

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT
MÓVIL TELEOPERADO PARA LA LOCALIZACIÓN
DE OBSTÁCULOS EN TUBERÍAS”**

REALIZADO POR:

MAGALI ELIZABETH ESPINOZA VELÁSQUEZ

SANGOLQUÍ – ECUADOR

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto titulado:

“DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL TELEOPERADO PARA LA LOCALIZACIÓN DE OBSTÁCULOS EN TUBERÍAS”

Ha sido desarrollado en su totalidad, por la señorita: **MAGALI ELIZABETH ESPINOZA VELÁSQUEZ** bajo nuestra dirección.

Ing. Hugo Ortiz.

Ing. Víctor Proaño

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por haber sido mi guía durante toda mi carrera permitiendo culminar mis estudios.

A mi madre por darme su apoyo incondicional y ser siempre mi amiga y ejemplo a seguir.

A mis abuelos por estar presente en cada instante de mi vida, sin ellos no hubiese llegado hasta donde estoy.

A mis tíos y primos por compartirme su alegría, carisma y amor.

A todos mis maestros quienes supieron brindar todos sus conocimientos, en especial al Ing. Hugo Ortiz y al Ing. Víctor Proaño por darme las pautas necesarias para sacar adelante este proyecto de grado.

A todas aquellas personas que colaboraron conmigo en la culminación del proyecto, en especial a Fabricio por su paciencia y comprensión.

Magali Elizabeth Espinoza Velásquez

DEDICATORIA

A mi familia, por enseñarme los valores que me han acompañado durante toda mi vida y por ser ejemplo de fortaleza, unidad y amor.

A mi mami, por se siempre luz en la oscuridad, por la fe que ha tenido en mi, por su paciencia durante toda mi carrera y porque gracias a su esfuerzo diario pude finalizar mis estudios.

Sé que este es el mayor regalo que te puedo ofrecer y te lo dedico por entero... Te quiero.

A mi abuelita Polita, por ser mi segunda madre, quien me enseñó que la fe, el esfuerzo y la honradez hacen de un profesional el mejor.

A todos mis amigos, porque siempre estuvieron cuando más los necesite.

Magali Elizabeth Espinoza Velásquez

PRÓLOGO

Este proyecto titulado “Diseño y construcción de un robot móvil teleoperado para la localización de obstáculos en tuberías” es el resultado de una investigación orientada a satisfacer la necesidad primaria de Refinería Estatal Esmeraldas de obtener una visualización interna de las tuberías por donde circulan los diversos productos que intervienen en la industrialización del petróleo.

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

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

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

En este trabajo se observará el estudio para la adquisición de elementos que permitan una comunicación inalámbrica entre el operador y el robot. Una vez cumplido este objetivo, con un diseño mecánico básico pero confiable y con un

software de supervisión y control satisfactorios, se plantean soluciones para el incremento de las facultades del prototipo en el sistema de adquisición de imagen y el alcance de trabajo, desafiando al diseño de un mecanismo electrónico que permita ver el estado interno del oleoducto de gases, sea cual sea su extensión, esto, con el propósito de analizar, detalladamente, la corrosión presente para la prevención de futuras fugas y todo esto sin la necesidad de detener las plantas de tal forma que Refinería Estatal Esmeraldas ahorre gastos de alquiler de robots extranjeros y pérdidas de producción.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES.....	01
1.2. PROCESOS DE MANTENIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO Y DERIVADOS.....	03
1.3. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL ROBOT PROTOTIPO.....	07

CAPÍTULO II: DISEÑO MECÁNICO DE LA PLATAFORMA MÓVIL

2.1. ESTRUCTURA.....	09
2.2. SISTEMA DE TRACCIÓN.....	10
2.2.1. Configuración Diferencial.....	10
2.2.2. Configuración Ackerman.....	11
2.2.3. Configuración en Triciclo.....	12
2.2.4. Dirección Sincronizada.....	13
2.2.5. Vehículos con Múltiples Grados de Libertad.....	14
2.2.6. Tracción Mediante Orugas.....	14
2.2.7. Sistema de Tracción elegido.....	14
2.3. BATERIAS.....	15
2.4. DISEÑO DE LA PLATAFORMA FIJA.....	15
2.5. DISEÑO DE LA PLATAFORMA MÓVIL.....	17
2.6. MATERIAL.....	18
2.7. ESPECIFICACIONES.....	19

CAPÍTULO III: HARDWARE DE CONTROL

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	21
3.2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL.....	22
3.2.1. Fundamento Teórico.....	22
3.2.2. Diseño del Sistema de Adquisición de Datos y Control.....	27
3.3. SISTEMA DE POTENCIA.....	28
3.3.1. Fundamento Teórico. Tipo de motores.....	28
3.3.2. Diseño del Sistema de Potencia.....	32
3.4. SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	33
3.4.1. Fundamento Teórico.....	33
3.4.2. El radio modem 24XStream™ OEM RF Module.....	38
3.4.3. Consideraciones del enlace inalámbrico.....	41
3.4.4. Diseño del Sistema de Comunicación.....	41
3.5. DIGITALIZACIÓN DE IMÁGENES.....	43

CAPÍTULO IV: SOFTWARE DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	45
4.2. SOFTWARE DE CONTROL.....	46
4.2.1. Inicio.....	46
4.2.2. Función Principal.....	47
4.2.3. Sub Funciones.....	50
4.2.3.1. Sub función MOTORDELANTE.....	50
4.2.3.2. Sub función MOTORATRAS5.....	52
4.2.3.3. Sub función CAMARARRIBA.....	53
4.2.3.4. Sub función CAMARABAJO.....	54
4.2.3.5. Sub función #INT_EXT.....	55
4.3. SOFTWARE HMI DE SUPERVISIÓN.....	56

CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN

5.1. PLATAFORMA MÓVIL.....	60
5.2. MÓDULO DE ACOUPLE.....	65
5.3. APLICACIÓN EN LA PC.....	66
5.4. PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO.....	67

CAPÍTULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	69
6.1.1. Capacidad de carga.....	69
6.1.2. Caminata sobre superficie lisa.....	70
6.1.3. Caminata sobre terreno irregular.....	71
6.1.4. Comportamiento del prototipo frente a diversos obstáculos.....	72
6.1.5. Pruebas de obtención de imágenes y transmisión.....	73

CAPÍTULO VII: PROYECCIÓN

7.1. COSTO – BENEFICIO.....	79
7.2. PROYECCIÓN.....	81

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES.....	86
8.2. RECOMENDACIONES.....	87

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- Anexo 1: Planos de la unidad móvil del prototipo MEEV
- Anexo 2: Datasheet PIC 16F877A
- Anexo 3: Circuito del sistema de control de la unidad móvil del prototipo MEEV
- Anexo 4: Datasheet LM 78XX
- Anexo 5: Datasheet XSTREAM WIRELESS OEM MODULES

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

En el año de 1921, cuando el escritor checo Karel Capek (1890 - 1938) estrena en el teatro nacional de Praga su obra Rossum's Universal Robot (R.U.R.), utiliza por primera vez la palabra **robota** para referirse al trabajo realizado de manera forzada y repetitiva de un mecanismo que ayuda al hombre.

A partir de entonces, se inicio el concepto de lo que ahora se conoce como robot. El autor del libro de ciencia ficción, Capek, sin pensarlo, dio la pauta para que, actualmente, se cuente con robots que ayuden en las actividades repetitivas y forzosas al hombre sin aburrirse ni cansarse y con igual resultado, además del estudio e investigación de la inteligencia artificial.

Con el objetivo de diseñar una máquina flexible, adaptable al entorno y de fácil manejo, George Devol, pionero de la Robótica Industrial, patentó en 1948, un manipulador programable que dio origen al robot industrial.

En el mismo año se presentó la necesidad de trabajar con elementos radiactivos sin riesgos para el ser humano, por lo que, R.C. Goertz del Argonne National Laboratory, desarrolló el primer telemanipulador, que consistió en un mecanismo maestro – esclavo. El operador podía observar a través de un grueso cristal el resultado de sus acciones en donde el mecanismo maestro, reproducía fielmente los movimientos de éste y la fuerza que el esclavo ejercía en el entorno.

“Años mas tarde, en 1954, Goertz hizo uso de la tecnología electrónica y del servocontrol sustituyendo la transmisión mecánica por eléctrica y desarrollando así el primer tele manipulador con servocontrol bilateral. Otro de los pioneros de la tele manipulación fue Ralph Mosher, ingeniero de la General Electric que en 1958 desarrollo un dispositivo denominado Handy-Man, consistente en dos brazos mecánicos teleoperados mediante un maestro del tipo denominado exoesqueleto.”¹

La sustitución del operador por un programa de ordenador que controlase los movimientos del manipulador dio paso al concepto de robot.

Con el avance tecnológico, que se suscitó en los años 80 y con la fusión de un nuevo circuito integrado para control, medición e instrumentación al que llamaron MICROCONTROLADOR (por poseer la arquitectura de un microcomputador: CPU, RAM, ROM y circuitos de entrada y salida), los robots disminuyeron, grandemente, en su costo de producción y mejoraron su potencial de trabajo.

Hasta hace pocos años, ni el imaginativo empresario habría podido concebir lo que hoy es una realidad cotidiana, la entrada de los robots en el ámbito de la producción y actividad humana, empleados en transporte de material, vigilancia, exploración, aplicaciones militares, espaciales y en lugares en donde el hombre corre peligro.

Dicha amenaza se puede encontrar en desactivación de bombas, de minas terrestres, en rescate de heridos en accidentes o derrumbes, en limpieza de lugares por donde se transporta elementos tóxicos, entre otros. Uno de los lugares de mayor peligro tóxico para los encargados de limpieza es precisamente el interior de los tubos y tanques de almacenamientos de petróleos y derivados.

En los reactores de gas de la FCC o Unidad de Craqueo Catalítico Fluido (Catalítica), por ejemplo, es fundamental la presencia de personas en el chequeo interno de tubos de pequeñas longitudes (20 m máximo) para observar

¹ <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r63/r63.htm>, robótica

detalladamente residuos de óxido, corrosión o perforación interna, esto obliga a realizar un **vaporizado** que evita exponer a la persona a estos gases corrosivos.

Este proceso de vaporizado demora entre 18 h a 24 h, luego del cual, pasa por una prueba de explosividad donde se verifica que no hay gases. El sacar de servicio a cada reactor de gas, le cuesta a la Unidad FCC 800.000 dólares diarios.

Para evitar este tipo de pérdidas se cuenta con robots de procedencia extranjera cuyo costo de alquiler superan los 4000 dólares diarios pero con buenos resultados; es por ello, que la propuesta de hacer un robot teleoperado para la localización de obstáculos en tuberías, es el inicio de un prototipo, que tiene como objetivo reproducir y superar las funciones de los robots extranjeros con bajo presupuesto y con tecnología nacional.

1.2 PROCESOS DE MANTENIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO Y DERIVADOS

“El petróleo es vital para el desarrollo de los pueblos por su alta conversión en derivados, unos 600.000 subproductos, logrados a través del proceso de refinación o industrialización y la petroquímica.”²

El Ecuador es un país petrolero, es por ello que se cuenta con algunas empresas encargadas de explotar este bien natural. El gobierno nacional creó la empresa estatal CEPE, Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana, con la finalidad de explorar, explotar, transportar e industrializar los hidrocarburos. En 1989, esta empresa cambió de nombre y de organización y ahora se llama PETROECUADOR.

PETROINDUSTRIAL filial de PETROECUADOR es la empresa encargada de producir los derivados que satisfacen la demanda interna del país transformando los hidrocarburos por medio de refinación. Uno de los Centros de Industrialización es la REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS localizada en la provincia de

² PETROECUADOR, **El petróleo en el Ecuador: su historia y su importancia en la economía nacional**, Tomo 1, Artes gráficas Senefelder, octubre 2002, pag 49.

Esmeraldas, en el sector Noroccidental del país, a 3.8 Km de distancia del Océano Pacífico.

La REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS (REE), procesa 150.000 barriles diarios de crudo, aprovisionando al Ecuador de derivados limpios con el cumplimiento de las normas vigentes, incluyendo la prevención ambiental. Para lograrlo, se hace una limpieza profunda en cada planta, esparciéndose elementos químicos altamente diluyentes.

El petróleo procede de la descomposición de materia orgánica, en especial de restos de animales y plancton en un medio marino, siendo un recurso fósil empleado como energía primaria, por lo que es un líquido de color oscuro de acuerdo a su densidad, aspecto aceitoso y olor fuerte.

El petróleo también llamado hidrocarburo es una fuente de energía no renovable y constituye uno de los productos de exportación más importantes de la economía ecuatoriana puesto que el producto de sus ventas financia el 50% del presupuesto del estado. Se puede extraer de él innumerables productos tales como: gasolinas, plásticos, medicina, llantas, ropa, pegamento, aceites industriales, solventes, entre otros.

Este oro negro se encuentra entre los tres y cuatro mil metros de profundidad y para determinar su existencia, los geólogos realizan estudios de prospección produciendo ondas sísmicas cuyo resultado positivo indica presencia de petróleo.

Desde ese instante, el crudo es transportado a los centros de industrialización en donde es procesado para obtener los derivados y posteriormente realizar la distribución.

La REE produce gasolina, diesel, kerosén, gas licuado de petróleo (GLP), jet fuel oil No. 4, fuel oil No. 6, asfaltos 80/100 y RC-2, además de butano, propano y azufre sólido.

En Refinería Estatal Esmeraldas, existe una amplia diversidad de plantas que se encuentran divididas según su función e importancia. Se puede contar con plantas cuyas tuberías tienen longitudes en el orden de kilómetros y diámetros que superan las 30 pulgadas (como es el caso de las encargadas de transportar petróleo), y otras plantas conformadas por tuberías cuya longitud no superan los 50 metros, variando su diámetro desde los 20 cm hasta 18 pulgadas.

Un ejemplo claro de la presencia de este tipo de tuberías son las conocidas como **líneas a TEA**. Cada sector o unidad que intervienen en el proceso, derivación e industrialización del crudo, como en el caso de la FCC, encargada de derivar gases, GLP, gasolina del alto octanaje y destilados medios conocidos como aceites cíclicos que se usan como el diluyente del fuel oil, poseen esta línea con el fin de desechar por ella todos los gases inflamables que fueron destilados en el proceso de derivación.

Esta línea, al igual que todas las líneas a TEA (antorcha) que se encuentran en cada sección, se conectan a la **línea madre** encargada de transportar todos los gases desechados por cada planta al **DRUM** (decantador de líquidos) en donde se extraen los residuos de líquidos dejando libre al gas para ser quemado en la TEA.

El gas que circula por estas líneas, cuyas longitudes no sobrepasan los 50 m y sus diámetros no son inferiores a las 15 pulgadas, circula a alta presión, de tal forma que ocasionan desgaste en el interior de la tubería llegando a formar fisuras y emanación de gas tóxico e inflamable. En este tipo de casos, sale de funcionamiento la planta por donde se visualiza el escape de gas para el cambio de la sección de tubería.

Es muy significativo para Refinería Estatal Esmeraldas, el no suspender las plantas para un cambio de tubería y el contar con un robot que le permita al operador observar la gravedad de la fisura para corregir a tiempo el daño con soldadura fría, como se analizará posteriormente en el Capítulo VII en Proyección; por lo que se realizará el diseño y la construcción de un robot móvil teleoperado, que como meta inicial localizará obstáculos en el interior de las tuberías

El transporte y almacenamiento de los derivados debe realizarse en tanques y líneas en excelentes condiciones, para ello, se efectúan chequeos y limpiezas temporales, mediante procesos químicos y procesos físicos.

Para la limpieza química se procede enviando amina filmica siendo este un alto diluyente para corrosivos en las tuberías que transporta el oleoducto; para los reactores de carbón activado se envía agua temporada y amoníaco, entre otros sistemas de limpieza.

La limpieza física requiere la intervención de una persona en el interior de las tuberías. Esta se realiza después de que los químicos se han evaporado y se ha confirmado su ausencia absoluta con pruebas de explosividad.

Pero existen lugares en donde es imposible el ingreso de una persona para verificar la total limpieza de los tubos y en este caso se procede a enviar agua a presión para drenar cualquier impureza.

Al lavado interno de las tuberías se le conoce con el nombre de **liberación de equipo** puesto que la planta deja de funcionar parando completamente las válvulas y bajando la presión. Extraen los residuos de productos (ya sea estos gases, líquido acuoso, crudo entre otros) y colocan mallas en los filtros, esto es para que en el momento en que se limpien las tuberías con agua a presión los residuos grandes (guantes, cascos, ropa, etc.) se queden atrapado en estas mallas.

Una vez que se está seguro que no existe contaminación alguna con obstáculos se realiza el **vaporizado**, esto es con el objetivo de eliminar residuos de agua y en los puntos más altos la presencia de aire. El operador es el encargado de observar el momento en que las tuberías se encuentren libres de agua y aire antes de **ingresar diesel** para eliminar el vapor y, como proceso final, se introduce **gasoleo** para eliminar absolutamente la poca presencia de agua manteniendo el gas al punto de presión.

El prototipo será utilizado dentro del proceso de la limpieza antes del paso de **vaporizado** debido a que, entre éste y la expulsión de residuos provocado por la fuerza del agua, existe un periodo de reposo en el cual, si se produce descuido puede volver a existir obstáculos inesperados. Se ha establecido la posibilidad de enviar el prototipo antes del librar el agua a presión y así evitar menos días de suspensión de las plantas. El prototipo MEEV ayudará a visualizar el interior de las tuberías y será el pionero del robot que permita observar el estado de las tuberías, determinando fisuras con exactitud y precisión tanto en plantas pequeñas como grandes.

Después de algunos días, cuando se ha verificado que todas las tuberías y tanques se encuentran en perfecto estado, se continúa con la producción y distribución de los derivados del petróleo.

1.3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL ROBOT PROTOTIPO

El objetivo principal de la realización de este proyecto, es la localización de obstáculos en el interior de tuberías evitando el contacto de los humanos a los tóxicos presentes siendo un prototipo básico para futuros proyectos.

Con la implementación del robot móvil teleoperado se desea dejar de alquilar robots extranjeros y, con estudios posteriores en la parte mecánica y eléctrica, llegar a detectar fisuras y daños en el interior de las tuberías incrementando las capacidades al prototipo; es por ello que se tomó el reto de ensamblar un robot móvil que permite tareas de navegación tales como: marcha adelante, marcha atrás, movimientos de izquierda y derecha e incorporándole una cámara para la transmisión de imágenes en tiempo real. Además se le desea proveer a la cámara con 2 grados de libertad.

Un correcto sistema de comunicación por radiofrecuencia evitará un enlace alámbrico entre el operador y el robot móvil obteniendo un sistema completamente inalámbrico y con un alcance de 150 m al aire libre y 30 m dentro de las tuberías o tanques de almacenamiento.

Para teleoperar el robot móvil el usuario contará con una computadora portátil por medio de la cual podrá observar las imágenes codificadas por la capturadora de video además de la información de los metros que el prototipo ha recorrido, pudiendo manipularlo con el teclado.

CAPITULO II

DISEÑO MECÁNICO DE LA PLATAFORMA MÓVIL

Como en todo proyecto de ingeniería en el que se plantea la construcción de un sistema robótico, es de suma importancia el análisis de la parte mecánica para el éxito del correcto funcionamiento bajo circunstancias extremas.

2.1 ESTRUCTURA

La estructura mecánica es factor decisivo del prototipo, un correcto diseño de la estructura mecánica puede ahorrar mucho trabajo y esfuerzo.

Las alternativas son diversas, por ejemplo, es muy diferente un robot hexápodo que uno basado en ruedas y no sólo en la apariencia sino que también en la utilización y elección de los motores.

Otra alternativa es utilizar correas tipo oruga en lugar de ruedas o incluso hacer que el robot sea un brazo robot.

Como hipótesis se plantea que la mejor opción para que el robot ingrese en tuberías de diversos diámetros es basarse en la estructura de un robot móvil que tenga un tamaño de 10 pulgadas considerando las dimensiones de todos los elementos que son utilizados (llantas, motores, batería, cámara, entre otros).

La plataforma móvil estará conformada por dos tipos de plataformas, una fija en donde descansarán las llantas, la batería y el circuito impreso que contiene al sistema de adquisición de datos y de control, al sistema de potencia y al de

comunicación. La otra plataforma será móvil ya que descansa sobre sí a la cámara que tendrá un movimiento de PAN¹ de 360° y de TILT² de 80°. El contacto entre estas dos plataformas se realizará por medio de dos placas circulares que harán contacto a través de filamentos de cobre en forma de lengüetas y que serán analizadas posteriormente.

Los pasos para dimensionar las plataformas y con ella al robot móvil es analizar los diversos sistemas de tracción, el tamaño de baterías recargables de 12 VDC que podrían ser utilizadas para esta aplicación, el diseño que será utilizado para dotar a la cámara con dos grados de libertad y el material con el que será elaborado.

2.2 SISTEMA DE TRACCIÓN

El primer paso que se da para la construcción de un robot es la definición de los principales elementos que lo componen: ruedas, plataforma, motores. La configuración con la que se elabore al robot móvil determinará la precisión de las mediciones que realizará.

Para determinar el tipo de tracción que se utilizará, se presentará una breve clasificación de las configuraciones más importantes que se pueden incluir en este punto:

2.2.1 Configuración diferencial

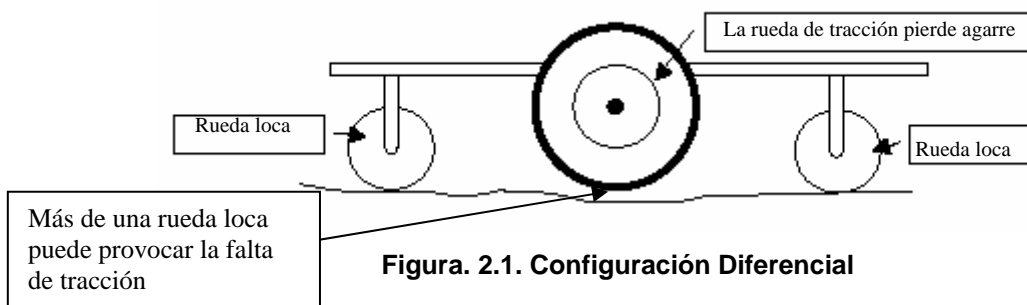
La configuración diferencial está conformada de cuatro ruedas en total, dos ruedas situadas en forma perpendicular al robot, colocadas diametralmente opuestas en un eje y controladas por un motor cada una independientemente, de esta forma, si se desea girar a la derecha se incrementará la velocidad en el motor izquierdo y si se desea girar a la izquierda en el motor derecho. Las otras dos ruedas son las que mantienen horizontal al robot y son conocidas como

¹ PAN: Giro horizontal que realiza toda la cámara sobre la base de un eje.

² TILT: Giro vertical que realiza solo el lente de la cámara

ruedas “locas”. Estas pequeñas llantas no poseen motores y están diseñadas de tal manera que giren libremente según la velocidad y dirección del robot.

Pero este tipo de configuración puede llevar a graves cálculos de odometría en terrenos irregulares e incluso a la pérdida absoluta de tracción, como se puede observar en la Figura. 2.1.



2.2.2. Configuración Ackerman

Es usada casi exclusivamente en la industria automotriz. Esta configuración está diseñada de manera que la rueda delantera interior en un giro tenga un ángulo ligeramente más agudo que la exterior, para evitar así derrape de las ruedas.

Los ejes extendidos de las ruedas delanteras pasan por un punto concéntrico de las ruedas traseras.

La relación entre los ángulos de las ruedas de dirección viene dada por la ecuación de Ackerman:

$$\cot \theta_i - \cot \theta_o = \frac{d}{l}$$

donde

θ_i = ángulo relativo interior

θ_o = ángulo relativo exterior

l = separación de las ruedas

d = separación lateral de las ruedas

La configuración de Ackerman que se observa en la Figura. 2.2, provee una solución para un buen sistema de tracción en todo terreno incluso en terrenos

inclinados. No obstante, es necesario decir que esta configuración en la construcción mecánica del robot complica su diseño con respecto a la Configuración diferencial.

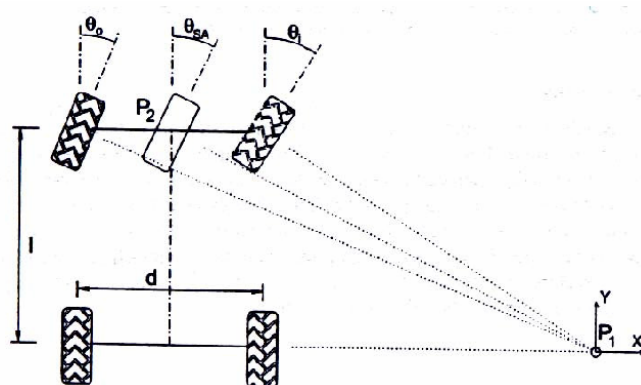


Figura. 2.2. Configuración de Ackerman

2.2.3. Configuración en Triciclo

En este caso, se dispone de tres ruedas para transportar al robot, situadas de forma similar a los triciclos de los niños, de ahí su nombre.

Existen diversas maneras de trabajar con estas llantas; una de ellas es el de colocar motores en ambas llantas traseras y una “rueda loca” (definida anteriormente en la Configuración Diferencial) adaptada en la parte delantera, de esta manera, el robot será dirigido según el avance o retroceso de los motores.

Otra manera de controlarlo pero con menor precisión para la odometría es colocar un solo motor en la llanta delantera, por lo cual, la “rueda loca” se convierte en una rueda activa anterior y dos ruedas pasivas posteriores. La forma de control es similar a la Configuración Ackerman discutido, anteriormente.

El problema presentado en este tipo de configuración es cuando el terreno se encuentra inclinado, ya que el centro de gravedad de la plataforma tiende a moverse lejos de la rueda anterior cuando cruza por el declive y ocasiona una pérdida en la tracción.

Se observa un esquema gráfico de la Configuración en Triciclo, en la Figura. 2.3.

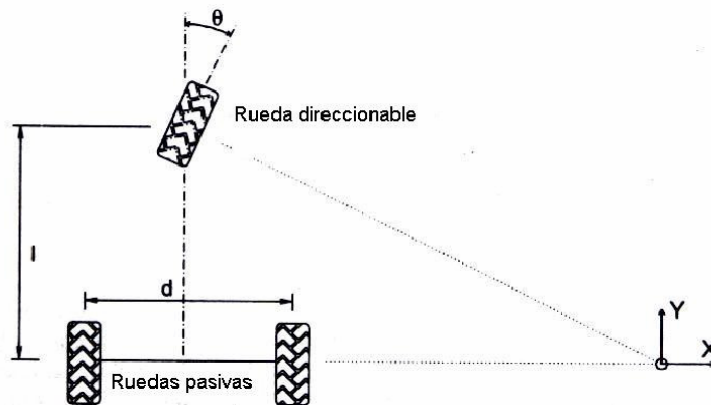


Figura. 2.3. Configuración en Triciclo

2.2.4 Dirección Sincronizada

Este manejador se caracteriza por tres o más ruedas, todas ellas dotadas de tracción y mecánicamente acopladas, de forma que todas giran en la misma dirección y a igual velocidad.

La sincronización en las ruedas debe ser estricta por lo que se establece una gran complejidad mecánica como se puede observar en la Figura. 2.4.

Con este tipo de configuración se logra reducir los errores de odometría ya que se evita el deslizamiento de la plataforma en suelos inclinados.

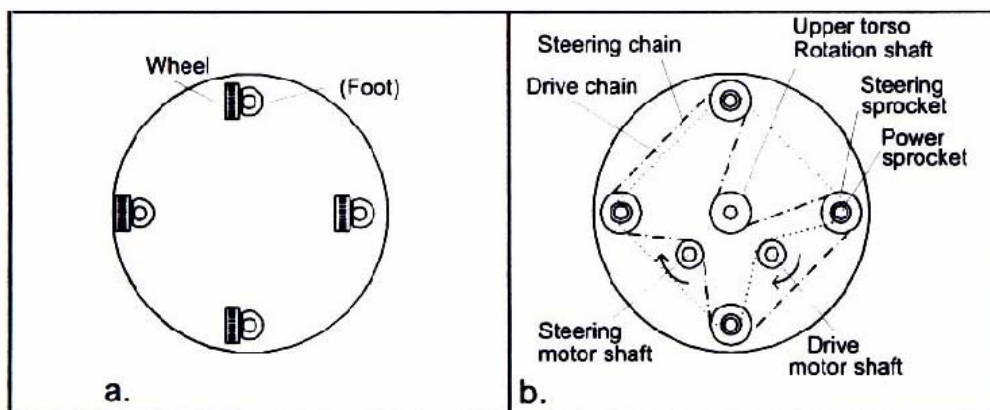


Figura. 2.4. Dirección Sincrónica a. Vista inferior b. Vista superior

2.2.5 Vehículos con Múltiples Grados de Libertad

Este modelo fue planteado para mejorar la movilidad del vehículo. Posee múltiples motores, por lo que, al igual que la configuración anterior, el problema radica en la coordinación de estos actuadores.

2.2.6. Tracción Mediante Orugas

Este es un vehículo de tracción, en donde se sustituyen las ruedas por orugas similares al utilizado en maquinarias de construcción.

Este tipo de vehículos es empleado en lugares donde el terreno es muy irregular, sin embargo, en esta configuración, el deslizamiento de los giros es muy grande perdiéndose precisión en el cálculo odométrico.

Un ejemplo de vehículo de Tracción Mediante Orugas se observa en la Figura. 2.5.



Figura. 2.5. Tracción Mediante Orugas

2.2.7 Sistema de Tracción elegido

En base al análisis de ventajas y desventajas de los diversos Sistemas de tracción, se escogió, para este proyecto, el Sistema de tracción Configuración en Triciclo, por su facilidad de diseño y ahorro en motores. La dificultad mencionada, acerca del centro de gravedad frente a terrenos irregulares es descartada en esta aplicación ya que las tuberías son completamente rectas.

2.3 BATERÍAS

Con respecto a las baterías que pueden ser aplicadas en la unidad móvil existen una gama de tamaños, pesos y precios que varían de acuerdo al voltaje y al amperaje - hora, entre ellas tenemos a las baterías de UPS, las baterías de motos e incluso a las baterías de los carros grandes que son juguete para niños.

La Figura. 2.6. muestra la batería escogida, **IBT INNOVATIVE BATTERY TECHNOLOGY** recargable de 12 V y de 2 AH, junto a un marcador de pizarra líquida para tener una idea mas real de sus dimensiones que son 4.5cm x 10.5cm (incluyendo los conectores) x 7cm



Figura. 2.6. Batería recargable de 12 V

Una vez que se ha escogido el mejor Sistema de tracción y se conocen las dimensiones de la batería de 12 VDC que se utilizará, se procede a realizar los planos de la plataforma fija.

2.4 DISEÑO DE LA PLATAFORMA FIJA

Para sostener la batería de la Figura. 2.6. junto al circuito impreso se construirán dos planchas y cuyos planos se observan en ANEXO N° 1. La plancha inferior cuyas dimensiones son 17cm x 22cm, tiene estructura ovalada y en ella se instalará los motores de las llantas y una “rueda loca”; arriba de esta rueda se

realizará una perforación de 6 x 6 cm que permite al lente de la cámara observar libremente el suelo. En cada extremo de esta plancha se elevan pilares de 3cm x 7cm, dos para cada lado completamente desmontables en cuya superficie superior descansa la segunda plancha. En la Figura. 2.7. se despliega la plancha de la plataforma estática.

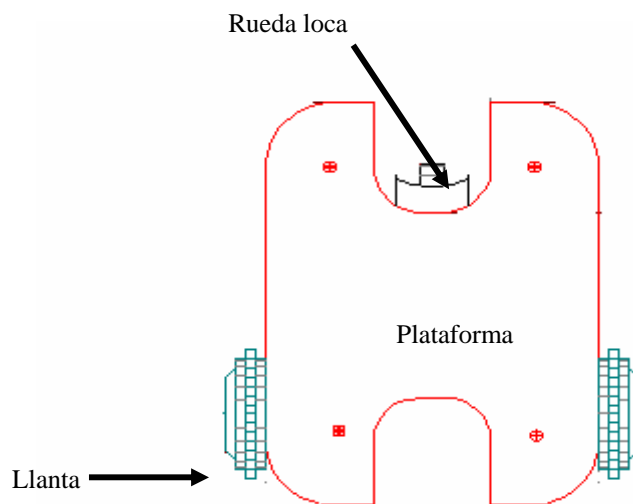


Figura. 2.7. Plancha de la Plataforma estática

Esto lleva a la segunda pieza desmontable, (construida del mismo material) esta plancha es una réplica exacta de la primera en donde se sujetan los motores, las ruedas, la batería y las placas impresas, con la diferencia de que esta plancha posee una base de 6cm de largo por 6 cm de ancho y 3 cm de alto, que servirá para sostener un motor a pasos por lo que, en el medio de la base, existe un orificio para introducir el eje. En la Figura. 2.8. se observa, en vista frontal, las dos planchas en donde se ve la colocación de los motores DC y la “rueda loca” correspondientes a la Configuración en Triciclo del Sistema de tracción.

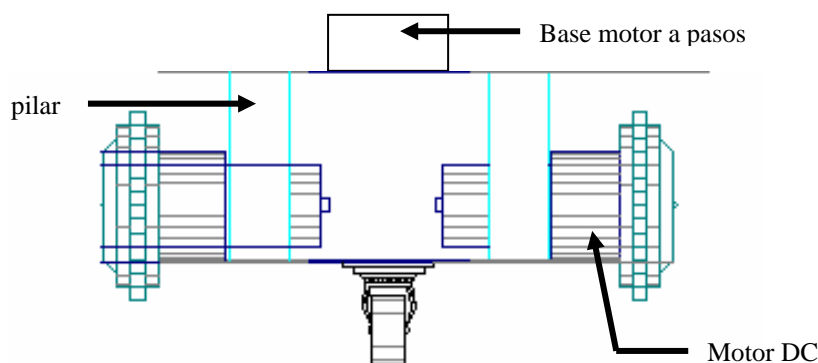


Figura. 2.8. Segunda plancha. Plataforma estática

2.5 DISEÑO DE LA PLATAFORMA MÓVIL

Para que el sistema sea óptimo se debía encontrar un mecanismo que le permita a la cámara girar 360° y al lente 180° en forma vertical. Toda la cámara girará sobre el eje de un motor a pasos, mientras que el lente será controlado por un motor DC³. La dificultad se presenta cuando se desea obtener los 360° sin que exista interrupción de cables de conexión.

Para la solución, se crearon dos placas circulares de 4cm de radio con 7 pistas concéntricas. Una de ellas se fija en la base del motor a pasos y la otra en la base inferior de la plataforma móvil con el fin de que entre estas dos placas exista una distancia de 0.5 cm. Para permitir el contacto entre ellas se emplearon pequeñas fisuras de cobre en forma de lengüetas y se colocaron 3 en cada pista, de esta manera la cámara del robot puede girar en cualquier sentido y durante el tiempo que el operario crea necesario.

Cada una de estas pistas cumple con una función, la pista 1 es de tierra, la pista 3 de VCC = 5V, las pistas 5 y 6 del control del motor DC del lente y la pista 7 es de VCC = 12V para la alimentación de la cámara. Cada pista tiene un grosor de 4 mm y están separadas 4 mm de distancia. En el centro de cada placa se encuentra un orificio de 3 mm de radio para calzar, al eje del motor, con la montura que está sujeta en la base de la cámara; pero la segunda placa, en donde se localizan las lengüetas de cobre se fabricó en forma de media luna. La Figura. 2.9. presenta los planos de estas placas circulares.

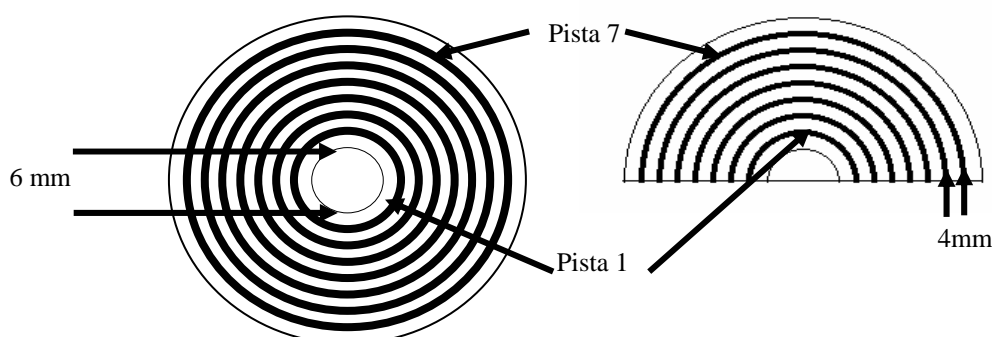


Figura. 2.9. Placas circulares de 7 pistas

³ Las características de este tipo de motor se encuentran en el Capítulo III en Sistema de Potencia

Entre la base del motor a pasos y la base creada para reposar la cámara **CAM2 CÁMARA COLOR RF EXTERIOR S130331** existe un espacio de 2 cm para que ingresen las placas circulares que contienen las 7 pistas, luego se eleva 9 cm conformados por un espacio de 2cm para ubicar un pequeño juego de resistencias y 7 cm de la antena de la cámara anteriormente mencionada.

La plataforma móvil, en donde va el lente de la cámara **XCAM2 CÁMARA COLOR RF EXTERIOR S130331** y cuyo diseño se observa en la Figura. 2.10, debía ser realizada de forma que pueda girar horizontalmente para apuntar tanto al techo de la tubería como al suelo de la misma, es por ello que se cuenta con dos palancas controladas por un motor DC con el principio del “tornillo sin fin”, cumpliendo así los dos grados de libertad. Sus dimensiones se pueden observar en ANEXO N° 1.

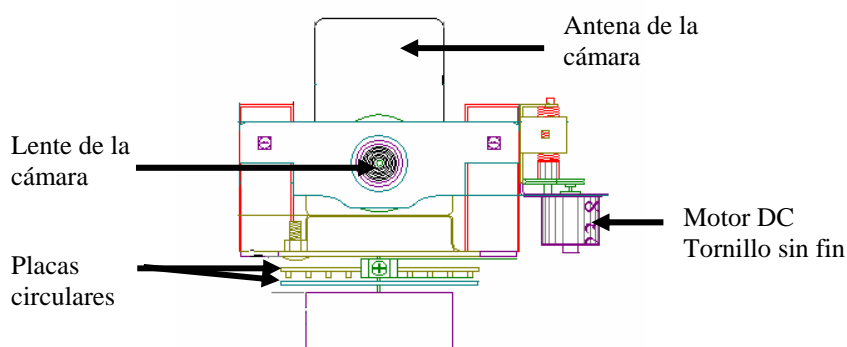


Figura. 2.10. Base de la cámara. Plataforma móvil

2.6 MATERIAL

Existen diversos tipos de material para crear la estructura mecánica de un robot móvil, entre ellos está el plástico, el tol, el aluminio, el acero, entre otros. La elección del material depende, principalmente, del medio en el que trabajará el prototipo. Además, también se debe tomar en cuenta el peso que el material escogido implicará para los motores.

En este caso, el robot móvil será teleoperado para ingresar en un medio libre de gases explosivos para localizar obstáculos sólidos, por lo que la opción mas conveniente y económica sería construirlo de aluminio por su resistencia y su peso. Pero se debe tomar en cuenta que este proyecto será el pionero de un

futuro robot que se pueda enfrentar a un medio con todo tipo de elementos químicos e incluso diluyentes y para ello la construcción en acero inoxidable es la mejor opción. El acero inoxidable es moldeable a altos grados de temperatura por lo que permite excelencia en el acabado de la estructura mecánica como en el caso de elaboración con las piezas pequeñas de la base del lente, mostrando un prototipo riguroso, confiable y atractivo.

2.7 ESPECIFICACIONES

En base al estudio realizado en el Capítulo I y una vez escogida la configuración del sistema de tracción, de la batería, el diseño apropiado para los grados de libertad de la cámara y la elección del material, se procede a establecer las especificaciones, en modo de resumen, que presentará el robot móvil teleoperado para la localización de obstáculos en tuberías.

El objetivo de este proyecto es crear un prototipo de robot que pueda ingresar con facilidad a tuberías de diversos diámetros y sea fácil de dirigir, es por ello que se optó por los robots móviles con la Configuración tipo Triciclo ya que, como se analizó anteriormente, es una de las mejores opciones para este tipo de trabajos.

Las llantas traseras son activadas por dos motores de voltaje continuo para mantener un torque adecuado y tracción independiente, el controlar cada uno de los motores individualmente permite, a la plataforma móvil, realizar un movimiento circular sobre si mismo con solo invertir el sentido del giro de una de las ruedas con respecto de la otra, esto también determina que la odometría sea más precisa. Además se resuelve el problema del avance del prototipo considerando la estructura del suelo de la tubería y la poca irregularidad que en ella existe.

El entorno está compuesto por el medio en el cual se desplazará el robot, los obstáculos, el ambiente y los actores intervinientes, en base a este concepto se obtuvo la potencia y las posibilidades de navegación del robot para vencer cualquier dificultad.

El entorno, como se definió en el Capítulo I, son las tuberías de hierro por donde se transportan el petróleo y sus derivados, cuya infraestructura se

encuentra localizada en Esmeraldas, sometido a una temperatura de 30 a 35 °C debido a que estas tuberías están limpias y fuera de servicio.

El prototipo MEEV (nombre del robot móvil teleoperado) será construido en acero inoxidable por ser completamente flexible cuando se le expone a hornos de alta temperatura y además que su robustez es indiscutible.

Para controlar al prototipo se necesitará de una computadora portátil para teledirigirlo inalámbricamente; es decir, el operario será quien envíe la orden para el control de las llantas al igual que el de la cámara, recibiendo a su vez la distancia recorrida por la unidad móvil de MEEV. Por ser operada a radio frecuencia se necesitará de modems o radio modems con un rango de frecuencia considerable y de fácil uso con múltiples aplicaciones.

El sistema de visión tiene dos grados de libertad, de esta manera cubre del 60% al 70% del alcance de observación.

Como hoja técnica del robot móvil teleoperado para la localización de obstáculos en tuberías o prototipo MEEV se pueden resumir sus especificaciones en la Tabla. 2.1.

Tabla. 2.1. Especificaciones mecánicas del prototipo MEEV

Requerimientos de alimentación	Voltaje de alimentación	12 V (+/- 0.25 V)
	Corriente nominal	1 AH
General	Dimensiones	22 cm x 25 cm x 20 cm
	Peso	3 libras
	Temperatura de operación	10° – 40 °C
	Material	Acero inoxidable
	6 piezas desmontables	Dos llantas con motores DC y sistema de engranaje, dos planchas, una plataforma para la cámara, un motor a pasos
	Tracción	Configuración tipo Triciclo

CAPITULO III

HARDWARE DE CONTROL

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Entre las misiones de Refinería Estatal Esmeraldas esta el producir derivados de calidad que cubran la demanda nacional, cuidando que sus actividades causen el mínimo impacto en el medio ambiente. Uno de los procesos para cumplir dicha visión es la limpieza profunda de las tuberías por donde circula petróleo y derivados del mismo, así como de los tanques de almacenamiento. Para realizar el proceso de la limpieza y control del estado de las tuberías, actualmente se detienen las plantas y se ingresa en su interior sistemas de exploración y monitoreo extranjeros cuyos valores de arrendamiento sobrepasan los 4000 dólares diarios. Es de gran importancia para la Refinería, la disposición de un robot que permita la visualización interna de las tuberías para encontrar alguna clase de obstrucción.

Para cumplir con todos estos objetivos se plantea un sistema en varias etapas: la etapa de adquisición de datos y control, el sistema de potencia y por último el sistema de comunicación, que se puede apreciar, en forma general en la Figura. 3.1.

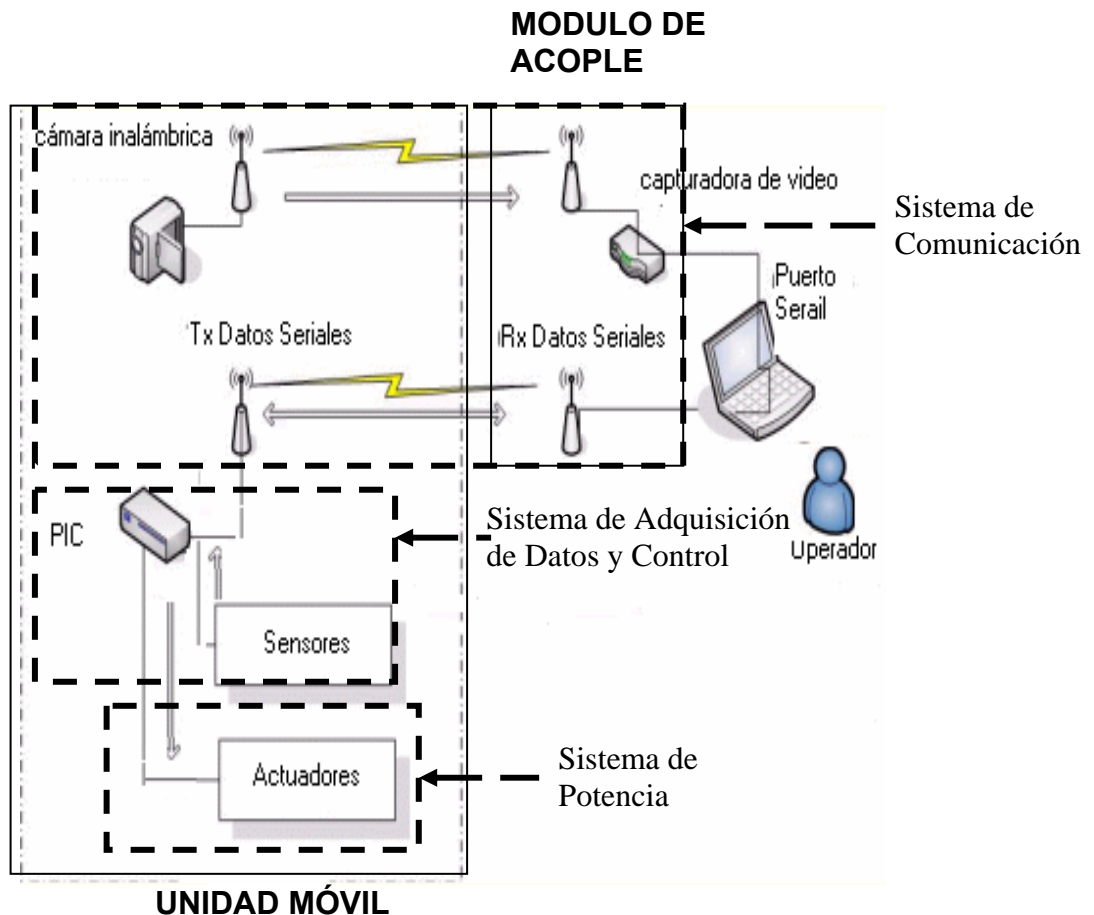


Figura. 3.1. Diagrama de Bloques del Hardware de Control

3.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL

3.2.1 Fundamento Teórico

En la actualidad el vertiginoso desarrollo de la electrónica y la microelectrónica han motivado que todas las esferas de la vida humana se estén automatizando, por ejemplo: la industria, el hogar, los comercios, la agricultura, la ganadería, el transporte, las comunicaciones, etc. En todo ese proceso de automatización el microprocesador y el microcontrolador juegan un papel de suma importancia. Ellos han permitido el desarrollo de sistemas inteligentes que resuelven los más diversos problemas y son conocidos como Sistemas de Adquisición de Datos.

En este proyecto se utilizará el PIC 16F877A cuyo datasheet se presenta en ANEXO N° 2. Este es un dispositivo programable procesador de datos digitales para el control y comunicación de diferentes dispositivos. Posee una memoria

interna para almacenar tanto el programa a ejecutarse como los datos que el usuario maneja para las diversas funciones del microcontrolador.

La programación de los microcontroladores se realiza en Assembler, variando su conjunto de instrucciones de acuerdo al modelo y fabricante. Las partes principales de un microcontrolador son: la ALU (Unidad Lógica Aritmética), la cual se encarga de procesar los datos dependiendo de las instrucciones ADD, OR, AND a ejecutarse y los pines, llamados puertos, los cuales cumplen con la función de comunicar al microcontrolador con el exterior. Según como se definan los puertos en el programa, estos pines pueden ser de entrada o salida, de transmisión de datos o control.

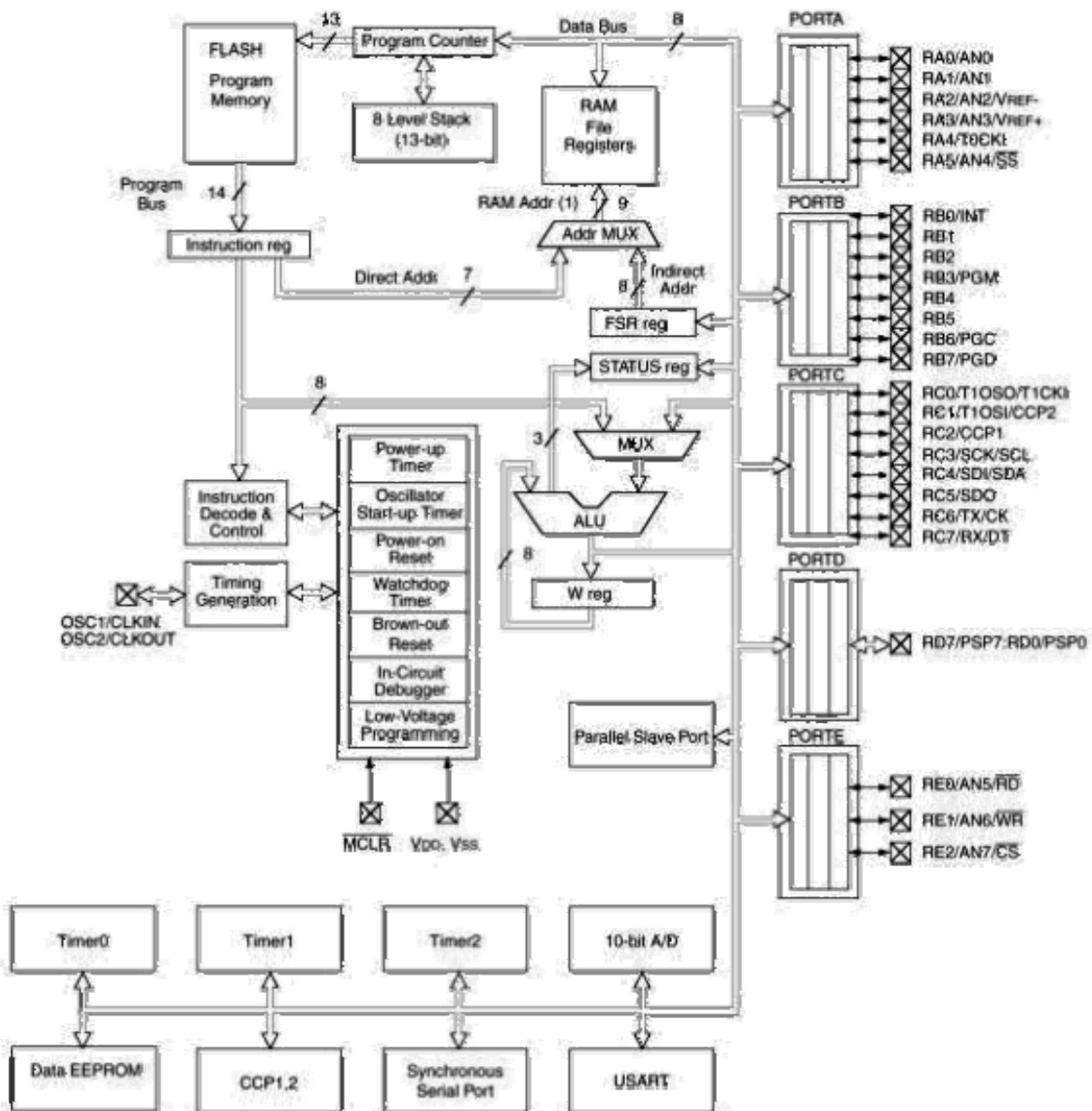
Las características del PIC 16F877A convierten a este dispositivo en un microcontrolador muy versátil, eficiente y práctico, útil en este proyecto. Algunas de ellas se muestran a continuación:

- Procesador.
- Memoria de programa flash (corresponde a la letra “F” en el modelo) para borrar electrónicamente de 14 bits con capacidad de 8 KB.
- Memoria RAM de datos de 368K.
- Memoria EEPROM de datos de 256K.
- Juego de instrucciones de 35 instrucciones de 14 bits cada una.
- Cinco puertos de E/S (A,B,C,D,E) para el control de periféricos:
 - Comunicación en paralelo PSP.
 - Comunicación serial MSSP, USART.
 - Diversas puertas de comunicación (bus, I²C, USB, etc.)
 - Conversores AD y DA.
- Recursos Auxiliares:
 - Reloj con frecuencia máxima de 200MHz.
 - Tres temporizadores .
 - Perro guardián o “watchdog”.
 - Estado de reposo o bajo consumo.

En la Figura. 3.2. se muestra el diagrama de bloques de la estructura interna del microcontrolador PIC 16F877. Se debe recordar que el PIC 16F877A posee

todas las características, tanto en hardware como en software de PIC 16F877 por pertenecer a la misma familia. De esta manera se puede tener una idea más clara de cómo interactúan las partes principales del PIC como son ALU, los temporizadores, las memorias de almacenamiento y lectura, sus registros, puertos y demás secciones para la ejecución de las instrucciones programadas.

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	368 Bytes	256 Bytes



Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

Figura. 3.2. Diagrama de bloques de la estructura interna PIC 16F877

Los pines del PIC 16F877A junto con su descripción se presentan en la Tabla 3.1. mostrada a continuación. Hay que tomar en cuenta que la función que toma cada uno de los puertos es programada de tal manera que puede ser de entrada o salida, analógica o digital.

Tabla. 3.1. Descripción de pines del PIC 16F877A

NOMBRE DEL PIN	POSICIÓN DEL PIN	TIPO	DESCRIPCIÓN
OSC1/CLKIN	13	I	Entrada del oscilador de cristal / Entrada de señal de reloj externa
OSC2/CLKOUT	14	O	Salida del oscilador de cristal
MCLR/Vpp/THV	1	I/P	Entrada del Master clear (Reset) o entrada de voltaje de programación o modo de control high voltaje test
RA0/AN0	2	I/O	PORTA es un puerto I/O bidireccional RA0: puede ser salida analógica 0 RA1: puede ser salida analógica 1 RA2: puede ser salida analógica 2 o referencia negativa de voltaje RA3: puede ser salida analógica 3 o referencia positiva de voltaje RA4: puede ser entrada de reloj el timer0. RA5: puede ser salida analógica 4 o el esclavo seleccionado por el puerto serial síncrono.
RA1/AN1	3	I/O	
RA2/AN2/ Vref-	4	I/O	
RA3/AN3/Vref+	5	I/O	
RA4/T0CKI	6	I/O	
RA5/SS/AN4	7	I/O	
RBO/INT	33	I/O	PORTB es un puerto I/O bidireccional. Puede ser programado todo como entradas RB0 puede ser pin de interrupción externo. RB3: puede ser la entada de programación de bajo voltaje Pin de interrupción Pin de interrupción Pin de interrupción. Reloj de programación serial
RB1	34	I/O	
RB2	35	I/O	
RB3/PGM	36	I/O	
RB4	37	I/O	
RB5	38	I/O	
RB6/PGC	39	I/O	
RB7/PGD	40	I/O	
RCO/T1OSO/T1CKI	15	I/O	PORTC es un puerto I/O bidireccional RCO puede ser la salida del oscilador timer1 o la entrada de reloj del timer1 RC1 puede ser la entrada del oscilador timer1 o salida PWM 2 RC2 puede ser una entrada de captura y comparación o salida PWN RC3 puede ser la entrada o salida serial de reloj síncrono para modos SPI e I2C RC4 puede ser la entrada de datos SPI y modo I2C RC5 puede ser la salida de datos SPI
RC1/T1OS1/CCP2	16	I/O	
RC2/CCP1	17	I/O	
RC3/SCK/SCL	18	I/O	
RC4/SD1/SDA	23	I/O	
RC5/SD0	24	I/O	

RC6/Tx/CK	25	I/O	RC6 puede ser el transmisor asíncrono USART o el reloj síncrono.
RC7/RX/DT	26	I/O	RC7 puede ser el receptor asíncrono USART o datos síncronos
RD0/PSP0 RD1/PSP1 RD2/PSP2 RD3/PSP3 RD4/PSP4 RD5/PSP5 RD6/PSP6 RD7/PSP7	19 20 21 22 27 28 29 30	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	PORTD es un puerto bidireccional paralelo
RE0/RD/AN5	8	I/O	PORTE es un puerto I/O bidireccional RE0: puede ser control de lectura para el puerto esclavo paralelo o entrada analógica 5
RE1/WR/AN	9	I/O	RE1: puede ser escritura de control para el puerto paralelo esclavo o entrada analógica 6
RE2/CS/AN7	10	I/O	RE2: puede ser el selector de control para el puerto paralelo esclavo o la entrada analógica 7.
Vss	12.31	P	Referencia de tierra para los pines lógicos y de I/O
Vdd	11.32	P	Fuente positiva para los pines lógicos y de I/O
NC	-	-	No está conectado internamente

La Figura. 3.3. muestra las al PIC 16F877A señalando cada uno de sus pines.

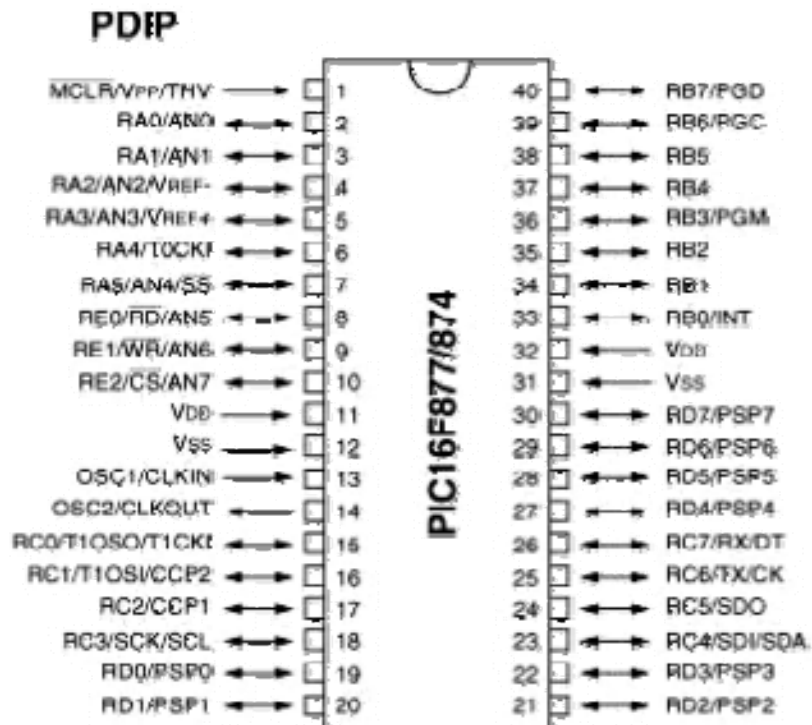


Figura. 3.3. PIC 16F877A

3.2.2 Diseño del Sistema de Adquisición de Datos y Control

El microcontrolador manipulará la señal de salida para los motores de movimiento del robot y de la cámara. Para la traslación del robot se utilizarán 2 motores DC controlados independientemente, uno para cada rueda, con una fuente de alimentación de 5V, estos motores poseen retardadores o engranes para reducir su velocidad y aumentar su torque (principio de conservación de energía).; para el movimiento de la cámara se crearon dos placas circulares con 7 pistas concéntricas como se analizó en el Capítulo II en Diseño de la plataforma móvil para la cámara. Además, se incluye la visualización de la distancia recorrida que se calculará utilizando el principio de los codificadores ópticos y que en este caso se usará el photomicrosensor EE – SX493. En una de las ruedas se colocará una placa de metal con un orificio, adherida por su centro al eje del motor de tal manera que este disco gire a la misma velocidad que la llanta y el photomicrosensor sense el paso y bloqueo de la luz a través del orificio.

Para que el operador se comunique con el robot se optó por utilizar un puerto serie estándar (interfaz RS-232). El microcontrolador se encargará de gestionar las comunicaciones y de leer y ejecutar los comandos que se le envíen. De este modo, se independiza el control de alto nivel del de bajo nivel, que queda a cargo del microcontrolador.

Además se tiene un enlace en radiofrecuencia entre el PIC de la unidad móvil y el computador para poder monitorear el estado del robot y dar órdenes al mismo.

Como se aprecia en la Figura. 3.4, se tienen 10 salidas pertenecientes al puerto A y el puerto B del PIC 16F877A; cuatro para controlar los motores DC de las llantas, cuatro para controlar el motor a paso de la cámara para el giro de 360° en sentido horizontal y dos para controlar el motor DC de la cámara para el giro de 80° en sentido vertical, la interrupción externa es utilizada para sensar la distancia, dejando el puerto D completamente libre para otras aplicaciones como el conectar displays para visualizar cualquier información extra.

En el ANEXO N° 3 se expone todo el circuito de control que se utilizó para este proyecto.

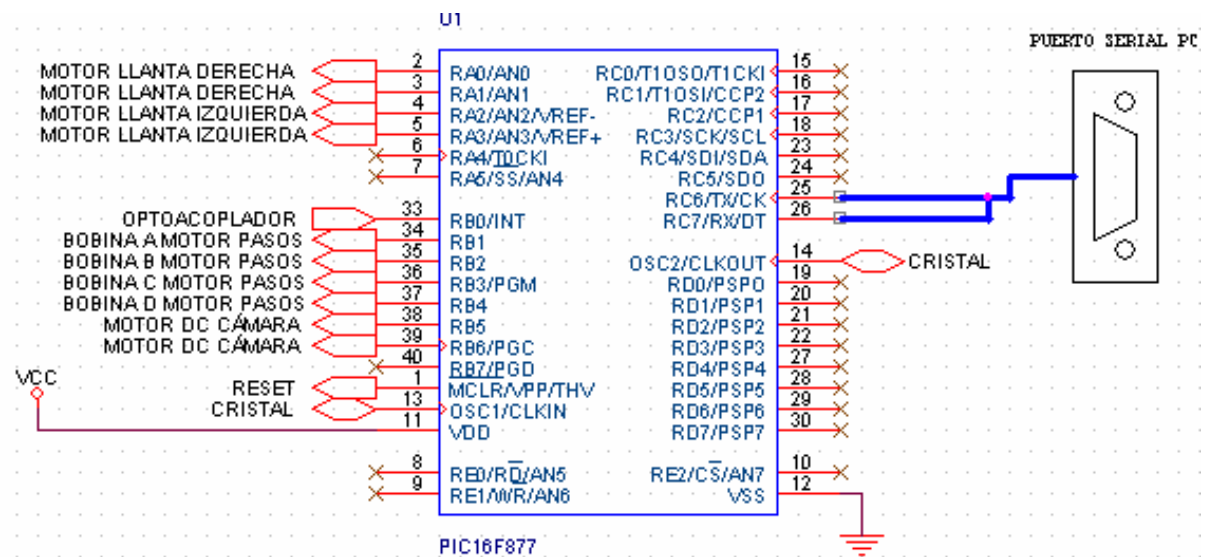


Figura. 3.4. Definición de puertos del microcontrolador

3.3 SISTEMA DE POTENCIA

3.3.1 Fundamento Teórico. Tipos de motores

Dentro del sistema de potencia se indicarán los motores a ser utilizados en el prototipo.

El conocimiento acerca de los actuadores que se encuentran en el mercado ayuda a tener una idea previa acerca de la velocidad, par, inercia, frenos, modo de control, peso, volumen, mantenimiento, coste entre otros aspectos.

Los actuadores se clasifican en tres grandes grupos:

- Neumáticos.
- Hidráulicos.
- Eléctricos.

Los actuadores neumáticos, utilizan el aire comprimido como fuente de energía y son muy utilizados en el control de movimientos rápidos, pero de precisión limitada.

Los motores hidráulicos son recomendables en los manipuladores que tienen una gran capacidad de carga, junto a una precisa regulación de velocidad.

Los motores eléctricos son los más usados, por su fácil y preciso control, así como por otras propiedades ventajosas que establecen su funcionamiento, como consecuencia del empleo de la energía eléctrica.

En este caso se tratará exclusivamente y en manera general acerca de los motores eléctricos ya que el estudio de los otros motores no es el objetivo de este proyecto.

Dentro de los motores eléctricos se pueden distinguir tres tipos diferentes: motores de corriente continua, motores paso a paso y motores de corriente alterna.

Motores de corriente continua

Debido a su facilidad para operar son los más utilizados en la actualidad. Este tipo de motores se encuentra conformados por dos devanados internos, el inductor y el inducido, los cuales son alimentados con corriente continua. El inducido se encuentra situado en el estator, que al ser alimentado crea un campo magnético denominado excitación.

El momento en que el estator y el rotor permanecen estáticos entre sí, se produce la conversión de la energía eléctrica a energía mecánica.

Motores paso a paso

Los motores paso a paso o motores a pasos son utilizados en mecanismos donde se requieren movimientos precisos y control exacto.

El principio de funcionamiento de estos motores se basa en la atracción y repulsión de los polos magnéticos. Existen tres tipos de motores paso a paso:

- De imanes permanentes.

- De reluctancia variable.
- Híbridos.

De imán permanente. En este tipo de motor, su rotor es un imán permanente que posee una ranura en toda su longitud y el estator está formado por una serie de bobinas enrolladas alrededor de un núcleo o polo. Su funcionamiento se basa en el principio explicado anteriormente de atracción y repulsión de polos magnéticos.

De reluctancia variable. En estos motores el rotor está fabricado por un cilindro de hierro dentado y el estator está formado por bobinas que crean los polos magnéticos. Como este tipo de motor no tiene un imán permanente, su rotor gira libremente cuando las bobinas no tienen corriente, lo que puede ser inconveniente en un momento dado si hay una carga que presione el eje. Este tipo puede trabajar a mayor velocidad que el anterior.

Híbridos. Estos motores combinan las dos características anteriores, así logran un alto rendimiento a buena velocidad.

En cuanto a la forma de conexión y excitación de las bobinas del estator, los motores paso a paso se dividen en 2 tipos: Bipolares y Unipolares.

Los bipolares tienen dos bobinas que al igual que los unipolares, con la diferencia de que no poseen toma media, es decir, tienen cuatro terminales.

Los unipolares tienen dos bobinas y toma media. Estos motores por lo general poseen 5 o 6 cables, estos poseen un par de *cables comunes* que por lo general tienen el mismo color por lo que se pueden unir antes de iniciar el reconocimiento de los otros cables.

Otro modo de determinar cual es el cable común es utilizando el multímetro para medir la resistencia entre ellos, el cable común mide la mitad del valor de resistencia que poseen los otros cables, esto es porque el cable común tiene una bobina entre él y cualquier otro cable mientras que cada uno de los otros cables tienen dos bobinas entre si.

Una vez encontrado el cable común, éste se alimenta con 5 o 12 VDC. Se selecciona cualquier cable de los 4 restantes para ser conectado a tierra, a éste se le llamará cable de la bobina A.

Manteniendo el cable de la bobina A a tierra, se observa cual de los otros tres produce un paso en sentido antihorario al ser conectado a tierra también. Este será el cable de la bobina B.

De igual forma, manteniendo el cable de la bobina A a tierra, observe cual de los otros dos produce un paso en sentido horario al ser conectado a tierra también. Este será el cable de la bobina C.

El último cable es el perteneciente al de la bobina D. No se produce ningún movimiento si es conectado a tierra, junto con el cable de la bobina A porque esta bobina es opuesta a A.

Existen diversas secuencias para activar las bobinas de los motores a pasos y dependerá del programador la secuencia escogida. La secuencia que se utilizará para el prototipo es la **secuencia normal** en la cual son activadas al menos dos bobinas a la vez, así el motor avanza un paso a la vez obteniendo un alto torque de paso y retención. Esta secuencia es la recomendada por los fabricantes y la que con mayor frecuencia se utiliza.

En la Tabla. 3.2. se observa lo especificado anteriormente acerca de la Secuencia Normal.

Tabla. 3.2. Secuencia normal para un motor a pasos

PASO	BOBINA A	BOBINA B	BOBINA C	BOBINA D
1	ON	ON	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON
4	ON	OFF	OFF	ON

Los motores son alimentados desde la fuente a través del driver L293 que permitirá su funcionamiento en ambas direcciones y será controlado por un microcontrolador.

3.3.2 Diseño del Sistema de Potencia

El L293 es un *driver* de 4 canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta 1A por canal. Cada canal es controlado por señales de entrada compatibles TTL y cada pareja de canales dispone de una señal de habilitación que desconecta las salidas de los mismos.

El circuito de la Figura. 3.5 permite controlar el doble sentido de giro del motor.

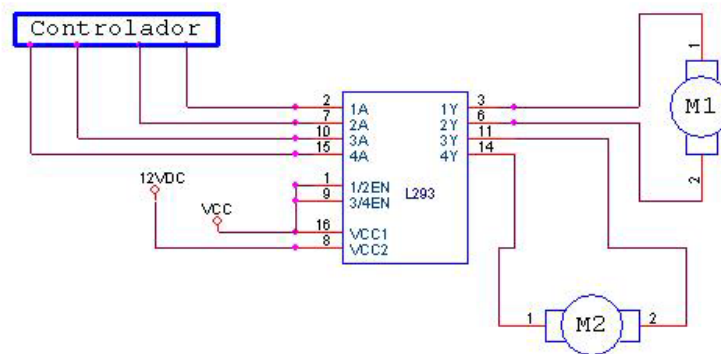


Figura. 3.5. Circuito de control para el doble giro de un motor de corriente continua

Siempre es recomendable trabajar con una sola batería como fuente de alimentación y con valor del voltaje más alto a utilizar. En el caso del robot los motores DC que controlan las llantas necesitan 12V para tener un excelente torque y una velocidad apropiada. Pero tanto los circuitos integrados (microcontrolador, drivers, leds, entre otros) como los radio módems necesitan un voltaje de 5V, para ello se utilizará el regulador de voltaje **LM7805** cuyo rango de trabajo mantiene los 5V mientras la entrada varía entre 8V a 12V, en condiciones normales, como se puede observar los datasheet impresos en ANEXO N° 4.

Estos reguladores proporcionan un voltaje fijo aunque la batería se descargue hasta menos de los 8V, tiempo suficiente para que el prototipo recorra 20 m ida y vuelta, ya que la batería que se utiliza tiene una capacidad de 12V2AH

recargable. De igual manera, si se desea tener una salida fija de 9V, que es en el caso de la alimentación del receptor de la cámara, el integrado a utilizar es el **LM7809** con la misma configuración del regulador anterior y que se presenta en la Figura. 3.6.

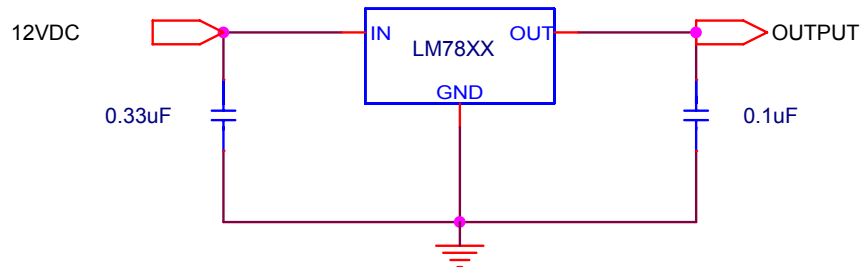


Figura. 3.6. Configuración de la aplicación típica de los reguladores de voltaje LM78XX

La salida OUTPUT variará según el número de regulador con el que se trabaje, así, se utiliza el **LM7805** su salida será de 5VDC, si se utiliza el **LM7809** su salida será de 9V, como se explicó anteriormente.

3.4 SISTEMA DE COMUNICACIÓN

3.4.1 Fundamento Teórico

El Sistema de Comunicación establece el enlace entre el prototipo y su controlador central. Muchos de estos sistemas de comunicación se realizan por un medio físico debido a su bajo costo, pero este tipo de enlace produce un sin número de problemas cuando la distancia entre el operador y la máquina sobrepasa en metros. En el caso de la unidad móvil del prototipo MEEV la conexión física sería un inconveniente cuando gire por los codos que unen las tuberías y mucho más cuando el prototipo necesite regresar. Es por ello que se buscó la opción de la comunicación inalámbrica a pesar de su costo.

En la actualidad para interactuar entre dos equipos remotos existen una gran cantidad de dispositivos para realizar una comunicación inalámbrica como son *radiofrecuencia*, *rayos infrarrojos* y *rayos láser*.

Para este caso se utilizará el método de transmisión por radio frecuencia, en el cual el emisor (la computadora portátil) envía la información modulada sobre una

señal portadora y es demodulada y decodificada por el receptor que se encuentra en el prototipo para la correcta interpretación de los datos enviados.

Para que el lector entienda un poco más de este tipo de transceivers se expondrá el concepto de onda electromagnética y la forma de transmisión y recepción de la misma junto con los tipos de modulación.

El descubrimiento de las **ondas electromagnéticas** fue uno de los avances de la física más importantes del siglo XIX partiendo del análisis del comportamiento de la naturaleza en cuyos fenómenos se descubrió que las fuerzas eléctricas se pueden originar tanto por la atracción o repulsión entre cargas como la atracción o repulsión de corrientes eléctricas paralelas. De esta forma se entiende que se relacionan las unidades de carga con las de corriente.

Faraday crea un espacio en donde se pueden observar los cambios en las fuerzas magnéticas conocido como campo magnético. También demostró que utilizando cables de cobre se puede llevar la corriente eléctrica de un lugar a otro.

Se conocía además que las ondas electromagnéticas se generaban en el espacio, pero debido a una idea errónea de Faraday de que el flujo magnético sólo podría ser transmitido por cables de cobre concluyó que no se podría transmitir el campo electromagnético a través del espacio. Maxwell solucionó este problema en 1861 integrando una variante adicional que represente a la corriente que puede viajar en el vacío pero en oscilaciones de alta frecuencia llegando a unir la electricidad, el magnetismo y la óptica en una misma rama.

Sin embargo no pudo demostrar su existencia, fue Hertz 20 años después, en 1887, el primero en producir ondas electromagnéticas y con ello confirmar las leyes de Maxwell demostrando que la corriente eléctrica puede saltar a través de un hilo siendo éste la fuente de esas ondas. Este hilo es conocido actualmente como antena.

Para **transmitir** la onda electromagnética y por ende la información que ellas contienen, debe ser transformada en señal eléctrica con un elemento de

modulación. Este elemento envía a la señal modulante junto con una señal portadora a una frecuencia superior, al menos dos veces mayor, a través de elementos que acoplan la comunicación del medio de transmisión.

Una vez que la onda de radiofrecuencia es transmitida a través del aire, la inclinación negativa (respecto a la horizontal) es absorbida por la tierra mientras que el resto es trasladado hasta entrar a un sistema demodulador separando la señal portadora de la de información.

La fidelidad de la información que demodula el sistema receptor depende mucho de las características en las que estos elementos trabajan, la velocidad con la que se transmite la información, la frecuencia, entre otras incluyendo el tipo de modulación.

Las formas de modulación más conocidas son Modulación por Amplitud, Modulación por Frecuencia y Modulación por Fase.

Modulación por Amplitud. Se le conoce también como amplitud modulada (AM) y se la conoce de esta manera porque la información se imprime sobre la señal portadora en forma de cambios de amplitud, siendo este tipo de modulación el más barato y de menor calidad utilizada en radiodifusión como se observa en la Figura. 3.7.

La banda de radiodifusión comercial AM abarca desde 535 a 1605 Khz.

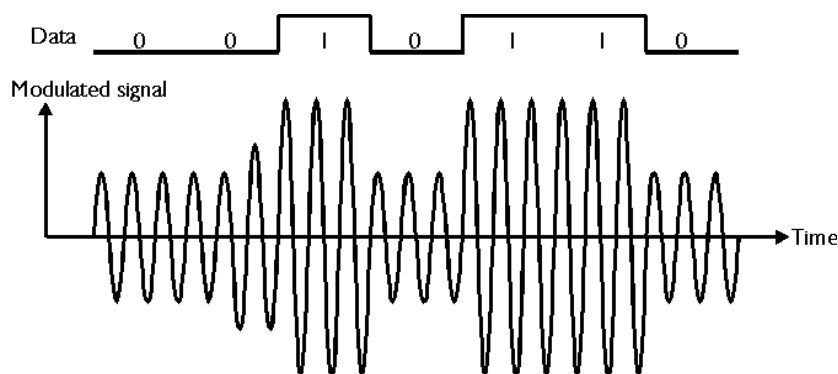


Figura. 3.7. Amplitud Modulada

Modulación por Frecuencia. O frecuencia modulada (FM) es cuando el sistema de transmisión de radio en el que la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal de audio transmitida. Una de las ventajas de este tipo de modulación es que no es afectada por perturbaciones eléctricas originadas por tormentas o por el encendido del auto que generan señales de amplitud modulada que en el caso de AM son receptadas.

Las estaciones o emisoras comerciales de radio FM tienen frecuencias entre 88 y 108 Mhz. La forma de onda en Modulación por Radiofrecuencia se observa a continuación en la Figura. 3.8.

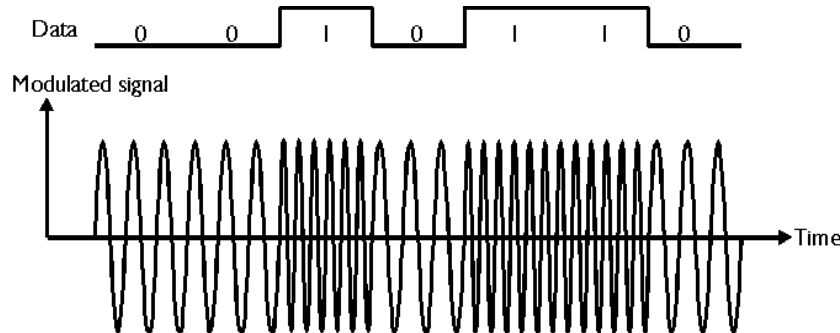


Figura. 3.8. Frecuencia Modulada

Modulación por Fase. Sistema de modulación en el cual la fase de la señal portadora varía o es modulada conforme al valor instantáneo de la amplitud de la señal moduladora.

Un cero lógico '0' puede ser representado por una onda senoidal normal con una amplitud nula y un ángulo de fase nulo y un uno lógico '1' con una portadora de la misma frecuencia y amplitud pero con una fase desplazada 180 grados. Para detectar la fase de la portadora puede emplearse un circuito detector de fase y, por tanto, puede determinar si existe un nivel lógico "1" o un nivel lógico "0". Esta técnica se denomina PSK (phase-Shift Keying = Variación de fase mediante una señal digital).

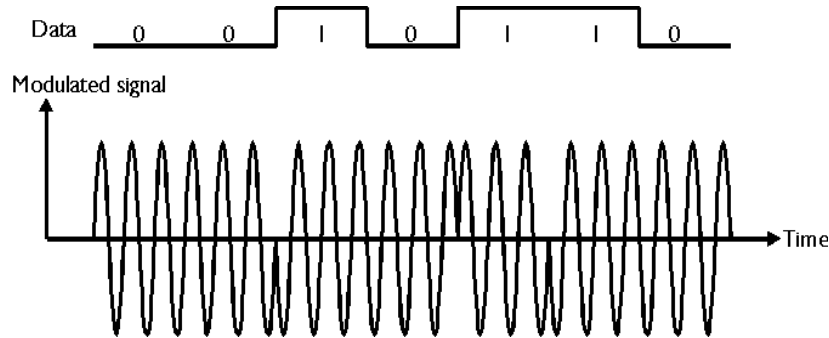


Figura. 3.9. Modulación por Fase

Otros tipos de comunicación inalámbrica son los **rayos infrarrojos** usando pulsos de luz infrarroja el cual funciona con sistemas de 2400 bps y por tanto simplemente permite una comunicación half – duplex.

Para reconocer un bit cero el pulso de luz infrarroja dura 52 us y la ausencia de luz determina un uno lógico.

Los **rayos láser** necesita una línea de vista recta entre el transmisor y el receptor para realizar la comunicación inalámbrica la ventaja es su alcance ya que supera al de los rayos infrarrojos.

En base a todas las ventajas y desventajas analizadas en cada uno de los tipos de comunicación inalámbrica se optó por utilizar la transmisión de radiofrecuencia debido a que las frecuencias son lo suficientemente altas para radiarse de manera eficiente por una antena y propagarse por el espacio libre y sin necesidad de tener línea de vista.



*RS-232/485, USB, Ethernet & Telephone
interface packages available*

Figura. 3.10. 24XStream™ OEM RF Module

3.4.2 El radio modem 24XStream™ OEM RF Module

El modem **24XStream™ OEM RF Module**, que se observa en la Figura. 3.10, posee el protocolo de transmisión de datos que garantiza la transmisión de información y también la recepción de la misma como son los protocolos RS – 232/845/422.

El dato es transmitido como una señal serial asincrónica. La señal permanece en alto mientras no se realiza ninguna transmisión. El UART realiza tareas como cronometrar el tiempo de comunicación y verificación de paridad, las cuales son necesarias para la comunicación de datos. La comunicación serial consiste en la configuración de dos UART's con parámetros compatibles como son baud rate, paridad, bit de inicio, bit de salida y bit de datos con el objetivo de obtener una comunicación exitosa.

Cada paquete de datos consta de un bit de inicio (low), 8 bit que transportan la información y un bit de parada (high). La Figura. 3.11 muestra un ejemplo de un paquete de bit serial que es transportado a través del módulo.

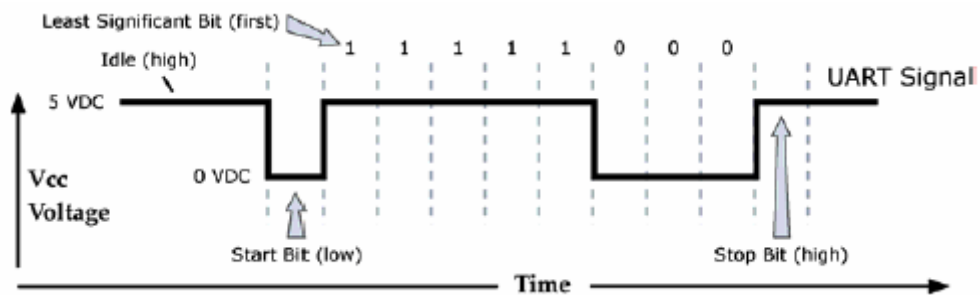


Figura. 3.11. Ejemplo de un paquete de datos transportado a través del módulo

Flujo de control del 24XStream™ OEM RF Module

Cuando el dato serial ingresa por el pin ID del **XStream Module** éste es almacenado en el buffer del ID como se puede observar en la Figura. 3.12 hasta que pueda ser transmitido a otro módulo en modo RF.

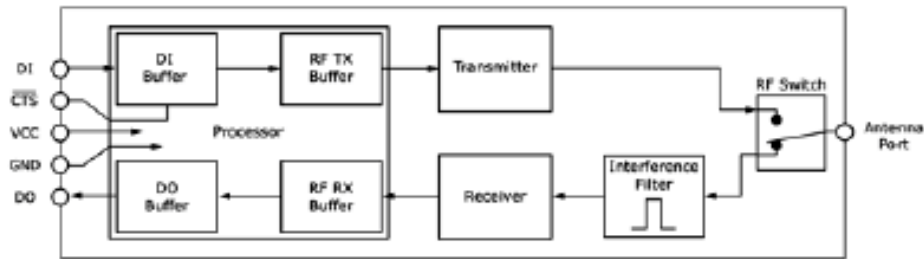


Figura. 3.12. Diagrama del Flujo de Datos Interno

El dato de inicio de RF es enviado cada vez que se solicita una conexión. Este dato contiene la información del canal que otorgará al módulo receptor todos los datos con los que el módulo de transmisión está trabajando.

La primera transmisión siempre enviará este dato de iniciación, cuya longitud puede depender del tiempo que se demora en realizar la compatibilidad de datos entre el módulo de transmisión y de recepción.

En el caso de que los datos transferidos se envíen en paquetes múltiples de RF, el dato de RF que da inicio se enviará siempre en el primer paquete.

Cuando el parámetro RO, el cual es usado para especificar o leer el tiempo de silencio (tiempo en el cual ningún bit es recibido), se activa el módulo de intento de iniciación de la conexión de RF.

Una vez que comienza el Modo de Transmisión, el módulo activa un canal de comunicación el cual inicializa el proceso de envío en modo RF, sincronizando los módulos receptores con los módulos transmisores. Ahora bien, mientras se produce la transferencia o lo que se llama la inicialización del canal, los datos seriales “entrantes” se almacenan en el buffer DI como se indicó anteriormente.

Cuando los datos de RF se reciben, estos datos ingresan por el buffer DO y se envía fuera del puerto serial a un host device (dispositivo de organización).

El módulo de recepción se encarga de recibir los datos inmediatamente al detectar una transferencia RF. Después de que un paquete se recibe se activa el

CRC (cyclic Redundancy Check) o Chequeo de Redundancia Cíclica para detectar errores en la recepción, si este se activa indica que el paquete no fue recibido correctamente y el paquete es eliminado; si esto no ocurre, entonces el paquete es trasladado al buffer DO.

Si este módulo de recepción desea ser un módulo de transmisión (recuérdese que los modems son bidireccionales), esperará a que la primera transferencia se finalice para proceder a transmitir datos, de la misma manera como ya se explicó.

Las especificaciones del **24XStream™ OEM RF Module** se encuentran en ANEXO N° 5, pero la distribución de pines, al igual que sus características se presentarán en este capítulo para entender la transmisión de información.

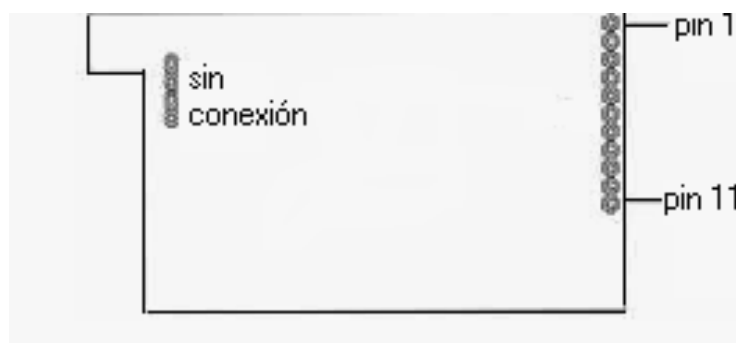


Figura. 3.13. Ubicación de los pines del 24XStream™ OEM RF Module

Tabla. 3.3 Configuración de pines del 24XStream™ OEM RF Module

Pin	Nombre del Pin	I/O	Estado activación	Función
1	DO2 /CTS / RS-485 Enable	O	Bajo	(Clear-to-send). Cuando este pin se activa en bajo indica que el UART host está autorizado para enviar los datos seriales al módulo.
2	DI3 / SLEEP	I	Alto	Activa el modo de Sleep para el ahorro de energía.
3	DO (data out)	O	N/a	Datos de Salida Serial enviada por el módulo
4	DI (data in)	I	N/a	Datos de Entrada Serial recibidos por el módulo
5	DI2 /RTS / CMD	I	Bajo	(Request-to-send). Recibe la solicitud de envío del otro módulo.
6	RESET	I	Bajo	Resetea y devuelve los valores del fabricante.
7	DO3 / RX LED	O	Alto	Pin que indica que el proceso de recepción se está ejecutando correctamente.

8	TX/ PWR	O	Bajo	Pin que indica que el proceso de transmisión se está ejecutando correctamente.
9	CONFIG	I	Bajo	Sirve para poder observar el estado del MODEM. Su función es igual al tecleo de “+++”.
10	VCC	I	-	5 VDC (± 0.25)
11	GND	-	-	Tierra

3.4.3 Consideraciones del enlace inalámbrico

Se debe recordar que la rapidez de propagación de las ondas electromagnéticas esta relacionada con la longitud de onda (λ) y con la frecuencia (f) mediante la siguiente fórmula:

$$c = \lambda \cdot f$$

Teniendo como datos la frecuencia de los radio módems de 2.4 Ghz y la velocidad de la luz $c = 300 \times 10^6$ m/s podemos determinar la longitud de onda λ y con ella el diámetro mínimo de la tubería en el que trabajará el prototipo.

$$\lambda = \frac{300 \times 10^6 \text{ m/s}}{2.4 \text{ Ghz}}$$

$$\lambda = 12.5 \text{ cm}$$

El tamaño del prototipo es de 10 pulgadas, tamaño suficiente para que pueda ingresar en tubería mayores a 12 pulgadas de diámetro por lo que supera en gran medida a los 12.5 cm con los que se calculó la longitud de onda, pero este también es un condicionante para trabajos futuros debido a que el tamaño no puede ser inferior a este valor.

3.4.4 Diseño del Sistema de Comunicación

Para la comunicación serial PIC-MODEM en la unidad móvil, en los terminales del modem se utilizarán los pines de transmisión (pin 3) o DATA OUT, el pin de recepción (pin 4) o DATA IN, mientras que el pin 10 y 11 son VCC y GND

respectivamente como se puede observar en la Tabla. 3.2 y siguiendo el orden de pines que se presenta en la Figura. 3.13. Además se deben utilizar los pines 7 y 8 para observar, a través de leds, que el proceso de transmisión y de recepción se cumple satisfactoriamente.

La adaptación del otro radio modem, en el módulo de acople, al puerto serial del computador portátil se realiza utilizando el MAX232, el cual cambia los niveles TTL a los del estándar RS-232 cuando se hace una transmisión, y cambian los niveles RS-232 a TTL cuando se tiene una recepción. El circuito típico se muestra en la Figura. 3.14.

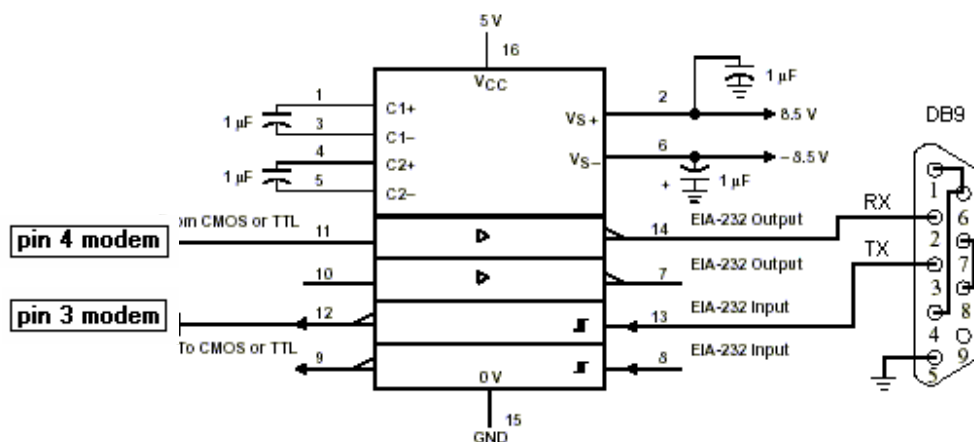


Figura. 3.14. Circuito Básico MAX232

De esta manera, el pin 4 de uno de los modems (recuérdese que el 24XStream™ OEM RF Module son dispositivos bidireccionales, por lo que, cualquiera de ellos podría ir, o en la computadora portátil o en el prototipo) se conectará al pin 11 (TRANSMISIÓN) del MAX232 y el pin 3 del mismo modem se conectará al pin 12 (RECEPCIÓN) del MAX232. Por último el DB9 hembra será acoplado de la manera como se indica en la Figura. 3.14. y conectado al DB9 macho de la computadora portátil para finalizar la línea de comunicación.

Así, en el momento en que el operador presiona una tecla, el MAX232 recepta la información en código ASCII del Puerto Serial y el modem transmite esta información, vía radiofrecuencia, hasta el otro modem ubicado en el robot. El radio modem de la unidad móvil tiene el pin 3 conectado al pin de recepción del

microcontrolador (pin 26) y el pin 4 del radio modem al pin de transmisión del microcontrolador (pin 25).

La Figura. 3.15. muestra gráficamente lo explicado anteriormente.

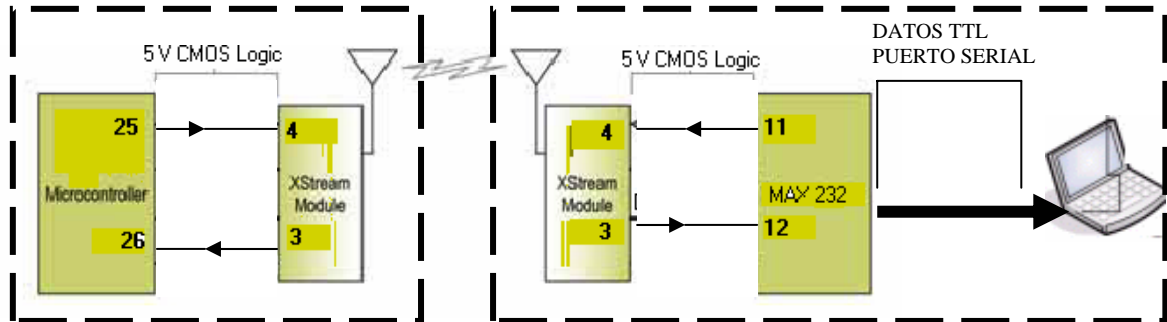


Figura. 3.15. Funcionamiento del 24XStream™ OEM RF Module

3.5 DIGITALIZACIÓN DE IMÁGENES

La digitalización de imágenes o visión del prototipo se realiza mediante las cámaras de video y una capturadora la cual se encarga de transformar la señal de video a señal digital para que se pueda almacenar en el computador.

La capturadora de video es conectada a través del puerto USB de la computadora portátil en donde se trabajará. La Figura. 3.16 muestra un esquema de la comunicación entre la cámara del robot y la capturadora de video instalada en la computadora.



Unidad móvil del prototipo MEEV

Figura. 3.16. Comunicación entre la cámara y su capturadora de video

“La imagen que se capture en la pantalla puede ser mejorada gracias a los avances en electrónica y video que permite capturar la imagen en un alto rango

del espectro lumínico, rayos X. Infrarrojos, o con amplificadores que permiten tomar imágenes con mínima cantidad de luz”¹.

Debido al costo que implica implementar cualquiera de estas soluciones, el prototipo tendrá un sistema de iluminación económico (con leds infrarrojos) que ayude a la captación de imágenes en el interior de las tuberías.

¹ Ing. BALICH, Néstor Adrián, **Aspectos Básicos de Robots Autónomos y Lineamientos para la construcción de un equipo de Fútbol Robótico**, Mayo 2004, pag 4

CAPÍTULO IV

SOFTWARE DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Este capítulo hace referencia al software de supervisión y control, el cual permitirá el correcto funcionamiento del prototipo MEEV. El crear un programa que ejecute todas las instrucciones del operador en forma secuencial y lógica es quizá el aspecto más interesante del proyecto.

Es importante que la comunicación entre el hombre y la máquina sea sencilla, fácil de usar y con la información suficiente, de forma que el operador sepa, en todo momento, en que condiciones se encuentra el prototipo cuando ingresa dentro de las tuberías. Una vez que se encuentra en ellas, la unidad móvil de MEEV debe responder únicamente a las instrucciones enviadas, de lo contrario, podría llegar a ser un obstáculo más.

El cumplimiento de las actividades, dentro del funcionamiento del prototipo, serán gobernadas por el microcontrolador PIC 16F877A, el mismo que sigue una lógica de programación estructurada en base a los requerimientos que debe satisfacer.

Para la comprensión de cada una de las funciones y sus respectivas llamadas a sub funciones o subrutinas, se presenta la Tabla. 4.1, en donde se especifican los pines a utilizarse y la función que cada uno cumple.

Tabla. 4.1 Designación de los pines del microcontrolador 16F877A

NOMBRE		DESIGNACIÓN DE VARIABLE	ASIGNACIÓN
NÚMERO DE PIN	PIN		
2	PA.0	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 2) para el motor DC de las llantas.
3	PA.1	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 7) para el motor DC de las llantas.
4	PA.2	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 10) para el motor DC de las llantas.
5	PA.3	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 15) para el motor DC de las llantas.
33	PB.0	ENTRADA	Conexión de la salida del optoacoplador EE-SX493
34	PB.1	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 2) para el motor AC de la base de la cámara.
35	PB.2	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 7) para el motor AC de la base de la cámara.
36	PB.3	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 10) para el motor AC de la base de la cámara.
37	PB.4	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 15) para el motor AC de la base de la cámara.
38	PB.5	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 2) para el motor DC del movimiento horizontal de la cámara.
39	PB.6	SALIDA	Conexión con el driver L293 (pin 7) para el motor DC del movimiento horizontal de la cámara.

4.2 SOFTWARE DE CONTROL

El programa ha sido desarrollado en forma modular, es decir en base a un programa principal y a la utilización de subrutinas para las diferentes actividades que el prototipo ejecuta.

El software está conformado por las siguientes partes principales:

- Inicio
- Función principal
- Subrutinas de Acción

4.2.1 Inicio

En esta etapa del programa se procede a configurar la velocidad con que se trabajará para la comunicación serial, el tipo de interrupción, sea esta interna o

externa, la configuración de los puertos del microcontrolador como entrada y salidas, (obsérvese en la Tabla. 4.1), variables de control y la llamada a las diferentes subrutinas, las cuales son las encargadas de efectuar las órdenes ejercidas por el operador. Esta secuencia se observa en el flujograma de la Figura. 4.1

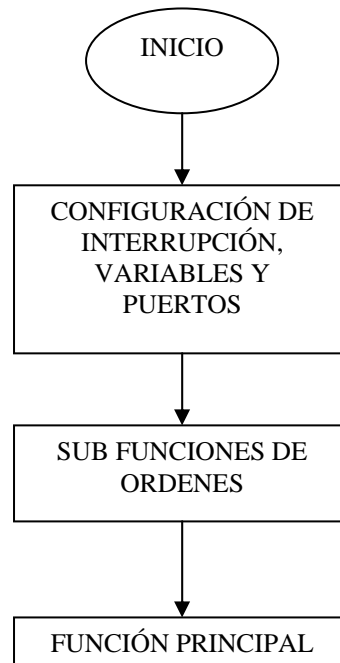


Figura. 4.1. Inicio

4.2.2 Función Principal

La función principal es el lazo que se encuentra dentro de un ciclo infinito para operar en todo momento, desde el instante en que se enciende, convirtiendo al prototipo en un sistema completamente autónomo.

Dentro de este lazo se cumple la función de maestro – esclavo, es decir que durante la ejecución de la función principal se encuentra un lazo encargado de detectar el código ASCII que envía el primer modem **24XStream™ OEM RF Module**, ubicado en la computadora portátil, al segundo modem, con iguales características, que se encuentra conectado al microcontrolador.

El PIC almacena este código ASCII en una variable de tipo carácter, representado en el flujograma de la Figura. 4.2 como INGRESO DE CÓDIGO

ASCII. A continuación se procede a comparar la variable almacenada con cada una de las opciones (ya sea 'a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'm', 'n', 'x' o 'z') y cuando la comparación da como resultado "verdadero", el programa llamará a la subrutina correspondiente para ejecutar la orden, si ese fuese el caso, o simplemente enviará, por los puertos de salida, el código en hexadecimal (binario o decimal, dependiendo del lenguaje ensamblador) para la activación de los motores de las llantas que realizan los movimientos de adelante, atrás, derecha, izquierda y alto, tal como se observa en la Tabla. 4.2.

Tabla. 4.2 Definición de los códigos y actuadores

CÓDIGO ASCII	ACTUADOR	CÓDIGO HEXADECIMAL
'a'	Instrucción encargada de accionar los motores dc de las llantas a la izquierda	0X05
'b'	Instrucción encargada de accionar los motores dc de las llantas hacia delante	0X06
'c'	Instrucción encargada de accionar los motores dc de las llantas hacia atrás	0X09
'd'	Instrucción encargada de accionar los motores dc de las llantas a la derecha	0X0A
'e'	Instrucción encargada de parar completamente todos los motores	0X04
'm'	Instrucción encargada de mover el motor a pasos de la base de la cámara hacia la izquierda	
'n'	Instrucción encargada de mover el motor a pasos de la base de la cámara hacia la derecha	
'x'	Instrucción encargada de mover el motor a dc del lente de la cámara para que apunte hacia abajo	
'z'	Instrucción encargada de mover el motor a dc del lente de la cámara para que apunte hacia arriba	

En base a la Tabla. anterior y tomando en cuenta que el puerto de salida que actúa en cada caso es el PORTA, como también se lo analizó en la Tabla. 4.1, se procede a indicar el flujograma de control correspondiente a la función principal.

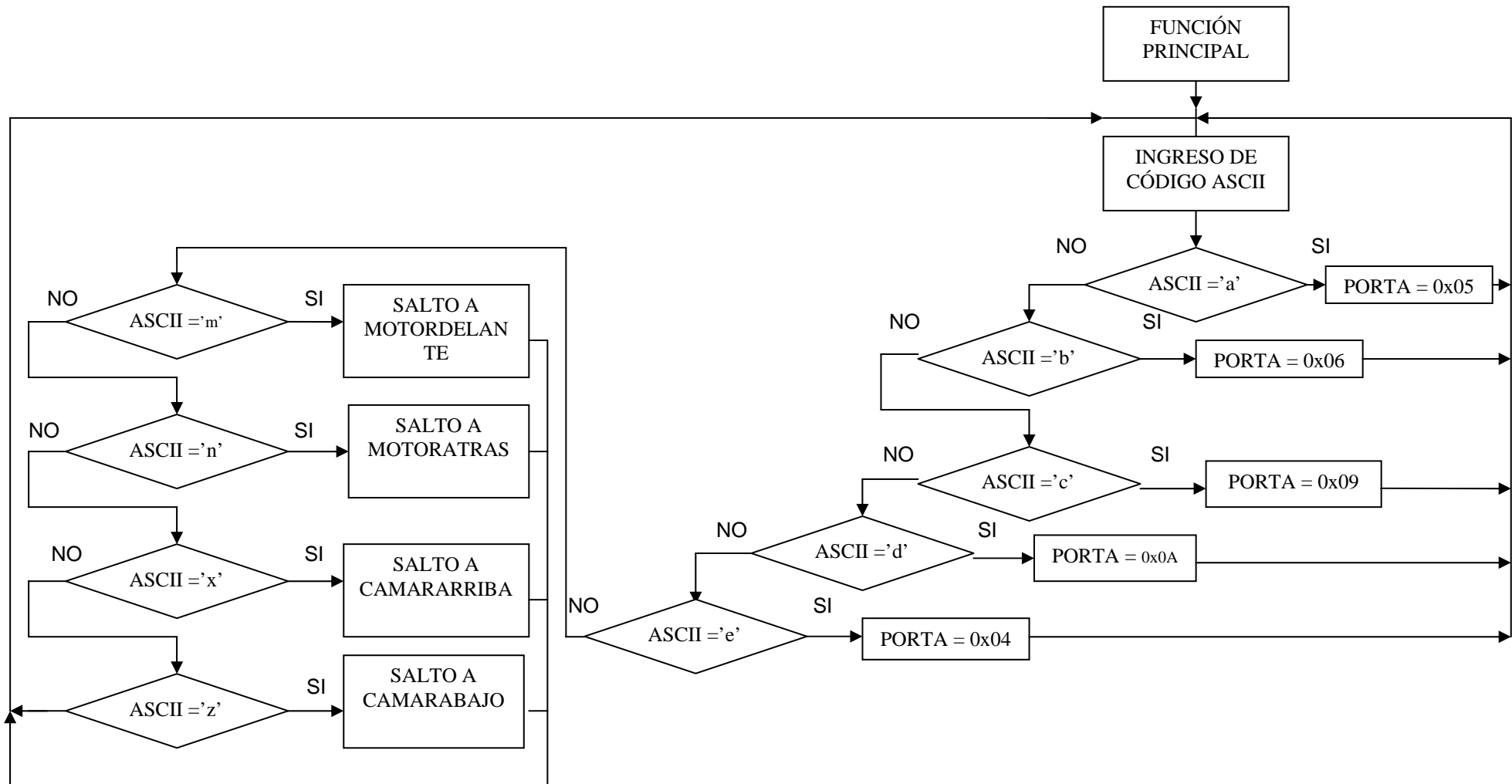


Figura 4.2. Función principal

4.2.3 Sub Funciones

Las sub funciones son rutinas que se encuentran localizados en posiciones estratégicas y que son llamadas en un momento dado durante la ejecución del programa. Esto proporciona al programador mayor orden, lógica y estética en la función principal.

Para este caso, el microcontrolador está programado de tal manera que las sub funciones son llamadas cuando se detecten, por medio serial, el código ASCII 'm', 'n', 'z', 'x'; esto es porque cada una de estas instrucciones implican una serie de algoritmos que es preferible trabajarlos por separado.

A continuación se presentará el flujograma de control de cada una de las sub funciones observadas en la Figura. 4.2.

4.2.3.1 Sub función MOTORDELANTE

Esta sub función es llamada para ejecutar la orden de “mover el PAM hacia la derecha” por lo que envía la secuencia adecuada para que el motor a pasos gire delicada y secuencialmente. Recuérdese que el PAM pertenece a la plataforma que controla la base de la cámara y gira 360° horizontalmente para facilitar el retorno de la unidad móvil de MEEV a la entrada de la tubería, como se explicó en el CAPÍTULO II.

Los motores a pasos poseen un alto torque en bajas revoluciones, realizando pequeños movimientos con gran exactitud, lo que permite controlar el STOP cuando el operador desea parar la cámara en una posición deseada.

Como se explicó en el CAPÍTULO II en el tema de Actuadores, el programador es la persona encargada de determinar el tipo de secuencia que se desea aplicar al motor a pasos. Por ser el movimiento de la PAM o base de la cámara un giro lento y firme, se utilizará aquél que de mayor torque de paso y retención y que, para este caso específico, es la **secuencia normal**, cuyo orden para la activación de las bobinas también se encuentra especificados en el CAPÍTULO II en

Actuadores y que en el flujograma de la Figura. 4.3. se está representado por cada uno de los valores hexadecimales programados en el puerto de salida PORTB con la correspondiente espera entre cada secuencia de activación.

Después de realizar diversas pruebas se concluyó con una frecuencia de pulso a un tiempo de 1500 ms entre cada secuencia. Este valor puede variar dependiendo del tipo de motor a pasos a utilizar y el peso que lleve sobre su eje. Lo explicado se observa en el flujograma de la Figura. 4.3 expuesta a continuación.

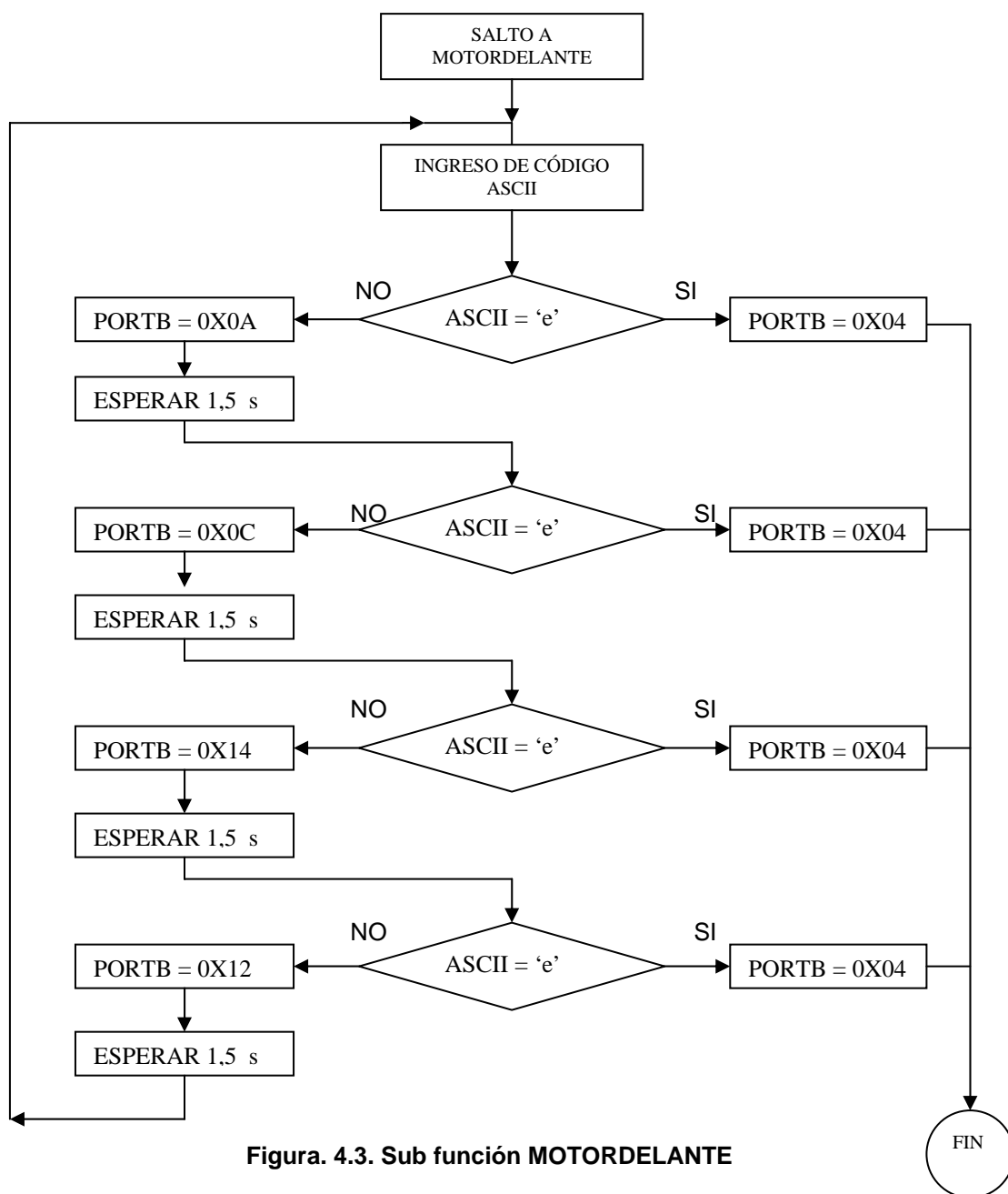


Figura. 4.3. Sub función MOTORDELANTE

En el flujograma anterior se observa que las activaciones de la secuencia normal se ejecutan si el código ASCII no corresponde a la letra 'e' (la cual da la orden de parar cualquiera de los actuadores, como se vio en la Tabla. 4.2.); esto es debido a que el programado tiene la opción de activar el STOP para detener el PAM en un sitio especificado. Si el programador no presiona esta tecla, mientras se está ejecutando esta sub función, el programa continúa la secuencia del motor a pasos en forma infinita.

4.2.3.2 Sub función MOTORATRAS

La sub función MOTORATRAS es llamada cuando el microprocesador detecta el código ASCII 'n' en cualquier momento desde su encendido, ya que como se observó en el flujograma de la Función Principal, todo el programa se encuentra dentro de un ciclo infinito en espera de la detección de un código ASCII vía serial.

Para activar el motor a pasos en sentido horario o "mover el PAM hacia la izquierda", se procede a realizar la misma secuencia que la sub función motordelante pero en sentido inverso.

Cuando el microcontrolador detecta el código ASCII 'e', el puerto B envía la orden 0x04 hexadecimal que en binario es el registro '00000100', dando la orden de que sólo la bobina C esté activada, esto es para que la base permanezca completamente firme ya que, en el momento en que no se alimenta ninguna de las bobinas, el motor a pasos queda completamente libre y su eje no presenta ningún tipo de presión llegando a provocar el movimiento involuntario de la cámara.

La Figura. 4.4.muestra la sub función MOTORATRAS explicada anteriormente.

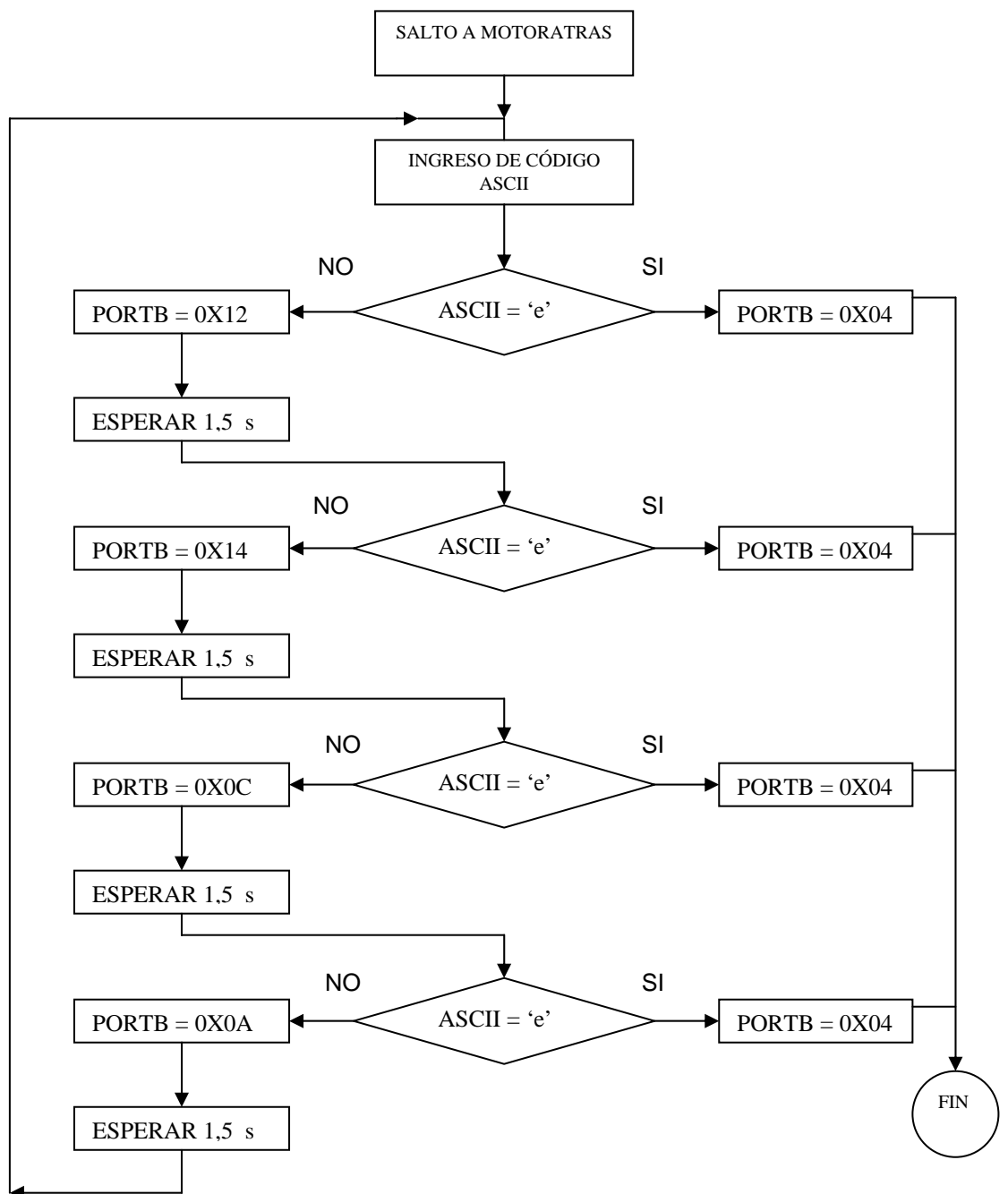


Figura. 4.4. Sub función MOTORATRAS

4.2.3.3 Sub función CAMARARRIBA

Esta sub función es llamada en el momento en que se quiere elevar la cámara, o TILT, para una mejor visión. Por ser la base del lente la parte más fina, delicada y complicada de elaborar, se optó por trabajar con un motor DC pequeño sujeta a un tornillo sin fin para evitar provocar peso y colapsar el diseño.

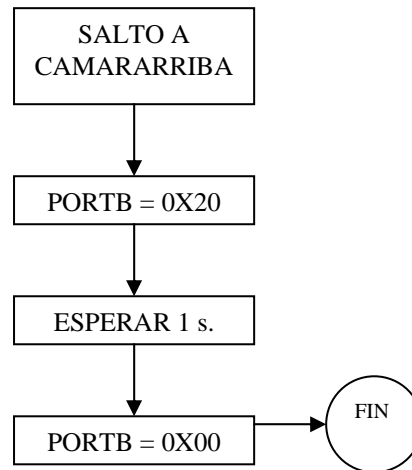


Figura. 4.5. Sub función CAMARARRIBA

En este lazo de programa CAMARARRIBA es llamada sólo cuando se detecta el código ASCII 'x' dando un pulso de voltaje al motor DC que dura solamente 1 segundo de tiempo y es ejecutado una sola vez, esto es programado para evitar un movimiento tosco de principio a fin durante los 80° que circunda el lente de la cámara en sentido vertical, teniendo un movimiento mucho más delicado.

4.2.3.4 Sub función CAMARABAJO

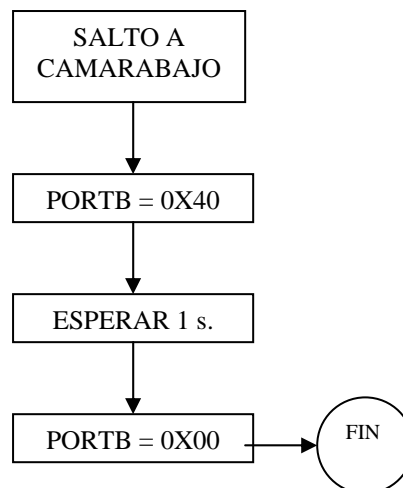


Figura. 4.6. Sub función CAMARABAJO

La sub función CAMARABAJO es exactamente igual que la sub función CAMARARRIBA ya que se cumple con la misma lógica pero enviando el voltaje al motor DC en sentido contrario.

4.2.3.5 Sub función #INT_EXT¹

El microcontrolador saltará inmediatamente a esta sub función cada vez que se activa la interrupción externa (pin 33) con un cambio de pulso de alto a bajo. El salto se realiza desde cualquier lugar que el programa se encuentre y después de efectuar la orden dentro de la sub función #INT_EXT, la secuencia continuará desde donde se quedó. Esta es una característica especial de la interrupción externa del PIC 16F87X y debido a esta característica se decidió utilizarla para calcular la distancia recorrida en unidades de metros.

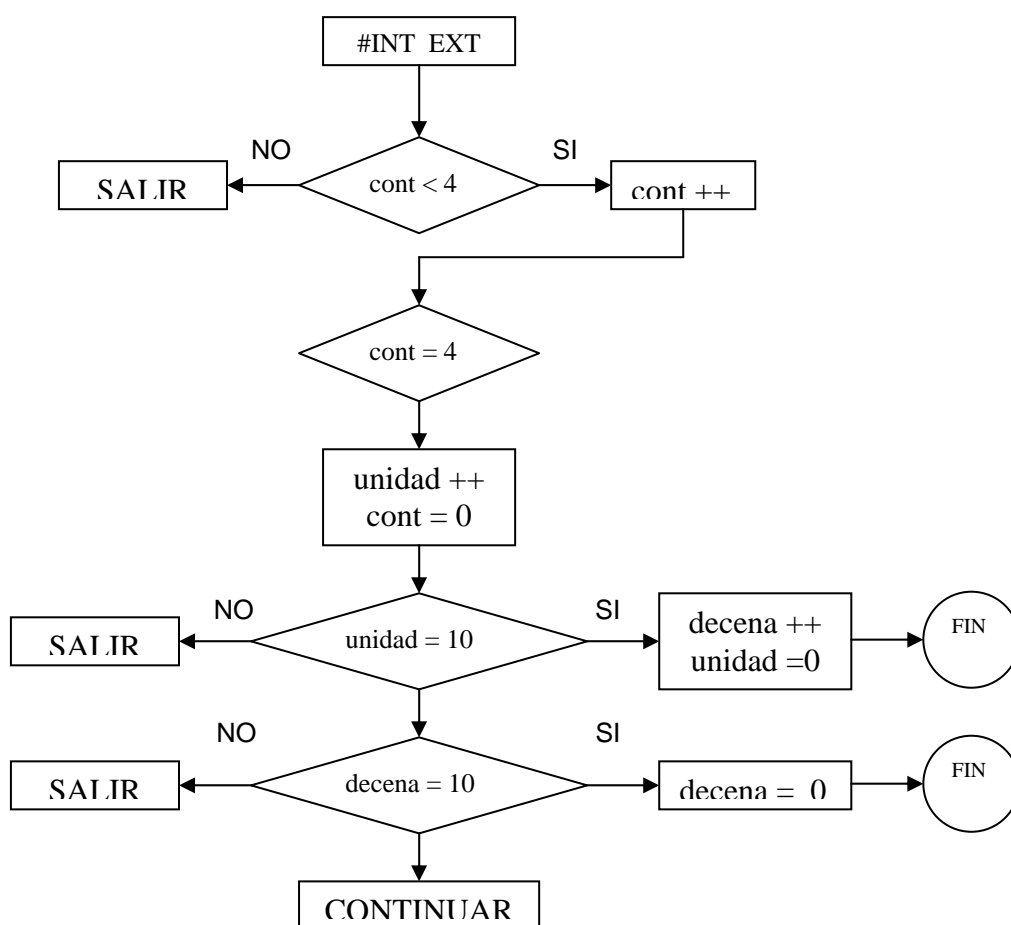


Figura. 4.7. Sub función #INT_EXT

Para poder obtener la distancia en metros es necesario almacenar este dato en variables llamadas decena y unidad, esto es con el fin de mostrar el dato de

¹ Nombre original con la que se llama a la función activada por la interrupción externa en el compilador PIC_C.

distancia en la pantalla o en displays (en el caso de que no se cuente con modems bidireccionales).

En el CAPÍTULO III en el tema de Sistema de Adquisición de Datos, se explicó el funcionamiento del photomicrosensor EE – SX493 cuya salida se conecta en la interrupción externa del microcontrolador (pin 33), la cual se activará en alto cada vez que es detectado el orificio de la rueda metálica.

En ese momento, desde cualquier punto que se encuentra el programa, saltará a la función #INT_EXT y ejecutará las instrucciones que observamos en el flujograma de la Figura. 4.7, como se explicó anteriormente, en donde la variable cont tomará esto como referencia y una vez que cuente hasta 4 incrementará la variable unidad, la cual esperará hasta llegar a 10 para incrementar la variable decena.

Las tres variables son enceradas estratégicamente para evitar desbordamiento y error.

4.3 SOFTWARE HMI DE SUPERVISIÓN

El software HMI de supervisión se encuentra realizado en Visual Basic. Este Software posee características que permiten la comunicación por vía serial y el reconocimiento de los códigos ASCII, condiciones suficientes para elaborar una fácil comunicación entre el operador y el robot del prototipo MEEV

Además la capturadora de video **TV-BOX USB2.0** contiene un instalador que despliega una atractiva ventana por donde se visualiza las imágenes captadas por la cámara. Combinando esta ventana con la creada por Visual Basic proveen las herramientas necesarias para operar al prototipo.

En el programa creado por Visual Basic se consideró las letras y las órdenes que se debían ejecutar al detectar el código ASCII de cada una de ellas que se mostraron en la Tabla. 4.2. Como resultado se obtuvo el siguiente cuadro de la Figura. 4.8.

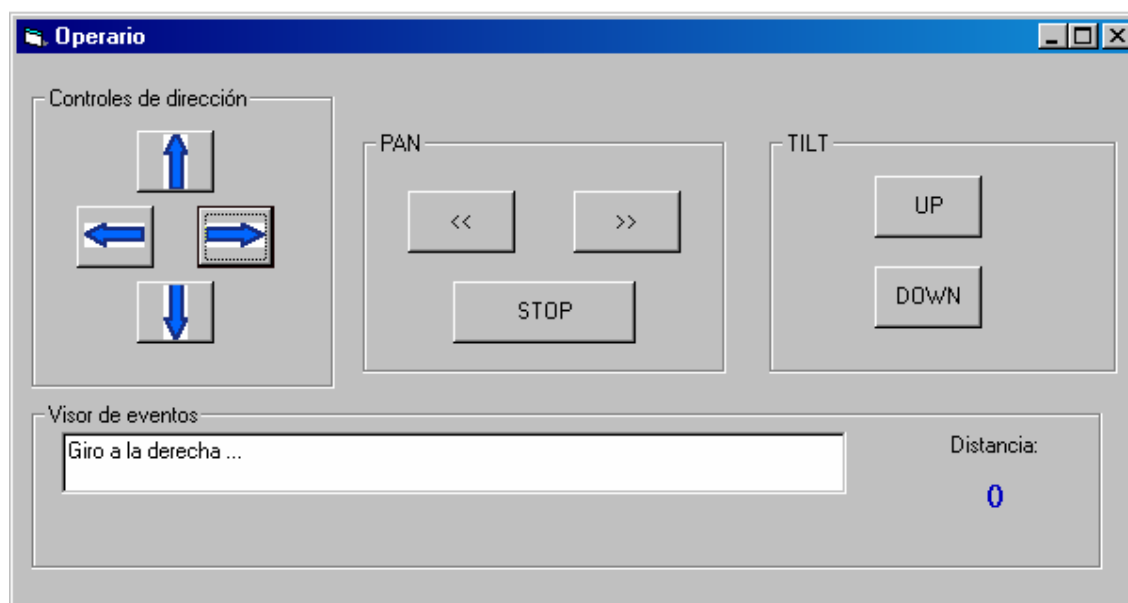


Figura. 4.8. Ventana para control del prototipo

El operador podrá dirigir al robot presionando una sola vez cada uno de los botones que se despliegan, mientras que en el visor de eventos se observarán las acciones que el prototipo está realizando. EL microcontrolador se encuentra programado de tal manera que se puedan realizar dos y tres acciones a la vez, es decir que el prototipo puede estar avanzando, mostrando la distancia recorrida y ordenarle que su cámara gire. Estas acciones la realizará sin problema y sin detenerse al menos que el operario le ordene presionando el botón de STOP.

El programa de Visual Basic se realizó tomando en cuenta que en el momento en que se ejecuta se abre el puerto de comunicación donde se conecta el primer modems e inmediatamente establece las características de velocidad de baudio, frecuencia, paridad, bit de error y bit de parada, inicializando la comunicación que se detalló en el Capítulo III.

La ventana que ofrece el **TV-BOX USB2.0** y que se encuentra lista de usar después de instalar el software es la siguiente mostrada en la Figura. 4.9.



Figura. 4.9. Ventana del software TV-BOX USB2.0

Aprovechando esta presentación se anexó el HMI presentado en la Figura. 4.8 para que el operador cuente con un software completo. Esta presentación final se observa en la Figura. 4.10.



Figura. 4.10. Software HMI de supervisión

Finalmente el operador podrá dirigir al prototipo dentro de las tuberías visualizando en la pantalla lo que hay en su interior y conociendo la localización de cualquier obstáculo, objetivo principal de este proyecto.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN

El prototipo MEEV está conformado en tres grandes grupos tal como se observa en la Figura. 5.1. La unidad móvil, el módulo de acople y la aplicación del software o HMI en la computadora portátil. La implementación de cada uno de estos bloques se encuentra detallados a continuación.

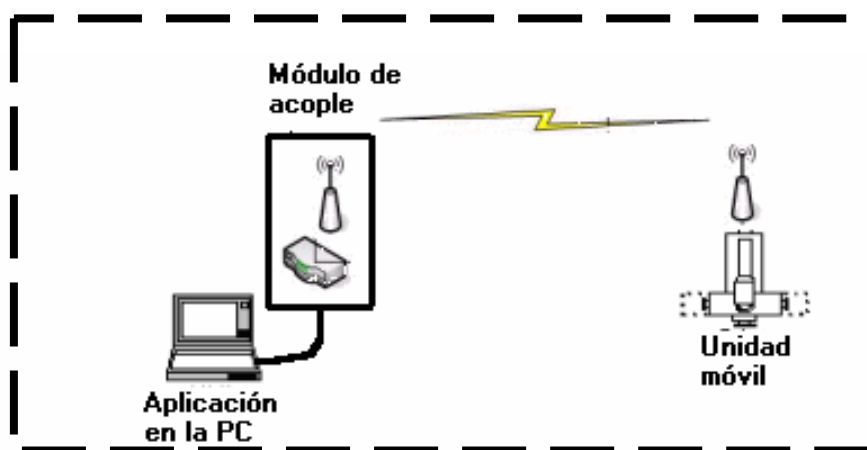


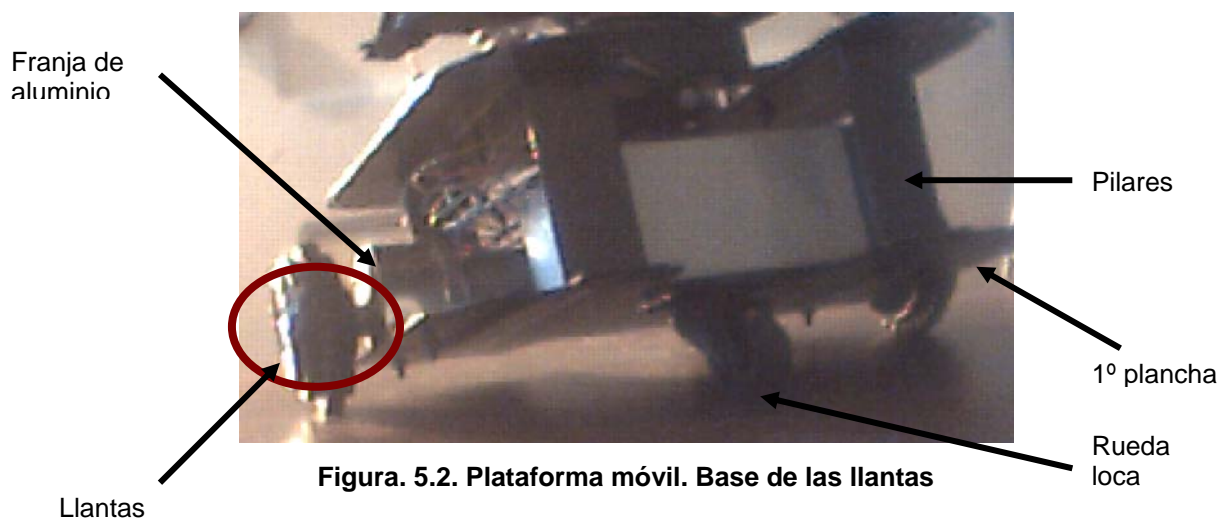
Figura. 5.1. Prototipo MEEV

5.1 UNIDAD MÓVIL

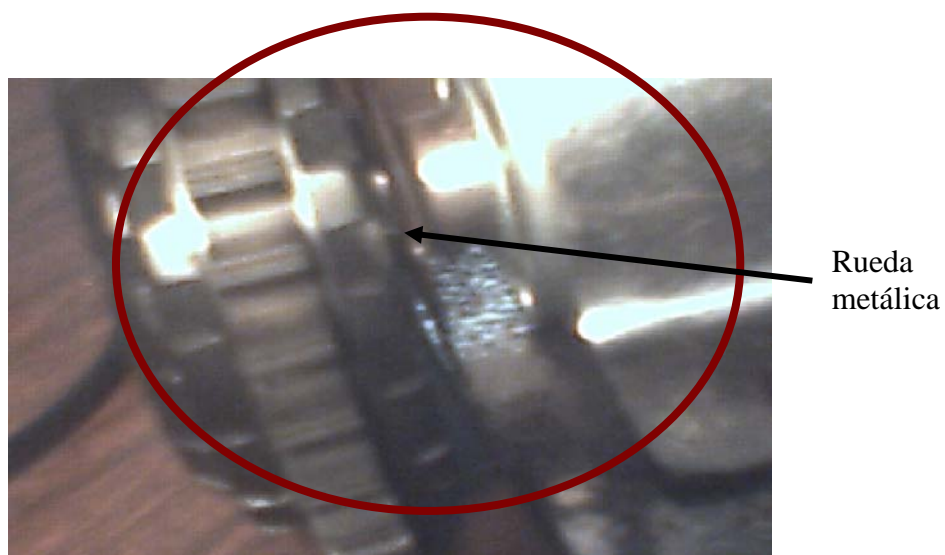
La plataforma del prototipo es resistente, desmontable y tiene facilidad de acceso a los elementos internos como baterías, tarjetas de control, motores, sensores, etc. Construida de acero inoxidable, la unidad móvil ofrece una garantía absoluta en resistencia y su diseño es sencillo.

La fabricación de la unidad móvil se la realizó en tres grandes piezas separables. La primera es la base de la plataforma móvil en donde se colocaron las dos llantas que se encuentran sujetas por los ejes de sus respectivos motores,

y la “rueda loca” ubicada en el centro y a 13 cm de distancia de la parte trasera. Los motores de las llantas se encuentran adheridos a la base por medio de franjas de placas de aluminio y sujetos con tuercas para hacer fácil su extracción y cambio de los mismos. Esto se puede ver con detalle en la Figura. 5.2.



En la llanta izquierda de la unidad móvil se instaló una rueda metálica sujeta al eje del motor y que tiene un orificio de 3mm X 4mm para que el opto acoplador detecte el paso de la luz y permita al microcontrolador calcular la distancia recorrida. En la Figura. 5.3. se observa el acercamiento de la Figura. 5.2. anteriormente analizada.



En la Figura. 5.2. se puede también observar, que en la base de las llantas se sujetan cuatro pilares de 3cm X 7cm, uno en cada extremo, para fijar la segunda

plancha y de esta forma albergar también a la batería **IBT INNOVATIVE BATTERY TECHNOLOGY** recargable de 12 V y al circuito de control.

La segunda pieza desmontable es una plancha que se sujeta a los pilares por medio de tuercas. El motor a pasos encaja perfectamente en la base que resalta en su centro y que, de igual manera, es sujeta por tuercas dejando al eje completamente descubierto.

Para el giro horizontal se crearon dos placas circulares de 7 pistas que fueron mencionadas en el Capítulo II en Grados de Libertad y cuya implementación física se observa en la Figura. 5.4.

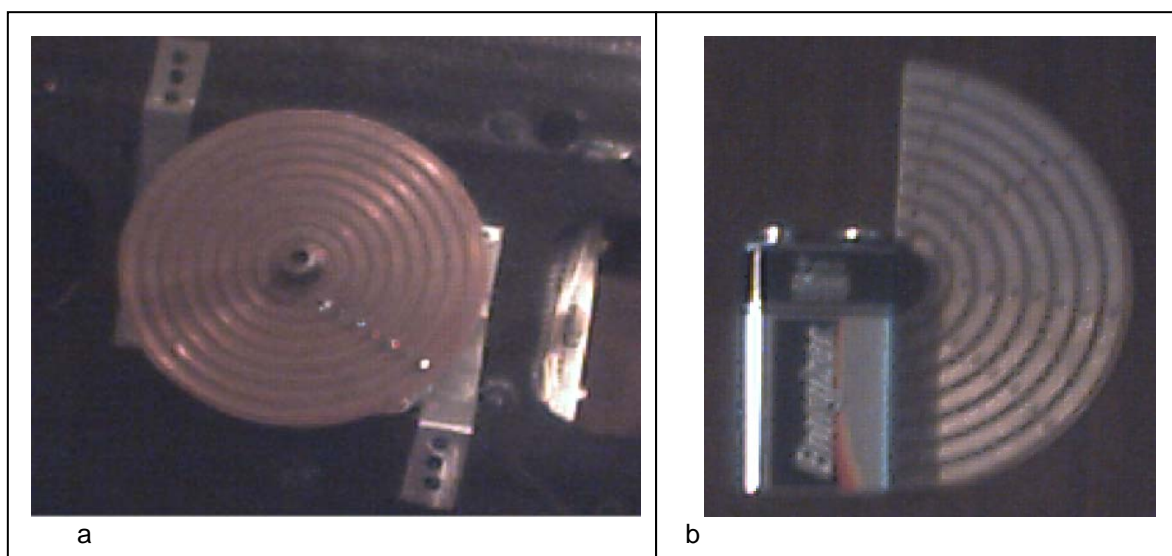


Figura. 5.4. Placas de 7 pistas a. Ubicada en el eje del motor a pasos b. Para la base de la cámara

Sobre el eje se ajustó la placa circular fija con los 7 caminos de cobre. La segunda placa, con los contactos de cobre, gira junto con la cámara y se observa en la Figura. 5.5. en donde se percibe un soporte, en forma de tuerca, que sirve para ajustar el eje del motor a pasos y mantienen el equilibrio de la base de la cámara conformando la tercera y última pieza desmontable.

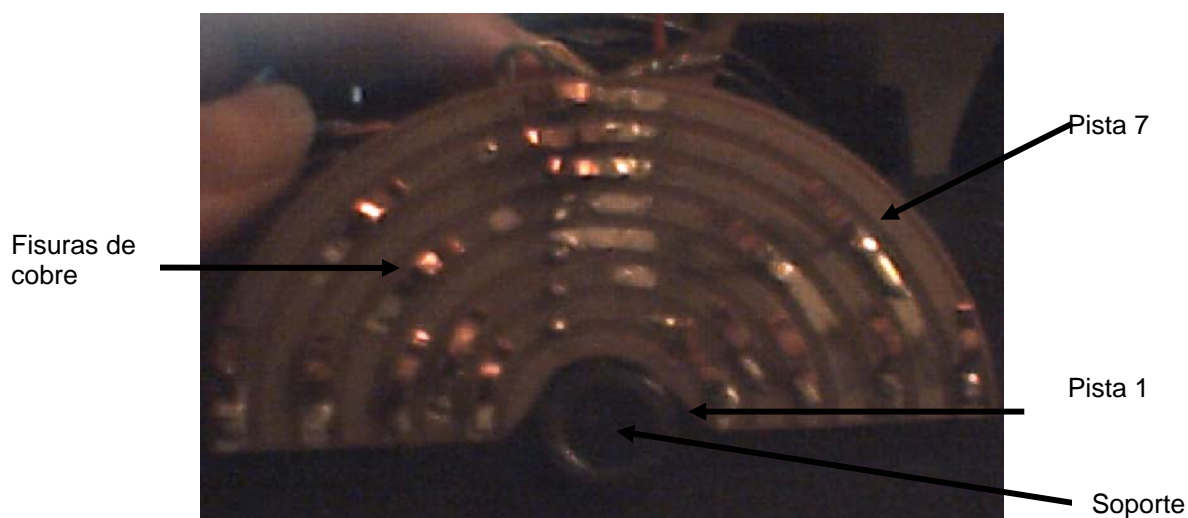


Figura. 5.5. Placa de la base de la cámara con 7 pistas y sus contactos de cobre

De esta forma la cámara tiene libertad de girar 360° sin necesidad de preocuparse de conexiones con cables.

Cada una de las 7 pistas están conectadas a 7 diferentes cables que a su vez se encuentran soldados al circuito impreso de acuerdo a su función como se explicó en el Capítulo II en Diseño de la Plataforma Móvil.

La integración de estas dos placas circulares junto con sus contactos de cobre puede ser vista en la Figura. 5.6.

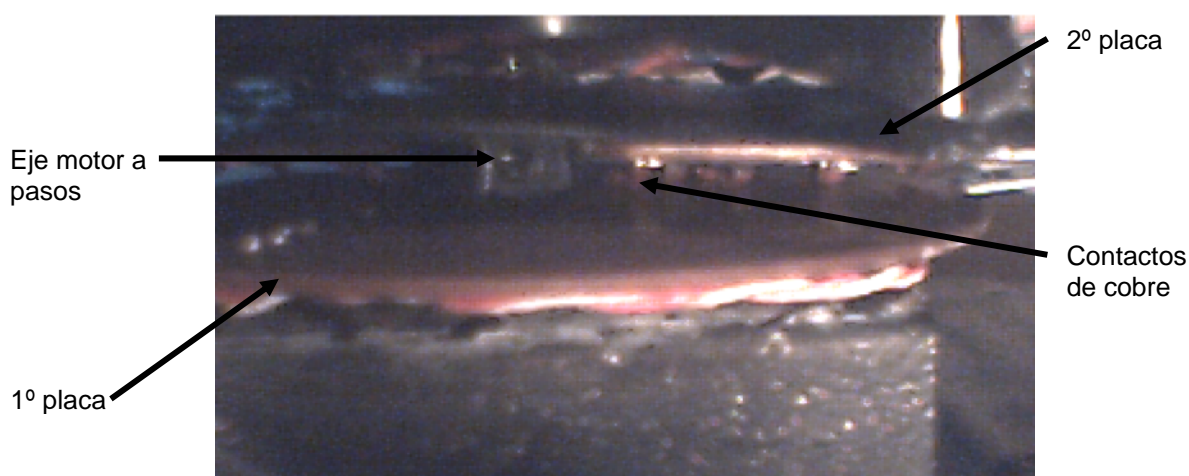


Figura. 5.6. Unión de las dos placas de 7 pistas con contactos de cobre

La base de la cámara está diseñada de forma que el lente de la **XCAM2 CÁMARA COLOR RF EXTERIOR S130331**, que se observa en la Figura. 5.7.,

encaja perfectamente en la placa frontal y el receptor de la misma repose sobre una pequeña base como se observa en los planos expuestos en el Capítulo II.

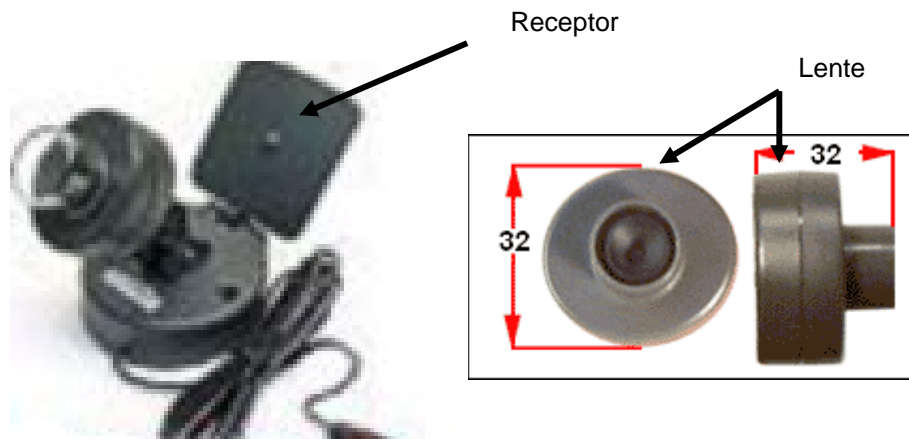


Figura. 5.7. XCAM2 CAMARA COLOR RF EXTERIOR S130331

El TILT o giro vertical de 80° es controlado por un motor DC con “tornillo sin fin” que maneja al sistema de palancas y que se encuentra sujeto, permanentemente, al extremo derecho de la estructura como se podrá observar en la Figura. 5.8.

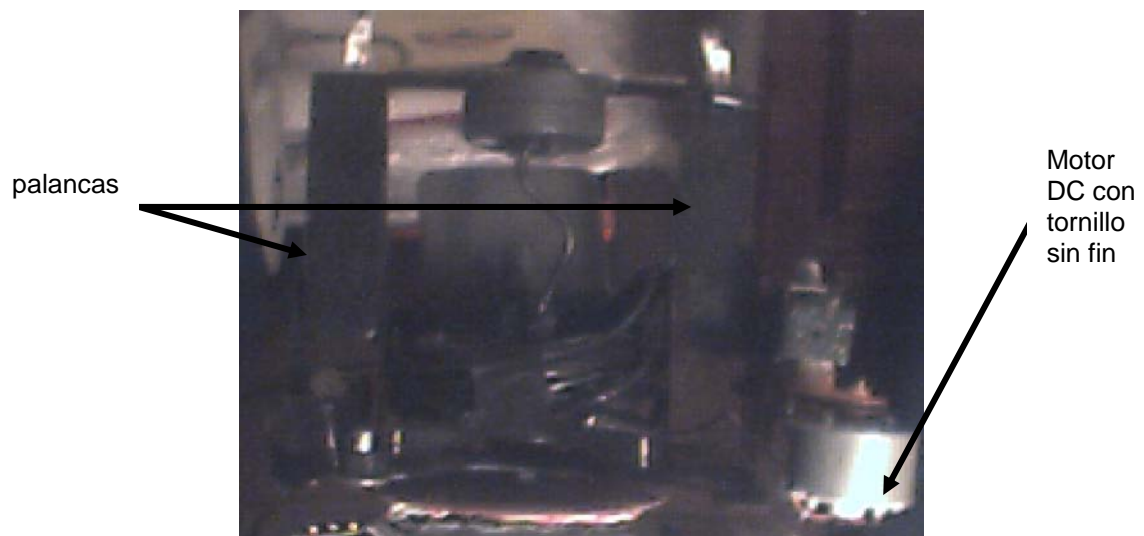


Figura. 5.8. Lente de cámara sujeta por dos sistemas de palanca y controlada por un motor DC con “tornillos sin fin”

El sistema de iluminación está conformado por dos leds infrarrojos situados a 5cm desde el centro del lente cada uno, se buscó esta solución por el bajo costo y el ahorro de potencia y calor.

Las llantas que se encuentran a 7 cm de la “rueda loca” son controladas por dos motores DC y un excelente reductor formado por engranajes, están superpuestas en la plataforma inferior para reducir la dimensión de la plataforma móvil, además levanta la parte de adelante 6cm donde se encuentra la “rueda loca” como se puede observar en la Figura. 5.9. a continuación.

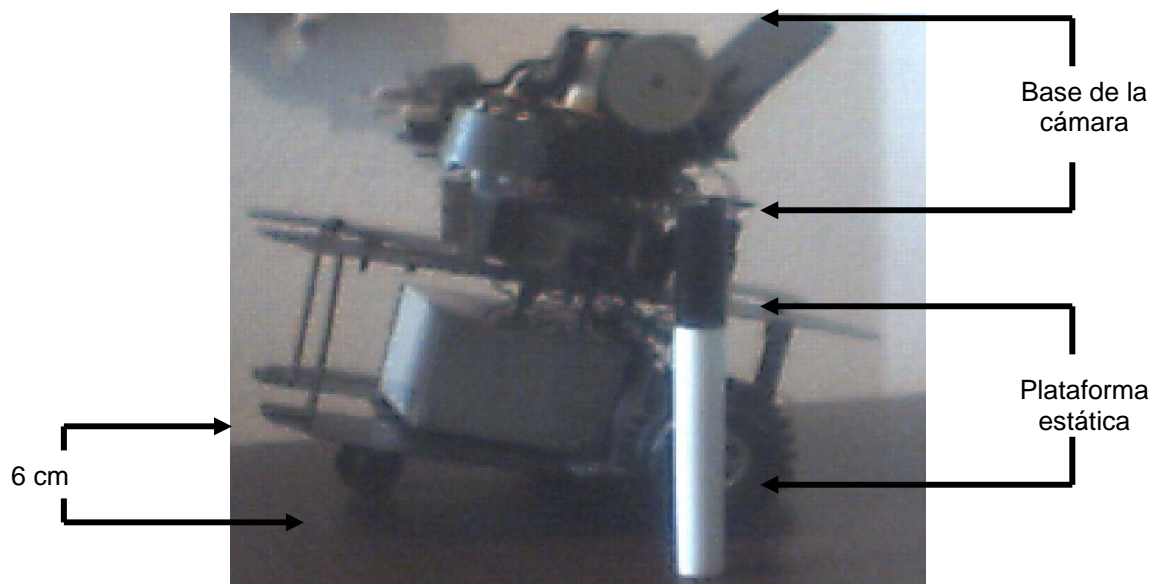


Figura. 5.9. Vista paralela de la unidad móvil.

Si se hubiese escogido la tracción de Configuración Ackerman que consta de 4 ruedas, al ingresarlos por las tuberías, la forma cóncava de las mismas hubiese hecho que la unidad móvil se eleve lo que no ocurre con esta configuración.

5.2 MÓDULO DE ACOPLE

Para la conexión del radio modem **XStream™ OEM RF Module** a la computadora portátil se implementó un circuito de acople que incluye al radio modem, el receptor de la cámara observada en la Figura. 5.10, el MAX232 y el terminal de conexión DB9 al puerto serial.

Para la alimentación de este módulo de acople se utilizó una batería recargable de 12 VDC. De esta fuente se obtiene la energía para el radio modem, el receptor de la cámara y el MAX232. Los cambios de nivel de tensión requeridos

se obtienen con los convertores **LM7805** y **LM7809**. Lo explicado se observa en la Figura. 5.11.



Figura. 5.10. Receptor de la cámara

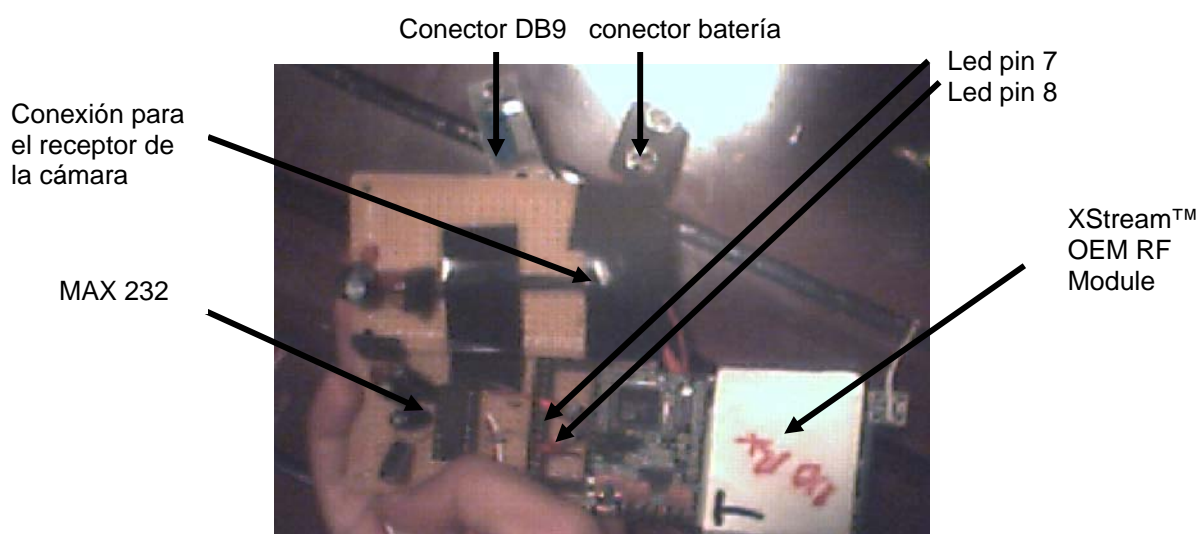


Figura. 511. Circuito de acople del XStream™ OEM RF Module

El titileo de los leds ubicados en los pines 7 y 8 del radio modem servirán para controlar el correcto proceso de comunicación de información; de igual manera, se colocaron leds en las mismas posiciones del radio modem de la Unidad móvil. La explicación de cómo ocurre la recepción y transmisión de datos está detallada en el Capítulo III en Sistema de Comunicación.

5.3 APLICACIÓN EN LA PC

La aplicación en la PC es el software HMI que el operador descarga en la computadora portátil y que integran, tanto a la pantalla que el **TV-BOX USB2.0** ofrece en su instalador como a la ventana elaborada en Visual Basic y programada para esta función.

La Figura. 5.12. muestra el resultado final de la integración de estas dos pantallas.



Figura. 5.12. Aplicación en la PC. Software de Supervisión

La capturadora de video **TV-BOX USB2.0** tiene un conector USB al cual se instala y se enciende, y es suficiente para que la computadora portátil muestre, a través de su software, las imágenes que son transmitidas por la cámara **XCAM2 CAMARA COLOR RF EXTERIOR S130331** y atrapadas por el receptor de la misma.

5.4 PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO

Antes de iniciar el control del prototipo para la localización de obstáculos en tuberías, el operador conectará el DB9 hembra al Puerto Serial de la computadora portátil y al puerto USB de la computadora portátil la capturadora de video. Instalará el software de la capturadora de video y el software del HMI creado en Visual Basic y se ubicará las dos pantallas como el ejemplo que se mostró la Figura. 5.12.

Una vez que se finalizan dichas instalaciones procederá a encender la unidad móvil. Inmediatamente se observará en la pantalla la imagen que transmite la cámara a cualquier distancia en que éste se encuentre y el sistema está listo para operar. El software de la capturadora de video ofrece opciones de grabado y de congelación de imágenes así como la regulación de intensidad de luz de la pantalla y la claridad de la misma, opciones que se estudiarán en el Capítulo VI.

Como se expuso en el Capítulo III en Sistema de Comunicación los modems tienen una modulación FSK por lo que no requieren una línea de vista, lo que no ocurre con la cámara que sí la necesita, es por ello que el operario debe elevar la computadora hasta lograr esta vista a la entrada de la tubería. La propia tubería se convierte en una guía de onda cilíndrica electromagnética obteniéndose una señal de información para traslados de mayor longitud (aproximadamente 30m).

Una vez que la unidad móvil ingresa en las tuberías este aceptará las instrucciones que el operador envíe al presionar con el ratón los botones que se despliegan en la ventana de Visual Basic. El giro hacia la derecha o hacia la izquierda se realiza en su propio eje ya que el programa envía la orden de que, mientras un motor avanza el otro retrocede. El momento en que se desea regresar, se ordena girar la cámara 180° para que apunte en sentido contrario y permita observar el camino de salida.

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 PRUEBAS Y RESULTADOS

Es fundamental someter al prototipo MEEV a diversas pruebas en diferentes ambientes para comprobar que se cumple con los objetivos planteados anteriormente; además es de suma importancia conocer las limitaciones que éste puede llegar a tener.

A través de las pruebas de tracción en diversas condiciones de suelo, ya sea liso o irregular, y el análisis de las imágenes captadas por el lente del robot móvil se obtendrá resultados fundamentales para futuras mejoras en el prototipo.

Cada uno de los cambios que se realicen al prototipo debe venir acompañado de un análisis en la capacidad de carga que el robot móvil teleoperado puede soportar, de tal manera que se evite el recalentamiento de cualquiera de sus motores, y como consecuencia el daño irreparable del sistema de control.

6.1.1 Capacidad de carga

La capacidad de carga máxima del robot depende de todos los motores que mueven a la unidad móvil. El peso de toda la estructura influye directamente en el torque de los motores DC y junto con ello la velocidad a la que el prototipo se moverá.

El voltaje nominal de los motores DC **micro motors RH158-24-30** es de 24V. Los motores fueron alimentados con la batería **IBM INNOVATIVE BATTERY**

TECHNOLOGY de 12VDC, 1AH puesto que la dimensión física de baterías de mayor capacidad aumenta, significativamente, la carga que la unidad móvil debe trasladar. Si bien, la velocidad de la unidad móvil puede incrementarse con un mayor voltaje, se debe tomar en cuenta que el límite es el voltaje nominal (24V).

La carga que la unidad móvil puede trasladar está determinada por la cantidad de corriente que se exige al motor. La corriente nominal de los motores DC **micro motors RH158-24-30** sin carga es menor a los 70 mA y al máximo torque es de 330mA.

De las pruebas realizadas se concluyó que la capacidad de carga máxima es de 4 libras para mantener una velocidad adecuada y el torque nominal. Si se incrementa este los motores DC exigirán mayor corriente para incrementar su torque disminuyendo su velocidad y el tiempo de duración de la batería. El mismo principio se utiliza con el motor a pasos que gira la base de la cámara.

Como resultado final se determina que el peso bruto de la unidad móvil es de 3 libras.

6.1.2 Caminata sobre superficie lisa

Las tuberías por donde se desplaza la unidad móvil están hechas a base de acero de carbón, hierro, cobre u hormigón, motivo por el cual su superficie presenta irregularidades. Estas irregularidades varían de acuerdo al material con el que están fabricadas, así, la tubería hecha de hierro es menos rugosa que una hecha en hormigón. Por este motivo, la tubería de hierro será considerada como tubería lisa para realizar la prueba de caminata sobre superficie lisa.

Se realizaron pruebas con presencia de agua en la tubería aunque se aclara que uno de los requerimientos de ese proyecto es el que las tuberías estén limpias.

El tipo de llantas y de los motores del robot que gobiernan y controlan a cada una de ellas es el punto fundamental que se debe tomar en cuenta para que la unidad se pueda trasladar sin ningún problema frente a cualquier tipo de terreno.

Las llantas traseras que se utilizaron para este proyecto, recuérdese que se empleó la configuración en triciclo en Sistema de Tracción en el Capítulo II, son de caucho conciso de 4cm de radio y con dientes del mismo material, por lo que ejerce un buen rozamiento con la superficie lisa

Se precisa de una velocidad baja por ser este un mecanismo que sirve para observar obstáculos además de cualquier anomalía dentro de tuberías, para ello se utilizó motores DC con sistema de engranaje.

En la Figura. 6.1 mostrada a continuación se observa una tubería de petróleo de 80 cm de diámetro, de superficie lisa donde la unidad móvil se desliza sin problema.

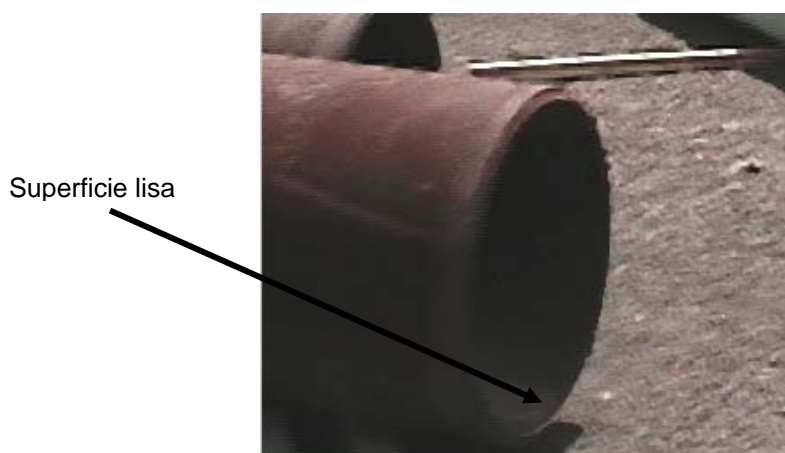


Figura. 6.1. Tubería de petróleo hecha en hierro

6.1.3 Caminata sobre terreno irregular

Se le llama suelo irregular al camino que presenta partículas de tierra y/o piedras pequeñas. Aunque este tipo de terreno no se encontrará dentro de las tuberías de petróleo, en las tuberías de hormigón existe esta probabilidad; por ello se realizan pruebas en terreno irregular para determinar el comportamiento del prototipo frente a este medio.



Figura. 6.2. Tuberías en pésimo estado con alto grado de irregularidad

La unidad móvil se desplaza sin dificultad cuando el camino que recorre presenta partículas de tierra pero en el caso de piedras pequeñas tiende a resbalarse, perdiendo velocidad en su recorrido. Ambos casos son observados al someter a la unidad móvil a una tubería en mal estado con presencia de corrosión, piedras pequeñas y tierra como se observa en la Figura. 6.2.

La solución a este problema es cambiar el tipo de tracción de la Configuración de Triciclo a la Configuración de Ackerman incluyendo un estudio mas detallado de las llantas en tamaño y material. Pero este cambio de configuración involucra problemas mayores como son el correcto diseño del eje, el posible control de 4 motores junto con el control de la potencia que esto implica y el espacio que se pierde al poner en contacto las ruedas de la plataforma con la estructura cóncava de las tuberías, aspectos que fueron analizados en el Capítulo V en Unidad Móvil.

6.1.4 Comportamiento del prototipo frente a diversos obstáculos

Los obstáculos con los que se puede encontrar el prototipo son aquellos para los cuales fue diseñado. Está claro que el objetivo principal es permitir la visualización interna en las tuberías de petróleo que se encuentran paradas por algún tiempo después de la etapa de limpieza y se quiere observar los posibles obstáculos que se encuentran ahí antes de dejar correr el fluido. Estos obstáculos pueden ser cascos de protección, guantes, e incluso material formado por la corrosión y el óxido.

Una vez que el prototipo ingresa en la tubería y se establece la comunicación entre el operador y el robot, la función que MEEV realiza y la utilidad que éste ofrezca depende de las necesidades que se presenten en ese momento. Por ser un robot teleoperado, las actividades que llegue a realizar pueden variar desde una visualización general interna de la tubería hasta el análisis del estado de la misma.

En el momento de visualizar un obstáculo y conocer la ubicación del mismo, el operador estará en la facultad de determinar qué hacer con él, extraerlo o dejarlo por ser un elemento que no altera la composición química del producto.

El prototipo tiene la capacidad de captar imágenes de anomalías en el interior de las tuberías aunque el medio debe estar limpio de cualquier gas.

6.1.5 Pruebas de obtención de imágenes y transmisión.

A continuación se presentarán los diversos resultados que se obtuvieron en las pruebas previas a la entrega final del prototipo.

En Pifo se encuentra un espacio amplio en donde se depositan varias tuberías de petróleo que están fuera de servicio. La longitud de estas tuberías sobrepasan los 12 m y tienen un diámetro de 80cm, además se cuenta en un amplio terreno, lo que permite estimar el radio de trabajo al aire libre en que el operador se puede desplazar. En la Figura. 6.3. se pueden ver los dos tipos de tuberías, las tuberías rectas y las tuberías curvas.

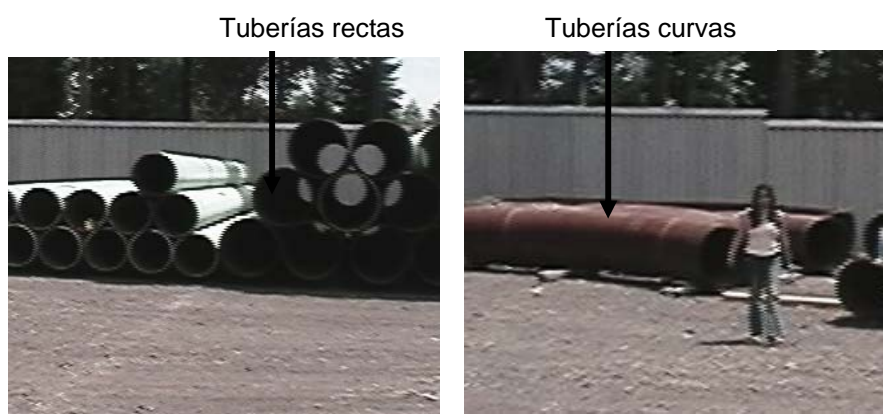


Figura. 6.3. Tuberías de petróleo localizadas en Pifo

Las primeras pruebas realizadas en este lugar dieron resultados óptimos pero se presentaron problemas con la velocidad en el ascenso y descenso del lente de la cámara, problema que fue resuelto por medio de programación. Otro problema que fue superado fue la transmisión de imagen.



Figura. 6.4. Distancia de 70m operador prototipo



Figura. 6.5. Acercamiento al operador

Como se explicó anteriormente, el alcance de los modems es de 150m sin obstáculos lo que permite una distancia de 70 a 90 m entre el operador y el prototipo; en Pifo el terreno sobrepasa los 150m² de área libre como se puede apreciar en la Figura. 6.4. y en la Figura. 6.5. facilitando la realización de pruebas para llegar a este estimado.

No obstante, en el Capítulo III en Sistema de Comunicación, se determinaron las características de transmisión de los modems y de la cámara concluyendo que ésta última se efectúa por **frecuencia modulada**, lo que implica que, para que se establezca la comunicación entre el receptor y el transmisor es necesario una línea de vista. Por este limitante, el operador se ubicó en un radio que permite esta línea a la entrada de la tubería. Después de establecida la conexión en uno de los ensayos se perdió la imagen. El módulo de acople está facultado de un receptor con antena movable, por tanto, se hizo uso de esta opción y se giró la antena hasta que se recuperó la señal, el mismo principio que se utiliza con la antena de la televisión.

El momento en que la unidad móvil se ubicó en el interior de la tubería y el operador fuera de línea de vista, frente a las paredes de la tubería por ejemplo, como se observa en la Figura. 6.6., el transmisor de la cámara no se comunicó con su receptor conectada a la capturadora de video y la imagen no se transmitió

a la computadora portátil a pesar de que los radio modems si se conectaron permitiendo el funcionamiento del robot.



Figura. 6.6. Paredes de las tuberías en cuya posición no existe línea de vista

Una vez que se toma en cuenta las condiciones anteriormente mencionadas, la calidad de las imágenes transmitidas por el prototipo dependerá del tipo de iluminación colocadas y de las combinaciones en la configuración del software de **InterVideo WinDVR 3** perteneciente a la capturadora de video, a las que se accede haciendo clic con el botón derecho del mouse sobre la pantalla visualizada en el HMI e ingresando configuración, como se puede observar en la Figura. 6.7.

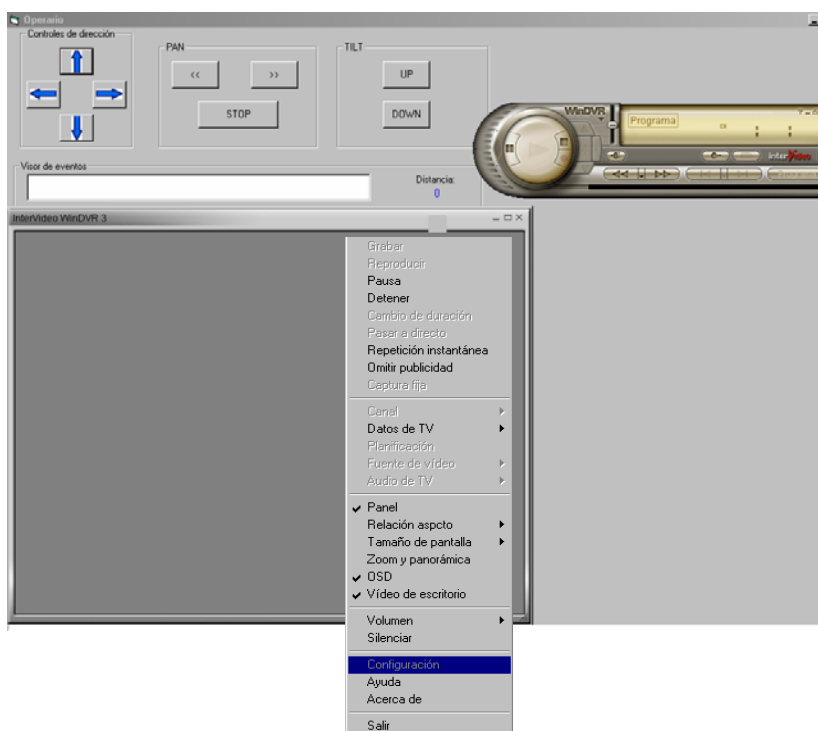


Figura. 6.7. Opciones de configuración para la claridad de la imagen

Finalizado el proceso de corrección de errores en la calidad de la transmisión de imágenes se pudo dirigir al prototipo por el interior de la tubería observando los obstáculos que este encontró, un ejemplo puede ser observado en las figuras a continuación.

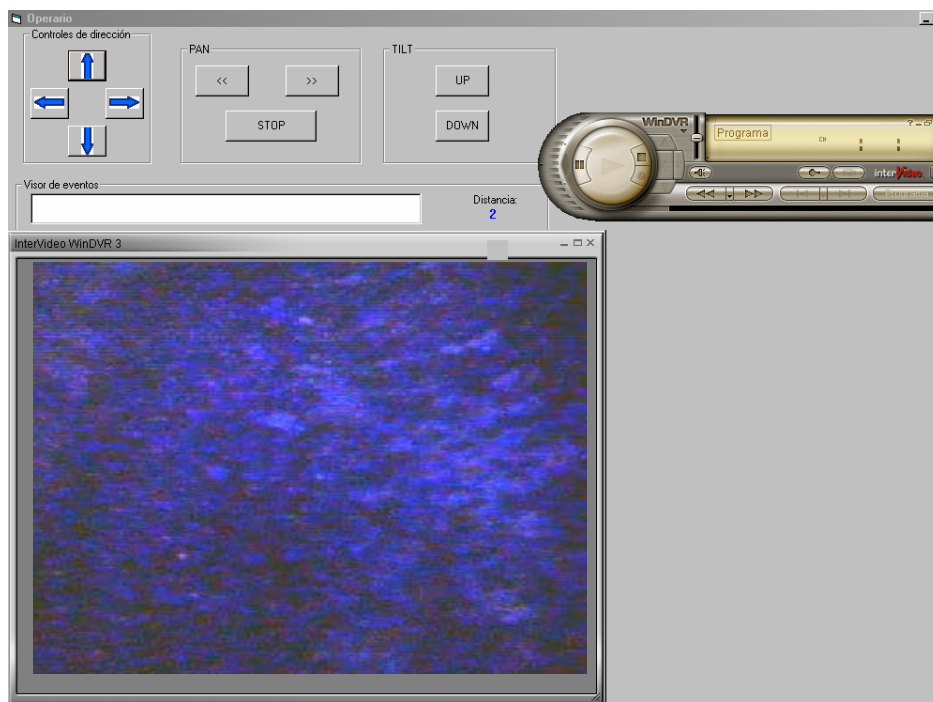


Figura. 6.8. Imagen de la pared inferior interna de la tubería

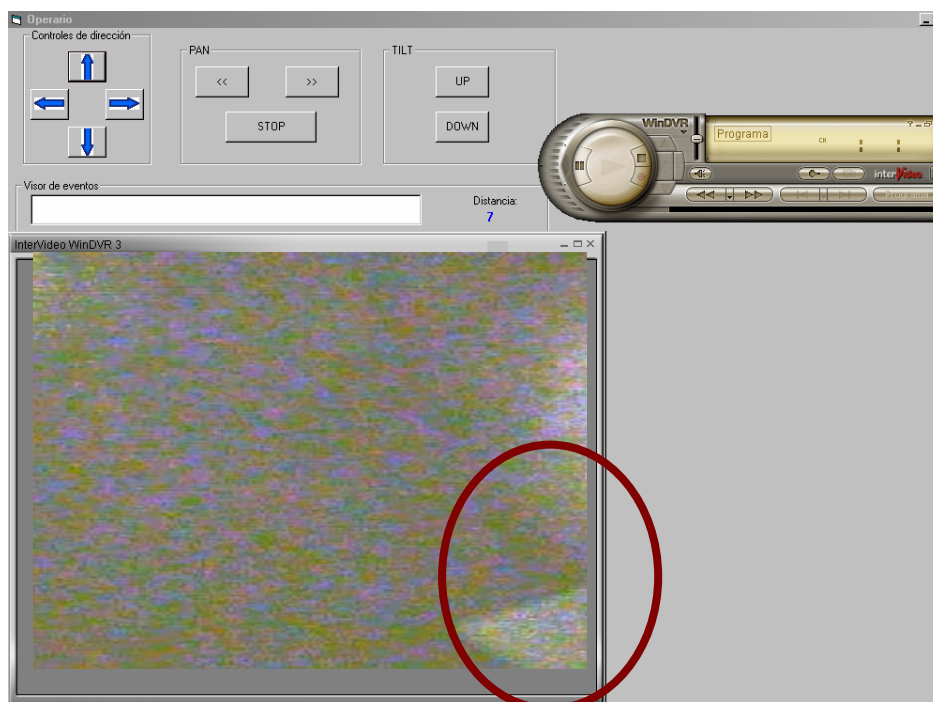


Figura. 6.9. Imagen de la localización de un obstáculo



Figura. 6.10. Imagen de la salida de la tubería

En la Figura. 6.10. se puede observar la imagen que es enviada a la pantalla de la computadora portátil del operador en donde el TILT mantiene al lente apuntando hacia el frente sin ningún grado de inclinación. El círculo de luz es la salida de la tubería de 15 m de longitud, se puede ver que el indicador de distancia señala 13 m cuando en realidad ha recorrido una distancia de 14.50 m. La razón de este error es analizada en el Capítulo IV en Sub Funciones y es otro aspecto que se debe tomar en cuenta.

Cabe recalcar que el color azulado observado en la Figura. 6.8. se lo obtiene al intensificar la iluminación de la pantalla en la opción de configuración para permitir una visión un poco más detallada del suelo de la tubería, las demás figuras tiene una iluminación de pantalla cero.

En la Figura. 6.9. el obstáculo fue localizado a 7 m, considerando el error dado por el tipo de encoder que se utilizó; a pesar de esto el dato es propicio para determinar la sección de tubería en la cual se debe trabajar para extraer el obstáculo.



Figura. 6.11. Grabado de imágenes

En la Figura. 6.11. se observan las opciones de grabación de imágenes que el software de **InterVideo WinDVR 3** ofrece como una de sus aplicaciones, característica que puede ser útil para llevar un informe sobre el estado de las tuberías y el tipo de obstáculos encontrados en ellas.

CAPÍTULO VII

PROYECCIÓN

7.1 COSTO – BENEFICIO

El objetivo principal de la realización de este proyecto es contar con un prototipo que permita a un operador observar el interior de tuberías de petróleo en busca de obstáculos previo a la activación de la planta. Esto evitaría que se envíe a un trabajador para realizar una previa inspección exponiéndolo a peligros o, en el caso de los tubos de diámetro pequeño, se realice una limpieza de alto costo.

El proceso de limpieza de las diversas tuberías provoca que éstas mantengan a la planta fuera de servicio desde 24 horas a 52 días dependiendo de su tamaño e importancia en la producción provocando pérdidas de millones de dólares.

Por ser este proyecto un prototipo cuya visión es superar cualquier inconveniente con respecto a la transmisión inalámbrica logrando enviar y recibir datos para utilizarlo en inspecciones de fisuras internas, se empleó un mayor interés en el tipo de radio modems a utilizar para la transmisión de señal, en base a este punto se presenta la Tabla. 7.1 que detalla el coste del robot móvil teleoperado para la localización de obstáculos en tuberías.

Tabla. 7.1. Detalles del coste invertido en el prototipo

CANTIDAD	DETALLE	COSTO
2	Radiomodem	266,56
1	Cámara inalámbrica	152,32
1	Capturadora de video	107,74
1	walkie - talkie	20,00
2	PIC 16F877	20,00
1	Carro de juguete	15,84
1	Batería UPS o moto	20,00
1	Material y construcción	105,00
2	placas en baquelita	30,00
2	Motor pasos	12,00
1	foco	0,35
1	var374	0,48
2	Motor reductor	20,00
2	L293D	12,80
2	R 4.7 (5W)	0,50
2	R 3.3 (5W)	0,50
1	sw 004	0,70
1	sw 061	0,25
1	Motor pequeño	5,00
1	Max 232	5,00
1	Tol y balsa	15,00
	Pasaje rumichuco	10,00
2	microswitch pe	1,90
2	foco con boqui	0,80
2	plug 1/8	0,40
2	optosensores	0,60
1	ruliman	2,80
TOTAL		826,54

Sumando, al presupuesto anterior, el valor de ingeniería, el valor final de todo el proyecto es:

Tabla. 7.2. Costo total del proyecto

Valor de ingeniería	1200
Costo en materiales	826,54
TOTAL PROYECTO	2026,54

El valor general presentado anteriormente implica un alto precio en comparación a la fabricación de un robot futuro por ser éste un prototipo. Cabe

recalcar que se emplearon elementos encontrados tanto en el mercado ecuatoriano como extranjeros motivo por el cual también se incrementó su costo.

7.2 PROYECCIÓN

Como se expuso anteriormente, MEEV es el pionero de un futuro robot que, al ser facultado con los sensores suficientes y provisto de una estructura mecánica adecuada, permitirá que el operador observe el interior de la tubería sin necesidad de suspender el funcionamiento de la planta. Al incrementar el área de trabajo en kilómetros se lo podrá emplear en tuberías extensas, como el caso de las que transportan crudo, ahorrándole a Refinería Estatal Esmeraldas una considerable suma.

Una línea de gas, por ejemplo, produce hasta 400 toneladas diarias de gas. Cada tonelada está valorada por Refinería Estatal Esmeraldas en 100 dólares y cada tonelada de importación equivale a 500 dólares. Al sacar de servicio a las líneas de gas para el mantenimiento provoca una considerable pérdida en producción, lo mismo que ocurre en la Catalítica donde cada día de funcionamiento produce un millón de dólares.

Además de proceder a la limpieza de las tuberías, es importante conocer el estado de las mismas, para lo cual la Empresa contrata robots extranjeros cuyo arrendamiento supera los 4000 dólares diarios, ocasionando un mayor tiempo de paralización, y por ende, mayores pérdidas de producción.

En el caso de que las tuberías presenten disminución en el grosor de sus paredes por corrosión o fisura, el personal encargado del mantenimiento saca de funcionamiento a toda la planta a la que pertenece la tubería y secciona la región afectada para ser reemplazada por otra. Todo este proceso demora hasta 10 días.

Este cambio lo realizan sin saber si la tubería afectada presentaba anomalía por corrosión, fisura o perforación causada por la presión de los gases que circulan a través de ella. Para ello, deberán introducir al futuro MEEV para que a

través de él, el operario pueda determinar el tipo de problema, sin suspender el funcionamiento de la planta, de tal manera que si se tratase de corrosión se procede a una limpieza interna, si fuese fisura, la solución sería soldadura fría y solo en el caso de ser perforación se realizaría el cambio inmediato de la sección de tubería.

La proyección de este trabajo es ambiciosa, ya que se desea conseguir detectar hasta la más mínima anomalía que se encuentre en el interior de la tubería y poder visualizarla para saber cuan peligrosa puede ser.

El cálculo de la posición del prototipo es fundamental para este tipo de análisis. Conociendo la ubicación del corte y sus características, el operario decidirá si realiza o no una soldadura fría, la cual consiste en corregir el error con capas de suelda en el exterior del tubo.

En el cambio de tuberías también influye el grado de corrosión que se presente. Así que el robot estará diseñado de tal manera que pueda visualizar este tipo de fallas, para ello se bajará la presión hasta casi cero permitiendo el libre movimiento del robot dentro de la tubería. Por tratarse de gases, la visión del robot será casi nítida con la presencia de una pequeña neblina que varía de acuerdo al medio. El efecto de la presencia del gas en el diseño del robot deberá ser estudiado con más cuidado.

También es fundamental el incremento del área de trabajo del robot, esto es con el objetivo de proporcionar al operador seguridad y comodidad, debido a que la información que proporciona el robot puede ser almacenada en una base de datos en cualquiera de las salas de operaciones de la Refinería.

Como se podrá analizar, una vez superado la comunicación hombre – máquina y cumpliendo con la fase primera, en donde el prototipo localiza obstáculos dentro de tuberías, con un poco de análisis en el diseño de ingeniería, estudio de la parte mecánica y presupuesto se puede llegar a construir un robot que satisface todas las necesidades mencionadas anteriormente en forma segura y eficaz y con sello nacional. Para poder construir este robot, las personas involucradas en la

elaboración del mismo deberán analizar el proyecto de diseño que constará de una nueva estructura mecánica.

A continuación se presentan algunas propuestas que podrán ser consideradas en el futuro.

MODEMS

Para incrementar el radio de trabajo a kilómetros se deben emplear radio modems que sean mucho más potentes y con mejores características que el utilizado actualmente. Se recomienda que también sean de conexión USB por ser una tendencia actual de las computadoras portátiles.

De todos los productos que ofrece MaxStream en la gama de los radio modems, el **9XTend-PKG-U™ USB RF Modem** es el indicado para este tipo de tareas ya que presenta características similares al **24XStream™ OEM RF Module** pero su conexión es por el puerto USB de cualquier computadora, trabaja a una frecuencia de 900 MHz a 9600 baudios y un sorprendente alcance de 40 millas o 64 Km sin obstáculos. Su alimentación puede variar de 7VDC a 24 VDC con una corriente nominal de 10 mA. Sus dimensiones son 6.99cm x 13.97cm x 2.86cm como características generales.

La Figura. 7.1. muestra al radio modem anteriormente descrito cuyas especificaciones pueden encontrarse en www.maxstream.net



Figura. 7.1. 9XTend-PKG-U™ USB RF Modem

CÁMARAS

La cámara deberá ser reemplazada por una que posee ZOOM tanto en el TILT como la PAM y que pueda ser controlada por el puerto serial que quedará libre si se utiliza el **9XTend-PKG-U™ USB RF Modem**. A continuación se presenta una lista de las posibles opciones para esta aplicación.

Sony EVI-D70



Figura. 7.2. SONY EVI-D70

Comparada con su predecesora, la cámara **EVI-D70** incorpora una **capacidad superior de movimiento** horizontal y vertical. Con un ZOOM óptico de **x18 aumentos** y un mecanismo de movimiento de **gran precisión** esta cámara es el dispositivo ideal para cualquier aplicación audiovisual.

Entre sus características más resaltantes se tienen: Movimiento horizontal de 340°, movimiento vertical 120°, alta sensibilidad a la lumínica de 1 lux, control a través de RS-232, distancia de control de hasta 1.2 Km. Su precio es de 1080 euros.

PTZ en Domo Blindado Dia/Noche

Es la primera y mas pequeña cámara PTZ para el día y la Noche, instalada en un domo blindado. Posee Mecanismo de filtro infrarrojo y puede resistir virtualmente cualquier intento en desactivarla. Posee un sensor de imagen de 1/4" Sony superHAD CCD, ZOOM óptico de 23X con 0.1 Lux, el ángulo de rotación horizontal o PAM varía entre 0° a 375° mientras que el movimiento vertical o TILT varía entre 0° a 90° . Su control se realiza a través de RS-485, al cual se le puede implementar un adaptador a RS-232 y manejar sus opciones vía serial. Esta cámara es la más vendida del año. El valor de esta cámara es de 1,342.50 dólares americanos.



Figura. 7.3. Cámara PTZ en Domo Blindado Dia/Noche

Existe una variedad de cámaras en el mercado que ofrecen todas estas características y más, pero, como es de esperarse, su precio disminuye o se incrementa dependiendo de sus facultades, por lo que se debe realizar un análisis económico previo, para saber el presupuesto con el que se cuenta.

Para mejorar la ubicación donde se encuentra el robot, el estudio de la odometría debe ser profundo para determinar el tipo de encoder o sensores de posicionamiento a escoger, así mismo su valor varía de acuerdo a su sensibilidad y complejidad.

De esta manera se podrá facultar al futuro robot de los sensores necesarios para tener un instrumento que ayude ciento por ciento a los operadores de Refinería Estatal Esmeraldas en la determinación del estado de las tuberías.

El principal beneficiario sería la Catalítica mencionada anteriormente, ya que al bajar la presión del gas, el robot podrá ingresar libremente y obtener imágenes del interior de sus tuberías sin tener que descargar su gas ni para la planta.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

La realización de este proyecto cumplió con el objetivo principal, el contar con prototipo de un robot móvil, manipulable inalámbricamente y que permita a un operador localizar obstáculos en el interior de tuberías.

Se diseñó y construyó el hardware de control del prototipo en base a los conocimientos de los sistemas de control, potencia y comunicación.

Se diseñó el sistema de comunicación inalámbrico exitosamente tomando en cuenta que la comunicación alámbrica dificultaba la manipulación del prototipo. Para ello se trabajó con radio modems a una frecuencia de 2.4 GHz, con una velocidad de 9600 baudios y modulación PSK.

La comunicación entre el controlador y el prototipo se lo realiza mediante una interfase gráfica simple y clara, de tal forma que el robot pueda ser manipulado para diversas aplicaciones, ya sea en la localización de obstáculos en el interior de tuberías, como en la detección de fisuras en tuberías con presencia de gases e inclusive en el rescate de personas en lugares inaccesibles para el hombre. La elección de la aplicación que se le quiera dar al prototipo dependerá del usuario final, quien podrá realizar las modificaciones necesarias.

Se aprovisionó a la cámara con dos grados de libertad, de PAN de 360° y movimiento del lente de TILT de 80° para lograr una mayor área de visión dentro de las tuberías; además, el movimiento de 360° de toda la cámara permite retornar a la unidad móvil al punto de partida.

Se cuenta con un prototipo al cual se le pueden añadir diversos dispositivos para el monitoreo interno, además de la cámara y del sensor de distancia.

8.2 RECOMENDACIONES

Al trabajar con elementos sensibles, como es el caso de los radio modems, es de vital importancia el tomar todas las precauciones en la alimentación de los mismos. Se debe recordar, que estos elementos son muy susceptibles al incremento de voltaje ya que su variación es de apenas 0.25 V del voltaje normal de 5V.

Como se trabaja con elementos que no existen comercialmente en nuestro país, es necesario un estudio profundo de sus características y precios antes de la adquisición de los mismos.

Siempre es recomendable construir el robot con la mayor cantidad de sensores para determinar el medio en el que se trabaja, de esta manera se puede considerar el incremento de sensores de temperatura, de luz, de ultrasonido de forma que el robot cuente con la mayor información posible del medio donde se encuentra para poder operar de forma mas óptima y segura.

Es importante que el operador considere la línea de vista para que el robot móvil teleoperado pueda transmitir imágenes nítidas, recuérdese que la cámara trabaja con línea de vista, para futuros cambios se debe adquirir una cámara que posea infrarrojos y un diferente tipo de comunicación.

Para poder controlar el ZOOM de una cámara, el nuevo radio modem a ser utilizado en futuras aplicaciones debería conectarse a través del puerto USB, de esta manera el control para la cámara sería por el puerto serial.

Si se quiere incrementar el alcance entre el operador y el prototipo, se deberá estudiar la propuesta del radio modem planteado en este proyecto.

De igual forma, si se desea incrementar la velocidad, se debe tener en consideración el incremento del voltaje. El tiempo de duración de la batería está relacionada directamente con el consumo de corriente de todo el robot durante el recorrido de inspección de la tubería.

Actualmente existen simulaciones de medios para robot que pueden ser utilizadas para determinar el comportamiento del prototipo frente a diversas situaciones y realizar las modificaciones necesarias antes de la implementación final abaratando el costo.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRANGO MEJÍA, Lenin Max; SOTOMAYOR OROZCO, Nelson Gonzalo, **Simulación y ensamblaje de un prototipo para control y navegación de un robot móvil**, Escuela Politécnica Nacional, Facultad Ingeniería Electrónica, Mayo 1999.
- NARVÁEZ SEVILLA, Alberto Renato; PADILLA NÚÑEZ, César Enrique, **Ensamblaje y control de un robot hexápodo**, Escuela Politécnica Nacional, Facultad Ingeniería Electrónica, Agosto 2004.
- PETROECUADOR, **El petróleo en el Ecuador**, Relaciones Industriales, Octubre 2002.
- GALLEGOS VALENCIA, Esteban Santiago; IPIALES ANGAMARCA, Juan Carlos, **Construcción de mapas de entorno y control de posición de un robot móvil**, Escuela Politécnica Nacional, Facultad Ingeniería Electrónica, Febrero 2004.
- ALVAREZ RUEDA, Robin Gerardo, **Diseño y adaptación de un sistema robótica didáctico**, Escuela Politécnica Nacional, Facultad Ingeniería Electrónica, Julio 1996
- RUEDAS BENALCAZAR, Ana Verónica, **Control desde la PC de la pinza de un brazo robótica**, Escuela Politécnica Nacional, Facultad Ingeniería Electrónica, Noviembre 1999.
- NARVAEZ SEVILLA, Alberto Renato; PADILLA NÚÑEZ, Cesar Enrique, **Ensamblaje y control de un robot hexápodo**, Escuela Politécnica Nacional, Facultad Ingeniería Electrónica, Agosto 2004.

- FULLER, James L, **Robotics: Introductions, programing, and proyectos**, 2ed, 1999.
- BARIANTOS, Antonio; Peñin, Luis Felipe, **Fundamentos de robótica**, Escuela Politécnica Nacional, Facultad Ingeniería Electrónica, 1997.
- <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r63/r63.htm>, robótica.
- www.maxstream.net

ANEXO N° 1

PLANOS DE LA UNIDAD MÓVIL DEL PROTOTIPO MEEV

ANEXO N° 2

DATASHEET PIC 16F877A

ANEXO N° 3

CIRCUITO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD MÓVIL DEL PROTOTIPO MEEV

ANEXO N° 4

DATASHEET LM 78XX

ANEXO N° 5

DATASHEET XSTREAM WIRELESS OEM MODULES

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II: DISEÑO MECÁNICO DE LA PLATAFORMA MÓVIL

Figura. 2.1. Configuración Diferencial.....	11
Figura. 2.2. Configuración de Ackerman.....	12
Figura. 2.3. Configuración en Triciclo.....	13
Figura. 2.4. Dirección Sincrónica.....	13
Figura. 2.5. Tracción Mediante Orugas.....	14
Figura. 2.6. Batería recargable de 12 V.....	15
Figura. 2.7. Plancha de la Plataforma estática.....	16
Figura. 2.8. Segunda plancha. Plataforma estática.....	16
Figura. 2.9. Placas circulares de 7 pistas.....	17
Figura. 2.10. Base de la cámara. Plataforma móvil.....	18

CAPÍTULO III: HARDWARE DE CONTROL

Figura. 3.1. Diagrama de Bloques del Hardware de Control.....	22
Figura. 3.2. Diagrama de bloques de la estructura interna PIC 16F877.....	24
Figura. 3.3. PIC 16F877A.....	26
Figura. 3.4. Definición de puertos del microcontrolador.....	28
Figura. 3.5. Circuito de control para el giro de un motor de corriente continua.....	32
Figura. 3.6. Configuración de la aplicación típica de los reguladores de voltaje LM78XX.....	33
Figura. 3.7. Amplitud Modulada.....	35
Figura. 3.8. Frecuencia Modulada.....	36
Figura. 3.9. Modulación por Fase.....	37

Figura. 5.6. Unión de las dos placas de 7 pistas con contactos de cobre.....	63
Figura. 5.7. XCAM2 CAMARA COLOR RF EXTERIOR S130331.....	64
Figura. 5.8. Lente de cámara sujeta por dos sistemas de palanca y controlada por un motor DC con “tornillos sin fin”	64
Figura. 5.9. Vista paralela de la unidad móvil.....	65
Figura. 5.10. Receptor de la cámara.....	66
Figura. 5.11. Circuito de acople del XStream™ OEM RF Module.....	66
Figura. 5.12. Aplicación en la PC. Software de Supervisión.....	67

CAPÍTULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS

Figura. 6.1. Tubería de petróleo hecha en hierro.....	71
Figura. 6.2. Tuberías en pésimo estado con alto grado de irregularidad.....	72
Figura. 6.3. Tuberías de petróleo localizadas en Pifo.....	73
Figura. 6.4. Distancia de 70m operador.....	74
Figura. 6.5. Acercamiento al operador.....	73
Figura. 6.6. Paredes de las tuberías en cuya posición no existe línea de vista....	75
Figura. 6.7. Opciones de configuración para la claridad de la imagen.....	75
Figura. 6.8. Imagen de la pared inferior interna de la tubería.....	76
Figura. 6.9. Imagen de la localización de un obstáculo.....	76
Figura. 6.10. Imagen de la salida de la tubería	77
Figura. 6.11. Grabado de imágenes.....	78

CAPÍTULO VII: PROYECCIÓN

Figura. 7.1. 9XTend-PKG-U™ USB RF Modem.....	83
Figura. 7.2. SONY EVI-D70.....	84
Figura. 7.3. Cámara PTZ en Domo Blindado Dia/Noche.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II: DISEÑO MECÁNICO DE LA PLATAFORMA MÓVIL

Tabla. 2.1. Especificaciones mecánicas del prototipo MEEV.....	20
--	----

CAPÍTULO III: HARDWARE DE CONTROL

Tabla. 3.1. Descripción de pines del PIC 16F877A.....	25
Tabla. 3.2. Secuencia normal para un motor a pasos.....	31
Tabla. 3.3. Configuración de pines del 24XStream™ OEM RF Module.....	40

CAPÍTULO IV: SOFTWARE DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

Tabla. 4.1. Designación de los pines del microcontrolador 16F877A.....	46
Tabla. 4.2. Definición de los códigos y actuadores.....	48

CAPÍTULO VII: PROYECCIÓN

Tabla. 7.1. Detalles del coste invertido en el prototipo.....	80
Tabla. 7.2. Costo total del proyecto.....	80

Sangolquí,

ELABORADO POR:

Srta. Magali Elizabeth Espinoza Velásquez

AUTORIDADES:

Sr. Ing. Xavier F. Martínez Carrera
Tcn. de E.M.
Decano de la Facultad de Ingeniería Electrónica

Sr. Ab. Jorge Carvajal
Secretario Académico de la Facultad de Ingeniería Electrónica