

DISEÑO DE UN ROBOT ORUGA TELEOPERADO PARA EXPLORACIÓN
VISUAL Y TOMA DE MUESTRAS AMBIENTALES CON SENSORES EN
LUGARES DE DIFÍCIL ACCESO.

DIEGO FERNANDO CHARFUELÁN BURBANO
CARLOS HERNEL ERASO SOLARTE

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2009

DISEÑO DE UN ROBOT ORUGA TELEOPERADO PARA EXPLORACIÓN
VISUAL Y TOMA DE MUESTRAS AMBIENTALES CON SENSORES EN
LUGARES DE DIFÍCIL ACCESO.

DIEGO FERNANDO CHARFUELÁN BURBANO
CARLOS HERNEL ERASO SOLARTE

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Ingeniero Electrónico

Director de Proyectos:
Mg. Darío Fernando Fajardo Fajardo
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2009

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1º. Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Abril de 2009

Este trabajo esta dedicado a Dios y a nuestros padres.
Y a todas las personas que amamos
Quienes han sido nuestra inspiración.

Los autores.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la entera colaboración del Ingeniero Darío Fernando Fajardo quien dedico su tiempo y financio parcialmente el costo del proyecto, contribuyendo significativamente al desarrollo de este.

Agradecemos a nuestros padres de familia por la colaboración moral y económica que nos brindaron.

Los autores.

RESUMEN

La seguridad de la vida e integridad de las personas es una premisa de la ingeniería. Este trabajo se diseñó como una solución a la adquisición de datos en lugares donde una persona no puede ingresar y sin embargo es importante acceder a ese sitio de alguna manera para adquirir la información necesaria acerca del lugar.

Un robot oruga teleoperado es un medio para ingresar a sitios de difícil acceso con bastante versatilidad y obtener de allí muestras ambientales, como temperatura, presión, sonido e imágenes.

El dispositivo robótico se compone de dos partes, la primera es una estación base o maestra, que mediante una interfaz USB y otra interfaz de TV se conecta a un ordenador personal para controlar la segunda parte: la estación remota o esclava, que es el robot oruga teleoperado, que consta de un mecanismo de oruga para su desplazamiento y de sensores de temperatura y de presión, para la obtención de muestras del sitio que se desea explorar, además, también cuenta con una cámara y un micrófono para obtener imágenes y audio del sitio y facilitar el control del desplazamiento y la adquisición de datos.

Las dos partes, maestra y esclava, se comunican a través de un enlace RF en banda abierta de 2.4GHz y se controlan a través de microcontroladores de 8 bits, mientras un DSP de 16 bits se encarga de la digitalización de las muestras ambientales recolectadas.

Palabras clave: robot oruga teleoperado, muestras ambientales, temperatura, presión, estación maestra, estación esclava, cámara, enlace RF, microcontroladores, DSP, sensores.

ABSTRACT

The safety of the life and the integrity of the people is a fundamental presumption of the engineering. This work was designed like a solution to the acquisition of data in places where a person can not go into and however is important to accede to this place in order to acquire the required information about this place.

A caterpillar teleoperated robot is a way for going places of hard access with enough versatility and to obtain from there environmental samples, like temperature, pressure, sound and images.

The robotic device is compound by two parts, the first is a base or master station, that through an USB interface and another TV interface is connected with a personal computer to control the second part: the slave or remote station, that is the caterpillar teleoperated robot, it is formed by a caterpillar mechanism for its displacement and sensors of temperature and pressure to obtain the samples of the desired place to explore, besides, also it is integrated with a camera and a microphone to obtain pictures and sound of the place and to facilitate the control of displacement and the acquisition of data.

The two parts, master and slave, are communicated through a RF link in open band of 2.4GHz and they are controlled through microcontrollers of 8 bits, while a DSP of 16 bits take over of the digitalization of the environmental samples captured.

Keywords: Caterpillar teleoperated robot, environmental samples, temperature, pressure, master station, slave station, camera, RF link, microcontrollers, DSP, sensors.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	24
1. MARCO CONCEPTUAL	25
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	25
1.2 TELEOPERACIÓN	26
1.2.1 Sistemas de teleoperación	27
1.2.2 Aplicaciones de teleoperación	29
1.3 MORFOLOGÍA DEL ROBOT	30
1.3.1 El robot	30
1.3.2 Transmisiones y reductores	32
1.3.3 Actuadores	35
1.3.4 Sensores	35
1.3.5 Elementos terminales	40
1.4 MODELADO DEL ROBOT	41
1.4.1 Herramientas matemáticas para la localización espacial	41
1.4.2 Cinemática del robot	42
1.4.3 Dinámica del robot	42
1.4.4 Control cinemático y dinámico	42
1.5 PROGRAMACIÓN DE ROBOTS	42
1.6 ROBOT ORUGA	43

1.7 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA (DC)	44
1.7.1 Rotor	45
1.7.2 Estator	46
1.8 EL SERVOMOTOR	47
1.8.1 Control de un servomotor	48
1.9 TRANSISTOR	49
1.9.1 Tipos de transistor	50
1.10 PUENTE H	51
1.11 TRANSMISIÓN INALÁMBRICA	52
1.11.1 Propagación de ondas de radio	53
1.12 ANTENAS	57
1.12.1 Parámetros generales de una antena	57
1.12.2 Tipos de antenas	58
1.13 TRANSMISIÓN DE DATOS	58
1.13.1 Circuito de transmisión de datos	58
1.13.2 Unidades de medida de la transmisión de datos	59
1.13.3 Principios de comunicación digital	61
1.13.4 Dúplex y semidúplex	61
1.13.5 Sincronización de la comunicación	61
1.13.6 Control de redundancia cíclica CRC	64
1.14 MODULACIÓN	64
1.14.1 Modulación por desplazamiento de frecuencia Gausiana GFSK	66

1.15 TRANSCEIVER	67
1.16 USB	67
1.16.1 Organización del USB	68
1.16.2 Diagrama de capas del USB	70
1.16.3 Cables	71
1.17 RS232	71
1.18 JOYSTICK	72
1.19 EXPLORACIÓN DE UNA IMAGEN	73
1.19.1 Procesamiento de imágenes	73
1.19.2 Procesamiento digital	74
1.20 DESARROLLO DE SOFTWARE	74
1.20.1 Herramientas para el desarrollo de software	75
1.20.2 Visual Basic	75
1.20.3 Lenguaje C	77
1.20.4 MATLAB	79
1.21 SENSORES	79
1.21.1 Características de un sensor	80
1.22 PRESIÓN ATMOSFÉRICA	81
1.22.1 Principio de Pascal	82
1.22.2 El Pascal	82
1.23 TEMPERATURA	83
1.23.1 Escalas de medida	83

1.23.2 Sensación térmica	84
1.24 MICROCONTROLADORES	84
1.24.1 Microcontroladores PIC de Microchip	85
1.24.2 Microcontroladores PICs de 8 bits	86
1.24.3 DSPs	86
1.24.4 Procesamiento digital de señales	87
1.24.5 dsPICs	87
1.25 TELEVISIÓN	89
1.26 CÁMARA DE VIDEO	89
1.26.1 Tipos básicos de cámaras	89
1.26.2 Partes de un sistema de cámara	89
2. DESARROLLO	90
2.1 SISTEMA TELEOPERADO	90
2.1.1 Objetivos del sistema de control de teleoperación	90
2.1.2 Elementos del sistema de teleoperación	90
2.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	91
2.2.1 Transceivers	91
2.2.2 Transceiver TRF-2.4G	92
2.3 COMUNICACIÓN ENTRE MICROCONTROLADORES	99
2.4 SINCRONIZACIÓN ESTACIÓN MAESTRA Y ESCLAVA	99
2.5 ESTACIÓN MAESTRA	100
2.5.1 Tarjeta base RF	100

2.5.2 Receptor de cámara de video	105
2.5.3 Software de aplicación	107
2.5.4 Tratamiento de imágenes	111
2.6 ESTACIÓN ESCLAVA	112
2.6.1 Estructura mecánica	112
2.6.2 Control electrónico	116
2.6.3 Software del robot	132
3. RESULTADOS	137
3.1 DISEÑO MECÁNICO	137
3.2 DISEÑO ELECTRÓNICO	140
3.3 COBERTURA	141
3.4 DESPLAZAMIENTO DEL ROBOT	141
3.5 LECTURA DE LOS SENSORES	141
3.5.1 Temperatura	141
3.5.2 Presión	142
3.5.3 Distancia	142
3.6 IMÁGENES CAPTURADAS CON LA CAMARA DE VIDEO	143
3.7 EXPLORACIÓN DE LUGARES	147
4. CONCLUSIONES	153
5. RECOMENDACIONES	154
BIBLIOGRAFIA	155
ANEXOS	157

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipos de sensores internos.	36
Tabla 2. Herramientas terminales para robots.	41
Tabla 3. Distribución de las piezas del motor.	45
Tabla 4. Comandos del sensor ultrasónico.	124
Tabla 5. Direcciones del robot controladas por el MCU.	134
Tabla 6. Toma de muestras de temperatura.	141
Tabla 7. Calculo del error relativo.	142
Tabla 8. Toma de muestras de presión.	142
Tabla 9. Medida de distancias con los sensores de posición.	143

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Elementos de un sistema de teleoperación.	29
Figura 2. Sojourner, NASA, JPL.	29
Figura 3. SARGE vehículo tipo UGV.	30
Figura 4. Transmisión de movimiento: muñeca de un robot.	33
Figura 5. Sistema de transmisión de cadena.	33
Figura 6. Engranajes de transmisión.	34
Figura 7. Engranajes de reducción.	34
Figura 8. Potenciómetro.	37
Figura 9. Codificador incremental	38
Figura 10. Motores DC.	44
Figura 11. Rotor y estator.	45
Figura 12. Polos generados por el imán permanente.	46
Figura 13. Servomotor.	47
Figura 14. Vista interna del servomotor.	48
Figura 15. Señal de control del servomotor.	49
Figura 16. Encapsulados de transistores.	49
Figura 17. Puente H con transistores Darlington.	52
Figura 18. Propagación por onda directa.	54
Figura 19. Propagación onda terrestre.	54
Figura 20. Propagación por onda ionosférica.	55
Figura 21. Propagación por difracción ionosférica.	55
Figura 22. Propagación por difracción meteórica.	55
Figura 23. Propagación troposférica.	56
Figura 24. Propagación por reflexión más allá de la atmósfera.	56
Figura 25. Circuito de transmisión de datos.	58
Figura 26. Importancia de la sincronización.	62
Figura 27. Ejemplos de modulación.	65
Figura 28. Principio del filtro Gaussiano sobre la banda base.	67
Figura 29. Símbolo, dispositivo y conector tipo A macho USB.	68
Figura 30. Estructura de capas del bus USB.	69
Figura 31. Dispositivos USB conectados a un PC.	70
Figura 32. Capas del sistema de comunicaciones USB.	70
Figura 33. Esquema del cable para USB.	71
Figura 34. Joystick.	72
Figura 35. Arquitecturas de microcontroladores.	85
Figura 36. Vistas del TRF -2.4G.	92
Figura 37. Envío de datos mediante tecnología ShockBurst.	93
Figura 38. Distribución de pines TRF-2.4G.	94
Figura 39. Conexión del TRF con el microcontrolador PIC16F877A.	94

Figura 40. Diagrama de flujo del envío de datos.	95
Figura 41. Diagrama de flujo de la recepción de datos.	97
Figura 42. Envío de ordenes al robot y recepción de respuesta.	98
Figura 43. Diagrama de botones del joystick.	98
Figura 44. Estructura del paquete de datos.	99
Figura 45. Estación maestra.	100
Figura 46. Esquema tarjeta base RF.	101
Figura 47. Funcionalidad equivalente en comunicación serial.	102
Figura 48. Diagrama de flujo del programa del PIC18F4550.	103
Figura 49. Diagrama de pines PIC16F877A.	104
Figura 50. Diagrama de la conexión entre los dos PICs.	105
Figura 51. Conexión de la antena.	105
Figura 52. Conexión del receptor de la cámara al PC.	106
Figura 53. Conexión del receptor a la fuente de alimentación.	106
Figura 54. Conexión de la batería a la cámara.	106
Figura 55. Sintonización del receptor.	107
Figura 56. Ventana del software del robot.	108
Figura 57. Ventana principal.	109
Figura 58. Configuración de potencia.	110
Figura 59. Calibración de sensores.	110
Figura 60. Software de tratamiento de imágenes.	111
Figura 61. Foto del robot oruga teleoperado.	112
Figura 62. Vista superior del robot.	112
Figura 63. Reducción mecánica.	113
Figura 64. Perspectiva de la estructura mecánica del robot.	114
Figura 65. Vista superior del robot.	114
Figura 66. Vista lateral del robot.	115
Figura 67. Puente H.	116
Figura 68. Esquema del control digital.	117
Figura 69. Conexión entre el PIC y el controlador de sensores.	117
Figura 70. Esquema de control de sensores.	118
Figura 71. Disco con orificio que produce un pulso por cada rotación.	119
Figura 72. Ejemplo de detección del sensor.	120
Figura 73. Vista superior del sensor GP2D12	121
Figura 74. Curva típica de respuesta.	121
Figura 75. Medición con el sensor ultrasónico.	122
Figura 76. Foto del sensor SRF02.	123
Figura 77. Diagrama de pines del AD620.	125
Figura 78. Esquema simplificado del AD620.	126
Figura 79. Amplificación de la salida del sensor LM35.	127
Figura 80. Sensor de temperatura LM35.	127
Figura 81. Amplificación de la salida del sensor MPXM2102.	128
Figura 82. Imagen sensor de presión.	129

Figura 83. Salida vs. presión diferencial.	129
Figura 84. Vista frontal del robot.	130
Figura 85. Perspectiva y esquema del 4N25.	131
Figura 86. Movimiento del brazo de la cámara.	131
Figura 87. Vista lateral del robot.	132
Figura 88. Diagrama de flujo del programa principal.	133
Figura 89. Prototipo inicial del chasis.	137
Figura 90. Diseño de la carcasa del robot.	138
Figura 91. Ruedas del robot.	138
Figura 92. Caja de reducción.	139
Figura 93. Diseño mecánico terminado.	139
Figura 94. Distribución de las tarjetas electrónicas.	140
Figura 95. Imagen a color.	143
Figura 96. Imagen en escala de grises.	144
Figura 97. Imagen normal.	144
Figura 98. Reconocimiento de bordes.	145
Figura 99. Fotografía de una persona tomada con el robot.	145
Figura 100. Reconocimiento de bordes algoritmo Log.	146
Figura 101. Reconocimiento de bordes algoritmo Sobel.	146
Figura 102. Superando una zanja.	147
Figura 103. Superó la zanja.	148
Figura 104. Pasando por encima de un ladrillo.	148
Figura 105. Pasó el ladrillo.	149
Figura 106. Elevando los brazos.	149
Figura 107. Superando un obstáculo.	150
Figura 108. Terminó de sobrepasar el obstáculo.	150
Figura 109. Foto en la cantera las Delicias.	151
Figura 110. Foto descendiendo gradas.	151
Figura 111. Foto tomada por el robot en la cantera.	152
Figura 112. Foto descendiendo escalones.	152

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Esquema del circuito impreso tarjeta base.	157
Anexo B. Esquema del circuito impreso tarjeta robot.	157
Anexo C. Esquema del circuito impreso puente H.	158
Anexo D. Código fuente PIC robot.	158
Anexo E. Código fuente Visual Basic.	Anexo en CD
Anexo F. Datasheet TRF- 2.4G.	Anexo en CD
Anexo G. Datasheet LM35.	Anexo en CD
Anexo H. Datasheet PIC16F877A.	Anexo en CD
Anexo I. Datasheet PIC18F4550.	Anexo en CD
Anexo J. Datasheet MPXM2102.	Anexo en CD
Anexo K. Datasheet AD620.	Anexo en CD
Anexo L. Video pruebas iniciales.	Anexo en CD
Anexo M. Video pruebas finales.	Anexo en CD
Anexo N. Video pruebas en concreto.	Anexo en CD
Anexo O. Video pruebas en cuesta.	Anexo en CD
Anexo P. Video de exploraciones.	Anexo en CD
Anexo Q. Video cámara del robot.	Anexo en CD
Anexo R. Fotografías de la construcción.	Anexo en CD

LISTA DE ACRÓNIMOS

ADC: Acrónimo de Analog to Digital Converter. Dispositivo que convierte en datos digitales una señal analógica.

AI: Acrónimo de Amplificador de Instrumentación.

bps: Acrónimo de bits por segundo. Velocidad de transmisión de datos.

CCD: Acrónimo de Charge Coupled Device. Sensor visual basado en semiconductores.

CDC: Communication Device Class. Tipo de transferencia de datos USB.

CRC: Acrónimo de Cyclic Redundance Control. Método de control de errores en transferencias de datos digitales.

DSC: Acrónimo de Digital Signal Controller. Microcontrolador para el control de señales.

DSP: Acrónimo de Digital Signal Processing.

FIFO: Acrónimo de First In First Out. Registro de desplazamiento en el que el primer dato en entrar es el primero en salir.

FSK: Acrónimo de Frequency Shift Keying. Modulación por desplazamiento en frecuencia.

GFSK: Acrónimo Gaussian Frequency Shift Keying. Mejora de la FSK.

GND: Abreviatura de Ground. Tierra o referencia de circuitos electrónicos.

kbps: Acrónimo de kilobits por segundo.

MATLAB: Acrónimo de Matrix Laboratoty. Lenguaje de programación para ingeniería desarrollado por MathWorks.

MCU: Microcontrolador.

MIPS: Acrónimo de Millones de Instrucciones por Segundo. Cantidad de instrucciones que es capaz de ejecutar un microcontrolador en un segundo.

MPLAB: Entorno de desarrollo para programación de Microcontroladores PIC.

op amp: Acrónimo de Operational Amplifier.

PC: Acrónimo de Personal Computer. Ordenador personal.

PIC: Acrónimo de Programmable Integrated Circuit. Familia de microcontroladores de la empresa Microchip.

RF: Radiofrecuencia.

RISC: Acrónimo de Reduced Instruction Set Computer. Arquitectura de microcontroladores con pocas instrucciones máquina.

RS-232C: Acrónimo de Recommended Standard-232C. Es un estándar para la conexión serial de equipos y el envío de señales de datos binarias.

SI: Sistema Internacional de unidades, nombre adoptado por la XI conferencia general de pesas y medidas.

USB: Acrónimo de Universal Serial Bus.

VLSI: Acrónimo de Very Large Scale Integration. Tecnología de integración de semiconductores.

GLOSARIO

Actuadores: Dispositivos que proporcionan la fuerza motriz para las articulaciones del robot.

Algoritmo: Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.

Antena: Conductores que se emplea tanto para la recepción como para la transmisión de ondas electromagnéticas.

Cámara de vídeo: Dispositivo que captura imágenes convirtiéndolas en señales eléctricas, generalmente a señal de video o señal de televisión. Se la considera como un transductor óptico.

Celsius (°C): Escala de medida de la temperatura. Se referencia sobre los puntos de fusión y ebullición del agua.

Cinemática del robot: Estudia el movimiento del robot con respecto a un sistema de referencia.

Dinámica del robot: Tiene por objeto conocer la relación entre el movimiento del robot y las fuerzas implicadas en el mismo.

Dúplex (full-duplex): Modo de comunicación donde la información puede ser llevada en ambos sentidos simultáneamente.

Inalámbrico, Sistema de comunicación: Sistema de transmisión de datos basado en la propagación de ondas de radio emitidas por una antena omnidireccional en un área determinada dentro de la cual se encuentra el receptor.

Joystick: Palanca de juegos, en informática, dispositivo señalador muy conocido, utilizado mayoritariamente para juegos de ordenador o computadora.

Lenguaje C: Lenguaje de programación orientado a objetos.

Mecanismo oruga: Sistema de tracción que une, mediante una cadena o banda articulada que rodea las llantas, las ruedas delanteras y traseras, cuyo fin es aumentar la superficie de contacto con el suelo y conseguir una mayor tracción.

Microcontrolador: Procesador con su sistema mínimo en un chip, esto incluye memoria para programa y datos, y periféricos de entrada y salida.

Modulación: Conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal.

Motor de corriente continua (DC): Máquina que convierte energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, es un tipo de actuador eléctrico.

Pascal (Pa): Unidad de presión del SI. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 Newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.

Presión atmosférica: Presión ejercida por el aire en cualquier punto de la atmósfera.

Puente H: Interfaz que se considera un sistema de conmutación de alta potencia controlado por dos señales digitales de baja potencia.

Robot: Máquina controlada por ordenador y programada para moverse, manipular objetos y realizar trabajos a la vez que interacciona con su entorno.

Semidúplex (half-duplex): Modo de comunicación donde la información se mueve en ambos sentidos, pero solo uno a la vez

Sensores: Son elementos que dan al robot información sobre sí mismo y sobre su entorno.

Serie, Transmisión: Tipo de transmisión que transfiere los datos bit a bit utilizando un único canal.

Servomotor: Actuador mecánico que se caracteriza por el posicionamiento de su eje a través de una señal digital codificada.

Simplex: Modo de comunicación en la que la información solo va en un sentido. A este tipo de comunicación también se le conoce como unidireccional.

Teleoperación: Es el conjunto de tecnologías que comprenden la operación o gobierno a distancia de un dispositivo por un ser humano.

Televisión (TV): Sistema de telecomunicación para la transmisión y recepción de imágenes en movimiento y sonido a distancia.

Temperatura: Medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Físicamente es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico.

Toolbox: colección especializada de archivos-M para trabajar en clases particulares de problemas en MATLAB.

Transceiver: Dispositivo que combina en un solo paquete al transmisor y al receptor de señales de radiofrecuencia, sirve para conectar aparatos por vía inalámbrica.

Transistor: Dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador.

Transmisión mecánica: Elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones del Robot.

Velocidad de transmisión: Es la cantidad de información enviada desde el emisor al receptor. Se mide por el número de bits transmitidos en un segundo: bits por segundo bps o en baudios.

Visual Basic: Lenguaje de programación BASIC, orientado al sistema operativo Windows.

INTRODUCCIÓN

La robótica en el mundo actual se ha involucrado en diferentes campos de la vida de las personas, de tal forma, que se cuenta con un sin número de tipos de robots que desempeñan diferentes tareas, por ejemplo, para el desempeño de labores sofisticadas y de precisión como cirugías y elaboración de dispositivos electrónicos, tareas potencialmente peligrosas como espionaje militar y desactivación de bombas.

Para la visualización de áreas de difícil acceso, por cualquier factor que lo impida, o la exploración de sitios o lugares en los que haya riesgos de accidentes, donde es imposible la penetración humana, es adecuado disponer de un sistema que facilite su monitoreo de una manera eficaz y con la seguridad necesaria para no exponer al recurso humano.

Un robot oruga es especialmente diseñado para ambientes hostiles y terrenos escabrosos, debido a la gran facilidad que tiene para su desplazamiento en este tipo de sitios, ya que su morfología permite sortear de manera relativamente fácil los obstáculos que se presenten en el trayecto mientras es guiado por el operador que recibe las imágenes que son captadas con la cámara instalada sobre este.

El robot puede ser dirigido a la exploración visual y recolección de información mediante la toma de muestras con sensores de algunas variables ambientales en lugares peligrosos como una alcantarilla.

Todas las operaciones que realiza el robot se soportan sobre tecnologías avanzadas, entre estas se pueden nombrar la comunicación digital inalámbrica, conectividad por bus USB, procesamiento de datos con DSP, sensores integrados, todas estas tecnologías son muy modernas y con un gran respaldo, dando al robot buena fiabilidad.

El robot oruga teleoperado con el suficiente equipamiento tecnológico brinda confianza para realizar tareas con cierto grado de peligro como monitorear y acceder a sitios eventualmente inseguros, por ejemplo minas y alcantarillados, que por sus condiciones naturales de escasa visibilidad y difícil ingreso pueden representar graves peligros para las personas, como derrumbes, explosiones por gases, falta de oxígeno y caídas de rocas, entre muchos otros.

El robot permite localizar personas o artefactos de una forma más simple que la que podría ejecutar una persona o un perro capacitados en operaciones de búsqueda y rescate.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

La palabra "robot" viene del vocablo checo *robota*, "trabajo", especialmente los llamados "trabajadores alquilados" que vivieron en el Imperio Austrohúngaro hasta 1848.

El término fue utilizado por primera vez por Karel Capek en su obra teatral *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)* escrita en colaboración con su hermano Josef en 1920. Aunque los robots de Capek eran humanos artificiales orgánicos, la palabra robot es casi siempre utilizada para referirse a humanos mecánicos. El término androide puede referirse a cualquiera de estos, mientras que un cyborg ("organismo cibernético" u "hombre biónico") puede ser una criatura que es la combinación de partes orgánicas y mecánicas.

Hacia 1942, Isaac Asimov da una versión más humanizada a través de su conocida serie de relatos, en los que introduce por primera vez el término robótica con el sentido de disciplina científica encargada de construir y programar robots.

Por otra parte, desde la generalización del uso de la tecnología en procesos de producción con la Revolución Industrial se intentó la construcción de dispositivos automáticos que ayudasen o sustituyesen al hombre.

Robots equipados con una sola rueda fueron utilizados para llevar a cabo investigaciones sobre conducta, navegación y planeo de ruta. Los robots caminantes comenzaron con pequeños hexápodos y otros tipos de robots de múltiples patas. Estos robots imitaban insectos y artrópodos en funciones y forma. La tendencia se dirige hacia ese tipo de cuerpos que ofrecen gran flexibilidad y han probado adaptabilidad a cualquier ambiente. Con más de 4 piernas, estos robots son estáticamente estables lo que hace que el trabajar con ellos sea más sencillo. Aunque hoy en día se han hecho grandes progresos hacia los robots con locomoción bípeda.

En 2002 Honda y Sony, comenzaron a vender comercialmente robots humanoides como "mascotas". Los robots con forma de perro o de serpiente se encuentran en una fase de producción muy amplia, el ejemplo más notorio ha sido Aibo de Sony.

Los robots son usados en la industria, medicina, plantas fabriles, es decir, en casi todo tipo de operación que requiera un esfuerzo físico que en la mayoría de veces el hombre es incapaz de efectuar.

Construir y programar un robot es una resolución combinada de problemas, de electrónica y mecánica. Los principios de control electrónico, código de fuente y circuitos que se usan, son muy similares, (y a veces idénticos), a las aplicaciones industriales desarrolladas por ingenieros electrónicos.

1.2 TELEOPERACIÓN

Desde tiempos remotos, el hombre ha venido utilizando distintas herramientas para poder aumentar el alcance de su capacidad de manipulación. Desde palos utilizados para hacer caer la fruta madura de un árbol hasta la actualidad que existen dispositivos más complejos, por ejemplo pértigas que, accionando un enganche o pinza a distancia, permiten alcanzar objetos que se encuentran en estanterías o lugares de almacenamiento de difícil acceso.

Estos desarrollos desembocaron finalmente en lo que se conoce como sistemas de teleoperación maestro-esclavo, en los que un manipulador denominado esclavo reproduce fielmente los movimientos de un dispositivo o manipulador maestro, controlado a su vez manualmente por un operador humano. Se puede decir que es entonces cuando la teleoperación cobra importancia como tecnología, las aplicaciones en la actualidad pueden ir desde la diversión y el entretenimiento hasta el rescate de personas en peligro.

En los sistemas de teleoperación de robots la intervención del operador humano muchas veces es imprescindible, especialmente en entornos no estructurados y dinámicos en los cuales los problemas de percepción y planificación automática son muy complejos. En muchos casos, el operador está físicamente separado del robot, existiendo un sistema de telecomunicaciones entre los dispositivos que utiliza directamente el operador y el sistema de control local del robot. La intervención del operador puede producirse en muchas formas diferentes, desde la teleoperación directa de los actuadores de las articulaciones, hasta la simple especificación de movimientos, o incluso de tareas, que se realizan de manera automática en el entorno remoto.

Un importante avance en las tecnologías intrínsecas a la teleoperación como los sistemas de telecomunicaciones, los robots utilizados y la realidad virtual hacen un notable avance en las aplicaciones en cuanto a teleoperación se refiere, se ha comenzado a entrar en los ámbitos de la telecirugía, en los que la precisión es muy importante, por otro lado se tiene la teleoperación de robots en el espacio y en misiones de rescate entre otras.

Los robots teleoperados son definidos por la NASA (1978) como: “Dispositivos robóticos con brazos manipuladores y sensores y cierto grado de movilidad,

controlados remotamente por un operador humano de manera directa o a través de un ordenador”¹.

La definición de teleoperación es “Conjunto de tecnologías que comprenden la operación o gobierno a distancia de un dispositivo por un ser humano. Por tanto, teleoperar es la acción que realiza un ser humano de operar o gobernar a distancia un dispositivo; mientras que un sistema de teleoperación será aquel que permita teleoperar un dispositivo, que se denominará dispositivo teleoperado”.

1.2.1 Sistemas de teleoperación. Un sistema teleoperado es aquél que permite gobernar un robot esclavo (controlar su movimiento y la fuerza ejercida) ubicado en una zona remota (puede que el esclavo esté realmente muy lejos o puede que esté en un entorno hostil del que haya que proteger al operador) a través del manejo de un control maestro localizado en el punto de trabajo del operador. Así, el movimiento del esclavo debe ser predecible a partir de los movimientos que el operador provoca en el maestro, es decir, el operador debe comprender de manera muy intuitiva cómo mover el maestro para conducir al esclavo por una determinada trayectoria y además realizar las labores o trabajos requeridos.

Por lo tanto, un sistema de teleoperación se compone básicamente de un control maestro gobernado por un operador y un robot remoto o esclavo cuyo cometido es interactuar con el entorno de una manera que resulte útil en el desempeño de tareas concretas.

En cualquier caso, entre los subsistemas maestro y esclavo se establece un algoritmo de control que permita conseguir el mayor grado posible de telepresencia, es decir, que permita al operador realizar tareas con tanta destreza como si manipulara directamente el entorno. Un sistema teleoperado que permite un alto grado de telepresencia es en el que el operador recibe mediante un monitor información visual de las cámaras instaladas en el robot esclavo. Esta información, combinada con una buena realimentación de esfuerzos le permite realizar su tarea de manera más diestra².

Las diferentes arquitecturas de teleoperación existentes proporcionan distintos grados de telepresencia que para el operador son fácilmente comparables y evaluables (enseguida se da cuenta de cuál es el algoritmo que le permite trabajar mejor). Sin embargo, en el desarrollo de sistemas teleoperados surge la necesidad de valorar de modo objetivo su funcionamiento. Como una primera aproximación a esa evaluación puede decirse que las diferentes variaciones sobre los esquemas básicos de teleoperación están orientados a mejorar sus características de estabilidad y transparencia. Por tanto, ambas son objetivamente importantes.

¹ Barrientos, Antonio. Fundamentos de robótica. Mc Graw-Hill, Madrid, España. 1997.

² J.W. Nostrand y E.L. Sampsom, “Robots in service Industry”, en: Concise international Encyclopedia of Robotics, Editor R.C. Dorf, John Wiley & Sons, 1990.

El concepto de estabilidad es bastante común y más que una característica es una condición indispensable para un sistema teleoperado: sería inaceptable que durante el manejo del sistema por parte del operador empezara a actuar de manera descontrolada. El ruido eléctrico y los retrasos en las comunicaciones son causas típicas de inestabilidad. En cuanto al primero, es algo inherente a cualquier sistema de control real, pero los retrasos sólo tienen lugar cuando los robots están suficientemente alejados (por ejemplo cuando se precisa que el robot esclavo trabaje a una cierta profundidad bajo el mar).

El concepto de transparencia por su parte, es mucho más profundo. Para que las labores realizadas mediante el esclavo sean precisas no es suficiente con un control de la posición del esclavo, sino que además es necesario que el operador sea capaz de percibir el ambiente en el que está el robot remoto durante la teleoperación.

Basándose en lo dicho hasta ahora, lo ideal sería desarrollar un sistema de teleoperación que fuera capaz de garantizar la estabilidad en la interacción con cualquier entorno, al tiempo que proporcionara una buena transparencia, por ello se puede retroalimentar información al operador del control maestro acerca del ambiente con sensores como por ejemplo de temperatura y visión.

Un sistema de teleoperación consta de los siguientes elementos (ver figura 1):

- *Operador o teleoperador*: es un ser humano que realiza a distancia el control de la operación. Su acción puede ir desde un control continuo hasta una intervención intermitente, con la que únicamente se ocupa de monitorizar y de indicar objetivos y planes cada cierto tiempo.
- *Dispositivo teleoperado*: podrá ser un manipulador, un robot, un vehículo o dispositivo similar. Es la máquina que trabaja en la zona remota y que está siendo controlada por el operador.
- *Interfaz*: conjunto de dispositivos que permiten la interacción del operador con el sistema de teleoperación. Se considera al manipulador maestro como parte del interfaz, así como a los monitores de vídeo, o cualquier otro dispositivo que permita al operador mandar información al sistema y recibir información del mismo.
- *Control y canales de comunicación*: conjunto de dispositivos que modulan, transmiten y adaptan el conjunto de señales que se transmiten entre la zona remota y la local. Generalmente se contará con uno o varias unidades de procesamiento.
- *Sensores*: conjunto de dispositivos que recogen la información, tanto de la zona local como de la zona remota, para ser utilizada por el interfaz y el control.

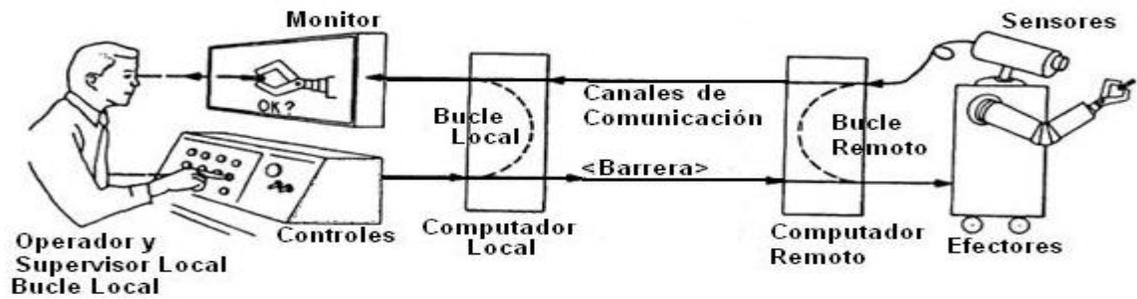


Figura 1. Elementos de un sistema de teleoperación.

1.2.2 Aplicaciones de teleoperación. Desde los primeros desarrollos de la teleoperación, la industria nuclear ha sido el principal consumidor de sistemas de teleoperación. Sin embargo, con el paso de los años se fue viendo su aplicabilidad a otros sectores, especialmente relacionados con las industrias de servicio. Aquí se enumeran los campos de aplicación más significantes de la Teleoperación.

1. Aplicaciones en el espacio.

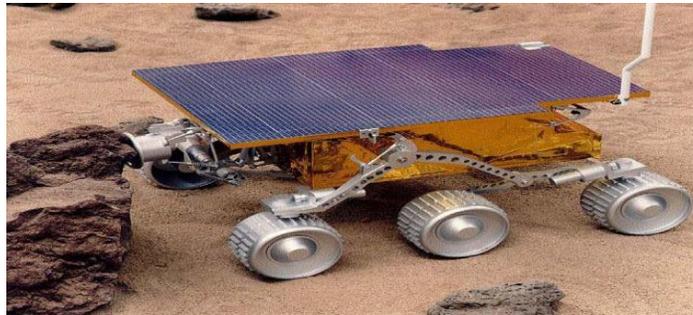


Figura 2. Sojourner, NASA, JPL³.

2. Aplicaciones en la industria nuclear.

3. Aplicaciones submarinas.

4. Aplicaciones militares.

5. Aplicaciones médicas.

³ NASA (National Agency of Space Administrator) www.nasa.gov , JPL (Jet Propulsion Lab)



Figura 3. SARGE vehículo tipo UGV⁴.

1.3 MORFOLOGÍA DEL ROBOT

1.3.1 El robot. Un robot se define como una entidad hecha por el hombre con un cuerpo (anatomía) y una conexión de retroalimentación inteligente entre el sentido y la acción directa no bajo del control humano.

Las acciones de este tipo de robots son generalmente llevadas a cabo por motores o actuadores que mueven extremidades o impulsan al robot. Así mismo, el término robot ha sido utilizado como un término general que define a una máquina mecánica o autómatas, que imita a un animal, ya sea real o imaginario, pero se ha venido aplicado a muchas máquinas que reemplazan directamente a un humano o animal en el trabajo o el juego.

Los robots son usados hoy en día para llevar a cabo tareas sucias, peligrosas, difíciles, repetitivas o desgastantes para los humanos. Esto usualmente toma la forma de un robot industrial en las líneas de producción. Otras aplicaciones incluyen la limpieza de residuos tóxicos, exploración espacial, minería, búsqueda y rescate de personas y localización de minas terrestres. La manufactura continúa siendo el principal mercado donde los robots son utilizados. En particular, robots articulados (similares en capacidad de movimiento a un brazo humano) son los más usados comúnmente. Las aplicaciones incluyen soldado, pintado y carga de maquinaria. La Industria automotriz ha tomado gran ventaja de esta nueva tecnología donde los robots han sido programados para reemplazar el trabajo de los humanos en muchas tareas repetitivas. Existe una gran esperanza, especialmente en Japón, de que el cuidado del hogar para la población de edad avanzada pueda ser llevado a cabo por robots.

Un robot está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de control y elementos terminales.

⁴ www.sandia.gov/media/periodic/STech/ST2000v2.pdf

Mecánicamente, un robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La constitución física de la mayor parte de los robots guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano, por lo que en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, usan términos como cuerpo, brazo, codo y muñeca⁵.

Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior, se denomina grado de libertad (GDL). El número de grados de libertad del robot viene dado por la suma de las articulaciones que lo componen.

Arquitectura de los robots

Existen diferentes tipos y clases de robots, entre ellos con forma humana, de animales, de plantas o incluso de elementos arquitectónicos pero todos se diferencian por sus capacidades y se clasifican en 4 formas:

1. **Andróides:** robots con forma humana. Imitan el comportamiento de las personas, su utilidad en la actualidad es de solo experimentación. La principal limitante de este modelo es la implementación del equilibrio a la hora del desplazamiento, pues es bípedo.
2. **Móviles:** se desplazan mediante una plataforma rodante (ruedas); estos robots aseguran el transporte de piezas de un punto a otro.
3. **Zoomórficos:** es un sistema de locomoción imitando a los animales. La aplicación de estos robots sirve, sobre todo, para el estudio de volcanes y exploración espacial.
4. **Poliarticulados:** mueven sus extremidades con pocos grados de libertad. Su utilidad es principalmente industrial, para desplazar elementos que requieren cuidados.

Los grados de libertad son el número mínimo de velocidades generalizadas independientes necesarias para definir el estado Cinemático de un mecanismo o sistema mecánico. El número de grados de libertad coincide con el número de ecuaciones necesarias para describir el movimiento.

⁵ Barrientos, Antonio. Fundamentos de robótica. Mc Graw-Hill, Madrid, España. 1997.

1.3.2 Transmisiones y reductores. Las transmisiones son los elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones. Se incluyen junto a las transmisiones a los reductores, encargados de adaptar el par y la velocidad de la salida del actuador a los valores adecuados para el movimiento de los elementos del robot.

Dado que un robot mueve su extremo con aceleraciones elevadas, es de gran importancia reducir al máximo su momento de inercia, del mismo modo, los pares estáticos que deben vencer los actuadores dependen directamente de la distancia de las masas al actuador. Por estos motivos se procura que los actuadores, por lo general pesados, estén lo más cerca posible de la base del robot. Esta circunstancia obliga a utilizar sistemas de transmisión que trasladen el movimiento hasta las articulaciones, especialmente a las que se encuentran en el extremo del robot. Asimismo, las transmisiones pueden ser utilizadas para convertir movimiento circular en lineal o viceversa, lo que en ocasiones puede ser necesario⁶.

Existen varios tipos de transmisión para robots, entre ellos se puede enumerar, sistemas:

Circular	- Circular
Circular	- Lineal
Lineal	- Circular

En cuanto a reductores, los que se utilizan en robótica tienen unas exigencias de funcionamiento bastante restrictivas. La exigencia de estas características viene motivada por las altas prestaciones que se le piden al robot en cuanto a precisión y velocidad de posicionamiento. Se buscan reductores de bajo peso, reducido tamaño, bajo rozamiento y que al mismo tiempo sean capaces de realizar una reducción elevada de velocidad en un único paso. Las características necesarias a tener en cuenta respecto de los reductores, son especialmente la relación de reducción, el peso y tamaño, el momento de inercia, la velocidad de entrada máxima, el par de salida nominal y el máximo, el juego angular, la rigidez torsional y el rendimiento⁷.

El uso de transmisiones y / o reductores aumentan la complejidad mecánica, además de introducir fricciones, rozamientos, flexibilidad, juegos mecánicos, etc. También existen posibles imprecisiones y errores de posicionado y velocidad que deben ser controlados.

Características idóneas de transmisiones y reductores:

⁶ www.mecatrobic.com

⁷ Ferrando, F., J. Mercader, "Criterios para la selección de un reductor de velocidad", automática e instrumentación, 237, pp 100- 106, 1993.

- Momento de inercia, peso y volumen reducidos
- Juegos mínimos
- Alta rigidez torsional
- Bajo mantenimiento y alta duración

Transmisiones: Las transmisiones más empleadas son:

1. Cadenas
2. Cables
3. Correas (planas, redondas, en V, dentadas)
4. Enlaces rígidos (árbol articulado, biela manivela)

En la figura 4 hay un ejemplo de transmisión desde un motor que es el actuador hasta la muñeca de un robot que es el efector final.

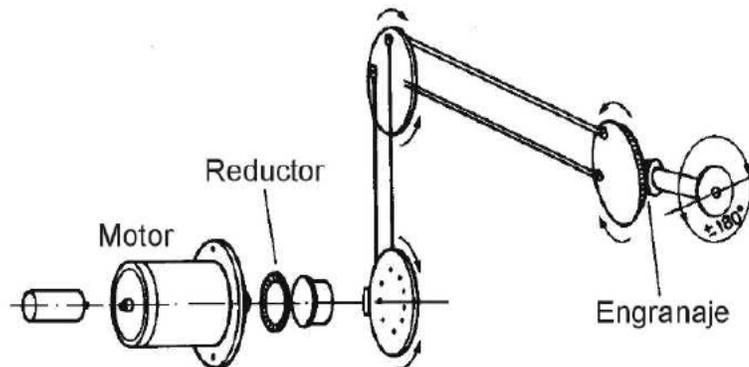


Figura 4. Transmisión de movimiento: muñeca de un robot.

1. Cadenas: Se emplean fundamentalmente para transmitir movimientos circulares de un eje a otro, o convertir un movimiento lineal en circular. Pueden realizar reducción en función del número de dientes de E / S^8 .

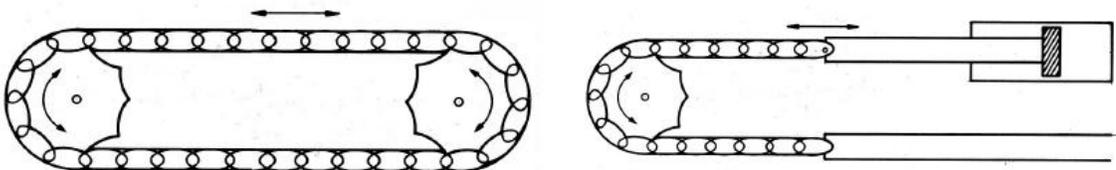


Figura 5. Sistema de transmisión de cadena.

Ventajas:

- Permiten transmitir grandes pares
- No se produce deslizamiento entre las ruedas y la cadena.

⁸ www.isa.uniovi.es

Desventajas:

- Necesidad de lubricación
- Ruido
- Coste inferior a los engranajes pero tienen una duración menor.

2. Correas: Las correas normalmente actúan usando la fricción entre las ruedas que enlazan por lo que es posible que aparezcan deslizamientos.

3. Ruedas.

Reductores: Permiten además de convertir movimientos (circulars en diferentes planos, circular-lineal o viceversa), adecuar la velocidad y el par a los valores deseados. Los reductores más empleados son los siguientes:

1. Trenes de engranajes
2. Reductor armónico
3. Ciclo-reductor

1. Engranajes: no presentan problemas de deslizamiento y pueden transmitir pares importantes. Las principales desventajas son el juego angular (ángulo que gira el eje de salida sin que el de entrada se mueva), y la fricción.

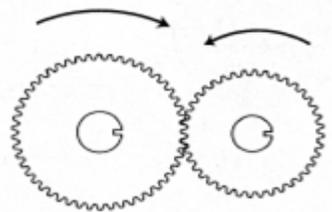


Figura 6. Engranajes de transmisión.

Cuando es necesario conservar el sentido de giro del accionador, o trasladar el movimiento a una distancia mayor que la permitida por dos ruedas se usan los trenes de engranajes.

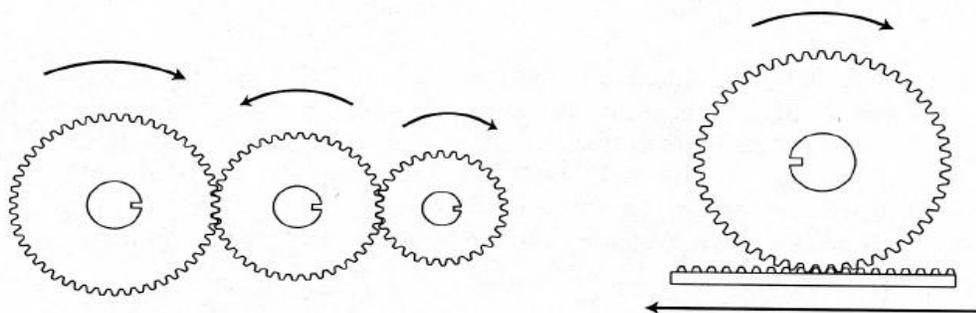


Figura 7. Engranajes de reducción.

2. Reductor Armónico: Este tipo de reductor es empleado en articulaciones rotacionales. Los ejes de entrada y salida están alineados, tienen muy altas relaciones de reducción, alto rendimiento mecánico y juego angular muy bajo.

3. Ciclo-Reductor.

1.3.3 Actuadores. Son dispositivos que proporcionan la fuerza motriz real para las articulaciones del robot. Los actuadores suelen obtener su energía a partir de una de estas tres fuentes: aire comprimido, fluido por presión o electricidad. Estos actuadores reciben el nombre de actuadores neumáticos, hidráulicos o eléctricos, respectivamente.

En los actuadores neumáticos e hidráulicos se obtiene la energía mediante el movimiento de fluidos. En el primer caso, el fluido es aire comprimido y en el segundo caso, el fluido suele ser aceite a presión. Por lo general, el funcionamiento de estos actuadores es similar, excepto en su capacidad para contener la presión del fluido. Los sistemas neumáticos suelen operar a unas 100 libras por pulgada cuadrada y los sistemas hidráulicos de 1000 a 3000 libras por pulgada cuadrada.

Los actuadores tienen por misión generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control. Los actuadores neumáticos, hidráulicos o eléctricos presentan características diferentes, siendo preciso evaluar a la hora de seleccionar el tipo de actuador más conveniente. Las características a considerar son entre otras: potencia, controlabilidad, peso y volumen, precisión, velocidad, mantenimiento y costo.

Para el proyecto se usará actuadores eléctricos, ya que las características de control de estos, la sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en los robots actuales. Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse los motores de corriente continua, los Motores paso a paso y los servomotores, estos dos últimos tipos ampliamente utilizados en robótica por la facilidad de posicionarlos con precisión.

1.3.4 Sensores. Son elementos que dan al robot información sobre sí mismo y sobre su entorno. Existen dos tipos básicos:

1. Sensores internos, que se utilizan para la medida de desplazamientos y giros de los elementos de la estructura.

2. Sensores externos, que proporcionan al robot información del entorno mediante diferentes técnicas como pueden ser los detectores de presencia.

Función de los sensores.

Los sensores, también denominados captadores, son dispositivos que permiten asociar a las magnitudes físicas no tratables directamente magnitudes medibles accesibles al tratamiento. Estos dispositivos utilizan bien componentes activos, tales como la electricidad, bien componentes pasivos como resistencias, inductancias.

La utilización de captadores es necesaria ya que casi la totalidad de las magnitudes físicas, excepto las magnitudes eléctricas y algunas mecánicas, no son directamente utilizables, como por ejemplo las fuerzas, la temperatura y la luminosidad.

En robótica el papel de los captadores es fundamental, puesto que a partir de informaciones captadas por el equipo sensorial el robot detecta las características del entorno que le ha sido asignado⁹. Para conseguir que un robot realice su tarea con la adecuada precisión, velocidad e inteligencia, será preciso que tenga conocimiento tanto de su propio estado como del estado de su entorno. La información relacionada con su estado (fundamentalmente la posición de sus articulaciones) la consigue con los denominados sensores internos, mientras que la que se refiere al estado de su entorno, se adquiere con sensores externos.

1. Sensores internos: En la tabla 1 se enlistan los sensores internos más utilizados.

Tabla 1. Tipos de sensores internos.

Movimiento y Posición	Traslación	Potenciómetros		
		Transformadores Variables		
	Rotación	Analógicos	Potenciómetros	
			Sincro / Resolver	
	Digitales	Encoders Ópticos	Incrementales Absolutos	
Velocidad				

⁹ www.jpintado.com

Sensores de movimiento y de posición: Los movimientos a medir pueden ser rectilíneos (traslaciones), o angulares (rotaciones).

1. Sensores de movimiento rectilíneo.

- Sensores potenciómetros: Estos son los más utilizados. Un sensor potenciómetro es un dispositivo con las características de una resistencia variable, que divide el voltaje de entrada en función del movimiento rectilíneo efectuado por el cursor.

Cuando el cursor se encuentre en la parte más inferior de la resistencia dará el valor mínimo de salida, y cuando se encuentre en la parte alta dará su valor máximo de tensión. La variación de resistencia es entre el extremo y el cursor.

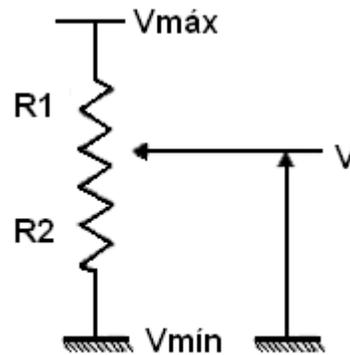


Figura 8. Potenciómetro.

- Transformadores variables o diferenciales.

2. Sensores de movimiento angular.

- Sensores potenciómetros.
- Transformadores variables.
- Sincro.
- Resolver.

- Encoders ópticos: Es un sensor que da información sobre la posición angular en la que se encuentra el eje al que va unido, utilizando un código binario. Existen dos tipos.

1. Incremental.

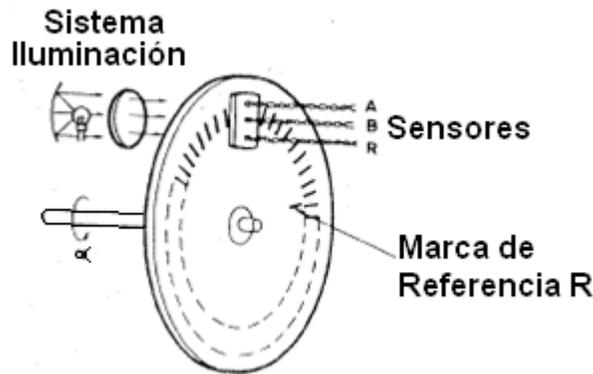


Figura 9. Codificador incremental.

2. Absolutos.

Sensores de velocidad: Miden la velocidad de los movimientos de traslación y rotación. En la mayoría de los casos se realiza el cálculo de la velocidad de rotación, ya que para medir la velocidad de traslación se necesitan sensores muy especializados que normalmente no se utilizan.

Sensores de aceleración: Son utilizados en los controles dinámicos de los robots industriales. Existen diversas formas de medir la aceleración, puede ser deducida de mediciones de velocidad o a partir de la fuerza creada por la aceleración en una masa conocida, medida utilizando galgas extensométricas.

Sensores de fuerza: Son muchas las aplicaciones en las que es necesaria la medición de fuerzas para la realización de diferentes tareas. Puede ser necesaria la medición de la fuerza ejercida por las pinzas para limitar la presión ejercida sobre el objeto¹⁰.

2. Sensores externos: Un robot es diseñado para realizar una tarea, por tanto debe tener acceso a información de parámetros predeterminados del medio que le rodea. La función de los sensores externos es captar información acerca del medio y transformarla en parámetros reconocibles por el robot. Los sensores externos dotan al robot de sentidos similares a los del hombre.

¹⁰ Pallás, R., "Transductores de reactancia variable y electromagnéticos", en: Transductores y acondicionadores de señal, Marcombo, Barcelona, 1989.

Los más comunes son:

Sensores táctiles

Sensores de proximidad

Sensores visuales

Sensores táctiles: Estos dotan al robot de un determinado nivel de percepción táctil, que puede variar desde la simple detección de la presencia del objeto, hasta la más compleja de su tamaño, forma y consistencia física.

Se clasifican en:

- Sensores de contacto que es el sistema básico consiste en un interruptor con dos posiciones, abierto y cerrado. Su posición en el robot es de gran importancia, cuando se sitúa en el frente del robot su única función es darle una seguridad en relación con los obstáculos, pero cuando se sitúa en la pinza puede dar información más estratégica.
- Sensores analógicos individuales que son un sistema flexible con una salida proporcional a un esfuerzo local, pueden ser utilizados para detectar posiciones o fuerzas.
- Sensores matriciales están formados por la combinación de sensores de contacto simple o de sensores analógicos individuales en forma de matriz. Cada uno de los sensores queda determinado por la intersección de la columna y la fila donde está colocado, si cada sensor individual puede dar información sobre fuerza o posición, la matriz dará, integrando la información simple, datos complejos sobre el entorno del robot.
- Sensores ópticos evitan inconvenientes derivados de la utilización de elementos mecánicos, pueden ser utilizadas matrices de elementos optoelectrónicos. Cada elemento sensor está constituido por un diodo fotoemisor y un fototransistor dispuestos de forma que actúan por reflexión. La utilización de radiación infrarroja permite minimizar los efectos derivados de variaciones en las condiciones externas de iluminación, pero presenta el inconveniente de requerir una frecuente limpieza.

Sensores de proximidad: Son transductores capaces de suministrar una señal lógica en presencia de determinado tipo de objetos. Ello permite conocer la presencia o no de obstáculos en el camino del robot o la detección de final de carrera en un movimiento.

Los sensores de presencia pueden ser de actuación por contacto físico o por detección a una distancia del sensor.

Los sensores por contacto son dispositivos “todo o nada” que aseguran la apertura o cierre de un contacto eléctrico cuando un objeto aparece en un punto concreto del espacio.

Los sensores de proximidad sin contacto eléctrico, pueden ser de tipo inductivo, magnético, capacitivo o foto-eléctrico, estos últimos están constituidos por una fuente luminosa (lámpara de incandescencia, diodo electroluminiscente) y una célula receptora fotoeléctrica (fotodiodo, fototransistor) donde la luz emitida por la fuente está focalizada por un dispositivo óptico y después es transmitida a la célula receptora si ningún obstáculo interrumpe el haz luminoso.

Sensores visuales: La exploración del lugar de trabajo a distancia, permite aumentar la capacidad sensorial del robot sin riesgo de deterioro de los captadores utilizados, lo que la hace especialmente apta para operar en entornos industriales.

La teleoperación puede conseguirse por medio de ultrasonidos o bien de sistemas ópticos.

Los ultrasonidos se utilizan únicamente cuando el nivel de discriminación requerido es bajo, como es el caso de la detección de obstáculos, debido a la poca definición de las imágenes que permite obtener.

Los de percepción visual por el contrario han alcanzado un notable grado de desarrollo y tienen actualmente un amplio campo de aplicación, los más comunes son los lineales y las cámaras de TV convencionales. Las ventajas que presenta la utilización de cámaras derivan de la cantidad de información que permiten recibir del entorno, pudiendo incluir incluso color.

1.3.5 Elementos terminales. En robótica, el término de efector final se utiliza para describir la mano o herramienta que está unida a la muñeca. El efector final representa el herramental especial, que permite al robot realizar una aplicación particular. Este herramental especial debe diseñarse específicamente para la aplicación.

Los efectores finales pueden dividirse en dos categorías: pinzas y herramientas. Las pinzas se utilizarían para tomar un objeto, normalmente la pieza de trabajo, y sujetarlo durante el ciclo de trabajo del robot.

Hay una diversidad de métodos de sujeción que pueden utilizarse, además de los métodos mecánicos obvios de agarrar la pieza entre dos o más dedos. Estos métodos suplementarios incluyen el empleo de casquetes de sujeción, imanes, ganchos y cucharas.

En la tabla 2 se relacionan los diferentes tipos de herramientas terminales que comúnmente poseen los robots para efectuar alguna tarea.

Tabla 2. Herramientas terminales para robots.

Tipo de herramienta	Comentarios
Pinza soldadura por puntos	Dos electrodos que se cierran sobre la pieza de soldar
Soplete soldadura de arco	Aportan el flujo de electrodo que se funde
Cucharón para colada	Para trabajos de fundición
Atornillador	Suelen incluir la alimentación de tornillos
Fresa-lijas	Para perfilar, eliminar rebabas, pulir, etc.
Pistola de pintura	Por pulverización de la pintura
Cañón láser	Para corte de materiales, soldadura o inspección
Cañón de agua a presión	Para corte de materiales

Los efectores finales son los encargados de interactuar directamente con el entorno del robot. Puede ser tanto elementos de aprehensión como herramientas o sensores¹¹.

En muchas ocasiones el robot ha de realizar operaciones que no consisten en manipular objetos, si no que implica el uso de una herramienta. Aparte de estos elementos de sujeción y herramientas más o menos convencionales, existen interesantes desarrollos e investigaciones, muchos de ellos orientados a la manipulación de objetos complicados y delicados. Por ejemplo pinzas dotadas de tacto.

En este proyecto los elementos terminales son los sensores que permiten adquirir información de relevancia sobre el sitio que se está explorando como por ejemplo el sensor de temperatura y también la cámara de vídeo.

1.4 MODELADO DEL ROBOT

1.4.1 Herramientas matemáticas para la localización espacial. Para la representación de la posición del robot se utiliza normalmente los sistemas de referencia cartesiana, las coordenadas polares y cilíndricas, y las coordenadas esféricas. En cuanto a la representación de la orientación es común utilizar las matrices de rotación, los ángulos de Euler, el par de rotación y los cuaternios.

Otras herramientas útiles son las matrices de transformación homogénea y la relación y comparación entre los distintos métodos de localización espacial.

¹¹ www.proton.ucting.udg.mx

1.4.2 Cinemática del robot. La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia.

1.4.3 Dinámica del robot. La dinámica se ocupa de la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el movimiento que en él se origina. Por lo tanto, el modelo dinámico de un robot tiene por objeto conocer la relación entre el movimiento del robot y las fuerzas implicadas en el mismo.

1.4.4 Control cinemático y dinámico. La robótica móvil se compone de cuatro partes: el sistema de movimiento, el sistema sensorial, sistema de control y el sistema de razonamiento.

El sistema de movimiento se refiere a cada uno de los actuadores y demás componentes que intervienen en el movimiento del robot en cuestión. En cuanto al sistema sensorial, contiene todos los mecanismos por los cuales el robot recibe información del medio. El sistema de control es el encargado de tratar la información que se recibe del sistema sensorial y de dirigir cada uno de los actuadores y demás componentes del sistema de movimiento. Por otra parte, el sistema de razonamiento es un módulo superior encargado de guiar el comportamiento del robot.

Estas cuatro partes esenciales en el diseño de cualquier robot móvil, atañen a muy diversas áreas.

1. Sistema de movimiento: Centra sus fundamentos en teorías de la ingeniería mecánica.
2. Sistema sensorial: Se centra en el campo de la ingeniería electrónica.
3. Sistema de control: Basa sus desarrollos en conocimientos de múltiples áreas debido a la diversa naturaleza de los sistemas sensoriales y de los actuadores que controla. Así comprende campos como son la ingeniería electrónica, la informática y en función del sistema sensorial, otros como la visión artificial, etc.
4. Sistema de razonamiento: Se centra en teorías de la inteligencia artificial como puedan ser, modelos de conocimiento, planificadores, etc.

1.5 PROGRAMACIÓN DE ROBOTS

La programación del robot se realiza para enseñarle su ciclo de trabajo. Una gran parte del programa se refiere a la trayectoria del movimiento que el robot debe ejecutar para mover piezas o herramientas desde una posición del espacio de trabajo a otra.

Estos movimientos se suelen enseñar mostrando el movimiento al robot y registrándolo dentro de su memoria. Sin embargo, existen otras partes del programa que no se refieren a ningún movimiento. Entre éstas se incluyen la interpretación de los datos de los sensores, la actuación del efector final, el envío de señales a otros elementos del equipo dentro de la célula, la recepción de datos a partir de otros dispositivos y la realización de cálculos y toma de decisiones acerca del ciclo de trabajo. Algunas de estas otras actividades se enseñan mejor mediante la programación del robot utilizando un lenguaje de computadora¹².

Un robot hoy en día puede hacer mucho más que mover su brazo a lo largo de una serie de puntos dentro de un espacio. Los robots de tecnología actual pueden aceptar datos de entrada procedentes de sensores y otros dispositivos. Pueden enviar señales a elementos del equipo que opera con ellos. Pueden tomar decisiones. Pueden comunicarse con otras computadoras para recibir instrucciones y para informar sobre los datos de producción y los problemas. Todas estas capacidades necesitan de la programación.

Existen diversos métodos de programación de robots, normalmente se clasifican en programación por guiado y en programación textual, existen sistemas especializados en el entorno de programación para robots, pero depende de los dispositivos electrónicos usados, es decir, del tipo de controladores y sus lenguajes particulares.

Se puede hacer la programación del robot en un microcontrolador y más específicamente en su lenguaje ensamblador particular, cabe destacar que se pueden usar distintos tipos de microcontroladores dependiendo de las necesidades, por ejemplo, se puede usar un microcontrolador de tipo DSP para el procesamiento de señales, mientras otro se puede encargar de los actuadores.

Los requerimientos de un sistema de programación de robots son el entorno de programación, el modelado del entorno, los tipos de datos, manejo de entradas-salidas, control del movimiento del robot y el control del flujo de ejecución del programa.

1.6 ROBOT ORUGA

Las orugas se construyen uniendo, mediante una cadena que rodea las llantas, las ruedas delanteras y traseras, cuyo fin es aumentar la superficie de contacto con el suelo y conseguir una mayor tracción. Las orugas permiten rebasar mayores obstáculos en comparación a usar solamente ruedas como por ejemplo subir escaleras. Como desventaja, presenta la gran cantidad de energía que necesita el

¹² www.dei.uc.edu.py

robot en los giros. El giro se realiza rotando las cadenas en sentidos opuestos, de modo que las fuerzas inversas hacen girar el robot.

Mecanismo Oruga: este tipo de mecanismo tiene una gran adaptabilidad a terrenos escabrosos o arenosos, para los cuales es ideal, permite un buen agarre a los terrenos sobre los que se desplaza. Un mecanismo oruga posee varios ejes sobre los que se desliza una banda dentada que es la que tiene el contacto real con el suelo¹³.

La finalidad del robot oruga, es obtener un robot, que pueda sortear obstáculos de pequeño tamaño con facilidad, para que pueda desplazarse por un terreno no del todo liso, con obstáculos como piedras o pequeños escalones¹⁴.

1.7 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA (DC)



Figura 10. Motores DC.

Son máquinas que convierten energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, es un tipo de actuador eléctrico.

Los motores usados generalmente en robótica son los DC (Direct Current) o también llamados CC (Corriente Continua). Existen de distintos tamaños, formas y potencias, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento (ver figura 10).

Accionar un motor DC es muy simple y solo es necesario aplicar la tensión de alimentación entre sus bornes. Para invertir el sentido de giro basta con invertir la alimentación y el motor comenzará a girar en sentido opuesto.

A diferencia de los motores paso a paso y los servomecanismos, los motores DC no pueden ser posicionados y/o enclavados en una posición específica. Estos

¹³ www.campusvirtual.unex.es

¹⁴ Pichardo Gallardo, José A. Microbot Siko. Motorola open Systems, Marzo-2004.

simplemente giran a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación aplicada se los permite.

El motor de corriente continua está compuesto de 2 piezas fundamentales: el Rotor y el Estator como se indica en la figura 11 y la tabla 3.



Figura 11. Rotor y estator.

Dentro de éstas se ubican los demás componentes.

Tabla 3. Distribución de las piezas del motor.

Rotor	Estator
Eje	Armazón
Núcleo y Devanado	Escobillas y Portaescobillas
	Tapas
	Imán Permanente

1.7.1 Rotor. Constituye la parte móvil del motor, proporciona el torque para mover a la carga. Está formado por:

- Eje: es una barra de acero fresada. Imparte la rotación al núcleo, devanado y al colector.
- Núcleo: se localiza sobre el eje. Fabricado con capas laminadas de acero, su función es proporcionar un trayecto magnético entre los polos para que el flujo magnético del devanado circule. Las laminaciones tienen por objeto reducir las corrientes parásitas en el núcleo. El acero del núcleo debe ser capaz de mantener bajas las pérdidas por histéresis. Este núcleo laminado contiene ranuras a lo largo de su superficie para albergar al devanado de la armadura (bobinado).
- Devanado: consta de bobinas aisladas entre sí y entre el núcleo de la armadura. Estas bobinas están alojadas en las ranuras, y están conectadas eléctricamente

con el colector, el cual debido a su movimiento rotatorio, proporciona un camino de conducción conmutado.

- **Colector:** denominado también conmutador, está constituido de láminas de material conductor (delgas), separadas entre sí y del centro del eje por un material aislante, para evitar cortocircuito con dichos elementos. El colector se encuentra sobre uno de los extremos del eje del rotor, de modo que gira con éste y está en contacto con las escobillas. La función del colector es recoger la tensión producida por el devanado inducido, transmitiéndola al circuito por medio de las escobillas (llamadas también cepillos).

1.7.2 Estator. Constituye la parte fija de la máquina. Su función es suministrar el flujo magnético que será usado por el bobinado del rotor para realizar su movimiento giratorio. Está formado por:

- **Armazón:** denominado también yugo, tiene dos funciones primordiales: servir como soporte y proporcionar una trayectoria de retorno al flujo magnético del rotor y del imán permanente, para completar el circuito magnético.

- **Imán permanente:** compuesto de material ferromagnético altamente remanente, se encuentra fijado al armazón o carcasa del estator. Su función es proporcionar un campo magnético uniforme al devanado del rotor o armadura, de modo que interactúe con el campo formado por el bobinado, y se origine el movimiento del rotor como resultado de la interacción de estos campos.

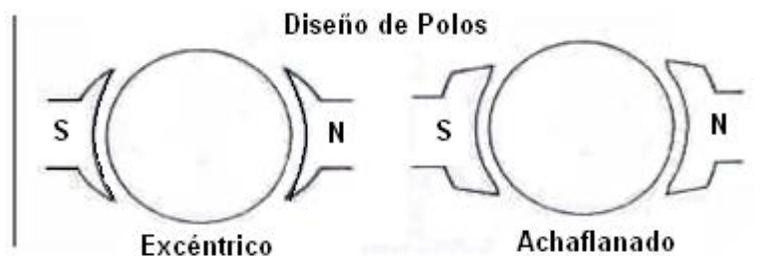


Figura 12. Polos generados por el imán permanente.

- **Escobillas:** las escobillas están fabricadas de carbón y poseen una dureza menor que la del colector, para evitar que éste se desgaste rápidamente. Se encuentran albergadas por los portaescobillas. Ambos, escobillas y portaescobillas, se encuentran en una de las tapas del estator. La función de las escobillas es transmitir la tensión y corriente de la fuente de alimentación hacia el colector y, por consiguiente, al bobinado del rotor.

- **Portaescobillas:** su función es mantener a las escobillas en su posición de contacto firme con los segmentos del colector. Esta función la realiza por medio de

resortes, los cuales hacen una presión moderada sobre las escobillas contra el colector. Esta presión debe mantenerse en un nivel intermedio pues, de ser excesiva, la fricción desgastaría tanto a las escobillas como al colector; por otro lado, de ser mínima esta presión, se produciría lo que se denomina "chisporroteo", que es cuando aparecen chispas entre las superficies del colector y las escobillas, debido a que no existe un buen contacto.

1.8 EL SERVOMOTOR

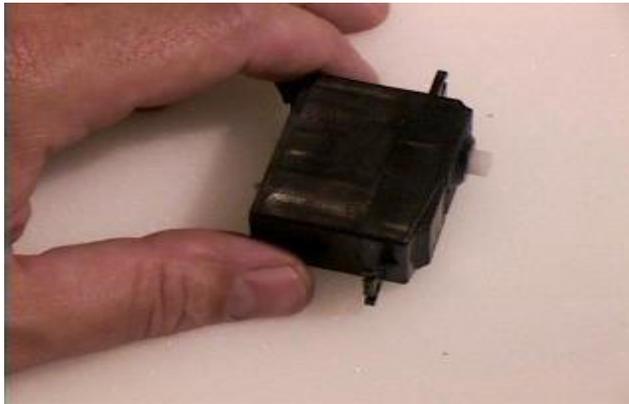


Figura 13. Servomotor.

Un servo es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia. En la práctica, se usan servos para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones. Ellos también se usan en radio control, títeres, y por supuesto, en robots.

Los servos son sumamente útiles en robótica. Los motores son pequeños, el sistema de la figura tiene internamente una circuitería de control y es sumamente poderoso para su tamaño. Un servo normal o estándar como el hs-300 de Hitec (ver figura 13) tiene 42 onzas por pulgada o mejor 3 kg / cm de torque que es bastante fuerte para su tamaño. También la potencia consumida es proporcional a la carga mecánica. Un servo, por consiguiente, no consume mucha energía.

El motor del servo tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro (una resistencia variable) esta es conectada al eje central del servo motor. Este potenciómetro permite a la circuitería de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es el correcto, el motor girará en la

dirección adecuada hasta llegar al ángulo correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados. Normalmente, en algunos llega a los 210 grados, pero varía según el fabricante. Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de entre 0 y 180 grados. Un servo normal no es mecánicamente capaz de retornar a su lugar, si hay un mayor peso que el sugerido por las especificaciones del fabricante.

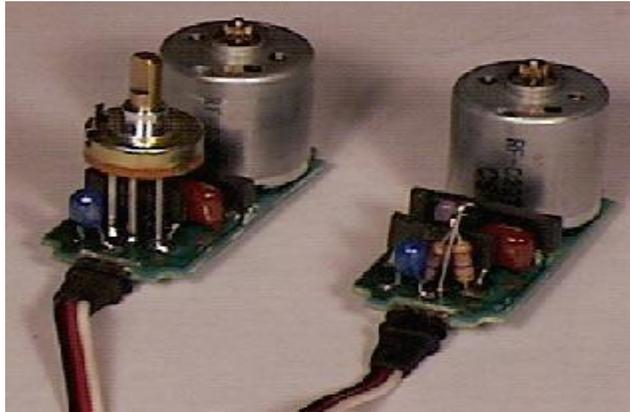


Figura 14. Vista interna del servomotor.

La cantidad de voltaje aplicado al motor es proporcional a la distancia que éste necesita viajar. Así, si el eje necesita regresar una distancia grande, el motor regresará a toda velocidad. Si este necesita regresar sólo una pequeña cantidad, el motor correrá a una velocidad más lenta. A esto se le llama control proporcional.

En la figura 14 se observa la composición interna de un servomotor, se puede ver la circuitería de control y el motor. También se puede ver los 3 alambres de conexión externa. Uno es para alimentación VCC (+5volts), conexión a tierra o GND y el ultimo alambre es el de control.

Los servos tienen un amplificador, piñonería de reducción y un potenciómetro de realimentación; todo incorporado en el mismo conjunto. Esto es un servo de posición (lo cual significa que uno le indica a qué posición debe ir), con un rango de aproximadamente 180 grados.

1.8.1 Control de un servomotor. Para controlar un servo, se le ordena ir a un cierto ángulo, medido desde 0 grados. El control se hace mediante Modulación por Ancho de pulso, PWM (ver figura 15). El tiempo ON o alto del pulso indica el ángulo al que debe posicionarse; 0.5ms = 0 grados, 2.5ms = máximo ángulo (cerca de 180) y algún valor entre ellos da un ángulo de salida proporcional. Generalmente se considera que en 1.5ms está el centro.

El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos construidos en el servo. Un sonido de zumbido normalmente indica que se está forzando por encima al servo.

El tiempo de OFF o bajo en el servo no es crítico; puede estar entre 10ms y 30 ms, y hasta puede variar de un pulso a otro. Si el espacio del pulso es mayor de 50ms (depende del fabricante), entonces el servo podría estar en modo SLEEP entre los pulsos. Entraría a funcionar en pasos pequeños y el rendimiento no sería el óptimo.

Este es un ejemplo de la señal de control que debería tener el servo:

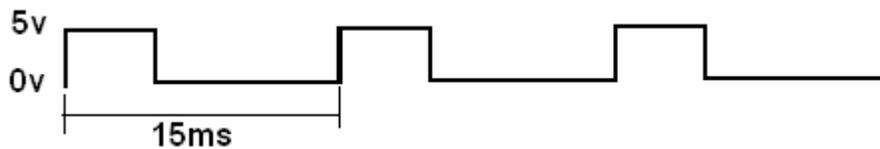


Figura 15. Señal de control del servomotor.

El tiempo de ON o en 5V determina la posición del brazo de salida.

1.9 TRANSISTOR

Es un dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador (ver figura 16).

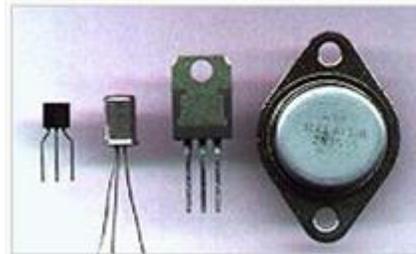


Figura 16. Encapsulados de transistores.

El transistor consta de un sustrato (usualmente silicio) y tres partes dopadas artificialmente (contaminadas con materiales específicos en cantidades específicas) que forman dos uniones bipolares, el emisor que emite portadores, el colector que los recibe o recolecta y la tercera, que está intercalada entre las dos primeras, modula el paso de dichos portadores (base). El transistor es un dispositivo controlado por corriente y del que se obtiene corriente amplificada. En el diseño de circuitos a los transistores se les considera un elemento activo, a diferencia de los resistores, capacitores e inductores que son elementos pasivos.

Su funcionamiento sólo puede explicarse mediante mecánica cuántica.

De manera simplificada, la corriente que circula por el "colector" es función amplificada de la que se inyecta en el "emisor", pero el transistor sólo gradúa la corriente que circula a través de sí mismo, si desde una fuente de corriente continua se alimenta la "base" para que circule la carga por el "colector", según el tipo de circuito que se utilice. El factor de amplificación logrado entre corriente de base y corriente de colector, se denomina beta del transistor. Otros parámetros a tener en cuenta y que son particulares de cada tipo de transistor son: tensiones de ruptura de colector emisor, de base emisor, de colector base, potencia máxima, disipación de calor, frecuencia de trabajo, y varias tablas donde se grafican los distintos parámetros tales como corriente de base, tensión colector emisor, tensión base emisor, corriente de emisor, etc. Los tres tipos de esquemas básicos para utilización analógica de los transistores son emisor común, colector común y base común.

Modelos posteriores al transistor descrito, el transistor bipolar son los transistores FET, MOSFET, JFET, CMOS, VMOS, estos no utilizan la corriente que se inyecta en el terminal de "base" para modular la corriente de emisor o colector, sino la tensión presente en el terminal de puerta o reja de control y gradúa la conductancia del canal entre los terminales de Fuente y Drenador. De este modo, la corriente de salida en la carga conectada al Drenador (D) será función amplificada de la Tensión presente entre la Puerta (Gate) y Fuente (Source). Su funcionamiento es análogo al del triodo, con la salvedad que en el triodo los equivalentes a Puerta, Drenador y Fuente son Reja, Placa y Cátodo.

Los transistores de efecto de campo han permitido la integración de semiconductores a gran escala de la que se disfruta hoy en día, para tener una idea aproximada pueden fabricarse varios miles de transistores interconectados por centímetro cuadrado y en varias capas superpuestas.

1.9.1 Tipos de transistor:

1. Transistor de punta de contacto: Primer transistor que obtuvo ganancia, inventado en 1947 por J. Bardeen y W. Brattain. Consta de una base de germanio sobre la que se apoyan, muy juntas, dos puntas metálicas que constituyen el emisor y el colector. La corriente de emisor es capaz de modular la resistencia que se "ve" en el colector, de ahí el nombre de "transfer resistor".

2. Transistor de unión bipolar BJT: se fabrica básicamente sobre un monocristal de germanio, silicio o arseniuro de galio. Sobre el sustrato de cristal, se contaminan en forma muy controlada tres zonas, dos de las cuales son del mismo tipo, NPN o PNP, quedando formadas dos uniones NP. La zona N con elementos donantes de electrones (cargas negativas) y la zona P de aceptadores o "huecos"

(cargas positivas). Normalmente se utilizan como elementos aceptadores P al indio (In), aluminio (Al) o galio (Ga) y donantes N al arsénico (As) o fósforo (P).

La configuración de uniones PN, dan como resultado transistores PNP o NPN, donde la letra intermedia siempre corresponde a la característica de la base, y las otras dos al emisor y al colector que, si bien son del mismo tipo y de signo contrario a la base, tienen diferente contaminación entre ellas (por lo general, el emisor está mucho más contaminado que el colector).

3. Fototransistor: Sensible a la radiación electromagnética, en frecuencias cercanas a la de la luz.

4. Transistor de unión unipolar.

5. Transistor de efecto de campo, FET: Controla la corriente en función de una tensión; tienen alta impedancia de entrada.

6. Transistor de efecto de campo de unión, JFET: construido mediante una unión PN.

7. Transistor de efecto de campo de compuerta aislada, IGFET: en el que la compuerta se aísla del canal mediante un dieléctrico.

8. Transistor de efecto de campo MOS, MOSFET: donde MOS significa Metal-Óxido-Semiconductor, en este caso la compuerta es metálica y está separada del canal semiconductor por una capa de óxido.

1.10 PUENTE H

El puente H es una interfaz que se considera básicamente como un sistema de conmutación controlado por dos señales digitales de baja potencia, generalmente se utiliza para el control de giro de los motores. Cuando el sistema detecta un 1 lógico en una de sus dos entradas de control y un cero en la otra, este conecta el motor a la fuente de alimentación con determinada polaridad si la señal de control que estaba en 1 pasa a cero y la de cero a uno el puente H conecta la fuente al motor con la polaridad invertida facilitando así el giro en sentido contrario.

El puente H se implementa con 4 transistores, 2 NPN y 2 PNP configurados como conmutadores y una fuente de alimentación (ver figura 17).

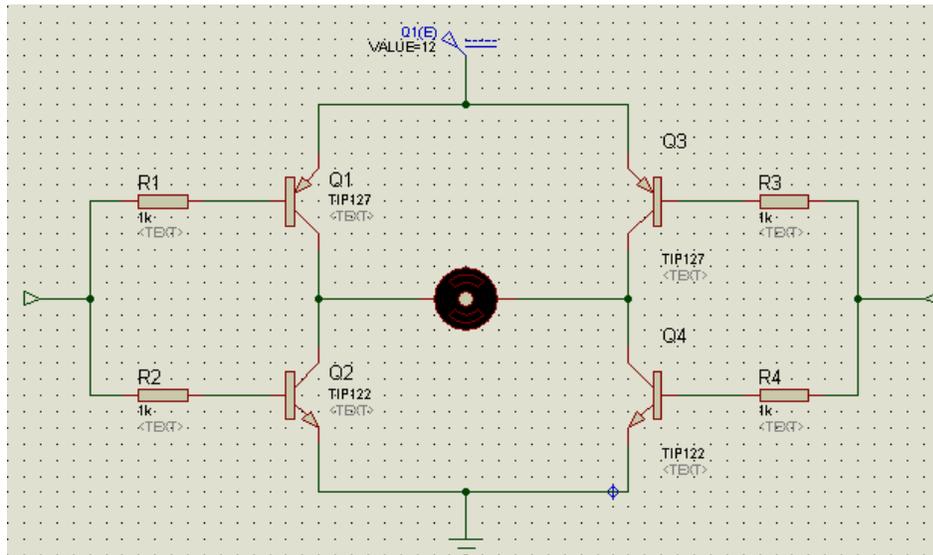


Figura 17. Puente H con transistores Darlington.

Funciona colocando un uno y un cero lógicos en cada entrada, así en cada lado habrá un transistor en corte y otro en saturación, que harán que el motor gire en un sentido, si se invierte la polaridad de las entradas el motor también invertirá su sentido de giro. Para detener el motor basta con colocar en las dos entradas ceros lógicos.

El tipo de transistores a usar dependerá de la potencia que tenga el motor y la corriente que consuma.

Aplicaciones:

El puente H se usa para invertir el giro de un motor, pero también puede usarse para frenarlo (de manera brusca), al hacer un corto entre los bornes del motor, o incluso puede usarse para permitir que el motor frene bajo su propia inercia, cuando se desconecta el motor de la fuente que lo alimenta.

1.11 TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

Una de las tecnologías más prometedoras y discutidas es la de poder comunicar diversos tipos de dispositivos digitales mediante tecnología inalámbrica. La conexión de computadoras mediante ondas de radio, actualmente está siendo ampliamente investigada.

1.11.1 Propagación de ondas de radio. Las ondas de radio son ondas electromagnéticas que poseen una componente eléctrica y una magnética y como tales, están expuestas a ciertos fenómenos los cuales son capaces de modificar el patrón de propagación de las ondas. En condiciones especiales y con una atmósfera uniforme, las ondas de radio tienden a desplazarse en línea recta, esto quiere decir que siempre que haya una línea de vista entre el emisor y el receptor, este tipo de comunicación será bastante eficiente, pero si se requiere de una comunicación de un punto a otro, el cual se encuentra más allá del horizonte, se tiene que tomar en cuenta las distintas condiciones de propagación y las adecuadas frecuencias para su correcta comunicación.

Los fenómenos de reflexión, refracción, dispersión y difracción son de gran importancia para las comunicaciones inalámbricas, Este tipo de ondas pueden viajar en el vacío a la velocidad de la luz y aproximadamente a un 95% de esta velocidad en otros medios, en la atmósfera terrestre la velocidad se reduce significativamente.

Los sistemas de comunicación inalámbricos están basados generalmente en la propagación de ondas de radio emitidas por una antena omnidireccional (estación base o punto de acceso) en un área determinada dentro de la cual se encuentran las estaciones móviles. El área geográfica en la que esta comunicación tiene lugar se denomina Celda. Esta es considerada como un espacio circular con la estación base en su centro y las estaciones móviles a su alrededor.

Actualmente la tecnología inalámbrica ofrece una serie de beneficios tales como gran capacidad de cobertura, pocos equipos, bajos costos de infraestructura y facilidades de desarrollo de las estaciones bases¹⁵.

Gracias a los fenómenos de reflexión, refracción, difracción y dispersión, se pueden realizar las comunicaciones inalámbricas a grandes distancias. A continuación se muestran las distintas formas de comunicación que existen gracias a estos fenómenos.

1. Propagación por onda directa.

Para realizar este tipo de propagación (ver figura 18) es necesario que exista línea de vista entre el transmisor y el receptor. En este tipo de comunicación se utilizan frecuencias por encima de los 50 Mhz. Esto se debe a que las frecuencias altas se ven menos afectadas por los fenómenos atmosféricos, además de que no requiere de antenas grandes para tener una transmisión efectiva de gran directividad, lo que provoca la confiabilidad de que la información llegue a otro lado del transmisor, este tipo de propagación se utiliza para televisión y la radio FM.

¹⁵ Steele R., Whitehead J., Wong W., 1995, Aspectos del Sistema Radio Celular, *IEEE Communications Magazine*, Volumen 5, Páginas 80-86

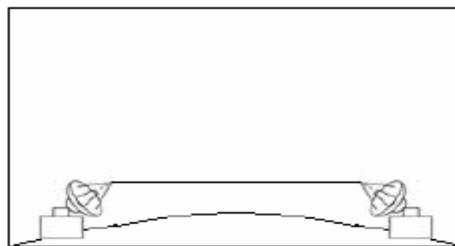


Figura 18. Propagación por onda directa.

2. Propagación por onda terrestre.

Este tipo de propagación es posible gracias a la difracción. Las ondas de radio siguen la curvatura de la tierra por la cual la señal de RF es capaz de alcanzar grandes distancias antes de que la señal sea absorbida por la tierra. Gracias al efecto de la difracción la señal puede sortear edificios y montañas.

La propagación por onda terrestre solo es útil para frecuencias inferiores a 2 MHz, siendo esta una de las mejores formas de transmitir una señal de RF de baja frecuencia a largas distancias. Este tipo de propagación es comúnmente usada por las radiodifusoras de media onda y de onda larga.

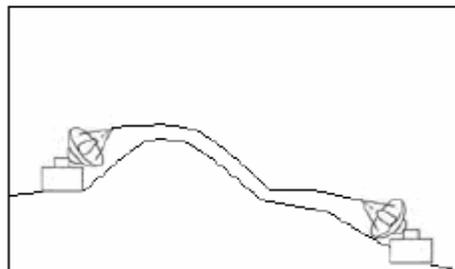


Figura 19. Propagación onda terrestre.

3. Propagación por onda refractada o ionosférica.

Es el tipo de propagación más importante. Aquí influirá la atmósfera como reflector y esto a su vez ocurre en la ionósfera. La ionósfera es una capa de la atmósfera que se encuentra entre los 40Km y los 320Km y está formada por aire altamente ionizado por la radiación solar. Cuando esta capa se encuentra eléctricamente cargada hace que la señal comience a cambiar en un cierto ángulo, esto lo hace sucesivamente hasta que se realiza una reflexión total y la señal regresa a tierra.

Este tipo de propagación puede ser capaz de conectar dos puntos, los cuales no tienen línea de vista y se puede transmitir a una distancia de hasta 4000Km. Si las condiciones de la atmósfera fueran adecuadas se podría conectar un punto a cualquier otro lado del planeta, esto es porque la señal refractada de la ionosfera también puede ser reflejada por la tierra y así sucesivamente.

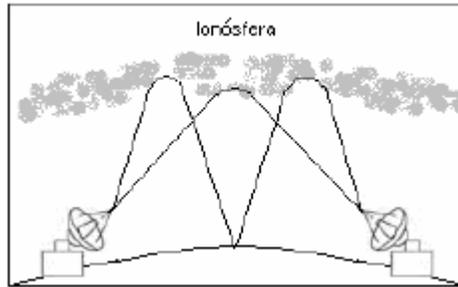


Figura 20. Propagación por onda ionosférica.

4. Propagación por difracción ionosférica.

Esta se produce cuando las ondas emitidas son superiores a los 30Mhz, debido a su frecuencia la señal no será reflejada por la ionosfera, pero si será difractada, por lo que una pequeña parte de la señal llegará a tierra y solo podrá ser captada por un receptor especialmente sensible. Es por esto que este tipo de transmisión se utiliza muy poco debido a su baja eficiencia.

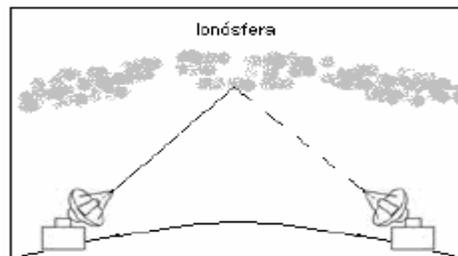


Figura 21. Propagación por difracción ionosférica.

5. Propagación por difracción meteórica.

Para este caso ocurre el mismo efecto de propagación que con el fenómeno de difracción ionosférica, pero aquí la ionosfera se alimenta por el frotamiento de los meteoritos que vienen a gran velocidad del espacio exterior. Este tipo de transmisión se utiliza para comunicaciones a corta distancia y solo funciona a horas y condiciones precisas.

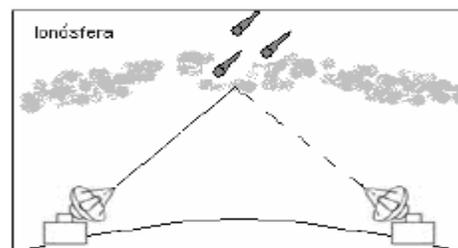


Figura 22. Propagación por difracción meteórica.

6. Propagación troposférica.

La capa troposférica se encuentra entre los 11Km y los 16Km. En esta capa se forman las nubes y la temperatura desciende rápidamente debido a la altura. Cuando se produce al inversión del gradiente de temperatura, se generan los denominados canales de ionización, los cuales son ideales para que las ondas de radio puedan viajar, este tipo de propagación es útil para frecuencias de VHF y UHF.

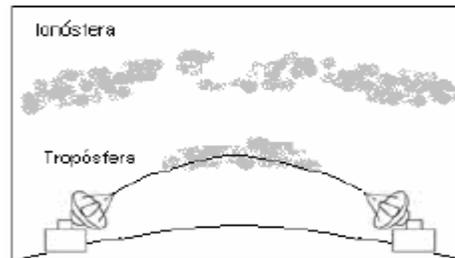


Figura 23. Propagación troposférica.

7. Propagación por reflexión más allá de la atmósfera.

Existen dos tipos de reflexión, la primera es la propagación por reflexión en la luna, la cual utiliza al satélite natural como reflector, para que este tipo de propagación funcione es necesario que se la pueda ver entre las dos estaciones tanto transmisora como receptora, además de que se utilizan frecuencias de VHF y UHF para poder cruzar la atmósfera. La segunda forma de propagación es la que utilizan los satélites artificiales como reflector y funciona bajo el mismo efecto que la primera.

En dos tipos de satélites artificiales:

1. Satélites pasivos: Estos se encuentran en órbita alrededor de la tierra y sirven como espejo, reflejando la onda de radio y regresándola a la tierra.
2. Satélites activos: Estos funcionan igual que los satélites pasivos, pero la diferencia es que estos reciben la señal y la amplifican para mandarla de regreso a la tierra.

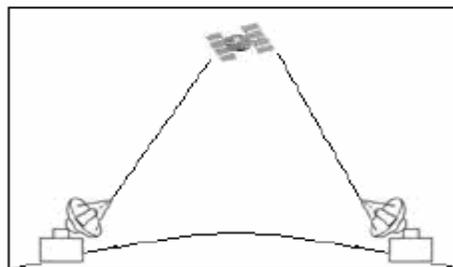


Figura 24. Propagación por reflexión más allá de la atmósfera.

8. Propagación de RF para comunicaciones satelitales.

Las frecuencias utilizadas en los sistemas satelitales se encuentran en el orden de 1Ghz a 30Ghz, la razón de utilizar este rango de frecuencias es para que las señales emitidas sean capaces de cruzar la atmósfera hacia el satélite y regresen a la tierra. Este tipo de enlaces no requieren de una línea de vista entre la estación transmisora y la receptora, para poderse comunicar una estación con otra es necesario crear el enlace por medio de un satélite, de modo que el receptor sea capaz de recibir la señal del emisor¹⁶.

Existen muchos fenómenos que alteran fácilmente las ondas de RF en los sistemas satelitales, es por esto que para realizar comunicaciones, ya sean satélite-tierra o tierra-satélite, las señales tienen que sortear todos los fenómenos antes mencionados generados por la tierra y la atmósfera en la propagación de señales de RF. Además existen otros efectos que dificultan las transmisiones satelitales y estos son:

- Pérdida en trayectoria por el espacio libre
- Ruido de precipitación atmosférica, producido por la lluvia intensa
- La radiación solar, así como la luna como repetidor solar.

1.12 ANTENAS

Conjunto de conductores debidamente asociados, que se emplea tanto para la recepción como para la transmisión de ondas electromagnéticas, que comprenden los rayos gamma, los rayos X, la luz visible y las ondas de radio.

Son dispositivos que sirven para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.

En realidad una antena es un trozo de material conductor al cual se le aplica una señal y esta es radiada por el espacio libre.

1.12.1 Parámetros generales de una antena. Una antena va a formar parte de un sistema, por lo que se tiene que definir parámetros que la describan y permitan evaluar el efecto que va a producir sobre el sistema.

1. Impedancia
2. Eficiencia
3. Patrón de radiación
4. Campos cercanos y lejanos
5. Ganancia directiva y ganancia de potencia

¹⁶ www.uazuay.edu.ec

6. Polarización de antena
7. Ancho del haz de la antena
8. Ancho de banda de la antena

1.12.2 Tipos de antenas. Existen diferentes tipos:

1. Antena colectiva
2. Antena de cuadro
3. Antena de reflector o parabólica
4. Antena lineal
5. Antena multibanda
6. Dipolo de media onda
7. Antena Yagi
8. Antenas VHF Y UHF

1.13 TRANSMISIÓN DE DATOS

Proceso de envío de información entre una fuente o emisor y un destino o receptor a través de un canal. La información que se transmite puede ser sonido, imágenes, archivos, texto o cualquier dato susceptible de ser adecuado al canal de comunicación.

1.13.1 Circuito de transmisión de datos. Para transmitir datos hace falta un par de ordenadores, un par de módems y un cable o una línea telefónica que los una: emisor, receptor y canal (ver figura 25).

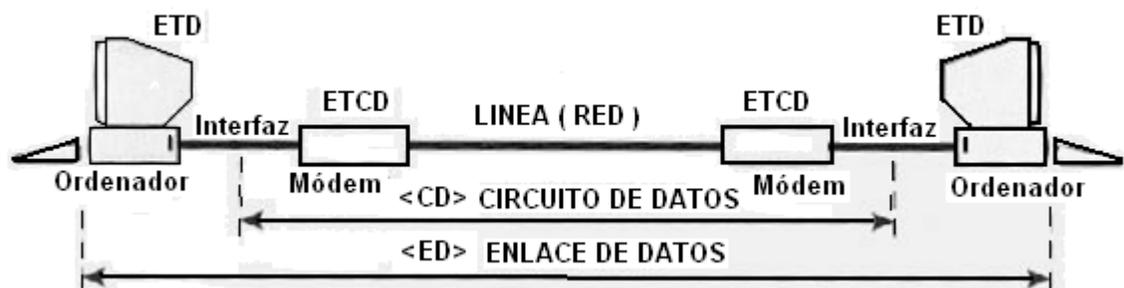


Figura 25. Circuito de transmisión de datos.

Sin embargo, cuando se habla de transmisión de datos en general, no siempre es un ordenador el origen o destino de la información, sino que a veces el terminal destino de la información es una simple impresora, o un complicado actuador de un sistema de telecontrol.

De la misma forma, no siempre es un equipo modulador-demodulador el utilizado para adaptar la señal a la línea de transmisión. Por ese motivo, cuando se habla

de forma general de la transmisión de datos, la terminología más exacta para hacer referencia a los elementos que intervienen en el sistema son los siguientes:

ETD: Equipo terminal de datos. También llamado en inglés DTE o Data Terminal Equipment. Este término hace referencia a cualquier equipo que sea fuente o destino final de los datos. También es misión del ETD el controlar la comunicación. Un ordenador puede ser un ETD.

ETCD: Equipo de terminación del circuito de datos. Llamado en inglés DCE o Data communications Equipment. Este término hace referencia al equipo que se encarga de transformar las señales portadoras de la información procedentes del ETD en otras que sean susceptibles de ser enviadas hasta el ETD distante a través de los medios de comunicación existentes. Un módem es un ETCD.

LINEA: Se le da el nombre de línea a cualquier medio de transmisión que une los dos ETCD. El término general de línea se le puede aplicar tanto a un simple cable como a un circuito de la red telefónica.

ED: Enlace de datos. Se le aplica el término de enlace de datos al conjunto de medios que unen la fuente original y el destino final de los datos transmitidos. El enlace de datos está formado por los controladores de la comunicación (programas), el ETCD y la línea.

CD: Circuito de datos. El circuito de datos lo forman los elementos necesarios para entregar en el ETD destino los datos emitidos por el ETD origen. El CD se refiere al conjunto formado por los ETCD y la línea.

1.13.2 Unidades de medida de la transmisión de datos. Siempre que se habla de transmisión de datos se habla de la transferencia de información entre dos puntos o dos soportes cualesquiera, utilizando para ello un medio físico que los interconecte.

Si se quiere hacer comparaciones entre los distintos equipos o procedimientos que permiten dicha conexión, hace falta ciertas unidades de medida que evalúen los distintos resultados. En un circuito de transmisión de datos se puede medir, por un lado, la velocidad con la que los datos son transmitidos, y por otro, la capacidad de transmisión que tienen los medios físicos o lógicos utilizados¹⁷.

1. Velocidad de Transmisión

En general, la velocidad de transmisión de información se mide por el número de bits transmitidos en un segundo. Esta medida recibe el nombre de bits por segundo o bps. Existen dos posibles medidas de transmisión.

¹⁷ Telefónica, Curso de Telecomunicaciones

Por un lado, se puede medir la velocidad con la que son transmitidos los bits de la fuente; a esta medida se le llama velocidad de transferencia de datos, y representa la cantidad de información (no de control de la comunicación) que se transmite por unidad de tiempo.

Por otro lado, se puede medir la velocidad con la que son transmitidos los bits por el terminal; a esta medida se le llama velocidad de transmisión serie, y representa la cantidad de bits de información y de control que el terminal, el ordenador, le entrega al módem por unidad de tiempo.

2. Capacidad de Transmisión

La transmisión de datos siempre se basa en la existencia de una línea que une el terminal emisor con el receptor.

Todos los medios de transmisión que envían señales a largas distancias utilizan equipos especiales de transmisión para asegurar que las señales introducidas por el extremo lleguen al otro en buenas condiciones.

Un medio de transmisión digital se caracteriza porque recibe información digital binaria en un extremo y la transmite al otro extremo. Un típico medio de transmisión digital es por ejemplo la fibra óptica, sin embargo también existe transmisión digital vía radio, cable o satélite. La capacidad de un medio de transmisión digital se mide en bits por segundo (bps). En el caso de la fibra óptica, son muy normales capacidades de 140 o 512 Megabits por segundo (Mbps).

La relación existente entre un medio de transmisión analógico y otro digital y la relación entre el ancho de banda en Hz y la capacidad en bps, esta dada por la Ley de Shannon, que dice lo siguiente:

$$C = \omega \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{R} \right)$$

Donde **C** es la capacidad máxima en bps.

W es el ancho de banda en Hz.

S/R es la relación entre la potencia de la señal (S) y la potencia del ruido (R) de la línea utilizada.

Examinando esta fórmula, resulta evidente que un incremento del ancho banda, un aumento de la potencia de la señal o una disminución de los niveles de ruido permitiría una mayor capacidad de transmisión de información en bits por segundo.

1.13.3 Principios de comunicación digital. El envío de una secuencia de datos entre dos dispositivos se puede realizar de dos maneras diferentes:

1. Serie: cuando los datos se transfieren bit a bit utilizando un único canal.
2. Paralelo: en el caso de que todos los bits de un carácter se transfieran simultáneamente, utilizando tantos canales como bits lo formen.

1.13.4 Dúplex y semidúplex. Hablando de comunicación en general, no sólo de transmisión de datos, podemos decir que existen tres formas de llevar a cabo una comunicación:

1. Simplex: la comunicación de la información se realiza en un sentido. A este tipo de comunicación también se le conoce como unidireccional.

Un ejemplo de comunicación simplex son las emisiones de los canales de televisión, las cuales se producen siempre en el sentido: estudio de TV - televidente. En telemática se tiene el ejemplo de los sistemas de telecontrol o telemedida.

2. Semidúplex (half-duplex): la comunicación de la información se lleva a cabo en ambos sentidos, pero no simultáneamente. Esto es, se trata de una comunicación bidireccional, donde no hay cruce de información en la línea. La información circula en un sentido o en otro, pero no en los dos a la vez.

El ejemplo típico de una comunicación semidúplex son las comunicaciones de radioaficionados o con walkie-talkie.

En transmisión de datos es utilizado corrientemente el modo semidúplex, incluso sobre circuitos que permiten el modo dúplex.

3. Dúplex (full-duplex): la comunicación se puede producir en ambos sentidos simultáneamente.

El ejemplo típico de una comunicación dúplex son las comunicaciones telefónicas, donde las dos personas que intervienen en la comunicación pueden hablar en cualquier momento, incluso simultáneamente.

1.13.5 Sincronización de la comunicación. Dos ordenadores pueden ponerse en comunicación bien en modo serie o bien en modo paralelo.

El modo paralelo es utilizado exclusivamente cuando los ordenadores están próximos el uno al otro, siendo el modo serie el adecuado para comunicaciones donde interviene algún tipo de red pública; esto es, para las grandes distancias.

Uno de los procesos más importantes que intervienen en la transmisión de datos en modo serie es la coordinación de la transmisión - recepción de los datos. Son tres los factores a tener en cuenta:

1. Los bits son enviados por el terminal origen de forma secuencial y con cierta cadencia. Si el terminal de destino tiene un mínimo error en la cadencia de lectura, puede llegar a leer un mismo bit dos veces o saltarse algún bit sin leer.
2. El terminal receptor recibe los bits unos tras otros por lo que tiene que tener algún procedimiento para diferenciar cada uno de los caracteres o bytes que componen la información transmitida. Este problema no lo tiene la transmisión en paralelo, donde los bits son transmitidos de ocho en ocho, no quedando dudas de la asociación de dichos bits para formar cada carácter.
3. Cuando se tienen que transmitir grandes volúmenes de información, ésta no se transmite toda de una vez, ya que eso provocaría que de haber un error se tendría que retransmitir todo desde un principio. Para evitar eso, la información no se transmite de un solo golpe, sino que se divide en secciones más pequeñas (grupos de, por ejemplo, 512 caracteres), llamadas tramas, bloques o paquetes. Eso quiere decir que hay que establecer un procedimiento que permita identificar qué carácter, de todos los recibidos, es el primero de cada trama.

Una comunicación entre ordenadores debe segregar los bits, los caracteres (bytes) y las tramas. La técnica que nos permite llevar a cabo esta segregación se conoce con el nombre de sincronismo, existiendo el sincronismo de bit (segregación de bits), sincronismo de carácter (segregación de caracteres) y sincronismo de trama (segregación de tramas).

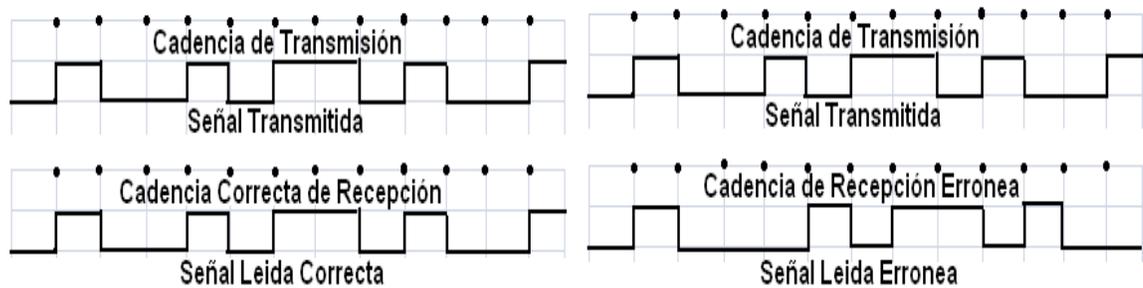


Figura 26. Importancia de la sincronización.

El sincronismo de bit es responsabilidad del hardware, mientras que el sincronismo de carácter y de trama es responsabilidad del protocolo de comunicaciones utilizado (el software).

Existen dos métodos para llevar a cabo el sincronismo de bit: el método asíncrono (también llamado de arranque y parada o start-stop) y el método síncrono.

Transmisión asíncrona.

En una transmisión asíncrona se tiene que para cada carácter emitido se necesita transmitir un bit de arranque (bit 0) seguido por 7 u 8 bits de información que identifican al carácter de acuerdo con el código ASCII, y termina con el bit parada (bit 1).

Con el sistema asíncrono de transmisión, se resuelve simultáneamente el problema de la sincronización de bit y de la sincronización de carácter. Cada bit se identifica sin problemas debido a que el bit de arranque sirve de ajuste de la base de tiempos. Por su lado, el primer bit de cada carácter es siempre el bit siguiente al bit arranque.

El inconveniente del sistema asíncrono es que por cada carácter enviado, por cada 7 u 8 bits de información, se necesitan 2,5 o 3 bits de control. Esto es, el sistema asíncrono desperdicia entre el 23,8% y el 30% del tiempo en enviar caracteres de control de sincronismo de bit.

Transmisión síncrona.

El objetivo de la transmisión síncrona es enviar el máximo posible de bits por unidad de tiempo utilizando un mismo canal de comunicación.

El problema que se pretende resolver es cómo hacer que la base de tiempos (señal de reloj) utilizada por el terminal receptor para fijar la cadencia con la que debe leer los datos, sea lo suficientemente parecida a la base de tiempos del terminal emisor como para que no se produzcan errores de lectura. Al utilizar los terminales origen y destino distintas bases de tiempos, distintas señales de reloj, y dado que los circuitos electrónicos no son perfectos, una pequeñísima desviación puede producir una doble lectura de un bit o el salto de un bit sin leer.

Con el sistema síncrono, la base de tiempo que genera el terminal emisor para transmitir los datos es recogida por el terminal receptor a partir de los propios cambios de estado de los datos recibidos, es decir, la sincronización se lleva a cabo utilizando para ello los mismos cambios de estado de las señales transmitidas.

Para asegurar la sincronización, antes de empezar a transmitir los datos de información, el terminal emisor transmite uno o más caracteres de sincronización llamados SYN. Esos caracteres están formados por una combinación de 0 y 1 alternos (0101010).

Por otro lado, los bytes de información son enviados agrupados en tramas, de forma que después de cada trama se envía de nuevo el carácter SYN.

La ventaja de los sistemas síncronos es que no se desperdicia tiempo en realizar el sincronismo, como ocurre en los sistemas asíncronos.

1.13.6 Control de Redundancia Cíclica CRC. Es uno de los algoritmos más usados y versátiles para el chequeo de errores en sistemas de comunicación digital.

Los protocolos de comunicación más populares como CAN, USB, HDLC y Ethernet emplean CRC para la detección de errores.

Normalmente, para la detección de errores en los sistemas de comunicación digital, un esquema simple de detección de errores (checksum) es calculado del mensaje que necesita ser transmitido. El checksum calculado es adicionado al final del mensaje y es transmitido. En el receptor, el checksum del mensaje es calculado y comparado con el transmitido. Si ambos son iguales, el mensaje recibido es tratado como libre de errores.

CRC trabaja en forma similar, pero tiene capacidades superiores para la detección de errores que las formas convencionales. Diferentes polinomios CRC son empleados para la detección de errores. El tamaño del CRC, es decir, la cantidad de información adicionada al mensaje depende del polinomio escogido.

1.14 MODULACIÓN

En telecomunicación el término modulación engloba el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal (ver figura 27). Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos.

Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal modulada, que es la información que se desea transmitir.

Una portadora es una senoide de alta frecuencia, y uno de sus parámetros (tal como la amplitud, la frecuencia o la fase) se varía en proporción a la señal de banda base $s(t)$. De acuerdo con esto, se obtiene la modulación en amplitud (AM), la modulación en frecuencia (FM), o la modulación en fase (PM).

Existen varias razones para modular, entre ellas:

- Facilita la propagación de la señal de información por cable o por el aire.
- Ordena el radioespectro, distribuyendo canales a cada información distinta.
- Disminuye dimensiones de antenas.

- Optimiza el ancho de banda de cada canal
- Evita interferencia entre canales.
- Protege a la Información de las degradaciones por ruido.
- Define la calidad de la información transmitida

La siguiente figura muestra una señal de banda base $s(t)$ y las formas de onda de AM y FM correspondientes. En AM la amplitud de la portadora varía en proporción a $s(t)$, y en FM, la frecuencia de la portadora varía en proporción a $s(t)$ ¹⁸.

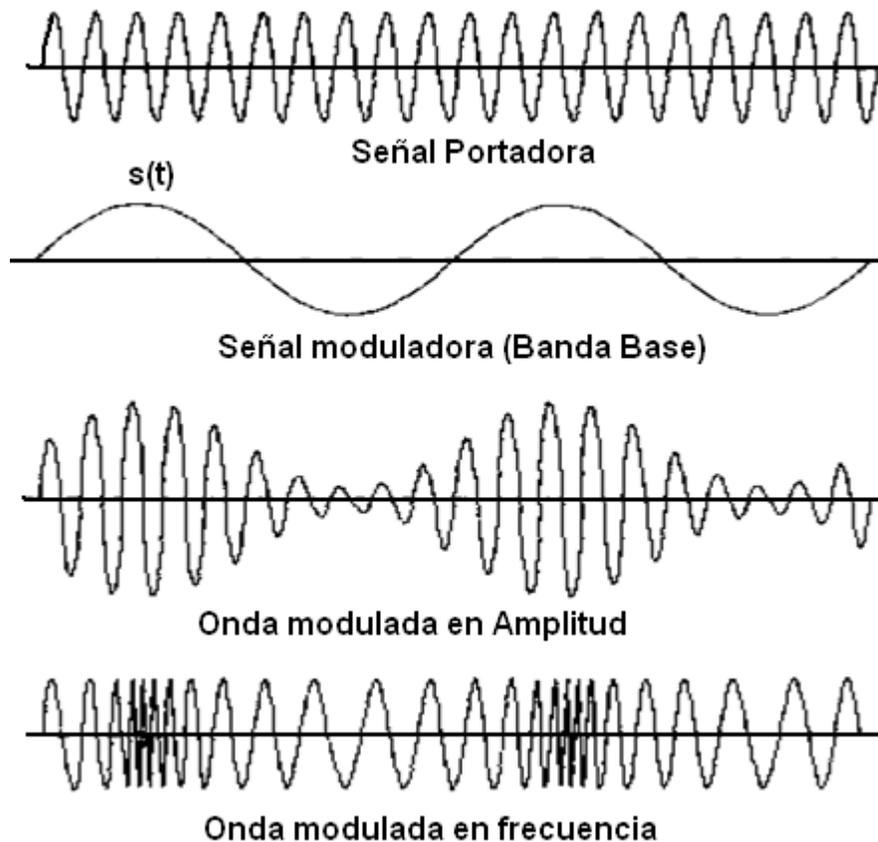


Figura 27. Ejemplos de modulación.

Dependiendo del parámetro sobre el que se actúe, tenemos los distintos tipos de modulación:

- Modulación en doble banda lateral (DSB)
- Modulación en amplitud (AM)
- Modulación en fase (PM)
- Modulación en frecuencia (FM)
- Modulación banda lateral única (SSB, ó BLU)

¹⁸ www.qsl.net/ea2ak

- Modulación en banda lateral vestigial (VSB, VSB-AM, ó BLV)
- Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)
- Modulación por división ortogonal de frecuencia (OFDM), también conocida como 'Modulación por multitono discreto' (DMT)
- Modulación por longitud de onda
- Modulación en anillo
- Modulación por desplazamiento de frecuencia Gausiana (GFSK)

También se emplean técnicas de modulación por impulsos, pudiendo citar entre ellas:

- Modulación por impulsos codificados (PCM)
- Modulación por anchura de impulsos (PWM)
- Modulación por duración de pulsos (PDM)
- Modulación por amplitud de impulsos (PAM)
- Modulación por posición de impulsos (PPM)

Cuando la señal moduladora es una indicación simple on-off a baja velocidad, como una transmisión en código Morse o radioteletipo (RTTY), la modulación se denomina manipulación, modulación por desplazamiento, así se tiene:

- Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)
- Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)
- Modulación por desplazamiento de fase (PSK)
- Modulación por desplazamiento de amplitud y fase (APSK o APK)

Para modular, frecuentemente se utilizan dispositivos electrónicos semiconductores con características no lineales (diodos, transistores, bulbos), resistencias, inductancias, capacitores y combinaciones entre ellos. Estos realizan procesos eléctricos cuyo funcionamiento es descrito de su representación matemática:

$$s(t) = A \sin (\omega t + \varphi)$$

Donde: A es la amplitud de la portadora (volts)

ω es la frecuencia angular de la portadora (rad/seg)

φ Ángulo de fase de la portadora (rad)

1.14.1 Modulación por desplazamiento de frecuencia Gausiana GFSK. La modulación por desplazamiento de frecuencia Gausiana (Gaussian Frequency Shift Keying o GFSK) es un tipo de modulación donde un 1 lógico es representado mediante una desviación positiva (incremento) de la frecuencia de la onda portadora, y un 0 mediante una desviación negativa (decremento) de la misma.

GFSK es una versión mejorada de la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK). En GFSK la información es pasada por un filtro Gausiano antes de modular la señal. Esto se traduce en un espectro de energía más estrecho de la señal modulada, lo cual permite mayores velocidades de transferencia sobre un mismo canal.



Figura 28. Principio del filtro Gausiano sobre la banda base.

1.15 TRANSCEIVER

En telecomunicaciones es un dispositivo que combina en un solo paquete al Transmisor y al Receptor de señales de radiofrecuencia (RF), sirve para conectar aparatos por vía inalámbrica.

El término se aplica a los dispositivos de comunicaciones inalámbricas tales como teléfonos celulares, teléfonos inalámbricos, radios de dos vías.

Algunos transceiver son diseñados para permitir recibir señales durante periodos de transmisión. Este modo es conocido como Full Duplex, y requiere que el transmisor y el receptor trabajen a distintas frecuencias así la señal transmitida no interfiere con la de recepción. Los celulares y los teléfonos inalámbricos utilizan este sistema.

1.16 USB

USB es una interfaz para transmisión de datos y distribución de energía que ha sido introducida en el mercado de PCs y periféricos para mejorar las lentas interfases serie (RS-232) y paralelo. Esta interfaz de 4 hilos “plug and play”, distribuye 5V para alimentación, transmite datos y está siendo adoptada rápidamente por la industria informática.



Figura 29. Símbolo, dispositivo y conector tipo A macho USB.

El Universal Serial Bus USB, es un bus serie que hace posible la conexión de hasta 127 periféricos a una única puerta de un PC, con detección y configuración automáticas, siendo esto posible con el PC conectado a la red y sin tener que instalar ningún hardware ni software adicionales, y sin tener que reiniciar el ordenador.

El USB fué desarrollado por empresas líderes del sector de las telecomunicaciones y de los ordenadores: Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC y Northern Telecom. En este momento ya hay en el mercado PCs y periféricos (teclados, ratones, monitores, etc.) que disponen de puertos USB¹⁹.

1.16.1 Organización del USB. USB emplea una topología de estrellas apiladas que permite el funcionamiento simultáneo de 127 dispositivos a la vez. En la raíz o vértice de las capas, está el controlador anfitrión o host que controla todo el tráfico que circula por el bus. Esta topología permite a muchos dispositivos conectarse a un único bus lógico sin que los dispositivos que se encuentran más abajo en la pirámide sufran retardo.

A diferencia de otras arquitecturas, USB no es un bus de almacenamiento y envío, de forma que no hay retardo en el envío de un paquete de datos hacia capas inferiores.

El sistema de bus serie universal USB consta de tres componentes (ver figura 30):

1. Controlador
2. Hubs o concentradores
3. Periféricos.

¹⁹ www.pablohoffman.com

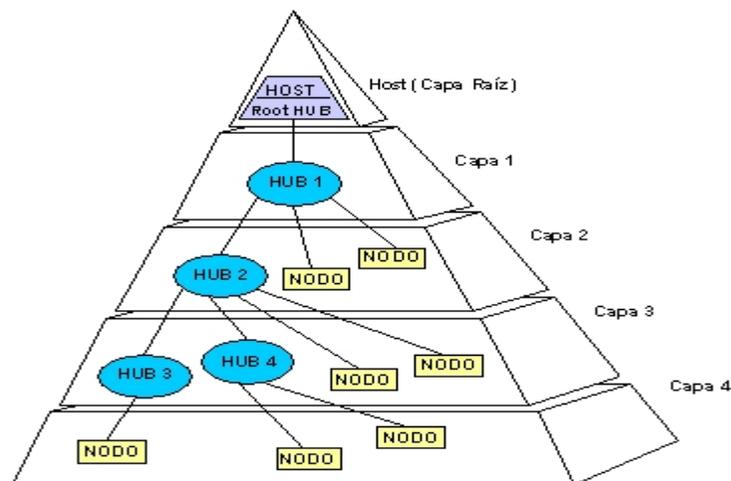


Figura 30. Estructura de capas del bus USB.

1. Controlador: Reside dentro del PC y es responsable de las comunicaciones entre los periféricos USB y la CPU del PC. El controlador es también responsable de la admisión de los periféricos dentro del bus, tanto si se detecta una conexión como una desconexión. Para cada periférico añadido, el controlador determina su tipo y le asigna una dirección lógica para utilizarla siempre en las comunicaciones con el mismo. Si se producen errores durante la conexión, el controlador lo comunica a la CPU, la cual se lo transmite al usuario. Una vez se ha producido la conexión correctamente, el controlador asigna al periférico los recursos del sistema que éste precise para su funcionamiento.

El controlador es también responsable del control de flujo de datos entre el periférico y la CPU.

2. Los concentradores o Hubs: Son distribuidores inteligentes de datos y alimentación, y hacen posible la conexión a un único puerto USB de 127 dispositivos.

3. Periféricos: USB soporta periféricos de baja y media velocidad. Empleando dos velocidades para la transmisión de datos de 1.5Mbps y 12Mbps se consigue una utilización más eficiente de sus recursos. Los periféricos de baja velocidad tales como teclados, ratones, joysticks, y otros periféricos para juegos, no requieren 12 Mbps. Empleando para ellos 1.5 Mbps, se puede dedicar más recursos del sistema a periféricos tales como monitores, impresoras, módems, escáneres, equipos de audio, etc., que precisan de velocidades más altas para transmitir mayor volumen de datos o datos cuya dependencia temporal es más estricta.

En la figura 31 se puede ver cómo los hubs proporcionan conectividad a toda una serie de dispositivos periféricos.

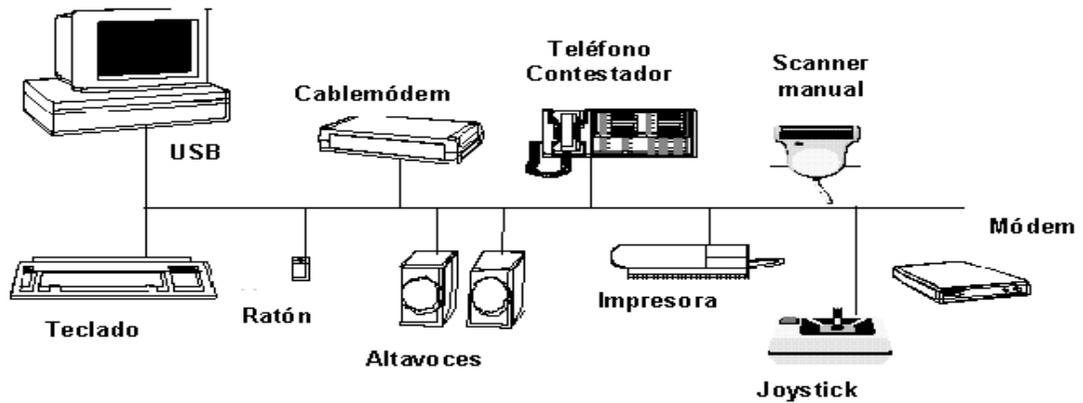


Figura 31. Dispositivos USB conectados a un PC.

1.16.2 Diagrama de capas del USB. La conexión entre un host y un dispositivo que está constituido por hardware al final de un cable USB y realiza alguna función útil para el usuario requiere la interacción entre las capas. La capa de interfaz de bus USB proporciona la conexión física entre el host y el dispositivo. La capa de dispositivo USB es la que permite que el software del sistema USB realice operaciones genéricas USB con el dispositivo²⁰ (ver figura 32).

En el diagrama de capas de la siguiente figura, se puede ver cómo fluye la información entre las diferentes capas a nivel real y a nivel lógico.

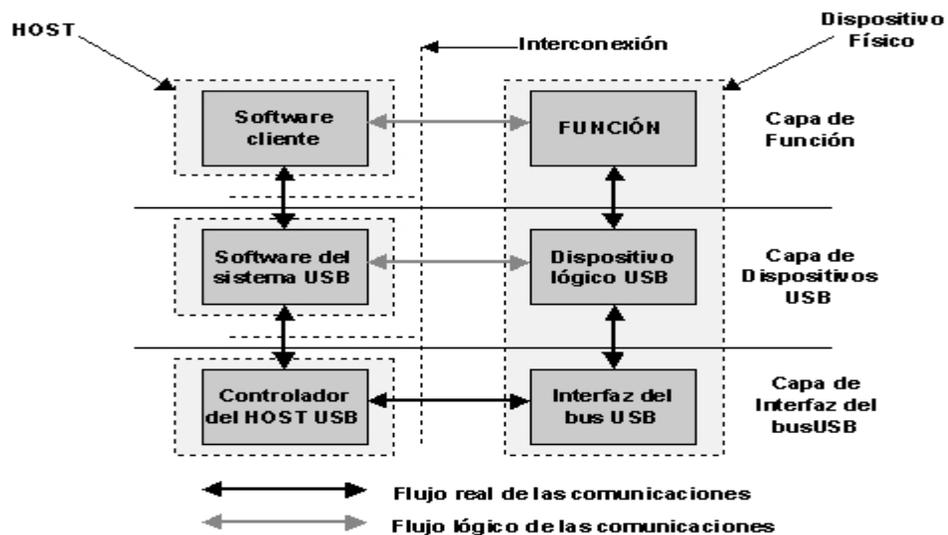


Figura 32. Capas del sistema de comunicaciones USB.

²⁰ www.images.apple.com

1.16.3 Cables. USB transfiere señales y energía a los periféricos utilizando un cable de 4 hilos, apantallado para transmisiones a 12 Mbps y no apantallado para transmisiones a 1.5 Mbps. Dos conductores son para alimentación y los otros dos para señal, debiendo estos últimos ser trenzados o no según la velocidad de transmisión (ver figura 33).

El calibre de los conductores destinados a alimentación de los periféricos varía desde 20 a 26 AWG, mientras que el de los conductores de señal es de 28 AWG. La longitud máxima de los cables es de 5 metros.

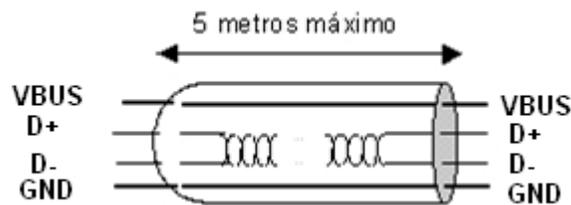


Figura 33. Esquema del cable para USB.

1.17 RS232.

En telecomunicaciones, RS 232 (RS-232C o Recommended Standard-232C) es un estándar para la conexión serial de señales de datos binarias entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Equipo de terminación del circuito de datos). El DCE sería el dispositivo que se conecta (como un mouse, impresora, monitor, módem, etc.) y un DTE sería el dispositivo al que se conecta (la computadora)²¹.

El puerto serie RS-232C, presente en los ordenadores actuales, es una de las formas comúnmente usadas para realizar transmisiones de datos entre ordenadores. El RS-232C consiste en un conector tipo DB-25 de 25 pines, aunque es normal encontrar la versión de 9 pines DB-9, mas barato e incluso mas extendido para cierto tipo de periféricos (como el ratón serie del PC). En cualquier caso, los PCs no suelen emplear más de 9 pines en el conector DB-25. Las señales con las que trabaja este puerto serie son digitales, de +12V (0 lógico) y -12V (1 lógico), para la entrada y salida de datos, y a la inversa en las señales de control. El estado de reposo en la entrada y salida de datos es -12V. Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros.

Una vez que ha comenzado la transmisión de un dato, los bits tienen que llegar uno detrás de otro a una velocidad constante y en determinados instantes de tiempo. Por eso se dice que el RS-232 es asíncrono por carácter y síncrono por

²¹ www.elegsa.com.ar

bit. Los pines que portan los datos son RXD y TXD. Los demás se encargan de otros trabajos.

1.18 JOYSTICK

En informática, el joystick es un dispositivo señalador muy conocido, utilizado mayoritariamente para juegos de ordenador o computadora, pero que también se emplea para otras tareas.

Un joystick o palanca de juegos tiene normalmente una base de plástico redonda o rectangular, a la que está acoplada una palanca vertical. Los botones de control se localizan sobre la base y algunas veces en la parte superior de la palanca, que puede moverse en todas direcciones para controlar el movimiento de un objeto en la pantalla. Los botones activan diversos elementos de software, generalmente produciendo un efecto en la pantalla. Un joystick es normalmente un dispositivo señalador relativo, que mueve un objeto en la pantalla cuando la palanca se mueve con respecto al centro y que detiene el movimiento cuando se suelta. En aplicaciones industriales de control, el joystick puede ser también un dispositivo señalador absoluto, en el que con cada posición de la palanca se marca una localización específica en la pantalla.



Figura 34. Joystick.

Es un dispositivo señalador o de entrada utilizado para controlar un cursor en la pantalla con el que se realizan acciones como presionar botones en ventanas de cuadros de diálogo, elegir elementos de menú y seleccionar rangos de celdas en hojas de cálculo o palabras, o grupos de palabras, en documentos.

Los dispositivos señaladores se usan también con frecuencia para crear dibujos o formas gráficas. El dispositivo señalador más común es el ratón o mouse, otros dispositivos señaladores se incluyen la tableta digitalizadora, el buril, el lápiz óptico, el cursor (tableta digitalizadora), la pantalla táctil y el trackball.

1.19 EXPLORACIÓN DE UNA IMAGEN

La telegrafía o teletransmisión de imágenes consiste en explorar la imagen original mediante un detector de luminosidad, convirtiendo dicho valor en una señal eléctrica, por eso es necesario la utilización de una fuente luminosa para poder capturar las imágenes o se puede utilizar una cámara CCD que no necesita fuentes luminosas de respaldo.

El principio fundamental de la transmisión de imágenes consiste en explorar por puntos los valores de luminosidad de la imagen o texto, transmitiéndolos sucesivamente al lugar de reproducción²².

Las fases para el tratamiento de una imagen comprenden las siguientes etapas:

1. Se realiza una exploración lineal de la imagen original.
2. Los valores de luminosidad obtenidos en la exploración de cada punto de la imagen se transforman en señales eléctricas.
3. Estas señales son transportadas o almacenadas en orden.
4. Una vez que se ha conseguido obtener una señal eléctrica, se realizan todas las operaciones que se deseen, transformarla, retocarla, transmitirla, etc.

1.19.1 Procesamiento de imágenes. El procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar. La imagen puede haber sido generada de muchas maneras, por ejemplo, fotográficamente, o electrónicamente, por medio de monitores de televisión.

El procesamiento de las imágenes se puede, en general, hacer por medio de métodos ópticos, o bien por medio de métodos digitales en una computadora.

Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes es posible manipular imágenes digitales en un computador con el fin de obtener información objetiva de la escena

²² Goñi, Miguel J. (1987): "Técnicas de vídeo y televisión", De. Nueva Lente.

captada por una cámara. Son dos las tareas fundamentales del Procesamiento Digital de Imágenes:

- Mejoramiento de una imagen digital con fines interpretativos.
- Toma de decisiones de manera automática de acuerdo al contenido de la imagen digital.

Como aplicaciones típicas se puede mencionar: detección de presencia de objetos, inspección visual automática, medición de características geométricas y de color de objetos, clasificación de objetos, restauración de imágenes y mejoramiento de la calidad de las imágenes.

1.19.2 Procesamiento digital. El procesamiento digital de imágenes se efectúa dividiendo la imagen en un arreglo rectangular de elementos. Cada elemento de la imagen así dividida se conoce con el nombre de pixel. El siguiente paso es asignar un valor numérico a la luminosidad promedio de cada pixel. Así, los valores de la luminosidad de cada pixel, con sus coordenadas que indican su posición, definen completamente la imagen.

Todos estos números se almacenan en la memoria de una computadora.

El tercer paso es alterar los valores de la luminosidad de los pixeles mediante las operaciones o transformaciones matemáticas necesarias, a fin de hacer que resalten los detalles de la imagen que sean convenientes. El paso final es pasar la representación de estos pixeles a un monitor de televisión de alta definición, con el fin de mostrar la imagen procesada.

La utilidad del procesamiento de imágenes es muy amplia y abarca muchos campos. Un ejemplo son las imágenes obtenidas con fines de diagnóstico médico. Otro ejemplo son las imágenes aéreas obtenidas para realizar exámenes del terreno. Mediante este método se pueden analizar los recursos naturales, las fallas geológicas del terreno, etc.

1.20 DESARROLLO DE SOFTWARE

Se entiende como software al conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.²³

Para realizar bien el desarrollo de software es esencial realizar una especificación completa de los requerimientos de los mismos. La tarea de análisis de los requerimientos es un proceso de descubrimiento y refinamiento. El ámbito del

²³ Microsoft® MSDN® 2004. © 1993-2004 Microsoft Corporation.

programa, establecido inicialmente durante la ingeniería del sistema, es refinado en detalle.

Para entender el proceso de desarrollo de una aplicación, es útil comprender algunos de los conceptos clave alrededor de los cuales está construido el lenguaje de programación. Puesto que Visual Basic es un lenguaje de desarrollo para Windows es posiblemente muy útil entre la programación para Windows frente a otros entornos, sin embargo entornos como MATLAB incluyen entre sus herramientas, paquetes completos para tratamiento de imágenes lo cual lo puede convertir en un instrumento bastante útil, además de sus poderosas funciones matemáticas, se debe considerar a MATLAB como un valioso elemento de software.

1.20.1 Herramientas para el desarrollo de software:

Herramientas para el diseño de sistemas: Apoyan el proceso de formular las características que debe tener una aplicación, tales como entradas, salidas, procesamiento y especificaciones de control. Muchas incluyen herramientas para crear especificaciones de datos²⁴.

Herramientas para presentación: Se utilizan para describir la posición de datos, mensajes y encabezados sobre las pantallas de las terminales, reportes y otros medios de entrada y salida.

Herramientas para ingeniería de software: Apoyan el proceso de formular diseños de Software, incluyendo procedimientos y controles, así como la documentación correspondiente.

Generadores de códigos: Producen el código fuente y las aplicaciones a partir de especificaciones funcionales bien articuladas.

Herramientas para pruebas: Apoyan la fase de la evaluación de un Sistema o de partes del mismo contra las especificaciones. Incluyen facilidades para examinar la correcta operación del Sistema así como el grado de perfección alcanzado en comparación con las expectativas.

1.20.2 Visual Basic. Es la versión del lenguaje de programación BASIC, orientado al sistema operativo Windows con todas sus características (manejo de ventanas y de controles, iconos, gráficos, funciones de la API, etc.).

²⁴ Roger S. Pressman; Ingeniería del Software; 4ª Edición; Mc Graw Hill.

Es un lenguaje guiado por eventos, y centrado en un motor de formularios que facilita el rápido desarrollo de aplicaciones gráficas. Su sintaxis, derivada del antiguo BASIC, ha sido ampliada con el tiempo al agregarse las características típicas de los lenguajes estructurados modernos. No requiere de manejo de punteros y posee un manejo muy sencillo de cadenas de caracteres. Posee varias bibliotecas para manejo de bases de datos, pudiendo conectar con cualquier base de datos a través de ODBC (Informix, DBase, Acces, MySQL, SQL Server, PostgreSQL ,etc) a través de ADO.

El compilador de Microsoft genera ejecutables que requieren una DLL para que funcionen, en algunos casos llamada MSVBVMxy.DLL (acrónimo de "MicroSoft Visual Basic Virtual Machine x.y", siendo x.y la versión) y en otros VBRUNXXX.DLL ("Visual Basic Runtime X.XX"), que provee todas las funciones implementadas en el lenguaje. Además existen un gran número de bibliotecas (DLL) que facilitan el acceso a muchas funciones del sistema operativo y la integración con otras aplicaciones. Sin embargo esto sólo es una limitación en sistemas obsoletos, ya que las bibliotecas necesarias para ejecutar programas en Visual Basic vienen de serie en todas las versiones de Windows desde Windows 2000.

Visual Basic es una forma de programación basada en objetos u orientada al evento. Al ser Windows un entorno multitarea, varias aplicaciones pueden ejecutarse a la vez (esta es una de las diferencias entre este sistema operativo y otros como MS-DOS); entonces las aplicaciones permanecen a la espera de acciones de parte del usuario, de parte de sí mismas o del sistema operativo para ejecutar una parte de su código y volver al estado de espera. Estas acciones se denominan eventos y el código que se ejecuta son funciones y métodos, todos estos se encuentran dentro de unas entidades llamadas Objetos.

Con Visual Basic se pueden crear aplicaciones (*.exe), librerías dinámicas (*.dll), controles ActiveX (*.ocx) entre otras cosas. Contiene algunos complementos para utilizar dentro del entorno de trabajo para gestionar bases de datos, crear archivos de recursos (*.res), utilizar la API de Windows, crear clases, etc. Posee muy buenas herramientas de depuración, para ejecutar el programa de forma controlada y verificar los valores de variables, detener el flujo en un momento dado y más.

Ventajas

- Es un lenguaje RAD.
- Posee una curva de aprendizaje muy rápida.
- Integra el diseño e implementación de formularios de Windows.
- Permite usar con suma facilidad la plataforma de los sistemas Windows.
- El código en Visual Basic es fácilmente migrable a otros lenguajes.

Inconvenientes

- Sin soporte de Microsoft desde el 4 de Abril de 2008 (Pero el MSDN es muy completo).
- No es multiplataforma (Sin embargo se pueden usar emuladores e interpretes para correrlos en otras plataformas).
- Por defecto permite la programación sin declaración de variables. (que puede ser corregida escribiendo la frase Option Explicit en el encabezado de cada formulario, entonces hay que declarar todas las variables a utilizar, lo que genera código más puro).
- No permite programación a bajo nivel ni incrustar secciones de código en ASM.
- Sólo permite el uso de funciones de librerías dinámicas (DLL) stdcall.
- Algunas funciones están indocumentadas.
- Es un lenguaje basado en objetos y no orientado a objetos.
- No maneja muy bien los apuntadores de memoria.
- No soporta tratamiento de procesos como parte del lenguaje.
- No incluye operadores de desplazamiento de bits como parte del lenguaje.
- No permite el manejo de memoria dinámica, punteros, etc. como parte del lenguaje.
- No avisa de ciertos errores o advertencias (se puede configurar el compilador para generar ejecutables sin los controladores de desbordamiento de enteros o las comprobaciones de límites en matrices entre otros, dejando así más de la mano del programador la tarea de controlar dichos errores)
- No tiene instrucciones de pre-procesamiento.
- El tratamiento de mensajes de Windows es básico e indirecto.
- La gran gama de controles incorporados son, sin embargo en algunos casos, muy generales, lo que lleva a tener que reprogramar nuevos controles para una necesidad concreta de la aplicación. Esto cambia radicalmente en Visual Basic .NET donde es posible reprogramar y mejorar o reutilizar los controles existentes.
- Los controles personalizados no mejoran la potencia de la API de Windows, y en determinados casos acudir a ésta será el único modo de conseguir el control personalizado deseado

1.20.3 Lenguaje C. Es un lenguaje de programación creado en 1972 por Ken Thompson y Dennis M. Ritchie en los Laboratorios Bell como evolución del anterior lenguaje B, a su vez basado en BCPL.

Es un lenguaje orientado a la implementación de Sistemas Operativos, concretamente Unix. C es apreciado por la eficiencia del código que produce y es el lenguaje de programación más popular para crear software de sistemas, aunque también se utiliza para crear aplicaciones.

Se trata de un lenguaje débilmente tipificado de medio nivel pero con muchas características de bajo nivel. Dispone de las estructuras típicas de los lenguajes pero, a su vez, dispone de construcciones del lenguaje que permiten un control a muy bajo nivel. Los compiladores suelen ofrecer extensiones al lenguaje que posibilitan mezclar código en ensamblador con código C o acceder directamente a memoria o dispositivos periféricos.

La primera estandarización del lenguaje C fue en ANSI, con el estándar X3.159-1989. El lenguaje que define este estándar fue conocido como ANSI C. Posteriormente, en 1990, fue ratificado como estándar ISO (ISO/IEC 9899:1990). La adopción de este estándar es muy amplia por lo que, si los programas creados lo siguen, el código es portátil entre plataformas y/o arquitecturas. En la práctica, los programadores suelen usar elementos no-portátiles dependientes del compilador o del sistema operativo.

Características

- Un núcleo del lenguaje simple, con funcionalidades añadidas importantes, como funciones matemáticas y de manejo de ficheros, proporcionadas por bibliotecas.
- Es un lenguaje muy flexible que permite programar con múltiples estilos. Uno de los más empleados es el estructurado no llevado al extremo (permitiendo ciertas licencias rupturistas).
- Un sistema de tipos que impide operaciones sin sentido.
- Usa un lenguaje de preprocesado, el preprocesador de C, para tareas como definir macros e incluir múltiples ficheros de código fuente.
- Acceso a memoria de bajo nivel mediante el uso de punteros.
- Interrupciones al procesador con uniones.
- Un conjunto reducido de palabras clave.
- Por defecto, el paso de parámetros a una función se realiza por valor. El paso por referencia se consigue pasando explícitamente a las funciones las direcciones de memoria de dichos parámetros.
- Punteros a funciones y variables estáticas, que permiten una forma rudimentaria de encapsulado y polimorfismo.
- Tipos de datos agregados (struct) que permiten que datos relacionados (como un empleado, que tiene un id, un nombre y un salario) se combinen y se manipulen como un todo (en una única variable "empleado").

Ventajas

- Lenguaje muy eficiente puesto que es posible utilizar sus características de bajo nivel para realizar implementaciones óptimas.
- A pesar de su bajo nivel es el lenguaje más portado en existencia, habiendo compiladores para casi todos los sistemas conocidos.
- Proporciona facilidades para realizar programas modulares y/o utilizar código o bibliotecas existentes.

Desventajas

- El mayor problema que presenta el desarrollo con el lenguaje C frente a los lenguajes de tipo de dato dinámico es su gran diferencia de velocidad de desarrollo, siendo mucho más lento en C. En cambio, los programas terminados presentan una mejor utilización de los recursos hardware. El mantenimiento también es más difícil y costoso que con el resto de lenguajes.

1.20.4 MATLAB. Es un entorno y un lenguaje de programación. Uno de sus puntos fuertes es el hecho de que el lenguaje de Matlab permite al usuario construir sus propias herramientas reusables. Se puede crear fácilmente funciones y programas especiales (conocidos como archivos-M) en código Matlab. Se pueden agrupar en Toolbox: colección especializada de archivos-M para trabajar en clases particulares de problemas.

La manera más fácil de visualizar Matlab es pensar en él como en una calculadora totalmente equipada, aunque, en realidad, ofrece muchas más características y es mucho más versátil que cualquier calculadora. Matlab es una herramienta para hacer cálculos matemáticos. Es una plataforma de desarrollo de aplicaciones, donde conjuntos de herramientas inteligentes para la resolución de problemas en áreas de aplicación específica, a menudo llamadas toolboxes, se pueden desarrollar con facilidad relativa.

Utilidades

- Cálculo matricial y Algebra lineal.
- Polinomios e interpolación.
- Regresión.
- Ajuste de funciones.
- Ecuaciones diferenciales ordinarias.
- Integración.
- Funciones.
- Gráficos bi y tridimensionales.

Herramientas (toolboxes)

- Optimización.
- Procesamiento de señales.
- Ecuaciones en derivadas parciales.
- Simulink: Simulación no lineal.

1.21 SENSORES

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Hay sensores que no solo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable sensada dentro de un rango (span), para fines de control de dicha variable en un proceso.

Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de manufactura, Robótica, etc.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc.

1.21.1 Características de un sensor. Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

- Rango de medida: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- Desviación de cero (Offset): valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.

- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- Repetitividad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida.

Pueden ser de indicación directa (un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

A continuación se nombran algunos tipos de sensores que hacen la transducción de alguna magnitud a eléctrica:

- Termistor: temperatura-resistencia
- Cámara dentro o fuera del espectro visible: Nocturna o Infrarrojos (CCD)
Fotoeléctrica: intensidad de luz-corriente
- Ultrasonidos: Micrófono: presión del sonido-tensión
- Análisis químicos que sustituyan el gusto o el olfato: Nariz o lengua electrónica. Electroquímica: química-tensión

1.22 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión atmosférica es la presión ejercida por el aire en cualquier punto de la atmósfera. Normalmente se refiere a la presión atmosférica terrestre, pero el término es extensible a la atmósfera de cualquier planeta o satélite.

La atmósfera en la tierra tiene una presión media de 1013.25 hectopascales (o milibares (mbar)) al nivel del mar, medido en latitud 45°. La medida de presión del

Sistema Internacional de Unidades (SI) es el newton por metro cuadrado (N/m²) o Pascal (Pa). La presión atmosférica a nivel del mar en unidades internacionales es 101325 N/m² ó Pa.

Se denomina atmósfera a la capa de aire, constituida por una mezcla homogénea de gases que rodea un planeta, variando drásticamente de uno a otro. Su peso, origina sobre todos los cuerpos sumergidos en ella, una presión denominada atmosférica, que se puede evidenciar mediante la experimentación. Se puede compararlo como si se viviera en el fondo de un océano de aire. La atmósfera, como el agua de un lago, ejerce presión; y tal como el peso del agua es la causa de la presión en el agua, el peso del aire es la causa de la presión atmosférica.

1.22.1 Principio de Pascal. En física, el principio de Pascal o ley de Pascal, es una ley enunciada por el físico y matemático francés Blaise Pascal (1623-1662) que se resume en la frase: «el incremento de presión aplicado a una superficie de un fluido incompresible (líquido), contenido en un recipiente indeformable, se transmite con el mismo valor a cada una de las partes del mismo».

El principio de Pascal puede comprobarse utilizando una esfera hueca, perforada en diferentes lugares y provista de un émbolo. Al llenar la esfera con agua y ejercer presión sobre ella mediante el embolo, se observa que el agua sale por todos los agujeros con la misma presión.

1.22.2 El Pascal (Pa). Es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 Newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.

$1 \text{ Pascal (Pa)} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ J/m}^3 = 1 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Equivale a 10 barias y a $9,86923 \cdot 10^{-6}$ atmósferas.

El pascal es una unidad muy pequeña para la vida corriente. 1 Pa es aproximadamente la presión que ejerce una capa de una décima de milímetro de agua sobre la superficie sobre la que repose (sometida a la gravedad en la superficie terrestre).

La unidad fue nombrada en homenaje a Blaise Pascal, eminente matemático, físico y filósofo francés.

El hectopascal (hPa) equivale a 100 pascales. Es usado por su equivalencia con el milibar, unidad usada históricamente antes del Sistema Internacional de Unidades. 1013 hPa son equivalentes a 760 mmHg (Milímetros de Mercurio).

El megapascal (MPa) se usa para grandes presiones, normalmente en poca superficie. Es usada generalmente para cálculo de cimentaciones y secciones resistentes en estructuras, donde las resistencias suelen darse en N/mm^2 y las tensiones sobre el terreno en MPa.

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ Kg/cm}^2$$

1.23 TEMPERATURA

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío. Por lo general, un objeto más "caliente" tendrá una temperatura mayor.

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Físicamente es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como "energía sensible", que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que es mayor la energía sensible de un sistema se observa que está más "caliente" es decir, que su temperatura es mayor.

En el caso de un sólido, los movimientos en cuestión resultan ser las vibraciones de las partículas en sus sitios dentro del sólido. En el caso de un gas ideal monoatómico se trata de los movimientos traslacionales de sus partículas.

La temperatura se mide con termómetros, los cuales pueden ser calibrados de acuerdo a una multitud de escalas que dan lugar a unidades de medición de la temperatura. En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de temperatura es el kelvin. Sin embargo, fuera del ámbito científico el uso de otras escalas de temperatura es común el uso de la escala Celsius (antes llamada centígrada) y en los países anglosajones, la escala Fahrenheit. También existe la escala Rankine ($^{\circ}\text{R}$) que establece su punto de referencia en el mismo punto de la escala Kelvin.

1.23.1 Escalas de medida:

- **Grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$):** Para establecer una base de medida de la temperatura Andrés Celsius utilizó (en 1742) los puntos de fusión y ebullición del agua.

A la temperatura del cero absoluto no hay movimiento y no hay calor. Es cuando todo el movimiento atómico y molecular se detiene y es la temperatura más baja posible. El cero absoluto tiene lugar a 0 grados Kelvin, -273.15 grados Celsius o -460 grados Fahrenheit. Todos los objetos tienen una temperatura más alta que el cero absoluto y por lo tanto emiten energía térmica o calor.

- **Grado Fahrenheit (°F):** Toma divisiones entre los puntos de congelación y evaporación de disoluciones de cloruro amónico. Es una unidad típicamente usada en los países anglosajones.
- **Grado Kelvin (K):** El Kelvin es la unidad de medida del SI. La escala Kelvin absoluta es parte del cero absoluto y define la magnitud de sus unidades, de tal forma que el punto triple del agua es exactamente a 273,16 K
- **Grado Rankine (°R o °Ra):** Escala con intervalos de grado equivalentes a la escala Fahrenheit. Con el origen en -459,67°F (aproximadamente).

Para hacer la conversión entre las diferentes escalas de medida se deben tener en cuenta las siguientes equivalencias:

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$

$$^{\circ}\text{C} = (\text{F} - 32)5/9$$

$$\text{F} = \text{K}9/5 - 459,67$$

$$\text{K} = (\text{F} + 459,67)5/9$$

1.23.2 Sensación térmica. Es el resultado de la forma en que el cuerpo humano percibe la temperatura de los objetos y del entorno, y no un reflejo fiel de la temperatura real de las cosas. La sensación térmica es un poco compleja de medir, por distintos motivos, entre estos, porque el cuerpo humano mide la temperatura a pesar de que su propia temperatura se mantiene aproximadamente constante (alrededor de 37 °C), por lo tanto no alcanza el equilibrio térmico con el ambiente o con los objetos que toca y además los aumentos o incrementos de calor producidos en el cuerpo humano desvían la sensación térmica del valor real de la temperatura, lo cual produce unas sensaciones de temperatura exageradamente alta o baja.

1.24 MICROCONTROLADORES

Se define a un microcontrolador como un procesador con su sistema mínimo en un chip (incluye memoria para programa y datos, periféricos de entrada / salida, conversores de AD y DA, módulos especializados en la transmisión y recepción de datos).

Los microcontroladores se especializan en aplicaciones industriales para resolver problemas planteados específicos por ejemplo: se encuentran en teclados o mouse de las computadoras, son el cerebro de electrodomésticos, también se encuentran en la industria automotriz, en el procesamiento de imagen y video.

Un microcontrolador difiere de una CPU normal, debido a que es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de chips

externos de apoyo. La idea es que el chip se coloque en el dispositivo, enganchado a la fuente de energía y de información que necesite, y eso es todo.

Cabe señalar que el aumento progresivo de la escala de integración y las técnicas de fabricación hacen que cada vez aparezcan microcontroladores más poderosos y rápidos.

1.24.1 Microcontroladores PIC de Microchip. Los PIC pertenecen al tipo de procesador RISC que es un procesador de instrucciones reducidas, se caracteriza por que el número de instrucciones es pequeño y además casi todas se realizan en la misma cantidad de tiempo, por otro lado posee unidades que trabajan en paralelo conectadas por pipes o tuberías. Este tipo de procesador emplea una arquitectura Harvard lo que significa que trabaja las zonas de memoria de programa y datos en forma separada. En figura 35 se muestra la arquitectura Von Neuman frente a la Harvard:

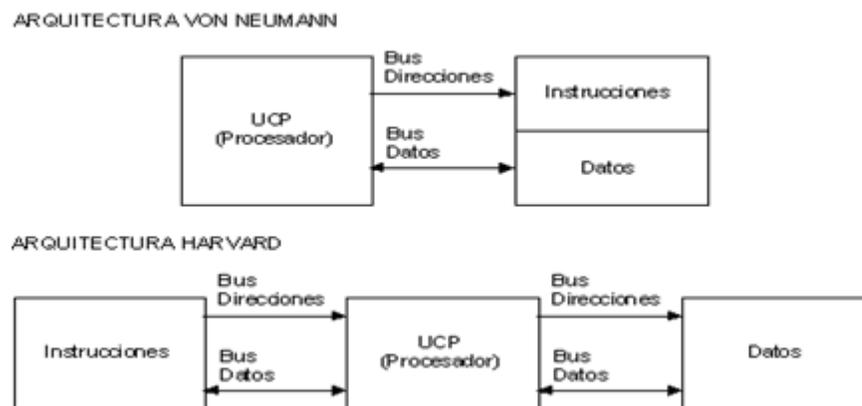


Figura 35. Arquitecturas de microcontroladores.

En ambas arquitecturas observamos bloques de memoria, cada bloque tiene posiciones y cada posición un valor. Para recoger o dejar un valor en una determinada posición es necesario primero indicar cual es la dirección a leer o escribir de la memoria, en consecuencia hay un grupo de líneas que nos permiten hacer esa función conocida como el bus de direcciones, también existe un bus de datos que son líneas paralelas por donde discurren los valores de cada dirección.

En el caso de la arquitectura Harvard existen dos bloques de memoria separados. Un bloque para instrucciones y otro para datos. Hay dos buses independientes de direcciones y el bus de instrucciones solo tiene una dirección, a diferencia del bus de datos que es de naturaleza bidireccional.

La arquitectura Harvard mejora el ancho de banda porque el bus de datos es de 14 bits frente a los de 8 de un bus tradicional Von Neumann por tanto en una sola lectura puede llevar mayor cantidad de datos.

1.24.2 Microcontroladores PICs de 8 bits. Los PICs emplean un conjunto de instrucciones del tipo RISC (Reduced Instruction Set Computer). Con el RISC se suele ejecutar la mayoría de las instrucciones con un solo ciclo de máquina. Con las instrucciones que se usan en otros equipos del tipo CISC (Complex Instruction Set Computer), se logran instrucciones más poderosas, pero a costa de varios ciclos de máquina.

Para fines prácticos se refiere a los Microcontroladores como bloques que poseen una memoria de programa que es el lugar donde deben alojarse los datos que le indiquen al chip qué es lo que debe hacer; una memoria de datos donde ingresen las señales que debe procesar el programa, una unida aritmética y lógica donde se desarrollen todas las tareas, una unidad de control que se encargue de supervisar todos los procesos y puertos de entrada y salida para que el PIC tenga contacto con el exterior.

Un microcontrolador como cualquier circuito integrado analógico o digital tiene entradas, salidas y algunos componentes exteriores necesarios para procesar las señales de entrada y convertirlas en las señales de salida. Un PIC requiere un cristal con dos capacitores y como mínimo un resistor para el reset. Necesita una tensión de fuente de 5V (VDD) aplicada con respecto al terminal de masa (VSS). Posee puertos de entrada y de salida.

El terminal MCLR opera como reset pero también cumple funciones de carga de memoria de programa cuando es excitado con pulsos de 15V.

1.24.3 DSPs. El Procesamiento Digital de Señales (DSP - Digital Signal Processor) es un área de la ingeniería que se dedica al análisis y procesamiento de señales (audio, voz, imágenes, video) que son discretas. Aunque comúnmente las señales en la naturaleza están en forma analógica, también existen casos en que estas son por su naturaleza digitales, por ejemplo, las edades de un grupo de personas, el estado de una válvula en el tiempo (abierta/cerrada), etc.

Se puede procesar una señal para obtener una disminución del nivel de ruido, para mejorar la presencia de determinados matices, como los graves o los agudos y se realiza combinando los valores de la señal para generar otros nuevos.

Estos circuitos digitales baratos y relativamente rápidos han hecho posible construir sistemas digitales altamente sofisticados, capaces de realizar funciones y tareas del procesado de señales digitales que normalmente eran demasiado difíciles y/o caras con circuitería o sistemas de procesado de señales analógicas. De aquí que muchas de las tareas del procesado de señales que

convencionalmente se realizaban analógicamente se realicen hoy mediante hardware digital, más barato y a menudo más confiable.

Sistemas de DSP's modernos son apropiados para su implementación bajo el criterio VLSI. Las grandes inversiones necesarias para diseñar un nuevo circuito integrado sólo pueden ser justificadas cuando el número de circuitos a fabricar es grande, o cuando los niveles necesarios de desempeño son tan altos que no pueden ser alcanzados con la tecnología existente. A menudo, ambos argumentos son válidos, particularmente en comunicaciones y aplicaciones dirigidas a los consumidores. Avances en la tecnología de fabricación de circuitos integrados también abren nuevas áreas de desarrollo basadas en DSP, tales como sensores inteligentes, visión de robots y automatización, mientras entrega las bases para continuar los avances en áreas tradicionales del procesamiento digital de señales, tales como música, voz, radar, sonar, video, audio y comunicaciones.

1.24.4 Procesamiento digital de señales (Digital signal processing-DSP). Es una operación o transformación de una señal en un hardware digital según reglas bien definidas las cuales son introducidas al hardware a través de un software específico que puede o no manejar lenguajes tanto de alto como de bajo nivel.

Un procesador Digital de Señales es un tipo de microcontrolador, increíblemente rápido y poderoso. Un DSP es único porque procesa señales en tiempo real. Esta capacidad de procesamiento en tiempo real hace a los DSP ideales para aplicaciones que no toleran ningún retardo. Por ejemplo, no es fácil conversar a través de un teléfono celular cuando existe un retardo en la línea. Esto lleva a que la señal se corte o a confusión ya que ambos usuarios hablan a la vez. Con los teléfonos celulares actuales, los cuales usan DSP's, es posible hablar normalmente. El DSP dentro del teléfono procesa el sonido (convirtiéndolo de una señal analógica a digital, filtrando, comprimiendo y realizando otras tareas en forma digital) tan rápidamente que uno puede hablar y escuchar sin problemas de retardo ni ninguna molestia que ello implica. O sea, se procesa en tiempo real.

1.24.5 dsPICs. Nacen a partir de los DSP. El fabricante Microchip los bautizó con el nombre de DSC (Digital Signal Controller) que puede ser traducido como Controlador Digital de Señal. Un DSC es un potente microcontrolador de 16 bits el que cuenta con las principales características de los DSPs, permitiendo su aplicación en el campo del procesamiento de las señales analógicas y digitalizadas.

Un DSC ofrece velocidad, potencia, manejo flexible de interrupciones, un amplio campo de funciones periféricas, analógicas y digitales y todo lo que se puede esperar de un microcontrolador²⁵.

La primera generación de DSC, denominada dsPIC30F, constituyó un intento por parte de Microchip de facilitar el acercamiento al mundo del procesamiento digital de señales a sus usuarios de MCU de 8 y 16 bits. Con esta intención se ha mantenido el entorno de la arquitectura y juego de instrucciones de los MCU, pero añadiendo la funcionalidad y principales requisitos de los DSP. Posteriormente, la segunda generación de DSC, llamada dsPIC33F, ha potenciado las capacidades, el número de periféricos y el rendimiento, permitiendo acceder a campos de aplicación más complejos²⁶.

Aplicaciones

Las ventas en el mercado mundial de DSPs crece a un 30% anual debido al gran consumo y al uso cada vez más extendido en aplicaciones portátiles como la telefonía celular, televisores, radios, frigoríficos, lavadoras y equipos de aire acondicionado.

En la medicina, se usan en aparatos destinados a la monitorización de pacientes, escáner, electrocardiogramas y tomografías. Con los DSPs se han logrado imágenes mostradas con mucho más detalle que con las técnicas convencionales, permitiendo un diagnóstico y tratamiento significativamente mejor.

En la industria, el DSP ha revolucionado áreas como la exploración petrolera, minera, submarina y espacial, el control de motores, la instrumentación y la robótica.

En la automoción, la introducción del DSP ha supuesto un incremento en las prestaciones de los automóviles. Se aplican los activadores de Airbag, sistemas de chequeo, control de velocidad de crucero, suspensión activa, frenos ABS y control del combustible, también se puede establecer la ubicación precisa del automóvil aprovechando la red global de satélites GPS.

En las aplicaciones militares, se han implementado en sistemas de sonar, radar, piloto automático y guiado automático de misiles.

En las telecomunicaciones, el DSP ha revolucionado áreas como la generación y detección de tonos, filtrado para eliminar ruidos, multiplexado, compresión, control de eco, etc.

²⁵ José María Angulo Usategui, Microcontroladores Avanzados dsPIC. Editorial THOMSON 2006.

²⁶ Ignacio Angulo Martínez, dsPIC Diseño Práctico de Aplicaciones. Editorial Mc Graw Hill 2006.

En el ámbito de la imagen y el sonido, el DSP puede realizar muchas funciones importantes como añadir ecos, soportar visión artificial, reconocimiento de patrones, compresión y descompresión de imágenes, reconocimiento y generación de audio, encriptado y síntesis de voz.

1.25 TELEVISIÓN

La televisión, TV, es un sistema de telecomunicación para la transmisión y recepción de imágenes en movimiento y sonido a distancia. Esta transmisión puede ser efectuada mediante ondas de radio o por redes especializadas de televisión por cable. El receptor de las señales es el televisor.

1.26 CÁMARA DE VIDEO

La cámara de vídeo es un dispositivo que captura imágenes convirtiéndolas en señales eléctricas, en la mayoría de los casos a señal de video, también conocida como señal de televisión. En otras palabras, una cámara de vídeo es un transductor óptico.

1.26.1 Tipos básicos de cámaras. Existen dos tipos básicos de cámaras de TV: las portátiles, también llamadas de ENG, y las de estudio. Las cámaras de estudio van integradas en el sistema de producción correspondiente, es decir, forman parte de la instalación de vídeo de ese estudio o unidad móvil, mientras que las de ENG trabajan independientes.

1.26.2 Partes de un sistema de cámara:

- La óptica: sistema de lentes que permiten encuadrar y enfocar la imagen.
- El cuerpo de cámara: espacio donde reside la instrumentación electrónica encargada de la captación y la conversión de las imágenes.
- Sistema electrónico: conjunto de circuitos necesarios para la conexión de la cámara al resto de la instalación.

2. DESARROLLO

El Robot Oruga Teleoperado, es un sistema electrónico y mecánico que hace uso de un método de teleoperación maestro – esclavo, donde el maestro es un ordenador personal al que se le deben conectar previamente una tarjeta a través del puerto USB, esta tarjeta posee el transmisor RF que envía las ordenes del operador hacia el robot y recibe la información procedente desde este, también se le debe conectar el receptor de la cámara de video que lleva la oruga y por ultimo se acopla el Joystick que permite maniobrar con el robot de una manera cómoda e intuitiva.

El esclavo es el Robot Oruga, que se compone de una estructura mecánica, un sistema de control electrónico, luces de exploración, una cámara de video y un juego de sensores internos, de posición y proximidad, además también posee sensores para obtención de datos acerca de la temperatura y la presión del lugar en el que se encuentra el robot, los cuales son actualizados de manera periódica y enviados al maestro.

2.1 SISTEMA TELEOPERADO

2.1.1 Objetivos del sistema de control de teleoperación:

1. Hacer que el control manual del operador humano sea robusto ante retardos, saturación de los actuadores y otras no linealidades, e incluso ante los propios errores del operador como prevención de colisiones y caída por precipicios.
2. Permitir elevadas prestaciones en la teleoperación como precisión, tiempo de teleoperación y comodidad haciendo que los bucles de control tengan un comportamiento dinámico apropiado y reduciendo el trabajo del operador, para lo cual se llega a realizar eventualmente de forma automática la adaptación del robot esclavo al entorno.

2.1.2 Elementos del sistema de teleoperación:

- El ordenador o maestro es manipulado por el teleoperador que realiza a distancia el control de la operación. Su acción es la de monitorizar y de indicar objetivos y planes de acuerdo a las situaciones que se presenten en la exploración del lugar.
- El dispositivo teleoperado es el robot oruga. Es la maquina que trabaja en la zona remota y que esta siendo controlada por el operador.

- La interfaz es el conjunto de dispositivos que permiten la interacción del operador con el sistema de teleoperación como son el monitor del ordenador y el joystick, los cuales permiten manipular al robot y obtener información del mismo.
- Los controles y canales de comunicación la conforman los microcontroladores y los transceivers los cuales se encargan de modular, transmitir y adaptar el conjunto de señales que se transmiten entre la zona remota y la local.
- Los sensores son el conjunto de dispositivos que recogen la información de la zona remota, para ser utilizada por el interfaz y el control para la toma de decisiones.

2.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

2.2.1 Transceivers. Los transceivers efectúan la transmisión digital de datos hacia y desde el robot, este tipo de transmisión presenta una serie de ventajas al verse la información reducida a un flujo de bits, se consigue una gran protección contra posibles fallos ya que se pueden introducir mecanismos de detección de errores, se elimina el problema de las interferencias, se puede disminuir el efecto del ruido en los canales de comunicación, conseguir codificaciones más óptimas y encriptado, mezclar con otros tipos de información a través de un mismo canal y poder manipular los datos con el ordenador para hacer tareas digitales como compresión de datos.

La comunicación se hace de manera inalámbrica, para lo cual los transceivers tienen una antena para el envío y recepción de los datos, la frecuencia de trabajo es en la banda de los 2.4GHz.

Para poder utilizar de manera óptima las capacidades del transceiver TRF-2.4G, es conveniente configurarlo en modo ShockBurst, de esta manera ofrece una tasa de transferencia de datos de hasta 1Mbps, aunque se recomienda enviar a una velocidad de 250kbps para lograr una mayor área de transmisión.

En cuanto al tamaño de los paquetes de información a enviar, pueden ser desde 1 a 32 bytes, pero si el tamaño del paquete está al máximo de 32 bytes hay una mayor tasa de pérdida de información. En cada paquete de dato se debe incluir los bytes de protocolo, es decir, la dirección, y el control de redundancia cíclica (CRC) que pueden ser de 1 o 2 bytes.

La modulación para el envío de la información la realizan los transceivers de manera interna, la modulación utilizada es la GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) o Modulación por desplazamiento de frecuencia Gausiana.

2.2.2 Transceiver TRF-2.4G:

1. Descripción

El módulo TRF-2.4G de la empresa Laipac, es un radio transceiver de uso en cualquier parte del mundo, en la banda de los 2.4GHz a 2.5GHz. El transceiver consiste de una antena, un sintetizador de frecuencia completamente integrado, un amplificador de potencia, un oscilador de cristal y un modulador. La salida de potencia y los canales de frecuencia son fácilmente programables por el uso de una interfase serial de tres hilos. El consumo de corriente es muy bajo, solamente 10.5mA a una salida de poder de -5dBm y 18mA en modo de recepción. Los modos de poder incorporados hacen posible el ahorro de energía.

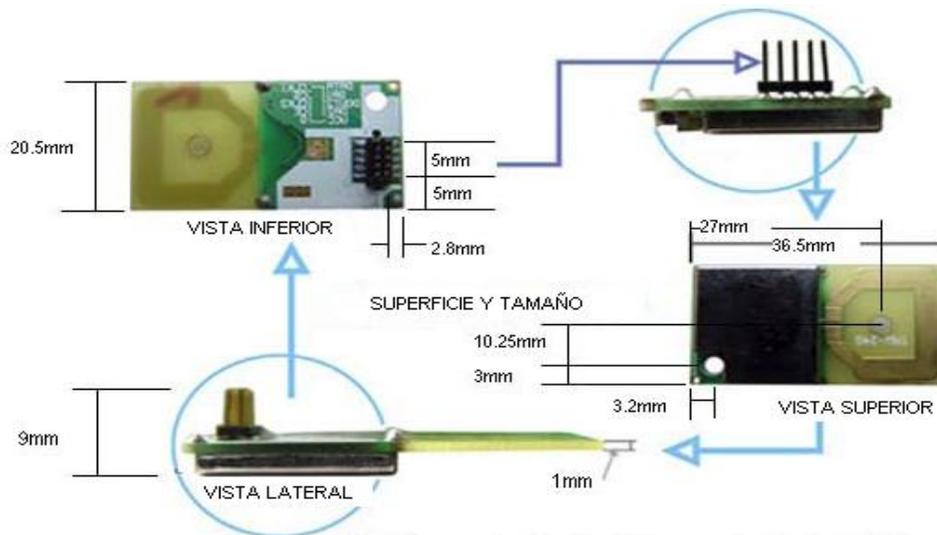


Figura 36. Vistas del TRF -2.4G.

2. Especificaciones

- Rango de Frecuencia: 2.4GHz hasta 2.524GHz en banda libre.
- Modulación GFSK.
- Tasa de datos de 1Mbps y 250Kbps.
- Operación multicanal: 125 canales, tiempo de cambio de canal, menor a 200uS, soportando salto en frecuencia.
- Enlace full dúplex RF emulado debido a la tasa de datos de 1Mbps sobre el aire
- Recepción dual simultánea.
- Incluye codificador, decodificador y un buffer de datos y computación de CRC.
- Modo ShockBurst para operación con baja potencia.
- Sensibilidad de -90dBm.
- Antena incorporada.
- Rango de voltaje de alimentación de 1.9 a 3.6 V.

3. Aplicaciones

- Joystick, teclado y mouse inalámbricos.
- Comunicación de datos inalámbrica.
- Alarmas, sistemas de seguridad y automatización de hogares.
- Auriculares inalámbricos.
- Telemetría.

4. Modo ShockBurst

Esta tecnología usa un registro FIFO para introducir los datos a una tasa baja y transmitirlos a una tasa muy alta, eso habilita la reducción de potencia.

Cuando se opera el TRF-2.4G en ShockBurst, se gana acceso a altas tasas de datos (1Mbps) ofrecidas por la banda de 2.4GHz sin la necesidad de un costoso microcontrolador de alta velocidad para el procesamiento de datos (ver figura 37).

El TRF-2.4G puede ser programado usando una interfase de tres hilos, donde la tasa de datos es decidida por la velocidad del microcontrolador. Permitiendo a la parte digital de la aplicación correr a baja velocidad mientras se maximiza la tasa de datos en el enlace RF²⁷.

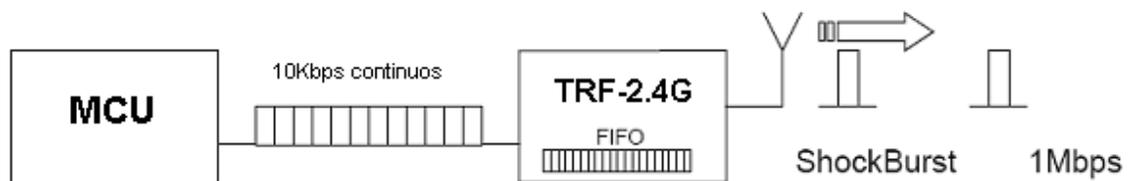


Figura 37. Envío de datos mediante tecnología ShockBurst.

5. Configuración y conexión con el MCU

Los transceivers fueron configurados de la siguiente manera:

- Tamaño del paquete de 20 bytes.
- Tamaño de la longitud de la dirección de 8 bits.
- CRC activado y de 16 bits.
- Velocidad de transmisión de 250kbps.
- Operación en modo ShockBurst y un solo canal de comunicaciones.
- Potencia de transmisión ajustable por el operador dependiendo de la necesidad.
- Frecuencia de comunicación de 2406MHz.

²⁷ TRF-2.4G Transceiver Data Sheet. Laird Tech.

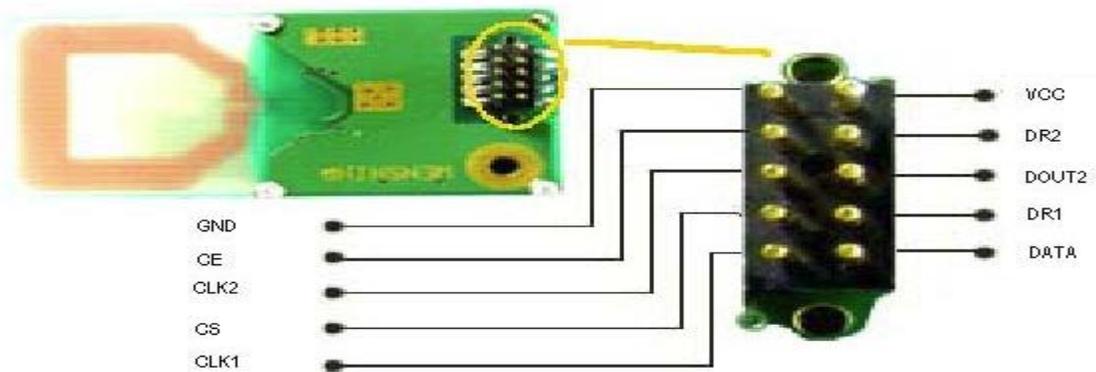


Figura 38. Distribución de pines TRF-2.4G

- GND: Tierra
- VCC: Alimentación positiva
- CE: (Chip Enable) Habilitador
- CLK2: Señal de reloj del canal 2
- CS: (Chip Select) Selector de configuración u operación
- CLK1: Señal de reloj del canal 1
- DR2: Señalizador de recepción del canal 2
- DOUT2: Salida de datos del canal 2
- DR1: Señalizador de recepción del canal 1
- DATA: Entrada y salida de datos del canal 1

El sistema utiliza 5 pines: CE, CS, CLK1, DR1 y DATA, para conectarse con el microcontrolador de la manera indicada en la figura 39.

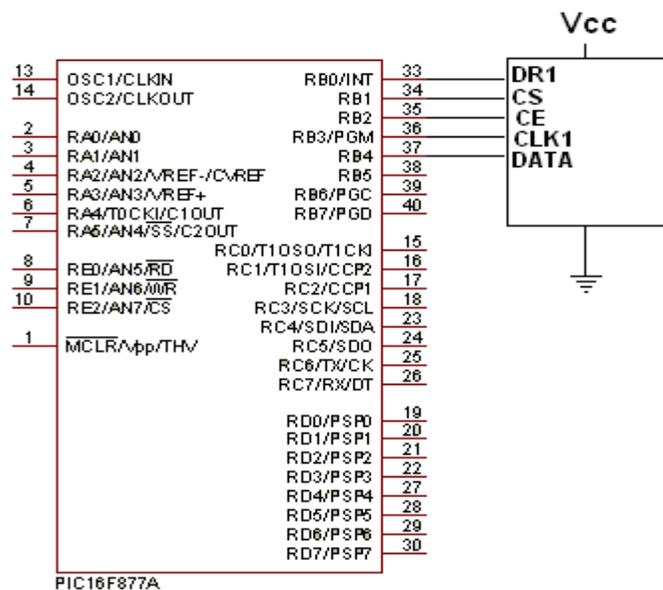


Figura 39. Conexión del TRF con el microcontrolador PIC16F877A

El pin DR1 se conecta al pin de interrupción externa INT para generar la interrupción cada que llegue un nuevo paquete de datos y el microcontrolador pueda recibirlos sin perder ninguno de estos.

6. Envío de datos

El envío de datos, se hace ejecutando el siguiente proceso entre el microcontrolador y el TRF:

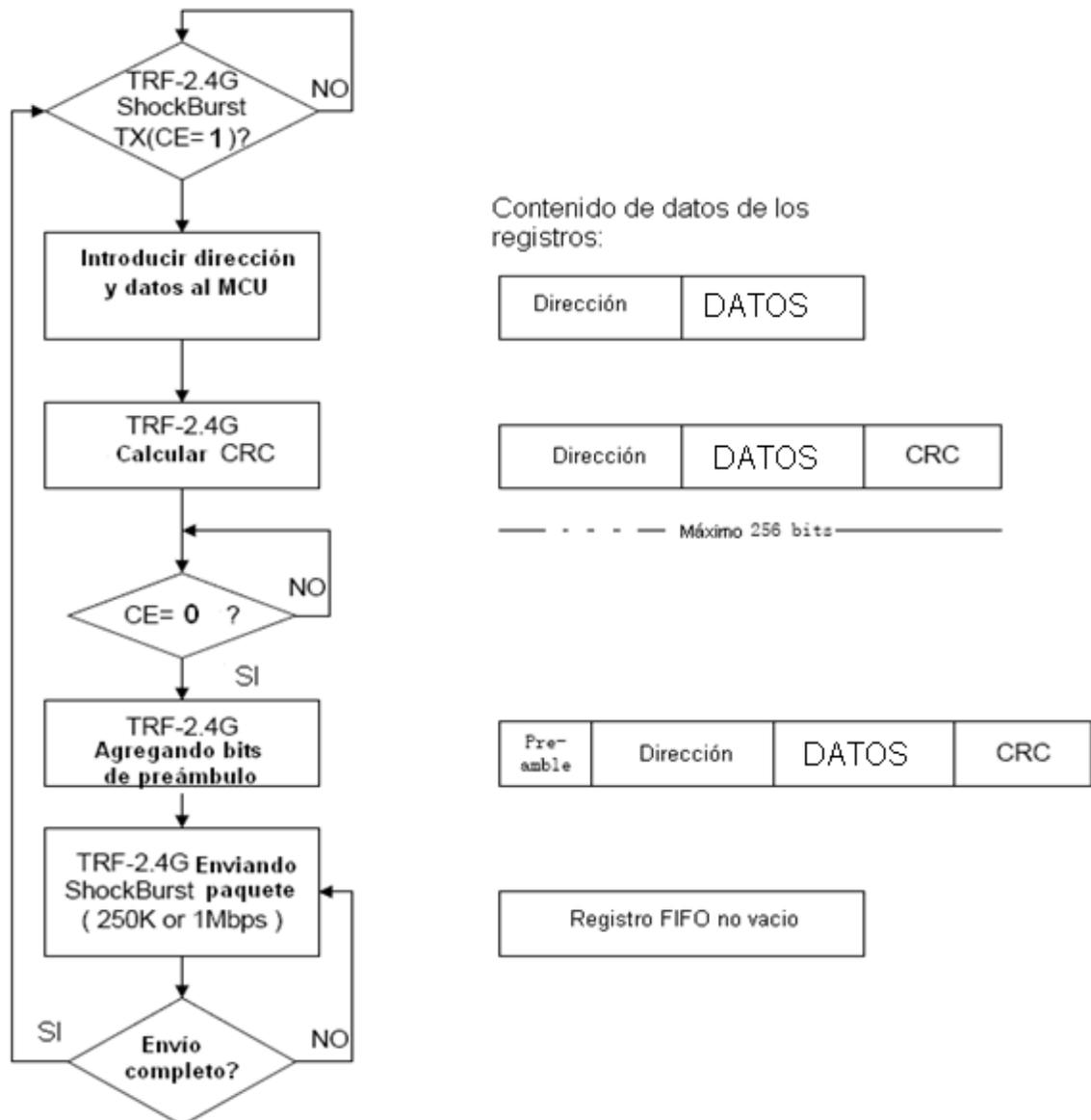


Figura 40. Diagrama de flujo del envío de datos.

El MCU se conecta con los pines: CE, CLK1, DATA.

1. Cuando el programa de MCU tiene que enviar datos, pone en alto CE. Esto activa el procesamiento de datos en el TRF.
2. La dirección del nodo de recepción y el paquete de datos es introducida en el TRF por el protocolo de aplicación del MCU con una velocidad inferior a 1Mbps.
3. El MCU pone en bajo CE, esto activa la transmisión ShockBurst.
4. En el modo ShockBurst, el TRF internamente hace lo siguiente:
 - El paquete de datos es completado con los bits de preámbulo y el CRC calculado.
 - Los datos son transmitidos a una velocidad de 250kbps.
 - El TRF retorna al modo de espera.

7. Recepción de datos

Para la recepción, se siguen los pasos que se indican en el siguiente algoritmo (ver figura 41):

El MCU y el TRF se interconectan mediante los pines CE, DR1, CLK1, DATA.

1. Verificar que la dirección de entrada y el tamaño de la carga de datos sean correctos.
2. Activar recepción poniendo en alto CE.
3. Después de 200µs el TRF comienza a monitorear el aire para comunicaciones entrantes.
4. Cuando un paquete valido ha sido recibido (dirección y CRC correctos), el TRF remueve los bits de preámbulo, la dirección y el CRC.
5. El TRF notifica (interrumpe) al MCU poniendo en alto el pin DR1.
6. El MCU puede o no poner en bajo el pin CE para deshabilitar las comunicaciones RF.
7. El MCU extrae la carga de datos a una tasa de transferencia adecuada.
8. Cuando todos los datos son extraídos, el TRF pone en bajo nuevamente el DR1, y está listo para nuevos paquetes entrantes.

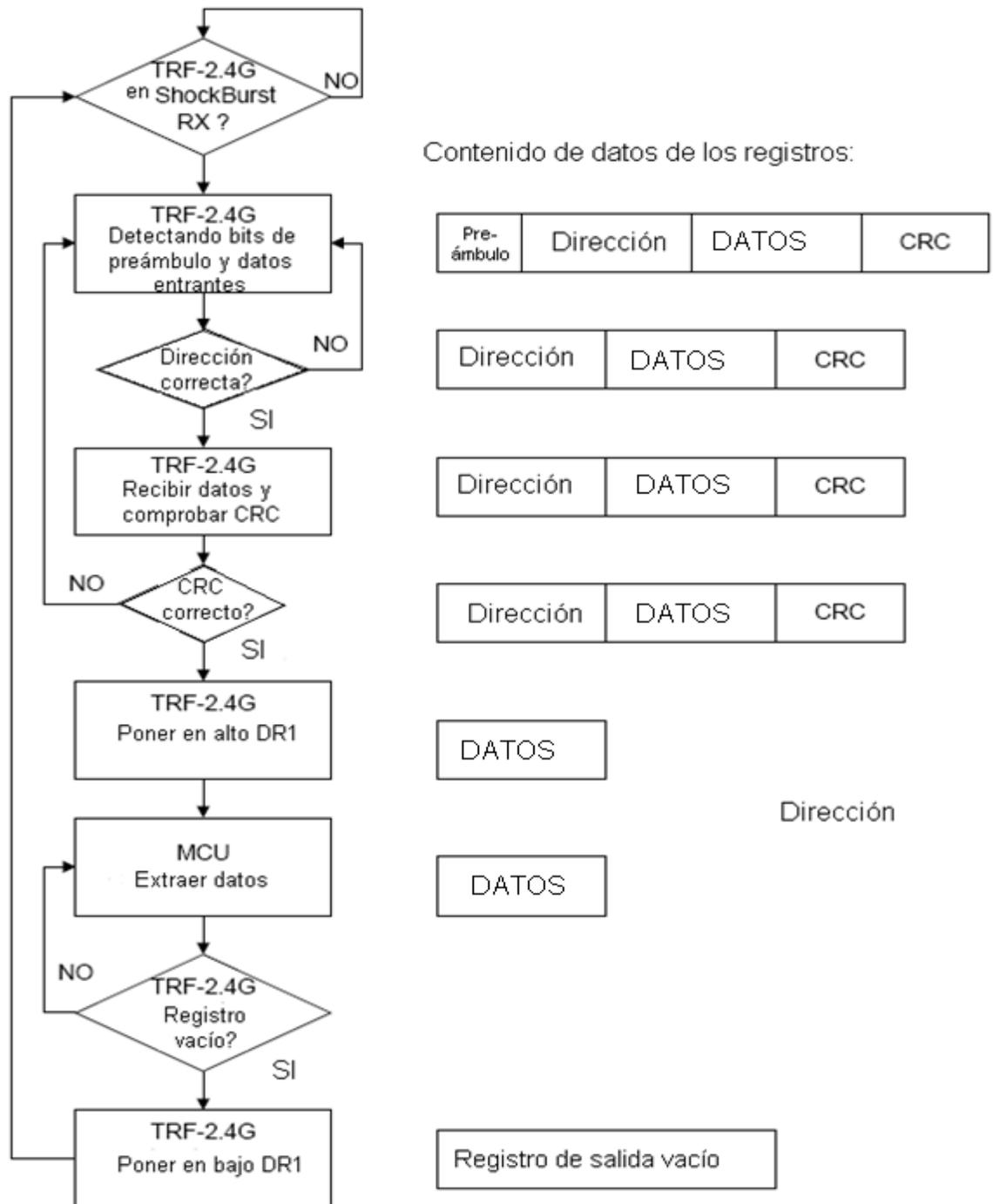


Figura 41. Diagrama de flujo de la recepción de datos.

8. Función de los Transceiver: La Teleoperación

La teleoperación del robot se hace mediante el envío y recepción de paquetes de datos desde el ordenador o estación maestra dirigidos al Robot Oruga o estación esclava. Cada estación posee una dirección de 8 bits a la cual se dirigen los paquetes de datos que cada estación quiere transmitir a la otra. Los datos que se envían dependen de la instrucción que se le de al robot, es decir, si por ejemplo se desea desplazarlo, explorar con la cámara o tal vez sólo hacer lectura de los sensores.

Los datos que se envían son transparentes al operador, ya que este solo debe preocuparse por maniobrar con el Joystick.

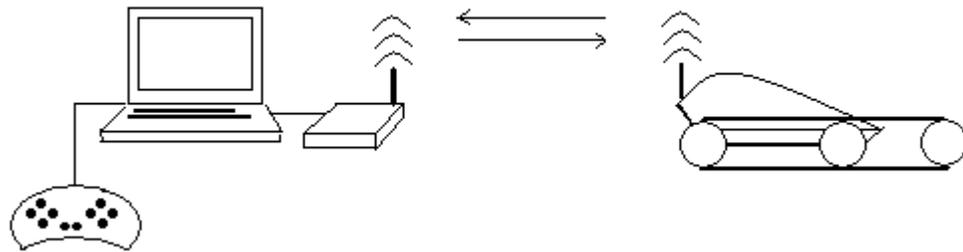


Figura 42. Envío de ordenes al robot y recepción de respuesta

El joystick tiene cuatro botones para desplazarse por los ejes X y Y del plano cartesiano:

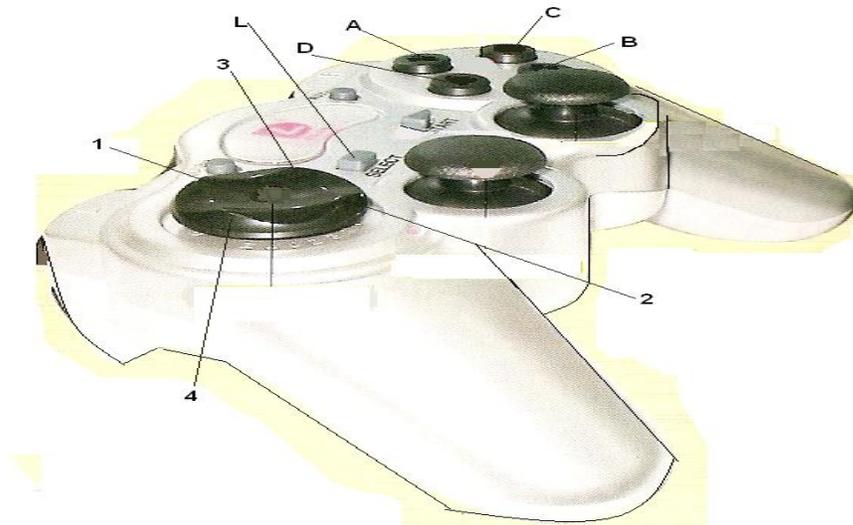


Figura 43. Diagrama de botones del joystick.

Botón 1: Adelante
 Botón 2: Atrás
 Botón 3: Derecha
 Botón 4: Izquierda
 Botón A: Mover cámara arriba
 Botón B: Mover cámara abajo
 Botón C: Mover cámara lado derecho
 Botón D: Mover cámara lado izquierdo
 Botón L: Hacer sólo lectura de los sensores

Al presionar cualquiera de los anteriores botones, en el programa, se envía un paquete con la dirección del robot, con una cabecera indicando que es una orden y con el código de la respectiva orden (figura 44).

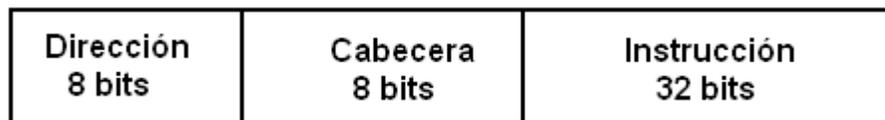


Figura 44. Estructura del paquete de datos.

2.3 COMUNICACIÓN ENTRE MICROCONTROLADORES

La comunicación entre microcontroladores se hace a través de un protocolo serie-asíncrono estándar de 1.5 bits de inicio y 1 bit de parada a una velocidad de 19200bps.

En la estación maestra, hay una de estas interfases, entre el microcontrolador que se comunica con el ordenador y el microcontrolador que maneja las comunicaciones inalámbricas, y en la estación esclava entre el microcontrolador que maneja la comunicación inalámbrica y el controlador de sensores. En las dos estaciones, se realiza una transmisión Dúplex, esto es importante ya que en cualquier momento se requiere del envío de información entre ambas partes y en cualquier sentido, facilitando el trabajo en tiempo real evitando retrasos.

2.4 SINCRONIZACIÓN ESTACIÓN MAESTRA Y ESCLAVA

Las dos estaciones deben estar en completa sincronización, esta se logra cuando el operador manipula el Joystick, de esta forma la estación maestra envía una señal de inicio de la comunicación y la estación esclava responde enviando los datos contenidos en el microcontrolador que controla los sensores y que almacena los datos leídos por estos. De esta manera, después de ejecutar la instrucción enviada por la estación maestra, la estación esclava queda en espera de una nueva orden para iniciar nuevamente el proceso de envío de datos.

La comunicación entre estaciones es semidúplex; la estación maestra está configurada como transmisor, pero cuando esta envía una instrucción, al instante se configura como receptora por un espacio muy corto de tiempo a la espera de la respuesta de la estación esclava, y lo contrario sucede en la estación esclava que por defecto está configurada como receptora, pero cuando recibe una orden, por un lapso de tiempo se configura como emisor para el envío de los datos de los sensores.

2.5 ESTACIÓN MAESTRA

La estación maestra se constituye como parte fundamental en el sistema de teleoperación, esta conformada por un ordenador personal como componente principal y tres periféricos conectados a este, el primero es una tarjeta que se conecta a través del puerto USB y se denomina Tarjeta Base RF, el segundo es el receptor de la cámara, que se instala en la entrada de video del PC (en caso de que este posea incorporada una tarjeta de TV) o se debe conectar a través de una tarjeta de TV USB y el último es el Joystick con el cual se controla el Robot (ver figura 45).

El ordenador debe tener instalado el software de la aplicación del Robot para poder funcionar como maestro e interactuar con el esclavo. El software es un programa de computador capaz de interpretar las órdenes dadas a través del Joystick y de mostrar en todo momento los datos procedentes desde la Oruga en una forma sencilla e inteligible para el operador.

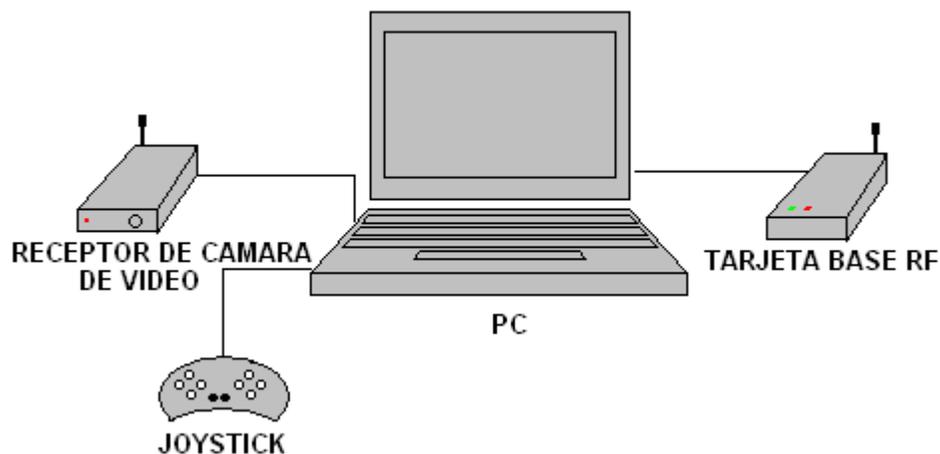


Figura 45. Estación maestra

2.5.1 Tarjeta base RF. Este periférico se basa en el PIC18F4550, este microcontrolador tiene la característica de tener incorporado un módulo USB lo que lo hace ideal para conectarse directamente al ordenador por bus USB e

interactuar con este recibiendo y transmitiendo datos desde y hacia el computador a una alta tasa de transferencia de datos mediante el tipo de transferencia de datos CDC.

La tarjeta se compone de dos partes (ver figura 46), la primera que es la interfase con el PC que la hace el PIC18F4550 el cual recibe las órdenes que vienen del joystick que previamente han sido interpretadas por el software del ordenador así como también recibe los datos procedentes desde el robot y la segunda es un transmisor RF que se comunica con el robot enviándole dichas órdenes y recibiendo los paquetes inalámbricos que envía este. Este transmisor RF se compone de un microcontrolador PIC16F877A y un transceiver TRF-2.4G los cuales hacen posible la comunicación inalámbrica. El microcontrolador se encarga de configurar el modo de comunicación con el robot, así como también de empaquetar y desempaquetar los datos que se transportan de manera inalámbrica.

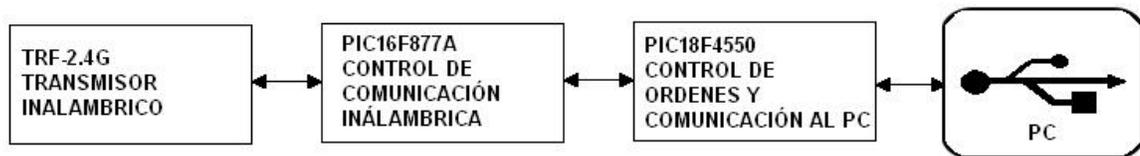


Figura 46. Esquema tarjeta base RF

El microcontrolador PIC18F4550

Es ideal para aplicaciones de baja potencia ya que esta construido con tecnología nanoWatt, y para aplicaciones de conectividad que se benefician de la disponibilidad de tres puertos seriales: FS – USB (12Mbps), I²C y SPI (hasta 10Mbps) y un puerto serial asíncrono. Una gran cantidad de memoria RAM para almacenamiento y una memoria de programa flash mejorada que lo hacen ideal para control embebido y aplicaciones de monitoreo que requieren conexión periódica con un computador personal vía USB para subida y descarga de datos y/o actualizaciones de software.

Características

- Memoria de programa flash de 32 Kbytes.
- Velocidad de la CPU de 12 MIPS.
- Memoria RAM de 2 Kbytes.
- Periféricos de comunicación digital 1-A/E/USART, 1-MSSP(SPI/I2C).
- 3 temporizadores de 16 bits y 1 de 8 bits.
- Conversor análogo digital de 10 bits.
- 1 puerto USB full speed, USB 2.0 con 16 endpoints.

La interfase RS-232 no es un puerto muy común en los computadores personales, esto es un problema porque la aplicación usa una interfase RS-232 para comunicarse con el sistema externo como el computador.

Una solución es migrar la aplicación a la interfase USB convirtiendo la interfase RS-232 a puerto USB como indica la figura 47.

El MCU PIC18F4550 utiliza el tipo de transferencia de datos CDC.

La especificación CDC define muchos modelos de comunicación, incluyendo la emulación serial, es decir emular el puerto RS-232 sobre el bus USB. Una ventaja de este método es que el software de aplicación mirará la conexión USB como una conexión de puerto COM virtual sin necesidad de hacer cambios en el software existente, otra ventaja es que Windows incorpora los drivers necesarios haciendo innecesario el desarrollo de estos.

Esto se logra utilizando las librerías que vienen incluidas en el compilador CCS Compiler que son:

usb_cdc.h: Esta librería agrega un puerto COM virtual al ordenador sobre USB usando la especificación CDC. Incluyendo este archivo en el código fuente, se agrega todo el código USB, interrupciones, descriptores y controladores requeridos.

pic18_usb.h: Esta librería soporta los periféricos USB en la familia PIC18.

usb.h: Define prototipos, funciones y variables globales usadas por el driver CCS USB.

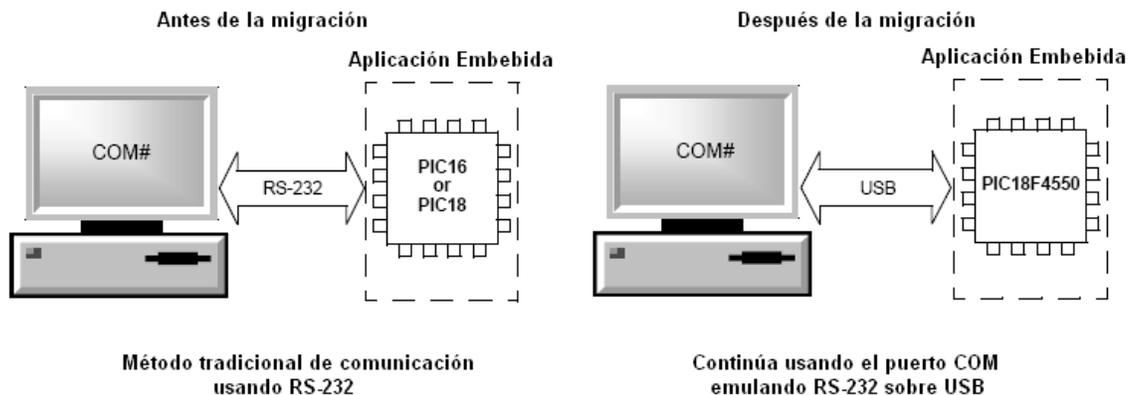


Figura 47. Funcionalidad equivalente en comunicación serial.

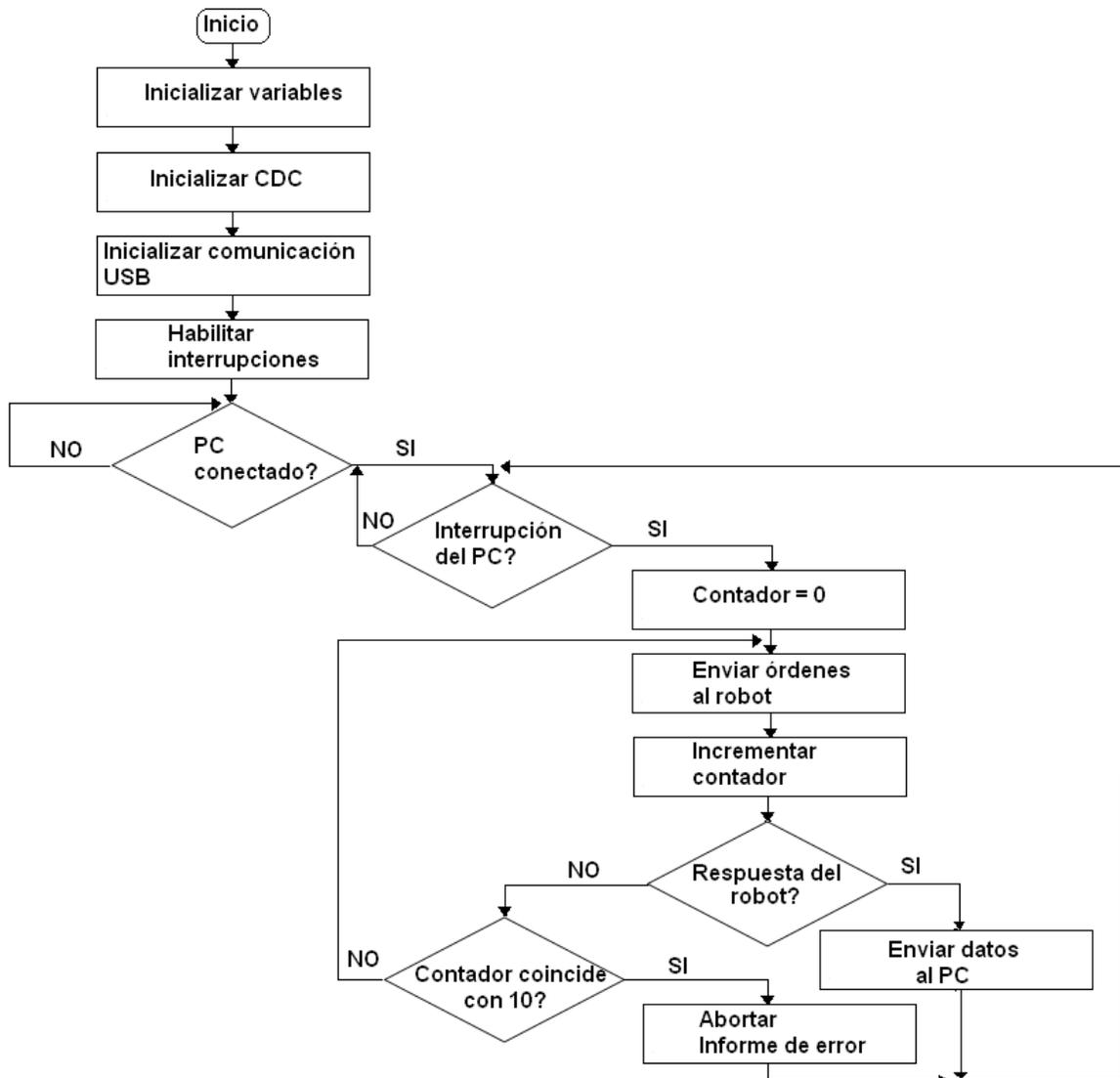


Figura 48. Diagrama de flujo del programa del PIC18F4550.

1. Se inicializan los parámetros del MCU y la comunicación USB.
2. Espera a ser conectado al PC.
3. Una vez ha sido conectado, espera instrucciones procedentes del PC.
4. Al llegar una instrucción, envía la correspondiente orden al robot.
5. Espera la respuesta de confirmación del robot.
6. Si no hay respuesta, después de 10 intentos, se crea un informe de error y se aborta el envío de la anterior instrucción.
7. Si hay respuesta, se envían los datos que llegan del robot al PC.

El microcontrolador PIC16F877A

Es un microcontrolador de 40 pines capaz de ejecutar hasta 5 MIPS (millones de instrucciones por segundo), posee tres tipos de memoria diferentes, una memoria de programa flash, memoria de datos SRAM y una memoria EEPROM.

Tiene cinco puertos programables como entrada o salida y periféricos tales como WATCHDOG, conversor A/D de 10 bits, temporizadores, módulos de captura, PWM entre otros.

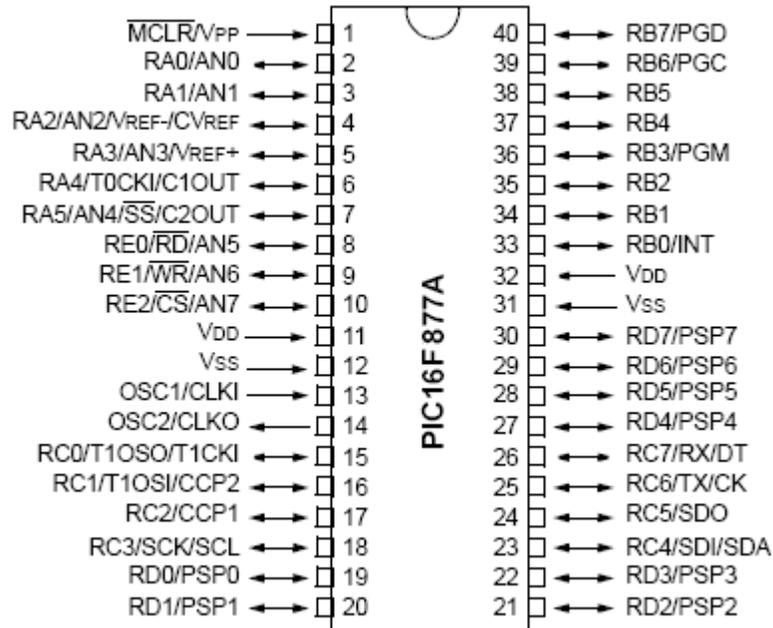


Figura 49. Diagrama de pines PIC16F877A.

Características

- Set de 35 instrucciones que se ejecutan en un solo ciclo de máquina, excepto las de bifurcación del programa.
- Ciclo de instrucción de hasta 200ns.
- Memoria de programa de 8K de instrucciones.
- Memoria RAM de 368 Bytes y 256 Bytes de EEPROM.
- 2 timer de 8 bits (timer 0 y 2) y 1 timer de 16 bits (timer 1).
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas.
- Pila con 8 niveles.
- Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo.
- Perro guardián (WDT).
- Código de protección programable.
- Modo Sleep de bajo consumo.
- Programación serie en circuito con 2 patitas.
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5.5 voltios.

- Bajo consumo (menos de 2 mA a 5 V y 5 MHz).

La conexión entre el PIC 16F877A y el PIC18F4550 es una interfase serial de dos hilos, asíncrona y Full Duplex .

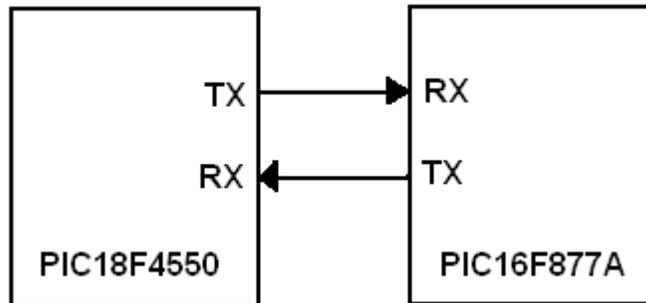


Figura 50. Diagrama de la conexión entre los dos PICs.

2.5.2 Receptor de cámara de video. La cámara se encuentra montada sobre el robot oruga, esta es inalámbrica y de uso general, su aplicación más popular es como equipo de vigilancia, esta cámara funciona en la banda de 2.4GHz.

El sistema se compone por la cámara y el receptor.

Instalación:

1. Conectar la antena al receptor

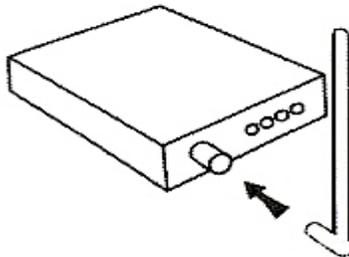


Figura 51. Conexión de la antena.

2. Conectar el plug de audio y video a las correspondientes hembras del receptor. Conectar los otros extremos al puerto de entrada de video del PC o monitor / TV. El plug rojo es para el audio y el amarillo para el video.

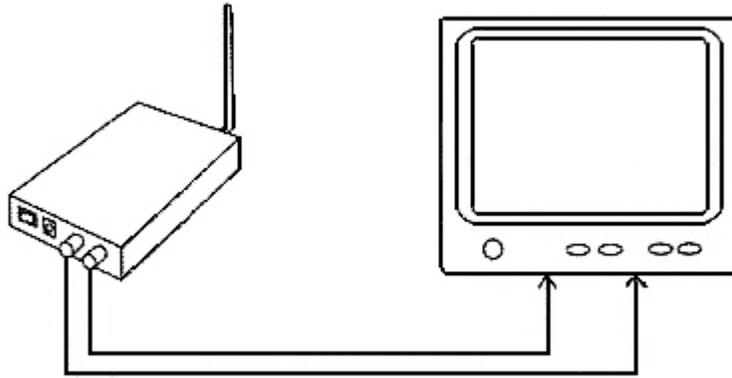


Figura 52. Conexión del receptor de la cámara al PC.

3. Conectar el receptor a la fuente de alimentación a través del adaptador (9 VDC 500 mA). La luz indicadora debe encenderse.

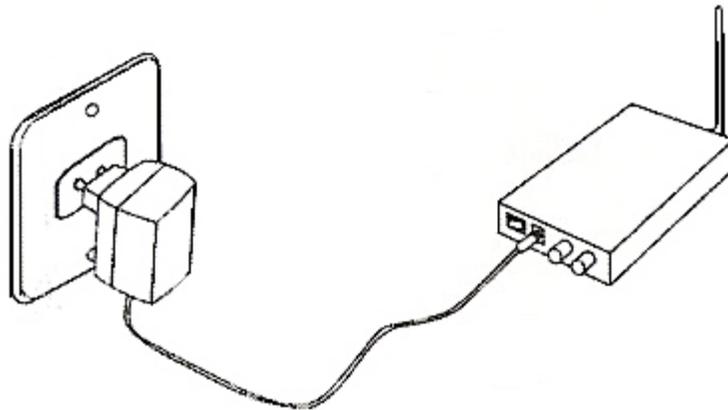


Figura 53. Conexión del receptor a la fuente de alimentación.

4. Conectarla a la batería. Encender la cámara.

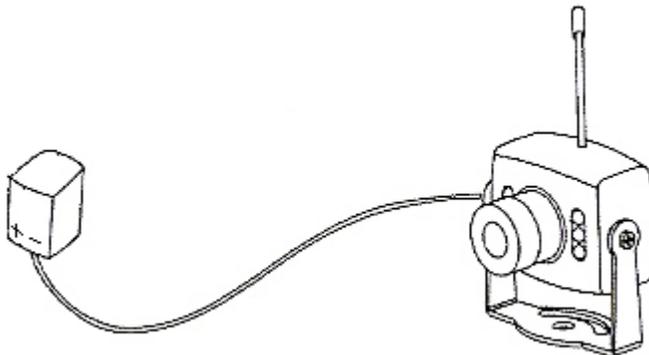


Figura 54. Conexión de la batería a la cámara.

5. Ajustar el Sintonizador del receptor hasta que el monitor / TV reciba imágenes.

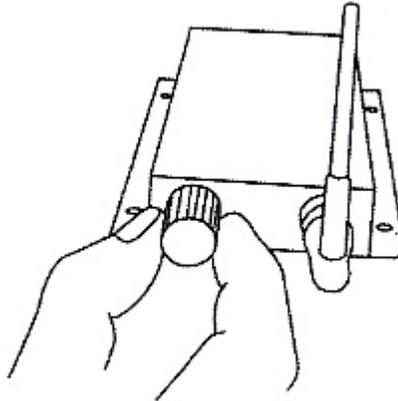


Figura 55. Sintonización del receptor.

2.5.3 Software de aplicación. El programa de computador con el cual funciona el robot oruga teleoperado funciona bajo el sistema operativo Windows y fue elaborado en lenguaje Visual Basic en el entorno de desarrollo Microsoft Visual Studio.

Es un programa versátil el cual es capaz de interpretar órdenes procedentes desde el joystick, enviarlas al microcontrolador para ser transmitidas por medio del transceiver al robot así como también los datos enviados desde el esclavo y presentarlos de forma clara y precisa para la lectura de datos por parte del operador.

El programa funciona de la siguiente manera:

Se compone de tres formularios o ventanas y un módulo de código Basic.

En el primer formulario, se ejecuta la mayor parte del programa, donde se inicializa variables, se establece el puerto de comunicación CDC y permanentemente se escanea el joystick para determinar si se está enviando alguna orden desde este.

En el segundo formulario se configura la potencia que se va a utilizar en la transmisión inalámbrica.

En el tercer formulario se calibran todos los sensores del robot.

En el módulo Basic se configura el joystick para determinar los botones de operación. Para la comunicación del joystick con el ordenador se utiliza una librería dinámica que viene incorporada en el sistema operativo Windows llamada "winmm.dll".

1. Formulario principal

Este formulario es la ventana principal (ver figura 57), donde se observa el estado de los sensores, se controla el puerto de comunicación, las instrucciones que se envían al robot y el estado de giro de cada motor DC.

Durante el evento “load” se inicializan las variables globales, estas variables establecen el modo de comunicación inalámbrica, la posición inicial de los servomotores del robot y se invoca una sub-función llamada “Joy” para configurar el joystick dándole la dirección en el sistema y un valor constante a cada botón para reconocer que botón se está presionando en un determinado instante; luego el programa espera a que sea configurado y abierto el puerto de comunicaciones para poder establecer la comunicación con el robot y queda en modo de escaneo de botones del joystick para determinar qué orden se quiere enviar.

Al determinarse que el operador ha presionado un botón, se envía la orden y se espera la respuesta del robot con los datos de los sensores para presentarlos en pantalla para su respectivo análisis. Todo esto se realiza en una fracción de tiempo de 300ms.

El usuario puede ajustar el tamaño de la ventana y acomodarla a su gusto en la pantalla para que en cada momento pueda observar las lecturas de los sensores y al mismo tiempo pueda observar la imagen proveniente de la cámara.

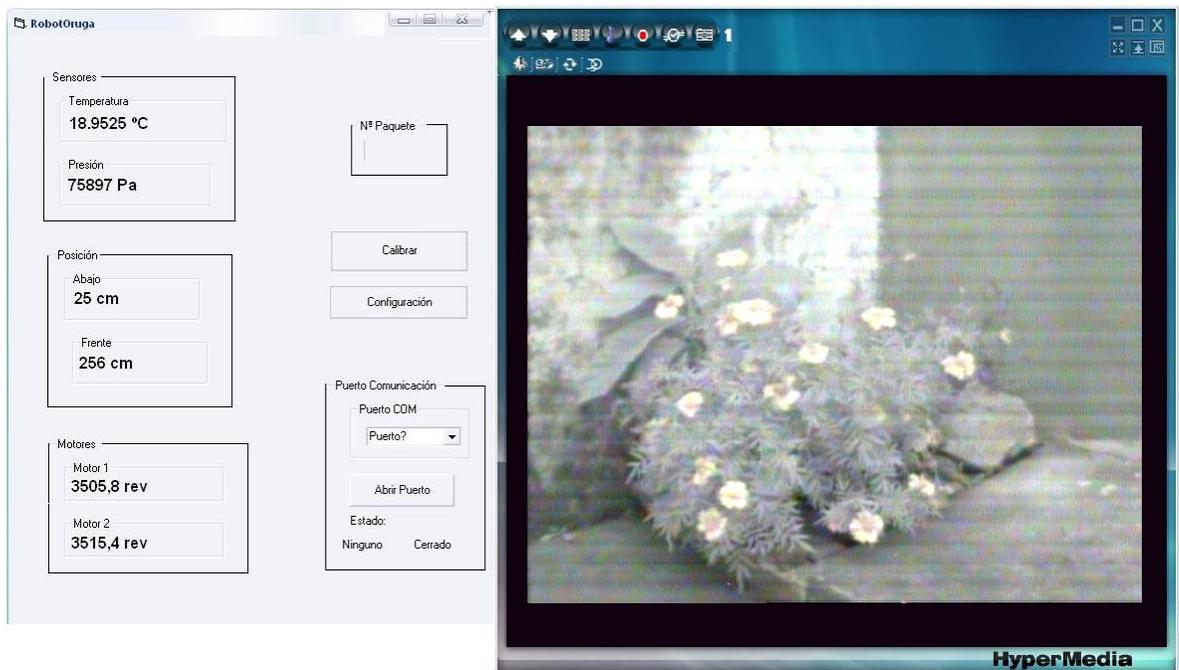


Figura 56. Ventana del software del robot.

En este formulario se utilizan dos temporizadores:

El temporizador 1 se utiliza para cada cierto periodo verificar el estado del Joystick, es decir, comprobar si se ha presionado algún botón.

El temporizador 2 se activa luego de que se ha enviado una orden al robot para esperar la respuesta de este.

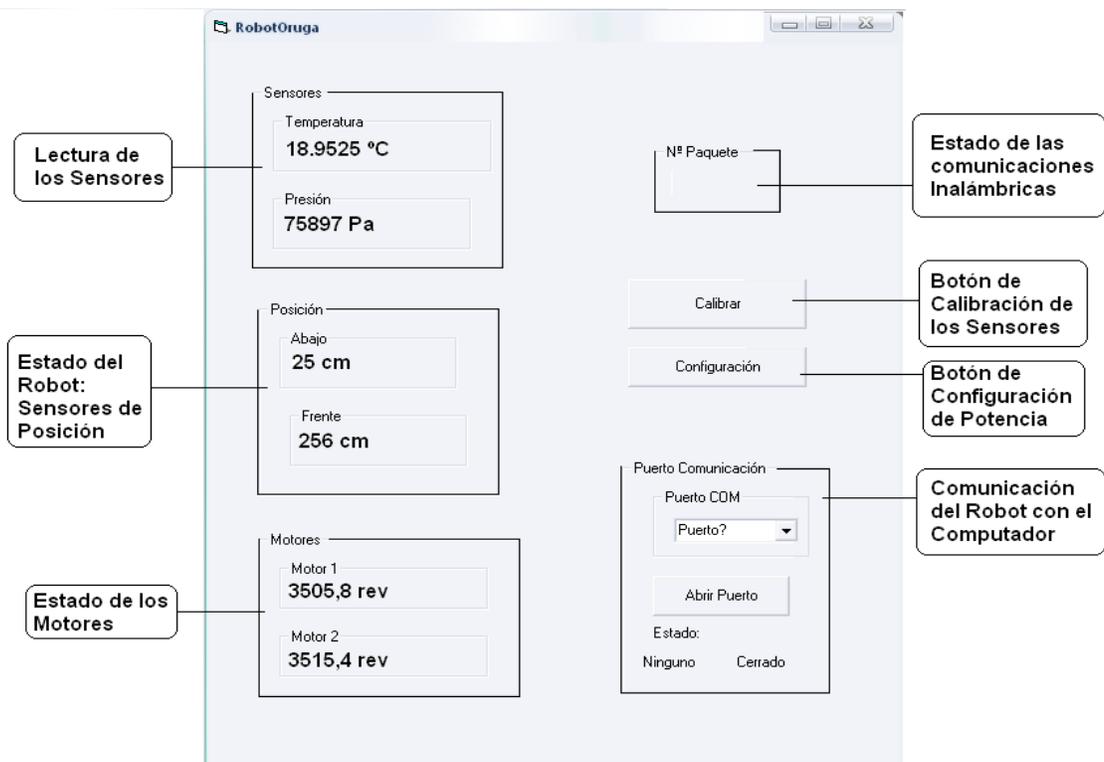


Figura 57. Ventana principal.

2. Formulario de configuración de potencia

Es un formulario que permite al operador manipular el valor de la potencia a utilizar para la comunicación inalámbrica dependiendo del sitio a explorar, esto permite ahorrar energía en caso de no necesitar demasiada potencia.

Las opciones de potencia vienen dadas en decibeles así (ver figura 58):

- -20dB equivalentes a 0,01W
- -10dB equivalentes a 0,1W
- -5dB equivalentes a 0,32W
- 0dB equivalentes a 1W



Figura 58. Configuración de potencia.

3. Formulario de calibración de sensores

En esta ventana (ver figura 59), se realiza el ajuste del valor que se muestra en pantalla de la lectura de los sensores, esto se hace para compensar la deriva, corregir posibles interferencias y perturbaciones internas y los errores sistemáticos y aleatorios que se puedan presentar en los sensores. En las cajas de texto se escribe el valor de referencia que permitirá ajustar el valor de los sensores.



Figura 59. Calibración de sensores.

2.5.4 Tratamiento de imágenes. Se realiza con un programa escrito en MATLAB, cuya ventana se observa en la figura 60, este programa permite abrir una imagen y aplicarle diferentes procesos matemáticos dependiendo de la calidad de esta y de lo que quiera reconocer el operador, estos procesos son:

- Conversión a escala de grises
- Vista en los planos RGB
- Obtención de bordes

Esto permite al operador obtener una mejor visión del lugar que está explorando y obtener imágenes para un análisis posterior.

La detección de Bordes se realiza con cuatro diferentes algoritmos, estos permiten obtener diferentes resultados para una imagen dada, los algoritmos son:

- Canny
- Sobel
- Log
- Prewitt



Figura 60. Software de tratamiento de imágenes.

2.6 ESTACIÓN ESCLAVA

Esta estación dentro del sistema teleoperado es el Robot Oruga, este se construyó para ser de manera remota una parte del operador, con la cual se puede explorar un sitio distante y posiblemente de difícil acceso para una persona y conocer su temperatura y presión del ambiente pudiendo así reducir riesgos de accidentes.

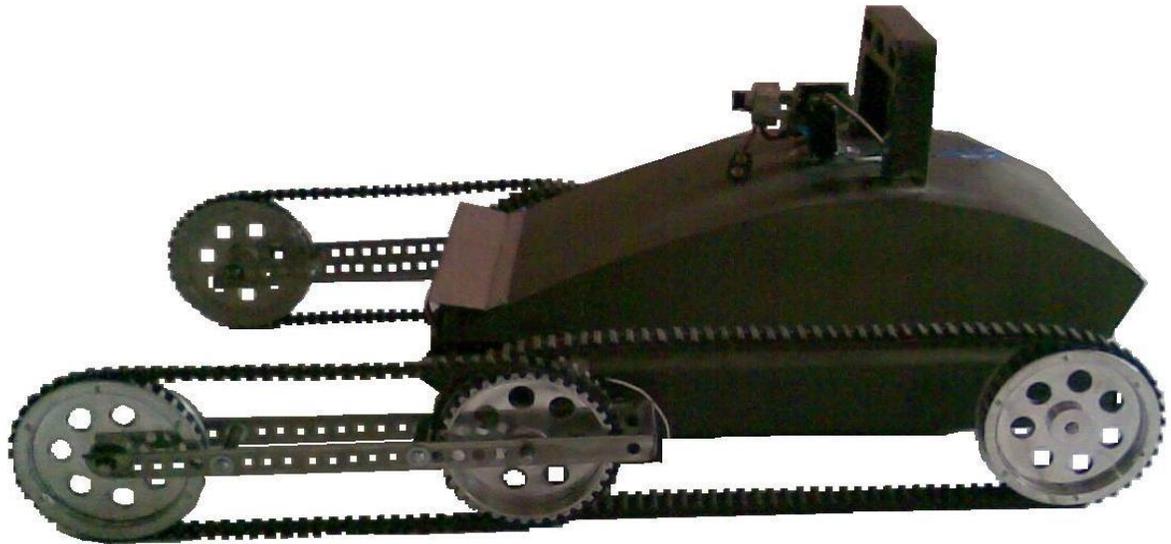


Figura 61. Foto del robot oruga teleoperado.

2.6.1 Estructura mecánica. La parte física del robot es enteramente metálica. El desplazamiento esta dado por seis ruedas de aluminio de 4.5 pulgadas de diámetro, el chasis es de hierro calibre 16, la tapa superior es de hierro calibre 22 y de acero inoxidable. Únicamente las bandas de la oruga son de caucho.

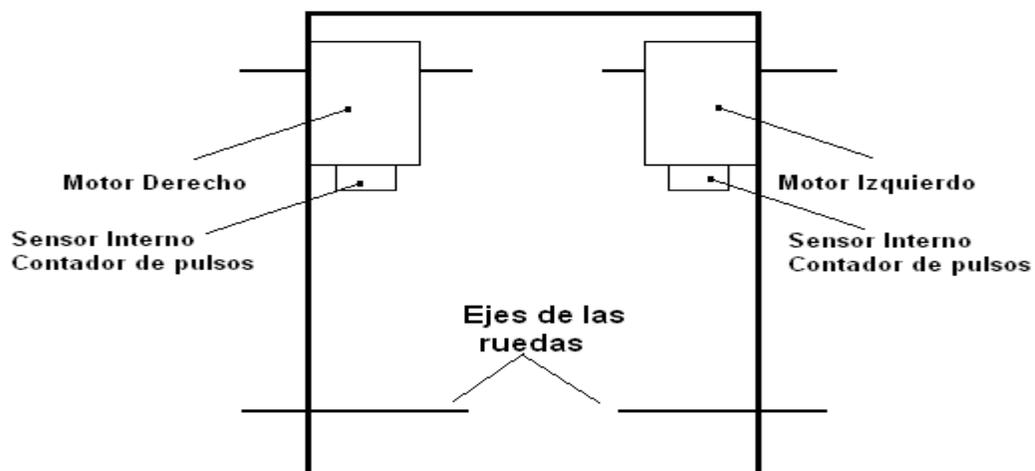


Figura 62. Vista superior del robot

El desplazamiento de la oruga se efectúa a través de dos motores DC, cada motor impulsa una banda de la Oruga, se usan dos motores porque el giro lo hace con un sistema diferencial, es decir, para girar a la derecha o a la izquierda un motor gira hacia adelante mientras el otro lo hace hacia atrás.

Cada motor DC puede tener una potencia máxima de salida de 20W y mueve una reducción mecánica que se compone de un total de 8 piñones, los cuales dan una ganancia de 67 veces el torque de salida del motor (ver figura 63).

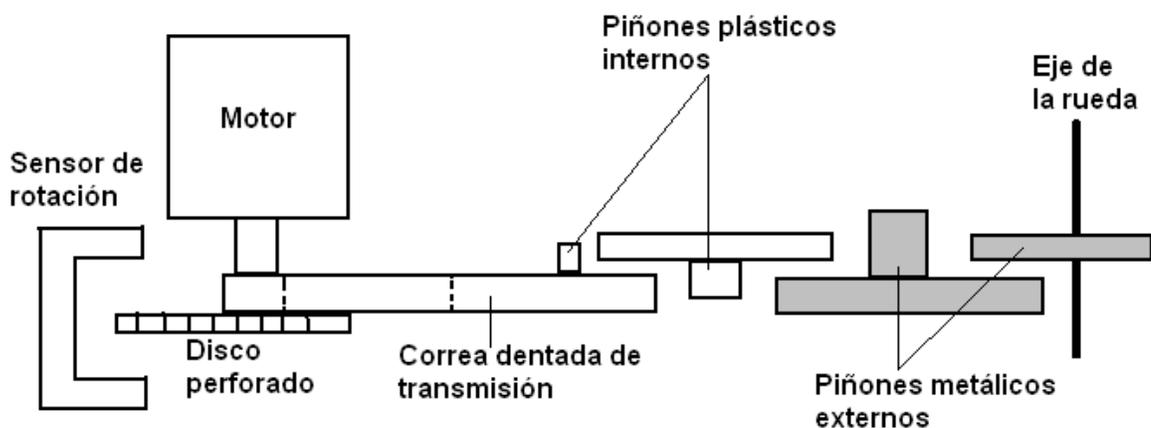


Figura 63. Reducción mecánica.

Toda la estructura se diseñó inicialmente usando un asistente de diseño por computador, el programa AUTOCAD 2008, en las figuras 64, 65 y 66 se observa el diseño mecánico del robot.

Los brazos del Robot se desplazan hacia arriba y hacia abajo barriendo un ángulo de 80°.

La siguiente figura permite observar el chasis, las ruedas, las bandas y los brazos del robot. Se puede observar como la trompa es curva hacia arriba para permitir al robot evadir obstáculos de gran tamaño.

Las bandas sobre las que se desplaza tienen un ancho de 27mm, estas dan un agarre suficiente al suelo, sin embargo es preferible un mayor grosor de las bandas y disminuir la presión sobre estas y de esta forma evitar que el móvil patine.

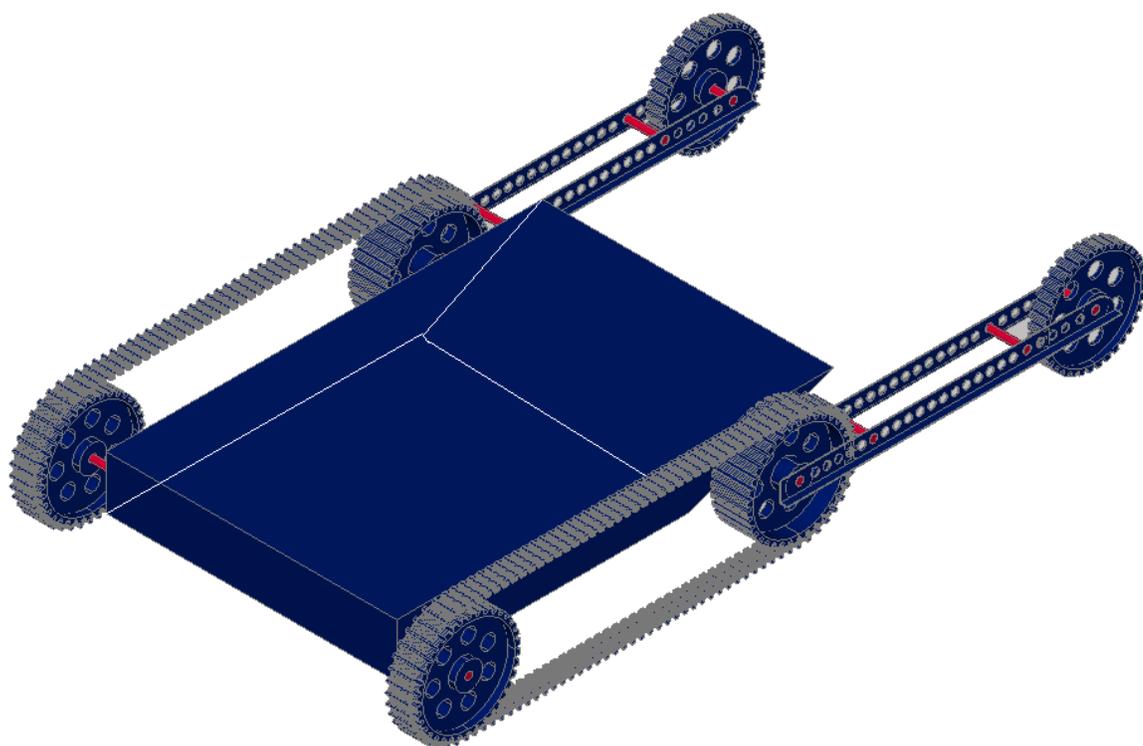


Figura 64. Perspectiva de la estructura mecánica del robot

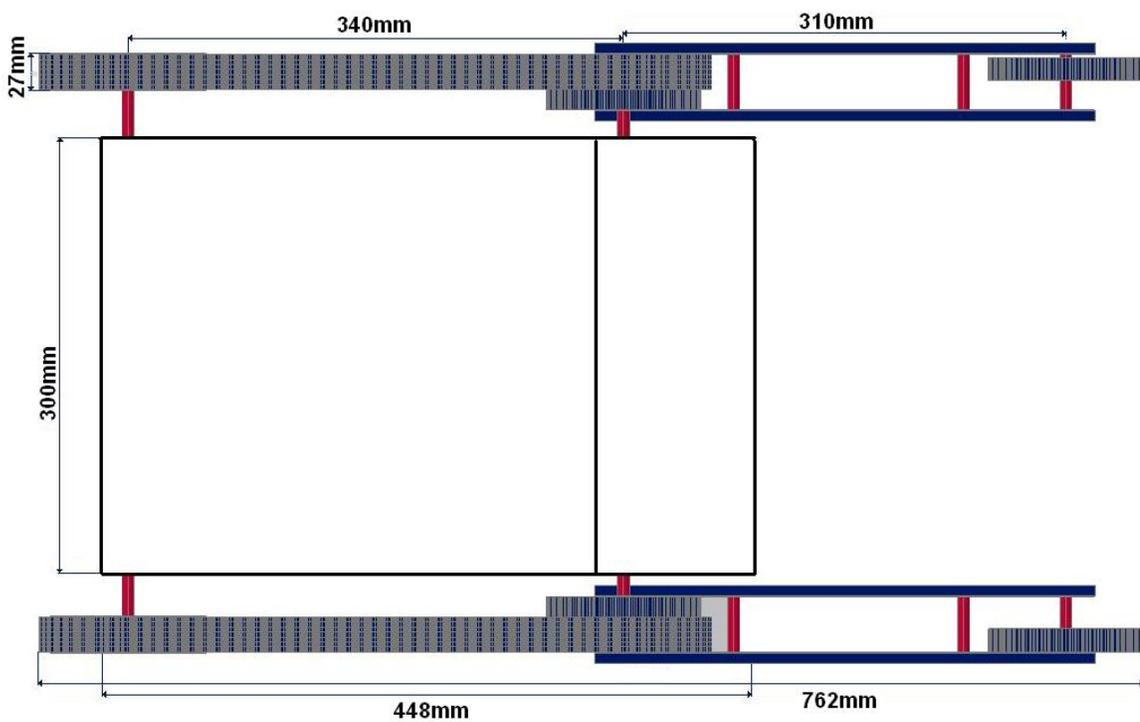


Figura 65. Vista superior del robot.

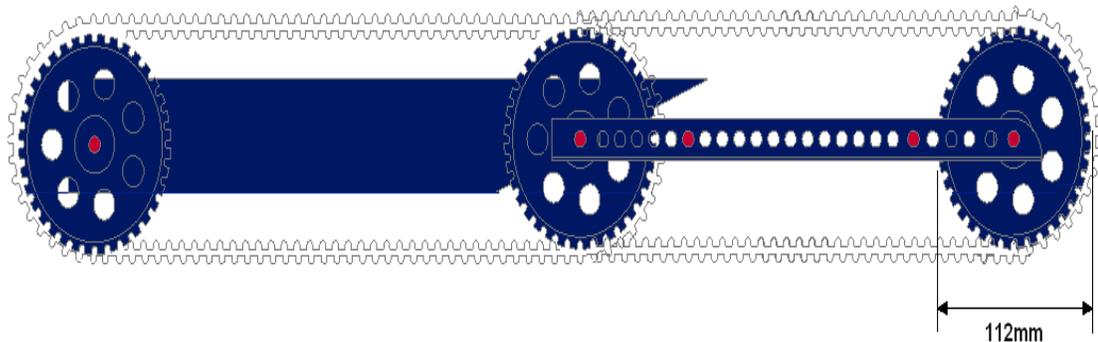


Figura 66. Vista lateral del robot.

El alto del chasis respecto a un suelo plano es de 40 mm, siendo este un limitante a su desplazamiento, ya que obstáculos muy grandes a los que el robot no pueda superar lo detendrían.

Desplazamiento del robot

Para poder mover el robot en terrenos de difícil acceso, se lo ha equipado de un sistema oruga compuesto por dos bandas de caucho y dentadas las cuales transmiten el movimiento procedente de la transmisión mecánica la cual es movida por dos motores DC, con este sistema se unen las ruedas delanteras y traseras aumentando la superficie de contacto con el suelo y consiguiendo una mayor tracción y pudiendo así sortear una mayor cantidad de obstáculos que los que se lograría con la utilización de ruedas incluso hasta subir escalones, este tipo de mecanismo tiene una gran adaptabilidad a terrenos escabrosos o arenosos, para los cuales es ideal, permite un buen agarre a los terrenos sobre los que se desplaza.

La transmisión mecánica está hecha por cinco piñones plásticos que vienen incluidos en el sistema de cada motor y exteriormente se añadieron tres piñones en acero para así lograr una reducción de 67 a 1, estos motores giran a una velocidad angular de 3000 rpm quedando la salida exterior en 45 rpm aproximadamente, de esta forma se logró incrementar el torque de los motores para mover todo el peso del robot que es de aproximadamente 12 kilogramos y un peso adicional de hasta 5 Kg y pudiéndose desplazar en pendientes de hasta 30°. De acuerdo con a los datos técnicos del motor, este posee un torque de 1.2Kg cm, debido a lo cual el torque de salida en los ejes de las ruedas es de 80Kg cm.

El control del movimiento de los motores DC, se consigue con la implementación de puentes H (ver figura 67) con los cuales se puede manipular el sentido de giro con tan solo colocar a sus entradas las tensiones necesarias. El puente H está conformado por cuatro transistores Darlington, dos NPN (TIP122) y dos PNP (TIP127), cuatro transistores de disparo 2N3904, dos optoacopladores 4N25 para

aislar los sistemas de potencia y control digital y 4 diodos 1N4007 para disipar las corrientes inversas generadas por el motor.

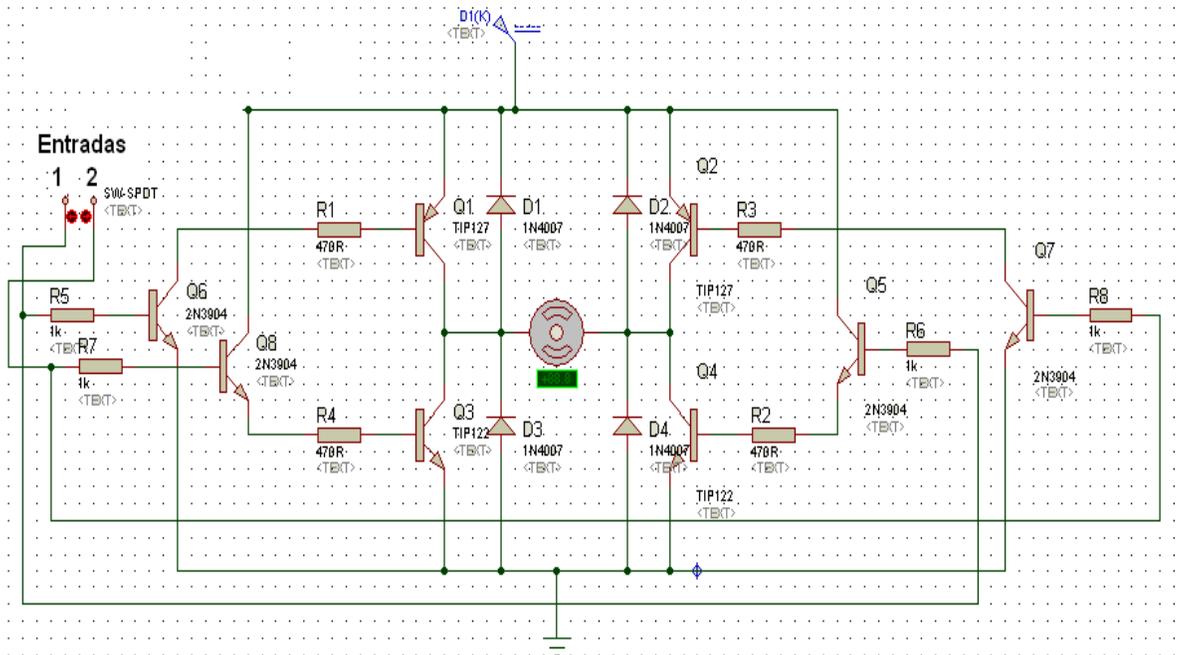


Figura 67. Puente H.

2.6.2 Control Electrónico. La electrónica del Robot es la parte más interesante y sofisticada del sistema. Se divide en tres partes fácilmente diferenciables.

1. Control Digital
2. Sensores
3. Efectores Finales

A continuación se describe cada parte de la electrónica del robot

1. Control Digital:

Esta parte consiste del transceiver TRF -2.4G y un microcontrolador PIC16F877A. El control digital se encarga de recibir las órdenes que son impartidas por el operador y decodificarlas para que el robot las ejecute, tanto para el movimiento en si del robot por medio de dos motores DC de 12V como también para el movimiento de la cámara de video que se realiza con dos servomotores que forman un brazo de dos articulaciones. Además se comunica con el controlador digital de señales y el conjunto de sensores para transmitir a la estación base los datos que han sido recogidos por este (ver figura 68).

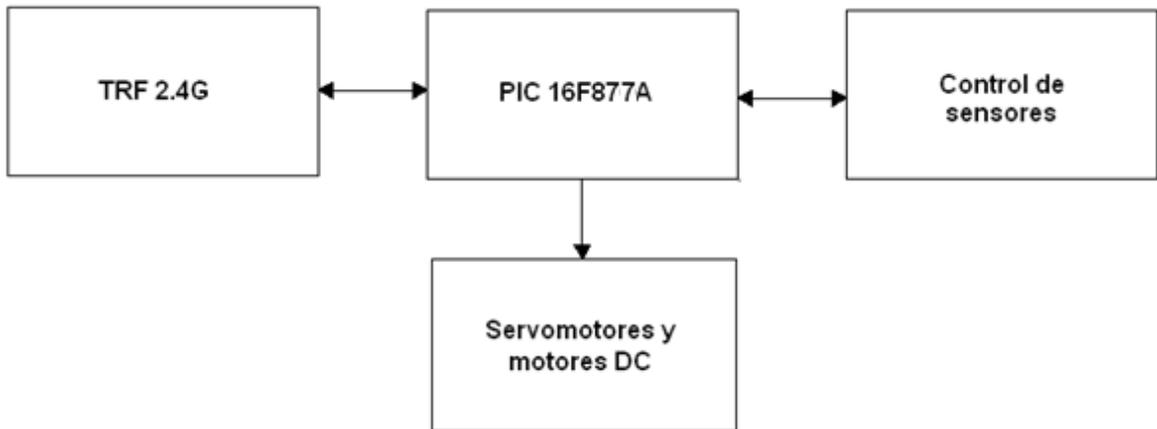


Figura 68. Esquema del control digital.

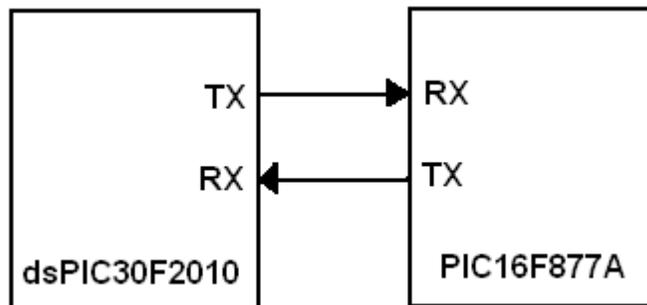


Figura 69. Conexión entre el PIC y el controlador de sensores.

2. Sensores

Los sensores del robot son manejados por un controlador digital de señales dsPIC30F2010 (ver figura 70), el cual se encarga de hacer constantemente lectura de los sensores y enviar los datos al MCU principal para ser transmitidos a la estación base.

Todos los sensores, a excepción de la cámara de video, son controlados por el dsPIC30F2010, el cual hace la conversión análogo-digital de las lecturas de los sensores, promedia los valores aprovechando su alta velocidad de procesamiento y entrega los datos al control digital.

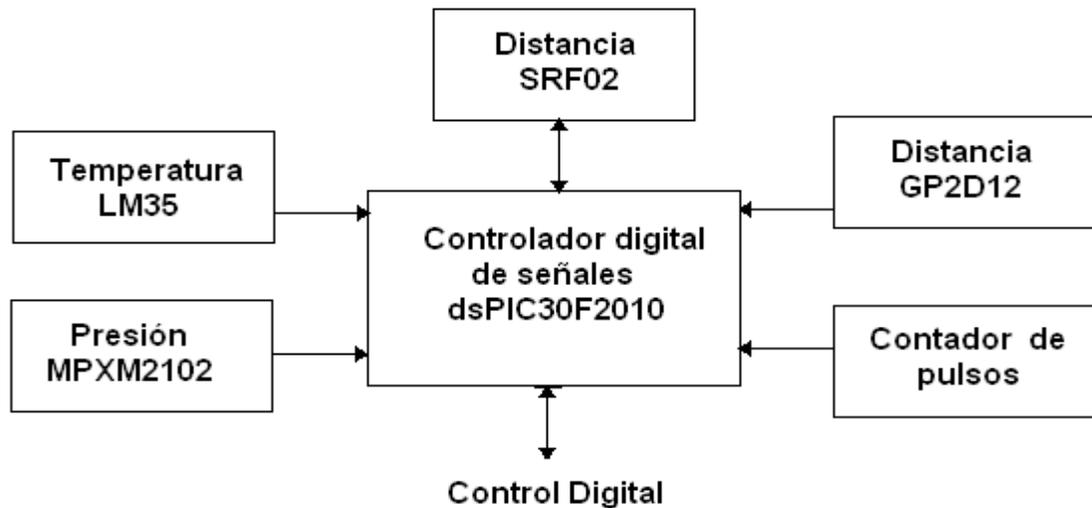


Figura 70. Esquema de control de sensores.

El controlador digital de señales dsPIC30F2010

Este dispositivo se caracteriza por alcanzar un rendimiento de hasta 30MIPS e integrar memoria flash de alta calidad junto a novedosos recursos hardware, apoyándose en herramientas de desarrollo de software.

Su arquitectura se sustenta en un núcleo RISC con arquitectura Harvard mejorada. Actúa como soporte central de información un banco de 16 registros de trabajo de 16 bits cada uno; se dispone de un bus de datos de 16 líneas y otro de instrucciones de 24. Para potenciar la velocidad de las operaciones aritméticas complejas existe un motor DSP que contiene un multiplicador hardware de 17x17 bits, dos acumuladores de 40 bits y un robusto registro de desplazamiento.

La memoria de datos se divide en dos espacios, X e Y, que pueden ser accedidos simultáneamente en las operaciones matemáticas DSP. La estructura admite operaciones MCU y DSP con un repertorio de 84 instrucciones, la mayoría de 24 bits de longitud y ejecutables en un ciclo de instrucción.

Admite hasta 45 fuentes distintas de petición de interrupción con 7 niveles de prioridad, de las cuales 5 son externas. Cada interrupción posee su propio vector de salto.

El dsPIC30F2010 se clasifica en la categoría para el control de motores, en especial para los de corriente continua, y sistemas de alimentación.

Características

- 28 pines
- Memoria flash de programa de 12Kbytes
- Memoria SRAM de 512 bytes
- Memoria EEPROM de 1Kbyte
- 3 timer de 16 bits
- 4 módulos de captura
- 2 módulos de comparación y PWM estándar
- 6 canales de control de motores
- Conversor análogo digital de 10bits y 500KBPS
- Codificador de cuadratura
- Módulos de comunicación UART, SPI, I2C
- Rango de alimentación entre 2.5 y 5.5 VDC

Los sensores que el Robot posee se pueden clasificar en tres tipos, sensores internos, sensores externos de Posición y sensores externos de adquisición de datos.

Tipo A. Sensores Internos

- **Contadores de Pulsos:** es un sensor óptico infrarrojo que cumple dos funciones, la primera es contar la cantidad de revoluciones que da cada motor que impulsa el robot y poder conocer cuanto se ha desplazado la oruga, la segunda función es detectar movimiento en los mismos motores y poder saber si el robot se esta desplazando o ha sufrido algún atascamiento.

El método óptico de detección de velocidad angular emplea un emisor y un receptor de luz. Una pareja de LEDs es el acomodamiento más común (ver figura 71). Un disco con orificios es colocado en el eje de rotación, cada orificio permite el paso de luz a través del disco. El detector genera un tren de pulsos con una tasa proporcional a la velocidad angular.

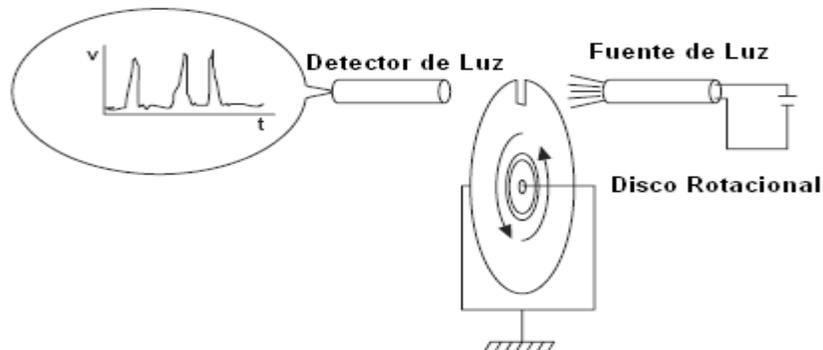


Figura 71. Disco con orificio que produce un pulso por cada rotación.

Tipo B. Sensores externos de Posición.

Estos sensores permiten al robot y al operador conocer mejor el entorno del Robot Oruga, su función es medir distancias respecto a su frente y hacia el piso por donde el robot se esté moviendo, de esta manera se pueden prevenir choques, caídas y conocer mas información acerca del lugar de exploración.

- **Sensor de huecos:** Sensor GP2D12, sensor óptico infrarrojo para medir distancias, su función es prevenir que el robot pueda caer a algún hueco o zanja, cuando por ejemplo es muy oscuro y el operador no puede visualizar el peligro o simplemente es imposible ver que en la trayectoria hay un hueco del que el robot tal vez no pueda salir si cayera en él, de esta forma el robot tiene cierta autonomía, ya que aunque el operador le esté dando alguna orden, el robot no la ejecutará en un modo normal, en caso contrario sólo si se le da una orden especial. La figura 72 muestra un ejemplo de la aplicación de este sensor.

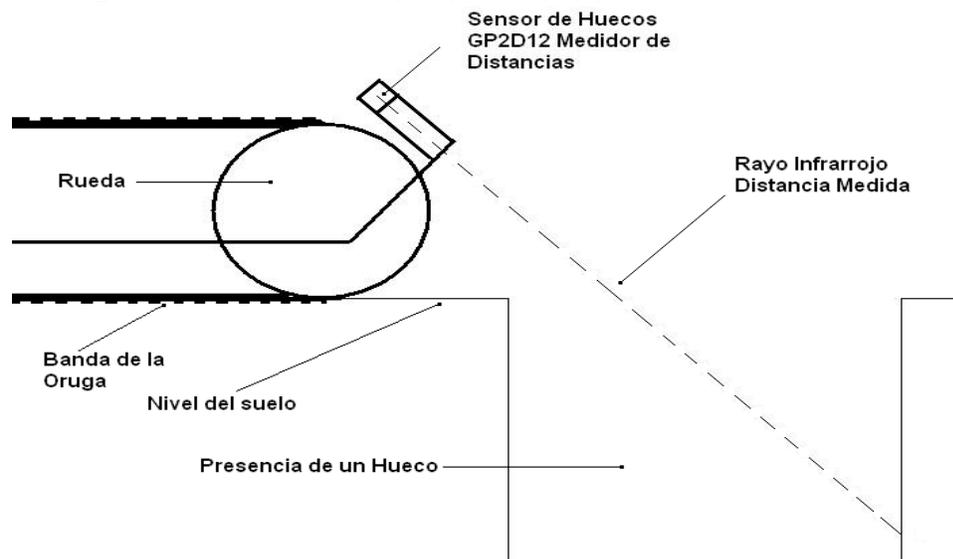


Figura 72. Ejemplo de detección del sensor.

El rango de medición del sensor GP2D12 esta entre 10 y 80 cm. El operador obtendría una alarma de un posible hueco el cual él debería verificar.

Sensor Infrarrojo GP2D12

Descripción

El GP2D12 es un sensor para medir distancias con procesamiento de señal integrado y un voltaje análogo de salida.

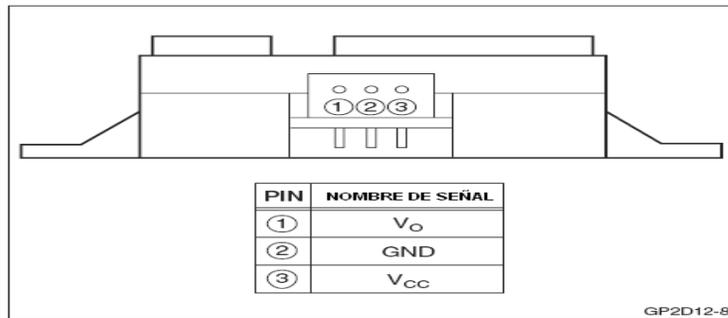


Figura 73. Vista superior del sensor GP2D12

Características

- Salida Analógica
- Tiempo de respuesta típico: 39 ms y Retardo típico del arranque: 44ms
- Promedio de consumo de corriente: 33mA
- Rango efectivo: 10 a 80 cm, diámetro del área de detección (a 80 cm): 6 cm

Curva de Respuesta

La salida del sensor es analógica pero no lineal, como se observa en la gráfica el sensor posee un rango efectivo de distancias desde aproximadamente los 10cm hasta los 80 cm, la respuesta es una curva exponencial que se observa en la figura 74 por lo que se hace necesario linealizar la respuesta mediante software.

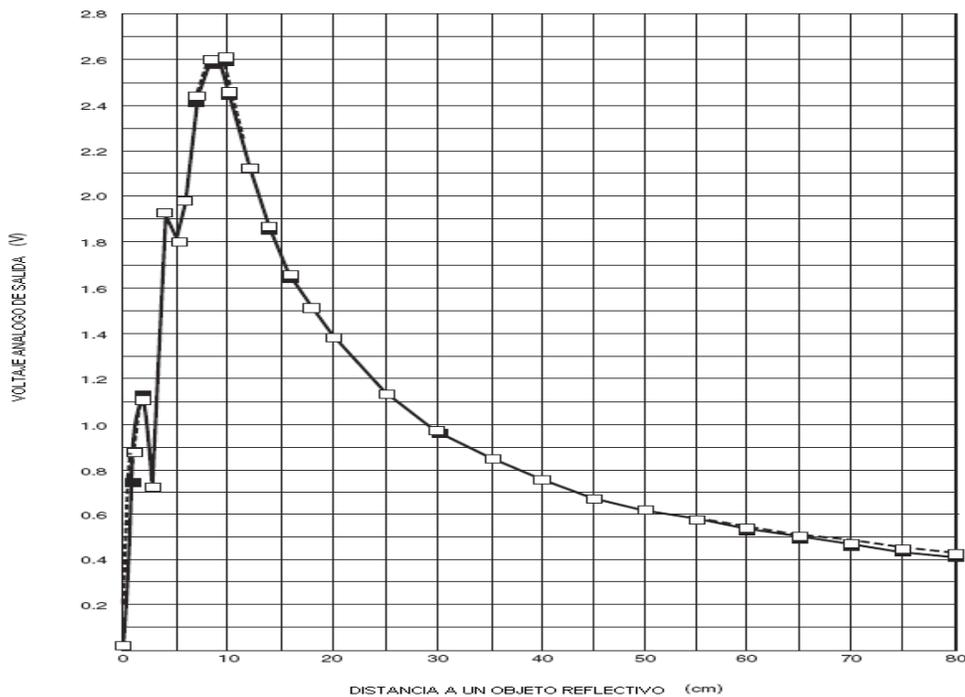


Figura 74. Curva típica de respuesta.

Debido a la curva de respuesta que presenta el sensor, es necesario, construir una tabla de valores para poder obtener el valor de la medición. Esto se hace en el software del Ordenador.

- **Sensor de obstáculos al frente:** El sensor ultrasónico SRF02 es capaz de medir distancias entre 15 y 600 cm, y es capaz de dar la posición del Robot Oruga respecto a un obstáculo que se encuentre al frente de este, por ejemplo, una pared o una roca muy grande.

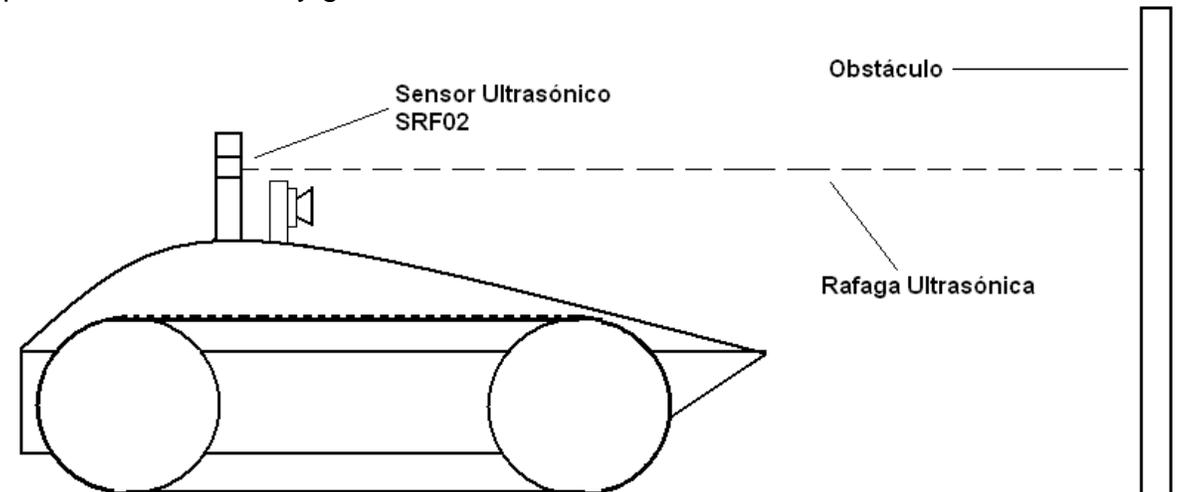


Figura 75. Medición con el sensor ultrasónico.

Por lo cual el robot avanzará hasta una cierta distancia y se frenará para evitar chocarse y avanzará solo cuando se le dé una orden especial que bloquee la autonomía del robot.

Sensor ultrasónico SRF02

Descripción

El SRF02 es un medidor ultrasónico de distancias (sonar) que utiliza un solo transductor para efectuar la operación de emisión y recepción de una ráfaga ultrasónica de 40 kHz.

Acepta comunicaciones I2C y serie. El interfase serie tiene un formato estándar a 9600 baudios, 1 bits de inicio, 2 de stop y sin paridad a niveles de tensión TTL por lo que se puede conectar directamente con la UART de cualquier microcontrolador.

Ya que en el SRF02 se emplea un único transductor tanto para la transmisión de la ráfaga ultrasónica como para la recepción del correspondiente eco, la distancia mínima que se puede medir es mayor que en los sensores que emplean dos transductores. Esta distancia mínima es en torno a los 15cm (6”).



Figura 76. Foto del sensor SRF02

Características

Se resumen a continuación las características más notables del medidor ultrasónico SRF02:

- Tensión de alimentación +5Vcc
- Consumo típico 4mA.
- Frecuencia ultrasónica de 40KHz
- Rango de medidas de 15 cm hasta 6 m
- Control de automático de ganancia
- Interfase serie estándar o protocolo bus I2C
- Sintonía automática
- Medida expresada en μ S, cm o pulgadas
- Reducido tamaño de 24 x 20 x 17 mm

Modos de interfase

Una de las características del sonar SRF02 es la posibilidad de controlarlo desde un microcontrolador maestro, bien por bus I2C o por interfase serie estándar.

El modo de interfase Serie entre el SRF02 y el maestro se selecciona conectando con GND la patilla MODO. Se configura así una comunicación serie estándar con niveles TTL a 9600 baudios, 1 bit de inicio, 2 de stop y sin paridad. Este interfase es probablemente el más extendido y la mayor parte de los microcontroladores actuales incorporan un UART que facilita y simplifica la comunicación. El SRF02 sólo necesita recibir 2 bytes: la dirección del propio SRF02 (por defecto la 0) y el comando a ejecutar. Se puede seleccionar hasta 16 direcciones diferentes (0x00 — 0x0F) por lo que es posible conectar varios sonar.

Comandos

Todos los comandos que el microcontrolador debe transmitir están formados por dos bytes: la dirección del sonar y el comando propiamente dicho, los comandos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4. Comandos del sensor ultrasónico.

COMANDO		DESCRIPCION
DEC.	HEX.	
80	0x50	Iniciar una nueva medida. Resultado en pulgadas
81	0x51	Iniciar una nueva medida. Resultado en centímetros
82	0x52	Iniciar una nueva medida. Resultado en micro segundos
83	0x53	Iniciar una nueva medida. El resultado en pulgadas se transmite automáticamente por Tx
84	0x54	Iniciar una nueva medida. El resultado en centímetros se transmite automáticamente por Tx
85	0x55	Iniciar una nueva medida. El resultado en micro segundos se transmite automáticamente por Tx
86	0x56	Iniciar una nueva medida falsa. Resultado en pulgadas
87	0x57	Iniciar una nueva medida falsa. Resultado en centímetros
88	0x58	Iniciar una nueva medida falsa. Resultado en micro segundos
89	0x59	Iniciar una nueva medida falsa. El resultado en pulgadas se transmite automáticamente por Tx
90	0x5A	Iniciar una nueva medida falsa. El resultado en centímetros se transmite automáticamente por Tx
91	0x5B	Iniciar una nueva medida falsa. El resultado en micro segundos se transmite automáticamente por Tx
92	0x5C	Transmite una ráfaga de 8 ciclos a 40KHz. No se realiza ninguna medida.
93	0x5D	Leer la versión del firmware interno
94	0x5E	Leer la medida. Devuelve dos bytes con el resultado de la última medida realizada.
95	0x5F	Leer la medida de distancia mínima. Devuelve dos bytes con el resultado de la última medida mínima realizada.
96	0x60	Fuerza un reinicio del sonar SRF02 realizando un ciclo de auto ajuste. Es similar a conectar la alimentación
160	0xA0	1er. Comando de la secuencia para el cambio de dirección del SRF02
165	0xA5	3er. Comando de la secuencia para el cambio de dirección del SRF02
170	0xAA	2º comando de la secuencia para el cambio de dirección del SRF02

Es decir, por ejemplo, para pedir una medición del sonar inmediatamente cuyo resultado sea en cm, se debería enviarle el comando: 0x00-0x54, y el sonar respondería luego de hacer la medición automáticamente con el valor que obtuvo.

Tipo C. Sensores externos de adquisición de datos

La señal de estos sensores es adecuada con amplificadores de instrumentación AD620. Este Amplificador funciona con una fuente dual, por lo que es necesario

alimentarlo con dos baterías de 9 voltios, estas baterías entregan +Vs que sería de +9VDC y -Vs que sería de -9VDC.

Amplificador de instrumentación AD620

Descripción

EL AD620 es un amplificador de instrumentación (AI) de alta precisión, el cual solo requiere una resistencia externa para ajustar su ganancia desde 1 hasta 1000.

Este elemento tiene una presentación de circuito integrado de 8 pines (ver figura 77) y ofrece bajo consumo de potencia, solamente 1.3mA como máximo, haciéndolo muy bueno para diseños alimentados con batería, sistemas portátiles o remotos.

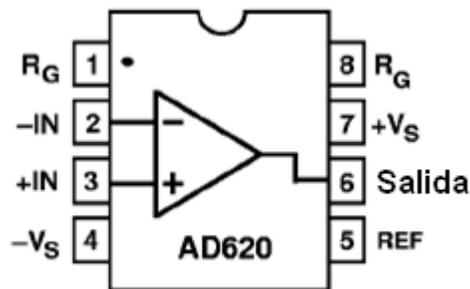


Figura 77. Diagrama de pines del AD620.

Características

- Amplio rango de voltaje de alimentación: $\pm 2.3V$ a $\pm 18V$
- Diseño de alto desempeño con tres amplificadores operacionales (op amp)
- Presentación de circuito integrado de 8 pines
- 125 μV máximo como voltaje de offset.
- 15 μS de tiempo de establecimiento

Entre las aplicaciones del AD620, se cuentan

- ECG e instrumentación medica
- Interfase de transductores
- Sistemas de adquisición de datos
- Procesos de control industrial
- Equipos portátiles y de alimentación por baterías

Teoría de operación

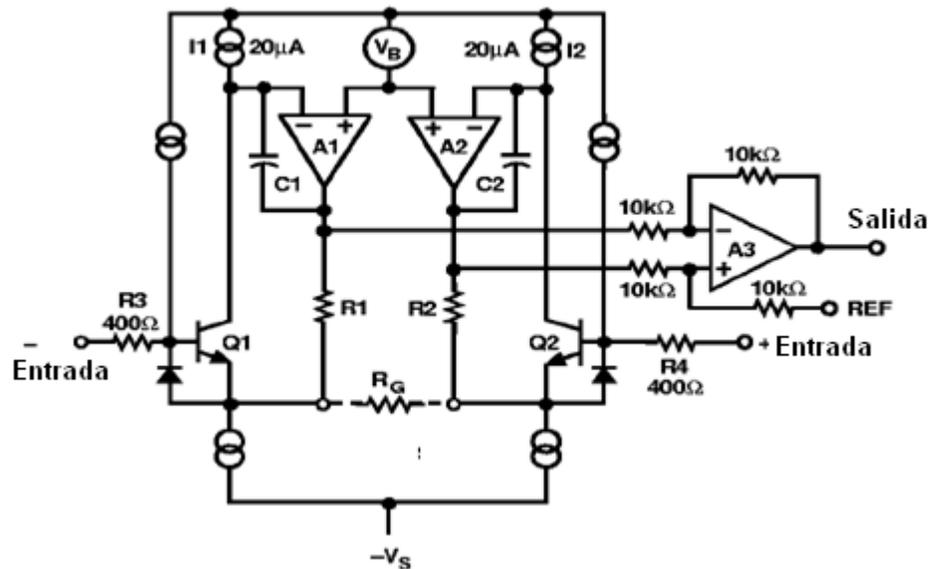


Figura 78. Esquema simplificado del AD620.

El AD620 es un amplificador de instrumentación (AI) monolítico, basado en una modificación del clásico AI de tres op amp. Los transistores de entrada Q1 y Q2 proveen un par diferencial de entrada de alta precisión (ver figura 78).

La ganancia esta dada por:

$$G = \frac{R1 + R2}{R_G} + 1$$

El valor de R_G también determina la transconductancia de la etapa de preamplificación. Los resistores de ganancia internos, R1 y R2, son ajustados en fábrica a un valor absoluto de 24.7kΩ. Esto permite programar la ganancia de forma precisa con un solo resistor.

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1$$

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G - 1}$$

- **Sensor de temperatura:** El sensor LM35 tiene la característica de ser lineal y entregar a su salida un voltaje proporcional a la temperatura a la cual esta sometido, mediante este sensor montado en el frente del Robot se puede conocer

la temperatura ambiente circundante. Esta información puede ser muy valiosa para que el operador pueda conocer mas detalles acerca del sitio de exploración.

El sensor se conecta al controlador de sensores previamente amplificada su salida con el AI AD620 por un factor de diez veces, con esto se logra que el conversor análogo digital tenga mayor resolución (ver figura 79).

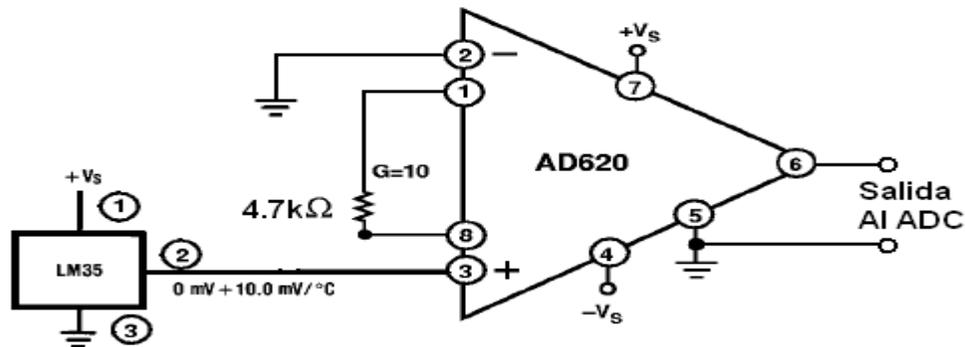


Figura 79. Amplificación de la salida del sensor LM35.

Sensor LM35

Descripción

Es un sensor de temperatura de precisión en circuito integrado, el cual da un voltaje de salida linealmente proporcional a la temperatura en grados Celsius. El LM35 tiene una ventaja sobre sensores lineales de temperatura calibrados en grados Kelvin, ya que el usuario no requiere sustraer un gran voltaje constante de su salida para obtener el resultado en escala de grados centígrados. El LM35 no requiere ninguna calibración externa para proveer lecturas típicas de $\pm 1/4$ °C a temperatura ambiente y $\pm 3/4$ °C sobre un completo rango de temperatura desde -55 a +150°C²⁸.

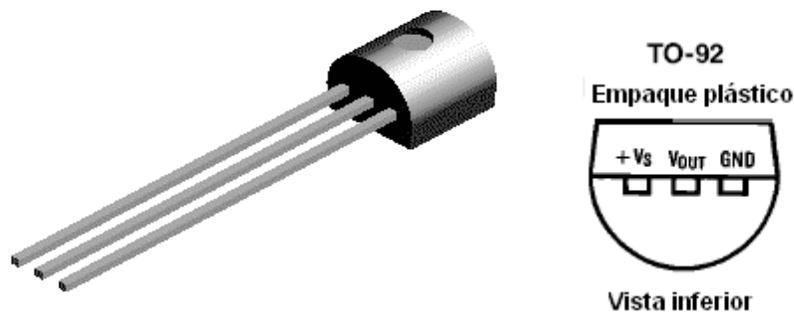


Figura 80. Sensor de temperatura LM35.

²⁸ Datasheet LM35, Precision Centigrade Temperature Sensors, National Semiconductor.

El LM35 tiene una baja impedancia de salida, salida lineal y una calibración precisa inherente a hacer interfases de lectura o control con circuitería simple. Puede ser usado con una sola fuente de poder o con fuente de poder dual; como solamente drena $60\mu\text{A}$ de su fuente de poder, tiene muy poco autocalentamiento, menos de 0.1°C al aire libre.

Características

- Calibración directa en grados Celsius (centígrados)
- Factor de escala lineal de $+10.0\text{mV}/^\circ\text{C}$
- 0.5°C de precisión garantizada (a $+25^\circ\text{C}$)
- Rango de escala completa desde -55 a $+150^\circ\text{C}$
- Adecuado para aplicaciones remotas
- Opera desde 4 a 30V
- Consumo de corriente de menos $60\mu\text{A}$
- Bajo autocalentamiento
- Baja impedancia de salida, 0.1Ω para 1mA de carga

- **Sensor de presión:** La presión atmosférica es un dato ambiental que bajo determinadas circunstancias es importante conocer. Mediante el Sensor MPXM2102 funcionando como barómetro se sabe la presión Atmosférica a la cual se encuentra sometido el Robot.

Este sensor entrega una salida muy pequeña, debido a esto la amplificación que se hace de su salida es relativamente grande, de un factor de 100 (ver figura 81).

Esta amplificación deja en teoría el rango de salida entre los valores de 0 y 4 Voltios.

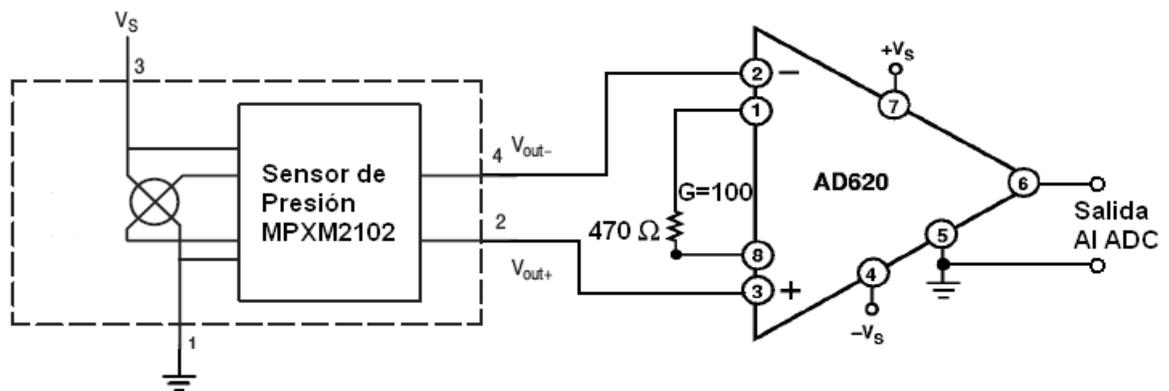
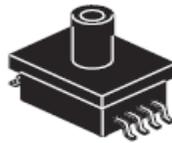


Figura 81. Amplificación de la salida del sensor MPXM2102.

Sensor MPXM2102

Descripción

Es un sensor de presión piezorresistivo de silicio, el cual provee una alta precisión y un voltaje lineal de salida directamente proporcional a la presión aplicada. Su funcionamiento se basa en un sistema de diafragma monolítico de silicio y una delgada película formada por una red de resistencias integradas en el dispositivo. El sensor es ajustado mediante laser para un intervalo preciso y una compensación en temperatura²⁹.



ESCALA 2:1

Figura 82. Imagen sensor de presión.

Compensado en temperatura sobre 0 hasta +85°C

Aplicaciones

- Robótica
- Indicadores de nivel
- Diagnósticos médicos
- Interruptores de presión
- Barómetros
- Altímetros

Curva de respuesta

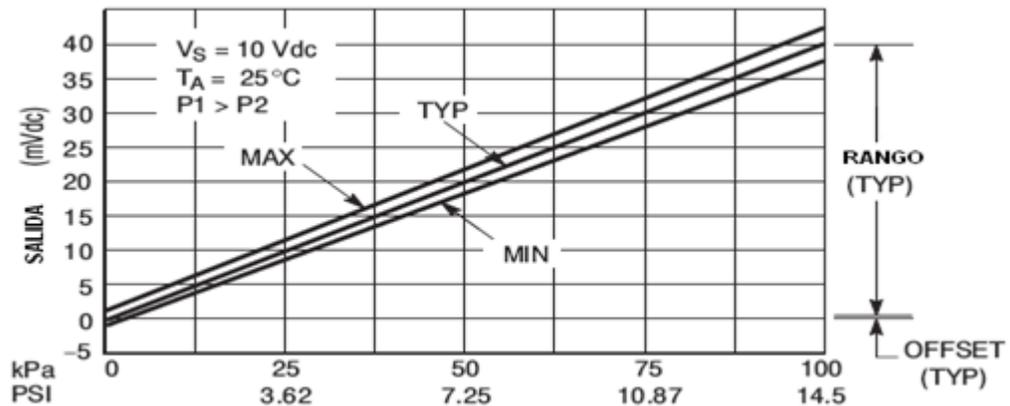


Figura 83. Salida vs. presión diferencial.

²⁹ Datasheet MPXM2102, MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA.

Esta figura muestra el mínimo, máximo y la salida típica características del MPXM2102 a 25°C. La salida es directamente proporcional a la presión diferencial y es esencialmente una línea recta (ver figura 83).

- **Cámara de video:** Es un sensor visual captador de imágenes y puede considerarse como el sensor más importante y el que más información proporciona. Las imágenes adquiridas son susceptibles de ser analizadas más rápidamente y en tiempo real por el operador o de un posterior análisis mediante software capaz de hacer tratamiento de imágenes.

La cámara está equipada de una antena lineal, la cual está constituida por un conductor rectilíneo en posición vertical y que permite la emisión de ondas de radiofrecuencia a 2.4GHz.

Para mejorar las condiciones de luminosidad del sitio de exploración, la cámara está apoyada por un sistema de iluminación basado en 21 LEDs de alto brillo en un acomodo de una matriz de exploradoras.

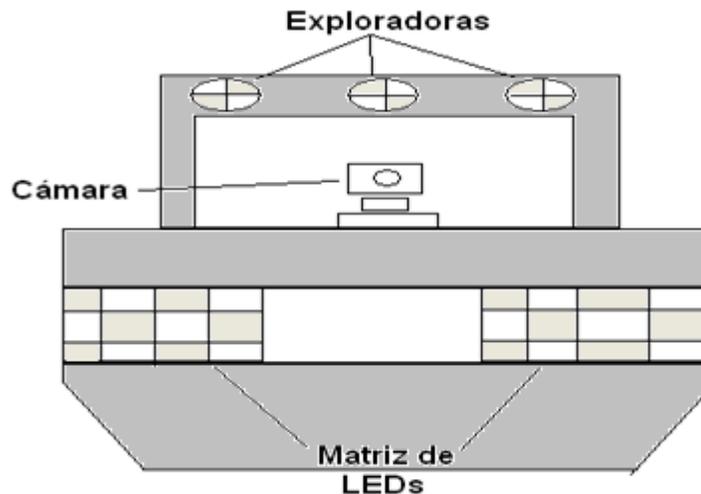


Figura 84. Vista frontal del robot.

3. Efectores finales

El robot posee tres efectores finales: los brazos del robot, el brazo de la cámara y la banda de caucho que hace la oruga, para controlar los movimientos de estos, se hace una interfase con optoacopladores entre el control digital y las tarjetas de control de los motores, esto se hace con el propósito de aislar las señales digitales del ruido que puede generar los motores DC y así evitar interferencia con el envío y recepción de información y con el desarrollo del programa, esto se hace por medio del circuito integrado 4N25.

Optoacoplador 4N25

Descripción

Son optoacopladores de propósito general que consisten de un diodo emisor infrarrojo que maneja un fototransistor de silicio en un empaque de 6 pines.

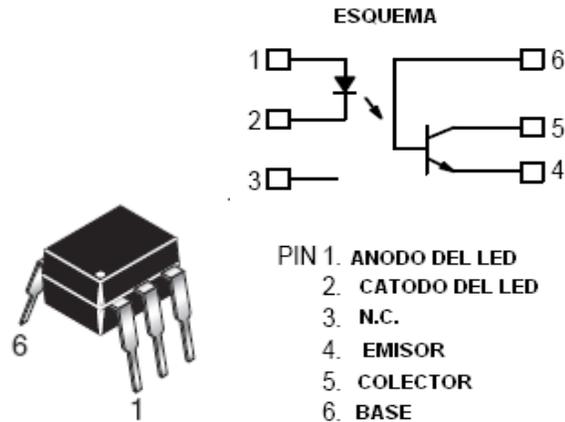


Figura 85. Perspectiva y esquema del 4N25.

Aplicaciones

- Interruptores de propósito general
- Sistemas de interfase y acoplamiento de diferentes potenciales e impedancias
- Interfases de entrada y salida
- Relevos de estado sólido

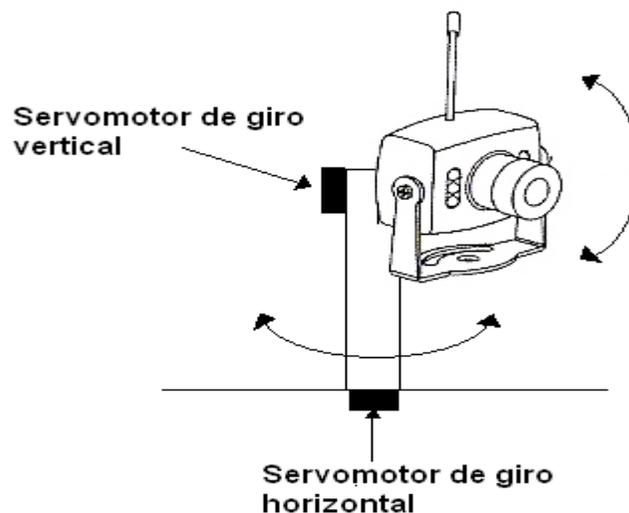


Figura 86. Movimiento del brazo de la cámara.

La cámara se mueve por un brazo de dos articulaciones controladas cada una por un servomotor, una articulación horizontal que permite la cámara visualice de derecha a izquierda y una articulación vertical para visualizar arriba o abajo dependiendo de la necesidad de exploración. Con los servomotores se logra hacer movimientos más precisos ya que estos ofrecen un control sobre la resolución del ángulo de giro moviéndose en un paso 4.5° aproximadamente.

En el movimiento de los brazos del robot intervienen dos servomotores, que los mueven en forma vertical ayudándolo para el sorteo de obstáculos y para subir escalones.

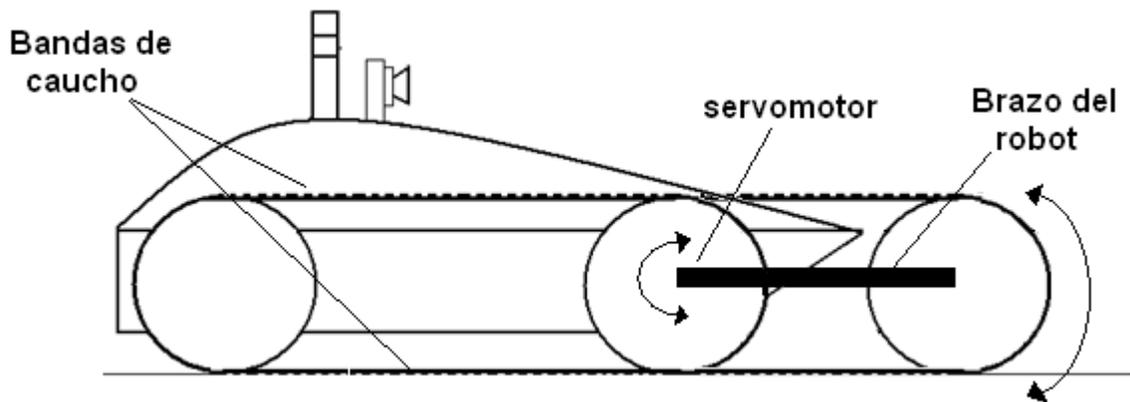


Figura 87. Vista lateral del robot.

Para el desplazamiento del robot, se utilizan dos bandas de caucho dentadas que ofrecen un mejor agarre, cada una de estas es impulsada por una rueda dentada la cual es movida por los motores DC mediante una transmisión mecánica.

2.6.3 Software del robot. El robot tiene un programa desarrollado bajo lenguaje C, el cual recibe las órdenes emitidas por el operador.

En el programa principal, se inicializan variables, se configuran puertos del microcontrolador como entradas y salidas, también se inicializan bases de tiempos, se configuran las interrupciones y el puerto de comunicaciones y continúa en un ciclo infinito esperando una orden que llegará cuando se presente una interrupción con la cual ejecutará una determinada operación.

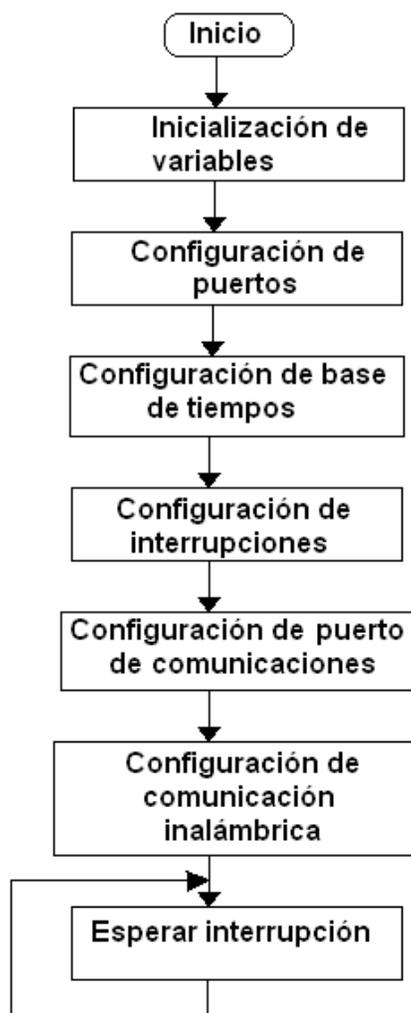


Figura 88. Diagrama de flujo del programa principal.

En cuanto a las interrupciones, dependiendo de la orden del operador, se ejecutará una determinada instrucción, que puede ser mover la oruga, mover uno o los dos brazos del robot o la cámara.

Cuando el operador da una instrucción de mover el robot en una determinada dirección, dependiendo del botón del Joystick que se haya presionado, se transmite un dato que codifica la acción a realizar, por ejemplo para desplazarse hacia adelante, envía un dato que el microcontrolador del robot interpretará y pondrá la salida del puerto que controla los motores en un determinado orden de unos y ceros lógicos que hacen mover al motor en el sentido requerido. Esto se puede ver más claramente en la siguiente tabla.

Tabla 5. Direcciones del robot controladas por el MCU.

Dirección	Salidas del puerto del microcontrolador			
	PA0	PA1	PA2	PA3
Adelante	1	0	1	0
Atrás	0	1	0	1
Derecha	1	0	0	1
Izquierda	0	1	1	0

Cuando el robot se mueve hacia adelante, los dos motores se moverán en el mismo sentido así como también cuando se mueve hacia atrás. En caso de moverse hacia la derecha o izquierda, los motores se moverán cada uno en un sentido diferente dependiendo del movimiento que se quiera realizar.

La configuración de puertos se hace para establecer las entradas y salidas de MCU, siendo las entradas el pin de interrupción y los pines de datos serial y el de conexión al transceiver y los pines de salida son los destinados a controlar los motores DC y los servomotores.

Para establecer la base de tiempos, se hace configurando los registros de control de los temporizadores del PIC, ajustando adecuadamente los pre-escaladores y los registros de periodo, esto se hace para conseguir retardos de tiempo más precisos y para facilitar la sincronización del sistema.

Cada interrupción es activada por el transceiver para que el MCU haga la recepción de datos y ejecute la orden dada.

En la configuración del puerto de comunicaciones, se establece el tipo de transmisión serial, asíncrona y Full Duplex a una velocidad de 19200bps.

En la configuración de la comunicación inalámbrica, se ajusta la velocidad de transmisión de datos a 250kbps y el número de la dirección del robot.

El software se desarrollo bajo los entornos de programación MPLAB IDE y el entorno de CCS Compiler. Dentro del MPLAB el compilador usado fue el “B Knudsen Data”.

MPLAB IDE

Es un “Sistema de Desarrollo Integrado” (Integrated Development Environment, IDE) producido por Microchip, compatible con los sistemas operativos Windows 9x/NT/2000/XP. Dicha herramienta se utiliza para desarrollar programas ejecutables en los microcontroladores PIC.

EL MPLAB permite escribir, depurar y optimizar el programa de cualquier sistema digital basado en un microcontrolador PIC y está formado por un editor de texto, un simulador (MPLAB SIM) y un organizador de proyectos.

Contiene un editor de textos que permite ingresar el programa expresado en códigos nemónico o ensamblador, normalmente este se guarda en un archivo con extensión ASM.

Se pueden crear proyectos dentro del MPLAB, el proyecto puede contener varios archivos de código fuente, es decir, de extensión .C o .ASM que se relacionen a través de llamadas a rutinas y variables compartidas, adicionalmente el proyecto tiene un grupo de variables que se deben configurar como es el tipo de microcontrolador usado ya que el MPLAB soporta todas las familias de microcontroladores Microchip. El programa ensamblador del MPLAB es capaz de transformar los códigos nemónicos (instrucciones) a los correspondientes valores binarios que a su vez se graban en el microcontrolador. El ensamblador (MPASMWIN) también genera otros archivos de salida que ayudan en el diseño de aplicaciones. Dentro del MPLAB se encuentra también al MPSIM que es un potente simulador que permite observar el comportamiento del programa antes de grabar el programa en el microcontrolador. El archivo .HEX de salida es el que contiene los códigos binarios a grabar en el microcontrolador.

Microchip proporciona esta herramienta lista para desarrollar programas en ensamblador. MPLAB puede, además, integrar compiladores para otros lenguajes de programación, como es el caso del lenguaje C.

Compilador CC5X

Para desarrollar los programas en lenguaje C que se ejecutan sobre microcontroladores PIC se utiliza el compilador CC5X (versión 3.2) de la empresa noruega "B Knudsen Data". Esta herramienta se integra en MPLAB lo que hace que la compilación, depuración y generación de programas en lenguaje máquina se hace mucho más fácil y eficiente³⁰.

Entre las características más sobresalientes de este compilador se incluyen:

- Permite utilizar variables de 8, 16, 24 y 32 bits en los programas.
- Utiliza eficientemente la zona de memoria destinada a las variables locales.
- Genera programas optimizados en lenguaje máquina.
- Cambia automáticamente los bits de desinhibición de banco y página de memoria.
- Utiliza tipos de datos reales en coma fija y coma flotante de un máximo de 32 bits en ambos casos.

³⁰ www.euitt.upm.es

- Permite asignar direcciones de la memoria pasiva (ROM) y activa (RAM), a los punteros
- Permite utilizar instrucciones en lenguaje ensamblador dentro de los programas en lenguaje C.
- Permite escribir instrucciones de configuración del PIC dentro del programa fuente.

CCS C Compiler

Es un compilador de lenguaje C especial para PICs y dsPICs, este se divide en 4 compiladores distintos dependiendo de la clase de PIC que se utilice.

PCB, PCM, PCH Y PCD, son compiladores independientes. PCB es utilizado en la programación de PICs de gama baja (opcode de 12 bits), PCM para gama media (opcode 14 bits), PCH para gama alta (opcode 16 bits) y PCD es un compilador para la familia de microcontroladores de Microchip de 16 bits (opcode 24 bits) la cual incluye las familias dsPIC30, dsPIC33 y PIC24. El compilador es específicamente diseñado para reunir las necesidades únicas de los microcontroladores dsPIC. Esto permite diseñar de manera eficiente el software de aplicaciones en un lenguaje de alto nivel más legible.

El compilador puede implementar eficientemente las estructuras normales del lenguaje C, operaciones de entrada y salida, y operaciones entre bits. Todos los tipos de datos normales de C son soportados junto con la incorporación especial de funciones para desempeñar funciones comunes en el microcontrolador.

Las estructuras extendidas como arreglos de bits, espacio de direccionamiento múltiple y la implementación de datos constantes en la memoria ROM, hacen la generación de código muy efectiva.

3. RESULTADOS

3.1 DISEÑO MECÁNICO

Se realizó el diseño del robot en Autocad previendo que tenga estabilidad, que esté en la capacidad de sortear obstáculos y de sobrepasar otros.

El diseño obtenido es eficiente desplazándose con facilidad en casi cualquier tipo de terreno y puede subir escalones y rocas de pequeño tamaño.

Los brazos laterales con los que se equipó al robot, le brindaron mayor capacidad de agarre y adaptación al terreno en el cual se esta moviendo.

El material con el cual se construyó el chasis, brinda gran seguridad a los elementos internos que tiene el robot, este está hecho en lámina de hierro calibre 16.

A continuación se muestran fotografías del desarrollo del diseño mecánico.



Figura 89. Prototipo inicial del chasis.

Se comenzó a darle forma reutilizando una lámina de hierro donde se empotraron los ejes de las llantas, los motores DC, las llantas y los brazos del robot para bosquejar la posible carcasa del robot (ver figura 89).



Figura 90. Diseño de la carcasa del robot.

Se diseñó la carcasa y la base del chasis del robot en lámina de hierro calibre 16 y se dio inicio a distribuir los elementos internos de este (ver figura 90).



Figura 91. Ruedas del robot.

Las ruedas del robot se realizaron en aluminio para reducir su masa, estas tienen un perímetro de 4,5 pulgadas, son dentadas semejando a un piñón para que sobre estas gire la banda evitando el deslizamiento ya que estas también son dentadas (ver figura 91).

Las bandas son de las utilizadas en la distribución del motor de un automóvil.

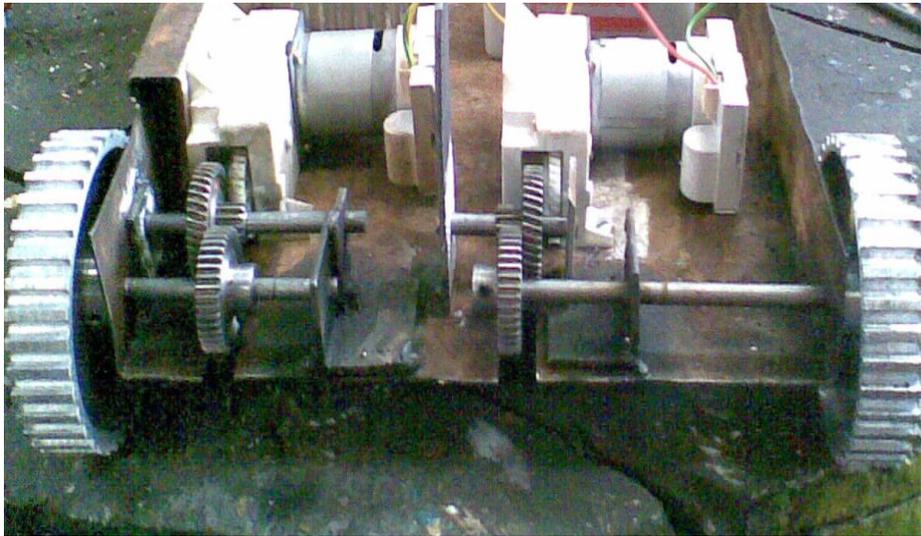


Figura 92. Caja de reducción.



Figura 93. Diseño mecánico terminado.

3.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico brindó alta precisión en el control del robot, en la digitalización de los datos de los sensores y en la transmisión de estos y de las órdenes del operador.

El consumo de energía es muy bajo, con un consumo de 100mA en los circuitos digitales y de 1A hasta 1.5A en cada motor DC dependiendo del terreno en el que se mueva el robot.

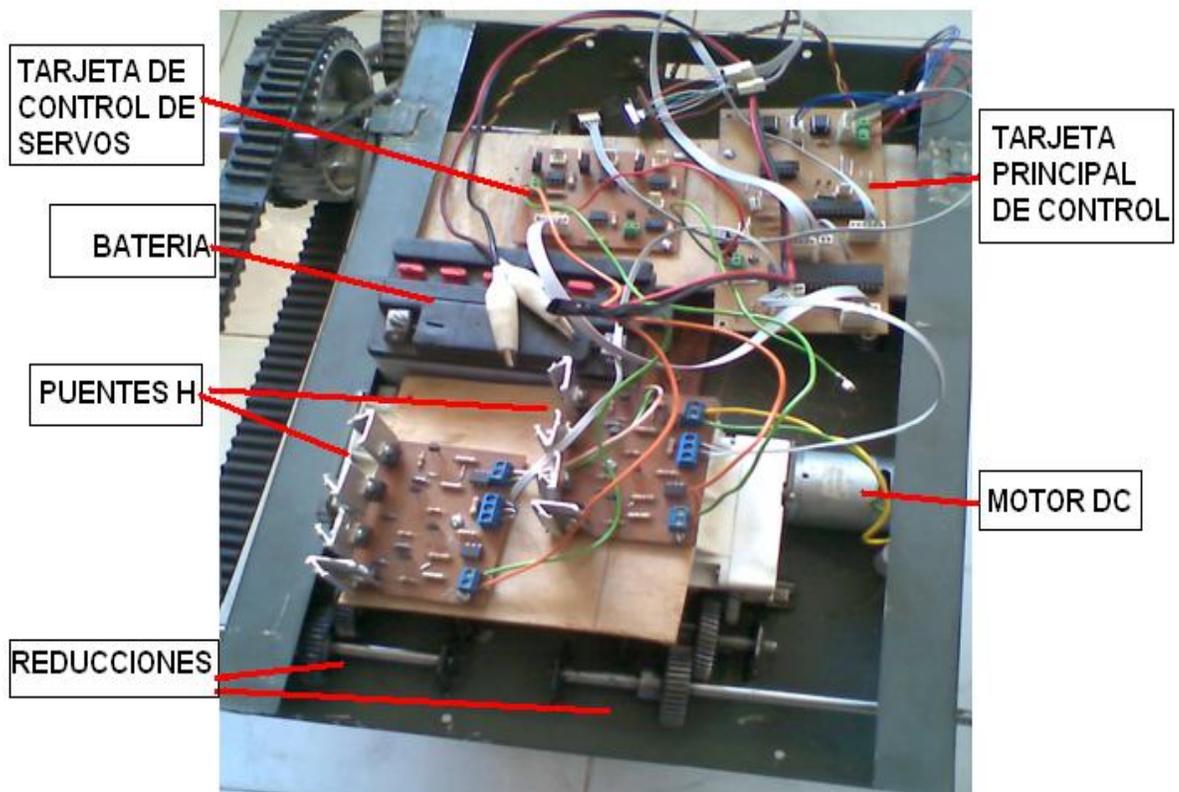


Figura 94. Distribución de las tarjetas electrónicas.

En la figura 94 se puede distinguir las tarjetas de control de los motores DC (puentes H), la tarjeta de control de los servomotores y la tarjeta principal de la estación esclava encargada de controlar cada dispositivo y de entablar la comunicación inalámbrica con la estación maestra.

El robot cuando está trabajando a máxima potencia, esto es en lugares empinados, consume una corriente de 200mA la sección digital y de 3A el circuito de los motores DC.

3.3 COBERTURA

La cobertura del robot es de aproximadamente 40m en línea de vista y hasta de 30m con muros y obstáculos entre el robot y el operador.

3.4 DESPLAZAMIENTO DEL ROBOT

El robot está en la capacidad de desplazarse en lugares de terreno escabroso o liso y sortear obstáculos, ya sea evitándolos o sobrepasarlos con la ayuda de los brazos que hacen que el robot pueda subir escalones de hasta 10cm y escalar pendientes de hasta 30°.

Para que el operador pueda conocer el entorno del robot y se le facilite el manejo de este, se utilizó sensores de detección de huecos y de obstáculos de gran tamaño para evitar choques obteniendo buenos resultados en la navegación en lugares oscuros y con gran cantidad de trabas.

El manejo del robot se hizo de manera sencilla gracias a que el Joystick presenta una consola de fácil interpretación, permite acceder de una forma rápida a cualquier decisión que se quiera tomar.

El robot se desplaza con una velocidad de 15 cm/s cuando está subiendo una pendiente y de 20 cm/s en terrenos planos, además el robot fue capaz de arrastrar un peso adicional de 5Kg.

3.5 LECTURA DE LOS SENSORES

El robot tiene sensores para medir temperatura y presión del medio ambiente, estos datos son constantemente actualizados y de gran ayuda para que el operador determine el estado y la seguridad del lugar de la exploración, las lecturas son presentadas en pantalla para una lectura rápida y de fácil interpretación, así como también se muestra la posición del robot referente a un obstáculo y la altura a la cual se encuentra este de el piso mediante los sensores de ultrasonido e infrarrojo respectivamente.

3.5.1 Temperatura. Se tomaron muestras en diferentes lugares obteniendo los siguientes datos:

Tabla 6. Toma de muestras de temperatura.

Lugar/Evento	Habitación	Aire libre
1	17,3913	17,1104
2	18,2608	17,1304
3	22.3471	22,1516
4	23,6724	23,5921

La habitación es de concreto en su totalidad, los datos al aire libre se tomaron en una terraza.

Al tomar los datos con una termocupla, se registraron los siguientes datos:

Tabla 7. Calculo del error relativo.

Lugar/evento	Habitación	Er (%)	Aire libre	Er (%)
1	17,22	0,1	17,78	3,8
2	18,33	0,4	17,80	3,8
3	22,27	0,3	22,14	0,5
4	23,58	0,4	23,46	0,6

Los eventos 1 y 2 fueron tomados en un día frío y los eventos 3 y 4 en un día soleado.

Para conocer el error relativo (Er), se aplicó la siguiente fórmula:

$$Er = \frac{\text{Resultado} - \text{valor verdadero}}{\text{valor verdadero}}$$

3.5.2 Presión. Está medida en Pascales

Tabla 8. Toma de muestras de presión.

Lugar/Evento	Habitación	Aire libre
1	65066,25	62877,36
2	65754,72	62971,70
3	64872,54	63068,65
4	66342,25	63166,31

Al observar los resultados, se ve que el sensor de temperatura del robot ofrece gran confiabilidad ya que al comparar los datos tomados por este con una termocupla son muy similares con un error del 0,3% en la habitación y del 2,2% al aire libre

3.5.3 Distancia. Los datos tomados por el sensor infrarrojo y el de ultrasonido se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Medida de distancias con los sensores de posición.

Evento	Infrarrojo	Metro	Er(%)	UltraSonido	Metro	Er(%)
1	38cm	39cm	2,6	46cm	47cm	2,1
2	30cm	30,5cm	1,6	41cm	40,7cm	0,7
3	67cm	67cm	0	73cm	74,3cm	1,7
4	18cm	17cm	5,9	164cm	165cm	0,6

Al comparar los datos tomados por los sensores infrarrojo y de ultrasonido con la medida de un metro, se puede notar que el error entre el valor medido y el valor real, existe un pequeño margen de error, el cual se puede cuantizar para cada evento aplicando la fórmula del error relativo (Er).

Al observar los resultados para el error relativo y haciendo un promedio de los errores, se obtiene un error del 2,5% para el sensor infrarrojo y de 1,3% para el sensor de ultrasonido.

3.6 IMÁGENES CAPTURADAS CON LA CAMARA DE VIDEO

Con la cámara se logró capturar imágenes fotográficas de los lugares explorados, permitiendo hacerse una idea del entorno en el cual se está moviendo el robot y se les realizó un posterior tratamiento pudiéndolas observar en escalas de grises y hacer un reconocimiento de los bordes.

A continuación se muestran fotografías capturadas con la cámara y su respectivo tratamiento:

Imágenes al aire libre:



Figura 95. Imagen a color.



Figura 96. Imagen en escala de grises.



Figura 97. Imagen normal.



Figura 98. Reconocimiento de bordes.

Estas imágenes no son procesadas en tiempo real, primero se captura la imagen con la cámara y por medio del software desarrollado en MATLAB se le hace el tratamiento para escala de grises y reconocimiento de bordes.



Figura 99. Fotografía de una persona tomada con el robot.



Figura 100. Reconocimiento de bordes algoritmo Log.

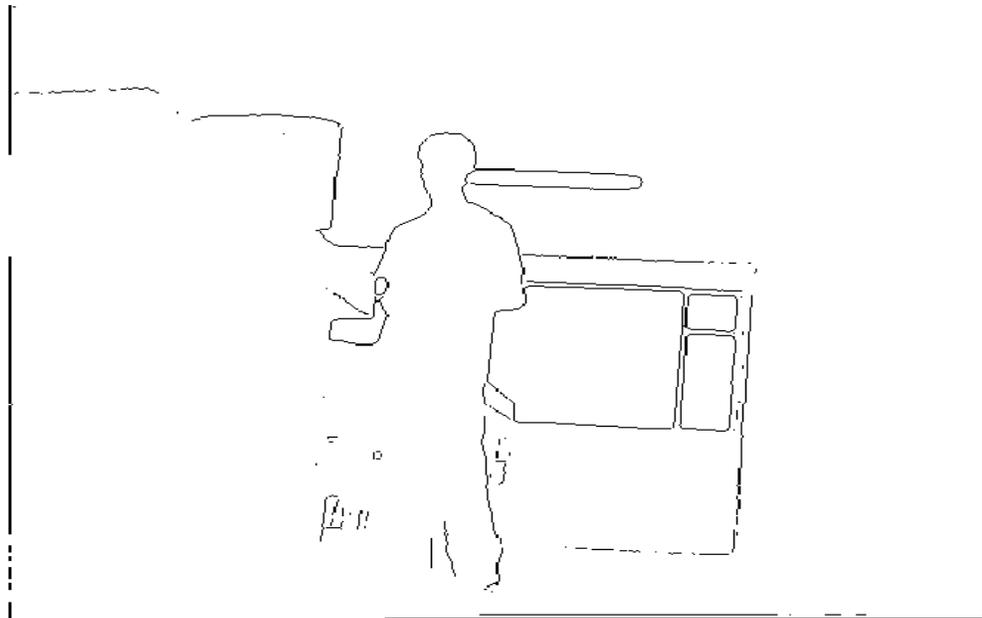


Figura 101. Reconocimiento de bordes algoritmo Sobel.

En las anteriores figuras se observa a una persona y la obtención de bordes mediante dos diferentes algoritmos conocidos como Log y Sobel, en ambos se observa la identificación de la silueta de una persona lo cual puede ser útil para encontrar personas en áreas peligrosas.

3.7 EXPLORACIÓN DE LUGARES

Los resultados obtenidos de la exploración realizada con el robot se muestran en los videos anexos en los cuales se puede observar diferentes tomas hechas a lugares en recinto cerrado y al aire libre.

En el Anexo L: Video Pruebas Iniciales se observan algunas tomas hechas en un recinto cerrado, en el Anexo M: videos pruebas finales hay tomas hechas a campo abierto, además en los anexos N y O también se observan, tomas hechas en desplazamiento sobre concreto y en una cuesta respectivamente.

En las siguientes figuras se puede observar que el robot supera una pequeña zanja de aproximadamente 8cm de profundidad por 20 cm de ancho sin ninguna dificultad. Escenas del Anexo M.



Figura 102. Superando una zanja.



Figura 103. Superó la zanja.

En las figuras que siguen el robot pasa por encima de un ladrillo.



Figura 104. Pasando por encima de un ladrillo.



Figura 105. Pasó el ladrillo.

El obstáculo que supera el robot en las siguientes fotos es de aproximadamente 12cm de alto, y es superado con poca dificultad por parte del robot. Inicialmente se observa como el robot eleva sus brazos para poder después pasar todo el cuerpo por encima del obstáculo.



Figura 106. Elevando los brazos.



Figura 107. Superando un obstáculo.

Después de que pasaron los brazos inicia el resto del cuerpo del robot a sobrepasar el obstáculo con relativa facilidad ya que los brazos le ayudaron a elevarse.



Figura 108. Terminó de sobrepasar el obstáculo.

En los videos anexos P y Q, se hicieron pruebas en una cantera llamada Las Delicias ubicada en la antigua salida al norte de Pasto, el robot logro desplazarse por el terreno aunque se obtuvo dificultad por lo escabroso del terreno y por que el chasis del robot no permitía superar todas las piedras que se presentaban en el trayecto. El robot fue capaz de descender por escalones como se observa en el video Anexo P y Q. El video Q es tomado por la cámara del robot y muestra el video que recibe el teleoperador. También en estos videos se observa el acceso a un túnel, algunas escenas se pueden ver en las siguientes figuras.



Figura 109. Foto en la cantera las Delicias.



Figura 110. Foto descendiendo gradas.



Figura 111. Foto tomada por el robot en la cantera.



Figura 112. Foto tomada por el robot descendiendo escalones.

Las dificultades presentadas por el robot en su desplazamiento están dadas por el tamaño reducido de sus ruedas, ya que construir las más grandes implica un costo muy alto y la otra dificultad es el sistema de tracción oruga basado en una banda, este sistema suele desbordar los límites de la rueda, sería ideal un sistema basado en cadena que no tendría este problema, sin embargo también tiene un costo elevado.

4. CONCLUSIONES

1. La utilización de robots teleoperados para la exploración de sitios de difícil acceso, es hoy en día una tecnología en desarrollo y una de las opciones más utilizadas para convertirse en una herramienta esencial para efectuar tareas peligrosas o las cuales el ser humano no esté en la capacidad de realizarlas, de esta forma, con la ayuda del robot oruga, se logró la exploración de socavones de una mina de arena.
2. El sistema oruga, es un mecanismo de tracción que ofrece una gran capacidad de movilidad en terrenos escabrosos, brindando mayor superficie de contacto, pudiendo sortear de una forma exitosa los diferentes obstáculos y permitiendo acceder, explorar, visualizar y monitorear zonas difíciles o potencialmente peligrosas.
3. El avance en la tecnología, permite el diseño de nuevos y eficaces sistemas para la recolección de datos de manera segura y confiable, permitiendo la integración de nuevas técnicas en comunicaciones inalámbricas, procesamiento digital de datos e imágenes y toma de muestras ambientales más exactas.
4. El mecanismo oruga es un sistema eficaz de tracción, sin embargo es necesario que sea constituido por una cadena de eslabones para un mejor desempeño y que el chasis del móvil sea lo suficientemente elevado para evitar que este se atasque.

5. RECOMENDACIONES

1. Utilizar un mecanismo oruga basado en cadena para mejorar la tracción del sistema, se logrará un mejor agarre, mejor desplazamiento, mayor fiabilidad en la locomoción y mas durabilidad.
2. Construir el chasis en un material liviano, preferiblemente en acrílico, aluminio o magnesio para disminuir el consumo de energía reduciendo así la potencia necesaria en los actuadores.
3. Configurar la conexión USB del robot para poder operar en cualquier sistema operativo, por ejemplo, Windows Vista que está muy extendido en los ordenadores portátiles.
4. Utilizar otros sensores adicionales como para la detección de gases y una cámara basada en CCD para una mejor exploración de sitios donde se carece de luz día.
5. Incrementar el diámetro de las ruedas y elevar la altura del chasis para evitar que el robot se atasque en su zona inferior, se lograra un mayor nivel en la evasión de obstáculos.
6. Ensanchar las bandas obteniendo una mayor área de contacto para aumentar el aferre al suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Barrientos, Antonio. Fundamentos de robótica. Mc Graw-Hill, Madrid, España. 1997.

Datasheet TRF-2.4G Transceiver. Laipac Tech.

Datasheet LM35, Precision centigrade temperature sensors, National Semiconductor.

Datasheet MPXM2102, Motorola semiconductor technical data.

Ferrando, F., J. Mercader, Criterios para la selección de un reductor de velocidad, automática e instrumentación, 237, pp 100- 106, 1993.

Goñi, Miguel J. (1987): "Técnicas de vídeo y televisión", De. Nueva Lente.

Ignacio Angulo Martínez, dsPIC Diseño Práctico de Aplicaciones. Editorial Mc Graw Hill 2006.

J.W. Nostrand y E.L. Sampson, Robots in service Industry, en: Concise international Encyclopedia of Robotics, Editor R.C. Dorf, John Wiley & Sons, 1990.

José María Angulo Usategui, Microcontroladores Avanzados dsPIC. Editorial THOMSON 2006.

Microsoft® MSDN® 2004. © 1993-2004 Microsoft Corporation.

NASA (National Agency of Space Administrator) www.nasa.gov , JPL (Jet Propulsion Lab).

Pallás, R., "Transductores de reactancia variable y electromagnéticos", en: Transductores y acondicionadores de señal, Marcombo, Barcelona, 1989.

Pichardo Gallardo, José A. Microbot Siko. Motorola open Systems, Marzo-2004.

Roger S. Pressman; Ingeniería del software; 4ª Edición; Mc Graw Hill.

Steele R., Whitehead J., Wong W., 1995, Aspectos del sistema radio celular, *IEEE Communications Magazine*, Volumen 5, Páginas 80-86

Telefónica, Curso de Telecomunicaciones

www.airforce-technology.com

www.campusvirtual.unex.es

www.dei.uc.edu.py

www.elegsa.com.ar

www.euitt.upm.es

www.icaro.eii.us.es

www.images.apple.com

www.isa.uniovi.es

www.jpintado.com

www.mecatronic.com

www.proton.ucting.udg.mx

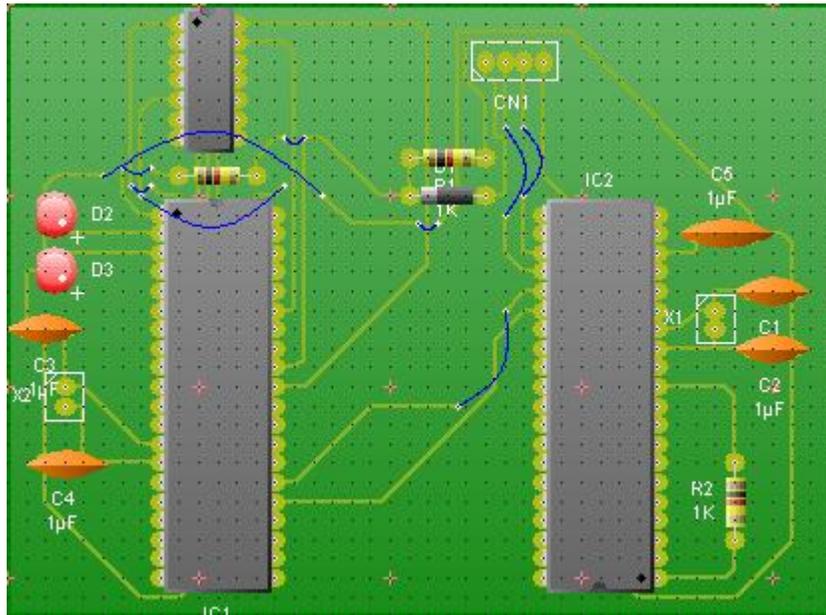
www.qsl.net/ea2ak

www.sandia.gov/media/periodic/STech/ST2000v2.pdf

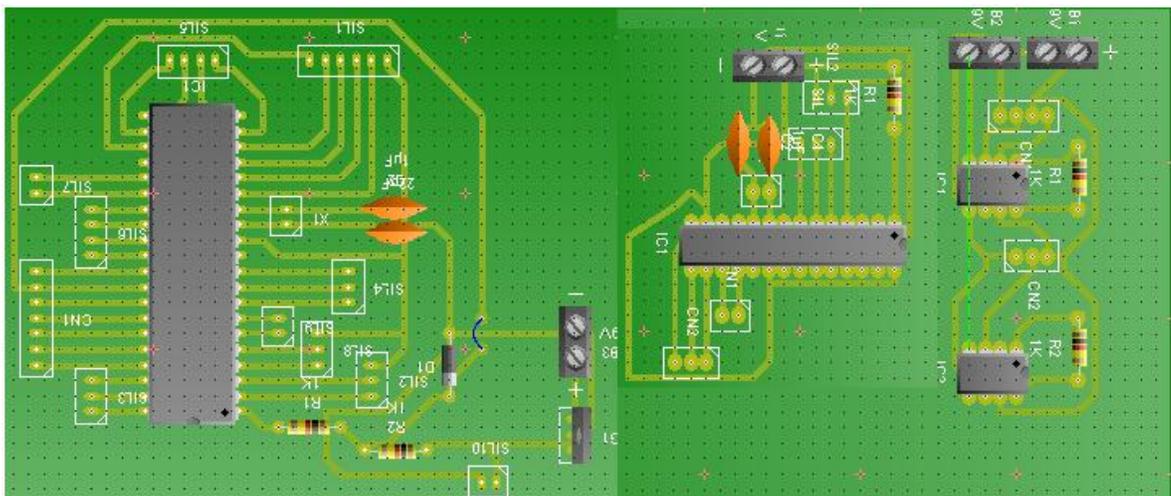
www.uazuay.edu.ec

ANEXOS

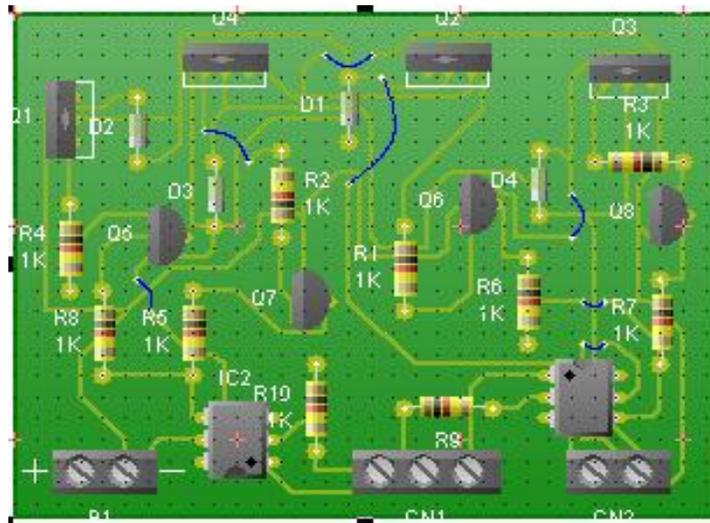
Anexo A. Esquema del circuito impreso de la tarjeta base.



Anexo B. Esquema del circuito impreso de la tarjeta principal del robot.



Anexo C. Anexo B. Esquema del circuito impreso del puente H.



Anexo D. Código fuente PIC robot.

```
#define RX_CS    PORTB.1
#define RX_CE    PORTB.2
#define RX_CLK1  PORTB.3
#define RX_DATA  PORTB.4

#define lop 20
#define ltp 160

uns8 data_array[lop], cabz, ban, CPAQ, cici, kk;
uns8 data_array2[lop], servos[4];

void boot_up(void);
void configure_receiver(void);
void receive_data(void);
void delay_ms( uns16 );
void configure_transmitter(void);
void transmit_data(void);
void evaluar(void);

interrupt ruttmr()
{
    if(INTF==1)
    {
        uns8 con;
        INTF=0;
        receive_data();
    }
}
```

```

        CPAQ++;
        data_array2[0]=CPAQ;
        for(con=0; con<10; con++)
            {
                transmit_data();
                delay_ms(2);
            }
        configure_receiver2();
        evaluar();
    }

    else
    {
        cabz=RCREG;
        evaluar2();
    }

}

void main()
{
    boot_up();
    delay_ms(50);
    configure_receiver();
    TMR1ON=1;
    while(1)
        ;
}

void boot_up(void)
{
    uns8 ccl;
    ADCON1 = 6d; //Turn pins to Digital instead of Analog
    TRISC = 88;
    TRISA = df;
    OPTION = 0b.1101.1110; // prescaler divide TMR0 rate by 8
    //Setup configuration array
    INTCON=85;
    SPBRG=234; //movlw d'12' ;19200 baud rate Xtal=20Mhz
    SYNC=10; //bcf TXSTA,SYNC ;Modo asíncrono
    TX9=50; //bcf TXSTA,TX9 ;8 bits de datos a transmitir
    SPEN=16; //bsf RCSTA,SPEN ;habilita el puerto serie
    T1CON=30;
    TMR1IF=10;
    CPAQ=0;
    cici='X';
    kk=1;
}

```

```

void configure_receiver(void)
{
    uns8 i, j, temp;

    //During configuration of the receiver, we need RX_DATA as an output
    TRISB = 0b.0000.0001; //0 = Output, 1 = Input (RX_DR is on RA2) (RX_DATA is on RA1)
    PORTB = 0b.0000.0000;
    //Config Mode
    RX_CS = 1;
    //Clock in configuration data
    //Configuration is actived on falling edge of CS (page 10)
    RX_CS = 0;
    //After configuration of the receiver, we need RX_DATA as an input
    TRISB = 0b.0001.0001; //0 = Output, 1 = Input (RX_DR is on RA0) (RX_DATA is on RA1)
    //Start monitoring the air
    RX_CE = 1;
}

void receive_data(void)
{
    uns8 i, j, temp;

    RX_CE = 0; //Power down RF Front end
    //Clock out the data
    for(i = 0 ; i < lop ; i++) //15 bytes
    {   printf("data array");
        RX_CLK1 = 1;
        RX_CLK1 = 0;
        data_array[i] = temp; //Store this byte
    }
    RX_CE = 1; //Power up RF Front end
}

void configure_transmitter(void)
{
    TRISB = 0b.0000.0001;
    //Config Mode
    RX_CS = 1;   printf("data_array");
                 RX_CLK1 = 1;
                 RX_CLK1 = 0;
    RX_CS = 0;
}

void transmit_data(void)
{
    uns8 i, j, temp, rf_address;

```

```

    RX_CE = 1;  putc(data_array[cpaq]);
    //Clock in address
    rf_address = 19;
    //Clock in the data_array
    RX_CE = 0; //Start transmission
}

void delay_ms( uns16 millisec)
// Delays a multiple of 1 milliseconds at 4 MHz
// using the TMR0 timer
{
    char next = 0;

    do {
        next += 125;
        clrwdt(); // needed only if watchdog is enabled
        while (Timer) // 1000 (= 1 ms)
            ;
    } while ( -- millisec != 0);
}

void configure_receiver2(void)
{
    TRISB = 0b.0000.0001; //0 = Output, 1 = Input (RX_DR is on RA2) (RX_DATA is on RA1)
    PORTB = 0b.0000.0000;
    //Config Mode

    RX_CLK1 = 1;
    RX_CLK1 = 0
    //Configuration is actived on falling edge of CS (page 10)
    RX_CS = 0;
    //After configuration of the receiver, we need RX_DATA as an input
}

void evaluar(void)
{
    while(TXIF==0);
    switch(data_array[0])
    {
        case 1: TXREG='A';PORTA=5;break;
        case 18: TXREG='T';PORTA=10;break;
        case 36: TXREG='D';PORTA=6;break;
        case 72: TXREG='I';PORTA=9;break;
    }
    while(TXIF==0);
    TXREG='P';
}

```