DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL TELEOPERADO PARA INSPECCIÓN VISUAL

FABIO ANDRES PLATA TORRES

RAUL FERNANDO SERRANO ROJAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

2006

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL TELEOPERADO PARA INSPECCIÓN VISUAL

TESIS DE GRADO

FABIO ANDRES PLATA TORRES

RAUL FERNANDO SERRANO ROJAS

DIRECTORA

Ing. NAYIBE CHIO CHO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

2006

DIRECTOR

_____

EVALUADOR

_____

EVALUADOR

_____

JURADO

_____

JURADO

_____

AGRADECIMIENTOS

Estos agradecimientos van dirigidos a todas las personas que han estado presentes brindándonos ayuda y apoyo cuando lo necesitamos, también a quienes nos dieron alientos para seguir adelante.

A nuestra directora y docente Ing. Nayibe Chio Cho, por su asesoría, paciencia y dedicación que nos permitieron dar solución a los inconvenientes presentados, al Ing. Jhon Faber Archila por sus concejos y colaboración.

A la comunidad de Neobokers diseminada en todo el mundo por sus asesorías y aportes para la elaboración del software.

A Octavio Medina por su colaboración e ideas en el diseño grafico del software y estructura del microbot.

A cada uno de los docentes que durante el transcurso de la carrera, nos aportaron conocimientos primordiales para el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Javier Jurado, Marvin Torres y Mauricio Suárez, por sus aportes, sugerencias, conocimientos y ayuda incondicional durante la carrera y elaboración de este proyecto.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 10

1. GENERALIDADES 11

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN 11

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL 12

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12

1.3 MARCO TEORICO 13

1.3.1 MEDIOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA 13

1.3.1.1 RADIO FRECUENCIA 13

1.3.1.2 MICROONDAS 14

1.3.1.3 REDES INFRARROJAS 15

1.3.2 ANTENAS 17

1.3.3. MODULACIÓN ASK (AMPLITUDE SHIFT KEYING) 23

1.3.4. ROBOTS MÓVILES 28

1.3.4.1 VEHÍCULOS CON RUEDAS 28

1.3.4.1.1. ACKERMAN 29

1.3.4.1.2. TRICICLO CLÁSICO 30

1.3.4.1.3. DIFERENCIAL 31

1.3.4.2. MODELOS CINEMÁTICOS DE ROBOTS MÓVILES 32

1.3.4.2.2. CONSIDERACIONES DEL ANÁLISIS 32

1.3.4.2.3. RESTRICCIONES CINEMÁTICAS 32

1.3.4.3. MODELO JACOBIANO 37

1.3.4.4. MODELOS DE DIFERENTES CONFIGURACIONES 40

1.3.4.5 ESTIMACIÓN DE LA POSICIÓN Y ORIENTACIÓN 45

2. DISEÑO 47

2.1 FASES DEL DISEÑO 48

2.2. PC – CARVISION V.1.0 49

2.2.1. DISEÑO DEL SOFTWARE 49

2.2.1.1 INTRODUCCIÓN AL NEOBOOK 50

2.2..1.2. SOFTWARE CARVISION V.1 52

2.2.1.3. DESCRIPCIÓN DEL CARVISION 1.0 53

2.2.1.4 ELABORACIÓN DE CARVISION 1.0 55

2.2.1.5. PROGRAMACIÓN DEL CARVISION 1.0 56
2.3. MODULO EMISOR 62
2.3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR 63
2.3.2. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR. 63
2.3.2.1. CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA. 65
2.4 MÓDULO TRANSMISOR 67
2.5. MÓDULO RECEPTOR 67
2.6 MODULO RECEPTOR. 69
2.6.1. CÓDIGO FUENTE Y DETALLE DE SUBRUTINAS (CÓDIGO FUENTE) 70
2.7 SENSORES DEL MICROBOT 77
2.7.1 SENSOR DE PROXIMIDAD A OBJETOS Y HUECOS 77
2.7.2 SENSOR AUTOMÁTICO DE LUZ 79
2.8 DISEÑO MECÁNICO DEL MICROBOT 80
2.8.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE MOVIMIENTO. 80
2.8.2 MODELADO DEL SISTEMA 81
2.8.3 ANÁLISIS DEL RADIO DE GIRO 82
2.8.3.1 GIRO SOBRE SI MISMO 83
2.8.4 AVANCE RECTO 84
2.8.5 ECUACIONES PARA EL ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS. 84
2.8.6 SIMULACIÓN 86
2.9 SELECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS DC 88
2.9.1 PRUEBAS AL MINIMOTOR 89
2.10 ANÁLISIS FÍSICO DE FUERZAS Y ENERGÍA 91
2.10.1. ANÁLISIS EN PLANO HORIZONTAL 91
2.10.2. ANÁLISIS EN PLANO INCLINADO 94
2.10.3. LIMITACIONES DE AVANCE DEL MICROBOT. 95
2.11. DISEÑO FINAL 97
2.12 SELECCIÓN DE LA CÁMARA INALÁMBRICA 100
2.12.1 ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA 100
2.12.2. ESPECIFICACIONES DEL RECEPTOR 101
2.13 DISEÑOS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS. 102

3.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 103

4.0 BIBLIOGRAFÍA 105

5.0 ANEXOS 107

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1. SEÑAL MODULADA DE ASK 23

FIGURA 2. DIAGRAMA A BLOQUES DE UN SISTEMA MODULADOR – DEMODULADOR EN ASK 24

FIGURA 3. SEÑAL DIGITAL DE ENTRADA 25

FIGURA 4. SEÑAL RECUPERADA DEL DEMODULADOR 26

FIGURA 5. SISTEMA ACKERMAN 29

FIGURA 6. LOCOMOCIÓN DE TRICICLO CLÁSICO 30

FIGURA 7. LOCOMOCIÓN CON DIRECCIONAMIENTO DIFERENCIAL EN 2 RUEDAS LATERALES. 31

FIGURA 8. CAMBIO DE SISTEMA DE REFERENCIA EN NAVEGACIÓN DE ROBOTS MOVILES 33

FIGURA 9. CIRCULO OSCULADOR 34

FIGURA 10. MODELO DE LA BICICLETA 37

FIGURA 11. CONFIGURACIÓN DE ROBOTS MÓVILES 42

FIGURA 12. DISEÑO MECATRÓNICO. 47

FIGURA 13. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL MICROBOT 48

FIGURA 14. DIAGRAMA DE FLUJO DE CARVISION 1.0 52

FIGURA15. MENÚ PRINCIPAL CALRVISION 1.0 53

FIGURA 16. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODULO EMISOR 62

FIGURA 17. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MICROCONTROLADOR EMISOR 64

FIGURA 18. MODULO TLP 434 67

FIGURA 19. MODULO RLP 434 67

FIGURA 20. DISEÑO DEL CIRCUITO EMISOR 68

FIGURA 21. TARJETA EMISORA 68

FIGURA 22. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MICROCONTROLADOR DEL CIRCUITO RECEPTOR. 69

FIGURA 23. DISEÑO DEL CIRCUITO RECEPTOR 75

FIGURA 24. TARJETA EMISORA 76

FIGURA 25. CIRCUITO ELECTRÓNICO DE LOS SENSORES DE PROXIMIDAD 78

FIGURA 26 CIRCUITO ELECTRÓNICO DEL SENSOR DE LUZ 79

FIGURA 27. MODELOS DEL MICROBOT. 81

FIGURA 28. SIMULACIÓN DE LA TRAYECTORIA REALIZADA EN EXEL 87

FIGURA 29. MINIMOTOR REDUCTOR 89

FIGURA 30. ENMALLADO Y DEFORMACIÓN EN EL EJE DEL MOTOR 90

FIGURA 31. PRIMER PROTOTIPO DE LA ESTRUCTURA DEL MICROBOT 98

FIGURA 32. PROTOTIPO FINAL DE LA ESTRUCTURA DEL MICROBOT 99

FIGURA 33. CHASIS Y DESPIECE DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES DEL MICROBOT 99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN	50
TABLA 2. SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR	63
TABLA 3. SELECCIÓN DE CODIFICADOR	66
TABLA 4. SELECCIÓN DEL TIPO DE MOVIMIENTO	80
TABLA 5. SELECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS DC	88
TABLA 6. COEFICIENTES DE FRICCIÓN DEL CAUCHO	97
TABLA 7. SELECCIÓN DE CÁMARA INALÁMBRICA	100

INTRODUCCIÓN

A través del curso de la historia de la humanidad el hombre siempre ha estado intrigado por conocer que es lo que hay mas allá de donde sus ojos lo permiten, gracias a este deseo de investigación se han descubierto muchas cosas que hacen cada día mas fácil la supervivencia del hombre.

Frecuentemente para lograr encontrar respuesta a todas las dudas que el hombre posee se han visto sacrificado muchas vidas originando así la importancia que tiene la seguridad en todo lo que hacemos.

La tecnología avanza a pasos gigantescos permitiendo realizar labores complejas a un nivel mucho más fácil, los robots facilitan el trabajo peligroso o donde se requiere grandes aplicaciones de fuerza lo que implica gran cantidad de hombres al realizar un trabajo.

Tomando las diferentes tecnologías como lo son la de las telecomunicaciones, la informática y la robótica se han desarrollado robots capaces de ser teleoperados desde sitios más seguros con el fin de no detener la carrera evolutiva del hombre.

Es así que surge la necesidad de llevar nuestros ojos y mente a donde nuestro cuerpo no quiere o no puede acceder utilizando un microbot de inspección visual.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En la realización de inspecciones visuales se hace necesario contar con una herramienta que permita ampliar el campo visual, por eso desde la antigüedad se han desarrollado diversos mecanismos como lo son miras telescópicas, cámaras de aumento, binoculares, etc. El desarrollo tecnológico permite ahora la interacción de sistemas de video y sistemas móviles desarrollando un robot móvil que permita tener el desplazamiento de la cámara de video y tener este video en tiempo real lo cual exige la comunicación inalámbrica de la cámara y del robot móvil.

Para facilitar esto se hace necesario la realización de un sistema que integre todo esto en uno solo, fácil de operar y practico; por esto se ve la necesidad de diseñar y construir un microbot que permita la inspección visual en lugares de difícil acceso o tóxicos en donde el ser humano no pueda o no desee entrar.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un robot móvil teleoperado por medio de un tablero de controles para desplazamiento en lugares semisecos, en el cual se implementará una cámara de video la cual contará con 2 grados de libertad que permitirá una inspección visual en tiempo real.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un prototipo robot móvil de 4 o 6 ruedas, con suspensión independiente que permita el movimiento en terrenos irregulares.
- Diseñar y construir un sistema giratorio de 2 grados de libertad que sirva como base de una cámara de video digital.
- Implementar un software que permita mediante un PC acondicionado el control del microbot y la recepción de video.
- Instalar Sensores que permitan indicar la cercanía de objetos para evitar choques bruscos en el manejo de robot.
- Disponer de 2 rangos de velocidad del robot seleccionados a través del tablero de controles.

- Manejar un rango de alcance entre 60-80 mts desde el tablero de control hasta el robot.

1.3 MARCO TEORICO

1.3.1 Medios De Comunicación Inalámbrica

1.3.1.1 Radio frecuencia[1]

Por el otro lado para las Redes Inalámbricas de Radio Frecuencia , la FCC (Federal Communications Comisión)permitió la operación sin licencia de dispositivos que utilizan 1 Watt de energía o menos, en tres bandas de frecuencia : 902 a 928 MHz, 2,400 a 2,483.5 MHz y 5,725 a 5,850 Mhz. Estas bandas de frecuencia, llamadas bandas ISM, estaban anteriormente limitadas a instrumentos científicos, médicos e industriales. Esta banda, a diferencia de la ARDIS y MOBITEX, está abierta para cualquiera. Para minimizar la interferencia, las regulaciones de FCC estipulan que una técnica de señal de transmisión llamada spread-spectrum modulation, la cual tiene potencia de transmisión máxima de 1 Watt. Deberá ser utilizada en la banda ISM. Esta técnica a sido utilizada en aplicaciones militares. La idea es tomar una señal de banda convencional y distribuir su energía en un dominio más amplio de frecuencia. Así, la densidad promedio de energía es menor en el espectro equivalente de señal original. La

[1] http://www.monografias.com/trabajos16/comunicacion-inalambrica/comunicacion-inalambrica.html

idea en las redes es que la señal sea transmitida y recibida con un mínimo de interferencia. Existen dos técnicas para distribuir la señal convencional en un espectro de propagación equivalente:

A. La secuencia directa: En este método el flujo de bits de entrada se multiplica por una señal de frecuencia mayor, basada en una función de propagación determinada. El flujo de datos original puede ser entonces recobrado en el extremo receptor correlacionándolo con la función de propagación conocida. Este método requiere un procesador de señal digital para correlacionar la señal de entrada.

B. El salto de frecuencia: Este método es una técnica en la cual los dispositivos receptores y emisores se mueven sincrónicamente en un patrón determinado de una frecuencia a otra, brincando ambos al mismo tiempo y en la misma frecuencia predeterminada. Como en el método de secuencia directa, los datos deben ser reconstruidos en base del patrón de salto de frecuencia. Este método es viable para las redes inalámbricas, pero la asignación actual de las bandas ISM no es adecuada, debido a la competencia con otros dispositivos, como por ejemplo las bandas de 2.4 y 5.8 Mhz que son utilizadas por hornos de Microondas.

1.3.1.2 Microondas

La transmisión de datos por rayos infrarrojos, láser, microondas o radio no necesita de ningún medio físico, cada una de estas técnicas se adapta a la perfección a ciertas aplicaciones. El hecho de colocar un transmisor y receptor

láser o infrarrojo en la parte superior de un edificio resulta mucho más económico y fácil de instalar a comparación de otros medios de transmisión. La comunicación mediante láser o infrarrojo es por completo digital, altamente directiva y casi inmune a cualquier problema de derivación u obstrucción. Sin embargo la lluvia o la neblina pueden ocasionar interferencia en la comunicación dependiendo de la longitud de onda elegida. En aplicaciones para comunicaciones de larga distancia se ha utilizado muy ampliamente la transmisión por radio de microondas. Las antenas parabólicas se pueden montar sobre torres para enviar un haz de señales a otra antena que se encuentre a decenas de kilómetros de distancia, Las señales de una antena pueden dividirse y propagarse, siguiendo trayectorias ligeramente diferentes, hacia la antena receptora. Cuando estas señales que se encuentran desfasadas, se recombinan, puede haber interferencia entre ellas de tal manera que se reduce la intensidad entre ellas. La transmisión mediante microondas se lleva a cabo en una escala de frecuencia que va desde 2 a 40 Ghz, correspondiendo a longitudes de onda de 15 y 0.75cm, respectivamente.

1.3.1.3 Redes Infrarrojas

Las redes de luz infrarroja están limitadas por el espacio y casi generalmente la utilizan redes en las que las estaciones se encuentran en un solo cuarto o piso, algunas compañías que tienen sus oficinas en varios edificios realizan la comunicación colocando los receptores/emisores en las ventanas de los edificios. Las transmisiones de radio frecuencia tienen una desventaja: que los países están tratando de ponerse de acuerdo en cuanto a las bandas que cada uno puede

utilizar, al momento de realizar este trabajo ya se han reunido varios países para tratar de organizarse en cuanto a que frecuencias pueden utilizar cada uno.

La transmisión Infrarroja no tiene este inconveniente por lo tanto es actualmente una alternativa para las Redes Inalámbricas. El principio de la comunicación de datos es una tecnología que se ha estudiado desde los 70´s, Hewlett-Packard desarrolló su calculadora HP-41 que utilizaba un transmisor infrarrojo para enviar la información a una impresora térmica portátil, actualmente esta tecnología es la que utilizan los controles remotos de las televisiones o aparatos eléctricos que se usan en el hogar.

El mismo principio se usa para la comunicación de Redes, se utiliza un "transreceptor" que envía un haz de Luz Infrarroja, hacia otro que la recibe. La transmisión de luz se codifica y decodifica en el envío y recepción en un protocolo de red existente. Uno de los pioneros en esta área es Richard Allen, que fundó Photonics Corp., en 1985 y desarrolló un "Transreceptor Infrarrojo". Las primeros transreceptores dirigían el haz infrarrojo de luz a una superficie pasiva, generalmente el techo, donde otro transreceptor recibía la señal. Se pueden instalar varias estaciones en una sola habitación utilizando un área pasiva para cada transreceptor. En la actualidad Photonics a desarrollado una versión AppleTalk/LocalTalk del transreceptor que opera a 230 Kbps. El sistema tiene un rango de 200 mts. Además la tecnología se ha mejorado utilizando un transreceptor que difunde el haz en todo el cuarto y es recogido mediante otros

transreceptores. El grupo de trabajo de Red Inalámbrica IEEE 802.11 está trabajando en una capa estándar MAC para Redes Infrarrojas.

1.3.2 Antenas[2]

Una antena va a formar parte de un sistema, por lo que tenemos que definir parámetros que la describan y nos permita evaluar el efecto que va a producir sobre nuestro sistema.

Impedancia

Una antena se tendrá que conectar a un transmisor y deberá radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de perdidas. Se deberá adaptar la antena al transmisor para una máxima transferencia de potencia, que se suele hacer a través de una línea de transmisión. Esta línea también influirá en la adaptación, debiéndose considerar su impedancia característica, atenuación y longitud.

Como el transmisor producirá corrientes y campos, a la entrada de la antena se puede definir la impedancia de entrada mediante la relación tensión-corriente en ese punto. Esta impedancia poseerá una parte real Re(w) y una parte imaginaria Ri(w), dependientes de la frecuencia.

Si a una frecuencia una antena no presenta parte imaginaria en su impedancia Ri(w)=0, entonces diremos que esa antena está resonando a esa frecuencia.

[2] http://www.monografias.com/trabajos6/ante/ante.shtml#para

Normalmente usaremos una antena a su frecuencia de resonancia, que es cuando mejor se comporta, luego a partir de ahora no hablaremos de la parte imaginaria de la impedancia de la antena, si no que hablaremos de la resistencia de entrada a la antena Re. Lógicamente esta resistencia también dependerá de la frecuencia.

Esta resistencia de entrada se puede descomponer en dos resistencias, la resistencia de radiación (Rr) y la resistencia de pérdidas (RL). Se define la resistencia de radiación como una resistencia que disiparía en forma de calor la misma potencia que radiaría la antena. La antena por estar compuesta por conductores tendrá unas pérdidas en ellos. Estar pérdidas son las que definen la resistencia de pérdidas en la antena.

Como nos interesa que una antena esté resonando para que la parte imaginaria de la antena sea cero. Esto es necesario para evitar tener que aplicar corrientes excesivas, que lo único que hacen es producir grandes pérdidas.

Veamos este ejemplo:

Queremos hacer una transmisión en onda media radiando 10 KW con una antena que presenta una impedancia de entrada Ze = 50 - j100 ohmios.

Si aplicamos las fórmulas P = |I|2 x Real[Ze] = |I|2 = P / Real[Ze]

Obtenemos que |I| = 14.14 A.

Si ahora aplicamos la ley de Ohm

|V| = |I| x |Ze| = 14.14 x (50 - j100) = 14.14 x 111.8 = 1580.9 V.

Si ahora logramos hacer que resuene la antena, tendremos que la impedancia de entrada no tendrá parte imaginaria, luego Ze = 50 ohmios. Aplicando las mismas fórmulas de antes obtenemos que la intensidad que necesitamos es la misma

|I| = 14.14 A, pero vemos que ahora la tensión necesaria es |V| = 707 V.

Con este pequeño ejemplo vemos que hemos ahorrado más de la mitad de tensión teniendo la antena resonando que si no la tenemos. No se ha dicho, pero se ha supuesto que la parte real de la impedancia de entrada de la antena no varía en función de la frecuencia.

Eficiencia

Relacionado con la impedancia de la antena tenemos la eficiencia de radiación y la eficiencia de reflexión. Estas dos eficiencias nos indicarán una, cuanto de buena es una antena emitiendo señal, y otra, cuanto de bien está adaptada una antena a una línea de transmisión.

La Eficiencia de Radiación se define como la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia que se entrega a la misma antena. Como la potencia está relacionada con la resistencia de la antena, podemos volver a definir la Eficiencia de Radiación como la relación entre la Resistencia de radiación y la Resistencia de la antena:

La Eficiencia de Adaptación o Eficiencia de Reflexión es la relación entre la potencia que le llega a la antena y la potencia que se le aplica a ella. Esta eficiencia dependerá mucho de la impedancia que presente la línea de transmisión y de la impedancia de entrada a la antena, luego se puede volver a definir la Eficiencia de Reflexión como 1 - módulo del Coeficiente de reflexión2 , siendo el coeficiente de reflexión el cociente entre la diferencia de la impedancia de la antena y la impedancia de la línea de transmisión, y la suma de las mismas impedancias.

Eficiencia de Reflexión = 1 - (Coeficiente de Reflexión)2 , donde

Algunas veces se define la Eficiencia Total, siendo esta el producto entre la Eficiencia de Radiación y la Eficiencia de Reflexión.

Eficiencia Total = Eficiencia de Radiación x Eficiencia de Reflexión

Otra forma de calcular la eficiencia de una antena es utilizando la figura siguiente, en la que se muestra un circuito equivalente eléctrico simplificado para una antena.

Parte de la potencia de entrada se disipa en las resistencias efectivas (resistencia de tierra, dieléctricos imperfectos, etc.) y la restante se irradia. El total de la potencia de la antena es la suma de las potencias disipada y radiada. En términos de resistencia y corriente, la eficiencia es:

donde:

n = eficiencia de la antena

i = corriente de la antena

Rr = resistencia de radiación

Re = resistencia de la antena efectiva

Patrón de Radiación

En algunas circunstancias es necesario la representación gráfica de la fase del campo eléctrico. Esta representación recibe el nombre de Diagrama de Fase o Patrón de Radiación.

Un patrón de radiación es un diagrama polar o gráfica que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena. Si el patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico (E) o de la densidad de potencia (P), se llama patrón de radiación absoluto. Si se traza la intensidad del campo o la densidad de potencia en relación al valor en un punto de referencia, se llama patrón de radiación relativo.

Algunas veces no nos interesa el diagrama de radiación en tres dimensiones, al no poder hacerse mediciones exactas sobre el. Lo que se suele hacer es un corte en

el diagrama de radiación en tres dimensiones para pasarlo a dos dimensiones. Este tipo de diagrama es el más habitual ya que es más fácil de medir y de interpretar.

Campos Cercanos y Lejanos

El campo de radiación que se encuentra cerca de una antena no es igual que el campo de radiación que se encuentra a gran distancia. El termino campo cercano se refiere al patrón de campo que esta cerca de la antena, y el termino campo lejano se refiere al patrón de campo que está a gran distancia. Durante la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, en donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano. Durante la segunda mitad del ciclo, la potencia que esta en el campo cercano regresa a la antena. Esta acción es similar a la forma en que un inductor guarda y suelta energía. Por tanto, el campo cercano se llama a veces campo de inducción. La potencia que alcanza el campo lejano continua irradiando lejos y nunca regresa a la antena por lo tanto el campo lejano se llama campo de radiación. La potencia de radiación, por lo general es la mas importante de las dos-, por consiguiente, los patrones de radiación de la antena, por lo regular se dan para el campo lejano. El campo cercano se define como el área dentro de una distancia D2/l de la antena, en donde l es la longitud de onda y D el diámetro de la antena en las mismas unidades.

1.3.3. Modulación ASK (AMPLITUDE SHIFT KEYING) [3]

El ASK, es una forma de modulación mediante la cual la amplitud de la señal está dada por la ecuación

$$\phi = \left\langle \begin{array}{ccc} A\,\mathrm{sen}(\omega_0 t) & ; & 0 \le t \le T \\ 0 & ; & en\ otro\ caso \end{array} \right\rangle \quad (1.1)$$

En principio, se puede observar que de la ecuación 1.1, la relación es lineal, y si se cuenta con una señal digital que varíe entre n estados (para el análisis matemático se ha recurrido a una señal de dos estados) la amplitud de la señal a transmitir de igual forma será proporcional de tal manera que una simple convolución entre ambos será más que suficiente para cumplir con las condiciones totales del sistema de forma que gráficamente podemos representarlo como:

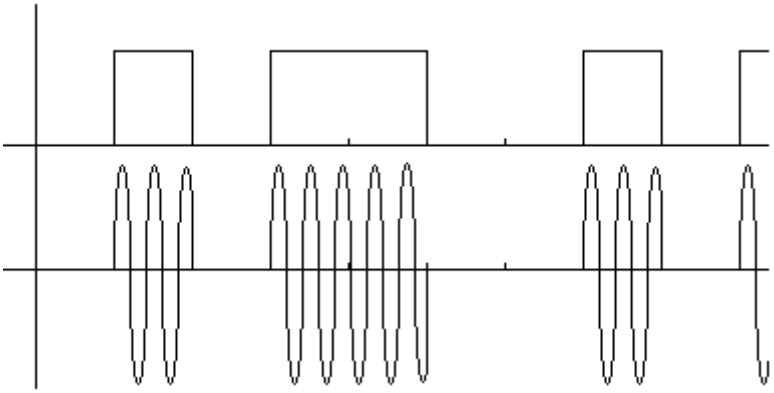


Figura 1 Señal modulada de ASK

[3] Mischa Scheartz. Information, Transmition, Modulation & Noise

En donde en realidad para todo punto se cumple la primera parte de la ecuación

(1.1) es decir Asen($w_o t$)

Por tanto se encuentra la posibilidad de ejemplificar el caso más general de modulación ASK mediante el diagrama a bloques de la figura 2:

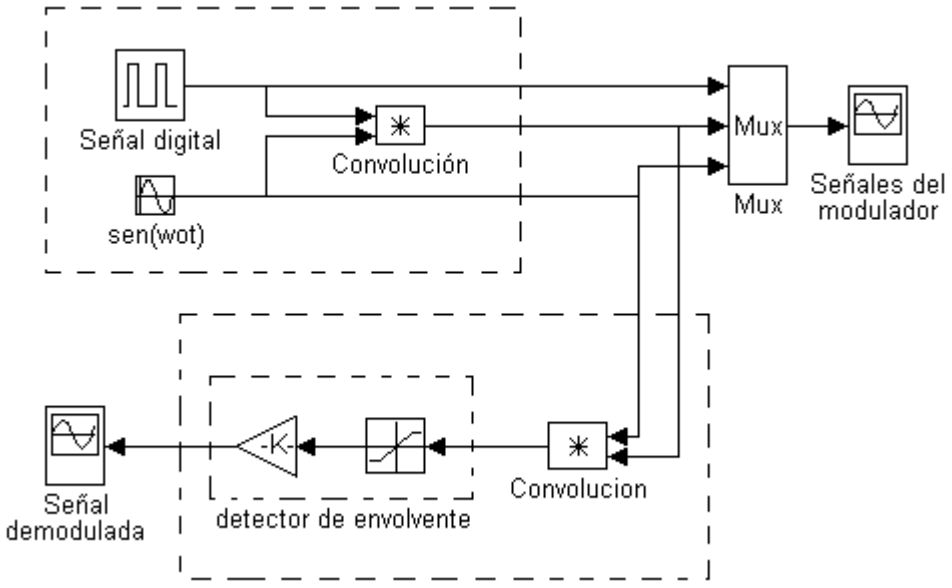


Figura 2: diagrama a bloques de un sistema Modulador-Demodulador en ASK

La señal sen($w_o t$) es una señal producida internamente por el modulador y el demodulador, dado que es la que determinará la frecuencia a la que se transmitirá la señal digital. A su vez, la señal digital es un tren de pulsos de dos o mas estados, cuya amplitud determinarán el estado enviado.

Dado que la frecuencia es la misma para todos los estados modulados, sólo es necesario contar con una señal sinusoidal a la misma frecuencia que la del transmisor para lograr la correcta demodulación de los datos.

Para la simulación, se emplea un saturador entre 0 y 0.001 (figura 4) considerando que la amplitud de la señal variaba de 0 hasta 2 unidades (figura 3) De esta forma se pudo suplir el filtro pasabajos de primer orden de la figura 2 dado que la versión de Matlab que se utilizo no contaba con los bloques correctos para implementar filtros analógicos

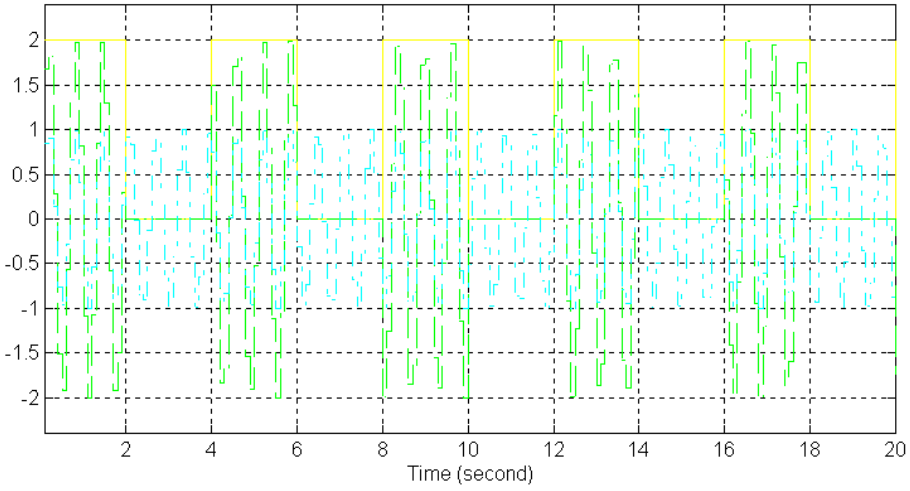


Figura 3 Señal digital de entrada (amarillo). Señal portadora (azul) Señal modulada (verde)

Esta gráfica se obtuvo gracias a la utilización de un multiplexor que uniera en un solo canal tres señales distintas, aunque todas provenientes del mismo módulo, el modulador. En la figura 3, por tanto, es posible observar que el multiplexor no es estrictamente necesario, sin embargo, para efectos de demostración y

visualización de etapas, se decidió incluirlo. Además, se ahorró prácticamente dos gráficas.

Además, para efectos de comodidad en la interpretación de las gráficas, se debe hacer notar que la señal digital de entrada fue construida utilizando una secuencia periódica de ceros y unos en lugar de ocupar una serie aleatoria a fin de simplificar nuestro análisis y enfocarnos al diseño del sistema modulador – demodulador. En cuanto a la señal portadora, se decidió que su amplitud máxima fuera de 1 para poder distinguir cada elemento en la gráfica y que no estorbara una gráfica al encimarse sobre la otra.

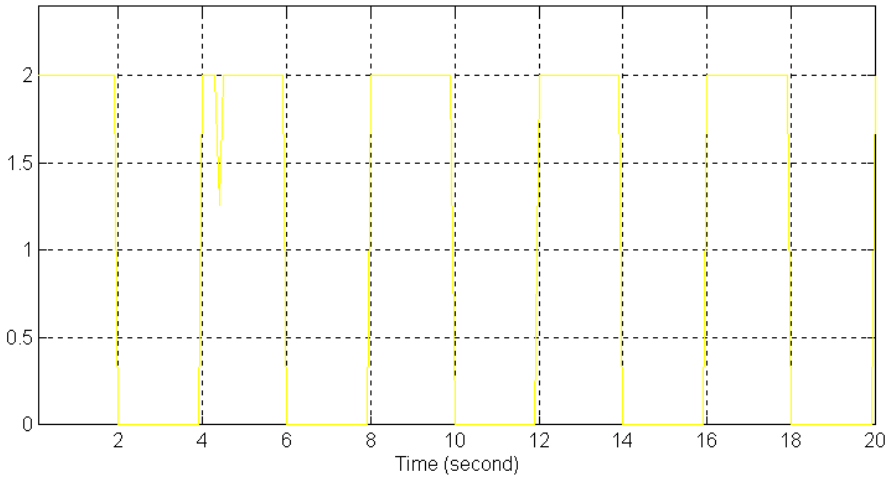


Figura 4 Señal recuperada del demodulador

60Como puede apreciarse en el segundo ciclo, aún se notan algunas variaciones en la forma de la señal recuperada, debido al método que empleamos para

simular el detector de envolvente. Sin embargo, no constituyen desviaciones importantes con respecto a la forma deseada.

Lo que si se puede ver es que los flancos de subida y bajada de los pulsos recuperados no son completamente verticales, sino que presentan un leve declive debido a la aproximación de la señal portadora, tal y como se esperaría en un sistema físico.

En conclusión la modulación en ASK no es otra cosa que una variante de la modulación en AM que se adapta perfectamente a las condiciones de los sistemas digitales, además de que les permite trabajar sobre una sola frecuencia de transmisión en ves de tener que lidiar con pulsos cuadrados que contienen componentes en todas las frecuencias del espectro.

Su recuperación también resulta ser más sencilla, dado que sólo depende de sincronizar la frecuencia de las señales sinusoidales que sirven de portadoras y regeneradoras dependiendo si se hallan en el modulador o el demodulador.

El ASK por sí sólo, a pesar de todas estas consideraciones, no es uno de los métodos más utilizados debido a que para cada frecuencia es necesario realizar un circuito independiente, además de que sólo puede transmitirse un solo bit al mismo tiempo en una determinada frecuencia.

.

1.3.4. Robots Móviles

1.3.4.1 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.

Por otra parte, excepto en configuraciones muy especiales, no es posible alterar internamente el margen de estabilidad para adaptarse a la configuración del terreno, lo que limita de forma importante los caminos aceptables del soporte.

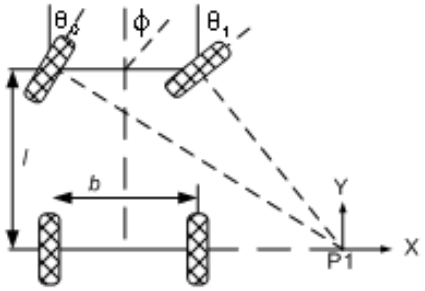
Los robots móviles implican diferentes tipos de locomoción mediante ruedas que les confieren características y propiedades diferentes respecto a la eficiencia energética, dimensiones, cargas útiles y maniobrabilidad. La mayor maniobrabilidad se consigue en vehículos omnidireccionales. Un vehículo omnidireccional en el plano es capaz de trasladarse simultánea 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 robots móviles.

1.3.4.1.1. 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 5. La rueda delantera interior gira un ángulo ligeramente superior a la exterior para eliminar el deslizamiento. Las prolongaciones de los ejes de las dos ruedas delanteras interceptan 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 P1. Si no se tienen en cuenta las fuerzas centrífugas, los vectores de velocidad instantánea son tangentes a estas curvas.

Figura 5. Sistema ackerman.



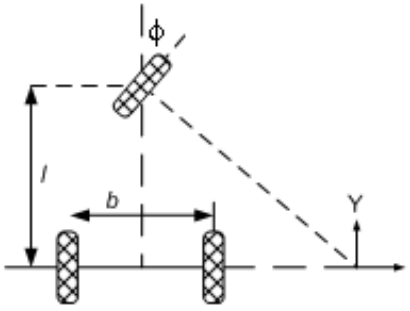
Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

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

1.3.4.1.2. Triciclo clásico

Este sistema de locomoción se ilustra en la FIGURA 1. 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 en 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.

Figura 6. Locomoción de triciclo clásico



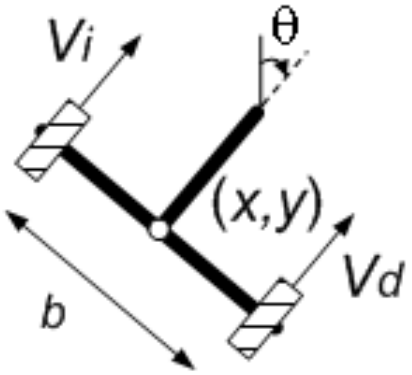
Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

Debido a su simplicidad, es bastante frecuente en vehículos robóticos para interiores y exteriores pavimentados.

1.3.4.1.3 Diferencial

El direccionamiento viene dado por la diferencia de velocidades de las ruedas laterales. La tracción se consigue también con estas mismas ruedas. Adicionalmente, existen una o más ruedas para soporte. Esta configuración es la más frecuente en robots para interiores.

Figura 7. Locomoción con direccionamiento diferencial en dos ruedas laterales.



Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

1.3.4.2. Modelos cinemáticos de robots móviles[4]

1.3.4.2.2. Consideraciones del análisis

Para el análisis realizado a continuación, se consideran exclusivamente robots móviles con ruedas. Asimismo, se adoptan tas siguientes hipótesis simplificadoras:

a) El robot se mueve sobre una superficie plana.
b) Los ejes de guiado son perpendiculares al suelo.
c) Se supone que las ruedas se mueven con rodadura pura; es decir, el deslizamiento es despreciable en el periodo de control.
d) El robot no tiene partes flexibles.
e) Durante un periodo de tiempo suficientemente pequeño en el que se mantiene constante la consigna de dirección, el vehículo se moverá de un punto al siguiente a lo largo de un arco de circunferencia.
f) El robot se comporta como un sólido rígido, de forma que si existen partes móviles (ruedas de dirección), éstas se situarán en la posición adecuada mediante el sistema de control.

1.3.4.2.3. Restricciones cinemáticas

En la práctica, existen diferentes tipos de ruedas cuya consideración tiene una notable influencia en el modelo cinemática de vehículo. Así, cabe distinguir entre cuatro tipos de rueda:

[4] Tomado de Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles.

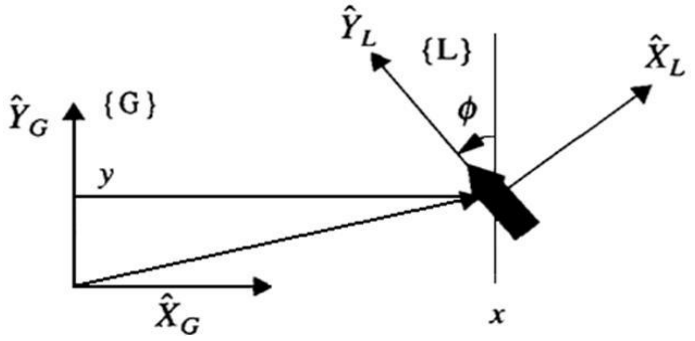
Las ruedas fijas sólo pueden rotar sobre su eje. Las ruedas de direccionamiento se caracterizan por la rotación alrededor del eje vertical que pasa por el centro de la rueda y que permite orientarla con respecto al vehículo.

Las ruedas de castor también son orientables respecto al vehículo, pero el eje vertical de rotación no pasa por el centro de la rueda. Las ruedas suecas permiten variar la dirección de la velocidad del punto de contacto con relación al plano de la rueda (el vector velocidad puede tener un ángulo con respecto a la tangente).

Considérese un sistema de referencia {G} y un sistema {L} con centro en el punto de guiado del vehículo y eje ŶL en la dirección del eje longitudinal del vehículo.

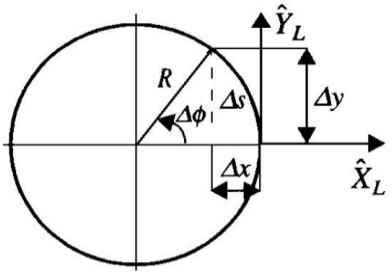
Supóngase que el vehículo se desplaza en un intervalo de control según un arco de circunferencia, tal como se muestra en la figura 7. Esta suposición es válida para intervalos de control suficientemente pequeños.

Figura 8. Cambio de sistema de referencia en navegación de robots móviles.



Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles.

Figura 9. Círculo osculador



Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

La velocidad lineal del vehículo viene dada por:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \qquad (2.1)$$

y la velocidad angular por:

$$\omega = \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \qquad (2.2)$$

siendo Δs y ΔΦ y respectivamente el espacio recorrido por el punto de guiado de vehículo y su cambio de orientación durante el intervalo de control Δt.

La longitud Δs del arco recorrido por el robot en Δt viene dada por:

$$\Delta s = R\Delta\phi \qquad (2.3)$$

siendo R el radio de giro o radio de la circunferencia que describe el punto de guiado. La curvatura se define como la inversa del radio de giro:

$$\gamma = \frac{1}{R} = \frac{\Delta\phi}{\Delta s} \qquad (2.4)$$

Las ecuaciones de movimiento en el sistema {L} de la Figura 9 en la posición inicial son:

$$^{L}(\Delta x) = -(R - R\cos(\Delta\phi))$$
$$^{L}(\Delta y) = R\,\text{sen}(\Delta\phi) \qquad (2.5)$$

Si la orientación inicial del vehículo con respecto al sistema {G} es de Φ el movimiento en el sistema {G} se determina rotando Φ:

$$\Delta x = R[\cos(\Delta\phi) - 1]\ \cos(\phi) - R\,\text{sen}(\Delta\phi)\ \text{sen}(\phi)$$
$$\Delta y = R[\cos(\Delta\phi) - 1]\ \text{sen}(\phi) + R\,\text{sen}(\Delta\phi)\ \cos(\phi) \qquad (2.6)$$

Suponiendo que el intervalo de control es suficientemente pequeño, también lo será el cambio de orientación ΔΦ con lo cual se tendrá que

$$\cos(\Delta\phi) \cong 1$$
$$\text{sen}(\Delta\phi) \cong \Delta\phi \qquad (2.7)$$

Sustituyendo en las anteriores ecuaciones se tiene que

$$\Delta x = -R\Delta\phi\ \text{sen}(\phi)$$
$$\Delta y = R\Delta\phi\ \cos(\phi) \qquad (2.8)$$

y teniendo en cuenta la ecuación (2.3)

$$\Delta x = -\Delta s \operatorname{sen}(\phi)$$
$$\Delta y = \Delta s \cos(\phi) \qquad (2.9)$$

Dividiendo ambas ecuaciones por Δt, teniendo en cuenta la ecuación (2.1) y haciendo tender Δt a cero se llega a:

$$x' = -v \operatorname{sen}\phi$$

$$y' = v \cos\phi \qquad (2.10)$$

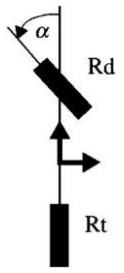
ecuaciones alas que puede añadiese la que se obtiene a partir de la (2.2):

$$\phi' = \omega \qquad (2.11)$$

la cual proporciona la variación de la orientación.

Nótese que en el modelo anterior no se considera el ángulo de direccionamiento de las ruedas, variables que se utilizan en diversas configuraciones de robots móviles. Estos ángulos se emplean en modelos tales como el de la bicicleta. El ángulo de direccionamiento α es el que forma el eje longitudinal del vehículo con la rueda delantera, la cual se supone direccionable.

Figura 10 . Modelo de la bicicleta. Rd rueda delantera, Rt rueda trasera**.**



Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

1.3.4.3. Modelo jacobiano

Sea *p* el vector que representa un punto en el espacio de *n* coordenadas generalizadas y *q* el vector m variables de actuación, siendo n > m. Sean p' y q' las derivadas temporales correspondientes. En lo que sigue, por omisión, se considera que las variables se expresan en el sistema de referencia global {G}.

El modelo directo en es

$$p' = J(p)q' \qquad (2.12)$$

Siendo J(*p*) el jacobiano. Este jacobiano puede escribiese en la forma

$$p' = f(p) + \sum_{i=1}^{m} g(p)_i q'_i \qquad (2.13)$$

Siendo f y g funciones vectoriales analíticas.

Si p = $[x\ y\ \phi]^T$ es el vector con tas coordenadas globales del punto de guía del vehículo y la orientación, las ecuaciones (2.10), y (2.11) pueden expresarse en la forma (2.13) con f(p) = 0; m = 2 como

$$p' = \begin{bmatrix} -\text{sen}\ \phi \\ \cos\ \phi \\ 0 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \omega \qquad (2.14)$$

siendo *v* la velocidad lineal del vehículo y *w* la angular.

Las ecuaciones (2.14) pueden expresarse también en la forma del modelo (2.12) como

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \phi' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen}\ \phi & 0 \\ \cos\ \phi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \qquad (2.15)$$

siendo q' = [v w]^T el vector de variables de entrada.

Combinando las dos primeras ecuaciones de (2.15) es posible obtener la siguiente restricción independiente de

$$x' \cos\phi + y' \operatorname{sen}\phi = 0 \qquad (2.16)$$

que constituye la restricción no holónoma del movimiento según la cual el vehículo debe moverse en cada instante según la dirección de su eje longitudinal de simetría

$$\operatorname{tg}\phi = -\frac{x'}{y'} \qquad (2.17)$$

En efecto, teniendo en cuenta la posición (x, y) y la orientación s del vehículo no son independientes.

Para resolverlo de una forma general sería necesario invertir el jacobiano. Cuando el jacobiano no es cuadrado, es necesario emplear la seudo inversa. Multiplicando ambos miembros de (2.12) por j^T y despejando q' se obtiene:

$$q' = \{[J(p)]^T J(p)\}^{-1} [J(p)]^T p' \qquad (2.18)$$

Así, para el modelo (2.15) se obtiene:

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\operatorname{sen}\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \phi' \end{bmatrix} \qquad (2.19)$$

de la primera se deduce

$$v = -x' \operatorname{sen}\phi + y' \cos\phi \qquad (2.20)$$

1.3.4.4. Modelos de diferentes configuraciones

En la Figura se muestran cuatro configuraciones diferentes de robots móviles. Las coordenadas (x, y) suministran la posición del cobol con respecto a las coordenadas globales y el ángulo su orientación con respecto a un eje paralelo al Ŷ.

La configuración de la Figura 10 es la denominada síncrona o “synchro-drive” en la cual existen transmisiones que permiten orientar las tres ruedas simultáneamente con una velocidad angular *w* y hacer que el vehículo se desplace con una velocidad lineal *v*. En esta configuración el modelo viene dado por las ecuaciones.

$$p' = \begin{bmatrix} -\text{sen}\ \phi \\ \cos\ \phi \\ 0 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \omega \qquad (2.21)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \phi' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen}\ \phi & 0 \\ \cos\ \phi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \qquad (2.22)$$

Nótese que para especificar la configuración hay que indicar los valores de las tres variables (x, y,Φ). Se tiene una restricción no holónoma y dos grados de libertad.

En la Figura 7 se representa la locomoción con guiado diferencial. En este caso, las variables de control son las velocidades de las ruedas laterales. Sean *w*i y *w*d, las velocidades de giro de la rueda izquierda y derecha, respectivamente. Si el radio de la rueda es *c*, las velocidades lineales correspondientes son vi= wi.c y vd=

wd.c. En este caso, la velocidad lineal y la velocidad angular correspondientes en el modelo (2.13) vienen dadas por:

$$v = \frac{v_d + v_i}{2} = \frac{(\omega_d + \omega_i)c}{2}$$

$$\omega = \frac{v_d - v_i}{b} = \frac{(\omega_d - \omega_i)c}{b} \qquad (2.23)$$

siendo b la vía del vehículo (distancia que separa las dos ruedas centrales). Por consiguiente, si se especifican la velocidad lineal *v* y angular *w* del vehículo.

Las velocidades de giro que hay que aplicar a las ruedas izquierda y derecha son:

$$\omega_i = \frac{v - (b/2)\omega}{c}$$

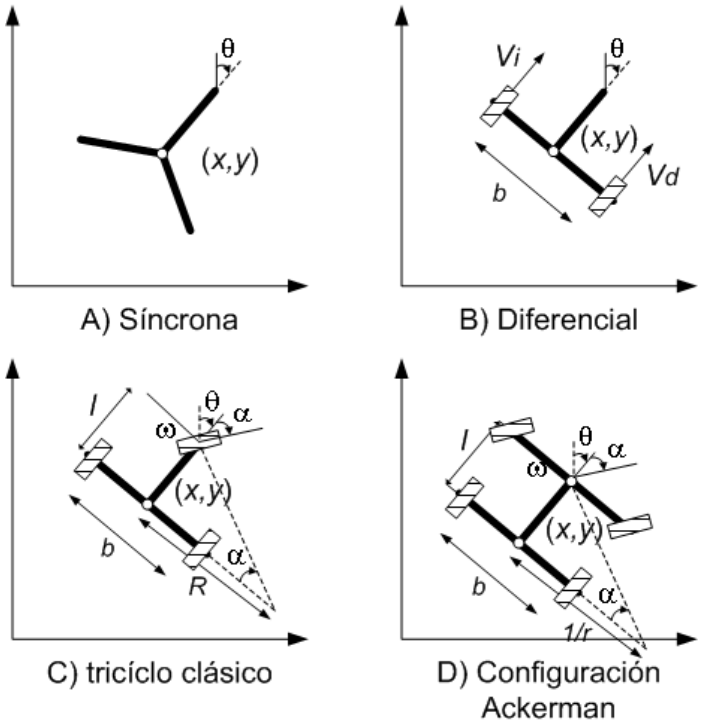
$$\omega_d = \frac{v + (b/2)\omega}{c} \qquad (2.24)$$

Sustituyendo (2.23), el modelo (2.14) puede expresarse en función de estas variables de control como

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \phi' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(c \text{ sen } \phi)/2 \\ (c \cos \phi)/2 \\ -c/b \end{bmatrix} \omega_i + \begin{bmatrix} -(c \text{ sen } \phi)/2 \\ (c \cos \phi)/2 \\ c/b \end{bmatrix} \omega_d$$

$$= \begin{bmatrix} -(c \text{ sen } \phi)/2 & -(c \text{ sen } \phi)/2 \\ (c \cos \phi)/2 & (c \cos \phi)/2 \\ -c/b & c/b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_i \\ \omega_d \end{bmatrix} \qquad (2.25)$$

Figura 11. Configuración de robots móviles



Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

El esquema de la figura 7 representa el triciclo convencional, en el cual la rueda delantera se utiliza tanto para la orientación como para la tracción. En este caso las variables de control suelen tomarse como el ángulo de dirección de la rueda delantera (o su velocidad angular wα) y la velocidad de giro de la misma rueda wt, (o su velocidad lineal correspondiente vt = cw_t). Se supondrá que el punto de guía (x, y) está en el centro del eje trasero.

Las velocidades lineales v angulares w del vehículo que corresponden a las entradas en el modelo (2.14) son respectivamente

$$v = v_t \cos \alpha = c\omega_t \cos \alpha \qquad (2.26)$$

$$\alpha' = \omega_\alpha \qquad (2.27)$$

Asimismo, el ángulo de orientación del vehículo varía según:

$$\phi' = \frac{c\omega_t}{l} \operatorname{sen} \alpha = \frac{v_t}{l} \operatorname{sen} \alpha \qquad (2.28)$$

Por consiguiente, sustituyendo en (2.14). se obtiene el siguiente modelo en función de las velocidades de control v_t y $w\alpha$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \phi' \\ \alpha' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\operatorname{sen} \phi & \cos \alpha \\ \cos \phi & \cos \alpha \\ (\operatorname{sen} \alpha)/l & \\ 0 & \end{bmatrix} v_t + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \omega_\alpha = \begin{bmatrix} -\operatorname{sen} \phi & \cos \alpha & 0 \\ \cos \phi & \cos \alpha & 0 \\ (\operatorname{sen} \alpha)/l & & 0 \\ 0 & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_t \\ \omega_\alpha \end{bmatrix} \qquad (2.29)$$

Obsérvese también que, conocidas las velocidades deseadas lineal v y angular *w*, las variables de control α y w_t, pueden obtenerse mediante:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{l}{R}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{l\omega}{v}\right) \qquad (2.30)$$

$$\omega_t = \frac{v_t}{c} = \frac{\sqrt{v^2 + \omega^2 l^2}}{c} \qquad (2.31)$$

En efecto, obsérvese como la relación entre la velocidad de traslación y la de rotación es el radio de giro R. Asimismo, R = 1/γ siendo γ la curvatura.

El triciclo puede representarse también mediante el denominado modelo de la bicicleta. En este modelo se adoptan las expresiones (2.10). Con respecto a la orientación, se tiene en cuenta la definición de la curvatura (2.4) de donde se obtiene la ecuación Φ'= v.γ. Por tanto, las ecuaciones

$$\begin{aligned} x' &= -v \ \text{sen}\ \phi \\ y' &= v \ \cos \phi \\ \phi' &= v\gamma \end{aligned} \qquad (2.32)$$

siendo ϒ la curvatura, que puede obtenerse en función del ángulo de direccionamiento mediante ϒ = (tan α) / l.

En general, si se emplea el modelo de la bicicleta, para obtener los modelos inversos puede aplicarse la expresión (2.18), donde el jacobiano viene dado por las correspondientes ecuaciones del modelo directo: (2.25) para el guiado diferencial y (2.29) para el triciclo.

1.3.4.5 Estimación de la posición y orientación

La estimación de la posición y orientación de los robots móviles hace necesaria la integración de las ecuaciones de los modelos presentados inicialmente.

Así, en el modelo (2.15), correspondiente al sistema de transmisión *síncrona,* conociendo la posición y orientación inicial P = $\begin{bmatrix} x_0 & y_0 & \phi_0 \end{bmatrix}^T$ su integración daría:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ \phi_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \int_0^t -v \operatorname{sen} \phi \, d\tau \\ \int_0^t v \cos \phi \, d\tau \\ \int_0^t \omega \, d\tau \end{bmatrix} \qquad (2.33)$$

De igual forma, en el caso de direccionamiento diferencial, se tiene:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ \phi_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \int_0^t \frac{-c \operatorname{sen} \phi}{2} (\omega_d + \omega_i) d\tau \\ \int_0^t \frac{c \cos \phi}{2} (\omega_d + \omega_i) d\tau \\ \int_0^t \frac{c}{b} (\omega_d - \omega_i) d\tau \end{bmatrix} \qquad (2.34)$$

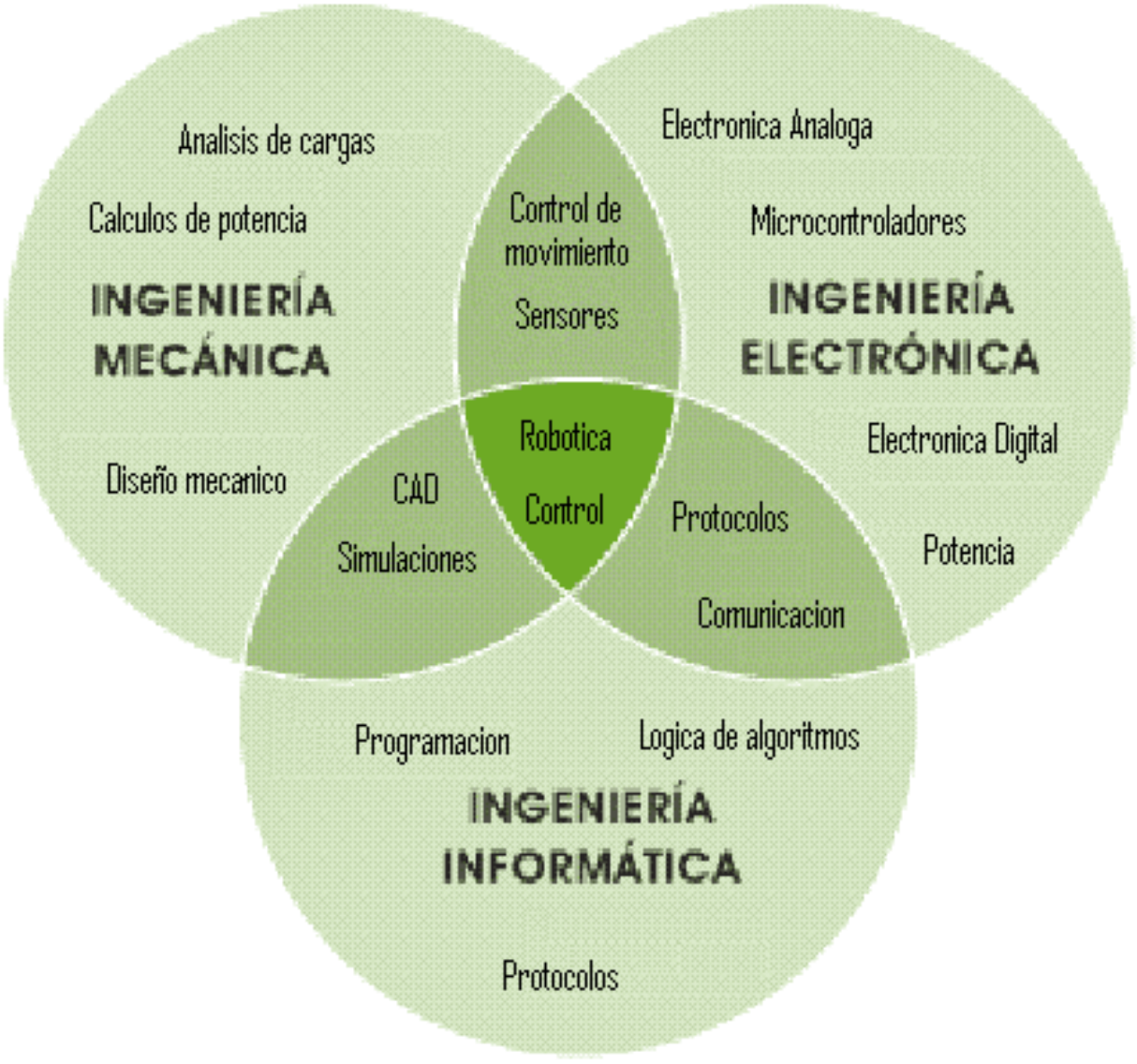
En este caso del modelo del triciclo se aplican las ecuaciones:

$$v = c\omega_t \cos\alpha \qquad (2.35)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ \phi_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \int_0^t -v \operatorname{sen}\phi \, d\tau \\ \int_0^t v \cos\phi \, d\tau \\ \int_0^t \frac{v_t \operatorname{sen}\alpha}{l} \, d\tau \end{bmatrix} \qquad (2.36)$$

2. DISEÑO

Figura 12 Diseño Mecatrónico



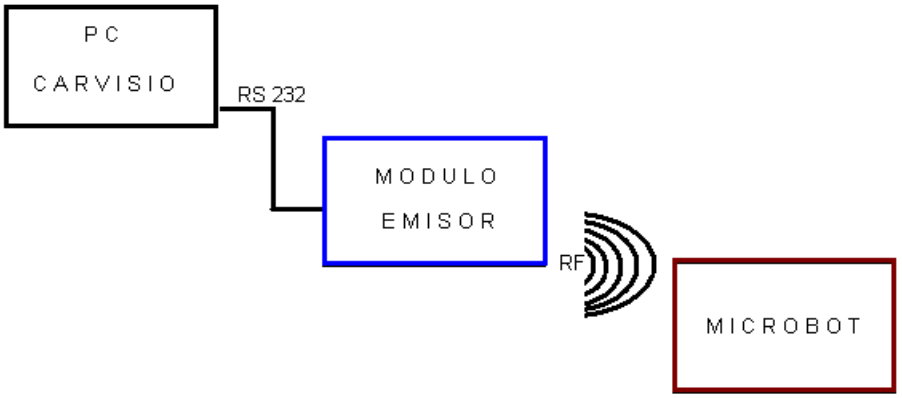
Del Autor

2.1 FASES DEL DISEÑO

Como se observa en el diagrama de bloques (Figura 13), en el desarrollo del diseño se comenzó por determinar principalmente el tipo de comunicaciones, tanto el del Pc con el emisor y el del emisor con el receptor. Posteriormente se diseñaron los circuitos electrónicos del emisor y receptor, en conjunto con el desarrollo del los circuitos electrónicos se desarrollo el programa encargado de realizar la interfaz entre el usuario y el microbot.

Finalmente se realizo el diseño mecánico del microbot, se realizaron cálculos, se seleccionaron materiales y realizo en ensamble de todos los componentes como veremos detalladamente a continuación.

Figura 13 Diagrama De Bloques General Del Microbot



Del Autor

2.2. PC – CARVISION V.1.0

Se hacia necesario el diseño de un software que cumpliera con las necesidades básicas de recepción de audio y video por medio de una capturadota externa de video adecuada a un PC con características mínimas (Pentium 500 Mhz, 256 RAM, slot AGP, puerto serial); que permitiera el envió de datos mediante el puerto serial a un modulo recepción y emisión de datos al microbot.

2.2.1. DISEÑO DEL SOFTWARE.

Parámetros de selección:

- Recepción de audio, video y envío de datos mediante el puerto serial.
- Interfaz grafica agradable al usuario.
- Facilidad en la programación y desarrollo.
- Fácil adquisición (Licencias) e información acerca del mismo.

Teniendo en cuenta estos parámetros de selección, a cada uno se le asigna un valor de 1 a 5 el cual depende del grado de importancia del parámetro de selección en comparación a los otros parámetros, a cada alternativa se le asigna un valor de 1 a 5 en cada parámetro dependiendo de las condiciones que tiene esta alternativa en relación a este parámetro; mediante este tipo de evaluación de alternativas por ponderación se evaluaran todas las alternativas presentes en el desarrollo del proyecto.

Tabla 1 Selección del software de programación.

Software		Neobook	Visual Basic	Turbo C
Comunicaciones	(5)	5	5	5
Interfaz grafica	(4)	5	4	2
Fácil programación	(3)	5	4	5
Adquisición	(3)	4	3	5
Total		72	66	63

Del autor

Mediante la tabla 1 se selecciono el Neobook 5.3 como software de programación para el desarrollo del Carvision 1.0 ya que presenta una ponderación alta en relación a los demás lenguajes lo cual demuestra la ventaja que se tiene al programar en este lenguaje en comparación de las otras alternativas.

2.2.1.1 INTRODUCCIÓN AL NEOBOOK

Neobook es una herramienta de autor que surgió en 1993 de la mano de Neosoft.

Más adelante se renovó con su versión 3 y la 3.2f hasta llegar al 2003 con su versión número 4. En el 2004 se generaron numerosas actualizaciones hasta terminar en la 4.13a. En Marzo del 2005 nace Neobook 5, compatible con Neobook 4, lleno de mejoras y nuevas funciones.

Las herramientas de autor (también denominados *entornos de autor* o *lenguajes visuales*) son aplicaciones informáticas que permiten elaborar sistemas multimedia. Ofrecen un entorno de trabajo que permite una programación basada en iconos, objetos y menús de opciones, los cuales posibilitan al usuario realizar un producto multimedia (como, por ejemplo, un libro electrónico) sin necesidad de escribir una sola línea en un lenguaje de programación. Los iconos u objetos se asocian a las exigencias del creador, de tal modo que existen iconos para reproducir sonidos, mostrar imágenes (gráficos, animaciones, fotografías, videos), controlar dispositivos y/o tiempos, activar otros programas, crear botones interactivos, etc.

Neobook; en principio; se utilizó para crear programas educativos. Aunque su última versión (la 5) sigue teniendo la misma sencillez que al principio, su potencia se a prestado para que otro tipo de usuarios comiencen a plasmar sus ideas en el campo de la programación. Poco tiempo después de la salida de la versión 4, Neobook, ha tenido miles de seguidores que han creado decenas de plugins, tutoriales, y demostraciones para ayudarse en la creación y además para que más gente descubra que Neobook no es un programa con pocas prestaciones.

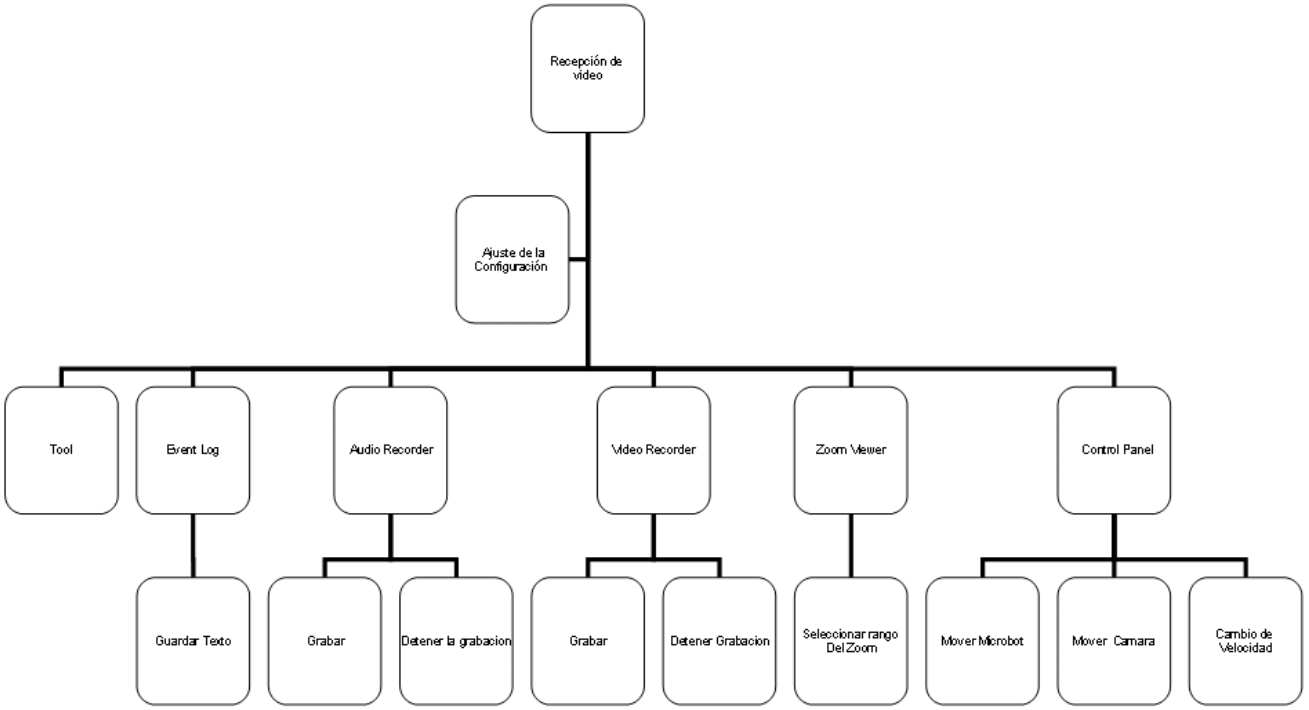
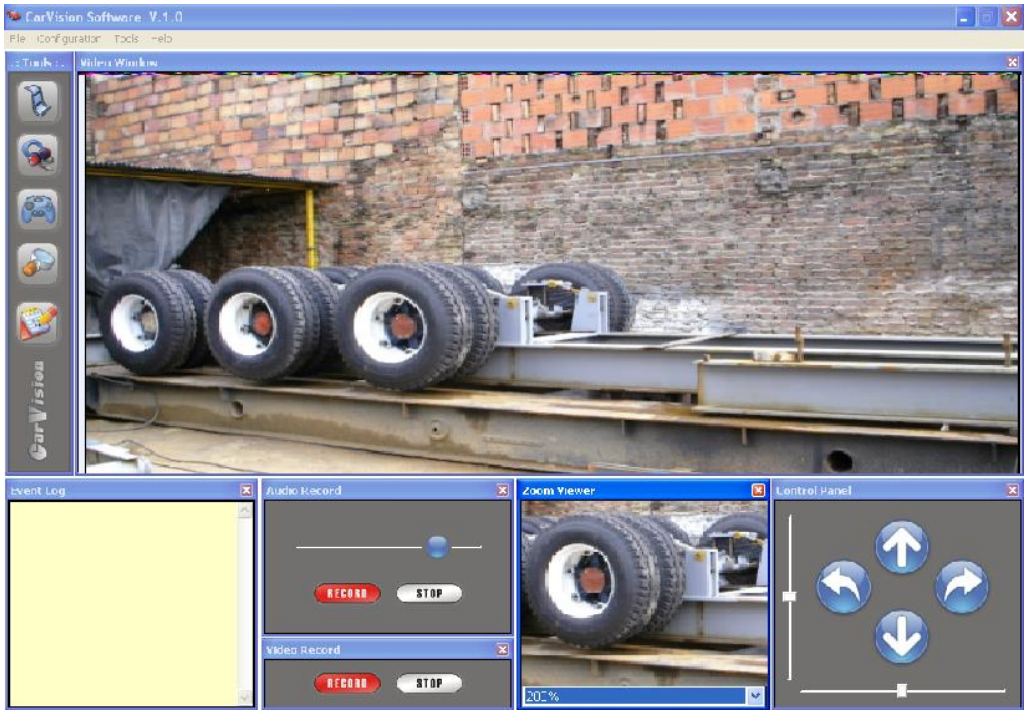


Figura 14 Diagrama de flujo del Carvision 1.0

2.2..1.2. SOFTWARE CARVISION V.1

Para el diseño del Carvision 1.0 se baso en el anterior diagrama de flujo el cual muestra las funciones necesarias para la ejecución de las tareas del microbot, al iniciar el programa se inicia la captura de video y se habilita la opción de realizar los ajustes en el video (brillo, color, saturación, nitidez); al mismo nivel se presentan todas las opciones para el uso del microbot como lo es control panel, el video y audio recorder, el event log, zoom viewer y el tool. Estas opciones se muestran detalladamente en la descripción del software con sus respectivos códigos de programación.

Figura 15 Menú Principal Carvision 1.0



Del autor

2.2.1.3. DESCRIPCIÓN DEL CARVISION 1.0

Este software presenta un entorno agradable al usuario, es muy sencillo de manejar además de contar con tutoriales que muestran al usuario la forma de utilizarlo correctamente.

Cuenta con un ejecutable que instala el software con sus respectivos archivos y carpetas en las cuales quedara almacenada la información grabada por el usuario.

En la figura 13 podemos observar el entorno del software, cuenta con una serie de ventanas que describiremos continuación:

A. Tool

En esta venta encontramos 5 iconos en los cuales podemos llamar y ocultar las demás ventanas del software.

B. Event Log

Esta venta se utiliza para que el usuario pueda tomar anotaciones acerca de la inspección que esta realizando.

C. Audio Record

Esta ventana permite al usuario grabar el sonido captado por la camara del microbot.

D. Video Record

Esta ventana permite al usuario grabar el video captado por la camara del microbot.

E. Zoom Viewer

Es esta ventana se muestra un zoom a diferentes escalas seleccionables por el usuario en esta misma ventana la cual realiza el aumento al ubicar el puntero del raton en el sector de la pantalla video viewer .

F. Video Viewer

En esta ventana se muestra el video captado por la cámara del microbot.

G. Control Panel

Esta es la ventana encargada de el manejo de microbot, cuenta con unos iconos para controlar el movimiento de microbot, son accionados por las flechas del teclado o por el ratón y unas barras que realizan el movimiento de la cámara, son accionadas por el ratón.

2.2.1.4 ELABORACIÓN DE CARVISION 1.0

Para la elaboración de este software se utilizaron las librerías:

- nzPlugingWebCam - Christian Chauvin.
- gtComms V3.01 pluging - G Turner.
- NeoSoundRecord - David Esperalta.
- TmMouseCam - Alberto Meyer – Techmedia software.
- Tools originales del neobook - Neosoft.

Estas librerías nos permitieron capturar el video, realizar el envío de datos vía puerto serial, grabar video y audio, realizar el zoom digital y realizar algunas funciones de control (If, While, Case)

2.2.1.5. PROGRAMACIÓN DEL CARVISION 1.0

CustomWindow "Video Window" "74" "1" "VideoWindow" "ToolWindow"

GetObjectHandle "Recvideo" "[RectangleHandle]"

nz_WebCam_Connect "[RectangleHandle]" "0" "[WebCamResult]"

SetVar "[MenuItem6]" "Checked"

Abre la ventana en donde se observa el video que captura el microbot.

Calcula el tamaño del recuadro y posteriormente inicializa la captura de audio. CustomWindow "Audio Record" "258" "430" "AudioManager" "ToolWindow"

GetVolume "Master" "[TrackBar1]"

SetVar "[MenuItem1]" "Checked"

Abre la ventana de Audio recorder, adapta el volumen al volumen en que se encuentra el volumen del Windows.

CustomWindow "Control Panel" "773" "430" "ControlPanel" "ToolWindow"

SetVar "[MenuItem2]" "Checked"

Abre la ventana del cuadro de controles del microbot.

CustomWindow "Zoom Viewer" "515" "430" "ZoomViewer" "ToolWindow"

SetVar "[MenuItem7]" "Checked"

Abre la ventana del Zoom.

CustomWindow "Event Log" "1" "430" "EventLog" "ToolWindow"

SetVar "[MenuItem12]" "Checked"

Abre la ventana del Blok de notas o Event Log

Video

nz_WebCam_DlgCompression "[WebCamResult]"

FileSaveBox "Save Video as" "Windows AVI (*.avi)|*.avi" "[PubDir]Video Files" "[filename]"

If "[Filename]" ">" ""

nz_WebCam_StartCaptureToAvi "[filename].avi" "[WebCamResult]"

EndIf

Despliega las opciones de compresión del video el cual reduce el peso del archivo de video pero sacrifica la calidad, esto es decisión del usuario, solicita el nombre con el cual se desea grabar el archivo de video y comienza la grabación.

Video

nz_WebCam_StopCaptureToAvi "[WebCamResult]"+

Detiene la grabación del video.

Sonido

InputBox "File Name" "Enter the file name:" "[name]"

If "[name]" ">" ""

AE_SOUND_RECORD "RegisterKey|[name].wav|[16]|[44100]|[2 = Stereo]"

EndIf

Despliega las opciones de compresión de audio el cual reduce el peso del archivo de audio pero sacrifica la calidad, esto es decisión del usuario, solicita el nombre con el cual se desea grabar el archivo de audio y comienza la grabación

Audio

AE_SOUND_STOP "RegisterKey"

PlaySoundFile "[name].wav" "NORMAL"

Detiene la grabación de audio.

Selección del zoom

If "[ComboBox1]" "=" "100%"

tmMouseCamZoomFactor "reczoom" "100"

EndIf

If "[ComboBox1]" "=" "200%"

tmMouseCamZoomFactor "reczoom" "50"

EndIf

If "[ComboBox1]" "=" "300%"

tmMouseCamZoomFactor "reczoom" "30"

EndIf

If "[ComboBox1]" "=" "400%"

tmMouseCamZoomFactor "reczoom" "10"

EndIf

Esta es una lista desplegable de los niveles de zoom que se pueden hacer y al seleccionar uno lo aplica en la pantalla de zoom.

gtCommSend "1,8"

Envía por el Puerto serial COM 1 el No. 8

gtCommSend "1,2"

Envía por el Puerto serial COM el No. 2

gtCommSend "1,4"

Envía por el Puerto serial COM el No. 4

gtCommSend "1,6"

Envía por el Puerto serial COM el No. 6

if "[TrackBar7]" ">" "[Auxilar]"

gtCommSetBaud "1,3"

Else

gtCommSetBaud "1,8"

EndIf

SetVar "[Auxiliar]" "[TrackBar7]"

Estas Barras envían mediante el Puerto serial los números 3, 8, 5, 7 y se encargan de mover la cámara en el sentido que muestran las barras (Up/Down, Left/Right)

2.3. MODULO EMISOR

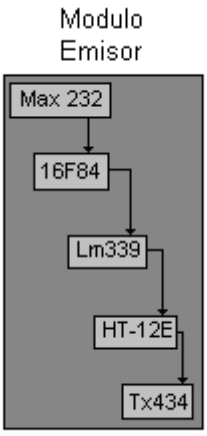


Figura 16 Diagrama de bloques del modulo emisor

Del bloque anterior (PC – Carvision) vemos que los datos son enviados mediante el puerto serial del PC utilizando este tipo de comunicación " Serial "; lo que hace necesario desarrollar una modulo que reciba estos datos y los emita al microbot, tomando en cuenta que niveles de la comunicación serial (-12V – 12 V) no son compatibles con los niveles TTL manejados por un microcontrolador, se hace necesario utilizar MAX 232 el cual es un conversor de estos niveles, ya teniendo niveles TTL es necesario utilizar un Microcontrolador que establezca una comunicación con el PC mediante el puerto serial.

Para realizar la selección de Microcontrolador se utilizara el método anteriormente utilizado en la selección del lenguaje de programación.

2.3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.

- Permita la Comunicación Serial
- Tamaño no superior a un integrado de 14 pines
- Precio y facilidad de adquisición
- Información necesaria para la programación
- Herramientas de programación disponibles (Quemador y software)

Tabla 2 Selección del Microcontrolador

MARCA	Motorola	Microchip 16F84	Intel
Comunicaron serial (5)	5	4	5
Tamaño (4)	2	4	2
Precio (3)	3	4	3
Información (2)	4	5	2
Herramientas de programación (3)	3	5	2
Totales	59	75	52

Del autor

Teniendo en cuenta los valores totales de los diferentes microcontroladores seleccionamos el PIC 16F84 de Microchip ya que es el mas indicado para satisfacer las necesidades.

2.3.2. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.

La función principal del microcontrolador es la de establecer una comunicación con el Carvision mediante la comunicación serial, tomar estos datos y enviarlos a un codificador en forma binaria.

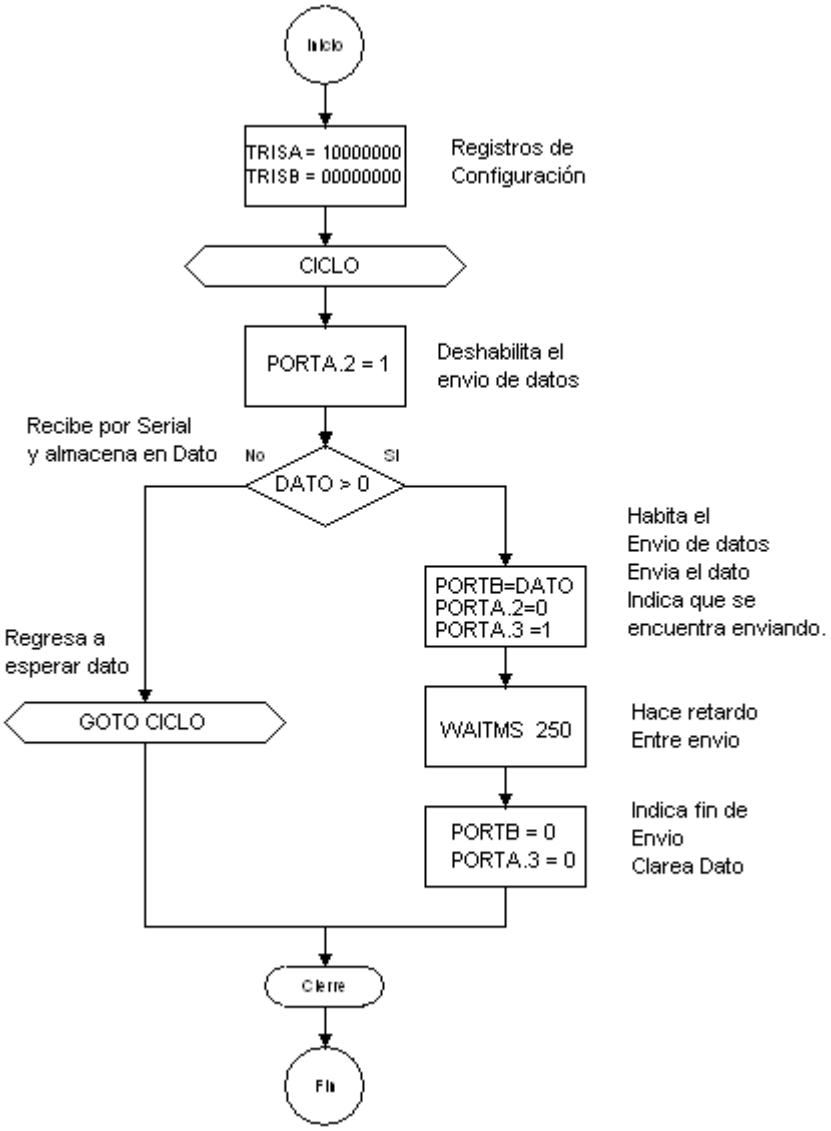


Figura 17 diagrama de flujo del microcontrolador emisor.

En base a este diagrama de flujo se opta por utilizar un lenguaje de alto nivel de programación de microcontroladores como lo es el Basic Compiler pues facilita mucho la programación y es ideal pues permite que el Pic 16f84 el cual no cuenta con comunicación serial establecida pueda hacerlo mediante funciones propias del Basic Compiler.

2.3.2.1. **CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA**.

```
Dim i As Byte              ;se configura la variable i como un Byte para almacenar
                            temporalmente el dato serial.

TRISA = 1                  ; Puerto A.1 como entrada y demás como salidas

TRISB = 0                  ; Puerto B como salidas

loop:                      ; el programa se mantiene en un ciclo de recepción.

PORTA.2 = 1                ; Se interrumpe el envió de datos del codificador.

Serin PORTA.0, 9600, i  ; Se recibe el dato serial y se guarda en la variable i

PORTB = i                  ; El puerto B toma el valor del dato, ya esta en binario.

PORTA.2 = 0                ; habilita el envió del datos del codificador.

PORTA.3 = 1                ; indicador de envió de datos.

WaitMs 250                 ; Retardo prudente para enviar datos y recibir nuevos.

PORTA.3 = 0                ; Listo para recibir nuevamente

PORTB = 0                  ; Dato al codificador es Cero.

WaitMs 250                 ; Retardo prudente para enviar datos y recibir nuevos

Goto loop                   ; Regresa al ciclo de recepción por serial.

End
```

Teniendo seleccionado el microcontrolador que se encargara de recibir el dato de forma serial se realiza la selección de 2 opciones la de modular el dato mediante el mismo microcontrolador o la de utilizar un codificador de dato. Esto se decide utilizando la siguiente tabla de selección de alternativas con los respectivos criterios de selección allí mencionados.

Tabla 3 Selección del Codificador

MARCA	Microchip 16F84	Holtek HT-12E
Codificación (3)	3	5
Tamaño (3)	4	4
Precio (3)	5	1
No programar (4)	1	5
Información (2)	5	3
Totales	50	56

Del autor

Mediante este método se selecciona la opción de utilizar un integrado independiente que se encargue de codificar el dato entregado en forma binaria por el microcontrolador y asi enviarlos via RF.

Como punto de partida del diseño de este proyecto se tomaron los modulos de comunicación RF TLP 434 y RLP 434 de la empresa Laipach Tech y la antena recomendada por esta empresa para estos modulos.

2.4 MÓDULO TRANSMISOR

El TLP-434 tiene una potencia de salida de hasta 8mW a 433.92MHz, alcanzando distancias de aproximadamente 140 metros en espacios abiertos y de 60 metros en espacios internos donde se tengan obstáculos.

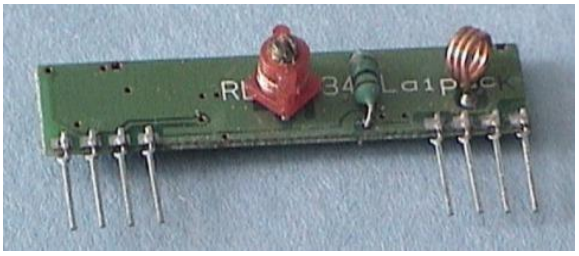
Figura 18 Modulo TLP 434A

Del autor

2.5. MÓDULO RECEPTOR

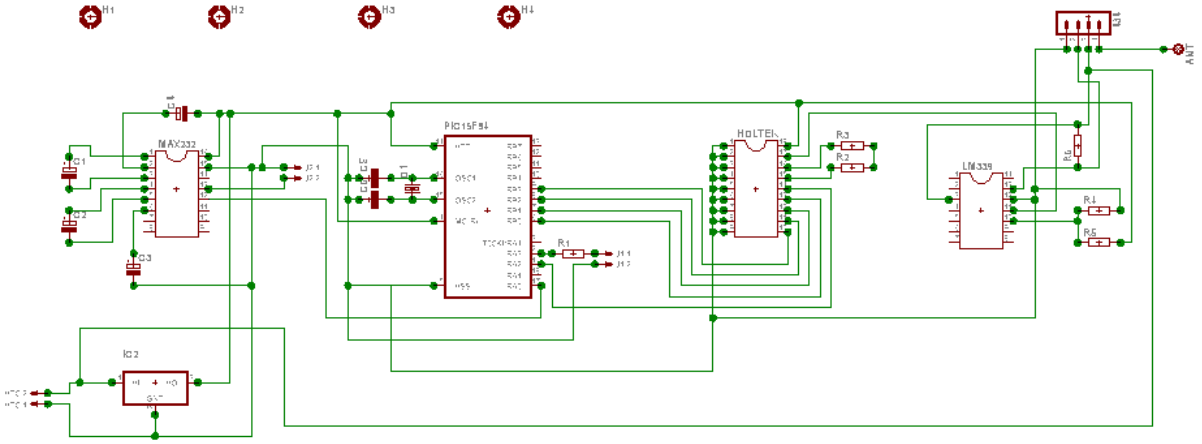
El RLP-434 es un módulo receptor que opera 433.92MHz, y tiene una sensibilidad de 3uV. El receptor RLP-434 opera con una alimentación entre 4.5 y 5.5 Volts-DC y tiene tanto salida lineal como digital, además contiene un capacitor variable para el ajuste de la frecuencia de recepción utilizando un destornillador plástico.

Figura 19 Modulo RLP 434



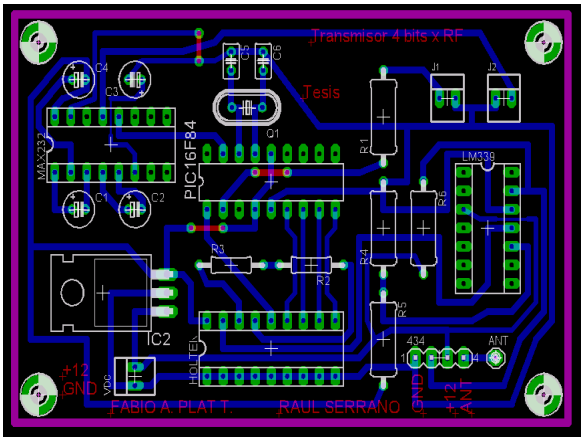
Del autor

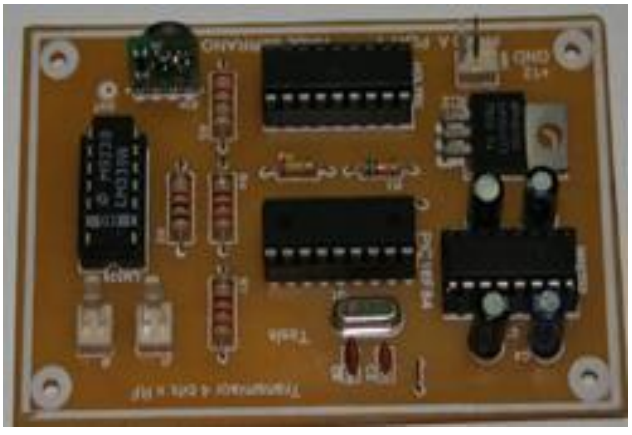
Figura 20 Diseño circuito emisor



Del autor

Figura 21 Tarjeta Emisora





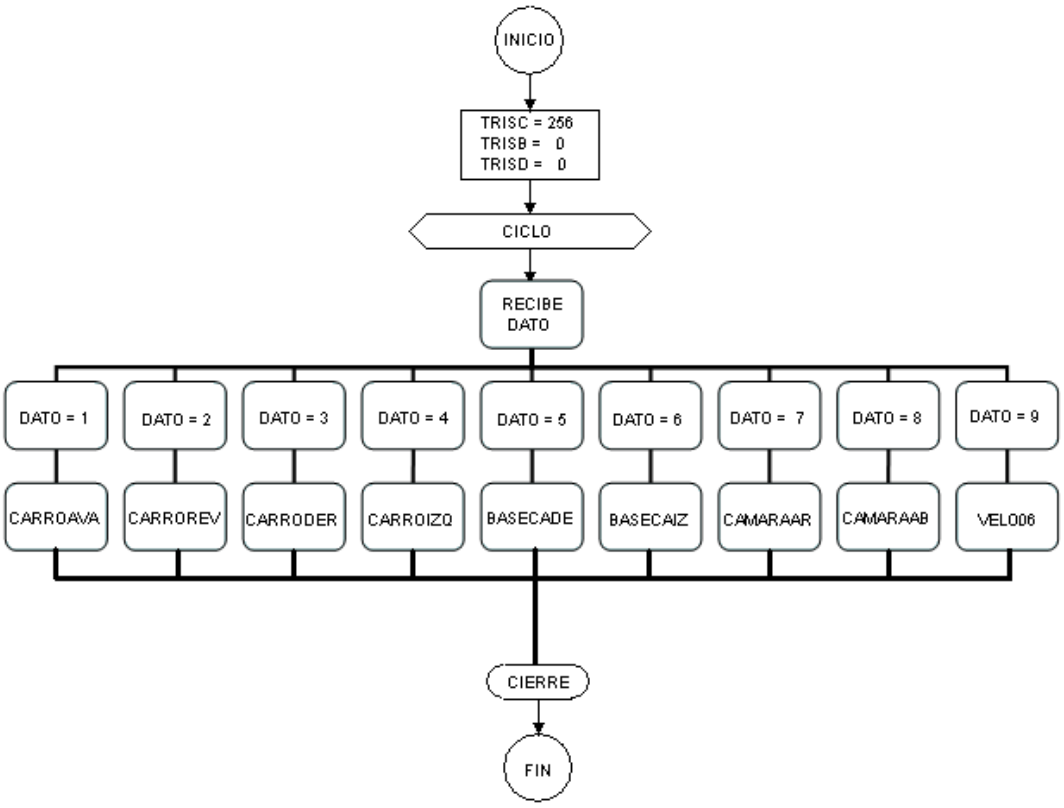
Del autor

En el anexo A se detallan las pruebas a los circuitos electrónicos.

2.6 MODULO RECEPTOR.

Se hacen necesario la realización de un circuito electrónico que permitan la recepción de los datos enviados por la tarjeta emisora, realice la decodificación del dato, un microcontrolador que realice la interpretación de este y realice las funciones previamente programadas.

Tomando en cuenta la selección del microcontrolador de la tarjeta emisora, seleccionamos un microcontrolador de la empresa Microchip, en este caso seleccionamos el Pic 16f877.



Grafica 22 Diagrama de flujo del Microcontrolador del Cto Receptor

Como se observa en el diagrama de flujo del programa del microcontrolador del circuito receptor al recibir el dato salta a un subprograma detallados a continuación:

2.6.1. CÓDIGO FUENTE Y DETALLE DE SUBRUTINAS (CÓDIGO FUENTE)

```
Dim dato As Byte
TRISC = %11111111
TRISB = %00000000
TRISD = %00000010

ciclo:
dato = PORTC
If dato = 1 Then Gosub carroava
If dato = 2 Then Gosub carrorev
If dato = 3 Then Gosub carroder
If dato = 4 Then Gosub carroizq
If dato = 5 Then Gosub basecade
If dato = 6 Then Gosub basecaiz
If dato = 7 Then Gosub camaraar
If dato = 8 Then Gosub camaraab
If dato = 9 Then Gosub velo6
If dato = 10 Then Gosub velo12
PORTB = 0
Goto ciclo
```

- CARROAVA: Esta subrutina es la encargada realizar el avance del microbot

```
If PORTD.3 = 1 Then ' si el sensor de piso esta activado

PORTB.0 = 1  ' Configuración 1 0 del puente H motores del lado derecho

PORTB.1 = 0

PORTB.2 = 1 ' Configuración 1 0 del puente H motores del lado izquierdo

PORTB.3 = 0
```

WaitMs 520

Else

Return

- CARROREV: Esta Rutina es la encargada de realizar el retroceso.

PORTB.0 = 0 ' Configuración 0 1 del puente H motores del lado derecho.

PORTB.1 = 1

PORTB.2 = 0' Configuración 01 del puente H motores del lado izquierdo

PORTB.3 = 1

WaitMs 520

Return

- CARRODER: Realiza un giro hacia la derecha sobre si mismo

PORTB.0 = 1 ' Motores de la derecha hacia adelante

PORTB.1 = 0

PORTB.2 = 0 ' Motores de la izquierda hacia atrás.

PORTB.3 = 1

WaitMs 520

- CARROIZQ: Realiza un giro hacia la izquierda sobre si mismo.

PORTB.0 = 0 ' Motores de la derecha hacia atrás.

```
PORTB.1 = 1

PORTB.2 = 1  ' Motores de la izquierda hacia delante.

PORTB.3 = 0

WaitMs 520

Return
```

- BASECADE: Esta rutina realiza el giro de la camara hacia la dercha.

```
If PORTD.3 = 0 then   ' La cámara no ha llegado al tope de giro derecho.

PORTB.4 = 1  ' Motor de la base de la cámara hacia la derecha.

PORTB.5 = 0

WaitMs 520

Else

Return
```

- BASECAIZ: Realiza el giro hacia la izquierda de la camara.

```
If PORTD.5 = 0 then  ' La camara no ha llegado al tope de giro izquierdo.

PORTB.4 = 0 ' Motor de la base de la cámara gira hacia la izquierda.

PORTB.5 = 1

WaitMs 520

Else
```

Return

- CAMARAAR: Realiza el giro vertical hacia arriba de la cámara.

If PORTD.5 = 0 then ' La cámara no ha llegado al tope superior.

PORTB.6 = 1   ' Motor de la cámara hacia Arriba

PORTB.7 = 0

WaitMs 520

Else

Return

- CAMARAAB: Realiza el giro vertical hacia abajo de la cámara.

If PORTD.6 = 0 then ' La cámara no ha llegado al tope inferior.

PORTB.6 = 0 ' Camara Abajo

PORTB.7 = 1

WaitMs 520

Else

Return

- VELO6: Realiza el cambio de velocidad del microbot.

PORTD.6 = 1 ' Activa un relay que se encarga de cambiar el voltaje de alimentación a los motores del microbot de 12v a 6v.

WaitMs 520

Return

- VELO12: Realiza el cambio de velocidad del microbot.

PORTD.6 = 0 ' Activa un relay que se encarga de cambiar el voltaje de alimentación a los motores del microbot de 12v a 6v.

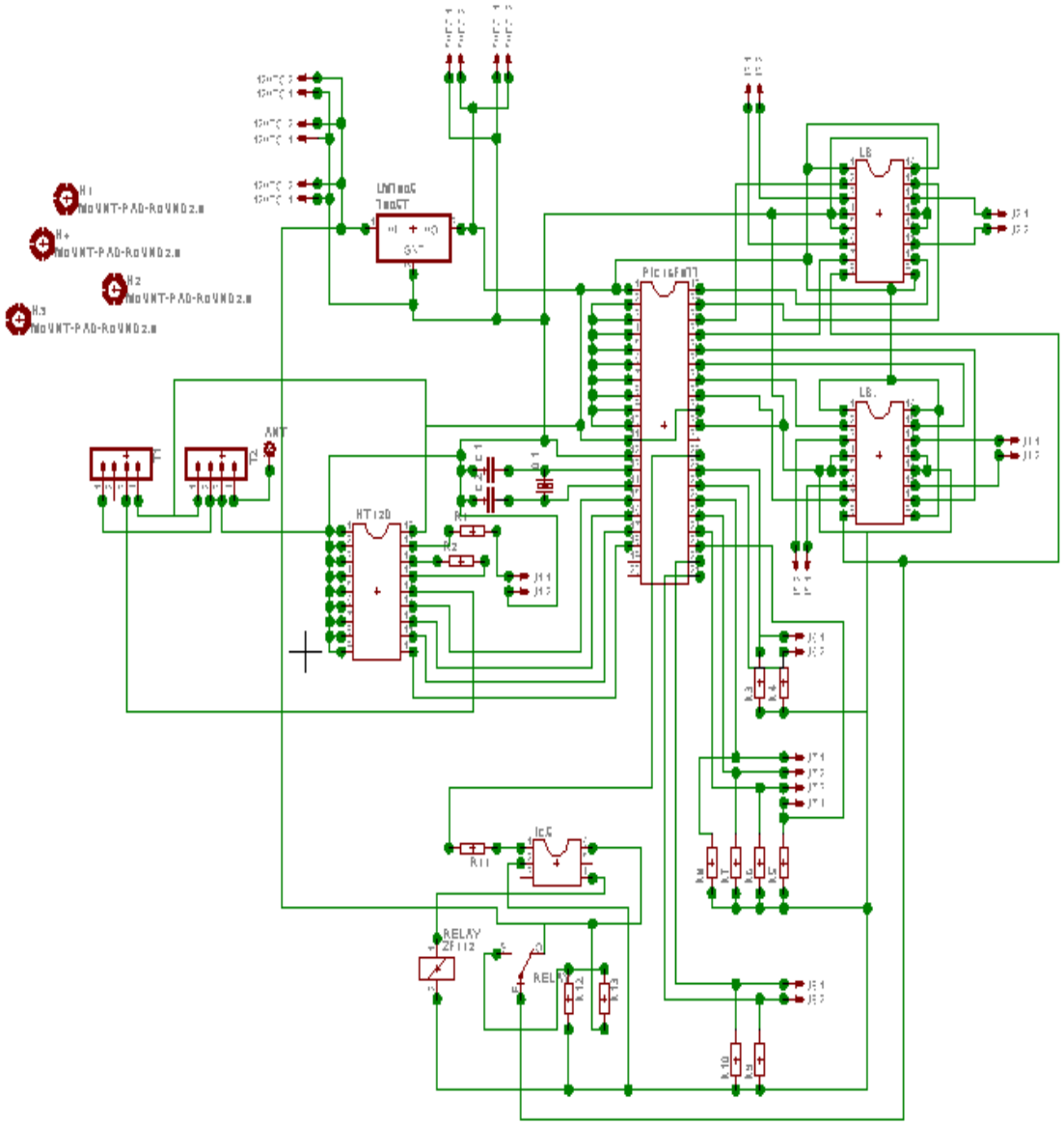
WaitMs 520

Se observa que el microcontrolador es el encargado de tomar el dato en forma binaria del decodificador Holtek HT-12D.

Para la selección de la control de giro de los motores seleccionamos el Lb239 que es un integrado puente H que soporta 2 Am. Que previamente se determino que era la corriente que consumen los motores a su máxima exigencia.

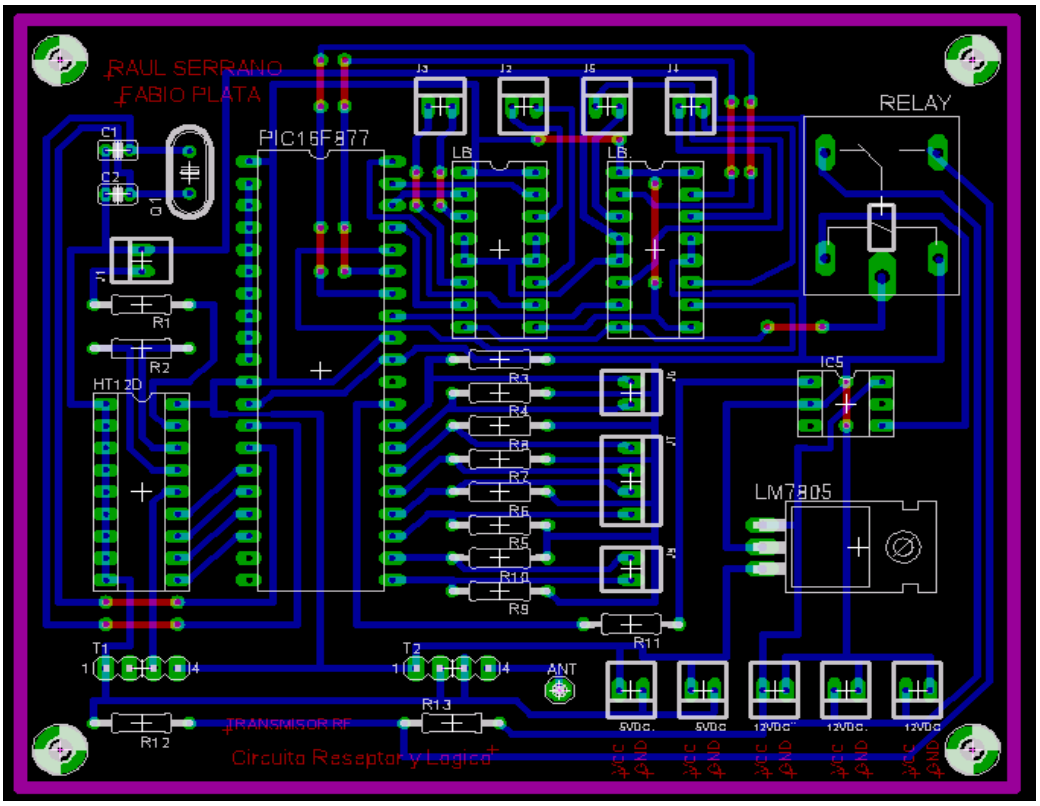
Como se necesita manejar voltajes de 12v y de 5v se utilizo un regulador de voltaje 7805, se necesita activar un relee a 12v y por eso se utiliza un Moc 3020 que protege el microcontrolador de exceso de corriente.

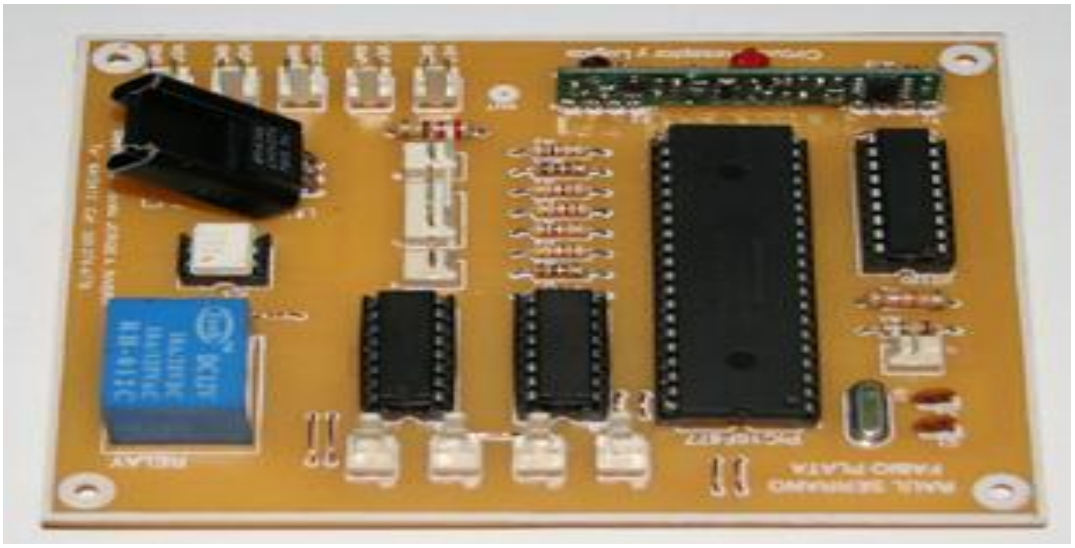
Figura 23 diseño del circuito receptor



Del autor

Figura 24 Tarjeta emisora





Del autor

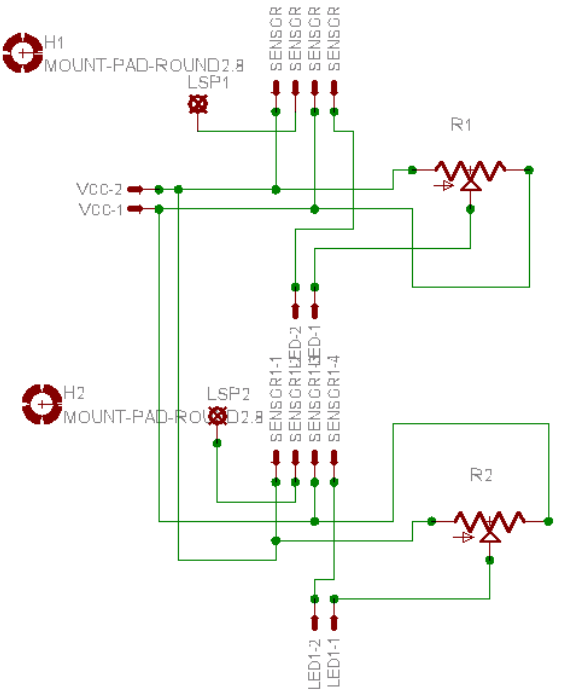
2.7 SENSORES DEL MICROBOT

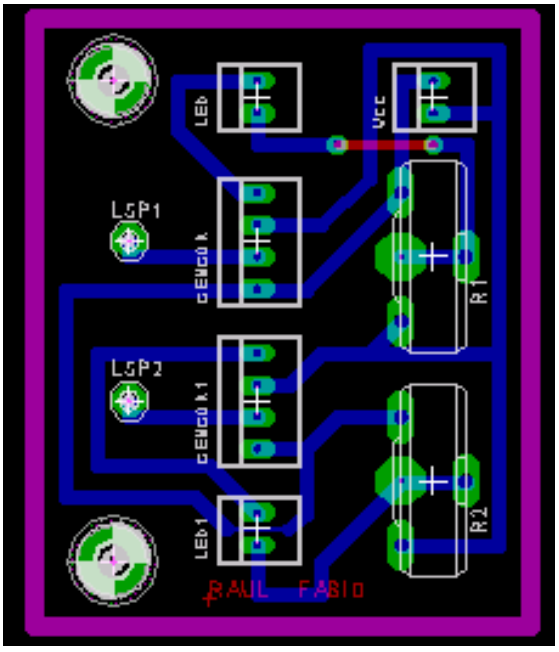
El microbot cuanta con 2 sensores que evitan que este choque o se caiga a un hueco en el cual no pueda Salir por si solo y un sensor automático de luz el cual enciende una pequeña lámpara halógena con el fin de iluminar cuando llega a lugares muy oscuros.

2.7.1 SENSOR DE PROXIMIDAD A OBJETOS Y HUECOS

Para el diseño de estos sensores se utilizo sensores del tipo infrarrojos pues se evito utilizar sensores que pudieran causar alguna interferencia en el manejo de señales vía radiofrecuencia, se utilizo el sensor de proximidad por infrarrojos Sharp IS471F el cual modula la señal del infrarrojo haciéndolo inmune a interferencias por otros dispositivos infrarrojos o la luz del sol, este sensor cuando detecta la señal emitida por led infrarrojo pone en cero su pin de salida indicado la proximidad a un objeto, esta distancia es variable a través de un potenciómetro el cual aumenta o disminuye la potencia del led emisor; Estas señales son enviadas al microcontrolador el cual interrumpe el avance hacia el frente evitando asi choques bruscos o daños al microbot.

Figura 24 Circuito electrónico de los sensores de proximidad



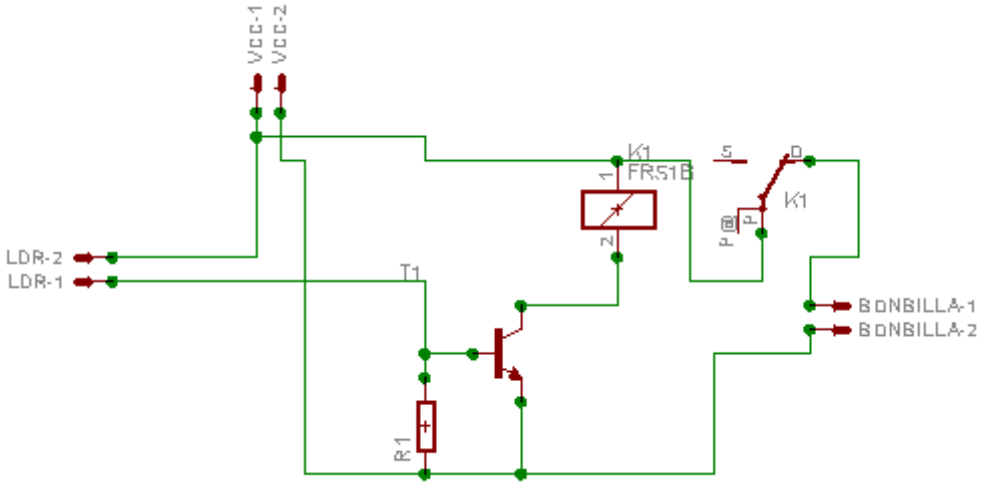


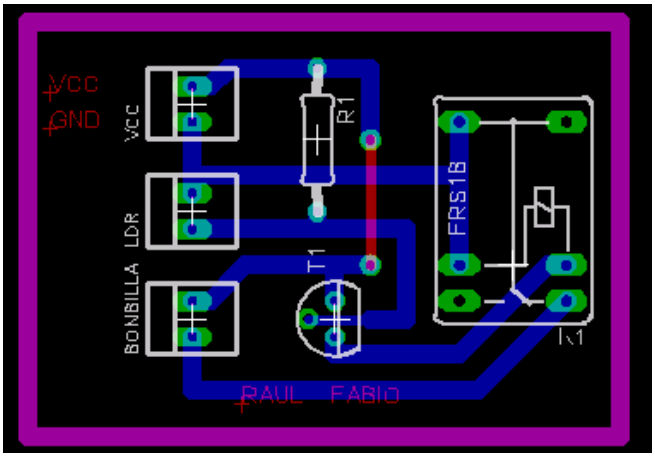
Del Autor

2.7.2 SENSOR AUTOMÁTICO DE LUZ

Para este sensor se utilizo un transistor 2n2222 el cual mediante una foto resistencia activa un reley el cual enciende y apaga la bambilla halógena de 10 W, esta configurado para encender a 2 lux.

Figura 26 Circuito electrónico del sensor de luz





Del Autor

2.8 DISEÑO MECÁNICO DEL MICROBOT

2.8.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE MOVIMIENTO.

Teniendo en cuenta las necesidades mecánicas se realiza la selección utilizando el método de asignar una calificación en cada característica del dispositivo la cual tiene un factor de importancia, se secciona el que tenga mayor puntuación.

Tabla 4 Selección del tipo de movimiento.

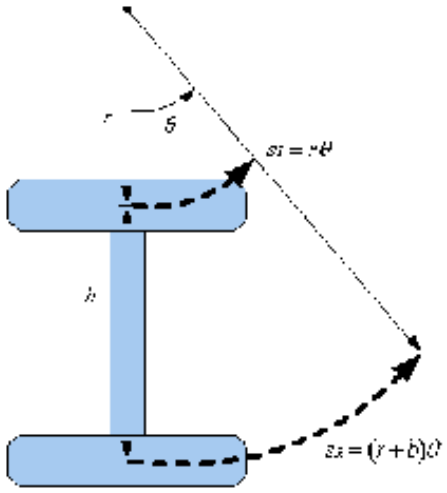
Movimiento		Triciclo	Tracción	Ackerman
Fuerza	(5)	3	5	4
Consumo	(3)	4	3	3
Tamaño	(3)	4	4	4
Precio	(2)	4	4	4
Total		47	54	52

Del autor

Mirando los valores totales de los tres métodos, el método de tracción y el Ackerman están muy cercanos en los valores totales por esta razón optamos por realizar un método híbrido de tracción en las 4 ruedas utilizando un motor en cada rueda y manejando el sistema de giro igual al método de tracción en los dos ejes.

2.8.2 MODELADO DEL SISTEMA[5]

Figura 27 Modelo del microbot.



Quintero Daniel, Introducción a la odontometria

Podemos ver un modelo esquemático de la tracción diferencial mientras esta girando, y cuales son los parámetros que afecta al giro. *b* es la distancia entre ejes y *r* es la distancia del robot al centro de giro. Con estos parámetros básicos, podemos establecer una serie de relaciones:

$$\begin{aligned} S_l &= r\theta \\ S_r &= (r+b)\theta \\ S_c &= (r+a/2)\theta \end{aligned} \quad (3.1)$$

[5] Tomado de http://www.itoosoft.com/motorolos/odontometria/odontometria.html

Donde S_l es la distancia recorrida por la rueda izquierda y S_r es la recorrida por la rueda derecha. También tenemos a S_c que es la distancia recorrida por el eje central del robot, que tomaremos como el punto medio entre los ejes de las ruedas. En todos los casos θ es el ángulo de giro expresado en radianes (360º = 2π radianes).

2.8.3 ANÁLISIS DEL RADIO DE GIRO

Una vez que tenemos descrito en términos matemáticos los parámetros que afectan al giro, pasamos a analizar cual es la trayectoria que seguirá. Esto solo es válido si mantenemos una suposición, la velocidad de las ruedas debe ser constante en todo momento. Si las ruedas varían su velocidad, el robot ya no traza una trayectoria circular, sino puede tomar formas más complejas. Después veremos que es posible introducir datos de aceleración el modelo, aunque por el momento los ignoraremos para mantener el modelo sencillo de analizar.

Tomando como base las ecuaciones 3.1 podemos construir un sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} S_l &= r\theta \\ S_r &= (r+b)\theta \end{aligned} \quad (3.2)$$

En este sistema, tenemos relacionados tanto el avance de las ruedas, como el centro *r* y el ángulo θ que nos describen el giro. Si en este sistema, despejamos

las variables θ y *r*, obtendremos las ecuaciones válidas para calcular el radio de giro a partir únicamente de la información de los enconders:

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{S_l - S_r}{b} \\ r &= \frac{l_r b}{S_l - S_r} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Aunque aun nos falta un poco para poder definir la trayectoria, ya que estas ecuaciones tan solo nos describen el giro respecto al extremo interior del robot y no están definidas según coordenadas cartesianas del plano. Si pueden darnos algunos detalles importantes sobre el comportamiento de la tracción diferencial, que quizás si conocemos de forma intuitiva, pero que no teníamos la demostración matemática. Veamos algunos casos:

2.8.3.1 GIRO SOBRE SI MISMO

$$S_l = -S_r : \begin{cases} \theta = \frac{S_l - S_r}{b} = \frac{2S}{r} \\ r = \frac{l_r b}{S_l - S_r} = -\frac{b}{2} \end{cases} \quad (3.4)$$

En el caso que ambas ruedas avancen lo mismo, pero en sentido contrario, obtenemos distancia de $-\frac{b}{2}$, por lo que el centro de giro esta sobre el centro del eje (recordemos que el centro de coordenadas es la rueda mas cercana al centro de giro). y el ángulo θ, proporcional a la distancia recorrida, es decir, las condiciones en las que el robot gira sobre si mismo pero sin avanzar.

2.8.4 AVANCE RECTO

$$S_l = S_r : \begin{cases} \theta = \frac{S_l - S_r}{b} = 0 \\ r = \frac{l_r b}{S_l - S_r} = \infty \end{cases} \quad (3.5)$$

Si ambas ruedas avanzan la misma distancia, nos sale un ángulo 0, es decir, el robot no gira en ningún momento y curiosamente un radio de giro ∞. Podríamos interpretar la línea recta como el arco de un circulo de radio infinito, o simplemente que no existe centro de giro. En cualquier caso es obvio que hemos avanzado en línea recta una distancia *S*.

Podríamos seguir jugando con estas ecuaciones, y animo al lector a tomar lápiz y papel y ver como realizar giros y cambios de trayectoria. Con esto ya podría ser suficiente para programar algunos comportamientos básicos basados en odometría, aunque vamos a seguir avanzando y ver como podemos calcular una trayectoria a posteriori del movimiento.

2.8.5 ECUACIONES PARA EL ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS.[6]

Con las formulas anteriores, es posible obtener expresiones que nos expresen el cambio de posición de un instante a otro. Aunque es un paso interesante que posiblemente añadiré en futuras versiones de este documento, tienden a salir expresiones difíciles de manejar únicamente con números enteros. En la literatura

[6] Tomado de http://www.itoosoft.com/motorolos/odontometria/odontometria.html

sobre este tema he encontrado que los diseñadores suelen usar una simplificación más sencilla y fácilmente computable con números enteros. Concretamente en el libro “Where am I?”, encontramos las siguientes formulas:

En primer lugar, calculamos un factor c_m que nos convierte pulsos del encoder en un desplazamiento de la rueda:

$$c_m = \frac{\pi D_n}{n C_n} \quad (3.6)$$

Donde D_n es el radio de las ruedas (en mm), C_n la resolución del enconder en pulsos por vuelta y n la relación de la reductora del motor a la rueda, si tenemos el enconder acoplado al eje del motor, si el enconder se encuentra directamente sobre la rueda, tomamos $n = 1$.

Con este factor, si de un instante i- 1 a otro i conocemos los incrementos en pasos de un enconder, podemos calcular el incremento de la distancia viajada por esa rueda como:

$$\Delta S_{l/r,i} = c_m N_{l/r,i} \quad (3.7)$$

Una vez que conocemos las distancias que han recorrido cada una de las ruedas, podemos aplicar las formulas siguientes:

$$\begin{aligned} \Delta U_i &= \frac{\Delta S_r + \Delta S_l}{2} \\ \Delta \theta_i &= \frac{\Delta S_r - \Delta S_l}{b} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Estos valores *U* y θ forman un vector en coordenadas polares, que nos indican tanto el desplazamiento como la rotación del robot de un instante a otro. De tal forma que podemos calcular la nueva orientación como:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta\theta_i \quad (3.9)$$

Y las coordenadas del robot respecto al centro del eje de las ruedas como:

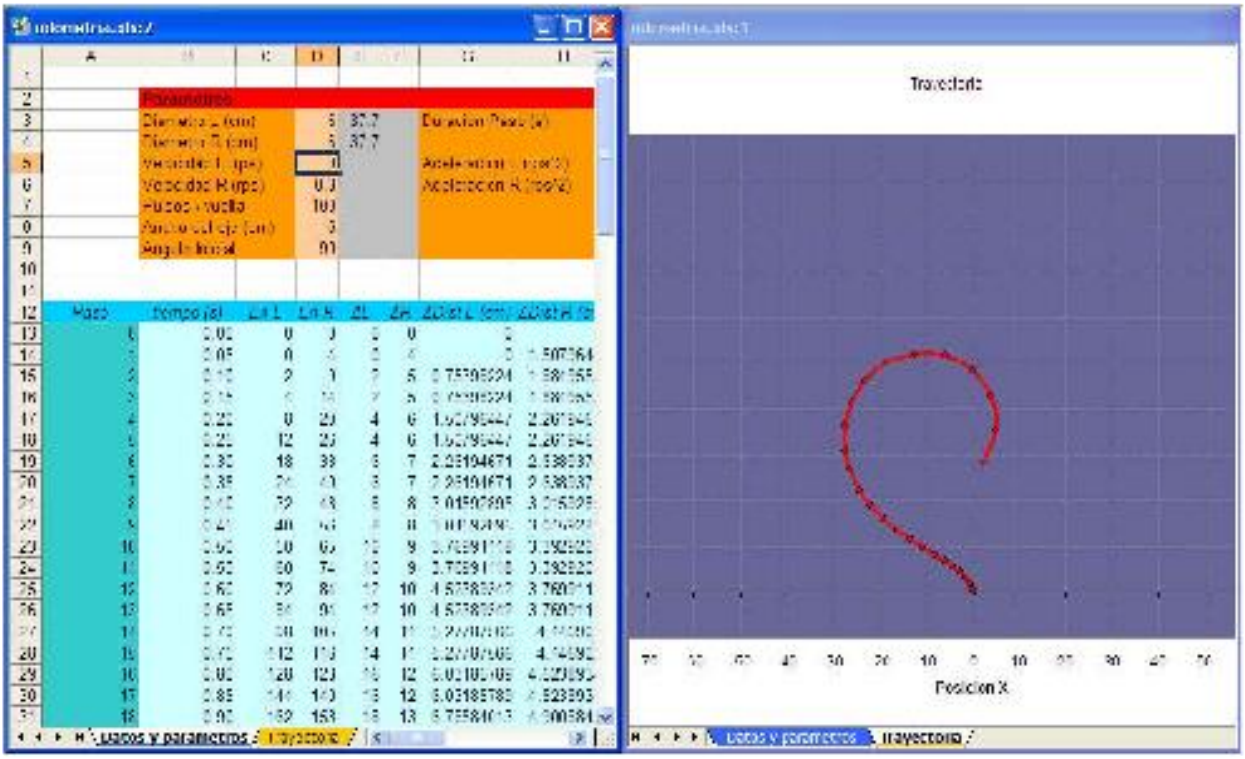
$$\begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + \Delta U_i \cos\theta_i \\ y_i &= y_{i-1} + \Delta U_i \operatorname{sen}\theta_i \end{aligned} \quad (3.10)$$

Siendo x_i y y_i la posición del robot en el plano, dado un instante *i*.

2.8.6 SIMULACIÓN

Con estas formulas, es relativamente sencillo mantener a bordo del robot, un registro aproximado de la trayectoria que sigue. Para familiarizarme con ellas antes de implementarlas en un robot real, hemos empleado una hoja de cálculo donde se utilizan las mismas para calcular la trayectoria de un robot sobre el plano, en función de la velocidad inicial y la aceleración aplicada a las ruedas.

Figura 28 Simulación De La Trayectoria Realizada En Exel



http://www.itoosoft.com/motorolos/odontometria/odontometria.xls

En base a esta simulación pudimos corroborar que utilizando la tracción diferencial aplicándola a las 4 ruedas logramos la estabilidad necesaria para el funcionamiento de microbot, además de tener la fuerza necesaria para lograr un avance adecuado para el trabajo de inspección visual.

2.9 SELECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS DC

Para la selección de los motores tomamos en cuenta principalmente el consumo de corriente, el tamaño y el torque capas de generar; mediante el proceso de selección por ponderación tenemos:

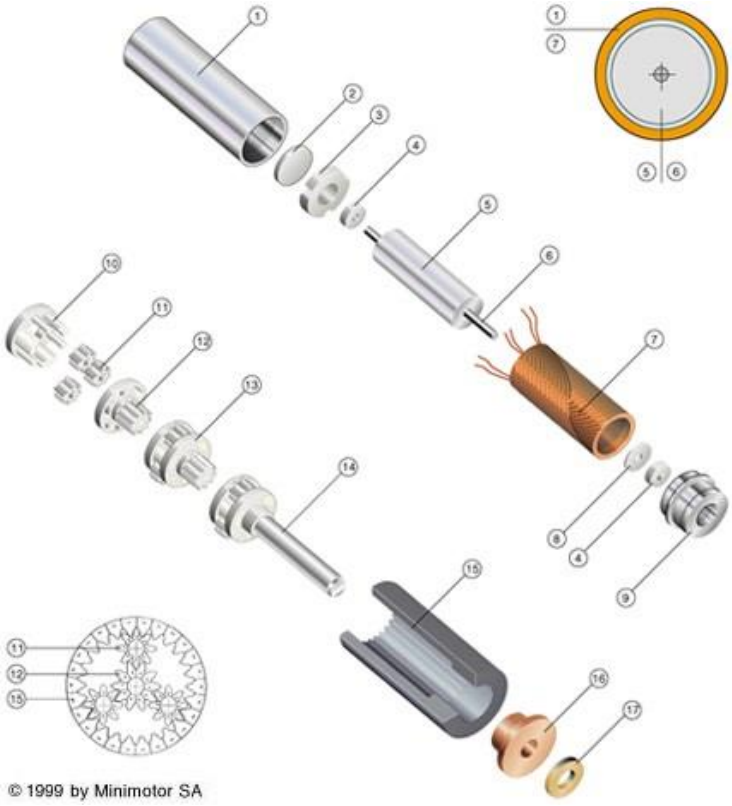
Tabla 5 Selección de motores eléctricos DC

Motores		Minimotor 1624	Minimotor 1612	Motor 12v con relación
Torque	(5)	5	5	2
Tamaño	(4)	4	2	5
Consumo	(4)	4	3	4
Precio	(3)	3	3	2
Total		66	54	52

Del autor

Tenemos mediante esta selección el minimotor 1624 de la empresa Faulhaber pos su bajo consumo, tamaño y gran torque en relación con su tamaño, ideal para nuestra aplicación.

Figura 29 Minimotor reductor.



Minimotor SA.

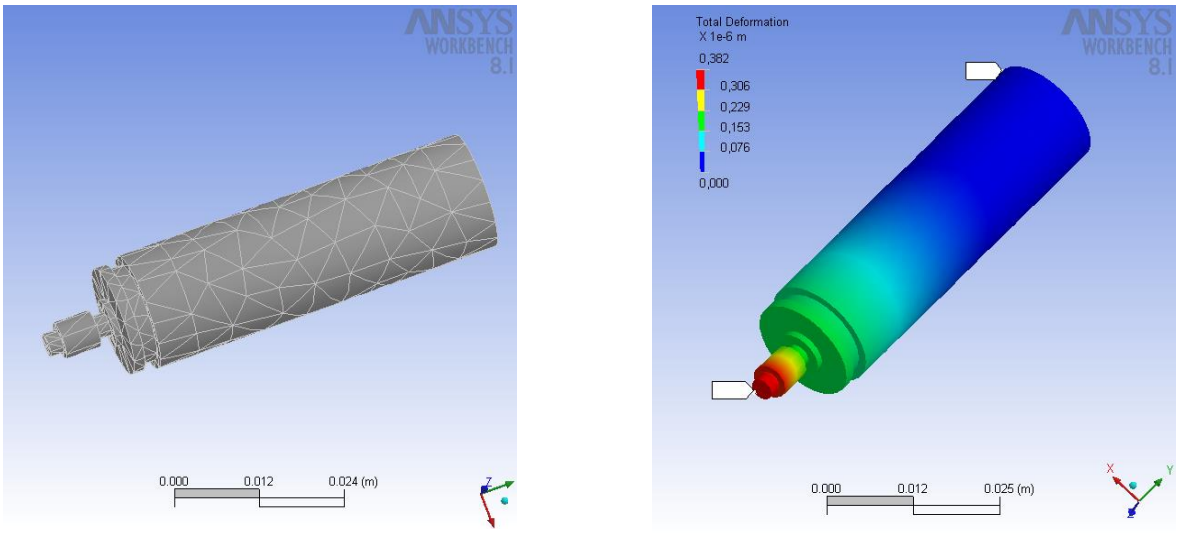
2.9.1 PRUEBAS AL MINIMOTOR

Se realizaron pruebas mecánicas y de desempeño; para evaluar el desempeño de los minimototes se encendió solo un motor siendo capas de mover todo el microbot, esto se realizo durante 10 minutos en cada motor, posteriormente se tomo la temperatura para evaluar si existía calentamiento y revisar el consumo de corriente.

Para evaluar el desempeño mecánico del minimotor después de la prueba anterior la cual fue sobrepasando en un 20% el peso final estimado del minimotor no se observo deformación en los ejes de los minimotores.

Para determinar la fuerza máxima soportada sin que haya deformación en los ejes del motor se empleo el software Ansys Workbench 8.1 el cual realiza una simulación por elementos finitos que permite simular cargas y esfuerzos en estructuras modeladas en CAD.

Figura 30 Enmallado y deformación en el eje del motor

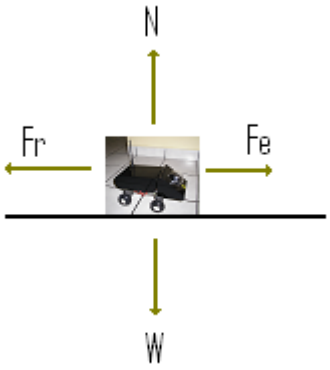


Del autor

Mediante la simulación se determinamos que no se podía superar un peso total de 2 kg. Para evitar deformación en los ejes de los motores sin utilizar algún tipo de refuerzos.

2.10 ANÁLISIS FÍSICO DE FUERZAS Y ENERGÍA

2.10.1. ANÁLISIS EN PLANO HORIZONTAL



$W = 3Kgf$ $\mu = 0.9$

V=12 v $\omega = 85rpm$

$r = 0.0375m$

$$\sum Fx = m \times a$$

Para hallar la fuerza de empuje necesaria para que el microbot adquiera un movimiento de avance se realiza el calculo tomando el cuerpo en reposo y con un coeficiente de fracción (μ) estático que hay entre el cemento y el caucho, ya que el microbot esta estático su aceleración en cero.

Entonces siendo la aceleración cero tenemos que la $\sum Fx = 0$, de esto se deduce que $Fr = Fe$.

De igual manera en el eje Y se tiene que $N = W$.

Según lo anterior y conociendo que $Fr = \mu \times N$ se tiene que $Fr = 0.9 \times 3Kgf$, luego $Fr = 2.7N$.

Teniendo la el valor de la Fr y según la deducción anterior tenemos que $Fe > 2.7N$ para lograr el avance del microbot.

Esta fuerza Fe se distribuye entre los 4 motores del microbot así la fuerza de empuje en cada motor será $Fe/4$, entonces $Fem = 0.675N$.

Luego de calcular la Fem y sabiendo que el par resistente es igual a $T = Fem \times r$ tenemos que $T = 0.675N \times 0.0375m$, $T = 0.025Nm$.

Conociendo el par resistente que realiza cada motor se puede calcular la potencia mecánica *(* Pm *)* que tiene en el momento del arranque.

La potencia mecánica (Pm) de un motor que gira con velocidad angular ω y cuyo accionamiento tiene un par resistente T vale:

$$Pm = T \times \omega$$

Si el motor gira a 85 *rpm* y tiene un par resistente de 0.025 *Nm,* entonces:

$$Pm = 1.02695 \times 0.025 Nm \times 85 rpm, \quad Pm = 2.18 .$$

Por último para hallar la potencia eléctrica (Pe) y la corriente (i) que consume el motor para generar la potencia Pm tenemos que:

$$Pm = Pe - Pp$$

Si asumimos que la potencia perdida (Pp) es cero y sabiendo que $Pe = i \times v$, así:

$$i = \frac{Pm}{v} \rightarrow i = \frac{2.18}{12} = 0.181A$$

Se llega a la conclusión que es necesario suministrar una corriente superior de 181 mA en cada uno de los 4 motores para lograr el avance del microbot; luego la corriente total necesaria seria de $i = 726mA$ para lograr el avance del microbot.

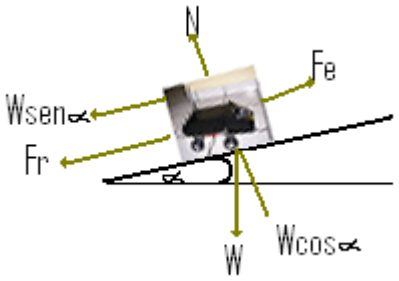
Teniendo esto se procedió a realizar una medición con un multimetro obteniendo como resultado un consumo de 810mA.

Luego el porcentaje de error $(\%er)$ seria:

$$\%er = \frac{810 - 726}{810} \times 100 = 10.37\%$$

Este error se debe a las perdidas en la potencia eléctrica debido a las bobinas de los motores.

2.10.2. ANÁLISIS EN PLANO INCLINADO



$W = 3Kgf$ $\alpha = 15°$

$V = 12v$ $\mu = 0.9$

$r = 0.0375m$ $\omega = 85rpm$

$$\sum Fx = m \times a$$

En este caso observamos que en la $\sum Fx$ se incluye una nueva fuerza que se opone a la Fe, en este caso la aceleración en cero pues se mantiene una velocidad constante, se tiene que:

$$\sum Fx = Wsen\alpha + Fr - Fe = 0$$

En este caso la $N = W\cos\alpha \Rightarrow N = 2.98N$, luego la $Fr = \mu \times N \Rightarrow Fr = 2.6N$.

Entonces tenemos que:

$$Wsen\alpha + Fr = Fe \Rightarrow 3 \times sen15 + 2.6 = Fe \Rightarrow Fe > 2.86N$$

Se observa que al aumentar la el ángulo de inclinación de cero en el plano horizontal a 15° se aumenta la Fe de 2.7N a 2.86*N*. $\Rightarrow Fem = 0.715N$

De la misma forma que para el plano horizontal hallamos el par resistente:

$$T = 0.715N \times 0.0375m \Rightarrow T = 0.0268Nm$$

De la misma forma que en el plano horizontal se tiene:

$$Pm = 1.02695 \times 0.0268 * 85 = 2.33$$

$$i = \frac{Pm}{v} \Rightarrow \frac{2.33}{12} = 195mA$$

Luego la corriente necesaria para que el microbot avance en un plano inclinado de 15° es de $i = (4 \times 195) = 780mA$, de la lectura experimental se obtiene el siguiente porcentaje de error:

$$\%er = \frac{900 - 780}{900} \times 100 = 13.33\%$$

Se deduce que al aumentar el grado de inclinación del plano también aumenta la corriente necesaria para realizar el avance del microbot.

2.10.3. LIMITACIONES DE AVANCE DEL MICROBOT.

Conociendo de antemano que el máximo consumo de corriente i no puede superar los 500mA por motor, así se determinara el grado máximo de inclinación del plano, entonces se tiene que:

$$500mA = \frac{Pm}{12v} \Rightarrow Pm = 0.500A \times 12 = 6$$

$$Pm = 1.02695 \times T * rpm \Rightarrow T = \frac{Pm}{1.02695 * rpm} \Rightarrow T = \frac{6}{1.02695 \times 85} = 0.0687\, Nm$$

$$T = Fe \times r \Rightarrow Fe = \frac{T}{r} \Rightarrow Fe = \frac{0.0687}{0.0375} = 1.833 N$$

Esta Fe hallada es la de cada motor luego la Fe total será $Fe \times 4 = 7.33 N$

Conociendo la Fe necesaria hallamos el ángulo máximo así:

$$Fe = Fr + wsen\alpha \Rightarrow Fe = \mu \times \omega \cos\alpha + \omega sen\alpha$$

$$7.33 = 2.7 \cos\alpha + 3sen\alpha$$

$$\frac{2.7 \cos\alpha}{7.33} = -\frac{3sen\alpha}{7.33}$$

$$0.368 \cos\alpha = -0.41 sen\alpha$$

$$\frac{0.368}{0.41} = -\tan\alpha$$

$$\alpha = \tan^{-1} 0.897 \Rightarrow \alpha = 42°$$

De esta forma tenemos que el microbot no podrá avanzar si se encuentra con un plano inclinado cuyo grado de inclinación en superior a 42°.

Como datos adicionales se relacionan los coeficientes de fricción del caucho sobre otras superficies:

TABLA 6. COEFICIENTES DE FRICCIÓN DEL CAUCHO

Caucho sobre terreno firme	0.4 – 0.6
Caucho sobre concreto seco	0.9 -1.0
Caucho sobre concreto húmedo	0.6-0.8
Caucho sobre asfalto	0.8 – 1.0

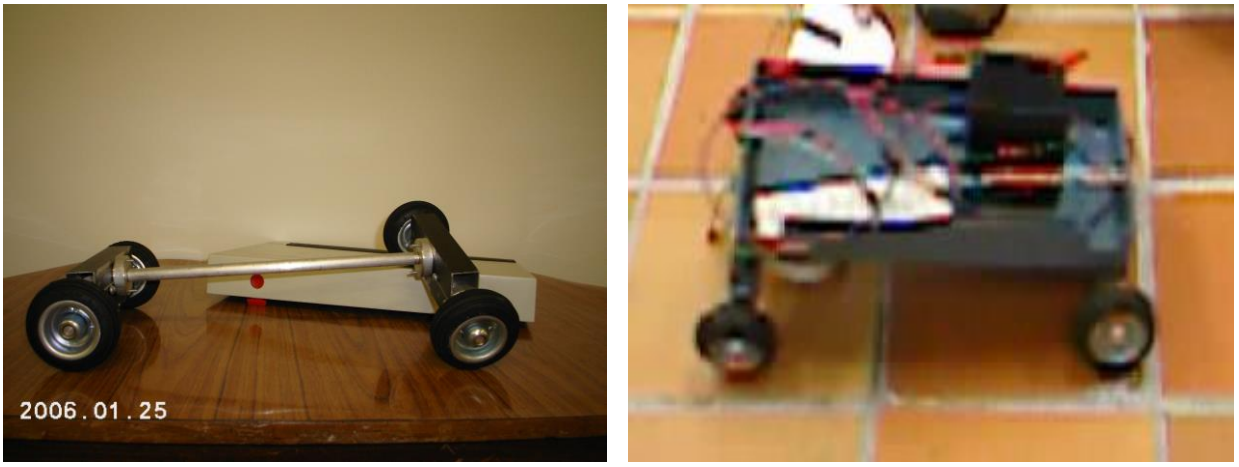
2.11. DISEÑO FINAL

Al principio el diseño se realizo con el fin de probar el tipo de suspensión, si cumplía con la superación de obstáculos pequeños, no se tuvieron en cuenta factores como los tamaños, limitaciones cinemáticas y peso de los componentes.

Este diseño consto de un rectángulo hueco en aluminio para soportar los minimotores los cuales estaban anclados en camisas acopladas a estos rectángulos, tenia problemas en cuanto a la fijación de estas camisas; las llantas fueron las utilizadas en coches de supermercados pero sobrepasaban el peso deseado (3 Kg.).

Un eje en aluminio de 25 centímetros acoplado a los dos rectángulos de aluminio por unos rodamientos que le permitían a cada rectángulo moverse libre e independientemente uno del otro.

Figura 31 Primer prototipo de la estructura del microbot.



Del Autor

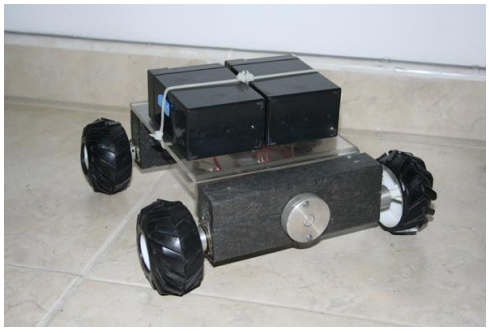
Se opto por sustituir los rectángulos de aluminio por rectángulos macizos de madera plástica por lo que realizando perforaciones exactas se pudo mantener los minimotores alineados y fijos.

Las llantas del primer diseño se descartaron por su gran peso y se sustituyeron por ruedas plásticas con recubrimiento en caucho labrado para mejor adherencia al suelo, se reforzaron los rings con macilla reconstructiva Sika. El eje se recorto de 25 a 15 centímetros por limitaciones cinemáticas ya que así se permite que el microbot gire en su propio eje.

Figura 32 Prototipo final de la estructura del microbot.

Del autor

Figura 33 Chasis y despiece de los elementos principales del microbot.



Del autor

2.12 SELECCIÓN DE LA CÁMARA INALÁMBRICA

Para la selección de la cámara inalámbrica se realizo el mismo método de selección de los anteriores componentes.

Tabla 7 Selección del Cámara inalámbrica.

Cámara		Mini Espía	VC 10245	Cámara Web
Tamaño	(4)	5	3	4
Alcance	(5)	3	5	1
Precio	(4)	4	2	5
Fácil Adquisición	(3)	4	2	5
Totales		63	53	56

Del autor

Mediante la tabla anterior nos damos cuenta que mejor se adapta a nuestra necesidades es la Mini Espía la cual cuenta con las siguientes características:

2.12.1 ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA

Potencia RF: 200mW
Voltaje Operativo: DC-8V
Consumo de Energía: 300mA
Tamaño: 2 x 2 x 2 cm
Antena: Omni-direccional
Rango Máximo: Hasta 100mts Lineales.

Pixels: 250K (NTSC)

Resolución: 380 líneas Horizontales

Exposición: Automática

2.12.2. ESPECIFICACIONES DEL RECEPTOR

Frecuencia de Transmisión: 1.2GHz

Video input/output: 1Vp-p/75 ohm

Voltaje Operativo: DC-12V

Consumo de Energía: 300mA

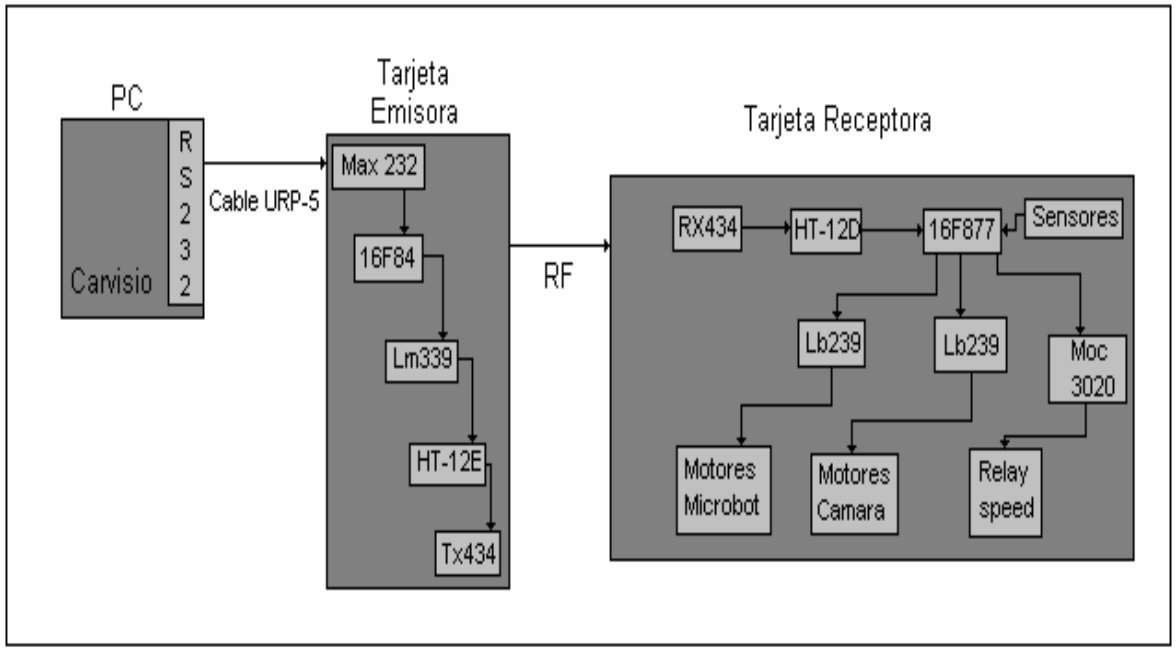
Tamaño: 14 x 7.6 x 2.5 cm

www.deremate.com.co/articulo16548/23265/1544.html

2.13 DISEÑOS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.

Se necesita diseñar y construir circuitos electrónicos que permitan realizar el control remoto del microbot desde el PC mediante el software mencionado anteriormente, el diseño debe constar de 2 tarjetas principales una de emisión y otra de recepción de datos vía RF, además de contar con los dispositivos necesarios para la adecuación de las señales interpretación y ejecución de las ordenes dadas desde el software.

Figura 34 Diagrama de circuitos eléctricos



Del autor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este proyecto desarrollado pensando en la integración de las diferentes ramas de la meca trónica (Sistemas, Mecánica y Electrónica); se desarrollo un programa computacional mediante el cual se controla el microbot, se diseñaron sistemas de suspensión, análisis de fuerzas y esfuerzos, en la rama de la electrónica se implemento el manejo de microcontroladores y comunicación inalámbrica.

En el desarrollo de este proyecto se logro integrar y conjugar valiosos conocimientos obtenidos durante la carrera, además se obtuvo un aporte en las áreas de programación de microcontroladores y comunicaciones inalámbricas.

- Se revisaron los análisis y la relación entre la potencia mecánica y la potencia eléctrica de motores DC.

- Se logro incursionar en la comunicación inalámbrica y en manejo de microbots mediante un PC.

- Se realizaron investigaciones en el desarrollo de programas que permitieran la interfaz entre el usuario y el microbot.

- Se logro demostrar la funciónabilidad y practicidad del Basic Compiler como herramienta de programación para la gama de microcontroladores PIC.

- Se realizo un programa computacional en Neobook 5.0.1 que permitió la adquisición de video y el envió de datos vía RS232.

- Se utilizaron métodos de evaluación de proyectos para la selección de componentes.

- Se implementaron nuevas tecnologías a lo acostumbrado en la facultad, investigando e implementando el uso de integrados que facilitan la modulación y demodulación de señales.

- Se deja abierta la posibilidad de implementar mas funciones, ya que la comunicación permite utilizar el envío de un dato de 256 bits mediante la configuración de los HT12E y HT12D.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. OLLERO BATURONE, Aníbal. Robótica: manipuladores y robots móviles. Barcelona. Marcombo. 2001. 447 p.: il. 84-267-1313-0.

[2]. BARRIENTOS, Antonio. Fundamentos de robótica. Universidad Politécnica de Madrid. McGraw Hill. 1997, Madrid 1997 .336 p. 84-481-0815-9.

[3]. EVERETT, Sensors for Mobile Robots. Theory and application. Naval Command, Control and Ocean Surveilance center San Diego, California. A K Peters, Ltd. 1995. 527 p.: il 1-56881-048-2

[4]. GIAMARCHI, Frédéric. Robots móviles. Madrid. Paraninfo. 2001. 141 p.: il. 8428327769.

[5]. TOCCI, Ronald J. Sistemas digitales: principios y aplicaciones. 8 ed. México. Pearson Educación. 2003. xxvi, 884 p.: il. 970-26-0297-1.

[6]. HAYKIN, Simon. Communications Systems. New York. John Wiley & Sons. 1994. 357 p.: il. 0471571768

[7]. Mischa Scheartz. Information, Transmition, Modulation & Noise. London. 4th Edition. Ed. Mc. Graw Hill

Web Sities:

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas “Icontec”, http://www.icontec.org.com
- www.x-robotics.com
- www.sigmaelectronica.com.co
- www.alldatasheet.com
- www.itoosoft.com/motorolos/odontometria.html
- www.itoosoft.com/motorolos/odontometria.pdf
- http://www.oshonsoft.com/picexamples.html

ANEXOS

ANEXO A

PRUEBAS A LOS CIRCUITOS ELECTRONICOS.

En la elaboración de los circuitos electrónicos se realizaron las siguientes pruebas con el fin de determinar la confiabilidad de la señal que llegaba al microbot.

Prueba de alcance

Se realizaron dos pruebas de alcance, la primera en lugares abiertos obteniendo una perfecta señal a una distancia de 90 mts. se emitió una señal periódica de 2Khz obtenida mediante un 555 configurado en modo de oscilador, y se programo un Pic con el fin de indicar mediante un led cuando recibía esta señal, así a medida que el emisor se alejaba del receptor, el receptor emitía una luz cuando la señal captada era de 2 khz, después de 90 mts la señal tendía a perderse. De esto se concluyo que la distancia indicada era de 90 mts en campo abierto.

La segunda prueba se realizo en un edificio de 7 pisos, ubicamos el emisor en el 2 piso y el receptor se ubico en el piso 7 l cual es un taller de metalmecánica para probar también el grado de afectación de los ruidos en la señal.

De esta prueba concluimos que una pared de soporte de 18 cm equivale a 15 mts en la señal de campo abierto así la distancia en lugares cerrados depende de cuantas paredes tenga que atravesar la señal.

En conclusión estos módulos de emisión y recepción de datos tienen un alance de 90 mts en lugares abiertos y 40 en lugares cerrados (tomado de edificios promedio).

ANEXO B

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL ACRILICO

Resistencia a la intemperie

Los acrílicos pueden estar expuestos a la intemperie por largos períodos de tiempo y no demuestran cambios significativos en color o propiedades físicas.

Ópticas

La transmisión de luz visible es del 92%, siendo igual a la del vidrio óptico.

Resistencia al Impacto

Para uso general una resistencia de 0.2 a 0.5 Libra-pie/pulgada, aproximadamente 6 veces mayor a la del vidrio.

Resistencia a Químicos

Es resistente al agua, álcalis, ácidos diluidos, ésteres simples, hidrocarburos alifáticos, pero no se recomienda para disolventes orgánicos, acetonas, hidrocarburos clorados y aromáticos.

Aislamiento Eléctrico

Tiene buenas propiedades aislantes y resistencia al paso de corriente.

Propiedades Térmicas

La temperatura de deflección varía de 72 a 100 grados centígrados con una temperatura de servicio típica de 80 grados centígrados, es 20% mejor aislante que el vidrio.

Ligereza

Peso específico de 1.19 gr/cm cúbico, es 50% más ligero que el vidrio, 43% más ligero que el aluminio.

Dureza

Similar a la de los metales no ferrosos como el cobre y el latón. Dureza Barcol 50 unidades.

Flamabilidad

Es combustible, pero a la velocidad de 1.2 cm./min. se puede formular con retardancia a la flama.

ANEXO C

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PC

- Sistema operativo Windows 95/98/me/Xp
- Procesador 1200Mhz (Recomendable 2200 Mhz)
- Memoria RAM 256 (Recomendable 512)
- Capturadora de video
- Puerto serial RS232
- Mouse u otro dispositivo de apunte
- Teclado genérico
- Multimedia
- Espacio en disco rígido de 20 megas

ANEXO D

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL MICORBOT

Dimensiones:

- Alto = 30.4 cm
- Ancho = 15.8 cm
- Largo = 33 cm
- Peso = 3 kg.

Rengo de giro del microbot:

El microbot tiene la facilidad de girar sobre su propio eje y puede girar 360 grados en ambas direcciones.

Velocidad:

Velocidad máxima = $\frac{1}{3}\left(\frac{m}{s}\right)$

Velocidad mínima = $\frac{1}{6}\left(\frac{m}{s}\right)$

Alcance:

Alcance máximo en lugares completamente abiertos = 60 m.

Alcance máximo en lugares cerrados (2 paredes o mas) = 20m.

Rango de giro de la cámara:

La cámara puede girar 60° verticalmente y 180° horizontalmente.

Consumo de energía:

En stand bye el microbot consume 200 mA y cuando avanza un promedio de 800 mA, esto depende del grado de inclinación del plano y la fricción que hay con el suelo detallada en el desarrollo de este libro.

Voltaje de alimentación del microbot

El microbot esta alimentado con 2 baterías de 6 v / 4A, estan configuradas en serie para lograr 12V / 4A , un regulador a 5v distribuye voltaje a los integrados y motores que mueven la cámara de video.

Voltaje de alimentación de la cámara

La cámara esta alimentada mediante una batería alcalina cuadrada de 9v, la cual provee energía a la cámara por 50 minutos.

Duración de las baterías:

Las baterías usadas en el microbot, proveen 700mA/h, esto implica que en promedio las baterías duraran 5 horas.