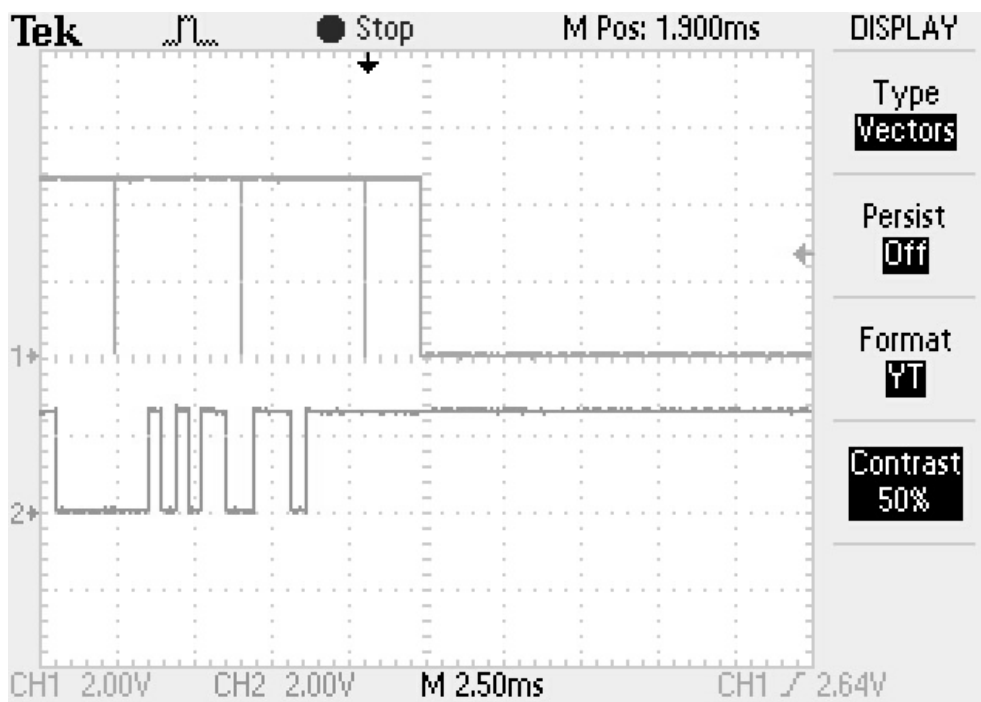
Fig. 34: Planos de los motores



8. OTRAS CARACTERÍSTICAS. El tiempo de respuesta del micro robot se ha medido como el tiempo que tarda en ejecutarse una instrucción desde que se recibe en el receptor RF hasta que se ejecuta en los motores.

Esta medición se realizó en un osciloscopio, con el resultado de un tiempo de respuesta de 3.75 ms visible en la Figura 35. Este retraso es causado principalmente por el tiempo en que el microcontrolador tarda en ejecutar las instrucciones de decodificación y hacer los cambios respectivos en los puertos de salida.

Fig. 35: Tiempo de respuesta del micro robot



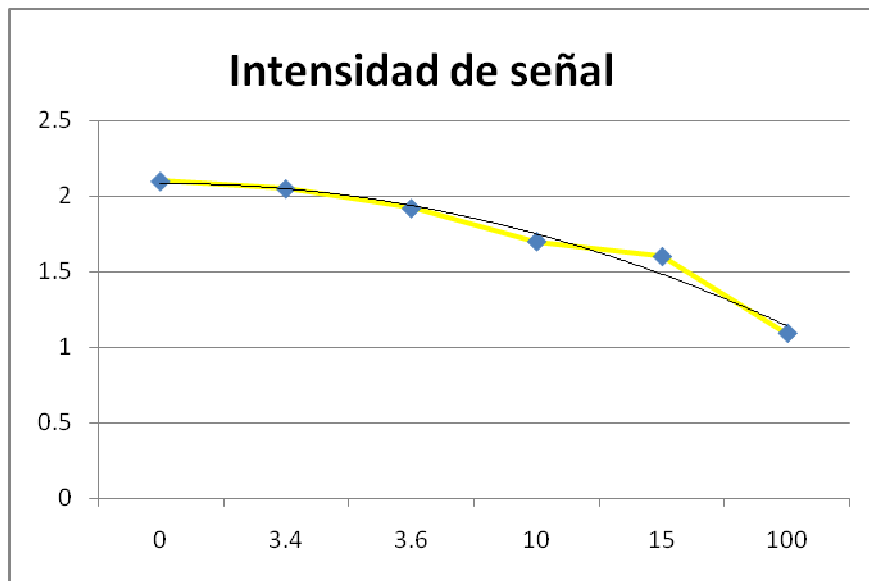
La intensidad de la señal recibida en el receptor es afectada por el nivel de interferencia que exista en el ambiente en un momento particular. Para tener una referencia del desempeño del receptor se hicieron mediciones a la señal de salida del módulo rx RSSI, que entrega una referencia de voltaje proporcional a

la intensidad de señal. La tendencia de los datos responde al comportamiento de la siguiente función.

$$V = -0.038x^2 + 0.083x + 2.042$$

En donde V es el voltaje de salida y x la distancia entre el receptor y el transmisor.

Fig. 36: Intensidad de señal en el receptor



Se observó que la velocidad alcanzada por el micro robot depende de la capacidad de suministro de corriente de la fuente que lo está alimentando, aunque al haber una disponibilidad alta de corriente los movimientos del robot son demasiado violentos. Con un suministro de corriente que permite movimientos parejos, el micro robot tiene una velocidad de 10 cm por segundo.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El desarrollo de micro robots en Guatemala para aplicaciones favorables a diversas actividades de la sociedad (industriales, recreativas, didácticas, etc.) es posible, a pesar del poco conocimiento y desarrollo actual.
2. El micro robot construido resulta una base para futuras mejoras y aplicaciones específicas.
3. La implementación por software de un puerto serial, tomando las consideraciones necesarias respecto a la integridad de la información, ofrece un nivel de confianza que exige una aplicación de un micro robot.
4. Se puede reducir drásticamente el consumo de corriente para los motores de las dimensiones utilizados en el micro robot modificando el sistema de engranajes internos.
5. Un sistema de tracción en las ruedas de tipo "independiente" presenta una menor fuerza de oposición a los motores, por tanto es más eficiente en el consumo de energía que un sistema de tracción de "orugas".

En el diseño de una aplicación para un micro robot donde el espacio disponible es mínimo se debe comenzar seleccionando los componentes y tomando en cuenta la integración de los componentes al chasis y módulos adicionales, teniendo una visión de conjunto, para poder tener un mejor uso del espacio y minimizar el peso.

Dentro de las mejoras al sistema, podemos mencionar que la selección de motores más eficientes respecto al consumo de corriente y torque. Considerar

el uso de motores tan pequeños como los utilizados en relojes ya que tienen un bajo consumo de potencia.

Es vital tomar en cuenta en el diseño la conexión al micro controlador para poder realizar la programación y actualización vía ICSP.

Es recomendable la incorporación de un módulo RF receptor/transmisor, proporcionando al micro robot la capacidad de dar retroalimentación sobre sensores, estado de componentes y posición actual.

Es posible agregar una interfaz de control a través de una computadora, para dar mayor utilidad a cualquier tipo de retroalimentación que pueda agregarse al diseño.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Caprari G., Balmer P., Pigué R., Siegwart R., 1999. *The Autonomous Micro Robot "Alice": a platform for scientific and commercial applications*. [WWW documento]
URL <http://asl.epfl.ch/aslInternalWeb/ASL/publications/uploadedFiles/caprariMHS98.pdf>

Considerations For Sending Data Over a Wireless Link, 2006, LINX Technologies, Estados Unidos, 9 págs.

Davenport, William P., 1974, *Comunicación Moderna de datos*, 1ra ed., Argentina, GLEM, 225 págs.

Melabs Programmer HTML Help, 2006, microEngineering Labs, Inc., Estados Unidos.

Modulation Techniques For Low-Cost RF Data Links, (2006), LINX Technologies, Estados Unidos, 4 págs.

PIC12F683 Data Sheet, 2004, Microchip Technology Inc., Estados Unidos, 148 págs.

PIC 18F2585/2680/4585/4680 Data Sheet, 2007, Microchip Technology Inc., Estados Unidos, 482 págs.

PIC12F6XX/16F6XX Memory Programming Specification, 2005, Microchip Technology Inc., Estados Unidos, 38 págs.

Pierce, John Robinson, 1964, *Electrons and Waves*, 1ra ed., New York, Anchor Books, 226 págs.

Schwartz, Mischa, 1990, , 1ra ed. en español, Mexico, Mc Graw Hill, 686 págs.

Sitios de información en Internet:

Robótica

<http://www.cc.gatech.edu/ai/robot-lab/research.html>

Investigación Robótica

<http://www.robotics.utexas.edu/rrg/>

IX. APÉNDICE

A. MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO PARA EL MICRO ROBOT CONTROLADO ROR RF

Por: Christian Medina Armas

Micro robot controlado por RF

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	3
II.	FUNCIONAMIENTO DE CONTROL RF.....	3
A.	INDICADORES DEL CONTROL	4
B.	CONFIGURACIONES	5
1.	ACTIVAR O DESACTIVAR REGISTRO DE RUTA	5
2.	REPRODUCIR RUTA ALMACENADA EN MEMORIA	6
3.	REGISTRO DE RUTAS	6
III.	MICRO ROBOT	6
A.	CONFIGURACIONES	8
B.	ACTUALIZACIÓN DE SOFTWARE	8
IV.	CODIGO FUENTE DEL TRANSMISOR	
	10	
V.	CODIGO FUENTE DEL RECEPTOR	18

I. INTRODUCCIÓN

El micro robot se basa en un sistema de locomoción de dos ruedas movidas por un motor DC para cada una, y dos ruedas libres. Un control RF transmite las instrucciones al micro robot. Las instrucciones se seleccionan en el teclado matricial del control.

II. FUNCIONAMIENTO DE CONTROL RF

El control utiliza dos baterías AA como fuente de energía, las cuales deben estar colocadas en el porta baterías, ubicado en la parte trasera del control. Las partes generales del control se muestran en la Fig. 2.

Para encender el control, se debe conectar el switch en la posición de encendido. El LED indicador de encendido encenderá, y el transmisor está listo para enviar instrucciones al micro robot.

Fig. 1: Teclado matricial 4X4 del control



A. INDICADORES DEL CONTROL

Cada vez que se realiza una transmisión exitosa, el control lo indicará al usuario por medio del indicador de transmisión serial (LED verde).

Para configurar el control, se debe cambiar el control al modo de configuración, presionando la tecla 2ND, el indicador de modo de configuración (LED rojo) indicará al usuario que se está operando en modo de configuración.

Para cancelar el modo de configuración, presione de nuevo la tecla 2ND y el indicador de modo de configuración se debe apagar.

Fig. 2: Esquema del control del micro robot

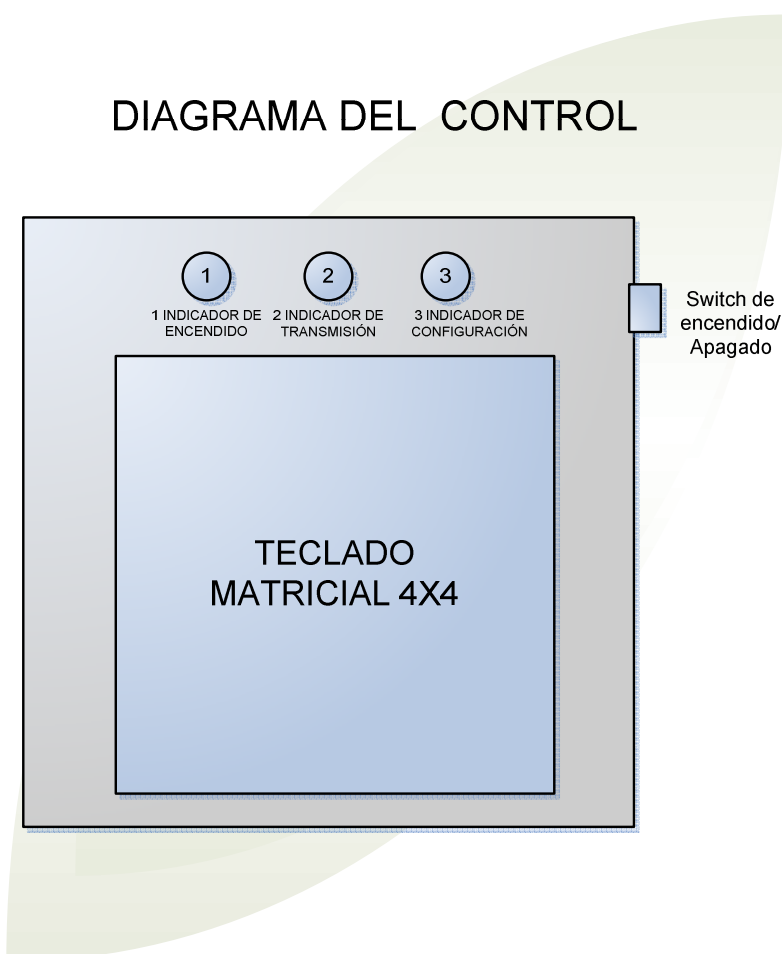




Tabla 1: Asignación de instrucciones en el teclado matricial 4X4 del micro robot

TECLA	DATO	INSTRUCCIÓN	CONFIGURACIÓN
1	q	Giro 90° a la izquierda	PWM al 99%
2	<	Adelante	PWM al 75%
3	m	Giro 90° a la derecha	PWM al 50%
4	a	Izquierda	PWM al 25%
5	s	Detener	PWM al 10%
6	d	Derecha	
7	z		
8	x	Atrás	
9	=		
0	h	Giro 180°	
	\$		Activa giros de 90° continuos
	t		Desactiva giros de 90° continuos
2ND	p	Activa bandera de configuración	Desactiva la bandera de configuración
ENTER			Reproducir ruta almacenada en memoria
CLEAR	?		Borrado de la memoria de ruta
HELP	k		Activar o desactivar Registro de ruta

B. CONFIGURACIONES

1. ACTIVAR O DESACTIVAR REGISTRO DE RUTA

El activado o desactivado del Registro de rutas en la memoria de programa del PIC se realiza por medio de las teclas 2ND y HELP. El usuario puede hacer un cambio en la configuración en el momento que desee sin afectar la instrucción que este ejecutando el micro robot en ese momento.

El Registro de la ruta está activado por defecto.

2. REPRODUCIR RUTA ALMACENADA EN MEMORIA

La reproducción de la ruta almacenada en la memoria se inicia al presionar las teclas 2ND ENTER

3. REGISTRO DE RUTAS

El Registro de rutas es una opción que nos permite programar una ruta que el usuario desea replicar en cualquier momento, con la capacidad de reproducir los movimientos con error de 0.2 segundos.

La cantidad de movimientos almacenados en el registro de rutas depende de el tiempo que transcurre entre cada instrucción, debido a que el tiempo registrado también se graba en los 43,000 registros de memoria de programa del microcontrolador dispuestos para este fin.

III. MICRO ROBOT

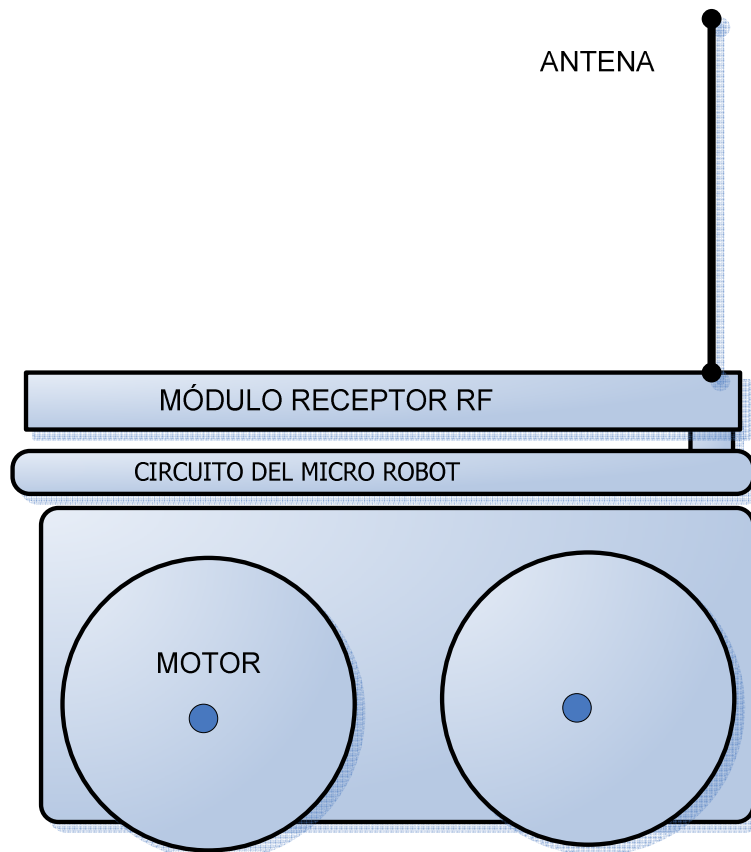
El micro robot consiste en una serie de módulos, ilustrados en la Fig. 3:

- Módulo Receptor RF: El modulo de recepción RF recibe las instrucciones enviadas por el control, la antena debe estar sin obstáculos, para un desempeño optimo.
- Circuito del micro robot: El circuito se encarga de la decodificación y ejecución de las instrucciones.
- Chasis: Está construido de aluminio. Sus características son ideales para el chasis, ya que es liviano y resistente a golpes.

- Ruedas: Las ruedas están construidas de aluminio, y poseen una cubierta de hule en cada rueda.

Fig. 3: Esquema del micro robot

MODELO DEL MICRO ROBOT



A. CONFIGURACIONES: Las configuraciones del micro robot son:

- **GIROS CONTINUOS**

La configuración de giros continuos da la facilidad al micro robot de realizar giros de 90° sin pérdida de tiempo. Al recibir la instrucción de giro el micro robot la ejecuta e inmediatamente carga la instrucción que estaba ejecutando antes de hacer el giro de 90°.

- **CAMBIO DE VELOCIDAD**

El usuario puede configurar porcentajes de 10, 25, 50, 75 y 90 en el micro robot.

B. ACTUALIZACIÓN DE SOFTWARE. El software del micro robot se actualiza por medio de la conexión ICSP (In Circuit Serial Programming), entre el circuito del micro robot y un programador de micro controladores, utilizando el adaptador diseñado para este propósito, ver Fig. 4.

Se debe tener precaución al conectar el programador al micro robot, ya que una conexión equivocada resultará daño permanente al circuito.

El adaptador fue construido para conectar el programador USB U2 marca MELABS.

La distribución de los pines utilizados varía en cada programador, si desea programar el micro robot con otro programador debe hacer las conexiones adecuadas de las señales de programación (VPP, VDD, PGD, PGC, GND). La configuración de pines del conector se muestra en la Fig. 5

Fig. 4: Imagen de adaptador para ICSP.

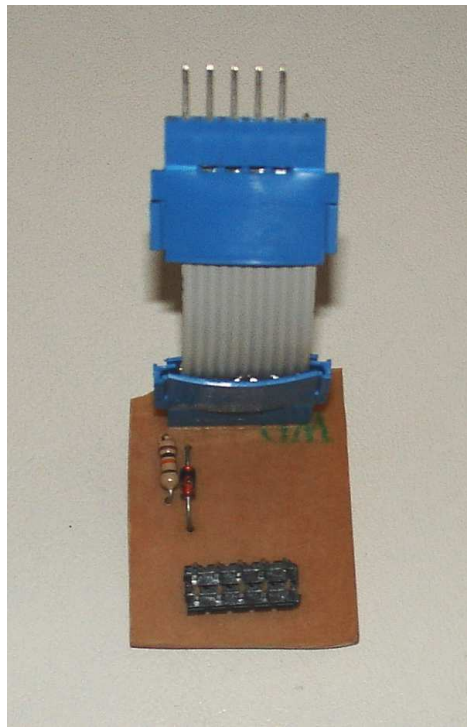
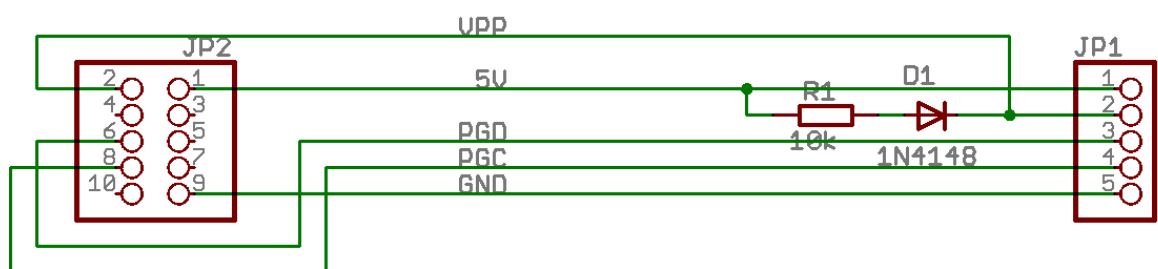


Fig. 5: Pines del adaptador para ICSP.



IV. CÓDIGO FUENTE DEL TRANSMISOR

```
#include "C:\PIC_C\18F2585\Control_master.h"

int bandera=0;           //Bandera de modo de configuracion
int puerto_b=0;         //byte para capturar estado del puerto B
int fila=0;             //Variable que almacena la fila del barrido del teclado
char dato,dato_ruta;    //Almacenan los datos
int16 direccion=0x1800; //Almacena la dirección iniial de la ROM para el Registro de rutas
char clave='@';
int16 overflow,overflow_ruta,timer_ruta,datos_enviados;
int16 temp;             //Variable temporal
int i;                  //Contador

void transmitir(void);   //Declaración de función de transmision de datos

#int_TIMER1              //Interruputo del overflow de TMR1
TIMER1_isr()
{
overflow++;
}

#int_RB                  //Interruputo de cambio de estado en las entradas RB4-RB7
RB_isr()
{
puerto_b=input_b();    //Deteccion de fila
output_high(PIN_C5);
}
```

```
                //Seleccion de dato a enviar em TX
if(bit_test (puerto_b, 7)==0) //COLUMNA 1
{
switch (fila)
{
case 0:
    {
    if(bandera==1)
    {
        output_low(PIN_C4);
        bandera=0;
    }

    dato='q';           //ENVIA UN 49
    transmitir();
    break;
    }

case 1:
    {
    if(bandera==1)
    {
        output_low(PIN_C4);
        bandera=0;
    }

    dato='a';           //ENVIA UN 52,IZQUIERDA
    transmitir();
    break;
    }

case 2:
    {
    dato='z';           //ENVIA UN 49
    transmitir();
    break;
    }
case 3:
    {

    if(bandera==1)
    {
        output_low(PIN_C4);
        bandera=0;
    }

    dato='?';           //ENVIA UN 49
```

```
transmitir();

break;
}
}

if(bit_test (puerto_b, 6)==0) //COLUMNNA 2
{
switch (fila)
{
case 0:
{
if(bandera==1)
{
output_low(PIN_C4);
bandera=0;
}

dato='<'; //ENVIA UN 50,ADELANTE
transmitir();
break;
}

case 1:
{
if(bandera==1)
{
output_low(PIN_C4);
bandera=0;
}

dato='s'; //ENVIA UN 53,DETENER
transmitir();
break;
}

case 2:
{
dato='x'; //ENVIA UN 56,ATRAS
transmitir();
break;
}

case 3:
{
dato='h'; //ENVIA UN 49
transmitir();
```

```
    break;
  }
}

if(bit_test (puerto_b, 5)==0) //COLUMNA 3
{
switch (fila)
  {
case 0:
  {
  if(bandera==1)
  {
    output_low(PIN_C4);
    bandera=0;
  }

  dato='m';          //ENVIA UN 49
  transmitir();
  break;
  }

case 1:
  {
  dato='d';          //ENVIA UN 54,DERECHA
  transmitir();
  break;
  }

case 2:
  {
  dato='=';          //ENVIA UN 49
  transmitir();
  break;
  }

case 3:
  {

  if(bandera==1)
  {
    output_low(PIN_C4);
    bandera=0;
  }

  dato='k';          //ENVIA UN 49
  transmitir();
```

```
        break;
    }

}

}

if(bit_test (puerto_b, 4)==0)    //COLUMNA 4
{

switch (fila)
{
case 0:
    {
    if(bandera==1)
    {
        output_low(PIN_C4);
        bandera=0;
    }

    dato='$';           //ENVIA UN 49
    transmitir();
    break;
    }

case 1:
    {
    if(bandera==1)
    {
        output_low(PIN_C4);
        bandera=0;
    }

    dato='t';           //ENVIA UN 49
    transmitir();
    break;
    }

case 2:
    {
    dato='p';           //MODO CONFIGURACION
    transmitir();

    if(bandera==0)
    {
        output_high(PIN_C4);
```

```

    bandera=1;
}
else
{
    output_low(PIN_C4);
    bandera=0;
}
break;
}

case 3:          //TECLA DE ENTER
{
direccion=0x1800;
for (i=0;i<=datos_enviados;++i)
{

timer_ruta=read_program_eeprom(direccion);    //Valor del TMR1
direccion++;

overflow_ruta=read_program_eeprom(direccion);    //# de Overflows
direccion++;

dato_ruta=make8(read_program_eeprom(direccion),0); //Dato enviado
direccion++;          //Salto de direccion
direccion++;

for (temp=0;temp<make8(overflow_ruta,0);++temp)
{
delay_ms(10);
}
}

overflow=0;          //Reinicio de overflows actuales

for (direccion=0x1800;direccion<=0x1820;++direccion)
{
write_program_eeprom(direccion,make16(0,0));
}
break;
}
}
}

delay_ms(200);          //Delay para evitar rebotes

```

```

output_low(PIN_C5);

}

void main()
{
    set_tris_a(0);
    set_tris_b(0Xff);
    set_tris_c(128);

    port_b_pullups(TRUE);

    setup_adc_ports(NO_ANALOGS|VSS_VDD);
    setup_adc(ADC_OFF|ADC_TAD_MUL_0);
    setup_spi(FALSE);
    setup_wdt(WDT_OFF);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_timer_3(T3_DISABLED|T3_DIV_BY_1);
    setup_vref(FALSE);
    enable_interrupts(INT_TIMER1);
    enable_interrupts(INT_RB);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    setup_oscillator(OSC_4MHZ|OSC_TIMER1|OSC_31250|OSC_PLL_OFF);
    fila=0;
    output_a (0);

    output_high(PIN_C3);                //INDICADOR DE ENCENDIDO

do                                     //BARRIDO DEL TECLADO MATRICIAL
{

switch (fila)
{
case 0:
    {
        output_high(PIN_A3);
        output_low(PIN_A0);

        break;
    }
case 1:
    {
        output_high(PIN_A0);
        output_low(PIN_A1);

        break;
    }
}
}

```

```

case 2:
{
    output_high(PIN_A1);
    output_low(PIN_A2);
    break;
}
case 3:
{
    output_high(PIN_A2);
    output_low(PIN_A3);

    break;
}
}

delay_ms(50);
fila=fila+1;

if (fila==4) //REINICIA EL BARRIDO DE LAS COL RBO
{
    fila=0;
}

}while(1);

}

void transmitir() //Transmision serial de datos
{
fputc(clave, CMDIPT);
fputc(dato, CMDIPT);

write_program_eeprom(direccion,make16(0,get_timer1())); //Registro de comandos
direccion++;
write_program_eeprom(direccion,make16(0,overflow)); //Registro de overflows
direccion++;
write_program_eeprom(direccion,make16(0,dato)); //Registro de comandos
direccion++;
write_program_eeprom(direccion,make16(0,'@')); //Registro de comandos
direccion++;
datos_enviados++;
}

```

V. CÓDIGO FUENTE DEL RECEPTOR

```

#include "C:\PIC_C\12F683\new rx.h"

//Declaracion de Variables

char dato='s';           //Almacena el dato ASCII recibido en RX inicia detenido
char clave=0;
char dato_rec='s';      //Almacena el ultimo comando ejecutado
int bandera=0;          //Bandera de control para el modo de configuracion
int bandera2=0;
int bandera3=0;        //Bandera de control para el modo de girar 90°
int bandera4=0;        //Bandera de control para Registro
int duty_cycle=255;    //VARIABLE DE 8 BITS PARA PWM inicia 100 %
int overflow=0;
int dir_EEPROM=0;
char ruta[60];         //Array que almacena comandos de la ruta
int ptr_ruta=0;        //Apuntador a la direccion del ultimo comando recibido

void decodificacion(); //Funcion que ejecuta las instrucciones

void main()
{
  setup_comparator(NC_NC);
  setup_vref(FALSE);
  setup_oscillator(OSC_4MHZ);
  setup_adc_ports(NO_ANALOGS|VSS_VDD);
  setup_adc(ADC_OFF);

  //***** //Setup TIMER1
  setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
  set_timer1(0);           //TMR1 cuenta de 0 hasta 65,536 (16 bits)

  enable_interrupts(INT_TIMER1);
  enable_interrupts(GLOBAL);

  //***** //Setup PWM
  set_pwm1_duty(duty_cycle);
  setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,255,1);
  setup_ccp1(CCP_PWM);
  //*****

  do{
    if (kbhit())

```

```

{
  clave=fgetc(CMDIPT); //RECEPCION DE LA TRAMA SERIAL POR RF
  if (clave=='@')
  {
    bandera2=1;
    while(bandera2==1)
    {
      if (kbhit())
      {
        dato=fgetc(CMDIPT);
        write_eeprom(dir_EEPROM,dato);
        dir_EEPROM++;
        decodificacion(); //FUNCION PARA DECODIFICACION DE LA INSTRUCCION RECIBIDA

        if(bandera3==1) // Control para el giro de 90°
        {
          dato=dato_rec;
          decodificacion(); //FUNCION PARA REGRESAR A LA FUNCION ANTERIOR -> dato_rec
        }
      }
    }
  }
}

}while(1);
}

```

```

void decodificacion()
{
  switch(dato)
  {
    case '<': //Recepcion de un 2 FUNCION DE ADELANTE
    {
      if(bandera==1)
      {
        set_pwm1_duty(192);
        bandera=0;
        delay_ms(1000);
      }
    }
    else
    {
      output_bit(PIN_A0, 1); //Motor 1
      output_bit(PIN_A1, 0);
      output_bit(PIN_A5, 0); //Motor 2
    }
  }
}

```

```

    output_bit(PIN_A4, 1);
    dato_rec=dato;
}
break;
}

case 'x':          //Recepcion de un 8 FUNCION DE ATRAS
{
output_bit(PIN_A0, 0); //Motor 1
output_bit(PIN_A1, 1);
output_bit(PIN_A5, 1); //Motor 2
output_bit(PIN_A4, 0);
dato_rec=dato;
break;
}

case 'd':          //Recepcion de un 6 FUNCION DE DERECHA
{
output_bit(PIN_A0, 1); //Motor 1 Adelante
output_bit(PIN_A1, 0);
output_bit(PIN_A5, 1); //Motor 2 Atras
output_bit(PIN_A4, 0);
dato_rec=dato;
break;
}

case 'a':          //Recepcion de un 4 FUNCION DE IZQUIERDA
{
if(bandera==1)
{
set_pwm1_duty(64);
bandera=0;
delay_ms(1000);
}
else
{
output_bit(PIN_A0, 0); //Motor 1 Atras
output_bit(PIN_A1, 1);
output_bit(PIN_A5, 0); //Motor 2 Adelante
output_bit(PIN_A4, 1);
dato_rec=dato;
}
break;
}

case 's':          //Recepcion de un 5 FUNCION DETENER
{
if(bandera==1)
{
set_pwm1_duty(32);

```

```

    bandera=0;
    delay_ms(1000);
}
else
{
    output_bit(PIN_A0, 0);
    output_bit(PIN_A1, 0);
    output_bit(PIN_A5, 0);
    output_bit(PIN_A4, 0);
    dato_rec=dato;
}
break;
}

case 'q':          //Girar 90° izquierda
{
    if(bandera==1)
    {
        set_pwm1_duty(255);
        bandera=0;
    }
    else
    {
        //Izquierda
        output_bit(PIN_A0, 0); //Motor 1  Atras
        output_bit(PIN_A1, 1);
        output_bit(PIN_A5, 0); //Motor 2  Adelante
        output_bit(PIN_A4, 1);

        delay_ms(800); //Delay para girar 90° izquierda

        if (bandera3!=1)
        {
            output_bit(PIN_A0, 0);
            output_bit(PIN_A1, 0);
            output_bit(PIN_A5, 0);
            output_bit(PIN_A4, 0);
        }
    }
    break;
}

case 'm':          //Girar 90° derecha
{
    if(bandera==1)
    {

```

```

    set_pwm1_duty(128);
    bandera=0;
}
else
{
    //Derecha
    output_bit(PIN_A0, 1); //Motor 1 Adelante
    output_bit(PIN_A1, 0);
    output_bit(PIN_A5, 1); //Motor 2 Atras
    output_bit(PIN_A4, 0);

    delay_ms(800); //Delay para girar 90° derecha

    if (bandera3!=1)
    {
        output_bit(PIN_A0, 0);
        output_bit(PIN_A1, 0);
        output_bit(PIN_A5, 0);
        output_bit(PIN_A4, 0);
    }
}
break;
}

case 'p': //inicia modo Configuracion
{
    if (bandera==0)
    {
        bandera=1;
        delay_ms(100);
    }
    else
    {
        bandera=0;
        delay_ms(100);
    }
    break;
}

case 'k': //Opcion de control de Giros de 90°
{
    if(bandera==1)
    {
        if (bandera3==0)
        {
            bandera3=1;

```

```
        delay_ms(100);
    }
    else
    {
        bandera3=0;
        delay_ms(100);
    }
}
bandera=0;
break;
}

case '$':          //Activa Registro de ruta en EEPROM
{

    if(bandera==1)
    {
        bandera4=1;
        bandera=0;
    }
    break;
}

case 't':          //Desactiva Registro de ruta en EEPROM
{

    if(bandera==1)
    {
        bandera4=0;
        bandera=0;
    }
    break;
}

case '?':          //Borrado de EEPROM
{
    if(bandera==1)
    {
        dir_EEPROM=0;
        while(dir_EEPROM<255)
        {
            write_eeprom(dir_EEPROM,0xff);
            dir_EEPROM++;
        }
    }
}
```

```
    }  
  }  
  bandera=0;  
  break;  
}  
  
  case 'h':          //Girar 90° derecha  
  {  
  
      //Derecha  
      output_bit(PIN_A0, 1); //Motor 1  Adelante  
      output_bit(PIN_A1, 0);  
      output_bit(PIN_A5, 1); //Motor 2  Atras  
      output_bit(PIN_A4, 0);  
  
      delay_ms(1600);      //Delay para girar 90° derecha  
  
      output_bit(PIN_A0, 0); //Motor 1  Detenido  
      output_bit(PIN_A1, 0);  
      output_bit(PIN_A5, 0); //Motor 2  Detenido  
      output_bit(PIN_A4, 0);  
  
      break;  
  }  
  
}  
  
bandera2=0;  
clave=0;  
}
```

X. GLOSARIO

ASCII (American Standard Code for Information Interchange)

Codificación de caracteres basado en el abecedario, utilizado para representar texto en computadoras, equipo de comunicaciones y otros dispositivos que utilicen texto, e.g. el código ascii del carácter "@" es 64. El primer estándar fue publicado en 1963

Baudio

El baudio es una medida de cambio de símbolos por segundo en la transmisión de señales digitales moduladas.

Bit

Digito de un número binario que puede ser 0 ó 1. Se suelen contar la cantidad de bits en un número binario para denominar su largo.

Ciclo de Trabajo

Proporción de tiempo de una señal periodica entre la duración de un pulso y su periodo.

CNC (Computer numerical Control)

Computadora controladora que ejecuta instrucciones y maneja una herramienta de maquinado. Es programada usualmente utilizada para fabricar componentes removiendo el material de exceso en un bloque.

DIP (Dual in-line package)

Empaquetado rectangular de circuitos integrados que posee dos filas de patas conectoras paralelas. Se suele abreviar con las letras DIP seguidas del número de patas que posee el integrado. e.g. DIP14.

LED, Light Emitting Diode

El diodo emisor de luz es un semiconductor que emite un espectro angosto de luz cuando se polariza en la dirección de p-n.

lsb, Least Significant Bit

Posición de menor valor en un número binario. Posee un valor de $1=2^0$

msb, Most Significant Bit

Posición de mayor valor en un número binario. Un bit tiene un valor de 2 elevado a la posición que le corresponde, empezando desde cero, dentro del número binario.

Overflow

Punto en donde el incremento de un número almacenado produce un desbordamiento en el registro que lo contiene, esta situación es continuada por una sobre escritura del registro, iniciando en 1.

PCB, Printed Circuit Board

Placa con superficie conductora, que se utiliza para alojar los componentes electrónicos conectados por caminos conductores para formar un circuito. Típicamente el material conductor es una lámina de cobre.

PIC

Nombre de microcontrolador de arquitectura Harvard construido por Microchip Technology. El nombre PIC se deriva originalmente del acrónimo de "Programmable Intelligent Computer", para el PIC1650 desarrollado originalmente por la compañía General Instrument's Microelectronics Division.

Potencia:

La potencia eléctrica es la medida de la capacidad de realizar un trabajo. Se calcula como la diferencia de potencial dividido entre la corriente que circula en el elemento.

Protoboard

Pequeña tabla que posee agujeros conectados por placas metálicas en filas y columnas. Se utiliza para construir circuitos de manera provisional.

PWM (Pulse Width Modulation)

Modulación de una señal que altera el ciclo de trabajo de la misma. Esta modulación puede ser utilizada para transmitir información en un canal de comunicaciones o para regular la cantidad de potencia enviada a una carga.

SOIC (Small Outline Integrated Circuit):

Empaquetado de circuitos integrados que ocupa un área de 30-50% menos que su equivalente en un empaquetado DIP, y en grosor 70% menos. Normalmente posee la misma distribución de pines que el empaquetado DIP. Se suele abreviar con las letras SO seguidas del número de patas que posee el integrado. e.g. SO-16.

SOT (Small Outline Transistor):

Empaquetado de circuitos integrados para superficie con 3, 5 o 6 terminales. Algunas configuraciones incluyen una terminal para tierra, o para transferir calor.

Trama

Conjunto de señales que conforman una unidad de transmisión de información dentro de la especificación de un protocolo de comunicaciones.