



**Desarrollo del sistema de control de un
“robot” orientado a la medición de
espesores de pared de tanques de
almacenamiento**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO
ACADEMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA
EN LA ESPECIALIDAD DE**

CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

PRESENTA

Ing. Julio César Solano Vargas

004233



Director de Posgrado
PICYT – CIDESI
Querétaro

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de Grado del alumno *Julio César Solano Vargas*, una vez leída y revisada la Tesis titulada “Desarrollo del sistema de control de un robot orientado a la medición de espesores de pared de tanques de almacenamiento”, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de Maestro en Ciencia y Tecnología en la opción terminal de Control y Automatización durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 30 días del mes de septiembre del año dos mil dos.



Dr. Ismael López Juárez
Presidente



Dr. Oscar Olvera Silva
Secretario



Dr. Rogelio Alvarez Vargas
Vocal



Dr. Aaron Sarriana Tledo
Vocal



Dr. Christian Signoret Marcellin
Vocal

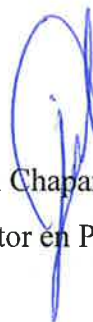
Director de Posgrado
PICYT – CIDESI
Querétaro

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno *Julio César Solano Vargas*, una vez leída y revisada la Tesis titulada “Desarrollo del sistema de control de un robot orientado a la medición de espesores de pared de tanques de almacenamiento”, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de maestro en Ciencia y Tecnología en la opción terminal de control y automatización durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 23 días del mes de septiembre del año dos mil dos.



Dr. Rogelio Alvarez Vargas
Tutor Académico



M.C. Joel Chaparro González
Tutor en Planata



Dr. Emilio Vargas Soto
Asesor

DEDICATORIAS

**Al CIDESI y a su director general, el
Ing. Ángel Ramírez Vázquez :**

Por su valiosa contribución para alcanzar esta
meta tan preciada.

A mis maestros y al PICyT :

Mis respetos y agradecimientos por haberme dado
los conocimientos necesarios para la conclusión
de este trabajo.

**A la unidad de Tecnología de Materiales del
CIDESI, al M.C. Joel Chaparro y al Ing. Cirilo
Noguera :**

Que apoyaron invaluablemente el desarrollo de
este proyecto.

**A mis asesores, Dr. Rogelio Alvarez, Dr. Emilio
Vargas, M.C. Joel Chaparro :**

Por sus sabios consejos que me ayudaron durante
este trabajo.

A LAPEM :

Por apoyar la investigación y contribuir al
desarrollo de tecnología en México.

DEDICATORIAS

A mis padres :

Que siempre me han brindado su apoyo y confianza de forma incondicional, por darme su amor y cariño en todo momento y por mostrarme que la vida es hermosa aún en los momentos difíciles.

A mi novia :

Por su amor, paciencia y comprensión , brindándome la fuerza necesaria para seguir adelante.

A mis hermanos :

Por su apoyo que ha servido como un verdadero estímulo para lograr la realización de este trabajo.

A TODOS ELLOS MIL GRACIAS.

***Julio César Solano Vargas
2002***

TABLA DE CONTENIDO

ANTECEDENTES	i
INTRODUCCIÓN	iv
CAPÍTULO 1	
JUSTIFICACIÓN	1
1.1 PROBLEMÁTICA	3
1.2 ESTADO ACTUAL DEL MERCADO	7
1.3 OBJETIVO DE LA TESIS	9
1.4 PROPUESTA DEL PROTOTIPO	10
CAPÍTULO 2	
MARCO TEÓRICO	11
2.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA ROBÓTICA	12
2.1.1 Robótica y automatización	14
2.1.2 Robots móviles	15
2.1.3 Tipos de robots	17
2.1.4 Estructura de un robot industrial	19
2.1.5 Características más relevantes propias de los robots	20
2.2 SENSORES	24
2.2.1 Consideraciones de diseño	25
2.2.2 Sensores de velocidad y desplazamiento	27
2.2.3 Sensores de proximidad ultrasónicos	32
2.3 MICROCONTROLADORES MICROCHIP	33
2.3.1 Descripción general	34
2.3.2 Arquitectura e interconexión de la familia PIC16C7X	35
2.3.3 Consideraciones de la memoria de programa	38
2.3.4 Modos de direccionamiento	40
2.4 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	45
2.4.1 Principios acústicos de ultrasonido	45

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL Y METODOLOGÍA	48
3.1 DESCRIPCIÓN	49
3.2 REQUERIMIENTOS	49
3.3 DISEÑO PRELIMINAR	50
3.3.1 Selección del sistema de adherencia	51
3.3.2 Sistema de tracción y adherencia	52
3.3.3 Operación autónoma	57
3.3.4 Toma de datos a distancia programada y movimiento lineal	57
3.3.5 Medición de espesores y almacenamiento de datos	58
3.3.6 Sistema de posicionamiento del transductor ultrasónico para la Medición de espesores	59
3.3.7 Operación remota	59
3.4 METODOLOGÍA	60
3.4.1 Secuencia de actividades	62

CAPÍTULO 4

DESARROLLO	64
4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	65
4.2 ETAPA DIGITAL Y DE ACOPLAMIENTO	67
4.2.1 Selección del microcontrolador	68
4.2.2 Tareas específicas de los microcontroladores maestro y esclavo	69
4.2.3 Componentes externos utilizados para el PIC16C74B	70
4.2.4 Protocolo de comunicación entre los 2 microcontroladores	72
4.2.5 Señales de PWM	73
4.2.6 Memoria serial EEPROM	76
4.2.7 Grabación de datos en el equipo de ultrasonido	79
4.2.8 Piezo buzzer	81
4.3 COMUNICACIÓN SERIAL RS232	81
4.4 SENSORES	83
4.4.1 Encoder	83
4.4.2 Sensores ultrasónicos	87
4.4.3 Sensor de inclinación (inclinómetro)	91

4.5 ETAPA DE POTENCIA	92
4.5.1 Sistema de tracción	93
4.5.2 Sistema de posicionamiento de transductor	94
4.4.2 Sistema de inyección de acoplante	95
4.6 OPERACIÓN REMOTA	97
4.7 PROGRAMA DE CONTROL	99
4.7.1 Programa principal	99
4.7.2 Microcontrolador maestro	102
4.7.3 Microcontrolador esclavo	104
4.7.4 Programación del protocolo de comunicación	108
CAPÍTULO 5	
PRUEBAS DE OPERACIÓN Y RESULTADOS	109
5.1 PRUEBAS DE LABORATORIO	110
5.2 PRUEBAS DE CAMPO	118
5.3 ROBOT TERMINADO	124
CONCLUSIONES	126
BIBLIOGRAFÍA	129
ANEXO	130

ANTECEDENTES

En el mercado internacional, pero principalmente en el ámbito industrial se requieren de métodos y formas más eficientes y seguras para realizar las inspecciones por ensayos no destructivos más aún en los países menos desarrollados. Esto debido a los riesgos de posibles accidentes y a las normas de seguridad que son cada vez más exigentes para competir en un mundo globalizado.



Figura 1 *Tanque de almacenamiento*

Dentro del área de los Ensayos No Destructivos (END) existe la técnica de ultrasonido la cual ha sido aplicada en México así como en todo el mundo para inspecciones de tanques de almacenamiento midiendo el espesor de pared, esto con el fin de asegurar que los tanques en uso sigan cumpliendo con sus especificaciones de fabricación dentro de un margen de seguridad y se encuentren dentro de las normas establecidas, como lo es la API (Instituto Americano del Petróleo)[1].

El desgaste de las paredes se lleva a cabo por la fricción del líquido al entrar y salir del tanque o simplemente por almacenar líquidos corrosivos, este puede ser puntual o en un área determinada. Cuando el espesor se encuentra debajo de las tolerancias del diseño original, la placa debe ser reemplazada o reparada. El tanque de almacenamiento puede ser de cualquier tamaño, pero este trabajo se refiere a tanques con dimensiones de hasta 25 metros de altura y de 2 metros como mínimo hasta los más grandes de unos 50 metros de diámetro en donde alcanzar puntos intermedios y altos requiere de utilizar andamios, arneses, escaleras o grúas. En la siguiente Figura se muestra un tanque de 15 metros de altura y 50 metros de diámetro que está armado por varias placas de 4 metros de ancho por 2 metros de alto.



Figura 2 *Tanque de almacenamiento para combustoleo*

La medición de espesores de tanques de almacenamiento en el área de ensayos no destructivos, se realiza en general mediante métodos manuales: el inspector debe tomar las lecturas de los espesores de las paredes de los tanques a distancias aproximadas de 9 pulgadas (22.86 centímetros) a lo largo y ancho del tanque, lo que hace que sea tardado y tedioso. Por tal motivo muchas empresas encargadas de llevar a cabo este servicio optan por realizar la inspección cada 1 o 1.5 metros (de 6 a 8 puntos por placa), lo cual aunque puede cumplir con los procedimientos de algunas compañías, se encuentra fuera de norma y en un momento dado podría llegar a ser riesgoso. Esto sin incluir la alta potencialidad de riesgos de accidentes debidos a las alturas y maniobras que el personal debe realizar, que pueden llegar a ser fatales.

De esta forma se aprecia claramente la falta de tecnología dirigida hacia la inspección de los tanques de almacenamiento que garantice una inspección completa, rápida, metódica y con la eliminación de riesgos debidos a operaciones en las alturas.

Este trabajo plantea el desarrollo de tecnología en robótica para buscar una solución a las deficiencias antes citadas para la inspección de tanques de almacenamiento de gran capacidad, contribuyendo así a la solución de problemas reales que existen en el país tanto como en el extranjero, además de contribuir con el desarrollo de tecnología propia, que permita a México ser menos dependiente de las importaciones.

Por otra parte se debe mencionar que actualmente en este país mexicano el área de la robótica no se ha aprovechado totalmente, son pocas las industrias que han adquirido este beneficio, las que más aplicación le dan son las ensambladoras automotrices. Esto se debe principalmente a los altos precios para adquirir esta tecnología que prácticamente es sólo de origen extranjero y a la falta de mano de obra especializada en nuestro país en esta área. De aquí la importancia de este proyecto que contribuye a la generación de conocimiento y experiencia asociada al desarrollo de robots móviles.

INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia que ha adquirido la robótica en los procesos de manufactura y de inspección y pruebas, se plantea la necesidad del desarrollo de esta área en nuestro país con mano de obra y recursos nacionales.

El principal reto que se encuentran los ingenieros y especialistas mexicanos es la falta de experiencia en esta área, además de la falta de confianza del empresario mexicano para que se le fabriquen robots de acuerdo a sus necesidades. Las aplicaciones de la robótica son extensas, puede emplearse en líneas de proceso, en operaciones riesgosas donde se pone en peligro la salud del operador o en los ensayos no destructivos.

Actualmente debido a la exigencia del mercado internacional de ofrecer al consumidor productos de mejor calidad y a menor precio provoca que las industrias requieran aumentar su producción, por lo que la integración de nuevas tecnologías en México es una alternativa para seguir compitiendo en el mercado nacional e internacional.

La propuesta de desarrollar un robot para la medición de espesores de tanques de almacenamiento tiene como objetivos reducir el tiempo de inspección, asegurar las mediciones en las lecturas y eliminar el riesgo de accidentes en las alturas del inspector a la vez de cumplir cabalmente con las normas existentes de seguridad. Así mismo fomentar el uso de este tipo de tecnología en nuestro país, no solamente en áreas de proceso, sino también en el área de inspección y pruebas.

De esta forma, se presenta en este trabajo un robot que tiene la capacidad de adherirse y moverse en forma vertical y horizontal sobre los tanques de almacenamiento, midiendo distancias y ubicándose en las diferentes partes del tanque a ser inspeccionadas, guiándose automáticamente o por radiofrecuencia, eliminando así los riesgos de accidentes y reduciendo los tiempos de inspección de tanques de almacenamiento de gran capacidad, además de tener un sistema de control que permite efectuar la medición de espesores por ultrasonido del cual

se hace referencia en el marco teórico.

Al introducir este tipo de tecnología y siendo fabricada por mano de obra y materiales nacionales, los costos de fabricación se reducirían notablemente, haciéndola más rentable para la industria nacional.

Es importante destacar que en estos momentos de globalización económica y de grandes avances tecnológicos, es de gran importancia que las organizaciones desarrollen por sí mismas y a través de alianzas estratégicas, nuevas tecnologías para no quedarse rezagadas.

Es importante mencionar que durante el presente trabajo se pretende mostrar únicamente el desarrollo del sistema de control del robot para la inspección de tanque de almacenamiento.

En el capítulo 1 de esta tesis se presenta la justificación de este proyecto, planteando la problemática con respecto a la inspección de tanques de almacenamiento y estableciendo la solución propuesta por este trabajo para resolver esa problemática. En el capítulo 2 se presenta el marco teórico con conceptos teóricos que fueron escogidos para que el lector comprenda el contenido de este trabajo. El capítulo 3 muestra los requerimientos para el desarrollo del proyecto y presenta el diseño conceptual para cumplir con dichos requerimientos, además se establece la metodología y tiempos para llevar a cabo este proyecto. El capítulo 4 es el de desarrollo del proyecto donde se explica la estructura general del sistema y los circuitos, sensores y programas utilizados para el proyecto. Finalmente el capítulo 5 muestra las pruebas realizadas tanto de laboratorio como de campo del prototipo, a la vez que se establecen los resultados obtenidos durante dichas pruebas.

CAPÍTULO 1

JUSTIFICACIÓN

La inspección de tanques de almacenamiento se ha venido realizando para prevenir incendios o explosiones, principalmente en aquellos tanques que contienen productos químicos o derivados del petróleo y es de suma importancia ya que los tanques pueden presentar adelgazamiento de pared y con ello provocar fugas o derrames que causen accidentes.

En la actualidad existen más de 700,000 tanques de almacenamiento al exterior y más de 4.5 millones subterráneos, esto tan solo en los Estados Unidos. Muchos de estos tanques presentan fugas. Algo más importante, muchos de estos tanques presentan fugas sin que nadie sepa o tenga conocimiento de ello [2].

Las fugas en los depósitos subterráneos pueden ser escurridizas ya que pueden colarse hasta la superficie o incluso mezclarse con depósitos acuosos subterráneos por años antes de que puedan detectarse. Además existen otros daños de carácter ambiental y de carácter económico, porque la limpieza y la derrama del líquido puede llegar a costar varios millones de dólares. Además de los costos por posibles derrames, existe el costo de la limpieza e inspección en los tanques subterráneos, los cuales llegan a elevarse de manera considerable a través de los años.

Debido a lo anterior, la industria a escala mundial ha ido cambiando el tipo de tanques de almacenamiento, de tanques subterráneos a tanques de superficie. Existen varias características que hacen atractiva esta opción. En primer lugar, el operador es capaz de apreciar todas las superficies del tanque. La inspección visual es simple, barata, conveniente y confiable, por lo que se deja de depender de equipo especializado o de contratistas para verificar que un tanque se encuentra libre de fugas.

Además, estos tanques no se enfrentan a las duras regulaciones existentes como los tanques de almacenamiento subterráneo. Finalmente, los propietarios de sistemas de almacenamiento al exterior encuentran que son más baratos y menos regulados.

La rápida demanda de tanques de almacenamiento sobre la superficie ha impulsado la revisión de códigos y normas americanas, así como también mejoras tecnológicas a los diseños existentes de tanques de almacenamiento.

Esto tiene repercusiones en todo el continente americano, pues casi la totalidad de la industria en Latinoamérica depende de normas y códigos estadounidenses. Normas tales la SA-435/SA-435M de ASME (American Society for Mechanical Engineering)[3], la ASTM A-435 de la ASTM (American Standar Testing Materials)[4] o la API653 de API (American Petroleum Institute)[1] .

Mas recientemente en México, empresas paraestatales como Pemex han establecido como norma de inspección en sus tanques de almacenamiento, el realizar el reconocimiento de estas fallas de manera automática, es decir con sistemas automatizados de medición de fallas.

Por lo tanto, se hace patente la necesidad de desarrollar equipos automatizados que realicen las inspecciones de los tanques construidos sobre la superficie, debido a que la tendencia es a que estos aumenten al contrario de los subterráneos que tenderán a desaparecer y que además estos equipos automatizados trabajen de forma rápida, segura y confiable.

1.1 PROBLEMÁTICA

Bajo una determinada normatividad, procedimiento o especificación, cada compañía nacional debe realizar inspecciones periódicas de acuerdo a las exigencias de la *Secretaría del Trabajo y Previsión Social*, tales como pérdida de espesor por corrosión o detección de grietas en los tanques de almacenamiento que muy frecuentemente contienen fluidos a alta presión o sustancias peligrosas, con el fin de evitar accidentes catastróficos

También existe la necesidad de inspeccionar y mantener estructuras de acero. Estas estructuras incluyen puentes, presas, torres de agua, plataformas, contenedores de petróleo, barcos, tanques de almacenamiento subterráneos, sobre tierra y otras estructuras similares. Aunque se

conoce la geometría de estas estructuras, así como los lugares en donde se presentan comúnmente fallas críticas la movilidad de inspectores humanos sobre estas estructuras se vuelve difícil o peligrosa.

Debido a la estructura, al uso continuo y a las dimensiones físicas de los tanques de almacenamiento, se hace necesario emplear un método de inspección que no sea dañino para el propio tanque, que tenga acceso a zonas de difícil acceso, que sea razonablemente costeable, y que además, sea posible de emplear cuando el contenedor se encuentre lleno. Por esta y otras razones la técnica de inspección por ultrasonido es la más empleada en la industria a nivel mundial, sobre otras técnicas tales como la radiografía y la técnica de corrientes de Eddy.

Actualmente, la mayoría de las inspecciones de medición de espesores en tanques de almacenamiento se realizan de manera manual alrededor del mundo. Entre las desventajas de la inspección por ultrasonido en comparación con otras técnicas de Ensayos No Destructivos son las siguientes:

- La inspección manual requiere mucha atención y concentración de técnicos experimentados (aún, un técnico experimentado alcanza una repetibilidad baja, esto debido a que una variación en la fuerza aplicada al transductor resulta en un error de medición).
- Se requiere de un gran conocimiento técnico para el desarrollo de los procedimientos de inspección.
- Se necesita usar patrones de referencia, tanto para calibrar el equipo como para caracterizar las discontinuidades, siendo del mismo material o similar al que se va a inspeccionar.
- Se necesita un acoplante para obtener una transferencia efectiva de las señales entre piezas y transductor.

Otro de los factores a tomar en cuenta son las dimensiones de los tanques de almacenamiento, ya que éstos alcanzan en promedio alturas de 15 metros por 50 metros de diámetro, por lo que se hace necesario el uso de andamios, grúas, arneses, escaleras y otros equipos, para trabajar en zonas con alta dificultad de acceso, tal como se muestra en la Figura 1.1. Sin embargo estas medidas son altamente peligrosas y ponen en riesgo la salud del operador, por lo que las normas y procedimientos han cambiado a favor de la automatización de este tipo de inspecciones.



Para la inspección de un tanque de almacenamiento de estas características es necesario emplear varios técnicos y por lo general, realizar mediciones bastante espaciadas para poder tener una idea general del estado del contenedor. Estas mediciones espaciadas son necesarias debido a que si se cumpliera la norma aplicable a este tipo de inspecciones, el propietario del tanque de almacenamiento tendría que costear el precio de un número mayor de horas/hombre, así como la renta de grúas (para alcanzar zonas inaccesibles), y costos de los consumibles para la inspección (acoplantes que aseguran una transmisión fiel entre la señal del transductor y el área de contacto, marcadores para los puntos de medición) de tal forma que se cumpla con la distancia entre puntos que indica la norma.

La norma SA-435/SA435-M “*STANDARD SPECIFICATION FOR STRAIGHT-BEAM ULTRASONIC EXAMINATION OF STEEL PLATES*” dice que “La inspección deberá de realizarse a lo largo de un cuadrículado de líneas perpendiculares entre sí, las cuales tendrán una separación de 22.86 cm (9”) entre líneas paralelas como mínimo. Un acoplante adecuado, tal como lo es el agua, aceite soluble o glicerina, deberá de emplearse”[3]. Sin embargo, en inspecciones manuales generalmente se realizan mediciones con una separación en promedio

de 1 metro entre punto y punto, por lo que la norma no garantiza la detección de debilitamiento de las paredes de la placa.

En la Figura 1.2 se muestra el uso de andamios para alcanzar puntos alejados de la superficie.

La técnica empleada se describe brevemente a continuación:

- a) Preparación de andamios: Estos son necesarios para alcanzar puntos alejados de la superficie, en algunas ocasiones se utilizan arneses para colgarse de la parte superior del tanque e ir descendiendo.
- b) Marcado del tanque. Los inspectores marcan los puntos a medir en el tanque a la separación que se requiere, empleando un flexómetro. Como puede observarse en este punto ya es necesario el uso de andamios.
- c) Acomodo del andamio. Una vez terminada la primera área, es necesario mover el andamio para marcar la parte restante, esto se hace tantas veces como sean necesarias hasta el marcado total del tanque.
- d) Medición de espesores. Terminado de marcar el tanque, los inspectores nuevamente vuelven a utilizar los andamios para medir el espesor de la pared del tanque.



004233

Figura 1.2 Inspección de tanque de almacenamiento por ultrasonido.

1.2 ESTADO ACTUAL DEL MERCADO

En el mercado internacional, pero principalmente en los países menos desarrollados, se requieren de métodos y formas más eficientes y seguras para realizar las inspecciones de ensayos no destructivos, esto debido a los riesgos de posibles accidentes y a las normas de seguridad que son cada vez son más exigentes para competir en un mundo globalizado.



Tal es el caso de la inspección de *tanques de almacenamiento* que se realiza generalmente utilizando métodos manuales (Figura 1.3), con lo cual el personal encargado de llevar a cabo la tarea requiere emplear un tiempo considerable, sobre todo como ya se mencionó, en recipientes de grandes dimensiones, donde los riesgos de accidentes son principalmente caídas o resbalones que pueden ser sumamente peligrosos.

De acuerdo a la experiencia que han adquirido las empresas que poseen tanques de almacenamiento y en base a las normas existentes, han llegado a elaborar un programa de inspección y re-inspección de los tanques, que considera el tipo de material de fabricación, la edad del tanque o años de operación y si el tanque ha sufrido reparaciones.

Sin embargo los inconvenientes antes citados dificultan la inspección de los tanques de almacenamiento es por ello que las empresas están buscando nuevas tecnologías que disminuyan los tiempos de inspección y los costos involucrados, ya que consideran que el uso de estas tecnologías finalmente se reflejará en un *aumento de productividad* y una *mejora de los niveles de seguridad* de las inspecciones.

Existen varios dispositivos para medir los espesores de tanques de almacenamiento en tierra, incluso para tubos.

Solo se presentarán 3 de los más conocidos en el mercado para tanques sobre la superficie.

El primero y más comercializado es el SPIDER (Figura 1.4) que se opera de forma manual gracias a una palanca de mando y chequean la superficie de los tanques mediante ultrasonido, este carro tiene un costo de \$55,000 USD.



Figura 1.4 *Vista principal del robot*

Otro de ellos es el llamado Scorpion (Figura 1.5 y 1.6) el cual también es operado manualmente y utiliza el ultrasonido. Tiene un costo de \$65,000 USD.



Figura 1.5 *Vista principal del robot*



Figura 1.6 *Robot escalando tanque de almacenamiento.*

Y por último el 801D Superscope igualmente manual y también realiza el barrido de las placas de los tanques con ultrasonido. Tiene un costo de \$45,000 USD.

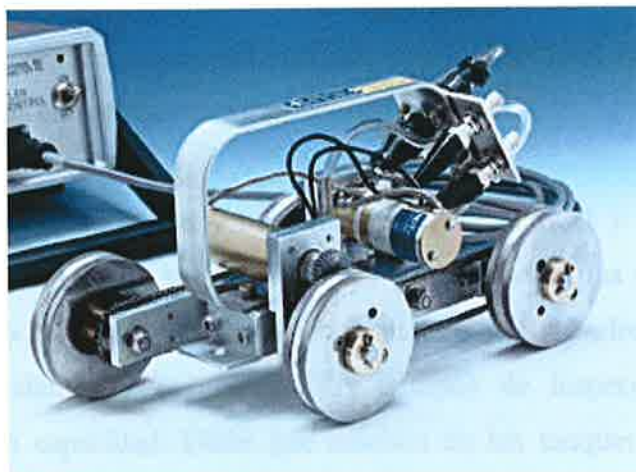


Figura 1.7 *Vista principal de robot 801D Superscope.*

Todos estos dispositivos son operados por medio de “JOYSTICKS” que los hacen 100% dependientes de un operador y de su habilidad para manejarlo, además son de procedencia extranjera. De aquí puede verse que no existe un desarrollo considerable por parte de países tecnológicamente desarrollados ya que ninguno de los sistemas citados realizan tareas robotizadas y automatizadas, por tanto este ámbito resulta ser un campo bueno para nuevos desarrollos y con ellos buscar ganar el liderazgo mundial.

1.3 OBJETIVO DE LA TESIS

El objetivo de esta tesis es presentar los conocimientos obtenidos en el desarrollo del sistema de control, de un robot orientado a medir los espesores de pared de tanques de almacenamiento o recipientes a presión, respetando cabalmente las normas establecidas dentro de esta materia, a la vez de mostrar la metodología utilizada desde el diseño conceptual hasta la puesta en marcha y pruebas del robot.

1.3 PROPUESTA DEL PROTOTIPO

Con referencia a la problemática mencionada anteriormente, la inspección de estructuras metálicas como lo son los tanques de almacenamiento, requiere de métodos más seguros y eficientes. Como consecuencia, surge el proyecto presentado en este trabajo que propone el desarrollo de un robot para inspección de tanques con la habilidad de desplazarse por la superficie externa de estas estructuras de forma autónoma.

El robot debe ser capaz de adherirse y moverse en forma vertical y horizontal sobre los tanques de almacenamiento, podrá medir distancias y ubicarse en las diferentes partes del tanque a ser inspeccionadas, guiándose automáticamente o por radiofrecuencia, eliminando así los riesgos de accidentes y reduciendo los tiempos de inspección de tanques de almacenamiento de gran capacidad. Dado que muchos de los tanques de almacenamiento están constituidos por placas de acero con propiedades ferromagnéticas, un robot de ruedas magnéticas es una opción cómoda para esta clase de estructuras.

Por otro lado, la idea de un vehículo para el desarrollo de un proceso automatizado no es nueva para el área de los Ensayos No Destructivos. Actualmente existen varios modelos de estos vehículos que emplean ruedas magnéticas (Scorpion de Silverwing ltd, Spider de Scantech y Fury de Red Zone, por nombrar algunos) cuyas aplicaciones varían dependiendo de las necesidades del fabricante. Sin embargo estos vehículos dependen totalmente de un operador para su navegación, quedando alejado el concepto de robotización para los END.

Por último, el costo del robot desarrollado, incluyendo el equipo ultrasónico es de \$35,000 USD. Si tomamos en consideración que por la medición de espesores de un tanque de 50 metros de diámetro por 15 metro de altura el costo es de \$2,500 USD aproximadamente, la inversión podría recuperarse con la inspección de sólo 14 tanques, más aún la inspección automatizada de estos recipientes se está volviendo una necesidad, así las empresas dedicadas a la inspección de estructuras se verían obligadas a adquirir esta tecnología para poder brindar un servicio de inspección seguro y competitivo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA ROBÓTICA

La imagen del robot como una máquina a semejanza con el ser humano, subyace en el hombre desde hace muchos siglos, existiendo diversas realizaciones con este fin; desde los pájaros mecánicos de Hero de Alejandría en el siglo I a.C. hasta el tigre del museo Victoria Albert, del siglo XIX.

La palabra robot proviene del idioma Checo y la usó por primera vez el escritor Karel Capek en 1917 para referirse, en sus obras, a máquinas con forma humanoide. En 1940, Isaac Asimov volvió a referirse a los robots en sus libros de ciencia-ficción.

Pero el robot industrial que se conoce y emplea en nuestros días, no surge como consecuencia de la tendencia o afición de reproducir seres vivientes, sino de la necesidad. Fue la necesidad la que dio origen a la agricultura, el pastoreo, la caza, la pesca, etc. Más adelante, la necesidad provocó la primera revolución industrial con la invención de la máquina de Watt.

La imperiosa necesidad de aumentar la productividad y mejorar la calidad de los productos, ha hecho insuficiente la automatización industrial rígida, dominante en las primeras décadas del siglo XX, que estaba destinada a la fabricación de grandes series de una restringida gama de productos. Hoy día, más de la mitad de los productos que se fabrican corresponden a lotes de pocas unidades.

Al enfocarse la producción industrial moderna hacia la automatización global y flexible, han quedado en desuso las herramientas, que hasta hace poco eran habituales:

- Máquinas para la automatización rígida.
- Máquinas herramientas CNC.
- Manipuladores secuenciales.

Con el objetivo de diseñar una máquina flexible, adaptable al entorno y de fácil manejo, George Devol, pionero de la Robótica Industrial, patentó en 1956, un manipulador programable que fue el germen del robot industrial[5].

Se pueden distinguir cinco fases relevantes en el desarrollo de la Robótica Industrial:

1era. Fase: El laboratorio ARGONNE diseña en 1950, manipuladores amo-esclavo para manejar materiales radioactivos.

2da. Fase: Unimation, fundada en 1958 por Engelberger y hoy absorbida por Westinghouse, realiza los primeros proyectos de robots industriales, a principios de la década de los 60 del siglo pasado, instalando el primero en 1961 y posteriormente en 1967 un conjunto de ellos en una fábrica de GENERAL MOTORS. Tres años después, se inicia la implantación de los robots en Europa, especialmente en el área de la fabricación de automóviles. Japón no comenzó a interesarse por el tema hasta 1968.

- 3ra. Fase: Los laboratorios de la Universidad de Stanford y del MIT acometen, en 1970, la tarea de controlar un robot mediante computador.
- 4ta. Fase: En el año de 1975, la aplicación del microprocesador, transforma la imagen y las características del robot, hasta entonces grande y caro.
- En esta fase que dura desde 1975 hasta 1980, la conjunción de los efectos de la revolución de la microelectrónica y la revitalización de las empresas automovilísticas, produjo un crecimiento acumulativo del parque de robots cercano al 25%.
- 5ta. Fase: A partir de 1980, el fuerte impulso en la investigación por parte de las empresas fabricantes de robots, otras auxiliares y diversos departamentos de Universidades de todo el mundo, la informática aplicada y la experimentación de sensores, cada vez más perfeccionados, potencian la configuración del robot inteligente capaz de adaptarse al ambiente y tomar decisiones en tiempo real, adecuada a cada decisión[6].

2.1.1 Robótica y Automatización

La palabra automatización proviene de la contracción de los términos en inglés *automatic motivation* (motivación automática) y fue usada por primera vez en la década de los años cuarenta por un ingeniero de la Ford Motor Company para describir la operación colectiva de muchas máquinas interconectadas en su planta de Detroit. Las máquinas podían fresar, perforar, rectificar y terminar un monoblock, dejando el producto terminado al final de la línea.

Definición de robot

Las palabras claves que distinguen a los robots de otras máquinas son “manipulador” y “reprogramable”.

Un robot es una máquina mecatrónica con la capacidad de ser manejada con movimientos programados, con el objetivo de realizar muchas tareas diferentes o similares, bajo una evaluación interactiva de las condiciones externas o internas de la máquina.

La manipulación es el acto de sujetar un objeto y cambiar su posición y orientación en el espacio, la palabra reprogramable es la capacidad de poder tomar sus propias decisiones, es decir pueden relacionarse con el medio que los rodea. La capacidad de tomar sus propias decisiones dependerá de que tan compleja sea la programación[6].

La Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. define al robot como:

Es una máquina mecatrónica con la habilidad de tener cierta autonomía, capaz de reproducir actividades previamente programadas y reaccionar a las condiciones del medio a través de la valoración de sus condiciones internas y externas.

La mecatrónica es una disciplina que combina diversas actividades interdisciplinarias del conocimiento, entre las que se encuentran la Ingeniería Mecánica, la Ingeniería Electrónica y los Sistemas Computacionales, su propósito es crear, mejorar, armonizar o perfeccionar productos o procesos[7].

2.1.2 Robots Móviles

Existen muchos casos en los que es necesario usar un robot móvil. En los sistemas de manufactura flexible (FMS), además de crear máquinas flexibles para el ensamble, el maquinado, etc., es igualmente importante que exista un medio flexible de transporte entre los distintos procesos de producción. El equipo fijo, como los rodillos, bandas y bandas transportadoras elevadas, es inflexible y cambiarlo puede resultar en extremo costoso si llegara a ser necesario cambiar la distribución de las máquinas y rutas de transporte.

Además de los FMS existen muchas otras aplicaciones potenciales para los robots móviles: como el robot bombero que puede llegar al núcleo de un incendio.

Métodos de soporte: ruedas y rieles

La rueda está bien establecida como método de soporte para los vehículos. Disipa poca energía, particularmente en el caso de las ferrovías en donde la rueda y el riel son fuertes y lisos. En los sistemas robotizados, en los que las rutas están programadas con anterioridad y los pisos son parejos, es muy común el uso de llantas duras. Con dirección en todas las ruedas se provee un máximo de maniobrabilidad, con lo que se permite al robot moverse en ángulos rectos con respecto a una ruta dada y girar sobre su centro de gravedad. Esto es particularmente útil para el desplazamiento en corredores y otras áreas restringidas.

Al programar un vehículo robot se utiliza un transductor, generalmente un codificador óptico, para contar el número de rotaciones de la rueda. Por supuesto, cuando no existe deslizamiento, lo anterior suministra una medida de la posición del vehículo. Sin embargo, si ocurre un deslizamiento, se pierde la correspondencia entre la rotación de la rueda y la posición del vehículo y resulta necesario incluir una forma de acción correctiva. Esto puede lograrse usando un giroscopio para detectar la dirección del movimiento del vehículo. En la figura 2.1 se muestra una rueda subiendo un escalón.

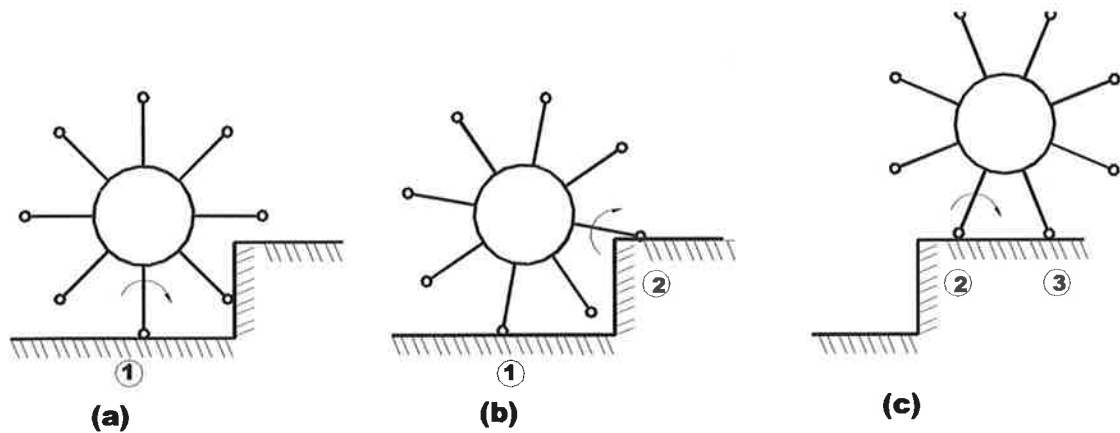


Figura 2.1 *La rueda sin rín al subir un escalón.*

Máquinas caminantes

Las máquinas caminantes ofrecen varias ventajas sobre los vehículos comunes con ruedas. Mientras que las ruedas deben restringirse a superficies uniformes comparativamente planas, los vehículos con patas pueden atravesar terrenos dispares con un mínimo de balanceos y sacudidas. Son capaces de maniobrar en espacios confinados dentro de edificios y de subir escaleras y transportar cargas pesadas sobre terrenos suaves.

Es por ello que actualmente existe gran interés en el diseño de máquinas caminantes para ayudar a personas incapacitadas y para destinarlas a usos industriales, agrícolas y militares. Su complejidad mecánica y sus problemas de control han restringido hasta ahora los desarrollos al laboratorio pero, a pesar de ello, son muchas las ventajas que pueden obtenerse de ellas y la investigación continúa. En la figura 2.2 se muestra robot con patas[6].

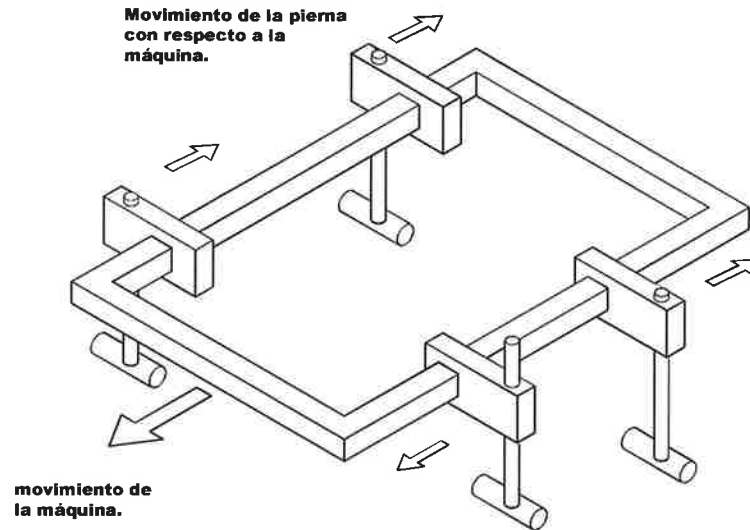


Figura 2.2 *Actuadores independientes para la propulsión y el Levantamiento de las patas.*

2.1.3 Tipos de robots

La maquinaria para la automatización rígida dio paso al robot con el desarrollo de controladores rápidos, basados en el microprocesador, así como en el empleo de servos en lazo cerrado, que permiten establecer con exactitud la posición real de los elementos del robot y establecer el error con la posición deseada. Esta evolución ha dado origen a una serie de tipos de robots, que se citan a continuación:

Robots manipuladores

Son sistemas mecánicos multifuncionales, con un sistema de control, que permite gobernar el movimiento de sus elementos de los siguientes modos:

- Manual.- Cuando el operario controla directamente la tarea del manipulador.
- De secuencia fija.- Cuando se repite, de forma invariable, el proceso de trabajo preparado previamente.
- De secuencia variable.- Se pueden alterar algunas características de los ciclos de trabajo.

Existen muchas operaciones básicas que pueden ser realizadas óptimamente mediante manipuladores, por lo que se debe considerar seriamente el empleo de estos dispositivos, cuando las funciones de trabajo sean sencillas y repetidas.

Robots de repetición o aprendizaje

Son manipuladores que se limitan a repetir una secuencia de movimientos, previamente ejecutada por un operador humano, haciendo uso de un controlador manual o un dispositivo auxiliar. En este tipo de robots, el operario es la fase de enseñanza, se vale de un dispositivo portátil de programación con diversos pulsadores o teclas, o bien, de joystics.

Los robots de aprendizaje son los más conocidos hoy día, en los ambientes industriales y el tipo de programación que incorporan.

Robots con control por computadora

Son manipuladores o sistemas mecánicos multifuncionales, controlados por una computadora, que habitualmente suele ser una microcomputadora. En este tipo de robots, el programador no necesita mover realmente el elemento de la máquina, cuando la prepara para realizar un trabajo. El control por computador dispone de un lenguaje específico, compuesto por varias instrucciones adaptadas al robot, con las que se puede confeccionar un programa de aplicación utilizando sólo la terminal de la computadora, no el brazo. A esta programación se le denomina textual y se crea “ off-line ”, es decir, sin la intervención del manipulador.

Las grandes ventajas que ofrecen este tipo de robots, hacen que se vayan imponiendo en el mercado rápidamente, lo que exige la preparación urgente de personal cualificado, capaz de desarrollar programas similares a los de tipo informático.

Robots inteligentes

Son similares a los del grupo anterior, pero, además, son capaces de relacionarse con el mundo que les rodea, a través de sensores y tomar decisiones en tiempo real (autoprogramables). De momento, son muy poco conocidos en el mercado y se hallan en fase experimental, en la que se esfuerzan los grupos investigadores por potenciarles y hacerles más efectivos. La visión

artificial, el sonido de máquina y la inteligencia artificial, son las ciencias que más se están estudiando para su aplicación en los robots inteligentes.

micro-robots

Con fines educacionales, de entrenamiento o investigación, existen numerosos robots de formación o micro-robots, a un precio muy accesible y cuya estructura y funcionamiento son similares a los de aplicación industrial. La definición del “ robot industrial “ y consecuentemente su clasificación, variará con el progreso y lo que hoy se considera un robot avanzado, pasará a ser un recuerdo histórico, como ha sucedido con las computadoras[6].

Nano-robots

El término “nanotecnología” es utilizado para describir cualquier cosa medida en una escala nano (1/ 1000 micras). La meta y las promesas fabulosas de esta ciencia emergente fueron por primera vez descritas en el libro de K. Eric Drexler “ Engines of creation” en 1986[8]. Su aplicación es en varios campos como: medicina, sistemas de potencia y seguridad nacional. En 1999, el profesor del laboratorio de Seeman, anunció el desarrollo de una máquina construida por moléculas de DNA, la cual tiene 2 brazos rígidos que pueden ser rotados desde posiciones fijas añadiendo una solución química[9].

2.1.4 Estructura de un robot industrial

La idea común que se tiene de un robot industrial, es la de un brazo mecánico articulado, pero este elemento no es más que una parte de lo que se considera técnicamente como un sistema de robot industrial.

Un sistema de robot industrial consta de las siguientes partes:

1. Manipulador o sistema móvil.
2. Controlador.
3. Elementos motrices o actuadores.
4. Elemento terminal, herramienta o aprehensor.
5. Sensores de información en los robots inteligentes.

Por último, al robot industrial se le engloba dentro de la arquitectura de la célula de fabricación flexible, en la que se combinan dispositivos que configuran un núcleo básico de producción.

2.1.5 Características más relevantes propias de los robots

Grados de libertad

Son los movimientos independientes que se precisan para determinar la posición y la orientación del elemento terminal del manipulador.

En la figura 2.3 se muestra el esquema de un robot de estructura moderna con 6 grados de libertad; tres de ellos determinan la posición en el espacio del aprehensor (q_1 , q_2 y q_3) y los otros tres, la orientación del mismo (q_4 , q_5 y q_6).

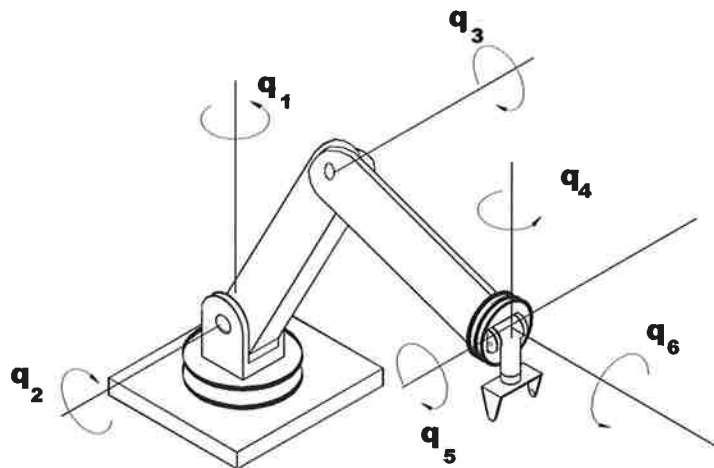


Figura 2.3 Robot con 6 grados de libertad.

Un mayor número de grados de libertad conlleva un aumento de la flexibilidad en el posicionamiento del elemento terminal. Aunque la mayoría de las aplicaciones industriales requieren 6 grados de libertad, como las de soldadura y mecanizado, otras más complejas exigen un número mayor, tal es el caso en las labores de montaje.

Tareas más sencillas y con movimientos más limitados como la pintura y paletización suelen exigir 4 ó 5 grados de libertad.

Zonas de trabajo y dimensiones del manipulador

Las dimensiones de los elementos del manipulador, junto a los grados de libertad, definen la zona de trabajo del robot, característica fundamental en las fases de selección del modelo adecuado.

La zona de trabajo se subdivide en áreas diferenciadas entre sí, por la accesibilidad específica del elemento terminal en cada una de ellas. Por ejemplo, la zona en que se puede orientar horizontalmente el elemento terminal (aprehensor o herramienta), es diferente a la que permite orientarlo verticalmente o con el determinado ángulo de inclinación.

Capacidad de carga

El peso, en kilogramos, que puede transportar la garra del manipulador recibe el nombre de capacidad de carga. Este dato lo proporcionan los fabricantes, incluyendo el peso de la propia garra.

La capacidad de carga es una de las características que más se tienen en cuenta en la selección del robot y ésta depende de la tarea a la cual esté designado. En soldadura y mecanizado es común precisar capacidades de carga superiores a los 50 Kilogramos.

Precisión en la repetibilidad

Esta magnitud establece el grado de exactitud en la repetición de los movimientos de un manipulador al realizar una tarea programada.

Dependiendo del trabajo que se deba realizar, la precisión en la repetibilidad de los movimientos es mayor o menor. Así por ejemplo, en labores de ensamblaje de piezas, dicha

característica ha de ser menor que ± 0.1 mm. En soldadura, pintura y manipulación de piezas, la precisión en la repetibilidad está comprendida entre 1 y 3 mm y en las operaciones de mecanizado, la precisión ha de ser menor de 1 mm.

Velocidad

En muchas ocasiones, una velocidad de trabajo elevada aumenta extraordinariamente el rendimiento del robot, por lo que esta magnitud se valora considerablemente en la elección del mismo.

Coordenadas de los movimientos

La estructura del manipulador y la relación entre sus elementos proporcionan una configuración mecánica, que da origen al establecimiento de los parámetros que hay que conocer para definir la posición y orientación del elemento terminal. Fundamentalmente, existen cuatro estructuras clásicas en los manipuladores, que se relacionan con los correspondientes modelos de coordenadas en el espacio, como el que se muestra en la figura 2.3, éstos se citan a continuación:

- Cartesianas.
- Cilíndricas.
- Polares.
- Angulares.

Tipo de actuadores

Los elementos motrices que generan el movimiento de las articulaciones pueden ser, según la energía que consuman, de tipo hidráulico, neumático o eléctrico.

Los actuadores de tipo hidráulico se destinan a tareas que requieren una gran potencia y grandes capacidades de carga. Dado el tipo de energía que emplean, se construyen con mecánica de precisión y su costo es elevado.

La energía neumática dota a sus actuadores de una gran velocidad de respuesta, junto a un bajo costo, pero su empleo está siendo sustituido por elementos eléctricos.

Los motores eléctricos que cubren la gama de media y baja potencia, acaparan el campo de la robótica, por su gran precisión en el control de su movimiento y las ventajas inherentes a la energía eléctrica que consumen.

Programabilidad

La inclusión del controlador de tipo microelectrónico en los robots industriales, permite la programación del robot de muy diversas formas.

En general, los modernos sistemas de robots admiten la programación manual, mediante una pistola o módulo de programación y la programación textual, usando un terminal pantalla-teclado y un lenguaje.

La programación gestual y textual, controlan diversos aspectos del funcionamiento del manipulador:

- Control de la velocidad y la aceleración.
- Saltos de programa condicionales.
- Temporizaciones y pausas.
- Edición, modificación, depuración y ampliación de programas.
- Funciones de seguridad.
- Funciones de sincronización con otras máquinas.
- Uso de lenguajes específicos de robótica.

Capacidad de memoria

El tipo de memoria utilizado y su capacidad de almacenamiento se encuentran íntimamente relacionados con la programabilidad y el control del robot.

Las condiciones hostiles en las que se suele desarrollar el trabajo del robot, favorecen el empleo de sistemas de memoria de tecnología avanzada, como el de las burbujas magnéticas[6].

2.2 SENSORES

En los últimos años se ha efectuado un considerable aumento en el desarrollo de sistemas de visión aplicados a sistemas robóticos. Los beneficios típicamente asociados a la instalación de robots industriales son: mejoramiento en la eficacia, alta calidad, reducción en la fuerza de trabajo, así como también una gran eficiencia, confiabilidad y reducción de gastos. Mejoras a los diseños permiten la habilidad de ejecutar tareas que los seres humanos somos incapaces de realizar, y además permiten el desplazamiento de seres humanos de sitios peligrosos o tareas indignantes.

El concepto de movilidad siempre ha sugerido un rango de aplicaciones más allá del típico taller de trabajo o fábrica, en donde robots puedan correr libremente. Estos sistemas se han utilizado para combatir incendios, manejo de municiones, transporte de materiales, patrullaje de almacenes o áreas de almacenamiento, por nombrar algunas. Muchos de los prototipos que surgieron se encontraron con dificultades inesperadas, principalmente debido a la falta de una base tecnológica que los apoyara.

Mientras que en esta área existe un número de dificultades tecnológicas que han impedido su progreso, las 3 que han tenido un mayor impacto son: 1) *recursos computacionales*, 2) *comunicaciones* y 3) *sensores*.

Las dos primeras áreas han sido enfocadas debido a razones comerciales con progresos notables. En menos de 15 años se han hecho la transición de computadoras basadas en sistemas 6502 o Z-80, hasta sistemas basados en Pentium casi alcanzando una frecuencia de trabajo de 3 Giga Hertz. La reciente popularidad en computadoras personales ha provisto de un ímpetu extra, con un especial énfasis la reducción del consumo de potencia y un mayor tiempo de vida en las baterías. LAN's inalámbricas y tecnologías regadas en el espectro electromagnético también han visto un gran avance.

La tecnología de sensores sin embargo, se muestra como un reto técnico que enfrentan los diseñadores hoy en día, esto debido principalmente a la falta de altos volúmenes de aplicaciones. Mientras que ha habido avances en sectores como automatización y manufactura, ha caído lejos de la explosión que se ha visto en sectores como el de la computación y las comunicaciones.

Además, los sensores enfrentan problemas que son debidos a la naturaleza misma de los sistemas móviles. Mientras que sistemas de control de procesos usados en procesos de manufactura repetitivos confían en sensores cuidadosamente colocados para evitar una mínima interferencia, y a la vez, explotando de la mejor manera su espacio a sensar, los sensores aplicados a robots móviles deben detectar objetos al azar desde distintos ángulos de incidencia, esto sin poder controlar condiciones del medio ambiente. Entonces, la información de la posición relativa de objetos, su orientación y naturaleza dentro del campo de sensado del robot, se convierte en algo difícil de proporcionarle. Sin embargo, con el advenimiento de sistemas automotrices inteligentes, es decir una red de automóviles en carreteras que tengan conocimiento de los demás autos, el desarrollo de los sensores para robots móviles se verá beneficiado de la inevitable investigación de los sensores que apoyarían esta tecnología, tales como el sensor LÁSER de bajo costo.

2.2.1 Consideraciones de diseño

Los problemas a los que se enfrenta el desarrollo de robots móviles se originan directamente de la necesidad de interactuar con objetos físicos y seres vivos en el ambiente a trabajar. Las consideraciones generales que estos sensores deben proveer son las siguientes:

- *Campo de vista* — Debe de ser lo suficientemente ancho y profundo para la aplicación que lo necesita.
- *Capacidad de rango* — Los rangos mínimos y máximos de detección, deben de ser los apropiados para el uso que se le pretende dar al sensor.

- *Precisión y resolución* — Ambos deben de mantenerse dentro de las necesidades de la tarea a realizar.
- *Habilidad para detectar todos los objetos en el medio ambiente de trabajo* — Ciertos objetos pueden absorber energía emitida, mientras que ciertas superficies de nuestros objetivos pueden ser especulares; condiciones en el medio ambiente y el ruido electromagnético pueden interferir con el proceso de sensado.
- *Operación en tiempo real* — La frecuencia con la que se consulta a los sensores debe dar información rápidamente y en tiempo real relativo a la velocidad de avance de la plataforma del robot móvil.
- *Información concisa y fácil de interpretar* — El formato de salida del sensor debe de ser realista, desde el punto de vista del procesamiento de la información, esto es, mucha información puede ser tan innecesaria como insuficiente, a veces es requerido un cierto grado de preprocesamiento y análisis para poder entregar una salida sólo cuando se requiera ejecutar una acción.
- *Redundancia* — Los sistemas deben ser capaces de soportar la pérdida de un elemento sensor sin incapacitarse por ello, una capacidad multimodal es deseable para asegurar la detección de todos los obstáculos, así como también para incrementar el nivel de confiabilidad de la salida.
- *Simplicidad* — El sistema debe de ser de bajo costo y modular para permitir un fácil mantenimiento e instalación de futuras mejoras.
- *Consumo de energía* — Los requerimientos de potencia deben ser mínimos ya que nuestro diseño debe mantenerse dentro de los recursos limitados a bordo del vehículo móvil.
- *Tamaño* — El tamaño físico y el peso del sistema deben de ser prácticos, considerando el vehículo que se quiere diseñar.

Como ingenieros interesados en el campo de la robótica, encontramos difícil el crear nuevos sensores, sin embargo estamos conscientes de que nuestros robots tienen una conexión con el mundo bastante pobre. Muchos sensores nos permiten programar a nuestros robots de forma tal que pueden manejar más situaciones, en las cuales se desempeñan mejor que sin la ayuda de estos sensores. La investigación y desarrollo de nuevos sensores no es una tarea sencilla,

sin embargo es fundamental conocer las características de los nuevos tipos de sensores que hay en el mercado, a fin de valorar su adecuada aplicación en sistemas robóticos.

2.2.2 Sensores de velocidad y desplazamiento rotacional

Dado que la mayoría de los robots móviles cuentan con alguna variación en su locomoción, un entendimiento básico de los sensores que cuantifican con precisión la posición angular y la velocidad, es un requisito para su diseño. Entre los sensores que hoy en día se utilizan para velocidad y desplazamiento rotacional encontramos:

- Encoders de brocha.
- Potenciómetros.
- Síncronos.
- Resolvers.
- Encoders ópticos.
- Encoders magnéticos.
- Encoders inductivos.
- Encoders capacitivos.

Debido a la naturaleza del proyecto y las variables del robot, se describirán únicamente los potenciómetros y sensores ópticos. Para los lectores interesados en conocer la información sobre los demás sensores, se recomienda consultar la referencia [10].

Los potenciómetros son utilizados comúnmente como sensores de desplazamiento rotacional de bajo costo, presentando una precisión de rango medio, en sistemas sin una rotación continua.

El principio de operación consiste en un divisor de voltaje con resistencia variable, en donde la derivación central es una leva mecánicamente acoplada que se mueve a lo largo del elemento resistivo en conjunto con la flecha de rotación. Una variedad de relaciones definen la resistencia en función del desplazamiento de la leva, son utilizados para la fabricación de potenciómetros (como audio, logarítmico, sinusoidal, lineal) siendo los potenciómetros lineales los más utilizados para los esquemas de aplicaciones para sensado de posicionamiento.

Las principales ventajas de los sensores tipo potenciómetro es que son de muy bajo costo y fáciles de instrumentar.

Los potenciómetros compuestos por varios alambres pueden mostrar cierto error de cuantificación, esto debido a que la resistencia no varía continuamente, sino que aumenta por pasos como resultado del diseño de alambrado. Además, la derivación central puede cortocircuitar alambres adyacentes al pasar entre ellos, cambiando el valor de la resistencia en ese instante. Es por ello que los mejores potenciómetros para emplearse son aquellos con resistencia continua fabricados con una película de carbón, un plástico conductor o una mezcla metal-cerámica conocida como *cermet*.

Además de que la carga ejerce cierta fricción a la flecha, la desventaja fundamental de los potenciómetros es su relativamente baja confiabilidad debido a la suciedad que se acumula en sus terminales y el inevitable desgaste en la leva de la derivación central, lo que ocasiona una operación errática y ruido. Otros errores comunes en el uso de los potenciómetros son ocasionados por la elasticidad en el anillo de sujeción, si no está directamente acoplado a la flecha, y el ruido introducido en la línea de la salida analógica. Por estas razones, el uso de los potenciómetros como dispositivos sensores de rotación han sido desplazados en los últimos años por encoders ópticos más robustos y versátiles.

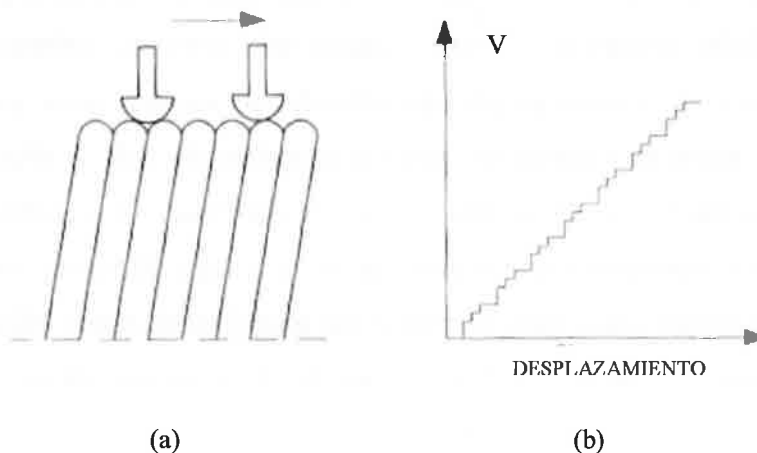


Figura 2.4 a) Alambre y leva del potenciómetro, b) Respuesta del potenciómetro

Encoders ópticos

Los primeros encoders ópticos fueron desarrollados a mediados de los 40's por una empresa de pianos, la cual los llamaba "ruedas de tonos" que permitían a los órganos eléctricos imitar a otros instrumentos musicales. Hoy en día estos sensores llevan integrados una versión miniaturizada de un sensor de proximidad en modo opuesto. Un haz de luz enfocado a un fotodetector es periódicamente interrumpido por un patrón codificado opaco/transparente colocado en un disco intermedio el cual está pegado a la flecha que nos interesa. El disco rotatorio es fabricado normalmente con cromo o vidrio, metales o plásticos especiales. Emparentados con los más complejos resolvers de corriente alterna el esquema de codificación de los encoders y su inherente salida digital, nos proporcionan un paquete confiable, de bajo costo y con muy buena inmunidad al ruido.

Encoders ópticos de incremento

El más simple tipo de encoders ópticos es un encoder-tacómetro de un solo canal, el cual es básicamente un cortador de luz mecánico que produce un número de pulsos por cada revolución de la flecha. Mientras mayor sea el número de pulsos, más grande es la resolución, así como también el costo del sensor. Estos dispositivos relativamente baratos son recomendados como sensores de retroalimentación en sistemas de control de velocidad en el rango de media a alta, sin embargo a bajas velocidades presenta ruido y problemas de estabilidad debido a la cuantificación de los errores. El compromiso consiste en conseguir resolución por tiempo de actualización: una mejor respuesta transitoria requiere de un tiempo de actualización veloz, la cual para un conteo de línea dado vemos reducido el número de pulsos del encoder por intervalo de muestreo. Una limitante común para un encoder de incremento de 2 pulgadas de diámetro son 2540 líneas.

Además de inestabilidad a bajas velocidades, estos encoders son incapaces de determinar la dirección de la rotación y por lo tanto no pueden ser utilizados como sensores de posición.

Encoders de incrementales en cuadratura de fase sobrepasan estos problemas al añadir un segundo canal y desplazando los sensores de tal manera que el tren de pulsos se encuentre 90 grados fuera de fase uno del otro como se muestra en la figura 2.5. Esta técnica permite a la electrónica encargada de decodificar qué canal aventaja al otro y por lo tanto determinar la dirección de la rotación, con el beneficio adicional de incrementar la resolución.

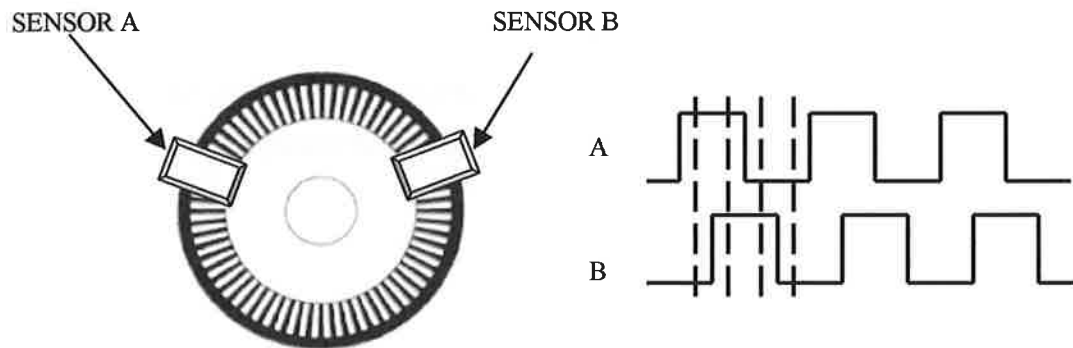


Figura 2.5 *Relación entre fases observada entre los trenes de pulsos de los canales A y B en un encoder óptico.*

La naturaleza de incrementar en las señales de salida de cuadratura de fase, nos dice que cualquier resolución de la posición angular puede solamente ser relativa a una referencia específica, no así a una referencia absoluta. Para lograr establecer esta referencia se hace de diversas maneras. Para aplicaciones que involucran una rotación continua de 360 grados, muchos encoders deben de incorporar un tercer canal que funciona como una salida índice, la cual se incrementa cada vez que la flecha cumplió una revolución.

Posiciones intermedias de la flecha son especificadas por la cantidad de veces que el encoder cuenta hacia arriba o abajo desde la posición índice conocida. Una desventaja de esta aproximación es que toda la información de la posición relativa se pierde cuando ocurre una interrupción en el suministro de energía.

En el caso que tengamos una rotación limitada, interruptores eléctricos de final de posición pueden servir como una posición conocida de inicio. Para mejorar la repetibilidad en esta acción de conocer la posición de inicio, por lo general se realizan dos pasos.

El eje rota a una velocidad reducida en la dirección apropiada hasta alcanzar el mecanismo de detención, en ese instante se invierte el sentido y se rota hasta alcanzar un intervalo corto predefinido. La flecha se gira lentamente hasta alcanzar nuevamente el mecanismo de detención a una velocidad reducida desde el punto de salida predeterminado, eliminando de esta manera cualquier variación que pudiera influenciar en encontrar el fin de carrera de la flecha. Este sistema de dos pasos es común observarlo en la inicialización de las impresoras de matriz de punto.

Encoders Absolutos

Encoders absolutos son utilizados comúnmente para aplicaciones rotacionales de baja velocidad que requieren de información de su posición cuando una potencial pérdida de la referencia debido a una falla de energía no puede ser tolerada. Elementos detectores discretos en un arreglo fotovoltaico son alineados individualmente, creando un efecto de un encoder conmutado de escobillas sin contacto. La asignación de una línea específica para cada bit de resolución resulta en discos de gran tamaño. Con un decremento consecuente en la tolerancia a vibraciones y golpes. Una regla de oro en el diseño de encoders es que cada nueva línea del encoder dobla la resolución pero cuadruplica su costo.

En lugar de los diseños de paquetes de bits seriales o incrementales, los encoders absolutos proveen un patrón único de código para cada posición cuantificada de la flecha. Los esquemas de código más comunes son el código Gray, el binario natural, y BCD (binary-coded decimal). El código Gray se caracteriza en que solamente un bit cambia a la vez, una ventaja que elimina ambigüedades causadas por tolerancias de componentes mecánicos o eléctricos.

Los encoders absolutos son preferentemente empleados para rotaciones lentas tales como codificación del ángulo de dirección. Aunque no son tan robustos como los resolvers para aplicaciones en altas temperaturas y continuas vibraciones, es posible operarlos hasta 125 °C con una resolución media con la ayuda de discos de Mylar.

2.2.3 Sensores de proximidad ultrasónicos

Todos los sensores de proximidad anteriores confiaban en la presencia del objetivo para que cambiara alguna de sus características eléctricas asociadas al propio circuito en sí. Los sensores de proximidad ultrasónicos son un ejemplo de sensores reflectivos que responden a cambios en la cantidad de energía emitida que regresa a un detector después de haber interactuado con el objetivo de interés.

Los sistemas típicos consisten en dos transductores (uno para transmitir y otro para captar la energía que regresa), aunque la relativa baja velocidad del sonido hace posible operar en un modo tranceptor con un solo transductor. El transmisor emite una onda longitudinal en la región ultrasónica del espectro acústico (típicamente de 20 a 200 KHz), sobre los límites naturales del oído humano. La respuesta del receptor es una función de la amplitud de la energía regresada, y opuesta al tiempo transcurrido antes de la detección de un eco.

Los sensores de proximidad ultrasónicos son útiles en distancia de varios pies para detectar la mayoría de los objetos, ya sean líquidos o sólidos. Si un objeto entra dentro del campo acústico, la energía se refleja al receptor. Igual ocurre con cualquier sensor reflectivo, el rango de detección máximo no sólo depende de los niveles de potencia, sino también del área del objetivo, su reflectibilidad y directibilidad.

Una vez que la señal recibida alcanza un umbral preestablecido, la salida del sensor cambia de estado, indicando detección del objeto[10].

2.3 MICROCONTROLADORES PIC

El término PIC o Interface Controladora de Periféricos, ha sido acuñado por la compañía Microchip Technology para identificar a sus microcontroladores. Estos dispositivos han sido fenomenalmente exitosos en el mercado. Este producto está dirigido hacia el mercado de 8 bits, el más grande segmento de microcontroladores en el mercado. Por muchos años el mercado había sido dominado por microcontroladores de 4 bits; esto es, por microcontroladores que manejan 4 bits de información a un mismo tiempo. Más recientemente. Los microcontroladores de 8 bits han venido a dominar un mercado dividido entre decenas de fabricantes. Motorola ha sido el líder en el mercado de 8 bits con sus familias de MC68HC05 y MC68HC11.

Los microcontroladores poseen un arreglo de accesorios que los hacen atractivos para un amplio rango de aplicaciones. En este texto, el objetivo será la familia PIC16C7X. La familia PIC16C7X ha sido mejorada con capacidad de conversión de analógico a digital. Más aún, estos microcontroladores están disponibles con un rango de capacidades, encapsulados en empaques dual-en-línea DIP y de montaje superficial, variando el número de terminales desde 18 hasta 44 pines.

Entre los factores que influyen en la amplia popularidad de estos circuitos integrados encontramos los siguientes:

- ◆ *Velocidad*: Cuando se opera al máximo del ciclo de reloj, un PIC puede ejecutar la mayoría de sus instrucciones en 0.2 μ s(200 ns) o 5 instrucciones por microsegundo.
- ◆ *Conjunto de instrucciones simples*: El conjunto de instrucciones consiste en tan sólo 35 de ellas.
- ◆ *Integración de características operacionales*: El *power on reset* y la *brown-out protection* aseguran que el chip opere sólo cuando la fuente de alimentación se encuentre dentro de las especificaciones. Un *watchdog timer* reinicializa el PIC si alguna vez sufre un malfuncionamiento o si se desvía de su operación regular. Cualquiera de las cuatro

opciones de reloj, además de una variedad de opciones de bajo consumo de potencia, son incluidas.

- ◆ *Opciones de programación de temporizadores:* Tres temporizadores versátiles pueden caracterizar entradas, control de salidas, y proveer un cronometraje interno para la ejecución de programas.
- ◆ *Control de interrupciones:* Hasta 12 fuentes de interrupciones diferentes que pueden ser controladas cuando el CPU atiende a cada una de estas fuentes.
- ◆ *Potente control de pines de salida:* Una simple instrucción puede seleccionar y conducir un sólo pin o patilla de salida en alto o bajo lógicos en un tiempo de ejecución de 0.2 μ s. El pin puede soportar hasta una carga de 25mA.
- ◆ *Puerto de expansión de entradas/salidas (e/s):* La interface periférica serial puede hacer uso de registros de corrimiento de 16 pines para añadir cualquier número de pines de e/s.
- ◆ *Programación serial vía dos pines:* La simplicidad de la circuitería para la programación de estos chips, hace posible el conseguir programadores a un costo menor a los \$100 USD.
- ◆ *Opciones EPROM/OTP/ROM:* La etapa de desarrollo se apoya con el uso de circuitos con memoria borrable por luz ultravioleta y eléctricamente programables (EPROM). Para pequeños y grandes volúmenes de producción se recomienda el uso de partes de bajo costo y una sola vez programables (OTP). Para verdaderamente largos volúmenes de producción, Microchip se encarga de la producción de partes ROM de muy bajo costo.

2.3.1 Descripción general

La familia PIC16C7X es una familia de microcontroladores de 8 bits de bajo costo, alto rendimiento, tecnología CMOS, totalmente estático, con convertidores Analógico a Digital (A/D) integrados.

Todos los microcontroladores PIC16/17 emplean una avanzada arquitectura RISC(Reduced Instruction Set Computer). La familia PIC16C7X ha mejorado sus características internas, su stack de 8 niveles de profundidad, y múltiples fuentes de interrupción internas y externas. La

separación de los buses de datos e instrucciones en la arquitectura Harvard permiten una instrucción cuya palabra es de 14 bits de ancho además de un dato de 8 bits de ancho. Las dos etapas de las líneas de conexión de instrucciones permiten ejecutarse todas las instrucciones en un sólo ciclo, a excepción de saltos de programa, que requieren de dos ciclos. Un total de 35 instrucciones (conjunto reducido de instrucciones) están disponibles, además de un amplio conjunto de registros.

2.3.2 Arquitectura e interconexión de la familia pic16c7x

La familia PIC16C7X es una familia de microcontroladores CMOS de 8 bits de bajo costo y alto desempeño con convertidores A/D.

La familia PIC16C7X emplea una avanzada arquitectura RISC que permite que estos microcontroladores alcancen una compresión del código de programa dos veces mayor, y una velocidad 4 veces más alta que otros microcontroladores de 8 bits en su clase.

La familia PIC16C7X utiliza una arquitectura Harvard modificada para alcanzar una velocidad excepcionalmente alta de ejecución a una frecuencia de reloj dada. Las instrucciones son tomadas de la memoria del programa utilizando buses que son distintos a aquellos buses utilizados para acceder a las variables en la memoria de datos, puertos de e/s, etc. Cada instrucción está codificada como una única palabra de 14 bits y colocada sobre un bus de 14 bits de ancho. Consecuentemente, conforme las instrucciones son tomadas de sucesivas locaciones en la memoria del programa, una nueva instrucción es procesada cada ciclo.

El CPU ejecuta cada instrucción durante el ciclo siguiente a su procesamiento, la circuitería interna se encarga del procesamiento y la ejecución de instrucciones de tal manera que es capaz de ejecutar una instrucción por ciclo de reloj. Puede apreciarse en la Figura 2.6 en la que aunque cada instrucción requiere de dos ciclos (un ciclo de procesamiento seguido por un ciclo de ejecución), el sobreposicionamiento del ciclo de ejecución de una instrucción con el

ciclo de procesamiento de la siguiente instrucción conlleva a la ejecución de una nueva instrucción cada ciclo.

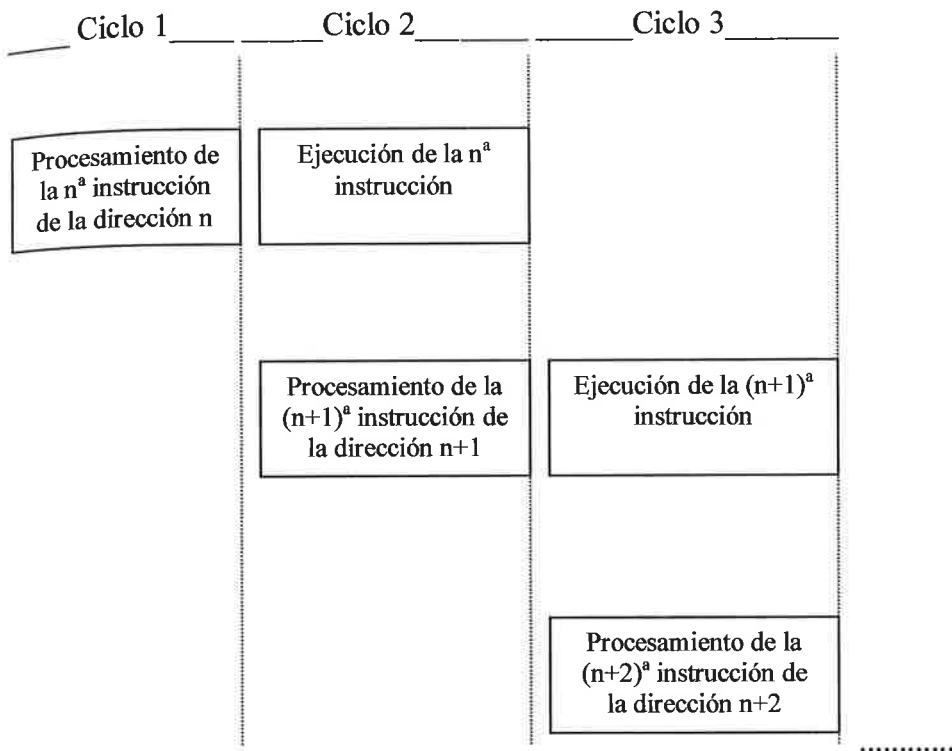


Figura 2.6 *Procesamiento y ejecución de las instrucciones por ciclo de reloj.*

Esta progresión se rompe cada vez que una instrucción incluye una operación de salto. En este caso, una instrucción es procesada durante el segundo ciclo, cuyo trabajo es cambiar el flujo normal de procesamiento de instrucciones de una localidad de memoria a otra. Como podemos observar en la figura 2.7, durante el inicio del tercer ciclo, el CPU procesa la siguiente instrucción en el flujo normal de la memoria de programa, y al final del mismo ciclo, el CPU ejecuta la instrucción de salto de programa al cambiar el contador de programa a una nueva dirección, en lugar de incrementarlo en 1. En el cuarto ciclo, mientras procesa la instrucción contenida en la nueva dirección, ignora la última instrucción procesada.

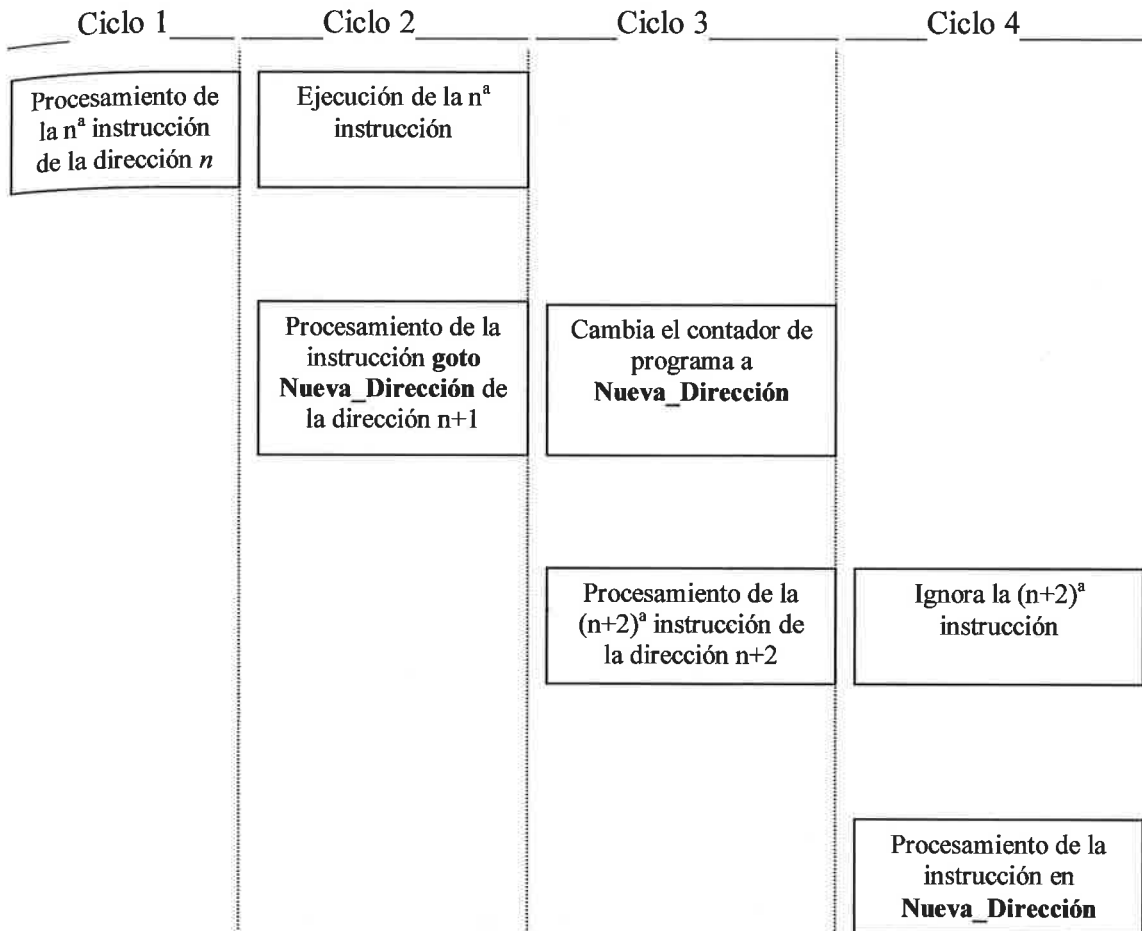


Figura 2.7 *Introducción de un ciclo extra para una instrucción goto.*

2.3.3 Consideraciones de la memoria del programa

Cada miembro de la familia de microcontroladores PIC16C7X analizado en este trabajo, contiene 2K o 4K direcciones de memoria de programa. Como se muestra en la figura 2.8, una memoria de programa de 2K requiere solamente de un contador de programa de 11 bits para poder acceder a cualquier dirección. Una memoria de programa de 4K de direcciones requiere de un contador de programa de 12 bits.

Esta familia de PIC's cuenta con un contador de programa de 13 bits, lo que permite extender la memoria de programa hasta 8K direcciones, sin necesidad de realizar cambios a la estructura del CPU.

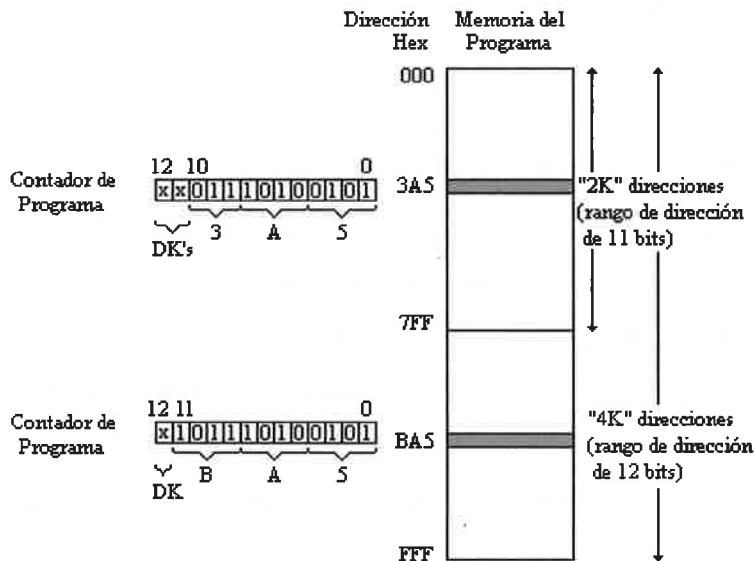


Figura 2.8 Papel que desempeña el contador de programa al acceder a la memoria del programa.

Dos direcciones en la memoria del programa son tratadas de una manera especial por el CPU. Cuando el CPU comienza desde su estado inicial(Reset), su contador de programa es automáticamente llevado a cero. Esta dirección (00_{16}) se utiliza para ejecutar una instrucción de salto hacia la localidad de memoria designada para el inicio del programa. La segunda

dirección especial es la localizada en la dirección 04_{16} ; esta es automáticamente cargada en el contador de programa cada vez que una interrupción ocurre. Al igual que la dirección del vector de reset, esta dirección del vector de interrupción se utiliza para proporcionar la dirección de la subrutina de servicio para interrupciones.

El programa principal comienza su ejecución en el momento en que el PIC sale de un estado de reinicio. Continúa corriendo hasta que una de las fuentes de interrupción del PIC solicita servicio. En ese punto la ejecución del programa principal es temporalmente suspendida. La CPU comienza la ejecución de la rutina de servicio de interrupción al cargar automáticamente el contador de programa con la dirección 04_{16} .

Al terminar la rutina de servicio de interrupciones, la CPU regresa al punto en el que salió del programa principal. La redacción del programa es de algún modo simplificada si el código del programa para tablas, el programa principal y las subrutinas, y la rutina de servicio de interrupción son menores a 2k palabras de instrucciones.

Esta restricción de 2k instrucciones en la longitud del código se refiere en la figura 2.8. Es el resultado de tener una instrucción call de una palabra. Como se muestra en la figura 2.9, los bits 10....0 de la instrucción call son cargados en el contador del programa. Al mismo tiempo, los bits 3 y 4 del registro especial llamado PCLATH (“program counter latch”) son cargados en los 12 y 11 del contador de programa.

Mientras la memoria del programa sea menor a 2048(2k) palabras, bits 4 y 3 del PCLATH pueden ser inicializados en 00_{16} y luego los 11 bits de dirección en la instrucción call identificarán únicamente la dirección de inicio de cualquier subrutina localizada arriba de la dirección $07FF_{16}$. Para programas más grandes que este, es necesario asegurarse que el bit 3 del PCLATH está configurado apropiadamente cada que una subrutina es llamada. La instrucción goto, que también tiene un campo de 11 bits de dirección, requiere de un idéntico tratamiento.

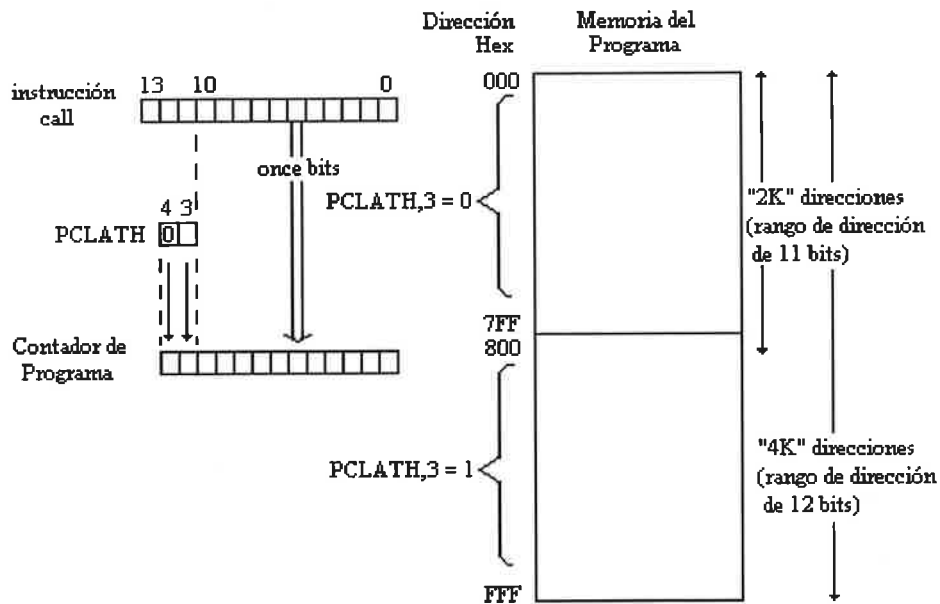


Figura 2.9 Direccionamiento utilizado por llamadas a subrutinas.

2.3.4 Modos de direccionamiento y estructura de los registros

El término archivo de registro es una terminología de los PIC utilizada para denotar la localidad a la que una instrucción puede acceder vía una dirección. El archivo de registro consiste en dos componentes:

- Archivos de registro de propósito general.
- Archivos de registro de propósito especial.

Los archivos de registro de propósito general es otra forma de nombrar a las localidades de memoria RAM del microcontrolador. Los datos pueden ser escritos a cualquiera de las localidades de 8 bits, ser actualizadas, y consultadas cualquier número de ocasiones.

Los registros de propósito especial contienen puertos de entrada y salida, similar a los registros de control utilizados para establecer el tipo de entrada o salida de un pin de un puerto del microcontrolador. Estos archivos de registro de propósito especial contienen registros que tienen a los bits de control para seleccionar el modo de operación de los recursos del circuito integrado, tales como son los temporizadores, los puertos seriales, y los convertidores analógico/digitales. Estos registro contienen los bits de control para seleccionar el modo de operación de los recursos del microcontrolador, así como habilitarlos o deshabilitarlos. Estos registros contienen bits de *estado*, los cuales denotan el estado de alguno de los recursos del microcontrolador, (por ejemplo: transferencia de datos serial completa). La estructura de los archivos de registro se ilustra en la Figura 2.10, con direcciones que abarcan el rango de 8 bits desde 00_{16} hasta FF_{16} . Debido a que el modo de direccionamiento directo empleado por varias de las instrucciones utiliza únicamente 7 bits de la instrucción para identificar la dirección de un archivo de registro, el octavo bit de la dirección del archivo de registro debe venir de un bit de selección de banco de registros, RP0. La figura 2.10 ilustra que los archivos de registro se encuentran divididos en estos dos bancos, definidos por el modo de direccionamiento directo.

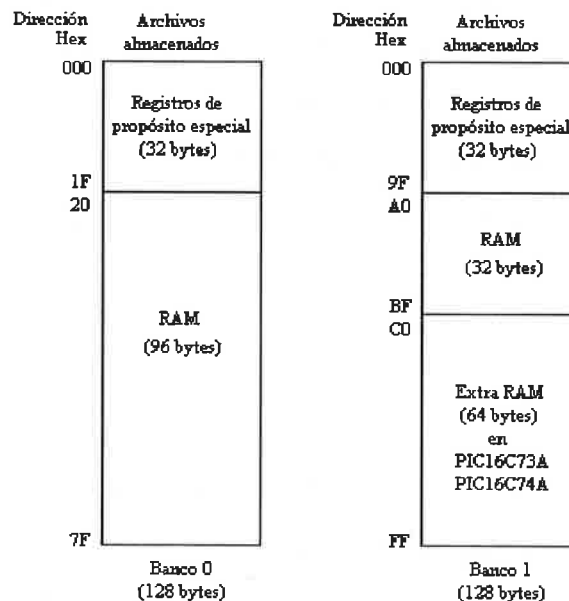


Figura 2.10 Estructura de los archivos de registro.

Toda instrucción que pueda utilizar el direccionamiento directo puede emplear como alternativa, el modo de direccionamiento indirecto. En este modo alternativo, la dirección completa del registro de 8 bits es escrita en el registro FSR, un registro de propósito especial que sirve como un apuntador de dirección para cualquier dirección. Un subsecuente acceso a INDF dará acceso al archivo de registro utilizando el contenido de FSR como apuntador hacia la localidad deseada del operando.

Para utilizar el direccionamiento indirecto, la dirección deseada de 8 bits debe de ser escrita en FSR utilizando direccionamiento directo. Para hacer esto posible, sin importar el bit de selección de banco de registros, RP0; el registro FSR es accesado en cualquiera de las direcciones 04_{16} o 84_{16} . Si observamos de cerca este registro en su representación binaria:

$$04_{16} = 00000100_2$$

$$84_{16} = 10000100_2$$

podemos apreciar que difieren únicamente por el bit controlado por RP0 durante el direccionamiento directo. Consecuentemente, al escribir hacia las direcciones 04_{16} o 84_{16} se estará escribiendo hacia el registro FSR. Varios registros claves tienen esta ventaja de ser accesibles en cualquiera de las dos direcciones al diferir por solo el bit 7, lo que permite que estos registros claves sean accesados con direccionamiento directo sin importar el valor del bit RP0.

Registros del CPU

Los registros del CPU son utilizados en la ejecución del conjunto de instrucciones. Anteriormente se discutió el direccionamiento directo, siendo que algunos registros de propósito especial han sido designados con dos direcciones, de tal modo que puedan ser accesados con direccionamiento directo, independientemente del valor de bit RP0. Esto se ha hecho con los siguientes registros claves: W, STATUS, FSR, INDF, PCLATH y PCL.

W, el registro de trabajo (*work*), es utilizado por varias instrucciones como la fuente de un operando. También sirve como el destino del resultado de la ejecución de una instrucción. Tiene una función similar a la del *acumulador* en muchos otros microcontroladores.

El registro de STATUS contiene varias banderas relacionadas con operaciones lógicas, aritméticas y de movimiento de bits. Entre estas banderas encontramos la de acarreo C (*carry*). Cuando dos operandos de 8 bits son sumados, un resultado de 9 bits puede ocurrir, por lo que el noveno bit se almacena en esta bandera. De igual manera, cuando se realiza una sustracción, el bit C se limpia a 0 si ocurre un *préstamo*, y se levanta a 1 si no es así.

La bandera de acarreo digital DC (*digital carry*) es el resultado del acarreo del bit 3 hacia la posición del bit 4. Este acarreo digital es útil cuando se suman números codificados en BCD (binary coded decimal) en los cuales cada byte de 8 bits contiene dos dígitos de 4 bits en BCD.

La bandera de cero Z (*zero*) es afectada por la ejecución de bastantes (pero no todas) instrucciones aritméticas y lógicas. Antes de preguntar por el estado de la bandera después de una operación, se debe de estar seguro que la instrucción corresponde a aquellas que afectan el bit Z.

El bit de selección de registro RP0 (*register page 0*), utilizado en conjunto con el modo de direccionamiento directo, ha sido previamente discutido. El banco 0 puede ser seleccionado por direccionamiento directo al limpiar el bit RP0, y cambiarse al banco de registros 1 al poner en alto el mismo bit.

Los bits 6 y 7 de este registro no son utilizados en esta familia de microcontroladores; estos bits se inician en 0 cada que el microcontrolador sale de un estado de reset.

El contador de programa está respaldado por un *stack* o pila de 8 niveles de profundidad. Cuando una interrupción tiene lugar, el contador de programa es automáticamente cargado encima del stack. Dado que los programas para los microcontroladores PIC están diseñados para que hacer caso omiso de otras interrupciones cuando se está atendiendo a la primera, sólo

un nivel del *stack* es necesario para recuperar la última dirección del programa antes de que la interrupción ocurriera. Los otros 7 niveles restantes pueden ser divididos en subrutinas anidadas dentro del servicio de interrupción y subrutinas anidadas dentro del programa principal.

Siempre que una subrutina es llamada mediante la instrucción *call*, cuya dirección la nombraremos *n*; la dirección a la cual se tiene que regresar (*n+1*) es empujada hacia el *stack*. Esto puede ser repetido varias veces si esta subrutina llama a otra subrutina, la cual llama a otra, la cual llama a su vez a otra, y así sucesivamente. Siempre que una subrutina finaliza, la dirección de regreso es extraída del *stack* y cargada en el contador de programa.

Es importante resaltar que si la más profunda de las subrutinas anidadas sobrepasa un nivel de 8 de profundidad, esta se perderá cuando se empuje una nueva dirección de regreso antes de vaciar al menos un nivel, lo que ocasionaría que el programa extraviara su flujo normal, ocasionando un caos en el desempeño del programa.

La última característica del CPU a analizar es la que desempeñan los registros PCL y PCLATH. PCL es de hecho el registro que agrupa los 8 bits menos significativos del contador de programa de 13 bits. Este registro puede ser leído y escrito al igual que los otros registros. El otro registro, PCLATH contiene los otros 5 bits restantes para el contador de programa, sin embargo, no es posible escribirle datos a este registro, sino que el contador de programa lo utiliza como apuntador de los bits más significativos cada vez que el contador de programa se actualiza con el valor de PCL, es decir, cuando escribimos al PCL el contador de programa toma los 8 bits menos significativos del PCL y los otros 5 bits, del PCLATH[11].

2.4 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)

Los Ensayos No Destructivos (END) forman parte del campo de la ciencia que se dedica a la examinación de un objeto con una tecnología tal que no afecte el uso futuro del objeto. Los END aseguran un excelente balance entre control de calidad y efectividad de costos.

El término END se orienta principalmente a:

- Detectar imperfecciones internas o externas en la superficie de un material.
- Determinar la estructura, composición o propiedades de los materiales.
- Medir características geométricas de piezas.

Los END son utilizados en casi todas las fases del diseño y manufactura de un producto, incluyendo selección de materiales, investigación y desarrollo, ensamble, control de calidad y mantenimiento.

Entre las diferentes ramas que comprenden los ensayos no destructivos encontramos las técnicas de Ultrasonido, Visual, Radiografía, Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas, Corrientes Eddy y Termografía. Para este proyecto se utilizó el método de ultrasonido ya es la apropiada para la medición de espesores de pared de los tanques de almacenamiento, por tal razón sólo se tratará este método.

2.4.1 Principios acústicos de ultrasonido

Las ondas más utilizadas en ultrasonido son:

- Longitudinales o de compresión.
- Transversales o de corte.
- Superficiales o de Rayleigh.

Propagación de ondas

Las ondas ultrasónicas (y otros tipos de ondas de sonido) se propagan de alguna manera en cualquier medio elástico. Cuando las partículas atómicas o moleculares de un elástico se desplazan de su posición de equilibrio por alguna fuerza aplicada, actúan esfuerzos internos

para restaurar las partículas a sus posiciones originales. Debido a las fuerzas interatómicas que existen entre las partículas adyacentes en el material, el desplazamiento en un punto induce otros desplazamientos a puntos vecinos y así sucesivamente, provocando una onda de esfuerzo-deformación. El desplazamiento real que ocurre en un material por las ondas difiere en sólidos, líquidos y gases debido a las grandes diferencias en la distancia media entre las partículas en estas formas de materia.

Los conceptos de longitud de onda, ciclo, frecuencia, amplitud, velocidad y atenuación descritos anteriormente se aplican en general a las ondas ultrasónicas y otros tipos de ondas de sonido. La relación de velocidad acústica (velocidad de propagación), frecuencia y longitud de onda está dada por:

$$V = f_r \lambda \quad (2.1)$$

donde:

V = velocidad (m/s).

f_r = frecuencia (hertz o ciclos/s).

λ = longitud de onda (m/ciclo).

En la base del modo de desplazamiento de la partícula, como se ha mencionado anteriormente, las ondas ultrasónicas se clasifican como: ondas longitudinales, transversales y superficiales.

Ondas longitudinales

Algunas veces llamadas también ondas de compresión, son el tipo de ondas ultrasónicas de mayor uso en la inspección de materiales. Este tipo de ondas se caracteriza porque los desplazamientos de las partículas son en dirección paralela a la propagación. Las ondas longitudinales crean zonas de compresión y de dilatación, separadas entre sí media longitud de onda en el material en que se propagan. Las longitudes ultrasónicas y la oscilación correspondiente de la partícula se muestran esquemáticamente en la figura 2.11. En esta figura se muestra la amplitud del desplazamiento de la partícula contra la distancia de viaje de la onda, junto con el valle de la onda de compresión. La distancia desde una cresta a la siguiente es la longitud de la onda. El eje vertical en la figura puede representar presión en

lugar del desplazamiento de la partícula. El eje horizontal puede representar tiempo en lugar de la distancia recorrida ya que la rapidez del sonido es constante en un material dado debido a que esta relación se usa en las mediciones hechas por ensayo ultrasónico. Las ondas longitudinales ultrasónicas se propagan fácilmente en líquidos, gases, así como en sólidos elásticos. Las trayectorias medias de las moléculas de los líquidos y gases a presión de 1 atm son tan pequeñas que las ondas longitudinales pueden propagarse simplemente por la colisión elástica de una molécula con la siguiente.

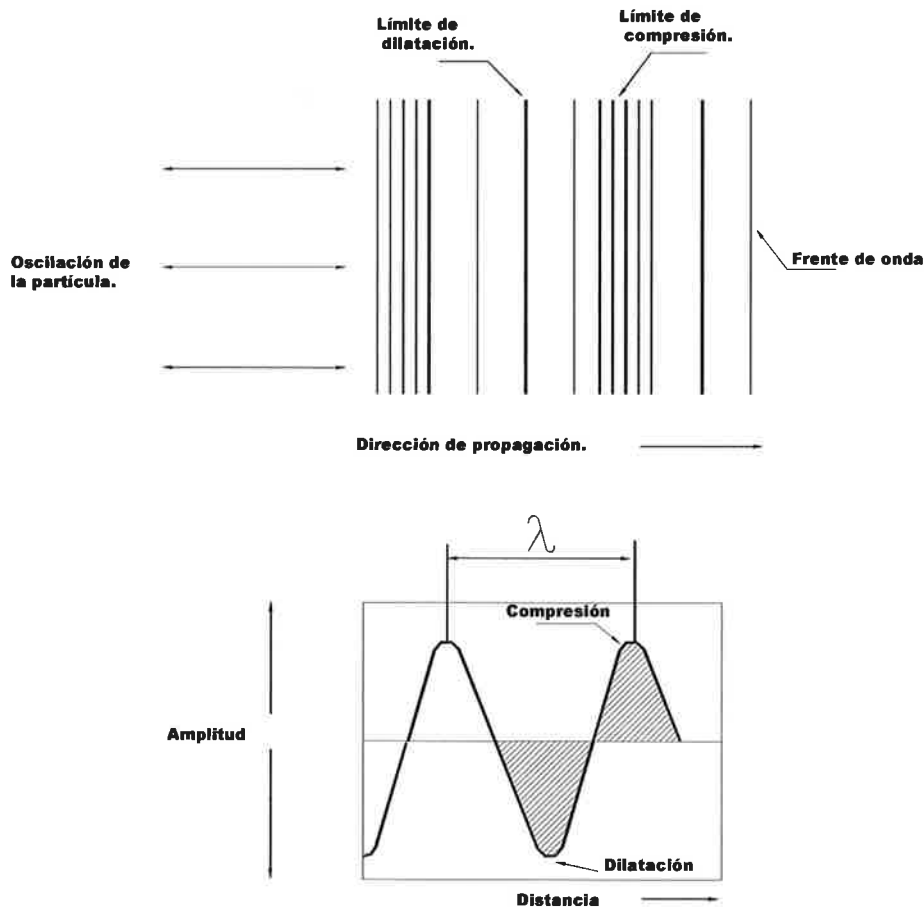


Figura 2.11 Onda longitudinal.

La velocidad de las ondas longitudinales es de aproximadamente 5920 m/s en el acero, 1480 m/s en agua y 330 m/s en el aire[12].

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL Y METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta el diseño conceptual del robot, además de los requerimientos primordiales para su debido funcionamiento y las diferentes opciones de diseño encontradas.

3.1 DESCRIPCIÓN

El robot ha de ser capaz de medir los espesores de los tanques de almacenamiento, moviéndose de forma vertical u horizontal ya sea autónomamente o bien teleoperado remotamente sobre las paredes de dichos tanques. Los datos obtenidos deberán ser almacenados para su futuro análisis en una computadora, en el caso de que algún o algunos datos analizados indiquen una reducción de espesor fuera de los límites establecidos, dichos datos deben poder ser relocalizados físicamente en el tanque.

3.2 REQUERIMIENTOS

El robot está compuesto por dos partes medulares: el sistema electrónico y el mecánico, estos dos sistemas deben interactuar entre sí para lograr que el robot cumpla con su tarea fundamental: *la medición de espesores de la pared de tanques de almacenamiento.*

Los requerimientos para un adecuado funcionamiento son:

- a) Debe adherirse y tener la suficiente fuerza para subir por las paredes de los tanques de almacenamiento (tracción).
- b) El robot debe ser confiable para tomar las lecturas. Debe permanecer estático al momento de tomar las lecturas.
- c) La velocidad de desplazamiento debe llegar hasta 9 cm/seg.

- d) Capacidad para moverse automáticamente formando un cuadrículado a través de las paredes de los tanques.
- e) Movimiento en línea recta vertical u horizontal sin desviaciones, para asegurar una adecuada identificación de los puntos almacenados.
- f) Almacenamiento automático de los espesores tomados de las placas de los tanques comunicándose con el equipo ultrasónico 36DL PLUS.
- g) El transductor ultrasónico para la medición de espesores así como la interface acústica (acoplante) deben ser colocados automáticamente.
- h) Posibilidad de ser operado remotamente.
- i) Se debe reducir al mínimo el número de cables conectados al robot para reducir el peso al mínimo.
- j) El ruido eléctrico y electromagnético que pueda afectar al funcionamiento del robot debe ser minimizado al máximo.

3.3 DISEÑO PRELIMINAR

A continuación se describen las soluciones que se dieron para cumplir con los requerimientos. En la siguiente figura se muestra el diseño preliminar del robot.

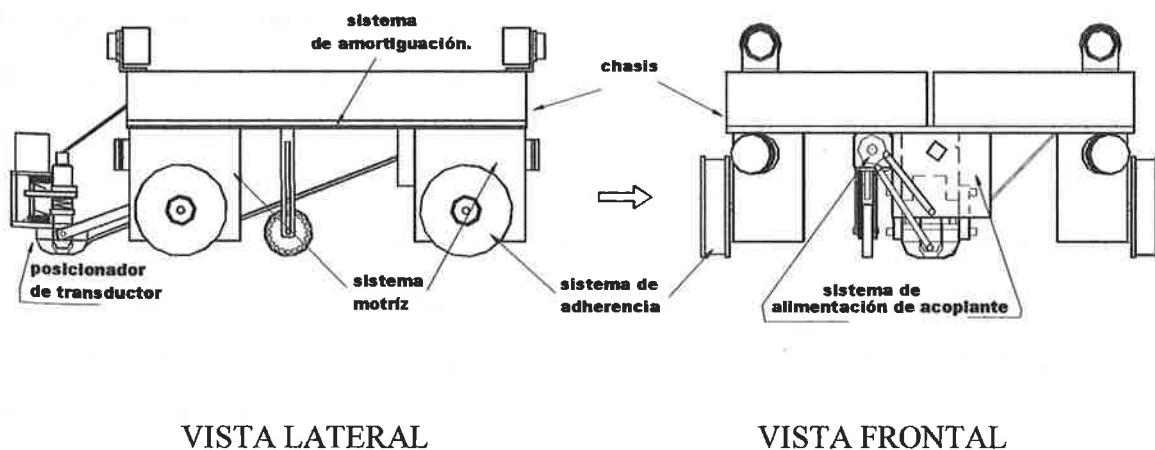


Figura 3.1 *Diseño preliminar del robot.*

3.3.1 Selección del sistema de adherencia

El problema inicial para el desarrollo del robot, fue buscar la forma más eficiente para lograr que el robot escale el tanque. Como los tanques de almacenamiento son de metal ferroso, las alternativas consideradas de sujeción consideradas fueron las siguientes:

- a) Sujeción con electroimanes.
- b) Sujeción con imanes permanentes.
- c) Sujeción con ventosas.

a) Sujeción con electroimanes. Este sistema consiste en fabricar las ruedas del robot en base a electroimanes, desarrollando ruedas bobinadas, con el fin de generar magnetismo que adhiera al robot con las placas de los tanques. Los principales problemas son los siguientes:

- El tamaño de las ruedas debe ser muy grande para generar el magnetismo necesario para lograr que el robot se adhiera al tanque y no se resbale o desprenda.
- La energía eléctrica necesaria para mantenerlos siempre accionados, obliga a utilizar cables de calibres bajos haciéndolos muy pesados.

Como ventajas podemos anotar que se obtiene un control del magnetismo.

b) Sujeción con imanes permanentes. Consiste en utilizar imanes naturales redondos con el fin de hacer las ruedas del robot magnéticas:

- Es un sistema económico.
- No requieren energía eléctrica para su funcionamiento. Por lo que respecta a la energía, es un ahorro considerable para el funcionamiento del robot y por otro lado otorga una disminución de peso considerable.

Su principal desventaja radica en que al ser imanes permanentes su campo magnético no puede ser controlado.

c) La alternativa de utilizar ventosas. El sistema de ventosas es la aplicación del vacío para hacer fuerza en este caso contra la placa del tanque utilizando una especie de chupones

unidos a delgadas mangueras por donde se succiona aire formando el vacío. Esta opción se eliminó por el problema que representa producir el vacío para que el robot se adhiriera al tanque, pero más aún es el problema de que éstas se tapan muy fácilmente con pequeñas partículas y en tanques con oxido o alguna otra impureza su uso se vería restringido. Bajo esta idea las ventosas podrían ser utilizadas en tanques de materiales como el acero inoxidable, pero una de las principales enmiendas de este proyecto es la inspección de tanques de materiales ferrosos, por tal motivo esta alternativa fue descartada.

Después del análisis realizado se decidió utilizar la opción del inciso b, debido a las ventajas presentadas y su relativamente fácil implementación.

3.3.2 Sistema de tracción y adherencia

El primer punto a evaluar fue el sistema de adherencia. Este sistema es considerado el más importante, ya que de los resultados obtenidos depende el éxito de la fabricación del robot.

sistema de adherencia

La evaluación es muy simple, se construyó un modelo de madera con 4 imanes permanentes. El modelo se coloca en placa ferromagnética y por medio de un dinamómetro se determinaron los valores de adherencia y resistencia al deslizamiento.

La fuerza de adhesión se define como la fuerza máxima que soporta el robot antes de desprenderse de la superficie adherida.

La resistencia al deslizamiento se define como la fuerza máxima que soporta el robot antes de deslizarse sobre la superficie adherida, en la Figura 3.2 se muestra la prueba para cálculo de la fuerza de adherencia.

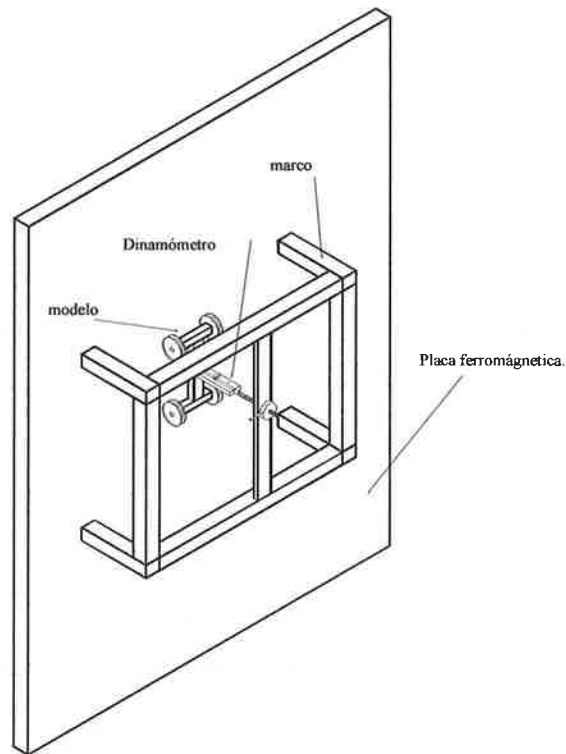


Figura 3.2 Prueba de fuerza de adherencia para un modelo de 4 ruedas.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Fuerza de adhesión: 16 Kg.

Resistencia al deslizamiento: 12 Kg.

Como fuerza se obtuvo aplicando la tensión en el centroide del modelo, la fuerza promedio de adherencia y resistencia al deslizamiento por rueda es de 4 y 3 Kg respectivamente.

Determinación del número de ruedas del robot

Una vez calculados los parámetros anteriores, se puede calcular el número de ruedas necesario para que el robot trabaje eficientemente. Antes de calcular el número de ruedas es necesario conocer el peso del robot.

Los pesos de las partes 1,2,5,10 que se indican a continuación, son de partes que ya se tienen en existencia, de las restantes se elaboraron prototipos aproximados al robot conceptualizado. En la siguiente Tabla 3.1 se muestran los pesos estimados del robot.

Pieza	Descripción	Cantida d	Peso (gr)	Peso total (gr)
1	Ruedas	4	436	1744
2	Cajas de transmisión	4	358	1432
3	Compartimento tarjeta digital y pilas	2	190	380
4	Compartimento tarjeta potencia y control remoto	2	210	420
5	Bomba de agua	1	250	250
6	Contenedor de agua	1	420	420
7	Soporte para sistema transductor	1	150	150
8	Sistema transductor	1	275	275
9	Sensores	4	160	640
10	Cables y plataforma	1	1750	1750
			TOTAL	7461

Tabla 3.1 Pesos estimados.

Como el peso estimado es de 7.5 Kg aproximadamente y la fuerza de adherencia obtenida en el laboratorio es de 16 Kg, no existe problema en este punto. La resistencia al deslizamiento es de 12 Kg, como puede observarse, también este valor es mayor al peso del robot. Como se pretende fabricar un robot que sea lo más ligero posible, analizaremos la alternativa de reducir el número de ruedas y al mismo tiempo valoraremos qué pasa si durante el trayecto una o varias ruedas se despegan.

En la Tabla 3.2 se analiza el número de ruedas y las fuerzas de adherencia y deslizamiento individual y en conjunto que producen las ruedas magnéticas.

No. ruedas	Fuerza promedio por rueda (Kg)		Fuerza total (Kg)	
	Adherencia	Deslizamiento	Adherencia	Deslizamiento
1	4	3	4	3
2	4	3	8	6
3	4	3	12	9
4	4	3	16	12

Tabla 3.2 *Análisis de la fuerza de adherencia y resistencia al deslizamiento para un robot con diferente número de ruedas.*

Como puede observarse fácilmente en la tabla 3.2, para el número de ruedas 1 y 2 los valores de resistencia al deslizamiento son menores que el peso del robot por lo tanto quedan descartados. En la fuerza de adherencia la rueda dos apenas rebasa el valor del peso del robot, por lo que estas alternativas no son factibles.

Para un robot de 3 ruedas que trabaje en un tanque, al brincar la soldadura una rueda puede quedar volando y por lo tanto quedaría en 2 ruedas y como se analizó anteriormente, este robot tendría mucha inestabilidad. Para el robot de 4 ruedas, si se llegará a despegar una rueda, los valores de adherencia y deslizamiento son mayores que los del peso del robot, por lo que esta alternativa es la más indicada.

Existe la posibilidad de que 2 ruedas se despeguen, por lo que es necesario trabajar en un sistema de amortiguación que elimine o minimice al máximo esta posibilidad. Si incrementamos el número de ruedas la confiabilidad del robot se incrementa, pero se vuelve más complejo tanto mecánicamente como electrónicamente. Como conclusión se decidió fabricar el robot de 4 ruedas.

Cálculo de velocidad de salida de ruedas

Para especificar la velocidad de desplazamiento a la cual debe moverse el robot se revisaron las especificaciones de los productos comerciales que realizan una actividad similar al robot. Se definió una velocidad de diseño de 7 cm/s y un diámetro de rueda de 75 mm.

Para calcular la velocidad angular en [rpm] de salida necesaria para cumplir la especificación se utilizó la siguiente fórmula:

$$V = \omega r$$

3.1

Donde:

V = velocidad lineal de la rueda.

ω = número de revoluciones rueda (rpm).

r = radio de la rueda.

Se calcula la velocidad angular máxima de salida requerida (rpm):

$$7 \text{ cm/seg} = \omega (7.5 \text{ cm})$$

$$\omega = (7 \times 60) / (7.5 \times \pi) \text{ rpm} = 17.825 \text{ rpm.}$$

La rueda debe girar a una velocidad angular de 17.825 rpm para que se desplace a la velocidad requerida.

3.3.3 Operación autónoma

Para que el robot pueda realizar tareas de forma autónoma, debe poseer un sistema de mando que controle a todos los actuadores necesarios para que el robot funcione, los principales actuadores del equipo son motores de corriente directa alimentados por 12 volts, estos se usan dentro del sistema de tracción, sistema de posicionamiento del transductor e inyección del acoplante. Además debe tener sensores de distancia recorrida (encoders), sensores para la detección del inicio y fin del tanque o algún obstáculo, controlar el avance lineal sin desviaciones del robot, leer algunos sensores de limite, un indicador de nivel de batería baja, comunicación con una computadora para la configuración del mismo, comunicación con el equipo de ultrasonido, en fin, son muchas y variadas las tareas que el robot debe realizar y que exigen una electrónica compleja. Por tal motivo se decidió el uso de un microcontrolador, el problema fue que al hacer un análisis de todas las tareas un único microcontrolador resultó insuficiente, así que se tuvo que echar mano de dos microcontroladores en un arreglo maestro esclavo, pensando en lograr una alta eficiencia en el control del robot completo. Así, mientras un microcontrolador se encuentra realizando alguna tarea, el segundo realiza al mismo tiempo otra. Y por otro lado se tienen suficientes entradas y salidas disponibles para el control de actuadores y lectura de sensores.

3.3.4 Toma de datos a distancias programadas y movimiento lineal

Como ya se discutió la medición de espesores de las placas de los tanques debe seguir un método estandarizado bajo normas, como el discutido en el capítulo 2 sección 2, este método implica la toma de espesores a una distancia determinada de 9 pulgadas como mínimo entre medición y medición, esto para prevenir algún riesgo de accidente y evitar una mala inspección del tanque. Por tal motivo, el robot debe sujetarse a este método y para lograrlo tiene que contar con un sensor de distancia y un procedimiento de inspección; se ha escogido un encoder para medir la distancia recorrida, el cual tendrá que ir tocando o rodando sobre la superficie del tanque y no instalado en alguno de los motores de tracción. Esto se debe a que las ruedas del robot pueden patinar sobre todo, en los cordones de

soldadura y al ir el encoder en contacto con la superficie del tanque, aunque alguna de las ruedas del robot patinase el encoder no sufriría alteración, ya que si las ruedas patinan el robot simplemente deja de avanzar pero no retrocede. El encoder deberá ser leído por alguno de los microcontroladores y su información ser procesada para realizar la medición de espesores, de esta forma el robot podrá avanzar distancias programadas de 9 pulgadas o diferentes (según las necesidades del cliente) para medir el espesor de la placa del tanque en puntos específicos y así formar un cuadrículado o mallado del tanque.

Cuando el robot asciende o desciende por las paredes de los contenedores debe guardar una linealidad, es decir no debe perder la vertical, del mismo modo se debe tomar el movimiento horizontal. Debido a que los motores y reductores a pesar de estar fabricados bajo el mismo proceso y tener las mismas características nunca funcionarán exactamente igual, se tiene una diferencia de velocidades mínima entre cada una de las ruedas, lo que provocaría que el robot perdiera la vertical inclinándose o desviándose hacia un lado u otro, por tal motivo es necesario contar con un sistema que garantice que el robot siempre seguirá una línea recta, esto se justifica si advertimos que cualquier medición realizada debe poder ser identificada físicamente sobre el tanque, entonces si el robot no guarda la vertical la línea del cuadrículado que empezó en la parte inferior del tanque habrá terminado desfasada en la parte superior perdiéndose de esta forma la referencia. Para lograr que el robot siga fielmente una línea recta se diseñó un medidor de inclinación que será tratado en el capítulo 4.

3.3.5 Medición de espesores y almacenamiento de los datos

El sistema cuenta con un medidor ultrasónico de espesores portátil que es el PANAMETRICS 36DL PLUS, el cual está constituido por una pantalla de video integral que permite verificar en forma simultánea la forma de onda y las lecturas de espesor, cuenta con una memoria de datos interna con características avanzadas que permiten el almacenamiento de 95,000 mediciones de espesores, esta es una de las razones por las cuales este equipo fue elegido ya que el robot puede inspeccionar tanques de grandes

dimensiones comunicándose con el equipo ultrasónico y almacenando cada medición tomada. El equipo además puede ser conectado vía RSS-232 con una PC o una computadora portátil, y mediante software basado en Windows se obtiene la capacidad de crear bases de datos, cargar y descargar archivos de datos, Exportar datos en Excel, Lotus, Word, así como generar reportes con información completa de datos como mínimo espesor, máximo espesor, mediana, rango, media y desviación estándar. De esta manera se puede contar con un *registro permanente* de las mediciones de los espesores en forma digitalizada en los tanques atmosféricos y recipientes a presión.

3.3.6 Sistema de posicionamiento del transductor ultrasónico para la medición de espesores

La técnica utilizada para la medición de los espesores es la de contacto, en la que el transductor debe estar en contacto directo con la superficie de la pared de los tanques, sin embargo debe haber una interface acústica más comúnmente llamada acoplante. De esta forma el transductor debe posicionarse sobre la placa del tanque una vez que el robot ha medido la distancia con respecto a la medición anterior y se haya detenido, por supuesto que antes de que el transductor toque la placa el acoplante debe ser inyectado, se ha utilizado agua como acoplante debido a su fácil manejo y economía.

3.3.7 Operación remota

Además de que el robot opere de forma autónoma debe existir la posibilidad de ser operado de forma remota por el usuario, dado que en la práctica es posible que haya un interés de inspeccionar o bien reinspeccionar algún o algunos puntos, ya sea para verificar si la medición de alguno de los espesores tomados en el modo automático fue correcta o simplemente porque cierta zona del tanque parezca tener problemas.

El peso es una de las limitantes en este proyecto debido a que el robot debe vencer la fuerza de gravedad además de su propio peso, por tal motivo los cables que vayan del piso hacia el robot deben ser por ende mínimos, con fundamento en esto último se ha decidido incorporar un control remoto por radio frecuencia que permita minimizar los cables que el robot deberá jalar que prácticamente serán sólo los de alimentación porque las funciones de subir, bajar, girar a la izquierda o derecha, toma de lectura del espesor, estarán dadas por el control remoto inalámbrico.

3.4 METODOLOGÍA

En esta sección se verá la forma en la que se decidió trabajar para lograr el desarrollo del proyecto, explicando en que consiste cada punto de la metodología seleccionada. Aunque se presenta también la secuencia del desarrollo mecánico, el diseño y manufactura de éste, quedan fuera de los alcances de este trabajo.

Finalmente se muestra una tabla que indica la secuencia seguida para cada punto de la metodología.

Diseño conceptual

En este punto se llevará a cabo en primera instancia la conceptualización del sistema mecatrónico la investigación bibliográfica y recopilación de datos de campo, lluvia de ideas (todas las maneras en las que se podrían realizar cada etapa del proyecto), posteriormente la selección de los métodos posibles y por último la selección del método adecuado para cada sistema mecánico, electrónico o de software, por calificación.

Diseño mecánico de detalle

Análisis de la información, cálculo y dimensionamiento de mecanismos y partes del robot.

Selección de elementos y materiales

Deberán seleccionarse los elementos que constituirán los mecanismos del robot.

Cálculo del peso total de la unidad

Se hará el cálculo del peso total del robot considerando los mecanismos y materiales que constituyen la unidad.

Cálculo de la fuerza magnética necesaria para que el robot se sustente sobre el tanque

Se realizarán los cálculos del magnetismo necesarios para que el robot se adhiera al tanque y pueda tener movimiento vertical y horizontal sobre el mismo.

Desarrollo de un prototipo simple

Se ha considerado un prototipo básico para probar principalmente la adherencia y movimiento del robot a la superficie del recipiente, el cual sólo considerará el peso y el magnetismo.

Pruebas de campo y mejoramiento

Con estas pruebas podrá ajustarse el diseño de detalle y se podrán tomar consideraciones para el diseño electrónico.

Análisis de la tecnología necesaria para la detección de inicio y fin de la pared del tanque

Aquí se realizarán estudios para determinar el método o los métodos que serán utilizados para la detección del inicio y fin vertical de las paredes de los tanques.

Diseño del circuito de control

Se realizará el análisis necesario para determinar los circuitos integrados así como el procesador o procesadores necesarios que conformarán el circuito de control.

Diseño del circuito de acoplamiento

En esta etapa se diseñarán los circuitos para el acondicionamiento y optoacoplamiento de las señales que provienen de la etapa de control hacia la etapa de potencia. Además se

diseñará el circuito de acondicionamiento para la comunicación del robot con el equipo de ultrasonido.

Diseño del circuito de potencia

Diseño de la etapa de potencia para dar movimiento a los motores eléctricos o actuadores.

Diseño del software para el procesador

El programa del procesador controlará completamente los movimientos y tareas del robot.

Fabricación de prototipo

Se fabricará el chasis, partes móviles, tarjetas electrónicas y circuitos eléctricos del robot.

Pruebas finales

Se harán las pruebas pertinentes para la posterior depuración de prototipo.

Depuración de detalles

Se efectuará la depuración final del prototipo. Así como de la ficha técnica.

Generación de ficha técnica

Se realizarán los planos de los diferentes mecanismos, estructura y partes del robot, así como todos los circuitos electrónicos y eléctricos, junto con los diagramas de flujo del software desarrollado. Se dará formato a los estudios realizados para la elaboración del proyecto.

3.4.2 Secuencia de actividades

A continuación se muestra una tabla donde se especifican las actividades realizadas con respecto al orden de desarrollo de cada actividad durante el proyecto con el tiempo de referencia dado en trimestres.

ACTIVIDAD	TRIM 1	TRIM 2	TRIM 3	TRIM 4	TRIM 5	TRIM 6
DISEÑO CONCEPTUAL						
DISEÑO MECÁNICO						
SELECCIÓN DE MATERIALES						
CALCULO DE PESO						
CALCULO DE FUERZAS MAGNÉTICAS						
DESARROLLO PROTOTIPO SIMPLE						
PRUEBAS Y MEJORAS						
DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL						
DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACOPLAMIENTO						
DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA						
DETECCIÓN RIBETE DEL TANQUE						
PROGRAMA DE CONTROL						
DEPURACIÓN DE DETALLES						
FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO						
PRUEBAS FINALES						
FICHA TÉCNICA						

Tabla 3.2 *Secuencia de actividades realizadas*

CAPITULO 4

DESARROLLO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El robot cuenta con un sistema electrónico que controla todos sus actuadores e interpreta las señales de sus sensores. Gracias a este sistema el robot puede moverse de forma programada y controlada y realizar tareas tales como el desplazarse por el tanque de almacenamiento tomando las mediciones a distancias programadas, detectar obstáculos, manipular el transductor ultrasónico, inyectar acoplante o ser operado remotamente. El sistema electrónico está conformado por 6 módulos principales:

- Etapa digital y acoplamiento.
- Comunicación serial.
- Etapa de Sensores.
- Etapa de Potencia.
- Operación remota.
- Programa de control.

Estas etapas serán presentadas a continuación, adicionalmente se verán las protecciones que fueron implantadas al sistema electrónico para que el robot tuviera un funcionamiento robusto. En la Figura 4.1 se muestra un diagrama a bloques del sistema eléctrico-electrónico del robot.

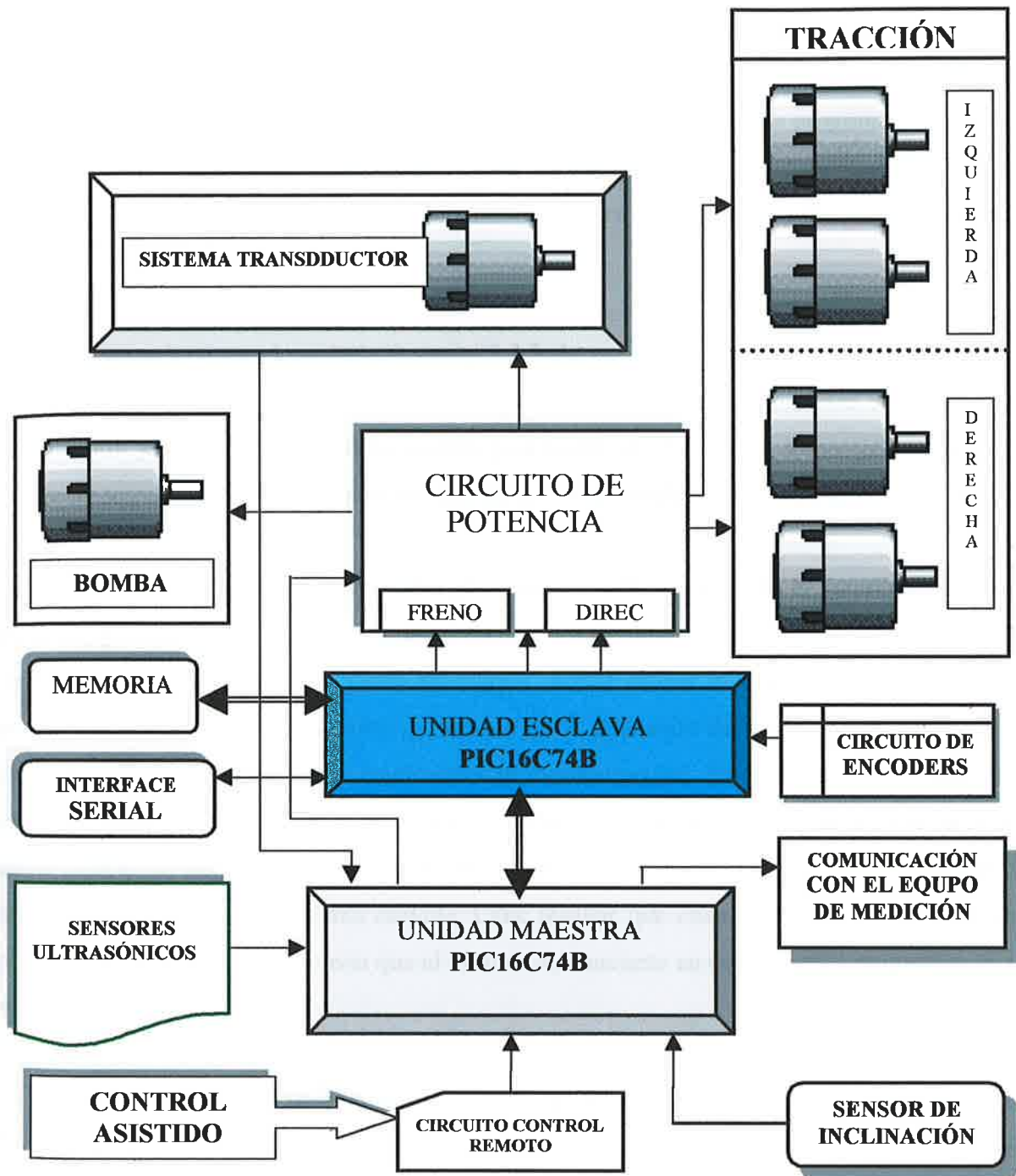


Figura 4.1 Sistema eléctrico-electrónico del robot

4.2 ETAPA DIGITAL Y DE ACOPLAMIENTO

En la etapa digital tenemos la tarjeta de control o mando, la parte medular de esta tarjeta se basa en 2 microcontroladores de 8 bits de Microchip, que contienen los programas de control de los subsistemas, así como la comunicación necesaria entre ellos para coordinar la operación del robot, con ellos se logra la operación autónoma obteniendo todas las funciones de trabajo que el robot llevará a cabo.

Como se mencionó en el capítulo 3 punto 3.3.3, la razón por la cual se decidió utilizar 2 microcontroladores es porque un sólo microcontrolador no es suficiente para la cantidad de información y señales de control necesarias para controlar el robot de inspección, así que se utiliza un segundo microcontrolador trabajando de forma paralela con el primero.

El primer microcontrolador se encarga de procesar información de la interface hombre-máquina, y de los sensores de proximidad encargados de proteger al robot de los obstáculos y de detectar el fin e inicio de la pared del tanque. A este primer microcontrolador se le llama *maestro* aunque en realidad existen momentos en la operación del robot donde actúa como *esclavo*, pero para fines de evitar confusiones le llamaremos así. El segundo microcontrolador está encargado de controlar la navegación del vehículo, es decir, los motores de tracción, así como también el sistema de corrección de línea, que se explica en un apartado más adelante. A este microcontrolador se le llama *esclavo*. Cabe resaltar que cuando el *maestro* se convierte por momentos en *esclavo* es obvio que el *esclavo* se convierte en esos mismos momentos en el *maestro*.

La etapa de acoplamiento tiene la función de acondicionar las señales de baja potencia como las digitales, esto con el fin de que puedan ser utilizadas por la etapa de potencia. Por otra parte cumple la tarea de aislar las etapas de control y de potencia así como a los sensores. Además debe también proteger al sistema digital de problemas en la etapa de potencia que lo pudieran dañar, como en el caso de las corrientes inversas. El acoplamiento esta basado principalmente en optoacopladores y circuitos que adecuan la señal a los niveles de voltaje y

potencia necesarios, el desarrollo de la etapa de acoplamiento se irá viendo junto con la etapa digital.

4.2.1 Selección del microcontrolador.

Los microcontroladores empleados en este proyecto son los PIC16C74B/JW de Microchip, los cuales han sido seleccionados por las siguientes características:

- La gran cantidad de periféricos integrados en el chip, hacen que necesite muy pocos componentes externos. Este punto es vital debido a la falta de espacio que presenta el diseño.
- Alcanza una velocidad de procesamiento de hasta 200ns/instrucción.
- Todas las instrucciones son ortogonales.
- 3 temporizadores.
- 2 módulos de generación de PWM ideales para el control de motores.
- 8 convertidores A/D
- 33 patillas de entrada/salida
- 12 fuentes de interrupción.
- Comunicación serial tipo SPI, I²C, USART para conectar a otros dispositivos tales como una memoria externa y para comunicación RS232 con una computadora.
- Herramientas de desarrollo de fácil implementación y manejo.
- Y principalmente por el respaldo que tiene Microchip en esta región, pues aunque se han estudiado otras opciones, no cuentan con el respaldo en la distribución de circuitos integrados y sistemas de desarrollo con las que cuenta Microchip actualmente.

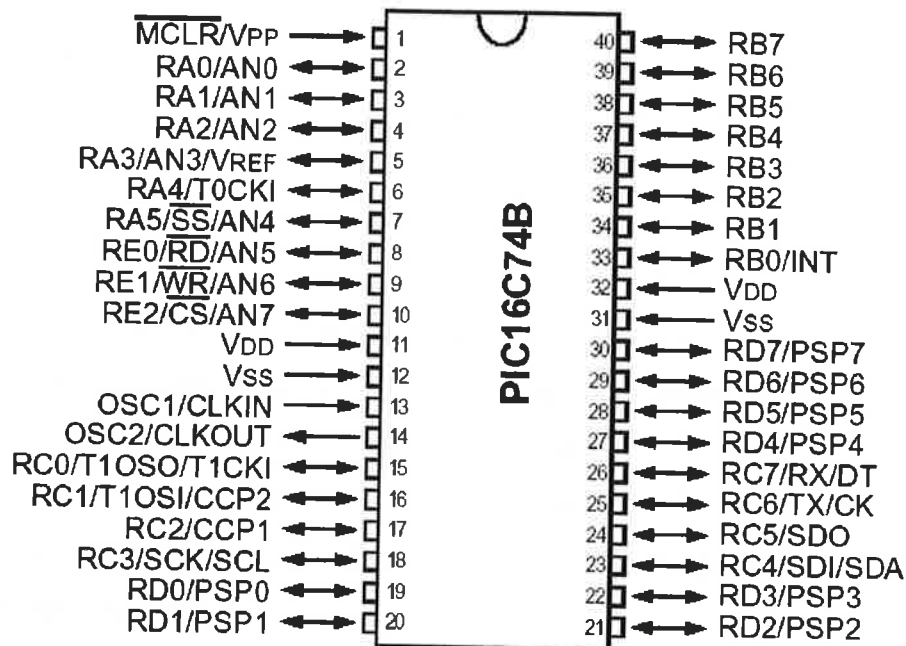


Figura 4.2 Microcontrolador PIC16C74B

En la actualidad los PIC (Controladores con interface periférica) son muy utilizados, las razones pueden ser por su velocidad, costo, la facilidad de uso, la amplia información, las herramientas de apoyo, o quizás un poco de todo que producen esa imagen de sencillez y utilidad. Es muy posible que el día de mañana otra familia de microcontroladores les arrebatase ese prestigio ya que es la ley del mercado, sin embargo los PIC'S han comprobado ser los elegidos para el desarrollo de muchos proyectos entre un número grande de competidores.

4.2.2 Tareas específicas de los microcontroladores maestro y esclavo

Las tareas de control de los microcontroladores podemos ordenarlas de la siguiente manera de acuerdo al microcontrolador responsable para cada una de ellas.

Microcontrolador maestro	Microcontrolador esclavo
Lectura de interface hombre-máquina (control remoto)	Lectura del sistema del sensor de inclinación (sistema de corrección de línea recta)
Lectura de sensores de proximidad ultrasónicos	Lectura del sistema de <i>encoders</i>
Control de motor en el sistema de medición	Control de los motores de tracción del vehículo
Lectura de sensores de posición del motor en el sistema de medición (transductor)	Lectura del selector <i>dipswitch</i> , con las opciones programables por el operador
Control de motor de suministro de acoplante para el sistema de medición	Control del sistema de aviso sonoro (piezobuzzer)
Control de la señal de grabación de dato para el sistema de medición (aparato de ultrasonido)	Control de la memoria serial EEPROM externa
	Comunicación serial RS232 (implementada físicamente)

Tabla 4.1 Resumen de tareas asignadas a cada microcontrolador.

4.2.3 Componentes externos utilizados para el PIC16C74B

Entre los pocos componentes externos necesarios para el funcionamiento deseado del PIC16C74B se encuentran un cristal y un par de capacitores necesarios para el oscilador interno del μC . El valor del par de capacitores se calcula de acuerdo a la frecuencia de trabajo planeada. En la hoja de datos del circuito se proporcionan los valores de los capacitores necesarios para hacer oscilar el circuito interno del μC .

Tipo de oscilación	Frecuencia del cristal	Rango del capacitor C1	Rango del capacitor C2
LP	32 KHz	33 pF	33 pF
	200 KHz	15 pF	15 pF
XT	200 KHz	47-68 pF	47-68 pF
	1 MHz	15 pf	15 pf
	4 MHz	15 pf	15 pf
HS	4 MHz	15 pf	15 pf
	8 MHz	15-33 pf	15-33 pf
	20 MHz	15-33 pf	15-33 pf

Tabla 4.2 Selección de capacitores para oscilación con cristal[13].

En este caso se trabaja a una frecuencia de 12 MHz, por lo que se selecciona un cristal de 12 MHz y un par de capacitores de 22 pF.

La razón de la elección de esta frecuencia es debido a que el robot debe de ser un sistema robusto para trabajar en lugares y ambientes industriales, y como a mayor frecuencia los PIC'S se vuelven más inestables se decidió trabajar a 12 MHz, esto se detecto al utilizar el PIC17C44 para realizar algunas pruebas del proyecto cuando al trabajar arriba de 20 MHz el microcontrolador no funcionaba adecuadamente y tuvieron que hacerse algunas modificaciones al circuito como el uso de pequeñas bobinas. De hecho trabajando con el mismo PIC16C74 a 20 MHz y haciendo funcionar un motor de tipo universal conectado a un control de fase dentro de la misma red de alimentación, el microcontrolador fallaba reseteandose debido a los ruidos eléctricos y electromagnéticos, al hacer la misma prueba trabajando a 12 MHz este problema se redujo drásticamente, quedando hacer uso solamente de técnicas para la reducción de ruidos (que serán tratadas más adelante) para eliminar por completo el problema.

4.2.4 Protocolo de comunicación entre los 2 microcontroladores

Para poder intercambiar información entre ambos circuitos, se han analizado las ventajas entre comunicación en serie o paralelo, siendo la segunda la opción escogida debido a la velocidad de procesamiento y de reacción que se requiere entre ambos μC .

Para implementar este medio de comunicación en paralelo, se ha empleado el puerto "D" de cada microcontrolador, además del pin o patilla de interrupción externa, como se muestra en la Figura 4.3.

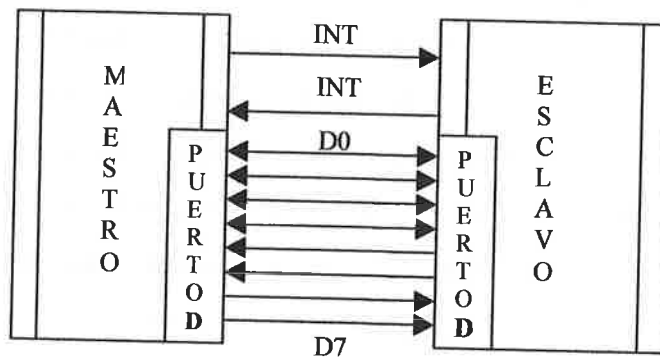


Figura 4.3 Comunicación paralela maestro-esclavo.

En esta comunicación paralela, podemos clasificar las patillas de acuerdo a la tarea que desempeñan en el protocolo de comunicación, como se muestra en la Tabla 4.3.

	Datos	Control
Maestro	D0-D3	D4-D7, RB0, RC0
Esclavo	D0-D3	D4-D7, RB0, RB1

Tabla 4.3. Patillas empleadas en el protocolo de comunicación paralela.

Observando la Figura y Tabla anteriores, vemos que las patillas de datos van del μC *maestro* al *esclavo*, por lo que toma sentido la diferenciación entre estos dos. Es decir, el *maestro* le envía ordenes al *esclavo* y sólo espera respuestas como datos leídos y tarea ejecutada. Para una mayor explicación del protocolo de comunicación, se le volverá a tratar en el apartado 4.7 del programa de control.

4.2.5 Señales de PWM

El control de los motores que son utilizados para el robot se realiza a través de señales de PWM (modulación por ancho de pulso), las cuales son generadas mediante los módulos de PWM de los microcontroladores, estos módulos tienen la característica de poder programar el ancho de pulso y frecuencia de dicha señal pulsante. Con estas señales podemos controlar la velocidad de los motores; por ejemplo, en los motores utilizados para la tracción, gracias a la variación del ancho de pulso de la señal de PWM se puede controlar la velocidad del robot, Estas señales son reforzadas y aisladas antes de ser empleadas por los elementos de potencia (drivers) que se encuentran dentro de la etapa de potencia, que finalmente manipulan a los motores. El diagrama eléctrico correspondiente se muestra en Figura siguiente.

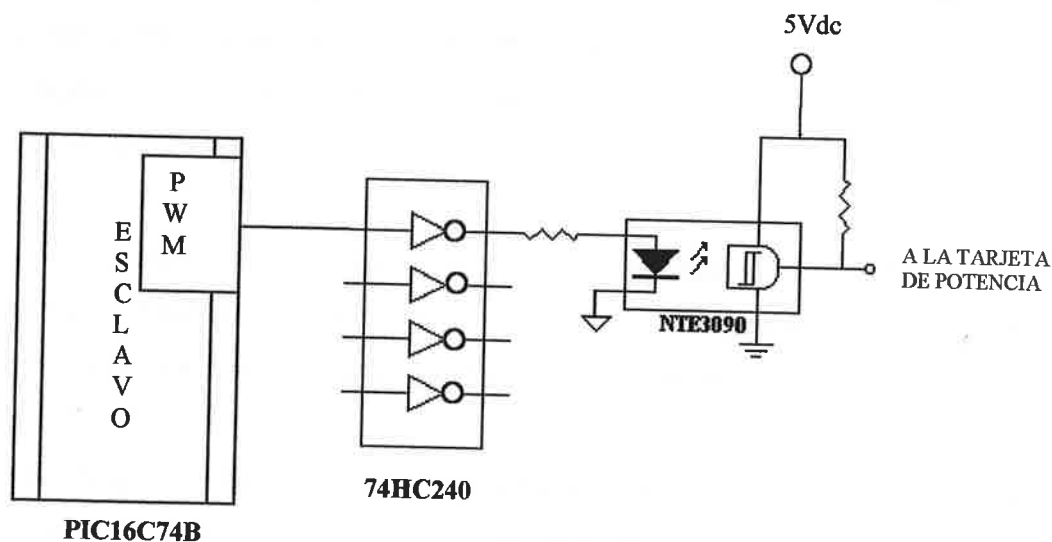


Figura. 4.4 Acoplamiento de las señales de PWM.

Es importante distinguir de la Figura 4.4 que las tierras del microcontrolador y de la salida del optoacoplador NTE3090 son diferentes, esto es de gran utilidad para la eliminación de ruidos eléctricos y protección del circuito digital de corrientes inversas provenientes de la tarjeta de potencia que se tratará más adelante.

Por otra parte, la respuesta en frecuencia de un optoacoplador con salida tipo transistor suele encontrarse por debajo de la frecuencia de PWM empleados para el control de motores, por lo que se optó por el uso de optoacopladores con salida a Schmitt Trigger con una mayor respuesta en frecuencia.

En este caso el circuito integrado NTE3090 es ideal para esta aplicación, pues además de contar con tiempos de conmutación menores a $4\mu\text{s}$ (por lo que el fabricante lo recomienda para control digital de motores y servomecanismos), se recomienda para la eliminación de ruido electromagnético.

El robot cuenta con un arranque suave al empezar a desplazarse, esta técnica es utilizada con la finalidad de minimizar ruidos eléctricos provocados por una más alta demanda de corriente, necesaria para vencer la inercia, la cual se presenta cuando el robot empieza a moverse. La siguiente Figura muestra una gráfica donde se visualiza esta rampa de arranque, la velocidad límite y una sección de aceleración que indica que el control está siendo realizado por un control digital y por tanto de forma ideal la velocidad se incrementará por pasos con una resolución de 10 bits.

También se observa el momento del paro del robot, señalando que en realidad no existe rampa de desaceleración debido a que no es necesaria ya que se comprobó que al frenar el robot no existe una demanda de corriente que perturbe el funcionamiento del robot.

En cuanto a lo que se refiere a pequeños movimientos, se empieza con la rampa de arranque y sin que esta termine se frena por completo al robot a través de la etapa de potencia que se verá más adelante.

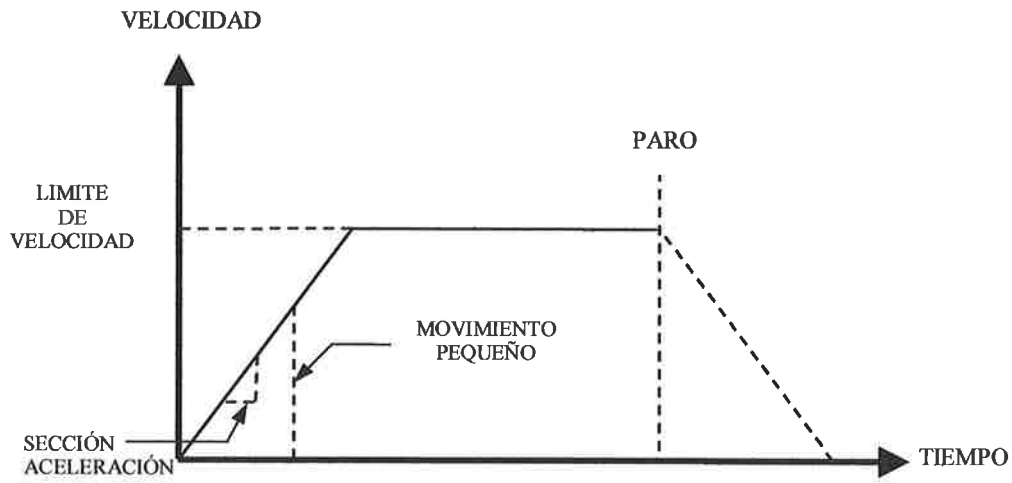


Figura 4.5 *Rampa de velocidad*

La ecuación que rige a la velocidad del robot durante cualquier momento está dada por:

$$V(k) = V(k-1) + A \quad (4.1)$$

Donde A es el producto de la aceleración por el tiempo.

Nótese en la ecuación (4.1) que al hacerse $A = 0$, la velocidad se vuelve constante, por otra parte la velocidad límite del robot se alcanzará con un PWM del 100%.

4.2.6 Memoria serial EEPROM

Pensando en una configuración fácil y flexible para el robot, se ha incorporado una memoria serial EEPROM en conjunto con el microcontrolador *esclavo*. Esta memoria es utilizada para guardar parámetros de programación accesibles por el usuario, tales como, distancia entre medición y medición, la altura del tanque, velocidad máxima y por otra parte puede ser utilizada en actualizaciones posteriores del proyecto como por ejemplo almacenar los estados anteriores a una falla del robot. En conjunto con el sistema de comunicación RS232 del microcontrolador *maestro*, es posible almacenar estas configuraciones comunicándose con el microcontrolador mediante una computadora.

La memoria serial EEPROM se comunica con el microcontrolador mediante un protocolo de comunicación llamado I²C. El bus de comunicación I²C (sus siglas en inglés Inter-IC), es una interfaz serial de 2 líneas que fue desarrollado por Phillips/Sigetics. La transmisión de datos puede alcanzar velocidades de hasta 400 Kbps.

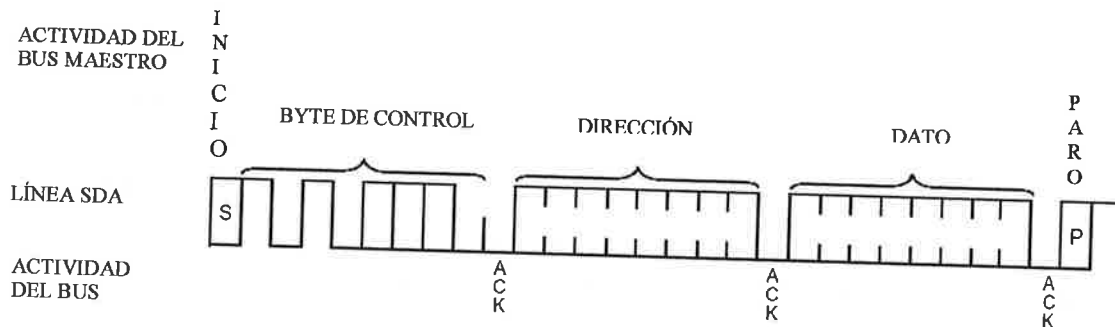
La razón de haber escogido el protocolo I²C es porque tiene una mayor inmunidad al ruido que otros protocolos de comunicación serial.

La interface I²C emplea un protocolo comprensible para asegurar una transmisión y recepción de datos confiable. Cuando el bus se encuentra activo, un dispositivo es llamado *Maestro* (genera las señales de reloj y de sincronización) mientras que los demás dispositivos son *Esclavos*. El bus *Maestro* activo puede leer desde y escribir hacia cualquiera de las unidades esclavas direccionadas individualmente.

A cada dispositivo conectado al bus I²C se le asigna una dirección única. Cuando el *maestro* desea iniciar una transferencia de datos, primero transmite la dirección del dispositivo al que desea transmitir. Todos los dispositivos escuchan este mensaje para ver si es su dirección. Junto con esta dirección, existe un bit que especifica si el *Maestro* desea leer desde o escribir hacia el dispositivo *Esclavo*.

Las salidas de cada dispositivo en el bus, conectadas a las líneas del reloj (SCL) y de datos (SDA), son del tipo colector o drenador abiertos. Resistencias de pull-up externas son usadas para asegurarse un nivel en alto cuando ningún dispositivo está usando la línea. La única limitante en el número de dispositivos conectados al bus es la especificación de carga máxima del bus. El inicio de la transmisión se determina con el bit de inicio (S) y el final con otro bit de stop (P). Las formas de onda típicas se muestran en la Figura 4.6 y en la Figura 4.7

ESCRITURA DE UN BYTE



ESCRITURA DE PAGINA

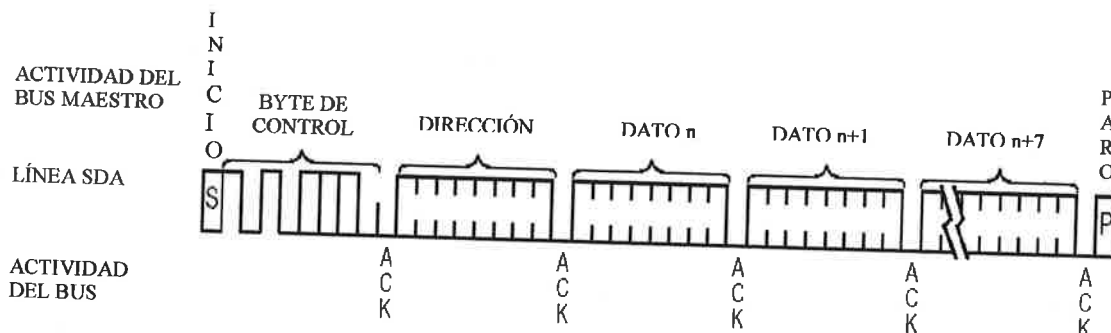
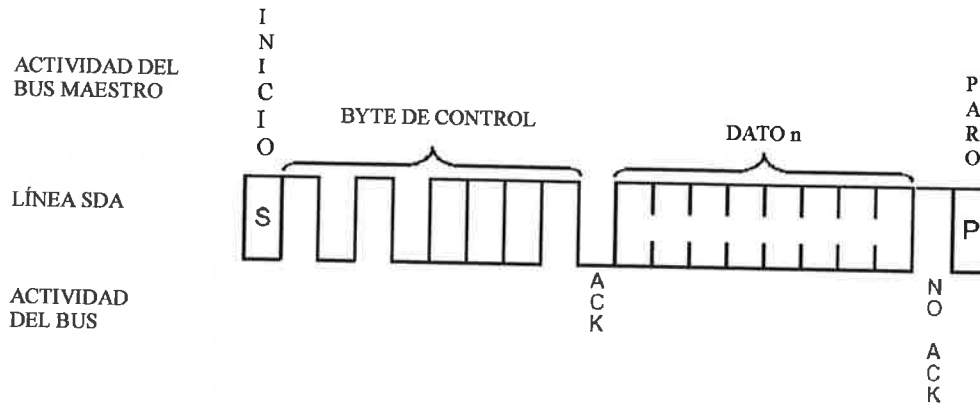


Figura 4.6 Formato para la escritura de datos en el protocolo

LECTURA DE LA DIRECCIÓN ACTUAL



LECTURA SECUENCIAL

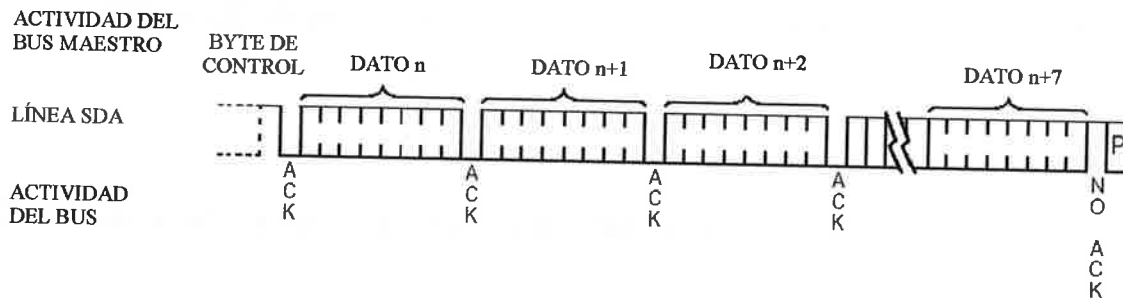


Figura 4.7 Formato para la lectura de datos en el protocolo I²C

La memoria serial empleada es la 24LC02B, la cual tiene una capacidad de 2Kb y se encuentra conectada al microcontrolador mediante las patillas diseñadas específicamente para ello como se muestra en la Figura 4.8. Esta memoria cuenta con el protocolo de comunicación I²C, otro punto importante es que tiene implícita la dirección 1010 mediante la cual el microcontrolador puede direccionarla.

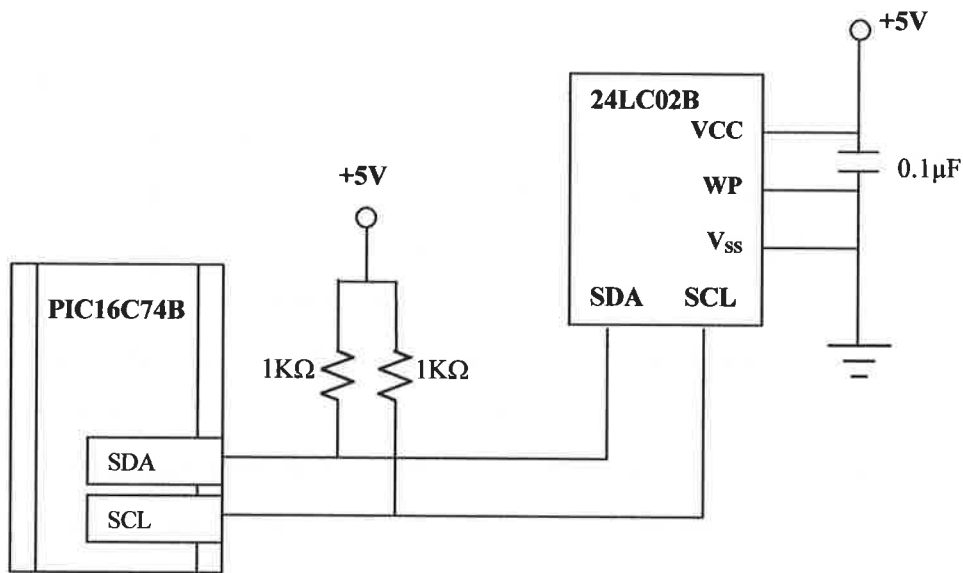


Figura 4.8 Diagrama electrónico de conexión de la memoria 24LC02B con el microcontrolador PIC16C74B.

4.2.8 Grabación de datos en el equipo de ultrasonido

EL sistema cuenta con un medidor ultrasónico de espesores portátil que se encarga de calcular el espesor de la pared del tanque gracias al transductor de ultrasonido montado en el robot. Además con una pantalla de vídeo que permite verificar en forma simultánea la forma de onda y las lecturas de espesor y contiene una memoria de datos interna que permite el almacenamiento de 95,000 mediciones de espesores, lo cual da la capacidad al sistema poder inspeccionar tanques de relativamente cualquier dimensión, el equipo también se puede conectar vía RSS-232 con una computadora personal o una computadora portátil, y mediante software basado en Windows se obtiene la capacidad de crear bases de datos, cargar y descargar archivos, Exportarlos a algún procesador de palabras, así como generar reportes con información completa de análisis estadístico. De esta manera se puede contar con un *registro*

permanente de las mediciones de los espesores realizadas por el robot en forma digitalizada de los tanques atmosféricos y recipientes a presión inspeccionados.

En una medición manual el técnico debe decidir en que momento la presión ejercida en el transductor sobre la superficie es la adecuada para poder registrar una medición correcta. Sin embargo siendo este un sistema automatizado, y habiéndose realizado un número elevado de pruebas, se ha programado el momento en el cual la presión del transductor sobre la placa a medir es la correcta, lo cual permite entregar una medición adecuada. Es en este momento cuando el robot graba la medición; para ello el robot emplea una etapa de acondicionamiento de señal, debido a que no se tiene acceso directo a la tarjeta del aparato comercial de ultrasonido. Este acondicionamiento también permite que el aparato de ultrasonido pueda ubicarse a varios metros de distancia del robot, y puedan observarse en tiempo real las mediciones que el robot va realizando. Entonces, dado que el aparato de ultrasonido no cuenta con una entrada externa para la grabación de datos, a excepción del propio botón de grabación sobre el teclado de éste, se ha realizado un puente sobre la señal interna de grabación entre la tarjeta del teclado del equipo y su tarjeta de control. De esta manera, mediante relevadores implementados se hace posible la grabación de datos desde el robot. Una vez que se ha determinado la señal del teclado del aparato de ultrasonido que corresponde a la grabación del dato, se incorpora un relevador en este extremo y un segundo relevador en el extremo de la tarjeta de control. El diagrama eléctrico correspondiente se muestra en la Figura 4.9.

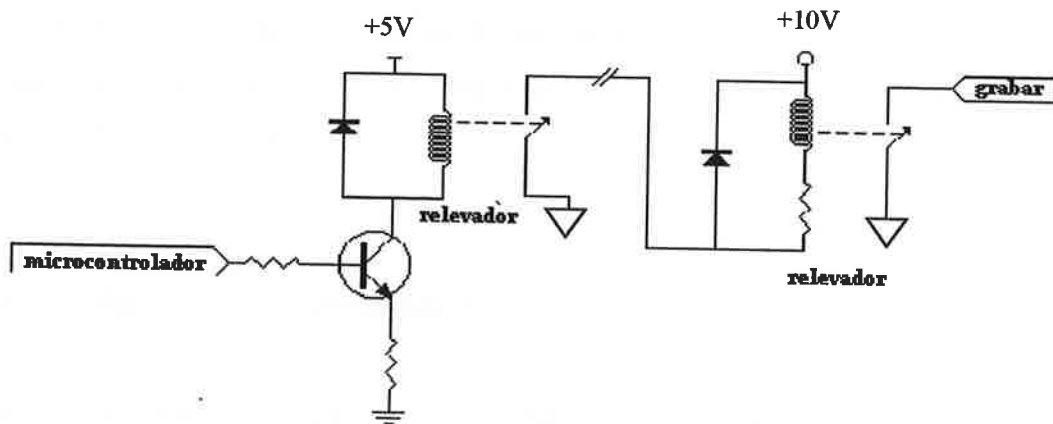


Figura 4.9 Diagrama eléctrico para la grabación de datos en el equipo de ultrasonido.

La razón del uso de 2 relevadores es debido a que al estar alejados varios metros el equipo de ultrasonido y el robot medidor de espesores, se presenta el problema de interferencia electromagnética (ruido) en las líneas de conexión entre ambos equipos. Es por eso que se hace necesario reforzar la señal de grabación a la salida de la tarjeta de control y a la entrada del equipo de ultrasonido.

El equipo para medición de espesores se conecta al robot a través de un cable especial de 30 metros, diseñado para responder adecuadamente a esa distancia.

4.2.9 Piezo Buzzer

Debido a que el operador se encuentra alejado del robot cuando éste se encuentra realizando una inspección, se hace necesario un sistema de aviso que indique ciertos parámetros del estado del robot, como por ejemplo el estado del nivel del tanque de agua o el nivel de energía de las baterías.

Una manera de conseguir esto es mediante el uso de un piezobuzzer, el cual emite una secuencia de sonidos los cuales puede identificar el operario y conocer el estado del robot.

Este piezobuzzer tiene una intensidad de sonido de 18 dB, la cual es suficiente para ser escuchado en un ambiente de trabajo rudo como lo es en donde se encuentran generalmente los tanques de almacenamientos para los cuales se ha diseñado el robot.

4.3 COMUNICACIÓN SERIAL RS232

El robot puede comunicarse con una computadora personal a través una comunicación serial de 2 hilos, esto se logra con el microcontrolador *esclavo* que cuenta con el transmisor receptor asíncrono síncrono universal (UART-sus siglas en ingles Universal Synchronous

Asynchronous Receiver Transmitter) o también conocido como interface de comunicación serial (SCI – sus siglas en ingles Serial Communications Interface). En este proyecto se implemento la recepción asíncrona debido a que es con la que cuentan las computadoras personales. Sus formas de onda se aprecian en la Figura 4.10.

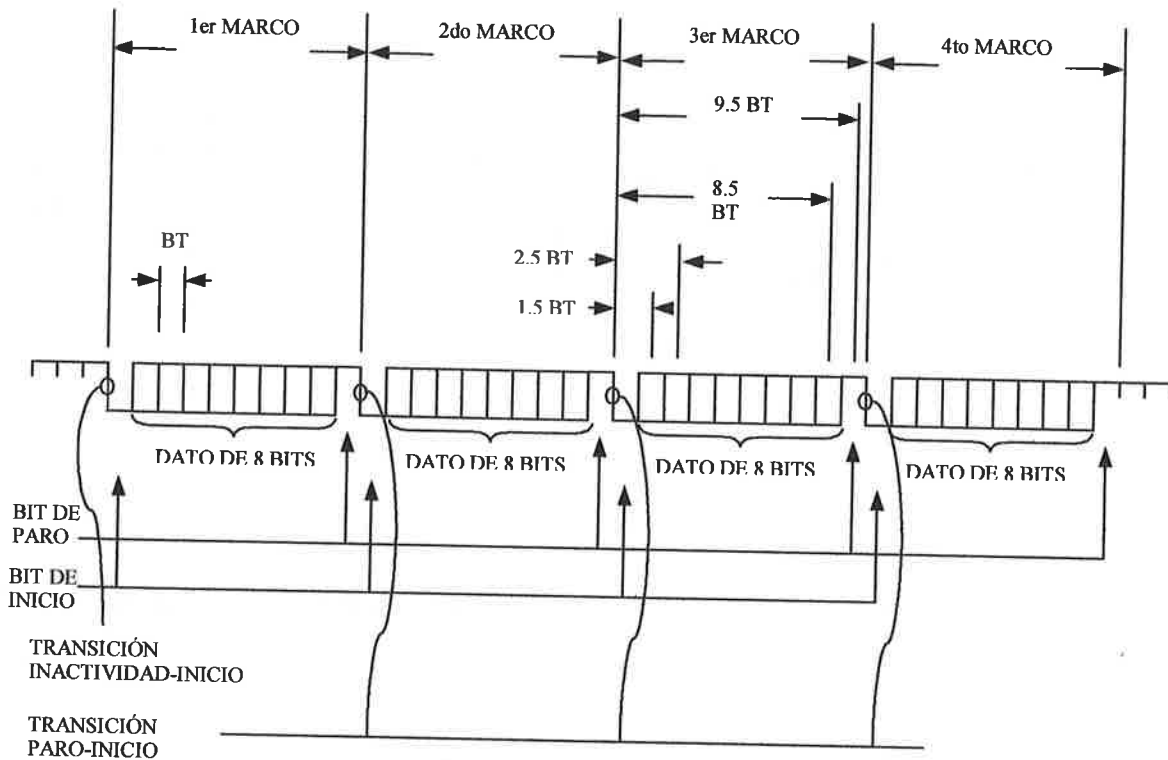


Figura 4.10 4 datos enviados con un protocolo de 1 bit de inicio, 8 bits de datos y un bit de paro.

Para realizar el acoplamiento de las señales de comunicación serial entre el microcontrolador esclavo y un ordenador se hace uso del MAX232A que es un acondicionador de señal, que sólo requiere de los 5 volts disponibles en la tarjeta digital para mandar señales amplificadas

de 12 volts necesarias para la comunicación con el ordenador. En la Figura 4.11 se muestra el diagrama del circuito eléctrico utilizado para realizar la comunicación serial discutida.

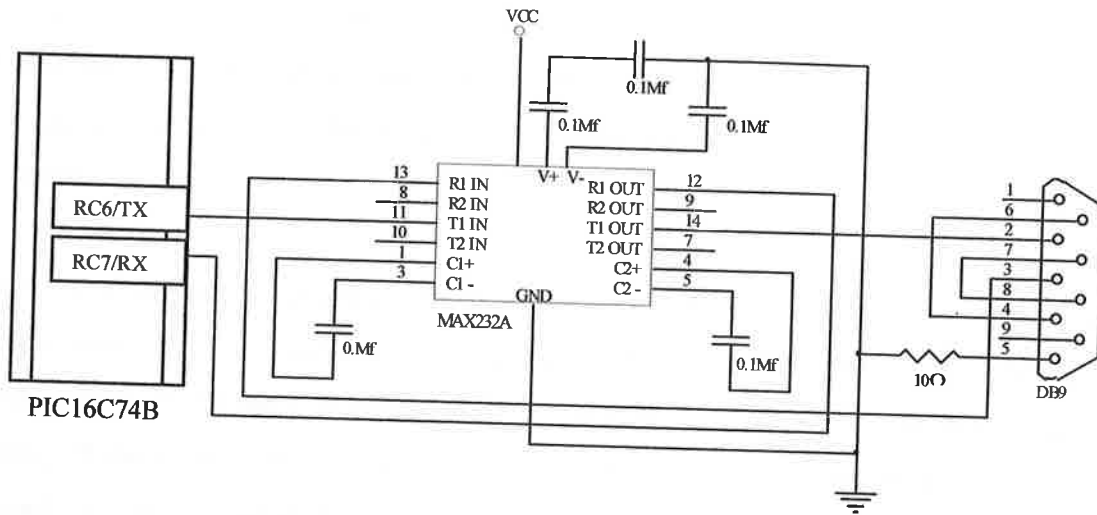


Figura 4.11 Circuito eléctrico para la comunicación serie RS-232

4.4 SENSORES

Para que un robot pueda relacionarse con su medio ambiente, es necesario que éste cuente con alguna forma de poder reconocerlo. Este reconocimiento del exterior se lleva a cabo con la ayuda de sensores, de tal forma que el robot pueda cumplir con sus tareas encomendadas.

4.4.1 Encoder

Otro de los subsistemas incorporados en la tarjeta de control es el sensor de desplazamiento o *encoder* cuya función principal es la medición de la distancia recorrida por el robot, esto con el

fin de poder tomar las mediciones de espesores de la pared del tanque de almacenamiento a distancias programadas, formando el cuadrículado en toda la superficie de éste. Se ha decidido que el *encoder* gire como si fuera una rueda independiente haciendo contacto directo con la pared del tanque y no asido a una rueda o a un motor, esto por el motivo de que se observo que las ruedas magnéticas pueden patinarse especialmente cuando el robot sube o pasa por cordones de soldadura, y al ir el *encoder* en contacto directo con la placa como si fuese una rueda loca este problema se disminuye considerablemente, ya que aunque las ruedas se patinen es difícil que el robot se desplace, es decir, queda estático. Debido a las características únicas del sistema, no es posible conseguir un *encoder* comercial cuyo diámetro y características físicas puedan ser incorporadas al sistema mecánico, por lo que ha sido necesario implementar uno propio.

El circuito de *encoder* está constituido por un par de sensores, en los cuales están integrados un led infrarrojo y un optotransistor, es decir, un emisor y receptor respectivamente (llaves ópticas). Entre el emisor y receptor existe una separación y el emisor envía una has de luz infrarroja hacia el receptor este has de luz es cortado por un disco con orificios, y ese cambio de estado genera una tren de pulsos cuya frecuencia depende de la velocidad con que se mueva el disco, este tren de pulsos es enviado hacia el microcontrolador el cual es configurado y programado para que cuente los pulsos.

Dado que la llave óptica utilizada emplea un optotransistor como receptor, se ha empleado un circuito Schmitt Trigger 74HC14, el cual convertirá la señal analógica en pulsos discretos, haciendo a la señal perfectamente cuadrada y facilitando la lectura por el microcontrolador que en este caso es el *esclavo*.

Además, el *encoder* cuenta con 2 llaves ópticas que se emplean para poder medir la distancia recorrida, y adicionalmente su sentido de rotación. Dado que es conocido el diámetro de la rueda y la cantidad de orificios en ella, es posible obtener una relación mm recorridos por cada pulso leído. El tipo de encoder utilizado se muestra en la Figura 2.5. La relación matemática entre distancia recorrida por la cantidad de pulsos está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{mm/pulsos} = P/\alpha = \frac{\pi d}{\alpha}$$

donde P = Perímetro del *encoder*

α = número de orificios del *encoder*

d = diámetro del *encoder*

Para el *encoder* diseñado para esta aplicación tenemos los siguientes valores:

$$\text{mm/pulsos} = \frac{44.562\text{mm} \cdot \pi}{68} = 2\text{mm/pulsos}$$

Para poder distinguir el sentido de la dirección del *encoder* y con esto detectar errores en el funcionamiento del microcontrolador, como puede ser que la secuencia del robot sea subir, pero debido a alguna alteración que podría ser provocada por ruido eléctrico el robot realmente esta descendiendo, se emplea un flip-flop tipo D como se muestra en la Figura 4.12. La salida de cada llave óptica es un tren de pulsos, siendo tomado uno de ellos como el reloj y el otro como la entrada D. De esta manera el flip-flop detecta cual pulso de cada sensor óptico adelanta al otro.

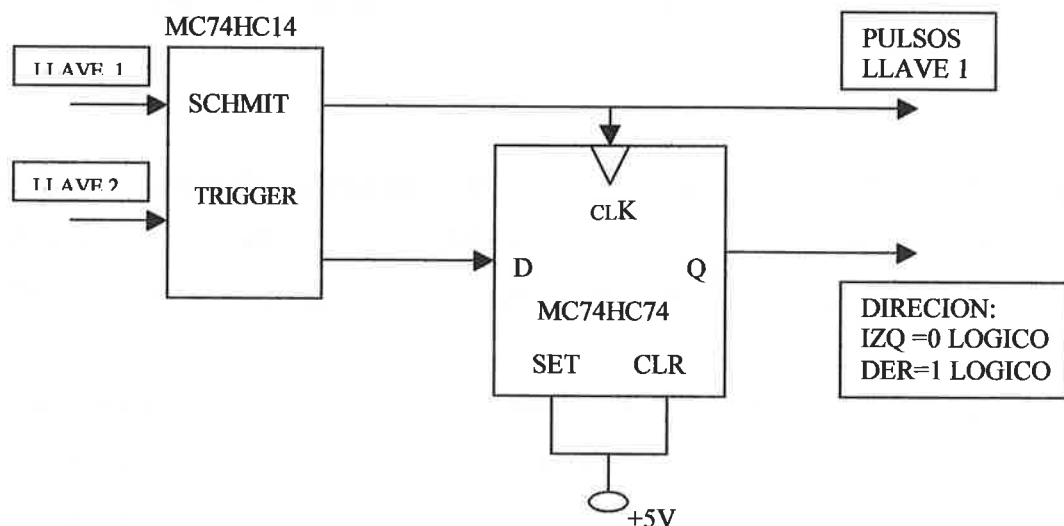


Figura 4.12 Diagrama del circuito del *encoder*.

Sin embargo, es necesario que exista un desfaseamiento de los valores leídos entre una llave óptica y otra, es decir, mientras uno de ellos lee "1" lógico, el otro debe de leer un obstáculo o "0" lógico, dentro de un tiempo determinado de tal manera que se genere una forma de onda similar a la de la Figura 4.13.

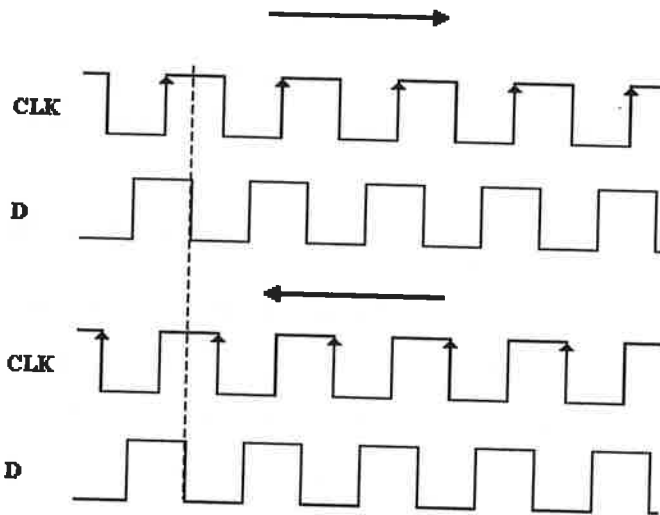


Fig. 4.13 Defasamiento de las formas de onda del encoder.

De tal manera que analizando en un sentido el movimiento del encoder, pensemos izquierda a derecha, el valor a la salida de Q está determinado por el valor que tenga D cuando CLK vaya en el borde positivo, en este caso siempre será un valor de "1" lógico.

En caso contrario, cuando el sentido de la rueda sea inverso, podemos apreciar, si leemos de derecha a izquierda, que el valor de Q será siempre un "0" lógico, obteniendo así un circuito para obtener el sentido de la dirección de giro del encoder.

Este sistema ha sido de utilidad en la implementación de un sistema de seguimiento de línea recta con la ayuda de un segundo encoder, cada uno en lados opuestos del robot. Al leer la diferencia entre la distancia recorrida entre ambos lados del vehículo es posible compensar la verticalidad al aumentar la velocidad en uno de los lados del vehículo. Y la deducción del sentido es de utilidad para corregir errores cuando el encoder patina o las ruedas del robot al cruzar un cordón de soldadura patinan y éste se desplaza hacia abajo.

Sin embargo, este sistema acarrea algunos errores y debido a problemas que se han presentado en pruebas, se ha decidido optar por un segundo sistema de corrección de línea, que será tratado en el siguiente punto, el cual ha demostrado una mayor eficiencia.

4.4.2 Sensores ultrasónicos

El robot cuenta con 4 sensores ultrasónicos, cada uno montado en las esquinas del robot y con un ángulo de 30 grados con respecto a la vertical. Estos sensores son utilizados para proteger al robot de posibles choques con tubos válvulas o conexiones que puedan estar presentes en el tanque cuando el robot se encuentre inspeccionando, pero también para detectar el borde superior del tanque (techo) o bien el piso, esto con la finalidad de que el robot pueda realizar la medición de espesores de forma autónoma, ya que gracias a esto el equipo puede realizar un cuadrículado de puntos sobre el tanque automáticamente, de tal forma que cuando el robot esta ascendiendo y llega al final o tope del tanque (los cuales cuentan con un ribete de unos 20 cm saliendo de la pared del mismo), los sensores ultrasónicos le indican al robot la presencia de este ribete, y el robot se desplaza automáticamente a la siguiente línea de la cuadrícula.

La Figura siguiente muestra como con el ángulo de 30 grados las señales ultrasónicas se intersectan entre sí, logrando que sólo con 2 sensores se cubra la zona completa que esta al frente del cuerpo del robot evitando así algún choque, de esta forma los 3 obstáculos mostrados en esta Figura pueden ser detectados por el robot.

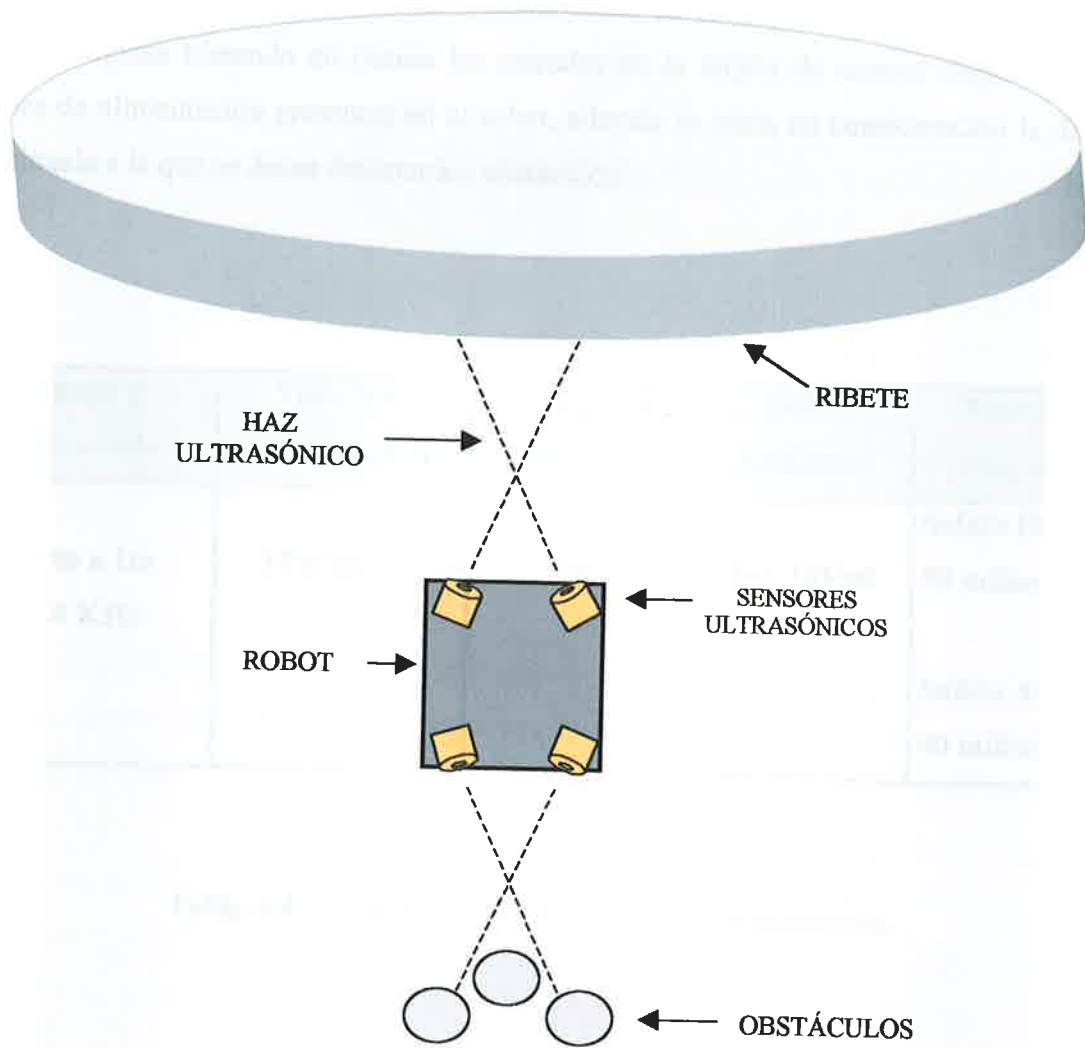


Figura 4.14 Robot detectando el ribete superior del tanque y forma de detección de obstáculos

En la siguiente Tabla se muestran las características de los sensores ultrasónicos, las cuales fueron escogidas tomando en cuenta las entradas de la tarjeta de control disponibles y los voltajes de alimentación presentes en el robot, además se toma en consideración la distancia aproximada a la que se desea detectar los obstáculos.

Rango y Frecuencia	Voltaje de alimentación	Tipo de salida discreta	Salida Analógica	Tiempo de respuesta
20cm a 1m 228 KHz	15 a 24 Vcd	PNP	0 A 10Vcd	Salida Digital: 50 milisegundos Salida Análoga: 40 milisegundos

Tabla 4.4 *Características de los sensores ultrasónicos.*

Los sensores escogidos son de la marca BANNER, éstos han demostrado tener una gran confiabilidad en el momento de detectar obstáculos, y además resultan ser económicos comparados con otras marcas. Debido a que pueden brindar una salida analógica proporcional a la distancia a la que se encuentra el objeto detectado, facilita la detección, y gracias a los convertidores analógicos provistos en el PIC16C74B se puede determinar que tan cerca se encuentra el obstáculo del robot. La siguiente Figura muestra la apariencia de los sensores ultrasónicos utilizados.



Figura 4.15 *Sensores ultrasónicos*

En la siguiente Figura se muestra el diagrama de conexión de uno de los sensores ultrasónicos, al mismo tiempo se muestra el acoplamiento con el microcontrolador *maestro* a través de un optoacoplador, esto con el fin de separar tierras e inmunizar al robot de los ruidos eléctrico.

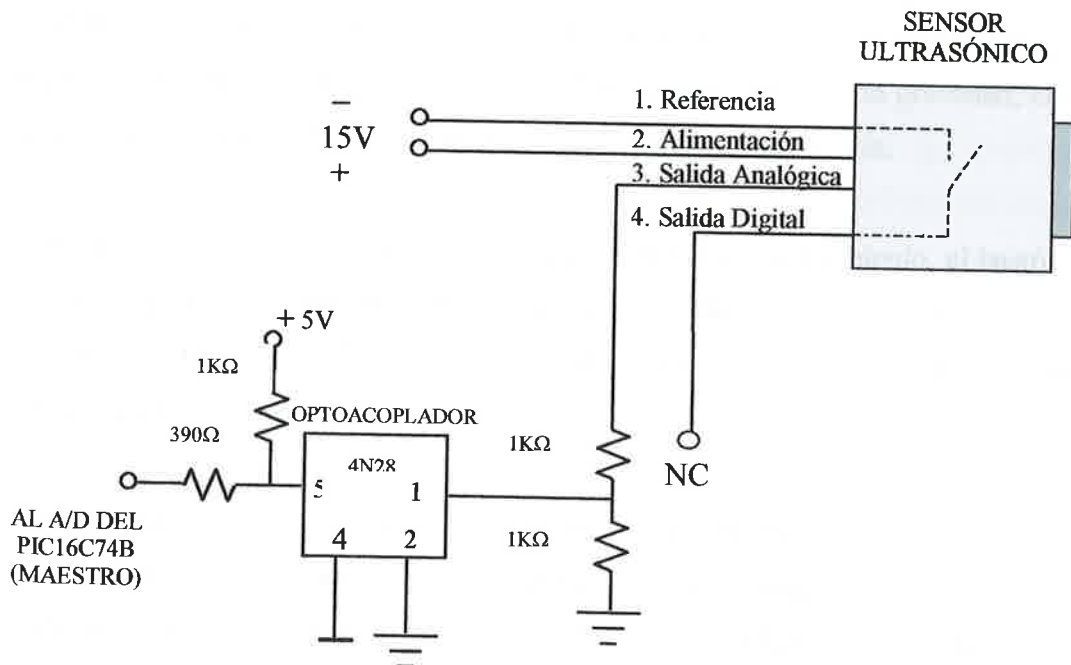


Figura 4.16 *Diagrama de conexión del sensor ultrasónico*

4.4.3 Sensor de inclinación (inclinómetro)

Debido a que no existe nada idéntico, hay una diferencia en el comportamiento de los motores de tracción, aunque estos sean fabricados en serie y bajo las mismas condiciones, aunado a esto las reducciones de velocidad utilizadas también muestran alguna diferencia entre sí, esto ocasiona un desalineamiento natural del robot mientras está en movimiento, ya sea subiendo o bajando a través de los tanques de almacenamiento, por tal motivo se hace necesario un sistema de corrección de línea con respecto a la gravedad, el cual sea capaz de corregir la trayectoria del vehículo cuando se ha desviado del curso original, ya sea por deslizamiento al cruzar un cordón de soldadura o la desviación natural del sistema de tracción.

Como se mencionó anteriormente, se ha tomado en cuenta el uso de 2 encoders, sin embargo el uso de un sensor de inclinación ha demostrado un mejor desempeño y sencillez en su implementación.

El sensor de inclinación empleado es del tipo resistivo, en este caso un potenciómetro con un peso muerto colgado del poste de variación de valor resistivo del potenciómetro. Debido a que el peso o plomada siempre estará en dirección del piso debido a la gravedad, cuando el robot tiende a desalinearse, el valor de resistencia del potenciómetro varía.

Dado que el potenciómetro se encuentra fijo en el cuerpo del vehículo, el bastón de éste es el que se desplaza dependiendo de la inclinación del vehículo con respecto a la vertical, como se muestra en la Figura 4.17, obteniendo así distintos valores resistivos correspondientes a los ángulos de inclinación.

Mediante un sencillo divisor de tensión, el microcontrolador puede leer una variación de voltaje de acuerdo a la posición del vehículo, y mediante programación, corregir la trayectoria al disminuir la velocidad de sus motores de tracción de un lado del vehículo con respecto a los motores del lado opuesto (el microcontrolador *esclavo* controla 2 motores de CD en paralelo en cada lado del vehículo, éstos serán tratados un poco más adelante).

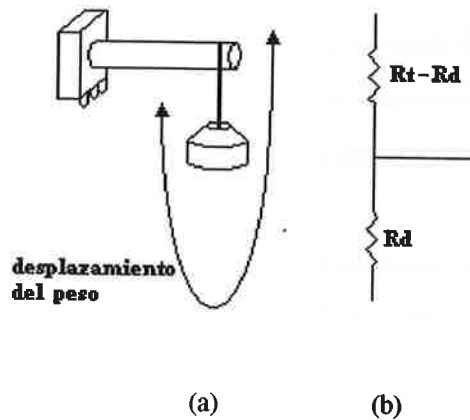


Figura 4.17 (a) Sensor de inclinación. El movimiento del robot con respecto al peso muerto ocasiona un cambio en la resistencia del potenciómetro, proporcional al ángulo de inclinación. (b) Diagrama eléctrico equivalente.

4.5 ETAPA DE POTENCIA.

Esta etapa es la encargada de elevar la potencia de las señales de control destinadas a manipular los actuadores del robot. Básicamente se tienen 3 subsistemas en los que esta etapa repercute que son los que se mencionan a continuación.

- Sistema de tracción.
- Sistema de posicionamiento del transductor.
- Sistema de inyección de acoplante.

A continuación se explicará a detalle el funcionamiento de la etapa de potencia tomando como referencia justamente los subsistemas anteriormente mencionados.

4.5.1 Sistema de tracción

Como ya se menciona el sistema de tracción desempeña la tarea de darle movimiento al robot, para ello cuenta con 4 pequeños motores de corriente continua de 12 volts, cada uno de ellos se encuentra acoplado a un sistema mecánico de reducción de velocidad.

Controlando la velocidad y el sentido de giro de estos motores es posible variar la velocidad de avance del robot a la vez de poder girarlo para hacer un cambio de trayectoria o bien cambiar su sentido de avance, es decir, adelante y reversa.

Para lograr esa capacidad de movimiento mencionada, el circuito de potencia utiliza un circuito llamado *punte H* que está formado por 4 elementos o semiconductores de potencia, como pueden ser *Transistores*, *Mosfets* o *IGBT'S*. Para que estos semiconductores puedan controlar la velocidad de los motores, se altera mediante la etapa digital sus periodos de encendido y apagado. Este circuito puede ser encontrado en una versión integrada, dentro del circuito *LMD18200* de *National*, el cual está formado por 4 *Mosfets* y soporta una corriente de 3 Amperes hasta 60V. Este circuito integrado cuenta con las características de controlar motores mediante señales de onda de hasta una frecuencia de 1 MHz, determinar el sentido de rotación mediante una señal lógica aplicada al circuito, posee un circuito de frenado controlado por un voltaje lógico, y cuenta con un sistema de sensado de corriente y autoapagado por sobrecalentamiento para evitar cortocircuitos y sobrecargas en los motores. El diagrama eléctrico para un par de motores se muestra en la Figura 4.18; como puede verse los 2 motores ya sean los del lado derecho o izquierdo, van conectados a un *Puente H*, de esta forma se puede controlar independientemente cada lado del robot, obteniendo la ventaja de poder variar la velocidad de un lado del vehículo con respecto al otro para corregir su inclinación con respecto a la vertical (en el caso de ir subiendo o bajando) y con la señal de *PWM* que proviene de la figura 4.4 se puede controlar la velocidad de los motores. Adicionalmente se utiliza el optotransistor 4N28 para optoacoplar las señales de control de dirección y frenado; así, al invertir el sentido del giro de los motores de un lado con respecto al otro, se puede girar el robot hacia cualquier lado ya sea izquierda o derecha. Los 4N28 dan una

buena protección contra corrientes inversas y ruidos electromagnéticos que puedan afectar a la etapa digital. Sin embargo este componente no posee una respuesta muy rápida, apenas alcanza 4.5 micro segundos, pero a diferencia de las señales de *PWM* para la función de dirección y frenado no se requiere de una respuesta tan rápida. Debido a esto y a razones económicas este componente fue seleccionado. Es importante señalar que con un porcentaje del 100% de la señal de PWM hacia la etapa de potencia, nos dará la máxima velocidad del robot (7cm/seg).

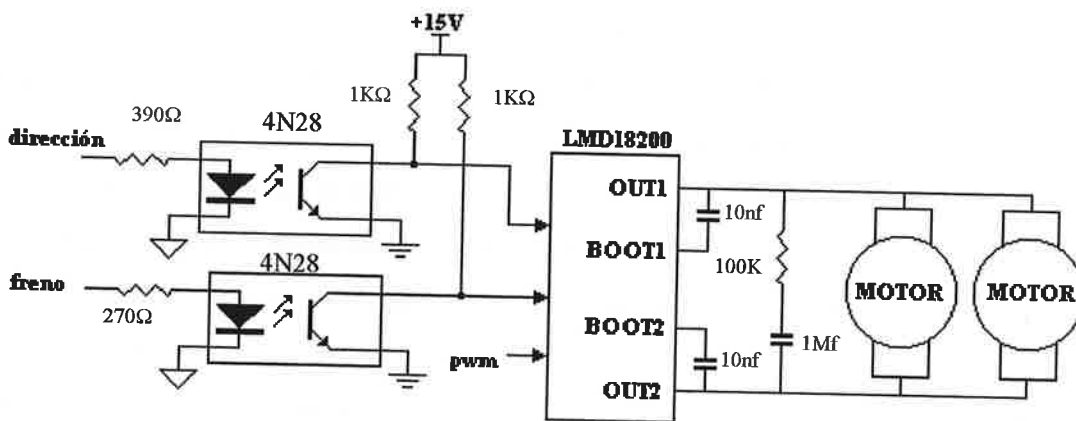


Figura 4.18 Diagrama eléctrico del sistema de tracción para dos motores

4.5.2 Sistema de posicionamiento del transductor.

Cuando el robot realiza una medición de espesor por ultrasonido la lleva a cabo mediante el método de contacto; es decir, colocando el transductor directamente sobre la superficie de inspección utilizando un medio de acople y presionando el palpador o transductor sobre la misma para que puedan ser transmitidas las ondas ultrasónicas.

Sin embargo, cuando el robot se encuentra en movimiento no es recomendable traer el transductor haciendo contacto con la placa, debido a que puede deteriorarse por abrasión o dañarse al chocar con irregularidades tales como soldaduras o tornillos, por lo que durante el movimiento, el robot debe separar el transductor de la placa.

El sistema de posicionamiento del transductor está constituido por un motor de corriente continua de 12 volts, el cual cumple con la tarea de posicionar el transductor mediante un tornillo sin fin y un par de sensores de final de carrera, los cuales indican al microcontrolador la posición inicial y final del transductor.

Estos sensores de fin de carrera están constituidos por interruptores de contacto, los cuales al ser presionados cierran un circuito y cambian el valor leído por uno de los puertos del microcontrolador *maestro* configurado para leer este cambio de estado de los interruptores, y con esas señales, detiene o inicia el tren de pulsos de *PWM* de excitación del motor de posicionamiento del transductor. El circuito eléctrico empleado es el mismo que el mostrado en la figura 4.18, a excepción de que la carga del puente H es un solo motor.

Debido a que en control de posicionamiento del transductor al igual que en el control de la tracción del robot es necesario cambiar el sentido del giro de los motores, se emplea también el circuito de manipulación de motores, puente H.

Igualmente, es necesario contar con un cambio en la dirección de giro de motor; esto debido a que el transductor de ultrasonido debe adoptar 2 posiciones, la de medición (contacto directo con la placa) y la de resguardo. En la figura 3.1 se aprecia el sistema de posicionamiento del transductor.

4.5.3 Sistema de inyección de acoplante.

Debido a que el método de medición de espesor por contacto necesita un acoplante (o también llamado interface acústica), necesario para rellenar los espacios vacíos entre la superficie del

transductor y la superficie de inspección y con ello evitar fugas del haz ultrasónico, el subsistema de medición de espesor requiere de un suministro de acoplante cada vez que se realiza una medición.

El acoplante es suministrado por una pequeña bomba, la cual dosifica la cantidad de líquido necesario para llenar los minúsculos espacios vacíos entre la superficie de contacto y el transductor. El sistema está perfectamente sincronizado de tal manera que instantes antes de que el transductor haga contacto con la placa a inspeccionar, el acoplante es inyectado sobre la placa y es entonces cuando el transductor baja y realiza la medición. En el momento en el que el transductor hace contacto con la superficie de medición, el microcontrolador manda la señal de grabación de medición al equipo de ultrasonido. Una vez que se ha grabado el dato, la tarjeta de control ordena al motor que suba el transductor, dejando de excitarlo al cerrar el contacto del interruptor superior de final de carrera.

Para este sistema no se hace necesario el uso de un puente H para el control del motor, por lo que se implementó un control de motor mediante un MOSFET, tal como se muestra en la figura 4.19. El motor de la bomba es de CD, el cual se alimenta con 12 Volts, esta bomba es la típica diseñada para sistemas de limpiaparabrisas de automóvil.

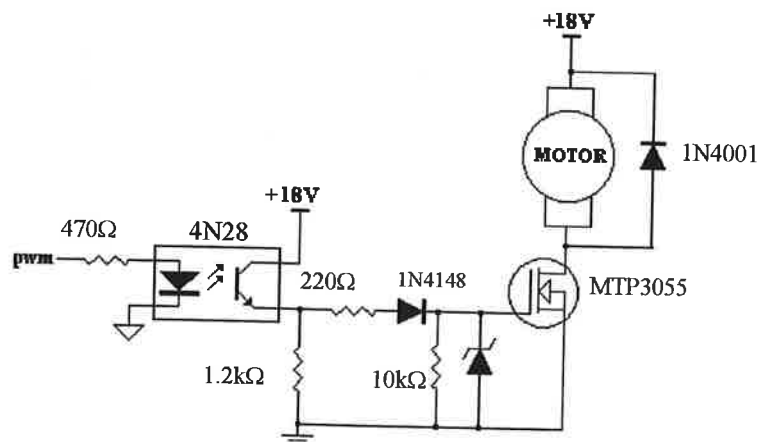


Fig. 4.19 Diagrama eléctrico del control de motor del suministro de acoplante

4.6 OPERACIÓN REMOTA

Debido al corto plazo de tiempo asignado al proyecto, se ha optado por conseguir una tarjeta de radiocontrol en lugar de desarrollar una propia que tomaría mayor tiempo.

La presente tarjeta de radiocontrol se ha tomado de un vehículo de radio control, teniendo como parámetros de selección el alcance del radiocontrol, la frecuencia de operación de éste, la cantidad de instrucciones con las que cuenta y el tipo de control sobre los motores.

Tomando en cuenta la altura de los tanques sobre los cuales se diseña el prototipo, se requiere un alcance de al menos 15 metros.

Entre las instrucciones que se desea que tenga el prototipo son las de movimiento en sus 4 direcciones y una quinta instrucción con la cual tener control sobre el movimiento del transductor, en el caso de que el operador realice una inspección semiautomatizada.

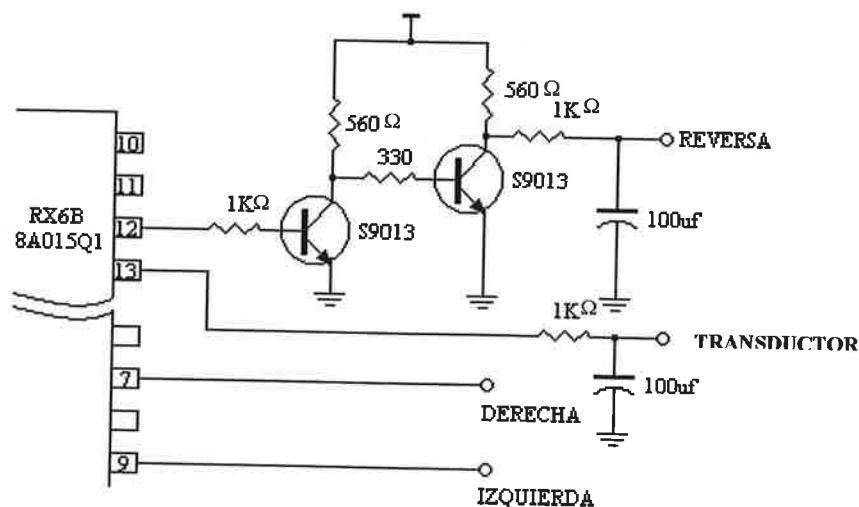


Figura 4.20 Diagrama eléctrico parcial de la tarjeta de radio.

Por último, el tipo de control que se desea sobre el vehículo es del tipo on-off, esto para facilitar la interconexión y la lectura de la tarjeta de radiocontrol con la tarjeta de control.

La tarjeta empleada para el radiocontrol tiene el número de serie 12262234, producida por RadioShack para algunos de sus carros de radiocontrol.

Las modificaciones hechas a la tarjeta del carro de radiocontrol, son la supresión de su etapa de potencia, reemplazándola por una etapa de preamplificación, como se aprecia en la figura 4.20, suficiente para reforzar la señal de control proveniente del circuito integrado de la tarjeta. Esta preamplificación es necesaria para acondicionar la señal para la etapa de acoplamiento con la tarjeta de control. La etapa de acoplamiento con la tarjeta de control esta constituida por optoacopladores, los cuales son del tipo de salida con optotransistor. La etapa de acoplamiento con la tarjeta de control tiene la finalidad de aislar eléctricamente la etapa de radiocontrol, ya que pruebas hechas anteriormente mostraron una mejora considerable en la distancia conseguida con el control de radio. El diagrama eléctrico de esta etapa de acoplamiento se muestra en la figura 4.21.

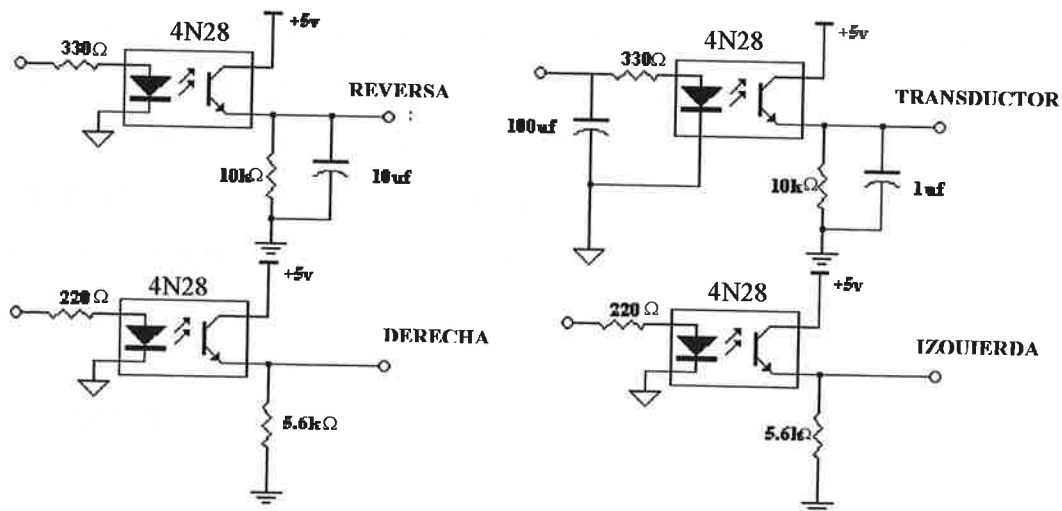


Figura 4.21 Circuito de acoplamiento entre la tarjeta de radio con la tarjeta de control.

Físicamente el manipulador del circuito de control remoto consta de 2 palancas una para reversa, adelante, a la vez controlar el transductor y la segunda para derecha e izquierda de tal forma que en el movimiento de la primer palanca hacia delante se encuentra primero con la señal para hacer avanzar al robot y después cuenta con un paso más, siguiendo la misma dirección que envía una señal diferente que es utilizada para controlar el transductor. La señal de dirección adelante consiste en una señal de PWM de un 50% de ciclo de trabajo, la cual se eleva hacia el valor máximo de voltaje cuando le toca turno a la señal de mover el transductor. Dado que 2 ordenes de control remoto se encuentran en una sola señal, ésta se filtró con ayuda de un capacitor y una resistencia tal como se muestra en la figura 4.21, de tal manera que el microcontrolador lea 2 diferentes niveles de voltaje, y con ayuda de uno de sus convertidores analógico a digital, pueda distinguir entre moverse hacia delante o manipular el transductor.

4.7 PROGRAMA DE CONTROL

Ya que el robot cuenta con 2 microcontroladores para llevar a cabo las tareas que debe realizar, es necesario tener un medio para indicar a cada microcontrolador que debe ejecutar y en qué momento, para eso se cuenta con un programa de control que es introducido a éstos a través de un programador. El programa de control para este proyecto se desarrolló en lenguaje ensamblador o también conocido como lenguaje máquina y es así como con la ayuda de una computadora personal se realiza el programa para después enviarlo a los microcontroladores y estos puedan controlar al robot; de esta forma se cuenta con una plataforma de control flexible que puede ser modificada o ajustada en cualquier momento. Por tanto la programación se convierte en la herramienta principal del proyecto debido a que la medición de espesores debe ser autónoma.

4.7.1 programa principal

En el programa principal se organizan todas las tareas que el robot debe realizar, evidentemente cada microcontrolador cuenta con un programa principal para su operación. Dentro del programa principal se organiza la secuencia de las tareas que el microcontrolador correspondiente realizará, se llaman a las subrutinas del programa y se habilitan interrupciones

dentro de un orden específico. A continuación se muestra el diagrama a bloques del programa principal.

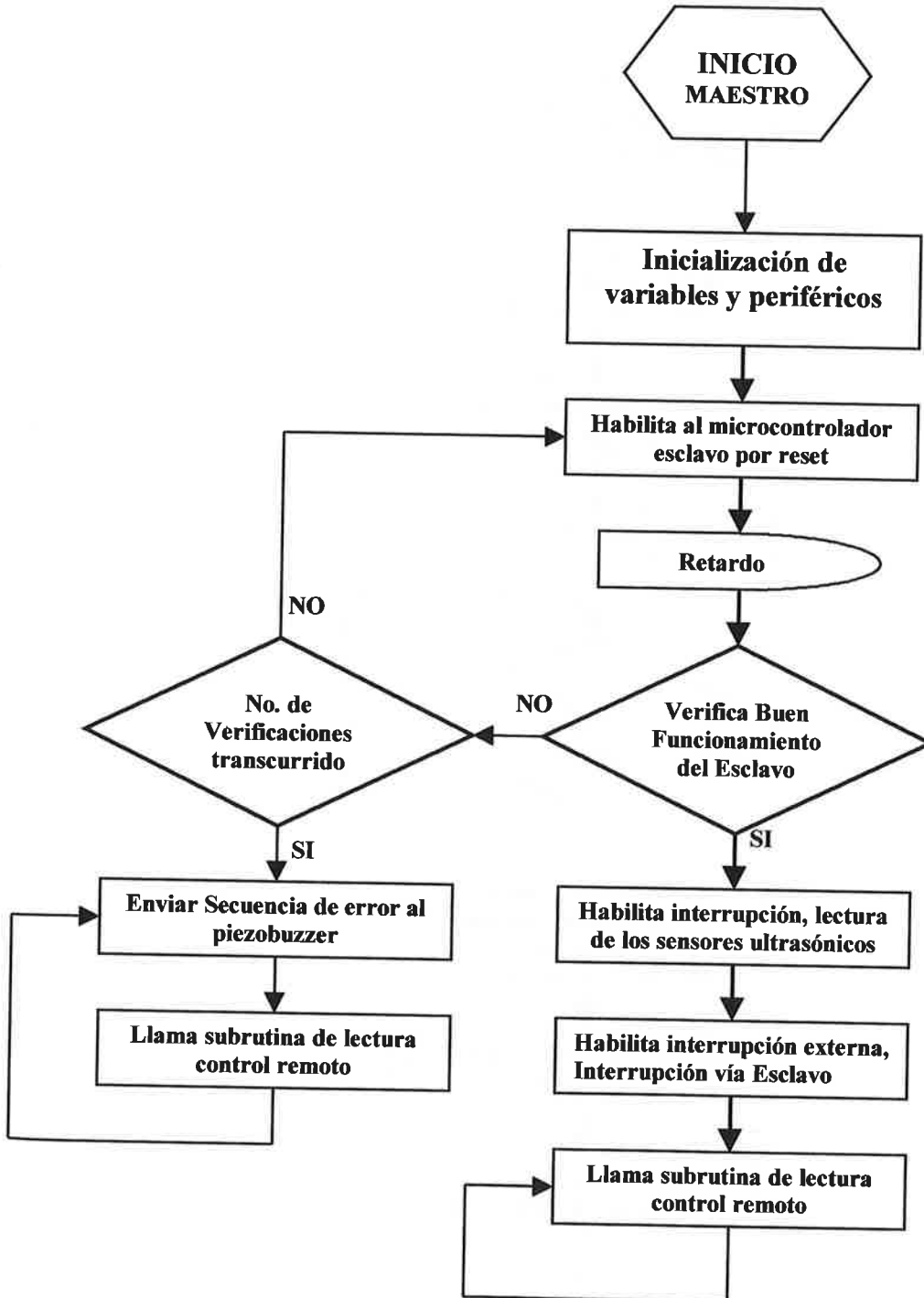


Figura 4.22 Diagrama de flujo general del microcontrolador maestro

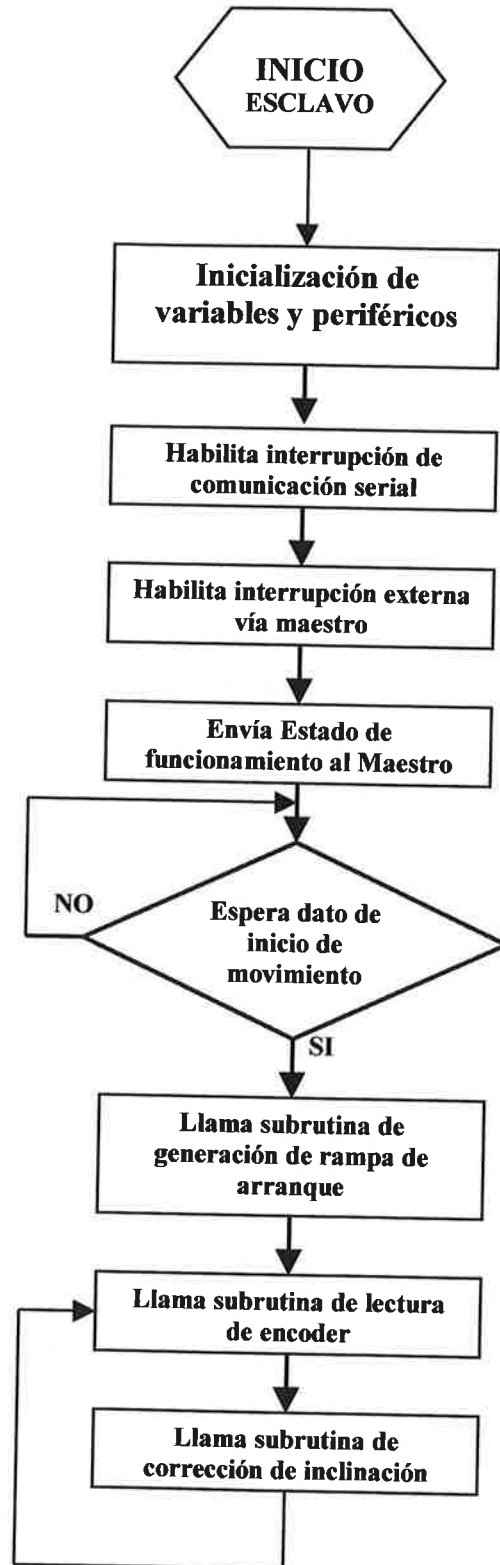


Figura 4.23 Diagrama de flujo general del microcontrolador esclavo

4.7.2 Microcontrolador Maestro.

Dentro del diagrama de flujo mostrado para el microcontrolador *maestro* tenemos primeramente la inicialización de variables y periféricos, aquí se inicializan todas las variables que se utilizarán durante el programa, además se configuran los dos canales de PWM de la siguiente forma:

1. - Configurar el periodo del PWM escribiendo el registro PR2
2. - Configurar el ciclo de trabajo escribiendo en el registro CCP1L y CCP1CON bits(4:5)
3. - Configurar el pin correspondiente a CCP1 y CCP2 limpiando los bits apropiados del TRISC
4. - Configurar el valor preescalar del TMR2 y habilitar el Timer2 escribiendo al bit TMR2ON del registro T2CON
5. - Configurar el modulo CCP para operación PWM

$$\text{PERIODO DEL PWM} = ((\text{PR2} + 1) * 4 * \text{TOSC} * (\text{Valor Preescalar DE TMR2}))$$

La frecuencia seleccionada de trabajo para el PWM es de 3 KHz

El temporizador1 también es utilizado para llevar la cuenta de cada cuanto tiempo el microcontrolador debe leer los sensores ultrasónicos, esto se realiza por medio de una interrupción controlada por el temporizador1. Este módulo temporizador o contador es de 16 bits y está conformado de 2 registros de 8 bits TMR1H y TMR1L que son leíbles y escribibles.

La secuencia de configuración se muestra a continuación.

1. - Seleccionar el modo de temporizador.
2. - Configurar el uso del reloj externo o interno.
3. - Configurar el valor preescalar.
4. - Encender el temporizador a través del bit TMR1ON, del registro T1CON.
5. - Limpiar la bandera de interrupción a través del bit TMR1IF, del registro PIR1.

6. - Habilitar la interrupción del temporizador por sobre flujo a través del bit TMR1IE, del registro PIE1.

Siguiendo con el diagrama de flujo, el *maestro* habilita al *esclavo* después de que el mismo es habilitado, gracias a un pulso que le envía por el pin RE2/CS/AN7, directo al pin de reset del *esclavo*, quedándose en espera a que el *esclavo* escriba el código 0f hexadecimal en la parte baja de su puerto D. Si existiera alguna falla en la comunicación, el *maestro* enviará una señal de 0.5 segundos con una intermitencia de 1segundo al piezobuzzer de la sección 4.2.9 de este capítulo.

La interrupción externa se efectúa cuando el microcontrolador *esclavo* desea comunicarse con el *maestro*, y se realiza a través de la patilla RBO/INT del microcontrolador *maestro* luego de un pulso enviado por el *esclavo*. Para configurar esta interrupción, se debe configurar a través del bit INTEDG del registro OPTION_REG la interrupción se puede suscitar por la llegada de un pulso en alto o bien un bajo pero para este proyecto se configura para la primera opción escribiendo un 1 a este bit. Además se debe limpiar la bandera de interrupción usando el bit INTF del registro INTCON cada vez que ocurre una interrupción para que una nueva interrupción pueda después realizarse.

Un punto importante de considerar es que, para que cualquier interrupción pueda realizarse, se debe habilitar el bit de interrupciones globales GIE del registro INTCON.

La subrutina de lectura de control remoto es la encargada de estar leyendo las salidas de la tarjeta de radiocontrol explicada en la sección 4.6; de hecho el programa se queda ciclado en este punto y sólo es sacado de aquí por medio de la interrupción externa por la patilla RB0/INT o por la interrupción de lectura de los sensores ultrasónico vía temporizador1. Cuando la interrupción vía RB0/INT es ejecutada significa que se está trabajando en modo automático y el robot a avanzado la distancia programada entre medición y medición que pudiera ser por ejemplo de 20cm, en ese momento el *maestro* acciona el sistema del transductor para realizar la medición del espesor en ese punto y almacenarla en el equipo de medición a través de circuito de la figura 4.9. Si la interrupción por medio del temporizador1

es ejecutada, significa que el robot detectó el ribete del techo del tanque de almacenamiento mediante los sensores de ultrasonido y en esos momentos envía un pulso a la patilla RB0/INT del *esclavo*, provocando que éste se interrumpa y siga las instrucciones deseadas por el *maestro* las cuales trasladarán en un movimiento horizontal al robot de inspección a la siguiente línea de medición. La comunicación entre el *maestro* y *esclavo* se realiza según el diagrama de flujo de la figura 4.25.

4.7.3 Microcontrolador Esclavo

Como puede verse en la Figura 4.23, el programa del microcontrolador *esclavo* en sus inicios también se realizan las inicializaciones de variables y periféricos que se utilizarán a lo largo del programa. Primeramente se configura el módulo UART (explicado en la sección 4.3) el cual será usado como receptor de datos en comunicación serial RS232 como se lista a continuación.

1. - Se Inicializa el registro SPBRG para 9600 bauds por segundo.
2. - Se habilitar el puerto serial en modo asíncrono limpiando el bit SYNC y escribiendo un 1 en el bit SPEN.
3. - Para el uso de interrupciones se debe habilitar el bit RCIE.
4. - Se habilitar el modo de recepción escribiendo un 1 en el bit CREN.
5. - Leer el registro RCSTA para determinar si algún error ocurrió durante la recepción.
6. - Leer el dato de 8 bits en el registro RCREG.
7. - Si algún error ocurrió, limpiar el bit CREN.

Después de enviar el código de funcionamiento correcto, el *esclavo* entra en un ciclo de espera hasta recibir el código de inicio el cual se da cuando el *maestro* a interrumpido al *esclavo*, enviándole la señal de avance ya sea hacia adelante o hacia atrás.

La *subrutina de corrección de inclinación* lee la señal del inclinómetro explicado en la sección 4.4.3, para verificar la desviación del robot con respecto a la vertical y corregir la inclinación cambiando la velocidad de las ruedas de tracción del lado izquierdo y derecho. Si el robot se desvía hacia la izquierda por ejemplo, habría que reducir la velocidad en las ruedas del lado derecho para forzarlo a regresar a la vertical. El diagrama de flujo de la figura 4.24 muestra la subrutina de control de inclinación del robot.

El algoritmo utilizado ha mostrado una gran eficacia para disminuir la inercia del sistema con respecto al sensor de inclinación, para comprender su funcionamiento supóngase que el robot se desvió hacia la izquierda, el control intentará corregir el error (e) generado disminuyendo el ancho de pulso de la señal PWM aplicada a las ruedas derechas, así la reducción de las ruedas derechas, será directamente proporcional al error, al aplicar entonces el control el robot empezará a enderezar su trayectoria y cuando llegue al centro, es decir, al error igual a cero, habrá una inercia acumulada por tal motivo es prácticamente seguro que el siguiente error se da por defasamiento hacia la derecha del robot, por tanto cuando el error sea igual a cero ($e = 0$) y haya un historial de errores decrecientes, el algoritmo utilizado realizará una corrección para intentar mover el robot hacia la izquierda aunque el error sea en esos momentos igual a cero.

De esta forma, el efecto de la inercia es disminuido obteniéndose un control muy intuitivo y de fácil implementación. A continuación se muestra la tabla de referencia para la relación entre el error y el control del PWM que se aplica a los motores de tracción del robot para variar su velocidad.

E R R O R	VALOR	% PWM	% PWM
	ASIGNADO DE ERROR	IZQ	DER
P O S I T I V O	10	100	80
	9	100	82
	8	100	84
	7	100	86
	6	100	88
	5	100	90
	4	100	92
	3	100	94
	2	100	96
	1	100	98
	0	100	100
E R R O R N E G A T I V O	-1	98	100
	-2	96	100
	-3	94	100
	-4	92	100
	-5	90	100
	-6	88	100
	-7	86	100
	-8	84	100
	-9	82	100
	-10	80	100

↑ INCLINACIÓN IZQ

↓ INCLINACIÓN DER

Tabla 4.5 Asignación de PWM según la magnitud del error.

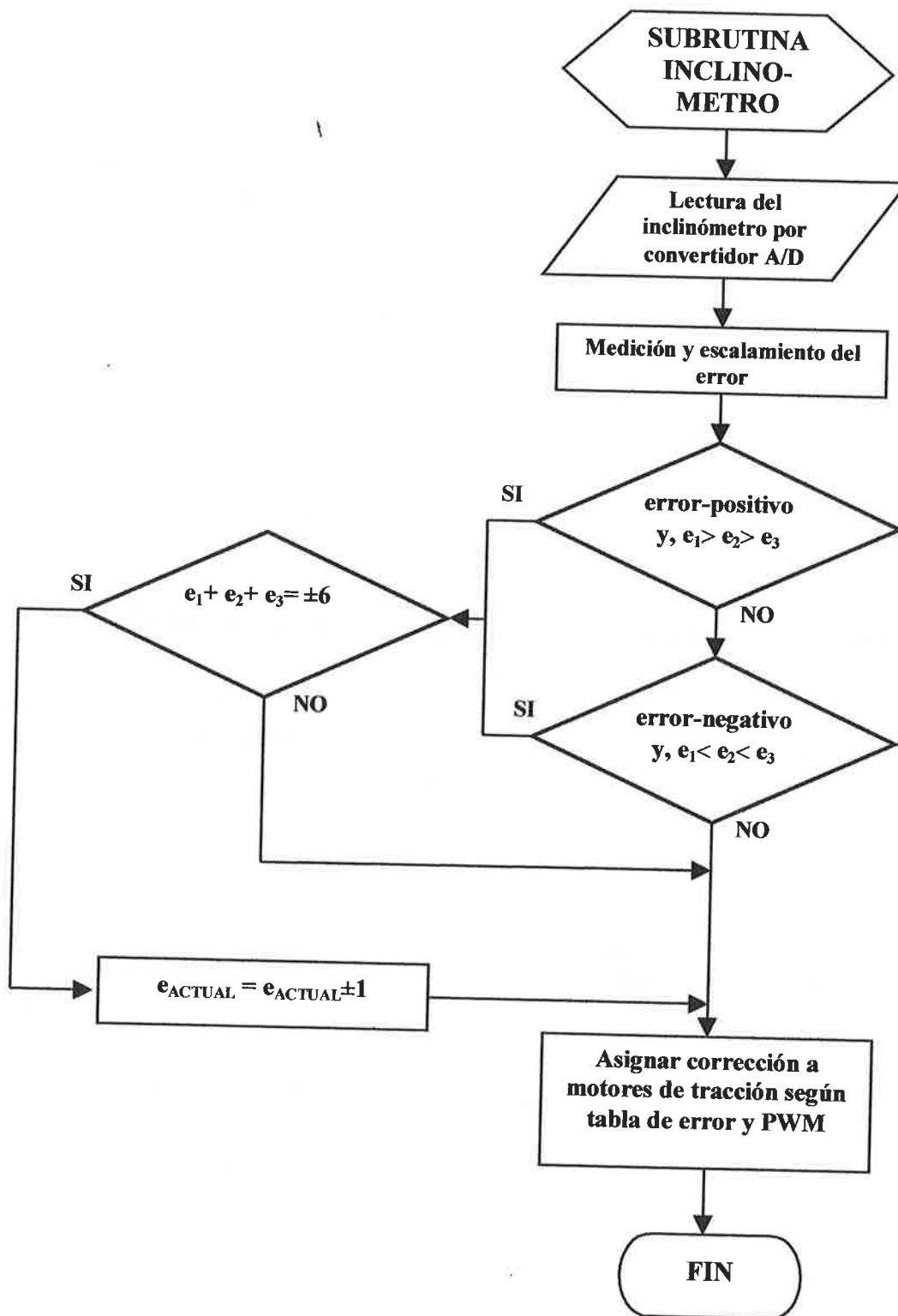


Figura 4.24 Subrutina de corrección de inclinación del robot

4.7.4 Programación del protocolo de comunicación

Como ya se mencionó, el protocolo de comunicación es el que utilizan los microcontroladores *maestro* y *esclavo* para enviarse información, el diagrama de flujo siguiente describe este protocolo el cual se encuentra inmerso en una subrutina que es llamada cada vez que se requiere.

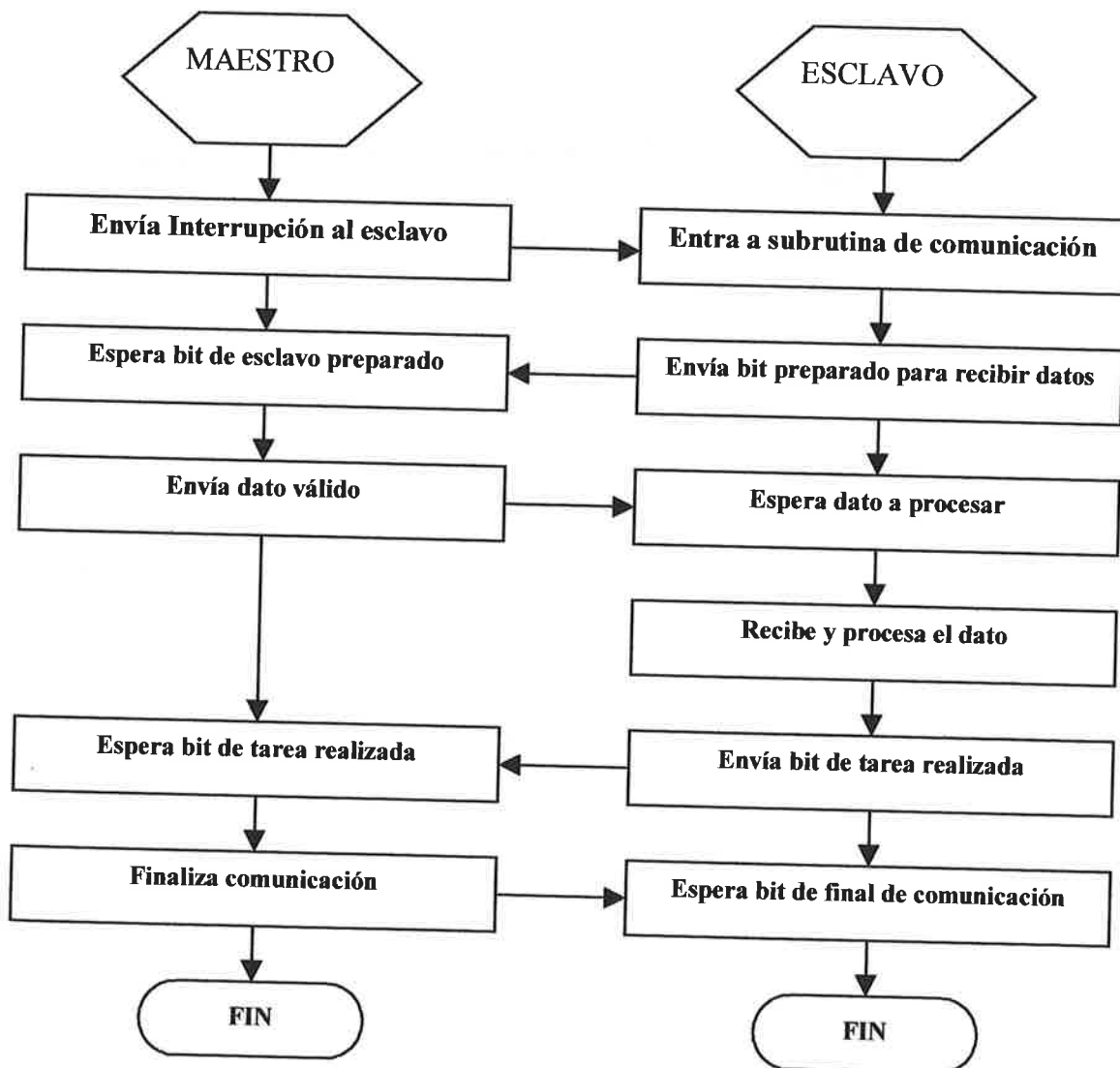


Figura 4.25 Subrutina del protocolo de comunicación entre microcontroladores maestro y esclavo

CAPÍTULO 5

PRUEBAS DE OPERACIÓN Y RESULTADOS

5.1 PRUEBAS DE LABORATORIO

Se realizaron numerosas pruebas de laboratorio para el desarrollo de este proyecto. La figura 5.1 muestra los elementos utilizados en las primeras pruebas realizadas para el control de motores.



Figura 5.1 *Prueba de control de motores.*

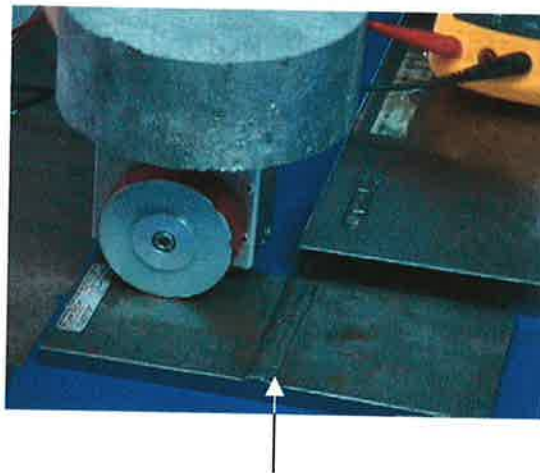
Mediante las pruebas de los motores se determinó si la etapa de potencia era adecuada para los motores que se utilizarían, además se vio el comportamiento de estos a diferentes frecuencia de la señal de control PWM, encontrando que la frecuencia de trabajo de 3 KHz era apropiada para el control de los motores, dicha frecuencia fue la que finalmente se utilizó.

Una vez desarrollado el sistema mecánico de tracción para el prototipo, se realizaron pruebas de consumo de corriente de los motores, obteniendo un consumo de corriente de 0.3 amperes por rueda, además se hizo para *una sola rueda* por un cordón de soldadura y se incremento una carga aproximada para simular el peso que cada rueda debería soportar, tal como se muestra en las siguientes figuras.



CORDON DE SOLDADURA

Figura 5.2 prueba del sistema de tracción para una rueda.



CORDON DE SOLDADURA

Figura 5.3 prueba del sistema de tracción para una rueda con carga simulada

Uno de los puntos críticos para la tracción son justamente los cordones de soldadura. Debido a que las ruedas están magnetizadas, estas tienden a pegarse a la soldadura. La

primera prueba que se realizó en el laboratorio, el sistema de tracción pasó la soldadura sin ningún problema, obteniéndose un consumo de corriente máximo de 0.60 amperes.

Después de obtener pruebas exitosas con una rueda resultaba necesario realizar pruebas con **2 ruedas** para así poder pasar al prototipo final que sería de 4 ruedas. Para esta prueba se desarrolló un sistema electrónico basado en un microcontrolador PIC16C74B. Se realizó un programa para el microcontrolador que proporciona el control para el movimiento de avance y retroceso de las cajas de tracción, así como el control de su velocidad mediante señales PWM. De esta forma se tuvo la oportunidad de probar por separado del sistema de tracción y el sistema de control, y analizar la respuesta de la etapa de potencia ya optoacoplada. El sistema respondió favorablemente, por lo que no existe ningún impedimento ni problema para su uso. Los parámetros y resultados de la prueba se observan en la tabla 5.1.

PARAMETROS DE LA PRUEBA	
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	12V
CONSUMO DE CORRIENTE	0.85-0.88 Amperes
FRECUENCIA PWM	2.93KHz
CICLO DE TRABAJO DEL PWM	0% -100%

Tabla 5.1 *parámetros y resultados de la prueba con 2 ruedas*

La figura 5.4 muestra la prueba con 2, ruedas en ella se puede apreciar un prototipo de 2 ruedas subiendo por una pared metálica y el sistema de control desarrollado en una tarjeta de prueba (proto- board).

En esta prueba, el movimiento del sistema no fue lineal, tendía a desviarse a la derecha, aunque no es de extrañarse, debido a que aún no contaba con un sistema direccionador.

Para resolver este problema se utilizó un medidor de inclinación, que lo guiará a realizar una trayectoria recta.



Figura 5.4 prueba de laboratorio del sistema de tracción para 2 ruedas.



Figura 5.5 Señal PWM usada para el control de los motores de la prueba.

En la figura 5.5 se muestra la señal de PWM de aproximadamente 3 KHz que fue utilizada en esta prueba. El osciloscopio empleado fue un Infiniium de Agilent.

Una vez realizadas las pruebas pertinentes y de haber obtenido resultados satisfactorios, se prosiguió al ensamble del prototipo final y al desarrollo las tarjetas impresas de los circuitos electrónicos diseñados y probados en tablillas de prueba, la tarjeta digital se muestra en la figura 5.6.

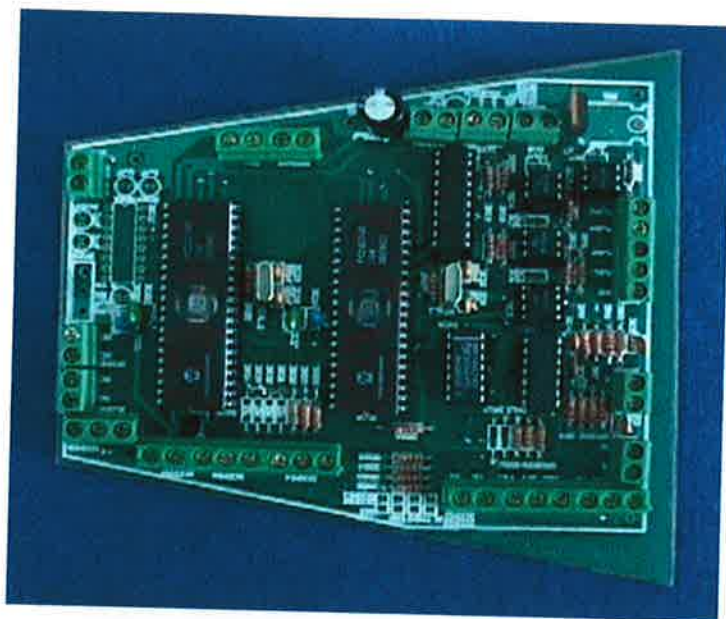


Figura 5.6 *Tarjeta de control del robot.*

Las tarjetas electrónicas fueron probadas en laboratorio y después ensambladas en el robot para finalmente conseguir el prototipo final que tuvo que ser evaluado y ajustado para obtener el comportamiento deseado del robot en operación.



Figura 5.7 pruebas de laboratorio del Robot.

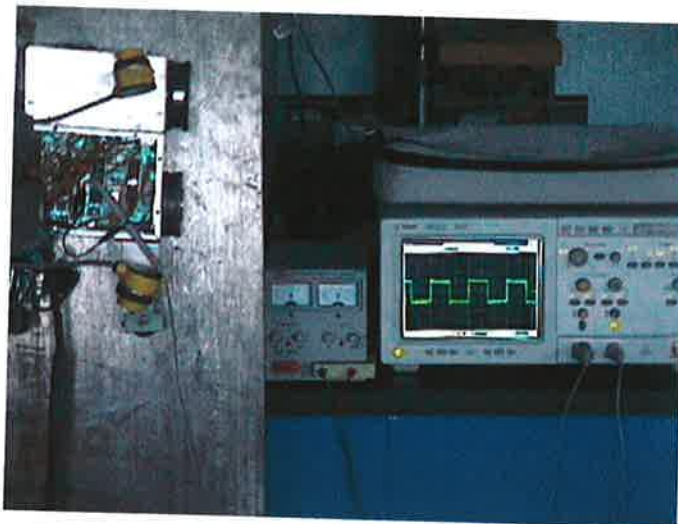


Figura 5.8 pruebas de laboratorio del Robot.

En la figura 5.7 y figura 5.8 se pueden apreciar las pruebas de laboratorio que se realizaron al prototipo de 4 ruedas, estas pruebas se realizaron bajo los siguientes parámetros.

PARAMETROS DE LA PRUEBA	
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	12Volts
CONSUMO DE CORRIENTE	3.1 Amperes
PICOS DE CORRIENTE MAXIMOS	4.2 Amperes
FRECUENCIA PWM	2.93KHz
CICLO DE TRABAJO DEL PWM1 Y PWM2	0% -98%

Tabla 5.2 *parámetros de la prueba con 2 ruedas*

Los resultados de esta prueba fueron satisfactorios, obteniendo un buen desempeño de las distintas etapas del robot. Como puede observarse en la tabla 5.2, el consumo de corriente a velocidad constante del robot subiendo una placa de material ferromagnético fue de 3.1 amperes y los picos máximos de corriente en el arranque o al paso de un cordón de soldadura no sobrepasó los 4.2 amperes, esto debido a la rampa de arranque con que cuenta el robot, de esta forma el diseño es bastante seguro ya que la etapa de potencia puede soportar corrientes de hasta 12 amperes.

Las gráficas de las señales de PWM que controlan la velocidad y la inclinación del robot se muestran a continuación, en la figura 5.9 se tiene un defasamiento del robot hacia la izquierda, así el robot trata de corregir su inclinación disminuyendo la velocidad de la rueda derecha, esto se logra reduciendo el ciclo de trabajo de esta última rueda. En la figura 5.10 se tiene lo contrario es decir una desviación o inclinación del robot a la derecha y entonces el proceso de control es justamente al contrario.



Figura 5.9 Diferencia del ciclo de trabajo de la señal PWM usada para el control de inclinación del robot.

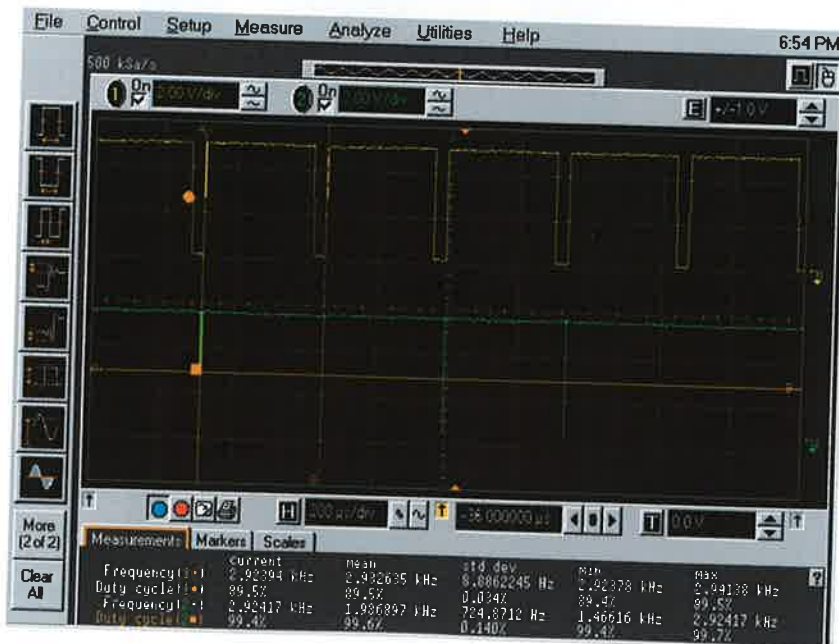


Figura 5.10 Diferencia del ciclo de trabajo de la señal PWM usada para el control de inclinación del robot.

5.2 PRUEBAS DE CAMPO

Una vez realizadas las pruebas de laboratorio, se procedió a realizar las pruebas de campo, estas se realizaron en las instalaciones de Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales (LAPEM), ubicada en Irapuato, Guanajuato y en el Centro de Ingeniería y desarrollo Industrial (CIDESI) ubicado en Querétaro Qro. En la figura 5.11 se muestra el prototipo de doble tracción independiente subiendo la pared de un tanque de almacenamiento.

Se verificaron los siguientes parámetros:

- Adherencia de las ruedas al tanque.
- Resistencia al deslizamiento.
- Consumo de corriente de los motores.
- Velocidad de desplazamiento.



Figura 5.11 Prototipo de 2 ruedas subiendo por un tanque de almacenamiento.

Los resultados fueron los siguientes:

- La adherencia de las ruedas fue de 8 Kg de resistencia al desprendimiento.
- Al prototipo se le cargó la batería de 2 Kg más su propio peso, que en total dan 5.4 Kg. Durante las pruebas el peso no provocó ningún problema de inestabilidad.
- El consumo de corriente fue de 1 – 1.2 A, si recordamos el consumo de corriente en las pruebas de laboratorio para este mismo sistema fue de 0.85-0.88 amperes, este aumento de corriente es debido al peso extra de la batería.
- La velocidad fue de 6.30 cm / seg. a un voltaje de 14 volts de alimentación.

Evidentemente el paso a seguir fue probar el prototipo de **4 ruedas** en campo. Para esta prueba se utilizó el arreglo final de 2 microcontroladores que controlaban ambos lados del robot de forma independiente, además se utilizaron 2 encoders uno en cada lado del robot con la finalidad de lograr una corrección de la inclinación del robot, de esta forma si un encoder avanzaba más que el otro el sistema corregía la desviación.

Esta prueba se realizó en las instalaciones del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI). En la figura 5.12 se muestra el prototipo de 4 ruedas de tracción independiente con sistema electrónico.

Los parámetros a evaluar fueron los siguientes:

- Adherencia de las ruedas al tanque.
- Resistencia al deslizamiento.
- Velocidad de desplazamiento.
- Consumo de corriente de los motores.
- Seguimiento de línea recta o inclinación.
- Comportamiento del sistema electrónico



Figura 5.12 *Prototipo inalámbrico subiendo por un tanque de almacenamiento.*

Los resultados fueron los siguientes:

- La adherencia de las ruedas fue de 15 Kg de resistencia al desprendimiento.
- Al prototipo se le cargó un peso total de 8.3 Kg. Durante las pruebas el peso lo trasladó sin ningún problema.
- El consumo de corriente fue de 2 a 2.3 A. Cargando un peso de 8.3 Kg.
- La velocidad fue de 6.10 cm / seg.
- El seguimiento de línea recta resultó ser problemático, debido al sistema de dos econders opuestos el robot debía colocarse completamente vertical sin permitir el mínimo error, aunado a esto, los pequeños resbalones o patinajes de las ruedas incrementaban el error por tal motivo se decidió investigar otro sistema, el inclinómetro.

- El sistema electrónico se comportó perfectamente debido a que ya contaba con las protecciones adecuadas que fueron mencionadas en el capítulo 4.

Una vez realizadas las pruebas anteriores y las pruebas de laboratorio también ya vistas, se ensambló el prototipo final, Para este prototipo de 4 ruedas, se realizaron las pruebas para la evaluación de los siguientes parámetros:

- Adherencia de las ruedas al tanque.
- Resistencia al deslizamiento.
- Consumo de corriente de los motores.
- Velocidad de desplazamiento.
- Seguimiento de línea recta.
- Detección del ribete del tanque.
- Alcance del sistema de radio control.
- Toma de lecturas del sistema posicionador del transductor.

Los resultados fueron los siguientes:

- La adherencia de las ruedas fue de 15 Kg de resistencia al desprendimiento.
- Al robot se le cargó un peso total de 6.984 Kg. El valor de la resistencia al deslizamiento fue de 11 kg. Durante las pruebas el peso lo trasladó sin ningún problema.
- El consumo de corriente fue de 2.9 a 3.1 A.
- La velocidad fue de 6.40 cm / seg.
- Se utilizó el medidor de inclinación para que el robot conservara la vertical, tal como se explica en los puntos 4.4.3 y 4.7.3 del capítulo 4, obteniéndose que para un tramo de 12 metros de recorrido existía una desviación de sólo 7 mm. Lo cual resulta excelente para el tipo de prueba de medición de espesores donde la tolerancia es de casi 2 cm.
- El robot realizó la detección del ribete del tanque en el 100% de las ocasiones.

- Se inspeccionó un tanque de 18 metros de altura el cual es de los más altos y no se tuvo ningún problema con la respuesta del robot en modo de operación remota explicado en el punto 4.6 del capítulo 4.
- La toma de lecturas de medición de espesores del transductor por medio del sistema posicionador del mismo es confiable, en la prueba realizada a un tanque y tomando 1500 lecturas el 95 % de ellas son congruentes un y el 5% de incongruencia se debe a factores implícitos en los tanques de almacenamiento, como los cordones de soldadura.

A continuación en la figura 5.13 se muestra en una fotografía el robot de medición de espesores fabricado subiendo por la pared de un tanque hecho de material ferromagnético. Este tanque se encuentra en las instalaciones de LAPEM ubicado en Irapuato Guanajuato. Las dimensiones son 7 m alto y 6 m radio. Enseguida se tienen dos figuras más (figura 5.14 y figura 5.15) donde se muestra el robot inspeccionando un tanque de 18 metros de altura y 50 metros de diámetro ubicado en la termoelectrica de Salamanca.



Figura 5.13 *Medición de espesores de tanques de almacenamiento.*



Figura 5.14 *Medición de espesores de tanques de almacenamiento.*



Figura 5.15 *Medición de espesores de tanques de almacenamiento.*

5.3 ROBOT FINAL.

En la Fig. 5.16 se muestra el robot terminado y en la tabla 5.1 se muestran los pesos de cada una de las partes del robot. El peso total del robot es menor en 818 gramos al estimado. Las dimensiones del robot terminado son de: 300 x 200 x 185 mm.

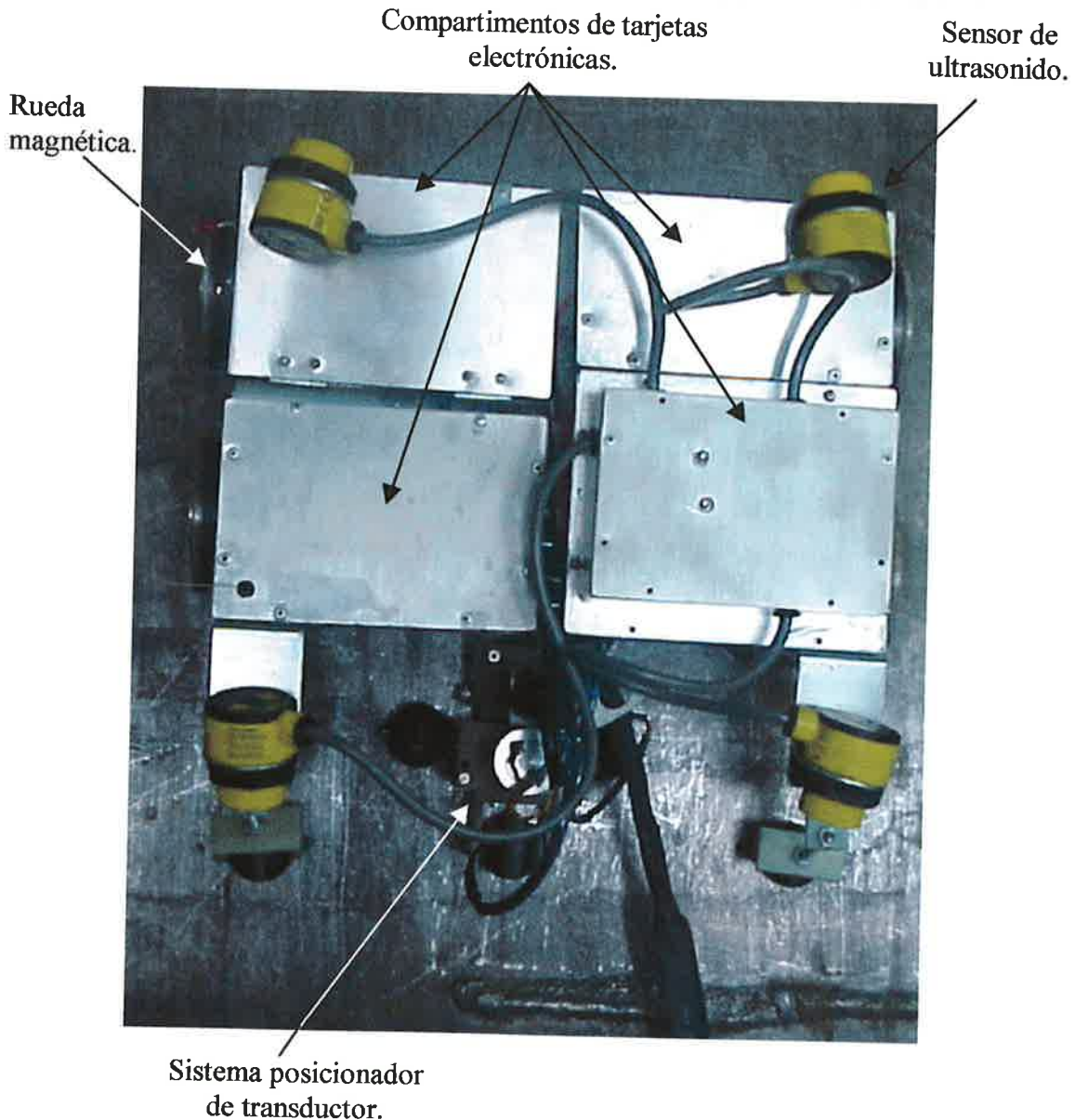


Figura 5.16 Robot terminado para medición de espesores de tanques de almacenamiento

De acuerdo a las pruebas de campo y laboratorio realizadas con el robot final, se calculó una eficiencia del 99 % en la medición del espesor de las placas con una variación de 0.008 pulgadas entre medición y medición con respecto al mismo punto. En el anexo se muestra una prueba donde se tomaron 1437 lecturas y se puede observar esa variación de 0.008 pulgadas, entre cada una de las lecturas tomadas en el mismo punto por el robot.

CONCLUSIONES

El desarrollo de nuevos proyectos que busquen resolver problemas reales es de gran importancia, sobre todo cuando la integridad del ser humano está en riesgo. El proyecto aquí presentado tiene esa finalidad, y el problema específico es el de la medición de espesores de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones donde existen verdaderos riesgos de accidentes para el personal encargado de llevar a cabo esa inspección, como lo son las caídas que pueden ser fatales, o bien pueden haber riesgos para las comunidades aledañas a las instalaciones donde se encuentren los tanques o recipientes a presión, ya que si alguno de estos llegase a fallar o a derraman líquido que pueda ser explosivo o nocivo para la salud, pueden ocurrir accidente catastróficos como algunos ya ocurridos con anterioridad.

Esto se logra debido a que el robot presentado en este trabajo puede subir por las paredes de los tanques de almacenamiento, eliminando la necesidad de que el personal deba usar escaleras, andamios, arneses o grúas, para acceder a los puntos intermedios o altos del tanque. Otro aspecto importante es que con el uso de este desarrollo tecnológico se respetan cabalmente las normas de inspección para tanques de almacenamiento, las cuales indican que las lecturas de medición de espesores deben realizarse cada 22.86 cm (9 pulgadas) de separación entre lecturas (norma SA-435/SA435-M de la ASME), lo cual actualmente algunas compañías no respetan, realizando las lecturas cada 100 cm. Esto por la dificultad que representa tomar lecturas a altas alturas que implica una erogación grande de tiempo y dinero.

En general los beneficios aportados por este proyecto son los siguientes:

- Se cuenta con un equipo capaz de inspeccionar los tanques de almacenamiento de forma automatizada.
- Reducción de costos de inspección.

- Desarrollo de una tecnología que engloba: rapidez, seguridad, confiabilidad y certeza en la inspección de tanques de almacenamiento.
- Mostrar el conocimiento adquirido durante el desarrollo de un robot móvil diseñado para efectuar tareas de medición de espesores sobre las paredes de grandes tanques ferromagnéticos.
- Las lecturas de espesores son almacenadas en computadora generándose una base de datos para el análisis detallado y generación de reportes.
- Los beneficios que se brindan a los usuarios permiten que el proyecto sea rentable.
- Desarrollo de tecnología propia con la factibilidad de ampliar sus aplicaciones.
- Formación de capital intelectual.

A pesar de que en este proyecto se pensó utilizar el robot únicamente para tanques de almacenamiento de grandes dimensiones, como lo son de 15 metros de alto por 25 metros de diámetro, esto no impide que se pueda utilizar en tanques de menor tamaño, aunque el robot tenga un límite en cuanto al diámetro mínimo para la inspección de tanques más pequeños, pueden ser utilizados robots de menor escala o de mayor flexibilidad, que incluso puedan inspeccionar tuberías.

El presente proyecto convierte las actividades manuales de menor eficiencia a actividades robotizadas, reduciendo tiempo y a la vez costos, así como haciendo más confiables este tipo de lecturas. Los indicadores de mejoras son los siguientes:

MÉTODO ORIGINAL

- De 4 a 7 días en la inspección de un tanque de 50 x 15 metros.
- De 3 a 6 personas.
- Gastos de grúas.
- Armado de andamios, uso de escaleras y arneses.
- Inspección fuera de normas.

MÉTODO ROBOTIZADO

- 18 horas en la inspección de una tanque de 50 x 15 metros.
- 1 persona para operar el robot.
- No se requieren grúas, andamios, escaleras o arneses.
- La medición de espesores es metódica, segura y se sujeta cabalmente a las normas.

Algo que es de importancia recalcar es que el desarrollo se realizó con mano de obra y tecnología Mexicana, lo cual abre las puertas al desarrollo de robots en México y lo que es más importante se logra la reducción de dependencia con los países más desarrollados.

De esta forma el proyecto resulta de gran utilidad y justifica la inversión tanto en investigación y desarrollo, como en su aplicación en la industria, haciéndolo un proyecto rentable.

Sin embargo este proyecto puede ser mejorado, pues es posible aumentar sus capacidades incorporando sistemas basados en visión artificial para la evasión de obstáculos con ayuda de procesadores de mayor potencia, lo cual le permitirá mayor independencia, aunado a esto se pueden realizar modificaciones tal que el robot sea completamente inalámbrico, y que además tenga la capacidad de poder inspeccionar tanques de materiales no ferromagnéticos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tank inspection, repair, alteration, API Standar 653 second edition, December 1995.
- [2] <http://www.ela-iet.com/el00009.htm>.
- [3] The American society of mechanical engineers, 1995 ASME Boiler & Pressure Vessel Code, 1995.
- [4] Anual Book of ASTM Standars 2000, norma ASTM A-435.
- [5] Ángulo Usategui José Ma., Robótica práctica, Paraninfo, 1996.
- [6] D. Mccloy, Robótica una introducción, Prentice Hall, 1993.
- [7] <http://www.mecamex.net/>.
- [8] <http://www.iespana.es/gaiaxxi/nanotecnologia.htm>.
- [9] <http://www.darvahouse.com/nanorobots/>.
- [10] Sensors for mobile robots, theory and aplicaciones, Ed. A.K. Peters ltd. EUA1995.
- [11] Microcontroladores PIC La solución en un chip, E. Martín, J.Ma. Angulo Usategui, I. Angulo Martínez, Paradinfo.
- [12] Núñez Alcocer José Luis (Nivel III ASNT), Curso Industrial de Ultrasonido, CIDESI 1995.
- [13] Reference Handbook, Microchip Inc. EUA 1995.
- [14] Sistemas de control automático, Benjamin C. Kuo, Pearson Educación.
- [15] Control Systems Applications, William S. Levine, CRC Press LLC.

ANEXO

WinPlus Thickness Measurements Only

PANAMETRICS Ultrasonic Thickness Gage

Filename : 45
Erase Protection : ON
Inspector ID :

File Type : Incremental
File Description :
Location-Note :

Survey Date:

Data Point ID	Thickness	Units		Edit	Active
00000	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00001	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00002	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00003	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00004	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00005	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00006	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00007	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00008	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00009	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00010	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00011	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00012	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00013	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00014	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00015	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00016	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00017	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00018	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00019	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00020	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00021	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00022	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00023	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00024	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00025	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00026	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00027	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00028	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00029	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00030	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00031	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00032	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00033	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00034	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00035	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00036	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00037	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00038	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00039	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00040	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00041	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00042	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00043	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00044	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes

00045	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00046	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00047	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00048	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00049	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00050	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00051	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00052	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00053	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00054	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00055	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00056	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00057	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00058	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00059	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00060	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00061	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00062	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00063	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00064	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00065	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00066	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00067	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00068	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00069	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00070	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00071	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00072	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00073	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00074	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00075	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00076	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00077	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00078	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00079	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00080	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00081	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00082	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00083	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00084	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00085	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00086	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00087	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00088	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00089	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00090	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00091	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00092	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00093	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00094	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00095	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00096	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00097	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes

00098	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00099	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00100	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00101	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00102	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00103	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00104	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00105	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00106	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00107	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00108	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00109	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00110	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00111	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00112	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00113	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00114	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00115	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00116	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00117	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00118	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00119	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00120	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00121	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00122	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00123	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00124	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00125	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00126	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00127	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00128	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00129	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00130	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00131	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00132	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00133	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00134	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00135	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00136	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00137	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00138	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00139	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00140	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00141	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00142	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00143	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00144	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00145	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00146	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00147	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00148	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00149	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00150	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes

00151	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00152	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00153	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00154	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00155	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00156	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00157	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00158	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00159	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00160	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00161	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00162	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00163	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00164	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00165	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00166	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00167	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00168	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00169	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00170	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00171	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00172	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00173	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00174	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00175	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00176	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00177	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00178	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00179	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00180	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00181	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00182	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00183	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00184	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00185	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00186	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00187	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00188	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00189	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00190	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00191	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00192	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00193	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00194	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00195	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00196	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00197	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00198	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00199	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00200	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00201	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00202	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00203	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes

00204	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00205	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00206	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00207	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00208	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00209	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00210	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00211	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00212	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00213	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00214	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00215	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00216	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00217	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00218	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00219	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00220	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00221	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00222	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00223	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00224	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00225	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00226	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00227	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00228	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00229	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00230	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00231	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00232	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00233	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00234	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00235	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00236	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00237	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00238	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00239	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00240	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00241	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00242	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00243	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00244	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00245	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00246	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00247	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00248	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00249	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00250	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00251	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00252	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00253	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00254	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00255	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00256	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes

00257	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00258	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00259	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00260	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00261	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00262	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00263	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00264	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00265	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00266	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00267	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00268	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00269	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00270	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00271	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00272	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00273	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00274	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00275	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00276	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00277	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00278	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00279	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00280	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00281	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00282	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00283	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00284	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00285	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00286	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00287	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00288	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00289	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00290	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00291	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00292	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00293	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00294	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00295	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00296	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00297	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00298	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00299	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00300	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00301	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00302	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00303	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00304	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00305	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00306	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00307	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00308	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00309	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes

00310	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00311	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00312	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00313	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00314	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00315	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00316	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00317	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00318	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00319	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00320	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00321	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00322	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00323	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00324	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00325	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00326	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00327	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00328	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00329	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00330	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00331	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00332	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00333	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00334	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00335	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00336	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00337	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00338	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00339	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00340	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00341	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00342	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00343	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00344	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00345	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00346	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00347	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00348	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00349	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00350	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00351	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00352	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00353	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00354	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00355	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00356	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00357	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00358	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00359	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00360	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00361	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00362	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes

00363	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00364	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00365	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00366	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00367	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00368	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00369	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00370	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00371	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00372	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00373	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00374	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00375	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00376	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00377	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00378	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00379	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00380	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00381	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00382	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00383	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00384	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00385	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00386	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00387	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00388	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00389	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00390	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00391	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00392	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00393	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00394	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00395	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00396	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00397	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00398	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00399	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00400	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00401	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00402	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00403	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00404	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00405	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00406	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00407	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00408	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00409	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00410	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00411	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00412	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00413	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00414	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00415	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes

00416	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00417	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00418	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00419	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00420	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00421	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00422	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00423	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00424	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00425	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00426	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00427	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00428	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00429	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00430	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00431	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00432	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00433	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00434	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00435	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00436	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00437	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00438	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00439	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00440	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00441	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00442	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00443	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00444	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00445	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00446	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00447	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00448	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00449	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00450	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00451	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00452	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00453	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00454	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00455	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00456	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00457	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00458	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00459	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00460	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00461	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00462	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00463	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00464	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00465	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00466	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00467	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00468	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes

00469	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00470	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00471	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00472	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00473	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00474	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00475	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00476	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00477	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00478	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00479	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00480	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00481	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00482	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00483	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00484	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00485	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00486	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00487	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00488	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00489	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00490	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00491	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00492	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00493	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00494	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00495	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00496	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00497	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00498	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00499	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00500	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00501	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00502	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00503	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00504	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00505	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00506	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00507	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00508	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00509	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00510	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00511	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00512	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00513	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00514	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00515	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00516	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00517	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00518	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00519	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00520	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00521	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes

00522	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00523	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00524	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00525	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00526	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00527	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00528	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00529	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00530	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00531	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00532	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00533	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00534	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00535	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00536	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00537	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00538	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00539	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00540	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00541	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00542	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00543	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00544	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00545	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00546	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00547	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00548	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00549	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00550	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00551	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00552	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00553	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00554	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00555	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00556	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00557	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00558	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00559	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00560	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00561	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00562	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00563	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00564	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00565	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00566	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00567	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00568	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00569	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00570	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00571	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00572	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00573	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00574	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes

00575	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00576	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00577	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00578	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00579	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00580	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00581	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00582	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00583	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00584	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00585	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00586	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00587	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00588	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00589	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00590	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00591	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00592	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00593	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00594	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00595	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00596	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00597	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00598	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00599	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00600	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00601	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00602	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00603	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00604	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00605	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00606	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00607	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00608	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00609	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00610	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00611	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00612	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00613	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00614	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00615	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00616	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00617	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00618	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00619	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00620	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00621	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00622	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00623	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00624	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00625	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00626	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00627	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes

00628	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00629	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00630	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00631	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00632	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00633	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00634	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00635	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00636	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00637	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00638	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00639	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00640	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00641	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00642	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00643	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00644	0.199	8/30/2002	IN	No	Yes
00645	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00646	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00647	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00648	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00649	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00650	0.200	8/30/2002	IN	No	Yes
00651	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00652	0.201	8/30/2002	IN	No	Yes
00653	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00654	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00655	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00656	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00657	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00658	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00659	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00660	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00661	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00662	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00663	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00664	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00665	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00666	0.202	8/30/2002	IN	No	Yes
00667	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00668	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00669	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00670	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00671	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00672	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00673	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00674	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00675	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00676	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00677	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00678	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00679	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00680	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes

00681	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00682	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00683	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00684	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00685	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00686	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00687	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00688	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00689	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00690	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00691	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00692	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00693	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00694	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00695	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00696	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00697	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00698	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00699	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00700	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00701	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00702	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00703	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00704	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00705	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00706	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00707	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00708	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00709	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00710	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00711	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00712	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00713	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00714	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00715	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00716	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00717	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00718	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00719	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00720	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00721	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00722	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00723	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00724	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00725	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00726	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00727	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00728	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00729	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00730	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00731	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
00732	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00733	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes

00734	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00735	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00736	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00737	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00738	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00739	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00740	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00741	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00742	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00743	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00744	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00745	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00746	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00747	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00748	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00749	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00750	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00751	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00752	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00753	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00754	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00755	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00756	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00757	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00758	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00759	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00760	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00761	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00762	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00763	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00764	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00765	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00766	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00767	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00768	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00769	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00770	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00771	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00772	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00773	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00774	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00775	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00776	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00777	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00778	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00779	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00780	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00781	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00782	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00783	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00784	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00785	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00786	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes

00787	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00788	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00789	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00790	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00791	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00792	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00793	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00794	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00795	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00796	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00797	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00798	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00798	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00799	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00800	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00801	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00802	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00803	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00804	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00805	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00806	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00807	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00808	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00809	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00810	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00811	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00812	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00813	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00814	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00815	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00816	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00817	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00818	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00819	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00820	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00821	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00822	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00823	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00824	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00825	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00826	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00827	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00828	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00829	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00830	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00831	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00832	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00833	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00834	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00835	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00836	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00837	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00838	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00839	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes

00840	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00841	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00842	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00843	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00844	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00845	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00846	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00847	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00848	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00849	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00850	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00851	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00852	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00853	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00854	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00855	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00856	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00857	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00858	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00859	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00860	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00861	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00862	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00863	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00864	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00865	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00866	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00867	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00868	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00869	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00870	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00871	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00872	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00873	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00874	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00875	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00876	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00877	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00878	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00879	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00880	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00881	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00882	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00883	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00884	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00885	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00886	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00887	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00888	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00889	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00890	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00891	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00892	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes

00893	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00894	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00895	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00896	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00897	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00898	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00899	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00900	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00901	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00902	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00903	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00904	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00905	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00906	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00907	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00908	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00909	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00910	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00911	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00912	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00913	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00914	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00915	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00916	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00917	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00918	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00919	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00920	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00921	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00922	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00923	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00924	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00925	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00926	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00927	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00928	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00929	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00930	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00931	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00932	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00933	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00934	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00935	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00936	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00937	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00938	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00939	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00940	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00941	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00942	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00943	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00944	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00945	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes

00946	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00947	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00948	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00949	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00950	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00951	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00952	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00953	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00954	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00955	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00956	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00957	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00958	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00959	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00960	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00961	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00962	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00963	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00964	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00965	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00966	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00967	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00968	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00969	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00970	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00971	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00972	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00973	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00974	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00975	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00976	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00977	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00978	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00979	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00980	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00981	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00982	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00983	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00984	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00985	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
00986	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00987	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00988	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00989	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00990	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00991	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00992	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00993	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00994	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
00995	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00996	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00997	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
00998	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes

00999	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01000	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01001	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01002	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01003	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01004	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01005	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01006	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01007	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01008	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01009	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01010	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01011	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01012	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01013	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01014	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01015	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01016	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01017	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01018	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01019	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01020	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01021	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01022	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01023	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01024	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01025	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01026	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01027	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01028	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01029	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01030	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01031	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01032	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01033	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01034	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01035	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01036	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01037	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01038	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01039	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01040	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01041	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01042	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01043	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01044	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01045	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01046	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01047	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01048	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01049	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01050	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01051	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes

01052	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01053	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01054	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01055	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01056	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01057	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01058	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01059	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01060	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01061	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01062	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01063	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01064	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01065	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01066	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01067	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01068	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01069	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01070	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01071	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01072	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01073	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01074	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01075	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01076	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01077	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01078	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01079	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01080	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01081	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01082	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01083	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01084	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01085	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01086	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01087	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01088	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01089	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01090	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01091	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01092	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01093	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01094	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01095	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01096	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01097	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01098	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01099	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01100	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01101	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01102	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01103	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01104	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes

01105	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01106	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01107	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01108	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01109	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01110	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01111	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01112	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01113	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01114	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01115	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01116	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01117	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01118	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01119	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01120	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01121	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01122	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01123	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01124	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01125	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01126	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01127	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01128	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01129	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01130	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01131	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01132	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01133	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01134	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01135	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01136	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01137	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01138	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01139	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01140	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01141	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01142	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01143	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01144	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01145	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01146	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01147	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01148	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01149	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01150	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01151	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01152	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01153	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01154	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01155	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01156	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01157	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes

01158	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01159	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01160	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01161	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01162	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01163	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01164	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01165	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01166	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01167	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01168	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01169	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01170	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01171	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01172	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01173	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01174	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01175	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01176	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01177	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01178	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01179	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01180	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01181	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01182	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01183	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01184	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01185	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01186	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01187	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01188	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01189	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01190	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01191	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01192	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01193	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01194	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01195	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01196	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01197	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01198	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01199	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01200	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01201	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01202	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01203	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01204	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01205	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01206	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01207	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01208	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01209	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01210	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes

01211	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01212	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01213	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01214	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01215	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01216	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01217	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01218	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01219	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01220	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01221	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01222	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01223	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01224	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01225	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01226	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01227	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01228	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01229	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01230	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01231	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01232	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01233	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01234	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01235	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01236	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01237	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01238	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01239	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01240	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01241	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01242	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01243	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01244	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01245	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01246	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01247	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01248	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01249	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01250	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01251	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01252	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01253	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01254	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01255	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01256	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01257	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01258	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01259	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01260	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01261	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01262	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01263	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes

01264	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01265	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01266	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01267	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01268	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01269	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01270	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01271	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01272	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01273	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01274	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01275	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01276	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01277	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01278	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01279	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01280	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01281	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01282	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01283	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01284	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01285	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01286	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01287	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01288	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01289	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01290	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01291	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01292	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01293	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01294	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01295	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01296	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01297	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01298	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01299	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01300	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01301	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01302	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01303	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01304	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01305	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01306	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01307	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01308	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01309	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01310	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01311	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01312	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01313	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01314	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01315	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01316	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes

01317	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01318	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01319	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01320	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01321	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01322	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01323	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01324	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01325	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01326	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01327	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01328	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01329	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01330	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01331	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01332	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01333	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01334	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01335	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01336	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01337	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01338	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01339	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01340	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01341	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01342	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01343	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01344	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01345	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01346	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01347	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01348	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01349	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01350	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01351	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01352	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01353	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01354	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01355	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01356	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01357	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01358	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01359	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01360	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01361	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01362	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01363	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01364	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01365	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01366	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01367	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01368	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01369	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes

01370	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01371	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01372	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01373	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01374	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01375	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01376	0.203	8/30/2002	IN	No	Yes
01377	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01378	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01379	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01380	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01381	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01382	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01383	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01384	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01385	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01386	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01387	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01388	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01389	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01390	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01391	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01392	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01393	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01394	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01395	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01396	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01397	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01398	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01399	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01400	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01401	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01402	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01403	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01404	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01405	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01406	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01407	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01408	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01409	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01410	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01411	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01412	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01413	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01414	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01415	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01416	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01417	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01418	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01419	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes
01420	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01421	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01422	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes

01423	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01424	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01425	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01426	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01427	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01428	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01429	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01430	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01431	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01432	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01433	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01434	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01435	0.205	8/30/2002	IN	No	Yes
01436	0.206	8/30/2002	IN	No	Yes
01437	0.204	8/30/2002	IN	No	Yes

Report Date : 10/ 8/2002