

35
2 es.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA



MODULO DE SENSORES PARA UN CALIPER
DE 12''

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
EN EL AREA ELECTRICA-ELECTRONICA
P R E S E N T A :
CARRILLO MORENO CLAUDIA VERONICA

DIRECTOR: DR. JULIO SOLANO GONZALEZ.
CODIRECTOR: ING. MARTIN FUENTES CRUZ.

MEXICO, D. F.

1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

259631



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, "mi alma mater".

A la **Facultad de Ingeniería UNAM**, por la formación que he recibido.

Al **Instituto Mexicano del Petróleo**, especialmente a la Gerencia de Geofísica, por el apoyo y las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

Al **Ing. Miguel Angel Blanco**, Jefe del proyecto CFB 0101, "Desarrollo del Diablo Geocaliper", por darme la oportunidad de integrarme a su equipo de trabajo.

Al **Dr. Fabián García Nocetti**, jefe del Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales del IIMAS-UNAM, por su apoyo y facilidades.

En especial al **Ing. Martín Fuentes Cruz** y al **Dr. Julio Solano C.** Directores de esta Tesis, por sus asesorías, dedicación y consejos, para la realización de este trabajo.

Al **Ing. Eric Rodríguez Tovar**, por compartir conmigo su trabajo y por su amistad.

Al **todos los que integran el equipo de trabajo del proyecto CFB-0101 del IMP**, Héctor, Daniel, Alfonso y Eduardo por su comprensión, apoyo y consejos.

A todos aquellos que me han alentado y acompañado cuando lo he necesitado, a Alfonso, a Carlos, **a mis hermanas** por su amistad, **a mis padres** por su amor durante toda mi vida y sobre todo **a Dios** por tenerme tan consentida.



PRÓLOGO

En México, al igual que en otros países en el mundo, se cuenta con ductos que componen una extensa red de transporte y distribución de hidrocarburos, estos ductos están expuestos a muchos agentes externos que provocan su deterioro, desde actividades propias del hombre hasta fenómenos naturales. Por lo que es comprensible que disminuyan su vida útil y que dichos deterioros sean en ocasiones una de las causas que provocan problemas de operación, así como graves accidentes y en ocasiones hasta desastres.

Tomando en cuenta lo anterior es necesario realizar mantenimientos periódicos a los ductos de la red de transporte de hidrocarburos. Se ha demostrado que un eficiente programa de mantenimiento de ductos debe incluir actividades de inspección interna que permitan determinar y corregir oportunamente daños en tuberías y así evitar problemas posteriores.

Una de estas inspecciones consiste en determinar las fallas geométricas en tuberías tales como abolladuras, arrugas, pliegues y ovalamientos.

Las abolladuras en tuberías producen una operación insegura debido a que restringen el flujo del producto transportado e inducen la formación de zonas de sedimentación, turbulencia, erosión y corrosión. La vida útil de una línea se ve acortada por excesivos esfuerzos mecánicos en partes dañadas.

Las fallas geométricas pueden ser localizadas y dimensionadas por medio de un instrumento de inspección denominado "Caliper". En la literatura internacional este instrumento aparece con el nombre de "PIG", y al tipo de actividad que desempeña se le denomina "pigging", aquí en México este mismo dispositivo es conocido como "diablo", por lo que de ahora en adelante se hará referencia a éste dispositivo como "DIABLO CALIPER". Actualmente, su uso forma parte integral en la aceptación de las nuevas líneas de transporte de hidrocarburos, y en el monitoreo operacional de tuberías ya existentes.

Al igual que otras compañías en el mundo, Petróleos Mexicanos (PEMEX) tiene la imperiosa necesidad de mantener en buen estado sus ductos, para lo cual, se apoya actualmente en los servicios de inspección interna que ofrecen compañías extranjeras a costos muy altos.

Dentro de los diversos tipos de inspecciones que requiere un ducto, están la determinación de fallas geométricas y el perfil topográfico del mismo.

Ante esta situación, y aprovechando las nuevas tecnologías en circuitos de almacenamiento masivo de información, sensores de posición muy precisos, giróscopos de estado sólido, baterías de alto rendimiento y menor tamaño, la Gerencia de Geofísica del Instituto Mexicano del Petróleo considera que es el momento oportuno para diseñar y construir un instrumento de inspección interna que realice las dos funciones antes descritas en forma simultánea, o cualquiera de ellas en forma independiente. Con base en lo anterior, el

diseño y construcción de un instrumento de esta naturaleza, permitirá a PEMEX disponer de un equipo de calidad hecho con tecnología nacional y que forme parte de sus programas de mantenimiento, evitando así , la fuga de capitales que por esos conceptos existe actualmente.

Debido a lo extenso del tema, este proyecto abarcará únicamente al problema de fallas geométricas sin perder de vista el desarrollo paralelo que se hará respecto al perfil topográfico de los ductos. En particular este trabajo de tesis comprende la sección electrónica del módulo de los sensores que integran el diablo Caliper, esta electrónica asociada deberá ser capaz de adquirir, procesar y almacenar la información dentro del instrumento y deberá estar basada en tecnologías que permitan el almacenamiento masivo de la información y consumo mínimo de energía y espacio .

Cabe mencionar que al final de cada capítulo, se presenta una relación de las referencias utilizadas durante el desarrollo. A fin de facilitar la realización del trabajo escrito así como la comprensión del texto, al final del presente trabajo se incluyen también una sección de apéndices, en los cuales se presentan planos esquemáticos, diseño de los circuitos impresos, así como información general de utilidad que permitirá profundizar algunos temas.

En el Capítulo I de este trabajo de tesis se hace una introducción de los sistemas caliper, se presentan los objetivos generales del proyecto, así como una revisión de los requerimientos y normas que deben cumplir los calipers.

En el Capítulo II, se hace una reseña breve de los tipos de anomalías geométricas que se presentan en los ductos de transporte de hidrocarburos, así como una descripción de los sistemas caliper usados para inspección. Se realiza también a manera de bloques, una descripción general de las etapas que comprende el diseño y construcción del dispositivo caliper que nos ocupa, sus características y consideraciones generales que debe cumplir a fin de permitir la compatibilidad con el dispositivo caliper topográfico.

El Capítulo III, describe en primera instancia la topología general del diseño del módulo electrónico para la adquisición de los datos , los criterios de selección de los diferentes componentes que conforman la sección electrónica, así como la selección de los sensores correspondientes. Además se expone una detallada descripción de los diferentes parámetros a adquirir, las interfaces de dichos sensores , la adquisición de datos y el tipo de baterías a utilizar. Se incluye también en este capítulo la descripción del procesador central y del sistema de almacenamiento de la información, realizando las consideraciones de consumo de energía, espacios, encapsulado y acabados.

Las pruebas y resultados del estudio que nos ocupa son descritos en el Capítulo IV, y por último se especifica en el Capítulo V las conclusiones y comentarios relacionados con este proyecto de tesis.

CONTENIDO

<u>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>I.1 DESCRIPCIÓN GENERAL</u>	3
BENEFICIOS	
<u>I.2 OBJETIVOS GENERALES</u>	4
<u>CAPÍTULO II: GENERALIDADES</u>	5
<u>II.1 ANTECEDENTES</u>	7
<u>II.2 DESCRIPCIÓN</u>	10
SISTEMA DE SENSORES	
SISTEMA ELECTRÓNICO	
SISTEMA MECÁNICO	
SOFTWARE	
SISTEMA EN CONJUNTO	
ETAPA I. DETERMINACIÓN DE ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO.	
ETAPA II. DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DEL INSTRUMENTO.	
ETAPA III. INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL INSTRUMENTO.	
II.2.1 Normas y restricciones	
II.2.2 Parámetros de diseño	
<u>CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESARROLLO DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS</u>	15
<u>III.1 TOPOLOGÍA DEL DISEÑO</u>	17
<u>III.2 SENSORES</u>	19
III.2.1 DIÁMETRO INTERNO DE LA TUBERÍA	
CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN	
CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN	
CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	
III.2.2 TEMPERATURA	
CARACTERÍSTICAS	
RANGOS MÁXIMOS	
III.2.3 PRESIÓN	
FUNCIONALES	
TÉCNICAS	
LÍMITES DE CARGA	
LÍMITES DE TEMPERATURA	
III.2.4 POSICIÓN ANGULAR	
III.2.5 ODÓMETROS	
III.2.5.1 Sensor de efecto Hall	
III.2.6 SOLDADURA	

III.3 MICROCONTROLADORES	32
III.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MICROCONTROLADOR PIC16C74	
ALTERNATIVAS DEL PIC16C74	
ARQUITECTURA	
ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DEL PROGRAMA	
ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DE DATOS	
PILA (stack)	
PUERTO ESCLAVO PARALELO (PSP)	
MÓDULO CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL (A/D)	
INTERRUPCIONES	
MODO DE BAJO CONSUMO (DORMIR)	
III.3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS	
CONFIGURACIÓN INICIAL	
III.3.2.1 Caliper y Odómetros	
RUTINA DEL CALIPER	
RUTINA DE LOS ODÓMETROS.	
III.3.2.2 Sensores	
RUTINA DE TEMPERATURA Y PRESIÓN	
RUTINA DE POSICIÓN ANGULAR	
RUTINA DE DETECCIÓN DE SOLDADURAS	
III.4 MICROCONTROLADOR CENTRAL	58
III.4.1 INTRODUCCIÓN	
III.4.2 GCAT-6000	
CODIFICACIÓN DEL PCBUS.	
III.5 ALMACENAMIENTO DE DATOS	65
III.5.1 INTRODUCCIÓN	
III.5.2 TARJETA DE MEMORIA FLASH	
III.5.2.1 Descripción	
III.5.2.2 Beneficios del uso de una tarjeta de memoria Flash	
III.5.2.3 Tipos	
III.5.2.4 Características	
III.6 FUENTES	73
III.6.1 TIPOS DE BATERÍAS	
III.6.2 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	
III.6.3 SELECCIÓN	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
CARGADORES DE BATERIAS	
III.7 ENSAMBLADO	81
REFERENCIAS	84
CAPÍTULO IV : PRUEBAS Y RESULTADOS	87
IV.1 PRUEBAS DE LABORATORIO	89
IV.1.1 DIÁMETRO INTERNO DE LA TUBERÍA	

IV.1.2	TEMPERATURA Y PRESIÓN	
IV.1.3	POSICIÓN ANGULAR	
IV.1.4	ODÓMETROS	
IV.1.5	SOLDADURA	
IV.1.6	COMUNICACIÓN PIC-GCAT	
IV.2	<u>INSTRUMENTOS USADOS</u>	95
IV.2.1	ELEMENTOS DE PROGRAMACIÓN	
IV.2.2	ELEMENTOS DE PRUEBA	
CAPÍTULO V :	CONCLUSIONES	97
	OBSERVACIONES Y COMENTARIOS	99
<u>APENDICES</u>		101
APENDICE A :	<u>DIAGRAMA ESQUEMÁTICO Y LAYOUT</u>	103
APENDICE B :	<u>LISTADOS DE LOS PROGRAMAS Y</u>	
	<u>DIAGRAMAS DE FLUJO</u>	121
APENDICE C :	<u>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA</u>	
	<u>CONVERTIDOR A/D MAX186</u>	145

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Para realizar un eficiente programa de mantenimiento de ductos de transporte de hidrocarburos, se deben incluir actividades de inspección interna, las cuales permitan determinar y corregir oportunamente daños en tuberías para evitar problemas posteriores.

Una de estas inspecciones consiste en determinar las fallas geométricas en tuberías tales como abolladuras, arrugas, plegues y ovalamientos, dichas inspecciones se realizan con dispositivos denominados "PIC" o "diablos", mismas que por su alto costo, actualmente se realizan en forma muy limitada.

El alto costo en las inspecciones, se debe a que estos servicios los realizan exclusivamente compañías extranjeras, ya que en el país no existe tecnología nacional para realizar ningún tipo de inspección interna de ductos, y por lo tanto tampoco un mecanismo que regule los precios de esos servicios.

Otro tipo de inspección, comprende la determinación del perfil topográfico de las líneas, lo cual resulta indispensable para conocer la trayectoria tridimensional de las mismas y tener un rápido acceso para realizar reparaciones, interconexiones y sondeos en las corridas de dispositivos de limpieza, asimismo explicar las posibles causas de algunas anomalías geométricas.

I.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El presente trabajo presenta los aspectos técnicos para el diseño y construcción de un instrumento Caliper para inspección de anomalías geométricas en ductos de 12" de diámetro, incluyendo en su monitoreo la adquisición de parámetros de presión, temperatura y velocidad de recorrido, con lo cual se obtendrá un perfil de estos tres parámetros a lo largo de la línea, para lo que se deberá tener especial cuidado para cumplir con las condiciones técnicas y de compatibilidad para que este dispositivo pueda ser parte integral de otro similar pero que determine el perfil topográfico de la línea en forma simultánea.

En la actualidad, no existe un instrumento capaz de realizar estas dos funciones en forma simultánea, por lo que este desarrollo será una innovación tecnológica que impactará en las áreas de mantenimiento de los sistemas de transporte y distribución de hidrocarburos por ducto.

Debido a que se diseñará bajo una filosofía modular, el equipo podrá realizar las funciones antes descritas en forma simultánea o si se requiere, únicamente de funciones acordes a necesidades específicas. Por otro lado, esta filosofía modular permitirá intercambiar partes costosas entre diablos de diferentes diámetros.

BENEFICIOS

Los beneficios que se obtendrán mediante el desarrollo de este instrumento son los siguientes:

- Disponibilidad de tecnología propia y de calidad para la determinación de la geométricidad de los ductos que componen el sistema de transporte de hidrocarburos de PEMEX.
- Considerable ahorro de divisas por concepto del servicio que actualmente prestan compañías extranjeras.
- Creación de mecanismos para regular los costos y la calidad de servicios de inspección de esta naturaleza.
- Obtención de información múltiple en una sola corrida (fallas geométricas, perfil topográfico, perfil de velocidad, posibles causas de las fallas geométricas, etc).
- Formación de infraestructura necesaria (equipo y personal) para el diseño de instrumentos de diferentes diámetros y con diferentes propósitos, para resolver problemas específicos e inherentes a los sistemas de ductos de PEMEX.
- Recuperación de la inversión y ahorro de recursos por este tipo de servicios a corto o mediano plazo dependiendo de la frecuencia de uso dada al equipo.
- Mediante la creación de los mecanismos adecuados, la obtención de beneficios económicos por la comercialización en las diferentes entidades de PEMEX y a nivel internacional del instrumento construido.
- Construcción de diablos geocaliper de diferentes diámetros en tiempos y costos menores que el que se construye en un principio.

1.2 OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar y construir un instrumento inteligente de inspección interna de tuberías y de alta resolución que determine fallas geométricas en tuberías de 12".
- Determinar las fallas geométricas de las tuberías abarcando el 100% del perímetro
- Utilizar una filosofía modular para el diseño del equipo, esta filosofía deberá permitir intercambiar partes costosas entre diablos de diferentes diámetros y poder integrar el diseño con otros diablos, como el geocaliper, el cual determinará el perfil topográfico de la línea de transporte.
- Utilizar la información obtenida para determinar otros parámetros como perfiles de velocidad, cordones de soldadura y probables causas de fallas geométricas.
- Presentar resultados en formatos de base de datos, tomando como principal soporte la utilización de computadoras personales en las cuales el usuario pueda consultar, en cualquier momento y con detalle, los resultados de alguna corrida específica.
- Lograr la independencia tecnológica en este aspecto utilizando las nuevas tecnologías a nivel mundial.
- Evitar la fuga de divisas, que por servicios de esta naturaleza, existe actualmente.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

CAPÍTULO II: GENERALIDADES

II.1 ANTECEDENTES

Las abolladuras en tuberías producen una operación insegura debido a que restringen el flujo del producto transportado e inducen la formación de zonas de sedimentación, turbulencia, erosión y corrosión. La vida útil de una línea se ve acortada por excesivos esfuerzos mecánicos en determinadas áreas.

Las fallas geométricas pueden ser localizadas y dimensionadas por medio de un instrumento de inspección denominado "Diablo Caliper". Actualmente, su uso es obligatorio en las pruebas de funcionamiento para aceptar como operativas las líneas nuevas de transporte, así como en el monitoreo operacional de tuberías ya existentes.

Se ha podido demostrar mediante pruebas que no existen líneas de transporte de hidrocarburos sin abolladuras. La tendencia a la formación de éstas se ha incrementado conforme ha aumentado el uso de aceros de alta resistencia y paredes más delgadas, los cuales son susceptibles de originar fallas de este tipo. Las fallas geométricas más comunes en una tubería son: abolladuras, arrugas o pliegues y ovalación como puede observarse en la figura II.1).

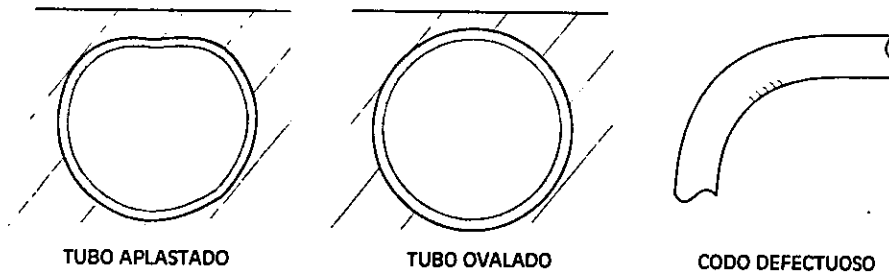


FIGURA II.1 TIPOS DE FALLAS EN TUBERÍAS

Las fallas geométricas en tuberías son debidas a muchas causas que pueden ocurrir durante:

La transportación y almacenaje de tuberías.

- Manejo inadecuado
- Superficies y pisos irregulares

El Tendido.

- Asentamientos no controlados en las zanjas de las tuberías.
- Tendido de líneas sobre o contra proyecciones rocosas.
- Puntos de soporte en la zanja de la tubería.
- Manejo descuidado con maquinaria pesada.
- Llenado desigual de las zanjas de las tuberías.

La Operación.

- Construcciones hechas sobre áreas de tuberías.
- Movimientos naturales de la tierra.
- Deslizamientos de tuberías en precipicios.

La variedad de posibles causas que originan los defectos, genera la necesidad de realizar inspecciones con diablos caliper, las cuales se realizan después de las pruebas hidrostáticas, de tal manera que es posible detectar y corregir posibles fallas antes de iniciar su operación. Durante la operación de las líneas, para mantener la seguridad es necesario realizar corridas de inspección periódicamente.

Existen diablos con una instrumentación muy sofisticada, utilizados para medir la corrosión interna de las tuberías. Estos equipos son sumamente caros y el costo de estos servicios es muy elevado, por lo que no es conveniente introducir un equipo de esta naturaleza en una línea de la cual se desconoce su estado en lo que a deformaciones geométricas se refiere, por lo tanto, la inspección con un diablo caliper es esencial antes de realizar una corrida de diablo instrumentado.

Actualmente existen diablos que realizan estas funciones y que son propiedad de compañías tales como British Gas Co., Pipetronix, TDW, etc.

El principio de operación del caliper, se basa en el desplazamiento de brazos móviles que, apoyados en ruedas de movimiento libre pegadas a la pared de la tubería, registran la forma geométrica del perímetro en todo momento (ver figura II.2).

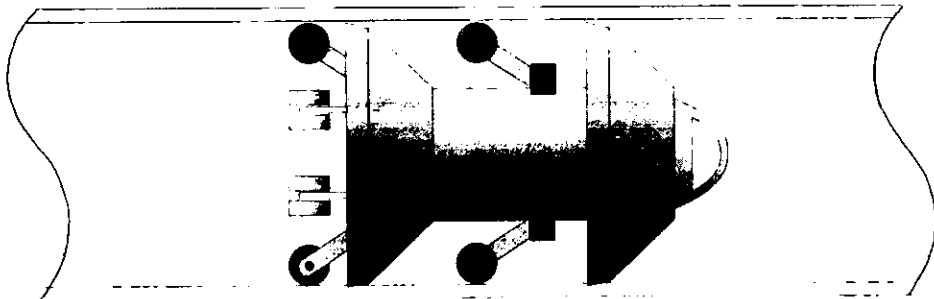


FIGURA II.2 DIABLO CALIPER TÍPICO

Por otro lado, la información obtenida por un diablo caliper, aunada al conocimiento del perfil topográfico de una línea, permitirá establecer las posibles causas de algunas fallas geométricas de dicha línea y tomar las medidas correspondientes.

El conocimiento del perfil topográfico de una línea en sí mismo y dadas las circunstancias particulares de la red de ductos de PEMEX, es fundamental para conocer la trayectoria y tener un

acceso más rápido a ella cuando se requieran hacer reparaciones, interconexiones e incluso sondeos para verificar el paso de diablos de limpieza (ver figura II.3).

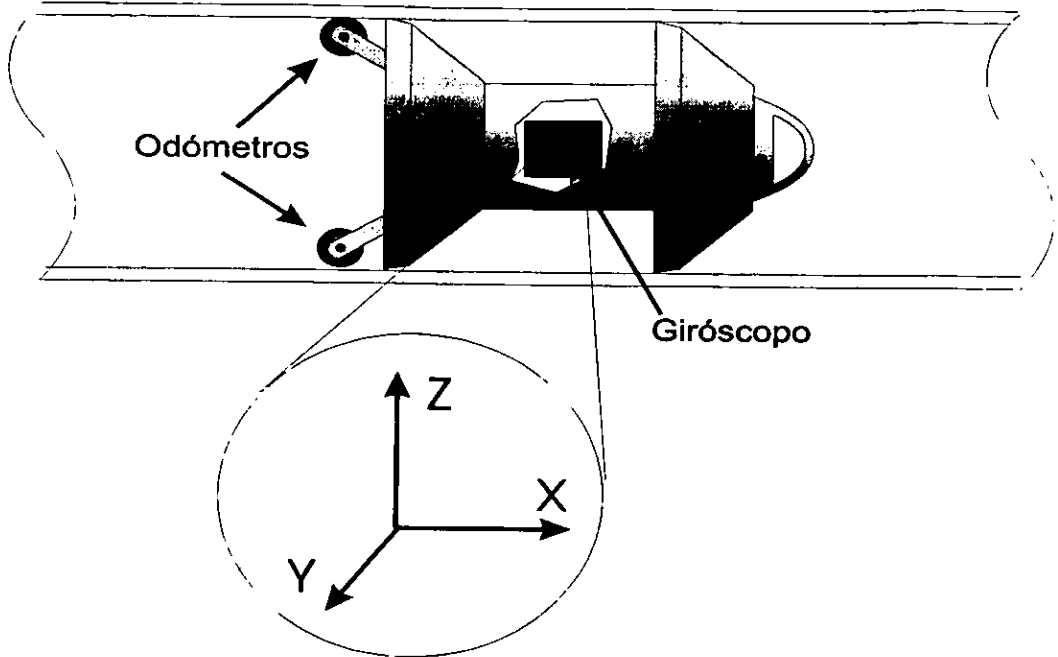


FIGURA II.3 DIABLO TOPOGRÁFICO

El principio de operación de estos diablos se basa en el uso de un giróscopo integrado a su cuerpo que detecta cualquier cambio de dirección de la tubería.

La inspección con un caliper es esencial antes de realizar una corrida con diablo instrumentado para evitar atrasos en los programas de inspección, pagos extraordinarios por tiempos perdidos y necesidad de contratación de servicios adicionales para determinar las condiciones geométricas de los ductos.

Petróleos Mexicanos considera fundamental el desarrollo de este instrumento que permita reducir el abismo tecnológico, es por ello que la Gerencia de Geofísica de la Subdirección de Exploración y Producción, dependiente del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), actualmente desarrolla este dispositivo, del que este trabajo de tesis forma parte integral.

II.2 DESCRIPCIÓN

Para cumplir con los objetivos planteados en la sección I.2, se describen a continuación las características generales que deberá tener el equipo a diseñar. Cabe mencionar que este trabajo de tesis, comprende la parte correspondiente al módulo de sensores del sistema caliper y su comunicación con el procesador central pero para mayor comprensión del sistema se describirá el caliper completo.

SISTEMA DE SENSORES

El instrumento desarrollado deberá emplear un sistema de detección de anomalías geométricas basado en sensores de posición de tipo resistivo, de inducción magnética o tipo celda de carga, que permitan la localización y clasificación de fallas geométricas cubriendo el 100% del perímetro de la tubería (el tipo de sensor y su sensibilidad será definida durante el desarrollo).

La instrumentación para determinar el perfil topográfico deberá utilizar giróscopos de estado sólido que proporcionen las coordenadas del diablo (y por lo tanto de la tubería) en todo momento.

Con la finalidad de correlacionar la información proveniente de los sensores antes descritos con la distancia, el equipo cuenta con cuatro dispositivos para medir la distancia (odómetros), así como los sensores adecuados para obtener los perfiles de temperatura, presión y el detector de cordones de soldadura sobre la tubería.

SISTEMA ELECTRÓNICO

La electrónica asociada deberá ser capaz de adquirir, procesar y almacenar información dentro del instrumento además de estar basada en tecnologías que permitan el almacenamiento masivo de información, el cálculo numérico intensivo y un consumo mínimo de espacio y energía, así como un encapsulado resistente a la vibración.

Las baterías utilizadas para suministrar energía a los sistemas electrónicos y de sensores deberán ser de alto rendimiento y ocupar espacios reducidos para permitir al instrumento tiempos prolongados de autonomía (estos tiempos serán definidos durante el desarrollo).

SISTEMA MECÁNICO

El sistema de soporte y locomoción deberá combinar la máxima resistencia mecánica con la mínima resistencia al movimiento en el sentido del flujo.

Deberá ser resistente al fluido y a las condiciones prevalecientes dentro del ducto, para garantizar la protección de los componentes electrónicos y baterías.

SOFTWARE

Con la finalidad de recuperar, interpretar y presentar en forma amigable la información proveniente del instrumento, el software desarrollado deberá ser adecuado para su utilización en PC's convencionales. De esta forma, el usuario podrá mantener en discos flexibles o duros la información proveniente de una corrida y consultarla en cualquier momento desde una computadora convencional (los requerimientos mínimos de la PC se definirán durante el desarrollo).

SISTEMA EN CONJUNTO

El instrumento en conjunto no debe interrumpir la operación normal del ducto ni ocasionar daños a la tubería durante su paso. Debe ser capaz de pasar por reducciones de hasta el 25% del diámetro de la tubería y por codos que tengan un radio mayor o igual a tres veces el diámetro.

Debe tener una vida útil de 24 meses como mínimo, o bien haber recorrido 4,000 Km. El equipo deberá recibir en situaciones normales, mantenimiento preventivo y reemplazo de partes sujetas a desgaste normal, de acuerdo a su uso, y mantenimiento correctivo mayor sólo en casos fortuitos.

Considerando las condiciones antes mencionadas como parte de los parámetros de diseño, se presenta a continuación, por etapas, la metodología a seguir para diseñar y construir los diferentes módulos del sistema.

ETAPA I. DETERMINACIÓN DE ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO.

Esta etapa comprende la recopilación de toda la información necesaria para determinar el tipo de sensores, giróscopos, electrónica asociada y los materiales del sistema de soporte y locomoción así como las baterías necesarias para el equipo. Con base en lo anterior, se hará la selección de proveedores, considerando costos y tiempos de entrega de equipo y componentes, tomando en cuenta la adaptación y funcionalidad de dichos componentes al sistema.

ETAPA II. DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DEL INSTRUMENTO.

Comprende el diseño y construcción de los brazos móviles que tendrán contacto con la tubería y la colocación de los sensores de posición asociados, tomando en cuenta los impactos que pueda recibir el sistema en su totalidad. Se deberá considerar el amortiguamiento necesario para absorber los cambios en las dimensiones de las tuberías.

Se hará el diseño y construcción del sistema electrónico para la captura, procesamiento y almacenamiento de información estableciendo el arreglo óptimo entre las interfaces, convertidores A/D, microcontroladores y almacenamiento de datos.

Se hará el diseño y construcción de los módulos o cuerpos que conforman el equipo, tomando en cuenta que deberá soportar a los elementos de locomoción y albergar y proteger a los sistemas de sensores, electrónicos y de baterías. Dicho diseño deberá contemplar los esfuerzos a los que estará sometido el instrumento en su conjunto.

ETAPA III. INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL INSTRUMENTO.

En esta etapa se realizará una revisión exhaustiva de los sistemas que conformarán al instrumento en cuestión. Una vez instalados, se revisarán todas las interconexiones necesarias entre los sistemas que lo componen y se realizará la prueba final del software de interpretación y presentación de resultados. Al final se habrán integrado todos los sistemas encontrándose en posibilidad de pasar a las pruebas de laboratorio y de campo, así como de elaborar los manuales de operación y de mantenimiento.

II.2.1 Normas y restricciones

No es fácil encontrar información de la normatividad que rige la construcción de instrumentos de inspección interna de ductos en cuanto a sus características funcionales y estructurales se refiere. A la fecha, no existen estas normas, dado a que las características de dichos instrumentos son fijadas por los fabricantes de acuerdo a los objetivos programados.

En cuanto a las normas que definen cuándo una anomalía geométrica es considerada defecto, se consultó la norma 07.3.13 PEP-745 de PEMEX que establece que para tuberías de 12" y menores, una deformación que tenga una profundidad mayor o igual a 0.25" es considerada defecto, así como cualquier deformación mayor al 6% del diámetro para tuberías mayores de 12".

Para los demás parámetros obtenidos por este dispositivo no existen a la fecha normas establecidas. Al obtener un perfil de presión y temperatura no se limitan los valores que pudieran obtenerse en cuanto a este parámetro; para los valores adicionales como son la velocidad, los cordones de soldadura y los demás parámetros relacionados con anomalías geométricas como la distancia y el ángulo de rotación del dispositivo no se rigen en lo absoluto por ninguna norma.

II.2.2 Parámetros de diseño.

Con base a lo expuesto en la sección II.2.1 y a la experiencia laboral del personal que ha trabajado en este campo, esta sección establece las características generales que deberá presentar el diablo y que servirán como parámetros de diseño.

Características:

- Identificar cualquier abolladura que tenga una profundidad mayor o igual a 0.25".
- Identificar cordones de soldadura y válvulas.
- Localizar cambios de espesor en la pared de la tubería que afecten al diámetro interno.
- Pasar por reducciones de hasta el 25% del diámetro de la tubería.
- Soportar presiones de hasta 100 kg/cm².
- Autonomía suficiente para recorrer hasta 150 km.
- Soportar temperaturas de hasta 85° Centígrados
- Pasar por radios de curvatura iguales o mayores a 3 veces el diámetro de la tubería.
- Medir la presión cada vez que exista un cambio de ± 1 kg/cm² con respecto al último valor.
- Medir la temperatura cada vez que exista un cambio de $\pm 1^\circ$ Centígrado con respecto al último valor.

- Operar dentro del rango de velocidades de 2 a 12 km/h.
- Deberá ser capaz de detectar los cambios de dirección de la tubería.
- No afectar la operación normal del ducto.
- Ser resistente al fluido presente dentro de la línea.
- No dañar la pared de la tubería.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y DESARROLLO DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESARROLLO DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En este capítulo se describe el diseño y desarrollo del módulo de sensores para un sistema caliper de 12", el cual es objetivo principal de este trabajo de tesis. En primera instancia se hace una descripción a bloques de la topología general del diseño del módulo de adquisición. Posteriormente se plantean los criterios de selección para los sensores de cada uno de los parámetros a medir, haciendo una descripción detallada de cada sensor.

Se incluye también en este capítulo la descripción del procesador central y del sistema de almacenamiento de la información adquirida, tomando en cuenta las consideraciones y requerimientos de energía, espacio y vibraciones a que se sujetará el dispositivo. En la sección de fuentes (III.6), se describe la selección de las baterías a utilizar en el diablo caliper, considerando el consumo de potencia, espacio y la autonomía en horas de operación, ya que según las características descritas en la sección II.2.2, debe tener una autonomía de hasta 150 Km. de recorrido. Se describe también el ensamblado final en la sección III.7.

III.1 TOPOLOGIA DEL DISEÑO.

Para cumplir con los objetivos generales del proyecto, se propusieron varias alternativas para solucionar el problema. Como primer paso se definen los parámetros a medir, los rangos de operación de cada uno de ellos y número de sensores a utilizar.

El sistema al principio fue concebido asignándole a cada sensor un elemento inteligente, que pudiera tomar las muestras de los sensores y aplicar algún criterio para tomar la decisión si la variación en el parámetro era significativa y pudiera ser considerado un evento, por lo que se pensó en una topología con un microcontrolador PIC74C71 asignado a cada sensor. Esta topología se analizó detalladamente y se desechó debido al gran número de componentes que integraría el módulo. El siguiente paso fue agrupar los parámetros, de manera tal que fuese posible que un microcontrolador, con suficiente capacidad manejara un grupo de sensores, así es como se propone la topología general del diseño, como se muestra en la figura III.1.

Como se puede observar en la figura III.1.1, se proponen dos microcontroladores para realizar el muestreo de todos los sensores. Esta distribución se hizo necesaria ya que se decide que el diablo caliper cuente con 12 brazos sensores para detectar las anomalías geométricas del diámetro interno del ducto de transporte de hidrocarburos. Para determinar la distancia del recorrido se requieren de un mínimo de dos odómetros; pero considerando la importancia de este parámetro, se incluyen otros dos odómetros mas como redundantes.

Para el perfil de presión, se decide instalar un sensor frontal y otro en la parte posterior del dispositivo, así con la diferencia entre los dos, se obtiene la presión a que se somete el equipo.

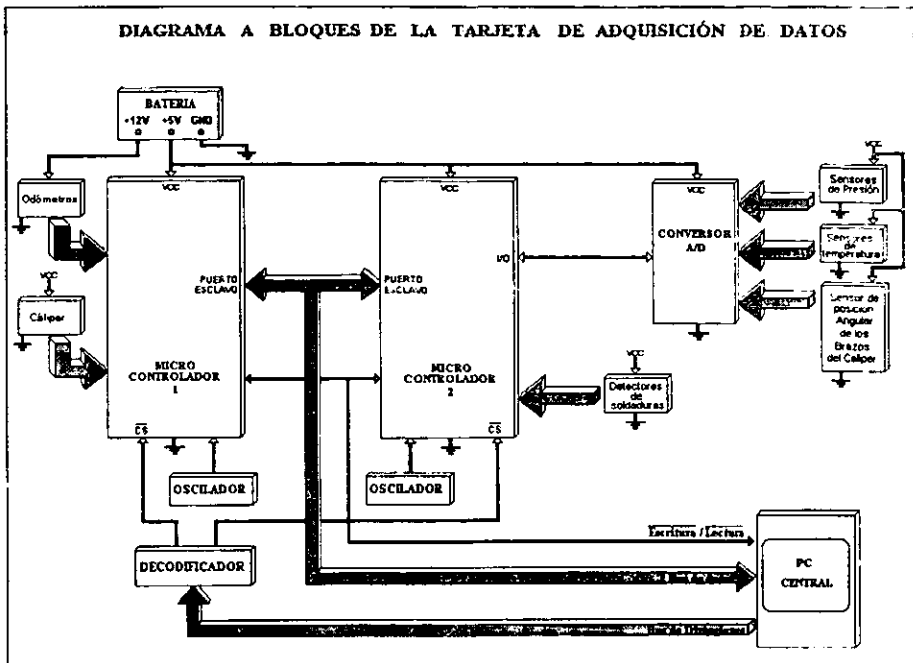


FIGURA III.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MÓDULO

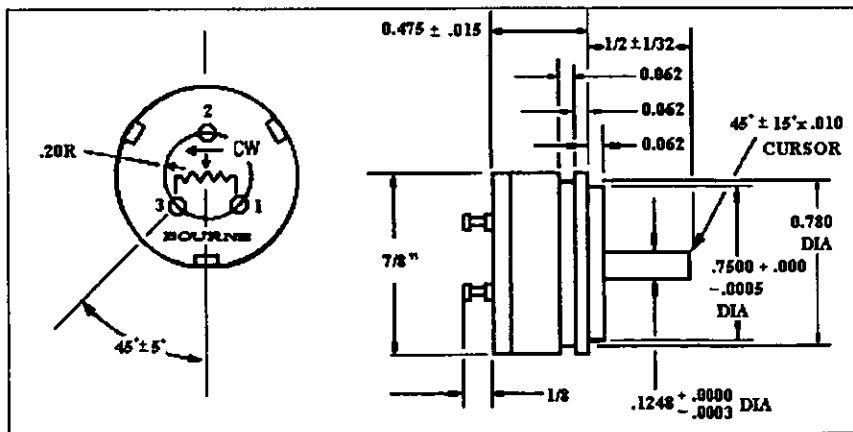


FIGURA III.2.1.a DIMENSIONES DEL POTENCIÓMETRO BURNS 6538S -1

Para el perfil de temperatura, se decide instalar un sensor para temperatura interna y otro para la temperatura externa. Como parámetros complementarios se decide incluir dos sensores para detectar las uniones de los tramos de tubos (soldaduras), y un sensor para detectar la posición angular que pueda moverse el brazo número 1, por posible giro del dispositivo al viajar por el ducto.

De acuerdo a la topología de diseño los microcontroladores deben operar en forma independiente para el muestreo de los parámetros que se le asignen; pero deberán contar con un puerto paralelo denominado esclavo para comunicarse con el módulo PC, denominado en este trabajo de tesis como módulo central, ya que se pretende que el módulo central tenga el completo control sobre la información adquirida.

III.2 SENSORES

En esta sección se hace un análisis de cada uno de los parámetros a medir, analizando los diferentes tipos de sensores, que pueden ser usados para la medición. Para la selección de cada sensor fue necesario conocer los diferentes tipos existentes en el mercado: marcas, metodología de sensado, características especiales, tamaño, etc.

A continuación se describen los sensores y para facilitar el manejo de la información, dicha descripción se realiza de acuerdo al parámetro a medir.

III.2.1 DIÁMETRO INTERNO DE LA TUBERÍA.

Para obtener los datos de este parámetro, existen diferentes metodologías. El problema a resolver consiste en medir básicamente distancia que represente el radio interior. Existen tres métodos básicos para medir distancia: ópticos, ultrasónicos y mecánicos. Considerando que el dispositivo viajará inmerso en la línea de transmisión de hidrocarburos, se pueden desechar los sistemas ópticos, quedando por analizar el ultrasónico y el mecánico.

Los sistemas ultrasónicos tienen una desventaja, debido a que la onda ultrasónica se comporta muy diferente de acuerdo al medio donde viaja, y tomando en cuenta que el dispositivo pretende ser usado indistintamente en una línea de transporte de gas y petróleo, el método ultrasónico se complica con el gas, además que se debe considerar que el diseño debe ser lo más sencillo posible y el consumo de energía mínimo, queda pues por analizar el método mecánico. Existen dos tipos de transductores mecánicos para medir distancia (radio interno del ducto), el dispositivo denominado LVDT (Linear Variable Differential Transformer [1]) y el de tipo resistivo.

Para conocer la distancia se requiere realizar la medición a través de un transductor lineal de posición en el que el valor del radio sea proporcional a un voltaje. Los sensores deben estar colocados en un brazo radial desde el equipo hacia las paredes internas de la tubería. Una variación en el diámetro del ducto por cualquier anomalía geométrica como las descritas en el capítulo I, genera en el transductor una variación de voltaje que el microcontrolador examina para discernir si está dentro de la tolerancia permitida para considerarse como anomalía o no.

La selección del transductor fue considerada para un LVDT o para un potenciómetro, optándose finalmente por el potenciómetro debido a que el LVDT requiere de una

alimentación de ± 12 Vcc y demanda un consumo de corriente de 10-15 mA, y se considera que para 12 sensores esta aplicación no es conveniente porque el sistema es operado con baterías. Con un potenciómetro de $10K\Omega$ y V_{REF} a 5V, el consumo se reduce considerablemente (0.5 mA).

Existen en el mercado gran variedad de potenciómetros, de diferentes formas y materiales diversos. Se realiza una revisión de dichos elementos para seleccionar el potenciómetro apropiado para esta aplicación.

Los elementos analizados, considerados como candidatos para esta aplicación fueron los siguientes (2) :

- Cermet
- Plástico conductivo
- Alambre
- Híbridos

Las características consideradas para la selección fueron :

- Resolución
- Resistencia
- Material
- Tamaño
- Vida Rotacional
- Facilidad de adaptación al brazo
- Estabilidad a altas temperaturas
- Potencia

Haciendo un análisis de acuerdo a los requerimientos antes descritos, considerando que reúne las características deseadas, se selecciona el elemento de *plástico conductivo*.

Entre las diferentes marcas conocidas de potenciómetros (Spectrol, Bourns y Honeywell por ejemplo), se decidió usar el potenciómetro marca BOURNS, modelo 6538S-1-103, con montura de Plástico Conductivo, con una resistencia de $10k\Omega$, rango de potencia de 1 watt a $70^{\circ}C$, linealidad independiente de $\pm 1\%$, vida rotacional de aproximadamente 20 millones de revoluciones y un tamaño de $7/8"$ de diámetro, con flecha de $1/8"$ (figuras III.2.1.a y b).



FIGURA III.2.1.b POTENCIÓMETRO BURNS 6538S -1

Las características que se exponen a continuación son en general para la serie de potenciómetros de una vuelta sin tope BOURNS 6538S -1 (3).

CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN :

- Resolución infinita (elemento plástico conductor).
- Rango de temperatura extendido: -65°C a +125°C
- Flecha soportada al frente y atrás con rodamiento de precisión.
- Terminales en parte posterior.

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN:

- Extensiones de la flecha frontal
- Flecha lisa
- Especificaciones

•Rango de resistencia	1K - 100K Ω
•Tolerancia resistiva	$\pm 10\%$
•Linealidad	$\pm 1\%$
•Resolución	Esencialmente Infinita
•Ángulo Eléctrico	340° $\pm 3^\circ$
•Ángulo Mecánico	Continuo
•Potencia Estimada	1 watt @ 70°C
	0 watt @ 125°C
- Soporte dieléctrico 750 vac mínimo (nivel del mar)

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES :

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de operación <ul style="list-style-type: none"> • Rango de temperatura de operación estática • Rango temperatura de operación dinámica • Coeficiente de temperatura • Vibración <ul style="list-style-type: none"> • Rebote • Variación total de resistencia • Variación de Voltaje • Choque <ul style="list-style-type: none"> • Rebote • Vida de carga • Variación total de resistencia • Vida rotacional • Torsión (inicio y transcurso) • Terminales | <ul style="list-style-type: none"> -65°C a +125°C +1°C a +125°C $\pm 500\text{ppm}/^\circ\text{C}$ máximo 15G 0.1milisegundos máximo $\pm 0.5\%$ máximo $\pm 0.5\%$ máximo 50G 0.1milisegundos máximo 1000 horas, 1watt $\pm 10\%$ máximo 20,000,000 revoluciones 0.25 oz-in. Máximo traseras tipo torrecillas |
|---|--|

III.2.2 TEMPERATURA

Existen en el mercado una gran variedad de sensores de temperatura, desde elementos termistores hasta circuitos integrados. Para esta aplicación y de acuerdo a los requerimientos del sistema (0 - 85 °C), por su fácil aplicación se selecciona el circuito integrado de National Semiconductor LM35, como sensor para medir temperatura interna y externa.

La serie LM35 son sensores de temperatura en circuitos integrados, donde el voltaje de salida es directamente proporcional a la temperatura en grados centígrados. El LM35 tiene una ventaja sobre los sensores de temperatura lineales calibrados en grados Kelvin. Su uso no requiere restar una gran constante de voltaje de esta salida para obtener una escala conveniente en grados centígrados, además el LM35 no necesita ninguna calibración externa (trimming) para proveer una precisión típica de ± 0.25 °C a temperatura ambiente y ± 0.75 °C sobre los extremos del rango. Su propio calentamiento es muy bajo, menor que 0.1°C en aire suave.

CARACTERÍSTICAS : I4I

- Calibrado directamente en °C
- Factor de escala lineal + 10mv /°C
- Constante de precisión garantizada (a + 25°C)
- Rango de operación de -55°C a 150 °C
- Conveniente para aplicaciones remotas
- Opera desde 4 hasta 30 volts
- Corriente menor a 60µA
- Variación menor de 0.08 °C de calentamiento en aire suave
- No linealidad ± 0.25 °C típico.
- Baja impedancia de salida, 0.1Ω para 1µA de carga.

RANGOS MÁXIMOS

- Voltaje de alimentación + 35 V
- Salida de voltaje + 6V
- Corriente de salida 10mA
- En encapsulado TO-92 hasta 260°C (soldando la terminal en 10seg). Ver figura III.2.2.a y figura III.2.2.b
- Rango específico de temperatura (Tmin a Tmax) LM35D,LM35DZ 0°C a 100°C

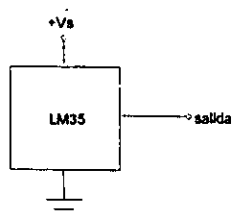


FIGURA III.2.2.a TERMINALES LM35

TO-92
Empaque plástico

Vista inferior

- ① +Vs
- ② Vout
- ③ GND

FIGURA III.2.2.b ENCAPSULADO TO-92

III.2.3 PRESIÓN

La tecnología en el diseño y construcción de transductores de presión ha evolucionado recientemente en forma considerable, gracias al desarrollo de la electrónica en estado sólido. En la actualidad los sensores y transductores de presión resultan fáciles de usar. En esta sección se analizan los diferentes métodos de sensado de presión y se describe el transductor seleccionado para nuestra aplicación.

La presión se puede clasificar básicamente en tres tipos (5116117):

- **Absoluta**: Es medida con respecto a una referencia en vacío según la fabricación del dispositivo (como la presión barométrica).
- **Diferencial**: Como su nombre lo indica, representa la diferencia de dos presiones de las cuales se considera una como referencia y ambas son aplicadas a un sensor por dos puertos diferentes.
- **Manométrica**: Es por principio una presión diferencial, pero la referencia que considera es la presión atmosférica.

Para nuestra aplicación, el tipo de presión a registrar es Presión Absoluta.

Las aplicaciones con sensores de presión son muy diversas, y por ello existen una gran variedad de tipos de sensores, modelos y marcas, los cuales se fabrican en diversos materiales, características, rangos, precisión, etc. De acuerdo a los requerimientos se analizan diferentes marcas de sensores reconocidas en el mercado, tales como: Honeywell, Motorola Inc, Sensym, National Semiconductors y Gulton Statham, considerando las siguientes características:

1. Material
2. Químicos
3. Concentración
4. Temperatura
5. Tiempo de exposición al sensado
6. Tipo de exposición
7. Criterio para fallas
8. Información general (como ambiente de aplicación, protección del dispositivo, etc.)

Para esta aplicación, de acuerdo a los requerimientos y dando especial atención a la confiabilidad, medio corrosivo, vibraciones, impactos, encapsulado y consumo de energía, se selecciona un sensor marca Gulton Statham, modelo 36PG/36PA, como el que se muestra en la figura III.2.3 con las características siguientes (8):

- Este sensor es un transmisor de rangos mezclados diseñado para medir presión Manométrica y Absoluta hasta 5000 Psi.
- El 36PG/36PA viene con encapsulado 316L de acero inoxidable y es una solución robusta a las aplicaciones de monitoreo de Presión.
- El sensor de Silicio de medición de esfuerzos es combinado con un simple amplificador de DC soldado en un 316SS, el empaque resiste corrosión y humedad. Están disponibles a seleccionar el rango y los voltajes de salida.
- El 36PG/36PA puede soportar sobrepresiones de arriba de 2 veces el rango de Presión nominal, con explosiones de presión excediendo el rango 3 veces. El ensamble del sensor está eléctricamente aislado del proceso que va a medirse, esto previene daños al transmisor electrónico. Gulton-Statham prueba cada transistor sobre los rangos de temperatura de operación para garantizar las especificaciones que se presumen, el transductor cumple con la norma ISO9001.
- $\pm 0.25\%$ Exactitud ($\pm 0.15\%$ típica)
- Requiere baja polarización (8-14 Vdc)
- Salida de voltaje de 1-5 Vdc o 0.8-4.0 Vdc
- Montado directo en tubería.
- Fácil de instalar.

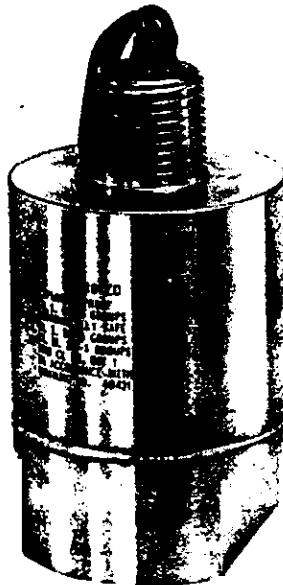


FIGURA III.2.3 TRANSDUCTOR GULTON STATHAM MODELO 36PG/36PA

El rango que va a medirse es de arriba de 100Kg/cm²; esto es 1500 Psi, por lo que este sensor se acopla bien a las necesidades de la aplicación.

Las especificaciones del transductor 36PG/36P son :

FUNCIONALES

- Servicio : Líquido, gas o vapor
- Salida de 1 a 5 Vdc , 0.8-4.0 Vdc , o 4-20 mA
- El transmisor opera sobre 8 - 14 Vdc

TÉCNICAS

- Exactitud $< \pm 0.25$ %
- Tiempo de respuesta < 6 ms para un 63% de la presión de entrada
- Estabilidad $< \pm 0.25$ % por un periodo de 6 meses
- Efectos de vibración $< \pm 0.1\%$ (cambios por condiciones de prueba)
- Protección ambiental : el empaque es a prueba de tiempo (frío, calor etc)
- Peso: 0.5 Kg (1.2 lb)

LIMITES DE CARGA

- Requiere una impedancia mínima de carga de 500K Ω
- Consumo de corriente : bajo condiciones normales de operación (8-14 Vdc), el consumo típico es de 2.0 mA y máximo de 3.6mA.

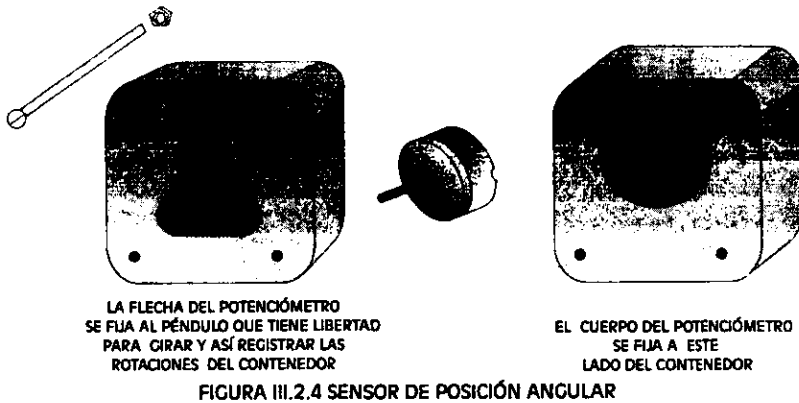
LIMITES DE TEMPERATURA

- Temperatura de operación: -29° a +71 °C
- Temperatura de almacenamiento: -51° a +121 °C

III.2.4 POSICIÓN ANGULAR

Este parámetro tiene como finalidad ubicar a los sensores del Caliper en una posición angular específica. Consta de un péndulo sujetado en la flecha de un potenciómetro con características iguales a los potenciómetros utilizados en la medición de anomalías geométricas , el cual se muestra en la figura III.2.4. Si el instrumento gira, el péndulo por su propio peso mueve la flecha del potenciómetro el cual genera una señal eléctrica que es proporcional al desplazamiento angular representado en grados geométricos. Ésta función se incluye debido a que el dispositivo al ir viajando dentro del ducto estará expuesto a vibraciones, diferencias de presiones, cambios de velocidad, fricción, etc., las cuales lo harán girar. En el evento de una anomalía geométrica, con la ayuda de la posición angular se podrá determinar de que lado del tubo se encuentra el defecto.

Para la medición de este parámetro se usa un potenciómetro de una vuelta sin tope, cuyas características son iguales a los seleccionados para los sensores del Caliper (Ver Capítulo III.2.1)



III.2.5 ODÓMETROS

La medición de la distancia recorrida por el dispositivo, a través de la tubería de transporte de hidrocarburos es de gran importancia, ya que todos los demás parámetros están relacionados y ubicados con la distancia en que ocurren.

La forma en la cual se mide la distancia que el diablo ha recorrido es por medio de pulsos generados cada determinada distancia, dichos pulsos son contabilizados por uno de los microprocesadores.

Para generar los pulsos se usa un sensor de Efecto Hall, el cual sensa el paso de un conjunto de imanes montados sobre una rueda, distribuidos uniformemente a una distancia determinada. Para tener exactitud y precisión con una resolución apropiada de 2cm, se diseñó una rueda con un arreglo de 10 imanes, distribuidos a 36 grados de separación entre ellos sobre el arco que forman de 20 cm como se puede observar en la figura III.2.5.a.

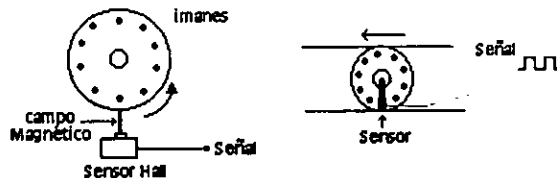


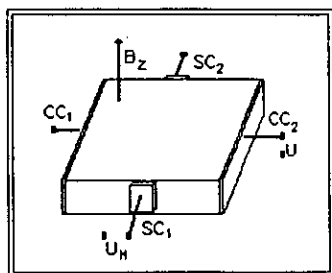
FIGURA III.2.5.a MONTADO DE IMANES EN EL ODÓMETRO

Se considera un arreglo de 4 odómetros como el descrito en el párrafo anterior, debido a la importancia del parámetro. Dos serían suficientes pero se consideran otros 2

como sistema redundante, también se toma en cuenta que cuando el dispositivo viaje en una curva, habrá una diferencia en el recorrido del radio interno al externo, dicha diferencia puede ser compensada con el arreglo de odómetros, ya que la información que generan será procesada en el microcontrolador.

III.2.5.1 Sensor de efecto Hall.

Un sensor de efecto Hall es un sensor de campo magnético. Este efecto fue descubierto por el físico americano E. H. Hall en 1879 [9]. El sensor de efecto Hall funciona bajo el siguiente principio: se conectan 4 contactos eléctricos a una placa delgada de material semiconductor; se aplica una corriente I por dos de los contactos (CC_1 y CC_2) y los otros dos contactos (SC_1 y SC_2) son puestos en dos puntos equipotenciales, cerca de las orillas de la placa, como se muestra en la figura III.2.5.b. Cuando un campo magnético se aplica al dispositivo, aparece entre los contactos del sensor un voltaje, que es proporcional al producto de la componente de la inducción magnética perpendicular al plano de la placa (B_z) y a la corriente (I), dicho voltaje es denominado voltaje Hall, el cual es la señal de salida del sensor (10).



SC_1, SC_2 contactos del sensor
 CC_1, CC_2 contactos de corriente
 U voltaje aplicado en la placa
 U_H voltaje Hall

FIGURA III.2.5.d. PLACA DE MUESTRA PARA EL EFECTO HALL

Los sensores Hall son usualmente placas delgadas y están hechos de un material de baja concentración de cargas, ya que el voltaje es inversamente proporcional tanto al grosor de la placa como a la concentración de cargas. Generalmente tiene una alta resistencia, el voltaje aplicado a los conductos de corrientes y la potencia de disipación tienen que estar minimizadas, lo cual se consigue usando un material con alta movilidad para la placa Hall.

Para seleccionar cualquier sensor es necesario considerar además de la variable que necesita ser medida otros atributos tales como precisión y rango. Deberá ser importante también considerar factores como costo y tamaño.

Para esta selección se llevan a cabo las siguientes consideraciones.

- Ancho de banda
- Tamaño
- Precisión
- Temperatura de operación
- Resolución
- Linealidad
- Inmunidad a químicos
- Inmunidad a variación
- Capacidad de Interfaces
- Campos Invasores
- Confiabilidad
- Impedancia
- Costo
- Potencia requerida

Existen en el mercado diferentes tipos de sensores de efecto Hall, los cuales son clasificados dependiendo de su función, los más usados son los de respuesta lineal y los interruptores. Para esta aplicación los seleccionados para generar los pulsos son los interruptores. Existen una gran cantidad de interruptores (switches) y sensores, de acuerdo a los requerimientos antes expuestos se analizaron sensores de las marcas Panasonic, Texas Instruments y Honeywell. El sensor seleccionado para esta aplicación por reunir los requerimientos, es el que se muestra en la figura III.2.5.c, el modelo 103SR17A-1 de la marca Micro Switch, Honeywell Division, el cual tiene las siguientes características [11]:

- Empaque sellado de acero inoxidable con rosca.
- 6 pulgadas de cable con código de colores y aislados entre sí o 1 metro de cable, multivías.
- Código de colores: rojo Vs(+), negro tierra(-) y salida en azul, verde o blanco.
- Polarización 4.5 a 24 V.
- Consumo de corriente máxima 10mA
- Salida de colector abierto
- Corriente de salida 20 mA máximo
- Bipolar



FIGURA III.2.5.c 103SR MICRO SWITCH

Este sensor trabaja debido al campo magnético ejercido por un imán permanente o un electroimán. Considerando que tiene una salida colector abierto, una vez conectada la resistencia de colector a un voltaje, el sensor tendrá un nivel en la salida alto en ausencia de un campo magnético y ante la presencia de un campo magnético proporcionado por un imán, el transistor de salida conduce y el sensor entrega un nivel de salida bajo de aproximadamente 0.4 volts.

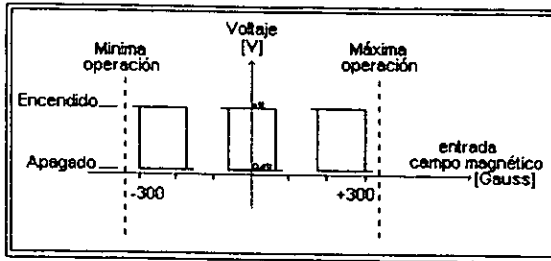


FIGURA III.2.5.d GRÁFICA VOLTAJE CONTRA CAMPO MAGNÉTICO

En la figura III.5.2.a se puede observar la colocación de los imanes y en la figura III.5.2.e el comportamiento del campo magnético en relación a la distancia entre el sensor y el imán.

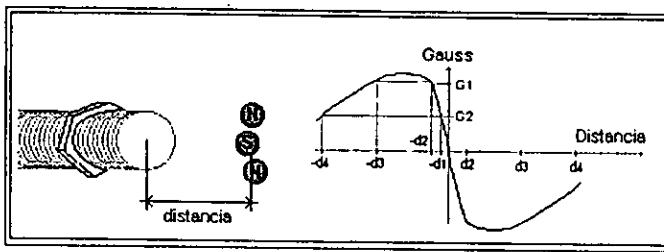


FIGURA III.2.5.e. GRÁFICA DISTANCIA CONTRA CAMPO MAGNÉTICO

De esta manera, al pasar un imán por enfrente del sensor se genera un pulso bajo (estado ON), y al disminuir el campo magnético cambia la polaridad (estado OFF) y vuelve a ser bajo hasta el siguiente imán. Los imanes tienen una separación suficiente para que el sensor se ponga en estado OFF. La figura III.2.5.f muestra el sensor de efecto Hall 103SR de MICRO SWITCH.

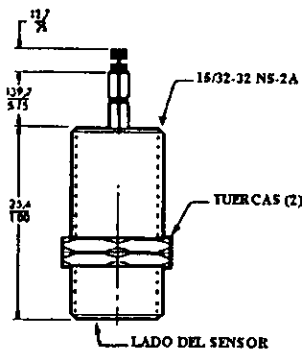


FIGURA III.2.5.f SENSOR DE EFECTO HALL 103SR de MICRO SWITCH

III.2.6 SOLDADURA

Las tuberías de transporte de hidrocarburos, están construidas en forma normal por tramos de tubos de 8 metros, pero en algunas secciones, ya sea por necesidades de construcción o por reparaciones, el tamaño del tramo puede ser menor, en realidad el número de uniones de tubo (soldaduras) es variable. Como el dispositivo en cuestión tiene como objetivo detectar las anomalías geométricas a lo largo de las tuberías, se considera la detección de los cordones de soldadura un parámetro complementario.

Para detectar las soldaduras se diseñó un sensor basado en las leyes del electromagnetismo. Dicho sensor es construido con dos imanes permanentes y una bobina simétricamente distribuida al centro del imán donde se genera un campo magnético constante que viaja uniformemente por la paredes del tubo. Cuando se registra un cambio brusco en el campo magnético, ya sea por la variación en el espesor del tubo o un cambio de material como unión con soldadura, la bobina que normalmente detecta un campo magnético constante, registra estos cambios que se manifiestan como una variación en la corriente.

Nuestro sensor se basa en la ley de Gauss [12] . Para entender su funcionamiento consideremos el modelo de la figura III.2.6.a.

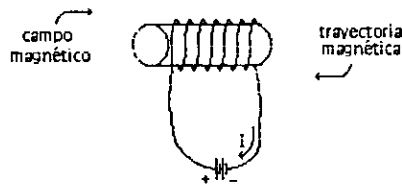


FIGURA III.2.6.a BOBINA PARA CAMPO MAGNÉTICO

La magnitud del flujo es determinada por el producto de la corriente y el número de vueltas de la espiral. La fuerza Nl requerida para generar el flujo es llamada fuerza magnetomotriz (\mathcal{H}). La proporción entre la densidad magnética (B) y H está dada por un factor llamado permeabilidad.

La magnitud de la permeabilidad a una inducción dada es una medida de la facilidad con la cual un material puede ser magnetizado a esa inducción.

$$\mu = \frac{B}{H} \left[\frac{\text{gauss}}{\text{oersted}} \right]$$

La permeabilidad absoluta para el vacío es de :

$$\mu_0 = 1 \frac{B}{H} \left[\frac{\text{gauss}}{\text{oersted}} \right] = \left[\frac{\text{tesla}}{\text{oersted}} \times 10^4 \right]$$

$$\mu_0 = 0.4\pi \times 10^{-8} \frac{\text{henry}}{\text{m}}$$

La linealidad entre B y H es la principal ventaja del núcleo de aire, la proporcionalidad obliga a incrementar B y el flujo de corriente en la bobina cuando H incrementa.

El vacío tiene una permeabilidad del orden de 1 y un material no magnético como aire, papel y cobre tienen permeabilidad del mismo orden. Algunos materiales como el acero, níquel, cobalto y las aleaciones de éstos tienen alta permeabilidad, de cientos o hasta miles de (gauss-cm/AI). El diseño del sensor se puede observar en la figura III.2.6.b

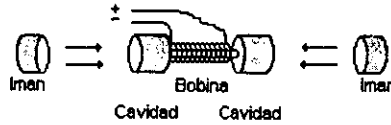


FIGURA III.2.6.b SENSOR DE MARCAS MAGNÉTICAS (CORDONES DE SOLDADURA)

Para este diseño los imanes que se seleccionan son de los denominados *imanes de tierras raras* de **neodimio**, el alambre para la bobina es alambre magneto y el encapsulado y núcleo son de acero inoxidable, el motivo de usar un imán de neodimio responde a que éste pertenece a los imanes con más fuerza magnética y un volumen muy pequeño, logrando con ello mucha sensibilidad.

El acero a utilizar es de la serie 300, específicamente el 316 el cual tiene una densidad de 0.29lb/pulg³, resistividad eléctrica de 74 $\mu\Omega$ -cm y permeabilidad magnética a 200Hz de 1008 [13].

La señal obtenida por el sensor durante la trayectoria y al momento de pasar por una soldadura es semejante a la que se puede observar en la figura III.2.6.c, donde se muestra claramente la diferencia en la señal al momento de pasar por un cordón de soldadura.

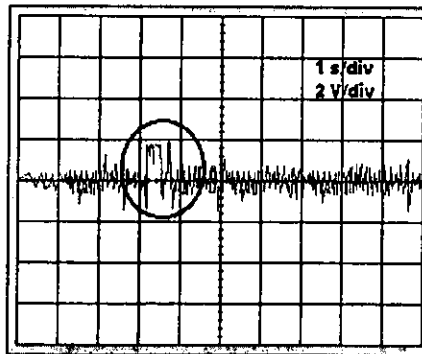


FIGURA III.2.6.c SEÑAL GENERADA POR EL SENSOR DE SOLDADURA EN MOVIMIENTO

La señal de la figura III.2.6.c fue obtenida con un osciloscopio digital y corresponde al ruido de alta frecuencia y al movimiento que produce el sensor al desplazarse a lo largo del tubo (vibración), podemos notar como cambia la forma y la magnitud de la señal en el área marcada con un círculo, ésta corresponde al momento de pasar por una soldadura. Las características acerca de esta señal se analizan con más detalle en la sección correspondiente a detección de soldaduras en el capítulo de microcontroladores (III.3.2.2.c)

III.3 MICROCONTROLADORES

Este módulo tiene como finalidad adquirir las diferentes señales generadas en los sensores. Como se puede observar en el diagrama a bloques de la topología general del diseño (capítulo III.1) ; se optó por distribuir la adquisición de señales en dos microcontroladores debido al número de sensores y al tipo de señales a procesar.

Los microcontroladores tendrán como tarea adquirir las señales (radio del ducto, distancia recorrida, temperatura, presión, posición angular, soldaduras) y preprocesarlas para determinar si existe un evento, antes de solicitar la atención al módulo central al que corresponde decidir su formato y almacenamiento.

En la actualidad existen muchos tipos de microcontroladores, con diferentes fabricantes, características y capacidades. Por mencionar los fabricantes más conocidos tenemos Motorola Inc, Microchip Technology Inc, Intel, National Semiconductors, Texas Instruments, AMD, Atmel, etc.

Debido a su amplio rango de frecuencias de operación, su convertidor analógico-digital con multiplexor para 8 canales analógicos, puerto serial, timers, puerto esclavo, tecnología CMOS, bajo consumo de potencia, fácil adquisición en el mercado nacional a un costo razonable y disponer de su sistema de desarrollo, se selecciona para esta aplicación el microcontrolador PIC16C74 de Microchip.

III.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MICROCONTROLADOR PIC16C74

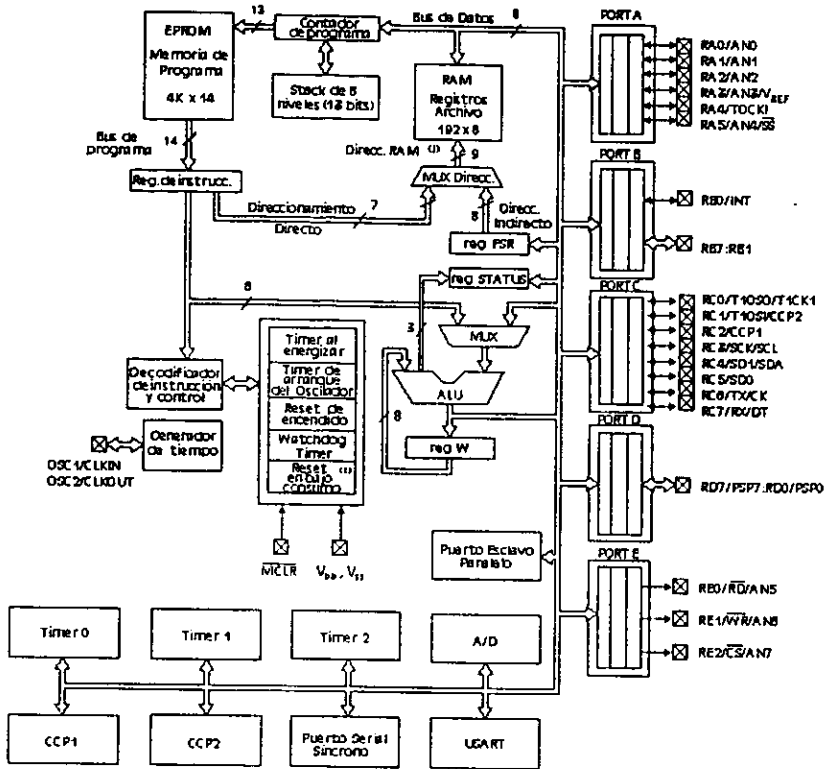
El microcontrolador PIC16C74 pertenece a la familia PIC16C7X de Microchip [14], la cual se caracteriza por ser de bajo costo, alto rendimiento y tipo CMOS, posee convertidor analógico-digital (A/D) de 8 canales /8 bits, además de emplear arquitectura RISC (Conjunto de Código de Instrucciones reducido) [15] . El diagrama de bloques de la arquitectura de un PIC16C74 se muestra en la figura III.3.1

Algunas de sus características principales son :

- a) 8 niveles en la profundidad de la pila (stack) , lo que implica que el micro puede atender a 8 rutinas sin haber retornado de alguna de ellas,
- b) 12 tipos diferentes de interrupción tanto externas como internas.
- c) 33 líneas programables de entrada/salida.

El set de instrucciones base o primarias es de 35 Instrucciones, para manejar los recursos del PIC16C74, se usan un total de 69; sin embargo, es posible programar con otras herramientas que cuentan con macroinstrucciones, tal es el caso de Parallax y de Mplab-C.

Las instrucciones PARALLAX son macroinstrucciones, ya que éstas engloban a varias instrucciones básicas para realizar una tarea más completa y son en total 116 [16]. El Mplab-C tiene los recursos para manejar la programación desde una plataforma del lenguaje C.



NOTAS 1: Los bits de mayor orden están des de el registro de Status
 2: El Reset de modo de bajo consumo no está disponible para el PIC16C74

FIGURA III.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PIC16C74

El PIC16C74 tiene una compresión de código 2:1 y una velocidad de proceso 4:1 respecto a otros microcontroladores de 8 bits de su clase, ya que realiza cada instrucción en un simple ciclo de reloj con excepción de los saltos.

Este dispositivo cuenta con 192 bytes de memoria de acceso aleatorio (RAM) y 33 líneas de entrada/ salida (I/O). Además cuenta con algunas características conocidas como periféricas las cuales son :

- a) 3 Temporizadores y/o Contadores
- b) 2 bloques de Modulación por Ancho del Pulso (PWM), o como bloques de Captura y/o Comparación y
- c) 2 puertos seriales.

El puerto serial síncrono puede ser configurado como Interface Periférica Serial (SPI), este modo utiliza 3 líneas para su operación, o también como Inter-Integrated Circuit bus (I2C), este modo sólo usa 2 líneas para su operación. El otro puerto serial maneja la Transmisión-Recepción Asíncrona-Síncrona Universal (USART), la cual también es conocida como Interface de Comunicación Serial o SCI. Por otra parte, el PIC16C74 está provisto de un Puerto Esclavo, el cual es un puerto Paralelo de 8 bits. Además cuenta con 8 canales analógicos de entrada con A/D de 8 bits, suficiente para aplicaciones que requieren interfaces analógicas de bajo costo.

Este microcontrolador tiene características especiales que reduce el uso de componentes externos, con ello, se reducen el costo, el espacio, consumo de potencia y además aumenta la confiabilidad.

Este dispositivo puede operar con cuatro modos diferentes de oscilador:

- Oscilador RC, el rango para frecuencias de DC es de 4MHz, $\pm 13-39\%$. Esta opción provee una solución de bajo costo.
- Oscilador LP, para osciladores de cristal entre el rango de DC de 40KHz. Se minimiza el consumo de potencia.
- Oscilador XT, para osciladores estándar. Rango de 100KHz - 4MHz.
- Oscilador HS, para cristales de alta velocidad. Rango de 4 - 20MHz.

Este microcontrolador también cuenta con la opción de "dormir" (SLEEP). En este modo el microcontrolador consume poca energía y está en espera de ser activado. Existen varias formas de activar al dispositivo, éstas son Interrupciones externas e internas y por medio de la terminal VPP/MCLR.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Máxima Frecuencia de Operación (MHz)	20
Memoria EPROM (x14 palabras)	4K
Memoria para datos (RAM)	192 bytes
Módulos Temporizadores (TMR2, TMR1 Y TMR0)	3 8bits, 16bits y 8bits + pre-escala
Módulos de Captura/ Comparación/ PWM	2
Puertos Seriales (SPI / I2C, USART)	SPI / I ² C, USART
Puerto Esclavo Paralelo (PSPI)	SI
Canales Convertidores A/D de 8 bits	8
Fuentes de Interrupción	12
Líneas de Entrada-Salida (I/O)	33
Rango de Voltaje (Volts)	3.0 - 6.0
Programación Serial (In-Circuit)	SI
Reestablecimiento al encendido	SI
Encapsulado	40-pin DIP
	44-pin PLCC, MQFP

TABLA III.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PIC16C74 (17)

Posee un watch dog timer WDT altamente confiable. Gracias a la tecnología EPROM se hace posible la aplicación de programas extremadamente rápidos y convenientes, por lo que este dispositivo puede ser usado para el manejo de transmisión de códigos, recepción de frecuencias, control de velocidades de motores, etc. Es también usado en aplicaciones que tengan espacio limitado debido a que algunas variantes de su empaque son pequeñas. Además su bajo costo, bajo consumo, alto rendimiento, facilidad de uso y flexibilidad de sus líneas de entrada-salida, hace que el PIC16C74 sea un dispositivo muy versátil hasta en áreas donde no se ha considerado antes el uso de un microcontrolador .

ALTERNATIVAS DEL PIC16C74

Existe una variedad de microcontroladores PIC16X74, dependiendo de la memoria interna, de los rangos de frecuencia de operación y tipo de encapsulados comerciales.

- C, para el PIC16C74. Este dispositivo tiene memoria tipo EPROM y opera en el rango estándar de voltaje (4-6 V_{cc}).
- LC, para el PIC16LC74. Este dispositivo tiene memoria tipo EPROM y opera en un rango extendido de voltaje (2.5-6 V_{cc}).

Dispositivos borrables UV

La versión borrable UV, ofrecida en empaque tipo CERDIP es óptima para desarrollo de prototipos y programas piloto. La versión borrable UV puede ser borrada y reprogramada en cualquiera de los modos de configuración. Los programadores Microchip disponibles para la familia PIC16C7X son el PICSTART™ y PRO MATE™ ; Parallax por su parte tiene su propio programador.

Dispositivos programables una sola vez (OTP One-Time-Programmable)

La disponibilidad de los dispositivos OTP es especialmente útil para los clientes que necesitan la flexibilidad de actualizar frecuentemente el código y en aplicaciones de pequeño volumen . Los dispositivos OTP se empaquetan en encapsulados de plástico sin ventana, lo que implica que el usuario sólo lo puede programar una sola vez.

ARQUITECTURA

El alto desempeño del microcontrolador PIC16C74 se debe a las características de su arquitectura, la cual es comúnmente encontrada en microprocesadores RISC. El PIC16C74 tiene una arquitectura HARVARD, en la cual el programa y los datos son accesados a memorias separadas usando buses separados. Esto mejora el ancho de banda con respecto a la arquitectura tradicional de Von Neumann, en la cual el programa y los datos son traídos de la misma memoria usando el mismo bus.

La ventaja de usar un bus para el programa y otro para los datos es que se permite adelantar instrucciones de tamaño diferente a 8 bits. El tamaño de las instrucciones es de 14

bits, por lo que es posible almacenar a toda la instrucción en una simple palabra (16 bits). De manera similar, para traer una instrucción de la memoria del programa, basta acceder una sola vez la memoria, realizándose este proceso en solo un ciclo de instrucción. Dos conductos se superponen para traer y ejecutar una instrucción, consecuentemente todas las instrucciones (35 básicas en total), se realizan en un ciclo de instrucción (ciclo de 200ns a 20MHz) excepto por las instrucciones de salto que usan dos .

La memoria disponible para el programa (EPROM) es de 4Kx14 bits y la memoria para los registros de propósito general o datos (RAM) es de 192x8 bits.

Este dispositivo puede direccionar directa o indirectamente sus registros de archivo o datos en memoria. Todos los registros de funciones especiales, incluyendo el contador del programa, son estructurados dentro del mapa de memoria de datos. Además de que cuenta con una simetría ortogonal fija que hace posible sacar el acarreo en cualquier operación que use algún registro y que use cualquiera de los dos modos de direccionamiento , lo que hace que la programación con el PIC16C74 sea simple y eficiente.

El PIC16C74 contiene una Unidad Aritmética Lógica (ALU) de 8 bits y registros de trabajo. La ALU es una unidad aritmética de propósito general. Ésta ejecuta aritmética y funciones booleanas entre el dato que está en el registro de trabajo y cualquier otro registro de archivo. El tamaño de la ALU es de 8-bits y es capaz de sumar, sustraer y realizar operaciones lógicas. La operación aritmética utiliza dos operandos ; típicamente uno de los operandos es siempre el registro de trabajo (registro W), el otro operando es un registro de archivo o una constante inmediata.

ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DEL PROGRAMA

El PIC16C74 tiene un contador del programa de 13 bits con lo cual es capaz de direccionar un espacio de memoria para el programa de 8K x 14. Sin embargo, aunque este dispositivo tiene esta capacidad de direccionamiento, sólo los primeros 4Kx14 (0000h-0FFFh) son implementados físicamente. El direccionar una localidad que esté sobre lo implementado físicamente causará una búsqueda alrededor de lo existente. El vector de reestablecimiento (vector de reset) está en la dirección 0000h y el vector de interrupción en la 0004h. El mapa de memoria se muestra en la figura III.3.1.1.

ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DE DATOS

La memoria de datos es particionada en dos bancos o bloques, los cuales contienen registros de propósito general y registros de funciones especiales. Por medio del bit RPO (bit 5 del registro especial STATUS) se selecciona a cualquiera de los dos bancos. Si RPO = 1 → selecciona al banco '1', si RPO = 0 → selecciona al banco '0' .

Cada banco tiene una extensión de 128 bytes (7Fh). Las localidades bajas de cada banco están reservadas para los registros de funciones especiales; arriba de estos registros se

encuentran los registros de propósito general implementados como memoria RAM estática. Ambos, banco 0 y banco 1 contienen registros de funciones especiales. Algunos de los registros de funciones especiales del banco 0, tienen su espejo en el banco 1, ya que estos son utilizados repetidamente por el programa, y con esto se reduce el código y se facilita el acceso.

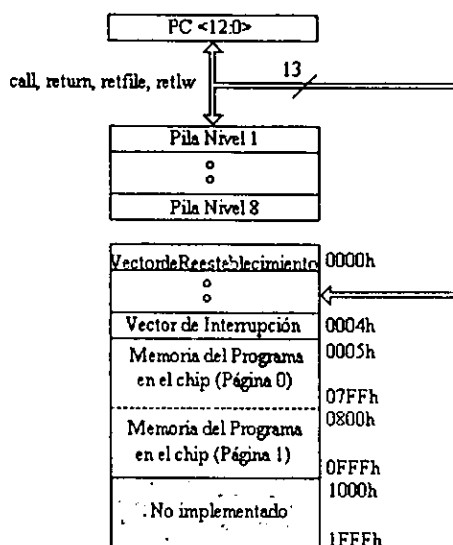


FIGURA III.3.1.1 MAPA DE MEMORIA DEL PROGRAMA Y PILA

Registros de funciones especiales

Los registros de funciones especiales son registros usados por el CPU y los módulos periféricos para controlar el desarrollo de la operación del dispositivo. Estos registros están implementados en la memoria RAM estática.

Los registros de funciones especiales pueden ser clasificados en centrales y periféricos. En la figura iii.3.1.2 se muestra el mapa de memoria de los registros de archivo de funciones especiales y de propósito general

Registros de archivo de propósito general

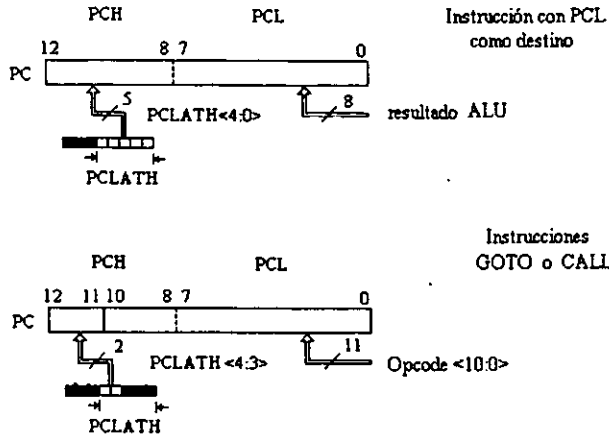
El registro de archivo puede ser accedido directamente o indirectamente por medio del Registro de Selección de Archivo (FSR). La figura III.3.1.3 muestra ambos tipos de direccionamiento, directo e indirecto.

Dirección del archivo		Dirección del archivo
00h	INDF (1)	80h
01h	TMRO	OPTION 81h
02h	PCL	82h
03h	STATUS	STATUS 83h
04h	FSR	FSR 84h
05h	PORTA	TRISA 85h
06h	PORTB	TRISB 86h
07h	PORTC	TRISC 87h
08h	PORTD	TRISD 88h
09h	PORTE	TRISE 89h
0Ah	PCLATH	PCLATH 8Ah
0Bh	INTCON	INTCON 8Bh
0Ch	PIR1	PIE1 8Ch
0Dh	PIR2	PIE2 8Dh
0Eh	TMR1L	PCON 8Eh
0Fh	TMR1H	8Fh
10h	T1CON	90h
11h	TMR2	91h
12h	T2CON	PR2 92h
13h	SSPBUF	SSPADD 93h
14h	SSPCON	SSPSTAT 94h
15h	CCPR1L	95h
16h	CCPR1H	96h
17h	CCP1CON	97h
18h	RCSTA	TXSTA 98h
19h	TXREG	SPBRG 99h
1Ah	RCREG	9Ah
1Bh	CCPR2L	9Bh
1Ch	CCPR2H	9Ch
1Dh	CCP2CON	9Dh
1Eh	ADRES	9Eh
1Fh	ADCON0	ADCON1 9Fh
20h	Registros de Propósito General	A0h
7Fh		FFh
	Banco 0	Banco 1

Localidades de memoria de datos no implementadas y se leen como '0'.

Nota : 1: No existen físicamente

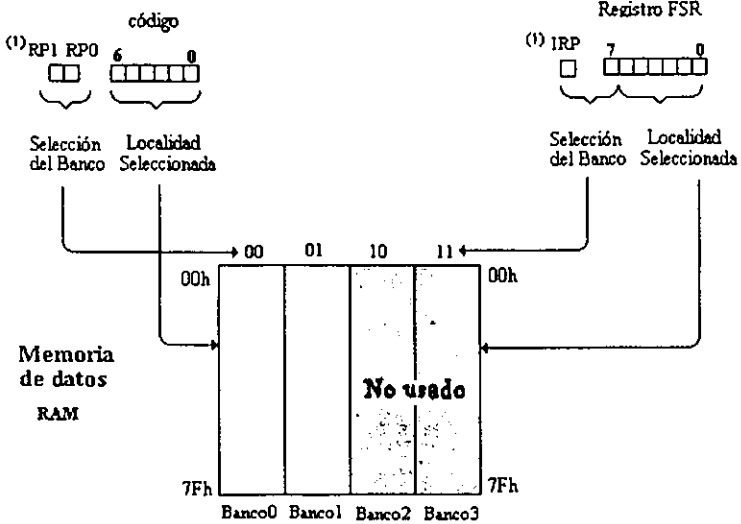
FIGURA III.3.1.2 MAPA DE MEMORIA DE LOS REGISTROS DE ARCHIVO DE FUNCIONES ESPECIALES Y DE PROPÓSITO GENERAL



Diferentes situaciones de carga del contador del programa (PC).

Direccionamiento Directo

Direccionamiento Indirecto



Nota 1: El PIC16C74 no emplea los bits RP1 e IRP y se mantienen siempre borrados.

FIGURA III.3.1.3 DIRECCIONAMIENTO DIRECTO E INDIRECTO.

PILA (stack)

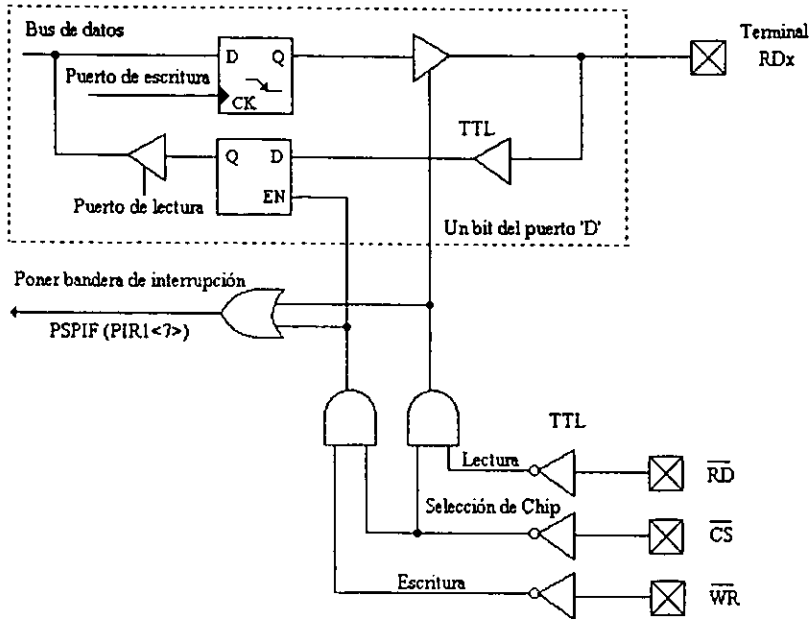
La pila del PIC16C74 tiene 8 niveles de profundidad por 13-bits de ancho. El espacio que usa la pila no es parte del espacio reservado para la memoria del programa (EPROM) o de la memoria de datos (RAM). Cabe mencionar que el apuntador de la pila no puede leerse o escribirse. La pila opera de forma circular, esto significa que una vez que la pila haya sido cargada 8 veces con ciertos valores, el noveno será escrito sobre el primer valor almacenado en la pila, el décimo sobre el segundo, y así sucesivamente.

PUERTO ESCLAVO PARALELO (PSP)

El puerto 'D' puede operar como un puerto paralelo esclavo o puerto de microprocesador. Este puerto puede ser conectado a un bus de datos de microprocesadores de 8-bits. El microprocesador externo puede leer o escribir al latch de 8-bits del puerto D. Hay en el PIC16C74 dos latch de 8-bits, uno para los datos de salida del puerto y otro para los datos de entrada. De tal forma que el usuario escribe un dato de 8-bits en el latch de datos del puerto D y los lee en otro distinto, aunque estos tengan la misma dirección. En este modo, el registro de control de dirección del puerto D es ignorado, tomando el control de dirección del flujo de datos el microprocesador externo. Una interrupción puede ser generada cuando una operación de escritura o lectura en el puerto esclavo ha sido completa. El diagrama de bloques de la figura III.3.1.4 muestra los puertos D y E que manejan el PSP.

MÓDULO CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL (A/D)

El PIC16C74 cuenta con un convertidor analógico-digital de 8 bits y ocho canales analógicos de entrada. El voltaje de referencia analógico puede ser tomado de dos fuentes, ya sea del voltaje de alimentación positivo (VDD) o el nivel de voltaje presente en la terminal RA3/AN3/VREF del dispositivo. El convertidor A/D tiene la característica única de ser capaz de operar mientras el dispositivo se encuentra en el modo "Dormir". En la figura III.3.1.5.a se muestra el diagrama de bloques del convertidor A/D. Se puede observar el modelo de una entrada analógica, así como la función de transferencia de una conversión A/D en las figuras III.3.1.5.b y III.3.1.5.c respectivamente. En la figura III.3.1.6 se presenta un diagrama de flujo para realizar una conversión A/D.



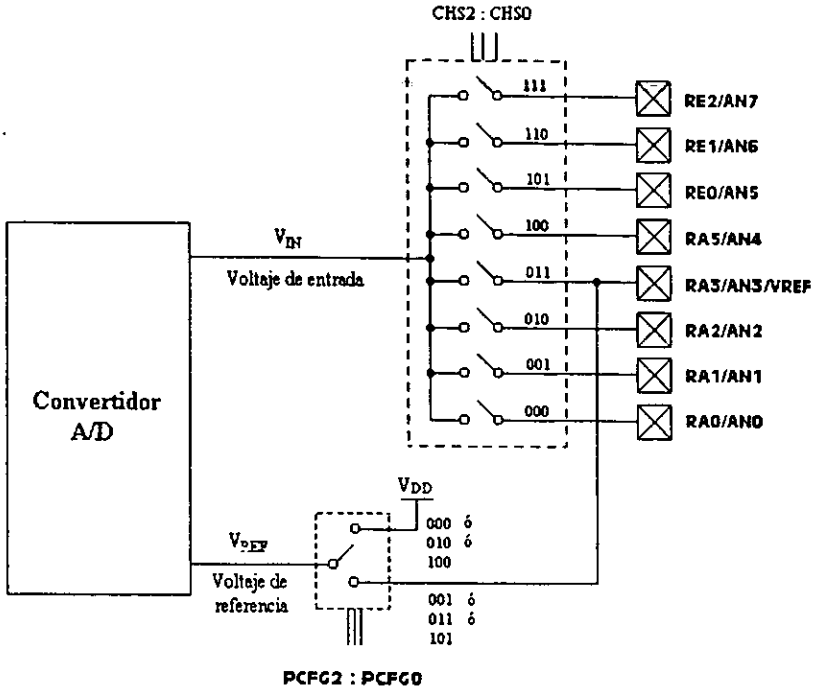
Nota : Las líneas de entrada-salida cuentan con diodos de protección entre VDD y VSS.

FIGURA III.3.1.4 DIAGRAMA A BLOQUES DEL PUERTO 'D' Y 'E' COMO PUERTO ESCLAVO-PARALELO

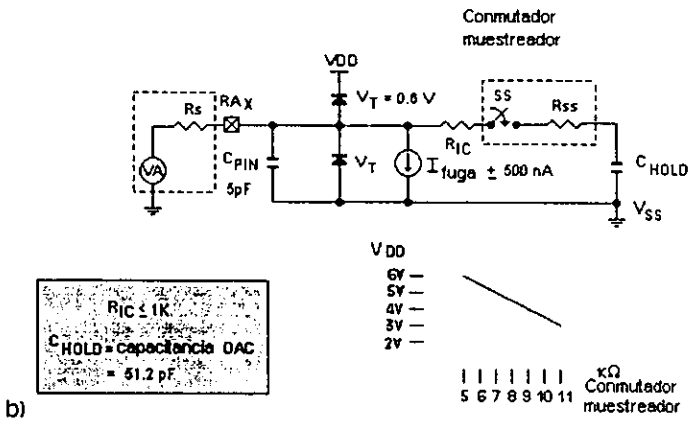
INTERRUPCIONES

El PIC16C74 cuenta con doce fuentes de interrupción, a saber:

- interrupción externa (por la terminal RBO/INT).
- Interrupción por sobreflujo del temporizador "0" (TMR0).
- Interrupción por cambio en el puerto "B" (terminales RB7 : RB4).
- Interrupción por el módulo A/D
- Interrupción por sobreflujo del temporizador "1" (TMR1).
- Interrupción por igualdad de periodo (TMR2).
- Interrupción por el módulo CCP1 (Capture/Comparación/PWM 1).
- Interrupción por el módulo CCP2 (Capture/Comparación/PWM 2).
- Interrupción por recepción (USART).
- Interrupción por transmisión (USART).
- Interrupción por el puerto serial síncrono.
- Interrupción por lectura/escritura del puerto esclavo.



a)



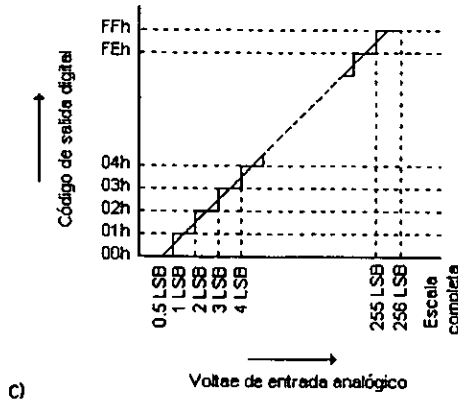


FIGURA III.3.1.5
 a) DIAGRAMA A BLOQUES DEL CONVERTIDOR ANALÓGICO - DIGITAL
 b) MODELO DE UNA ENTRADA ANALÓGICA
 c) FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE CONVERTIDOR A/D.

La figura III.3.1.7 muestra los tiempos al ocurrir una interrupción en la terminal INT, en nuestra aplicación este es el tipo de interrupción que se utiliza para la comunicación entre los PIC y el microcontrolador central. La figura III.3.1.8 muestra los bits que se necesitan habilitar para cada interrupción.

MODOS DE BAJO CONSUMO (DORMIR)

La corriente de consumo es muy baja en este modo, las líneas de entrada/salida son puestas a cualquiera de los niveles de alimentación, VDD o VSS, además de que son configuradas como líneas de muy alta impedancia para evitar cambios de corrientes causados por puntos flotantes.

Cuando la instrucción SLEEP es ejecutada, la siguiente instrucción (PC + 1) es precargada. Cuando el dispositivo es despertado a través de un evento de interrupción, el bit de habilitación de la correspondiente interrupción debe ser puesto, y éste será despertado a pesar del estado del bit de habilitación global de interrupciones (GIE). Si el bit GIE es borrado (deshabilitado), el dispositivo ejecuta la instrucción que está inmediatamente después de la instrucción SLEEP. Observe la figura III.3.1.9 para ejemplificar lo anterior.

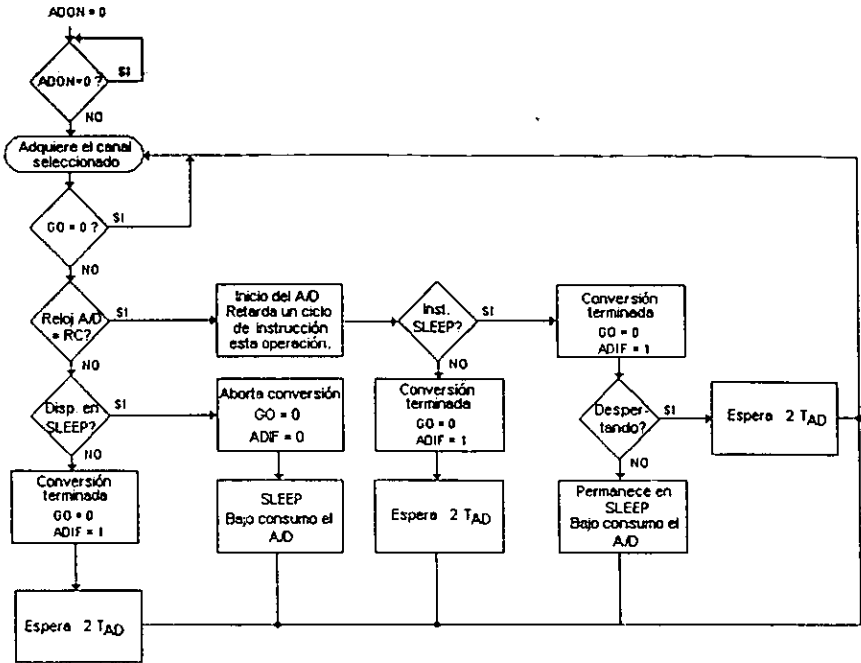


FIGURA III.3.1.6 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OPERACIÓN ANALÓGICO-DIGITAL

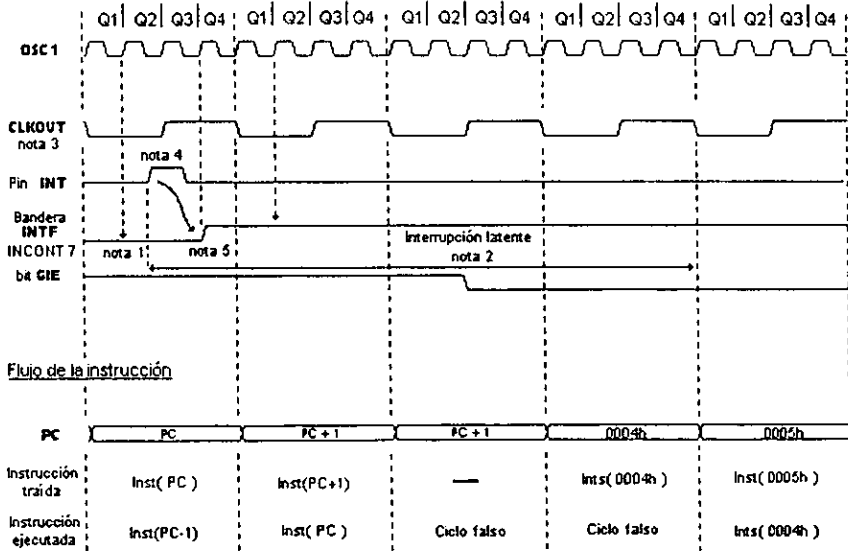


FIGURA III.3.1.7 DIAGRAMA DE TIEMPO DE UNA INTERRUPTIÓN EN LA TERMINAL INT.

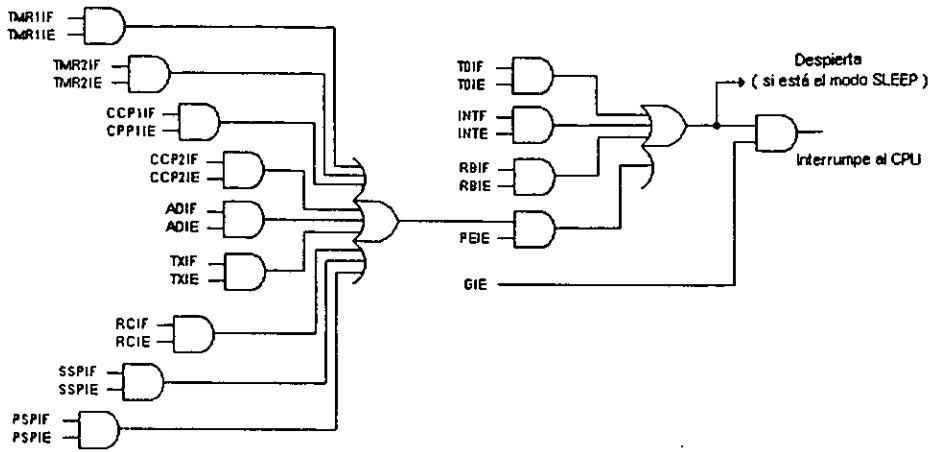


FIGURA III.3.1.8 DIAGRAMA LÓGICO DE INTERRUPCIONES DEL PIC16C74.

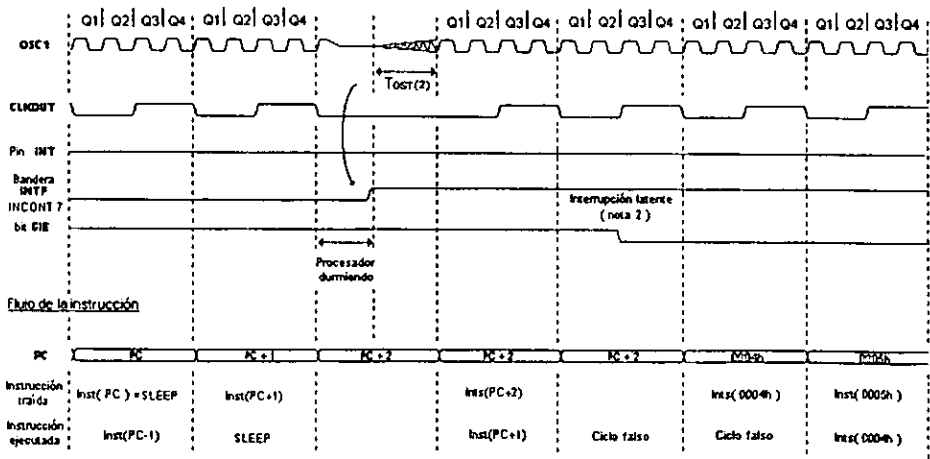


FIGURA III.3.1.9 DESPERTANDO AL PIC16C74 A TRAVÉS DE UNA INTERRUPCIÓN.

III.3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS

En esta sección se describe el funcionamiento de los sensores y las rutinas para la adquisición de los datos de todos y cada uno de los parámetros a medir. Para el diseño de dichas rutinas, se toman en cuenta los rangos de operación de los sensores, así como los valores de tolerancia para discernir cuando los datos deben ser considerados como un evento.

Como se describe en la sección III.1 de este capítulo, en la topología general se agrupan los parámetros y se asignan 2 microcontroladores para realizar el muestreo de los sensores. El microcontrolador seleccionado (sección III.3) es el PIC16C74 de Microchip Technology Inc. Como se hace uso de dos microcontroladores en la descripción de este tema, cuando se haga referencia a ambos, les denominaremos PIC's, para nombrar al microcontrolador 1, se utilizará *PIC0* y para nombrar al microcontrolador 2 se utilizará *PIC1*.

CONFIGURACIÓN INICIAL.

Cuando se suministra energía a los PIC's, éstos activan el modo de bajo consumo o modo "dormir", no ejecutando tarea alguna y siendo su consumo de corriente del orden de μA . Como el control del dispositivo lo debe tener el módulo central, la forma en que se desactiva el modo de bajo consumo (modo "dormir"), es por medio de una interrupción externa, la cual es generada por dicho módulo de la misma forma que establece la comunicación para coleccionar datos desde cualquier PIC.

Proceso para la configuración de los PIC's:

- Se definen las direcciones y los nombres con las cuales se van a manejar determinados registros.
- Ya desactivado el modo de bajo consumo, se configuran líneas con alta y baja impedancia, dependiendo de su función, es decir, las líneas que funcionen como entradas de cualquier puerto tendrán una baja impedancia y las que funcionen como salidas una alta impedancia.
- Se define las líneas de entrada para el módulo analógico-digital (8bits) interno del microcontrolador.
- Se configura al puerto "D" no como líneas de entrada/salida individuales, sino como un arreglo de 8 líneas bidireccionales que funcionan como un bus de datos tipo esclavo.
- Se habilita la interrupción externa y se configura el cambio de estado (flanco de subida o bajada) que provoca la interrupción. Sólo cuando sucede un cambio de estado en la terminal RBO/INT de alto a bajo se provoca una interrupción al microcontrolador.
- Se realiza un borrado de todos los registros que se usan para el control de ejecución de tareas, ya que el valor presente en los registros de propósito general (memoria RAM) de los PIC's, después ser polarizados es aleatorio. Para el almacenamiento de datos se utilizan registros a los que se direcciona de manera indirecta, se utilizan registros consecutivos, los cuales no necesitan ser definidos pero si borrados para asegurar que no tengan basura.

- Se establece un pequeño retardo para estabilizar las condiciones de trabajo.

Cada que un PIC registra un evento, genera una interrupción en el sistema principal, éste sabe que tiene que leer datos de algún PIC. Primero atiende al *PICO* y después al *PIC1* considerando lo siguiente:

Si *PICO* generó la interrupción:

1. Lee en *PICO* los 12 registros correspondientes a los 12 brazos del caliper
2. Lee en *PICO* los 12 registros correspondientes a la distancia en que ocurrió el evento
3. Lee en *PIC1* los 2 registros correspondientes a la posición angular.

Si *PIC1* generó la interrupción:

1. Lee en *PICO* los 12 registros correspondientes a la distancia en que ocurrió el evento
2. Lee en *PIC1* el registro de control que especifica los parámetros en que ocurrió un evento
3. Lee en *PIC1* los 10 registros correspondientes a Temperatura Interna, Temperatura Externa , Presión Inicial, Presión Frontal y Presión Diferencial. Los registros de la soldadura son un contador, no es necesario enviar una cuenta consecutiva cada que ocurra la detección de un cordón de soldadura, el módulo central lo identifica en el registro de control del *PIC1*.

A continuación se hace una descripción del proceso que realizan los micros para adquirir (senzar y procesar) cada parámetro.

III.3.2.1 Caliper y Odómetros

El microcontrolador encargado del monitoreo de estos parámetros , es el micro denominado *PICO*. La información de los odómetros es de vital importancia, es por ello que la información de todos los demás parámetros debe ir acompañada de la distancia (dada por el caliper) y el tiempo (dado en GCAT).

Como se puede observar en la figura III.3.2.1.a, los brazos del caliper tienen un movimiento circular de máximo 90 grados, que transmiten un movimiento al potenciómetro usado como sensor de 108 grados. Los potenciómetros seleccionados son de una vuelta sin tope; pero con 340 grados eléctricos, por lo que se hace necesaria una precalibración para hacer coincidir el valor de referencia que representa un radio de 6" , con la mitad del giro del potenciómetro. Debido a lo antes expuesto, realizar una calibración precisa para cada brazo del caliper es muy difícil , por lo que una vez instalados los brazos, el micro debe adquirir valores iniciales que se consideran como de referencia.

Una vez adquiridos los valores de referencia , el micro puede muestrear los valores de los brazos y determinar si se trata de una anomalía, si es así, genera una solicitud de atención.

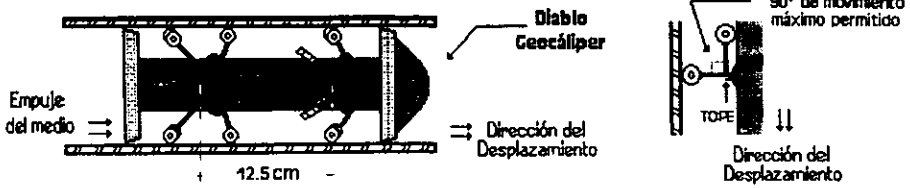


FIGURA III.3.2.1.a DIMENSIONES DEL CALIPER

Los doce potenciómetros encargados de detectar anomalías geométricas, están conectados a través de doce brazos repartidos en dos series de 6, dichas series están separadas 12 cm entre si y con una separación entre brazos de 60 grados geométricos (ver figura III.3.2.1a). Los potenciómetros se encuentran acoplados a los brazos a través de 2 engranes con una relación de 50:60 (figura III.3.2.1b), por lo que un grado geométrico de movimiento en el brazo genera 1.2 grados en el potenciómetro. Cabe mencionar que los potenciómetros están polarizados con 5 Volts, debido al diseño mecánico los potenciómetros solamente pueden moverse 108 grados, que equivalen a 1.5 volts, se requiere una precalibración para centrar el rango de 1.5 V, a un valor de 2.5V. Con lo anterior se pretende operar en un rango de 1.75 - 3.25 V.

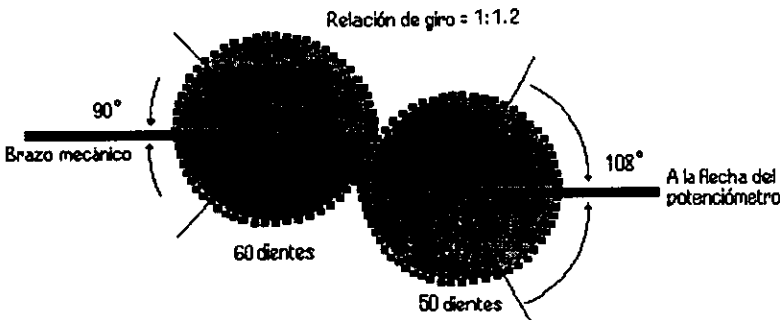


FIGURA III.3.2.1.b ACOPLAMIENTO ENTRE EL POTENCIÓMETRO Y EL BRAZO

RUTINA DEL CÁLIPER

La rutina para la adquisición de los valores del caliper se describe a continuación:

- Considerando V_0 - valor inicial (V_{ref} representa el radio de 6")
- V_a - valor anterior (representa el último evento adquirido)
- V_i - valor instantáneo adquirido
- T - tolerancia permitida (0.25")

El valor de V_o se obtiene del promedio de 16 muestras continuas.

Una vez adquirido el valor inicial V_o , el cual se considera de referencia para cada brazo, se asigna $V_a = V_o$, se muestrea un valor V_i y se realiza la operación $|V_a - V_i|$, se compara el resultado con la tolerancia T . En el caso de que el resultado sea mayor o igual que T , se considera que hubo un evento de anomalía geométrica, en ese momento se actualiza el valor de V_a , realizando $V_a = V_i$ y el micro interrumpe al procesador central indicando que hubo un evento. Este proceso se realiza continuamente, actualizando el valor de V_a cuantas veces sea necesario.

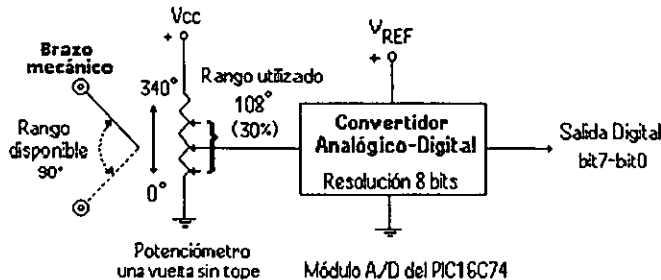


FIGURA III.3.2.1.c DIAGRAMA GENERAL PARA EL CALIPER .

RUTINA DE LOS ODÓMETROS.

En el capítulo III.2.5 se hace una breve descripción de la manera en la que se generan los pulsos de cada odómetro por medio de un switch de efecto Hall y una rueda con imanes colocados sobre una circunferencia.

Para describir la rutina de adquisición de los odómetros se hacen las siguientes consideraciones:

PB0-PB3	=	entradas del puerto B del PIC0
Ri	=	registro instantáneo
Ra	=	registro anterior
C	=	registro contador a 2
ODO	=	odómetro, arreglo de 3 registros de 8 bits

Los pulsos que generan los sensores de efecto Hall, son adquiridos en PB0-PB3, para cada entrada se asignan Ri, Ra, C y ODO. Se inicializan los registros en ceros y se muestrean continuamente las entradas del puerto, se transfiere cada bit a su correspondiente Ri, se compara con el valor de Ra y si hay diferencia se transfiere Ri → Ra y se incrementa una cuenta en C, si la cuenta es 2, se incrementa en 1 el valor de ODO.

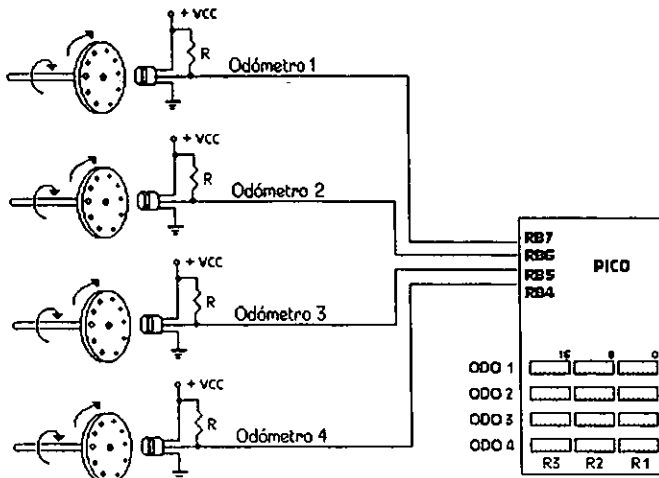


FIGURA III.3.2.1.d DIAGRAMA GENERAL PARA LOS ODÓMETROS

III.3.2.2 Sensores

El microcontrolador encargado de monitorear los valores de los sensores de Temperatura, Presión, Posición angular y Soldadura, es el micro denominado *PIC1*. De manera similar que el *PIC0*, este procesador genera una interrupción al procesador central cuando una variación significativa ocurre en cualquiera de los parámetros que muestrea, o bien proporciona la información que le soliciten, de acuerdo a un código interno.

Para darle flexibilidad al diseño y poder modificar los parámetros a adquirir en caso necesario o en futuras aplicaciones, los valores digitales de Temperatura, Presión, Posición Angular, no se obtienen a través del convertidor A/D del *PIC1*, sino con la ayuda de un A/D de 12 bits con salida serie, éste es el **MAX186** de la marca MAXIM. El MAX186 cuenta con interfase para ser completamente controlado por un microcontrolador (ver figura III.3.2.2.a).

RUTINA DE TEMPERATURA Y PRESIÓN

La rutina para la adquisición de los valores de temperatura y presión se describe a continuación:

Considerando V_0	=	valor inicial
V_a	=	valor anterior (representa el último evento adquirido)
V_i	=	valor instantáneo muestreado
T	=	tolerancia permitida (1°C , $1\text{kg}/\text{cm}^2$)

El valor de V_0 se obtiene del promedio de 8 muestras continuas.

Una vez adquirido el valor inicial V_o , el cual se considera de referencia para cada sensor, se asigna $V_a = V_o$, se muestrea un valor V_i y se realiza la operación $|V_a - V_i|$, se compara el resultado con la tolerancia T . En el caso de que el resultado sea mayor o igual que T , se considera que hubo un evento, en ese momento se actualiza el valor de V_a , realizando $V_a = V_i$ y el micro interrumpe al procesador central indicando que hubo un evento. Este proceso se realiza continuamente, actualizando el valor de V_a cuantas veces sea necesario.

En la tabla III.3.2, se muestra la relación entre valores límite de operación, valores digitales y los gradientes de los sensores de presión y temperatura.

ENTRADA	SALIDA	CUENTAS
0 °C	0 V	0 (# 000 h)
$\Delta 1$ °C	0.04096V	40 (# 028 h)
100 °C	4.096 V	4096 (# FFF h)
0 Psig = 0 kg/cm ²	0.8 V	800 (# 320 h)
$\Delta 14.21$ Psig = 1 kg/cm ²	0.02243 V	22(# 016 h)
2000 Psig = 142.72 kg/cm ²	4 V	4000 (#F9F h)

TABLA III.3.2 VALORES LÍMITE DE OPERACIÓN Y VALORES DIGITALES.

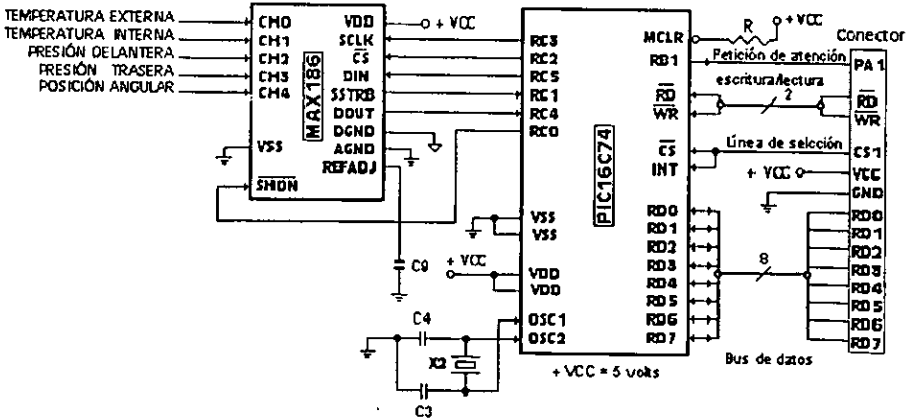


FIGURA III.3.2.2.a CONFIGURACIÓN DEL MAX186

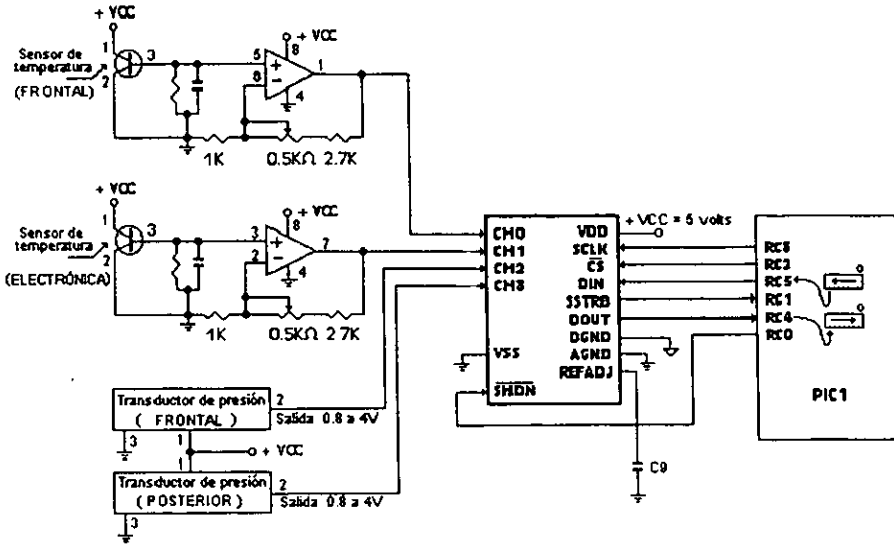


FIGURA III.3.2.2.b DIAGRAMA GENERAL PARA LA TEMPERATURA Y PRESION.

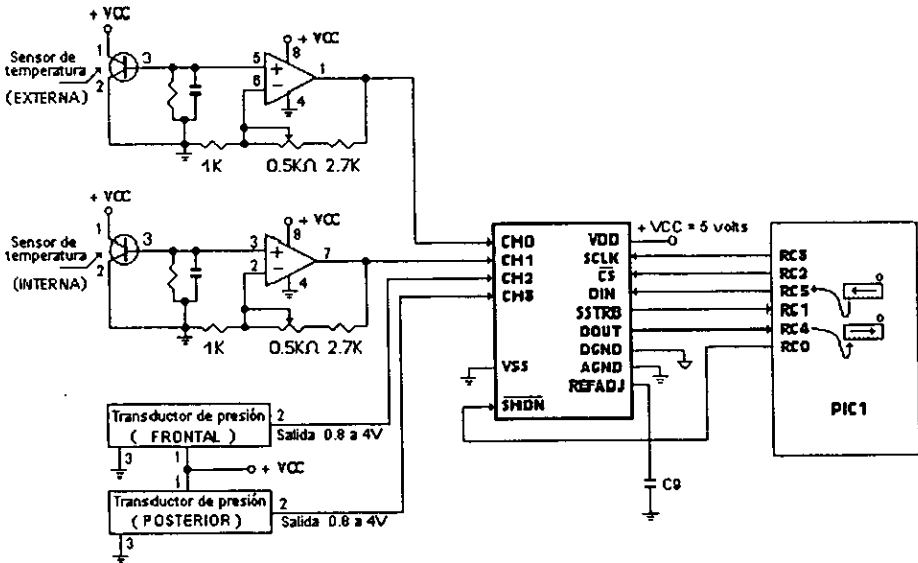


FIGURA III.3.2.2.b DIAGRAMA GENERAL PARA LA TEMPERATURA Y PRESION.

Se espera que el rango de variación para la Temperatura no exceda de 10 grados Centígrados a lo largo de la corrida total del diablo, la Presión puede oscilar desde 15 hasta 80 kg/cm² pero considerando la línea y las condiciones geográficas la variación de Kg/cm² no se hará en tramos cercanos. Para la Presión se cuenta con dos sensores, y con sus valores se obtiene la Presión diferencial para saber a qué Presión se está exponiendo el dispositivo. Cuando se requiera el almacenamiento de los valores de Presión se anexará este valor de Presión Diferencial (Ver figura III.3.2.2.c)

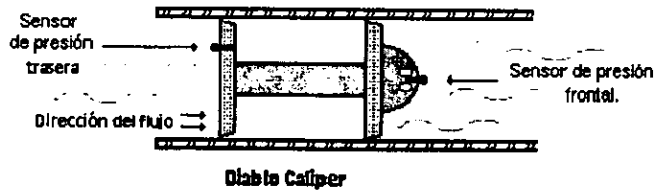


FIGURA III.3.2.2.c PRESION DIFERENCIAL.

RUTINA DE POSICIÓN ANGULAR

Este parámetro es complementario, ya que su objetivo es indicar un valor en grados que corresponde al desplazamiento angular que presente el dispositivo debido a posibles giros de éste cuando viaje.

Considerando V_0 = valor inicial
 V_i = valor instantáneo muestreado

La rutina de adquisición consiste en obtener del promedio de 8 muestras continuas el valor inicial V_0 , el cual está referenciado al brazo 1 del caliper, todos los demás valores V_i , son calculados con las lecturas V_i , con la relación $V = V_i - V_0$. De esta manera se tendrá un rango de valores de ± 180 grados para las muestras obtenidas por el dispositivo.

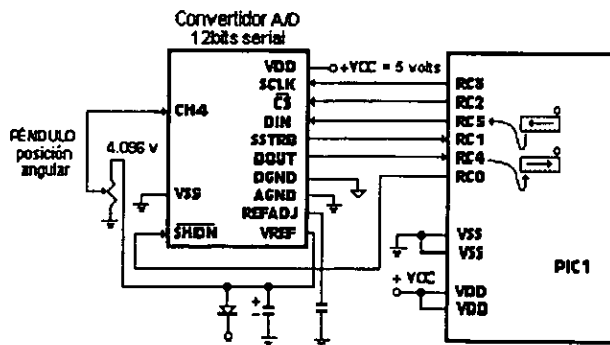


FIGURA III.3.2.2.d DIAGRAMA GENERAL PARA EL MOVIMIENTO ANGULAR

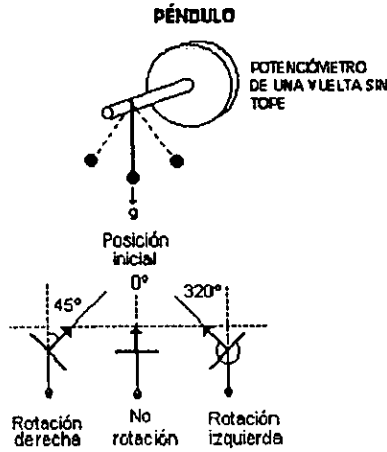


FIGURA III.3.2.2.e ACOPLAMIENTO ENTRE EL POTENCIÓMETRO Y EL PÉNDULO.

RUTINA DE DETECCIÓN DE SOLDADURAS.

Para la detección de cordones de soldadura se aprovecha el hecho de que la señal que proporciona un sensor magnético al pasar por un cordón de soldadura es una señal típica, como se puede observar en la figura III.3.2.2.f. El dispositivo cuenta con 2 sensores diametralmente opuestos, las señales proporcionadas por los sensores son muestreadas continuamente por 2 entradas analógicas del PIC1. Para describir la rutina, se hacen las siguientes consideraciones:

- Vi = Valor instantáneo de la muestra.
- Vo = Valor inicial (valor de offset de la línea base)
- Vth+ = Valor de umbral alto
- Vth- = Valor de umbral bajo
- T1 = Timer 1 (≈50 ms)
- T2 = Timer 2 (≈1s)
- T3 = Timer 3 (≈50 ms)

Se obtienen las 8 primeras muestras Vi y se calcula el promedio para definir el valor inicial Vo, las siguientes muestras Vi se comparan continuamente con Vi > Vth+, si se cumple se habilitan T1 y T2, a partir de ese momento las siguientes Vi se comparan con Vi > Vth-. si se cumple se da un reset a T1. A partir de ese instante las siguientes Vi se comparan nuevamente con Vi > Vth+, si se cumple, nos indica que acaba de recibirse una señal típica de soldadura.

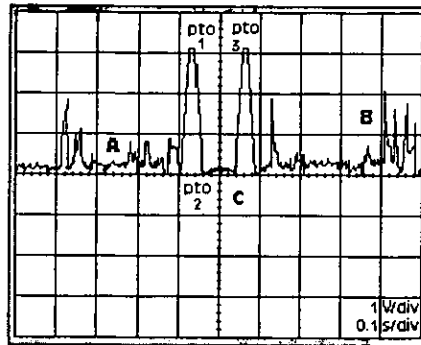


FIGURA III.3.2.2.f ANALISIS DE LA SEÑAL DEL SENSOR DE SOLDADURAS (puntos a, b, c)

Debido a que en codos y curvaturas los sensores pueden tener una inclinación (ver figura III.3.2.2.g) que se refleja como un defasamiento en el tiempo entre sensores, el timer 2 se habilita para esperar la señal del segundo sensor. La señal del sensor 2 se adquiere de manera similar al 1, solo que la función del timer 1 es ocupada por el timer 3. El timer 2 tiene como objetivo esperar a que la señal del sensor 2 suceda . En el caso que cualquiera de las condiciones no se cumplan no se considera evento, o bien, cuando uno de los sensores no registre una señal típica o cualquiera de los timers llegue a su fin.

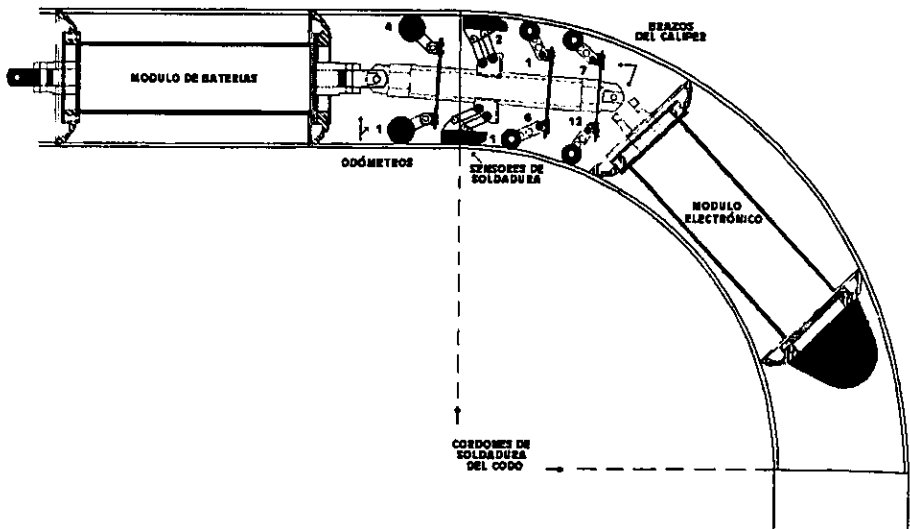


FIGURA III.3.2.2.g DIABLO AL PASAR POR UN CODO

La señal presentada en la figura III.3.2.2.f, representa una señal típica en un sensor de uniones de soldaduras, esta señal está previamente amplificada dependiendo ésta directamente de la sensibilidad del sensor. Como se puede observar, la señal se fracciona en 3 secciones (a,b,c). En la sección a se observa una señal de ruido normal de alta frecuencia ocasionada por la vibración producida en el viaje, la sección b, muestra un conjunto de picos generados por diferentes imperfecciones en el tubo que ocasionan brinco y golpes en el sensor. La sección c muestra una señal típica de un sensor magnético al pasar por un cordón de soldadura. Como podemos observar en la sección c, existen 3 puntos claves que se consideran en la adquisición de la señal. Para el acondicionamiento de esta señal, se usa un circuito filtro activo pasobajas de 2º. orden, con ganancia 2 y un comparador analógico con un umbral a 3V. Con este circuito se obtiene una señal con una línea base de 0.3 V aproximadamente y 2 picos de 3.7V, cuando sucede la sección c de la figura. En la figura III.3.2.2.h se analiza la señal obtenida del sensor hasta la salida del comparador.

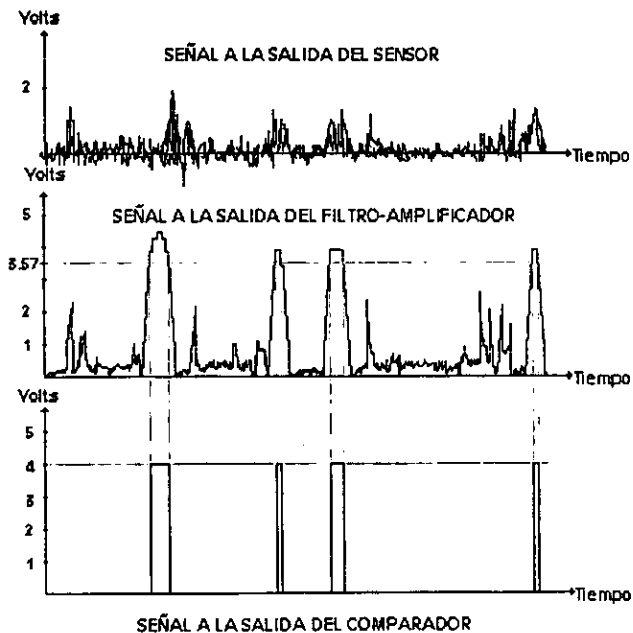


FIGURA III.3.2.2.h ANÁLISIS DE LA SEÑAL EN DIFERENTES ETAPAS

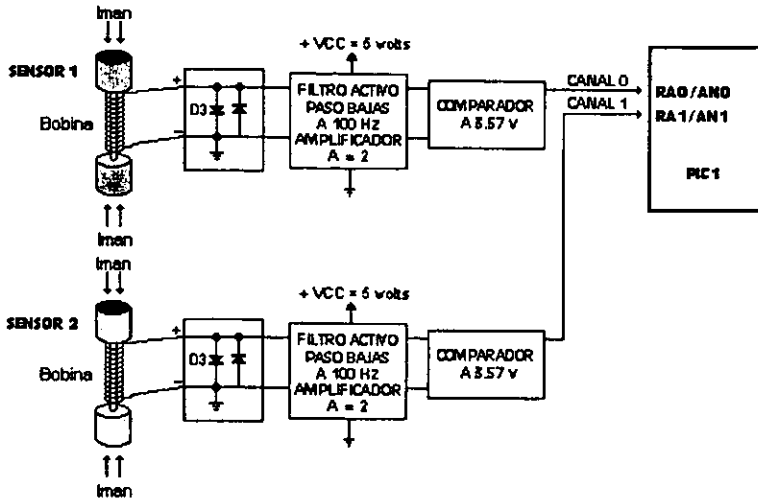


FIGURA III.3.2.2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES SENSOR DE SOLDADURA

III.4 MICROCONTROLADOR CENTRAL

III.4.1 INTRODUCCIÓN

Este módulo es de los más importantes del proyecto, ya que es el sistema central que tiene como funciones adquirir la información proporcionada por los microcontroladores de cada uno de los parámetros, procesarla, darle formato y almacenarla. También tiene como función la comunicación serial con una PC externa, a través de la cual se configura el sistema. La forma de envío y el proceso que se realice para darles un formato no está dentro de los alcances de esta tesis, así que esta sección se concreta a dar una breve Introducción del sistema utilizado y el algoritmo de comunicación con los microcontroladores.

El módulo central es un módulo CPU de PC modelo GCAT-6000 de DSP DESIGN LIMITED. Para facilitar la descripción de este capítulo se le denominará al módulo central GCAT-6000.

III.4.2 GCAT-6000

El GCAT-6000 es un módulo CPU con la ventaja de tener un tamaño de 86x65 mm y un bajo consumo de potencia. Cuenta con 1M byte de DRAM, puerto para teclado, dos puertos para comunicación serial, interfaz para monitor de CRT ó LCD, ROM DISK, SRAM DISK, EPROM-FLASH, convertidor analógico-digital y generador Vee para LCD con control de contraste por hardware o software. Además una interfaz como el PCbus, reloj calendario y watchdog timer.

Con la opción de disco duro y tarjetas de red, GCAT-6000 es la más versátil y poderosa unidad en su tipo .

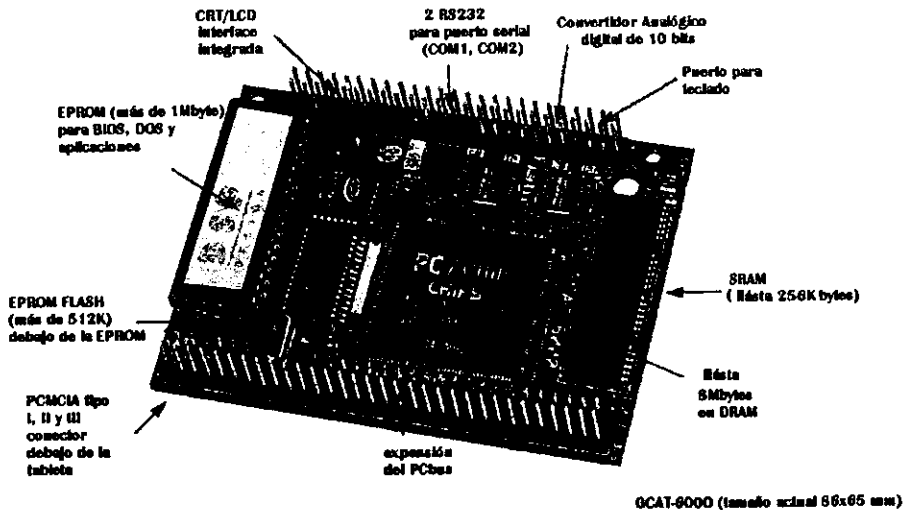


FIGURA III.4.1 FOTOGRAFIA REAL DEL GCAT 6000

GCAT-6000 es un producto compatible con las computadoras tipo PC y con las tarjetas de aplicación de entrada y salida de datos, su tamaño es comparable con una tarjeta de crédito. El tipo de ingeniería usado en su construcción está basado en bloques altamente confiables, lo que ofrece rapidez y eficiencia en la solución de problemas relacionados con la aplicación de una PC pero con la ventaja de ser módulo compacto.

El GCAT-6000 es un sistema de desarrollo que provee todas las funciones estándares de una PC, con esto se cuenta con un sistema de fácil acoplamiento para un diseño modular. A este sistema se le pueden agregar tarjetas de aplicación como la interfaz de comunicación PCMCIA (Personal Computer Memory Card Industry Association) [18].

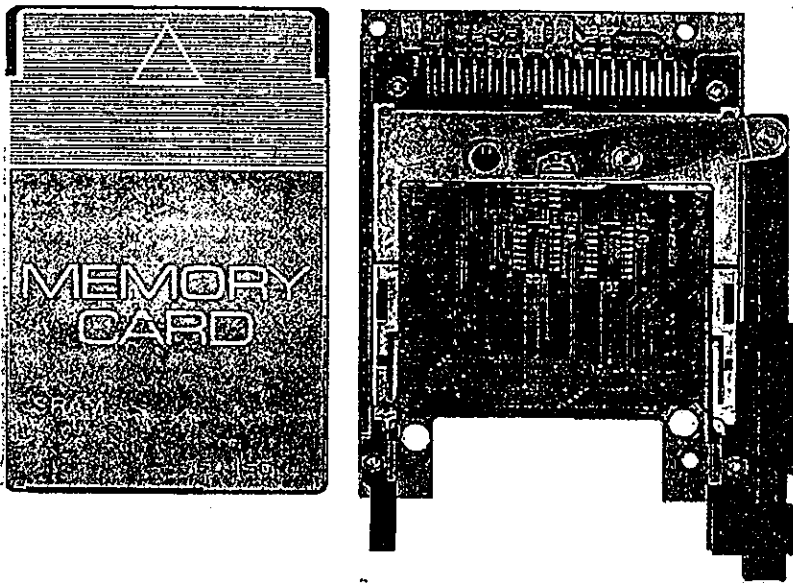


FIGURA III.4.2 MODULO PCMCIA

El consumo de la PC GCAT en uso normal es de 45 mA con una fuente de 5 Volts, existiendo una gran diferencia cuando se usa en el modo *sleep*, que es usado para una mejor administración de la energía con un consumo tan bajo como de 50 μ A.

En general las características técnicas de una PC GCAT-6000 son (19):

- Computadora compatible PC en reducidas dimensiones.
- Procesador compatible con 8086/80186
- Memorias opcionales, a un máximo de 8M DRAM, 256K SRAM, 512K Memoria FLASH y 1M de ROM.
- Se pueden agregar una o dos Memorias PCMCIA, o tarjetas de entradas y salidas.
- Puertos para teclado, bocina, y dos puertos de comunicación serial.
- Compatible con gráficos CGA (salida para LCD o CRT)
- Diseño de bajo consumo de energía.
- Convertidor Analógico Digital
- Frecuencia de operación estándar de 7 MHz a un máximo de 14 MHz.

El GCAT-6000 soporta una o dos tarjetas PCMCIA tipos I, II, o III. La interfaz GCAT-6000 permite seleccionar el número de tarjetas que requiere el sistema.

El procesador está disponible en 14 MHz. Dos registros internos determinan la velocidad a la que están la memoria y el Pcbus. El reloj interno del CPU es normalmente el cristal de 14.31818MHz. La frecuencia del cristal puede estar dividida en 1,2,4 u 8. La velocidad del CPU es la que da la velocidad de acceso sobre la tarjeta a las memorias PCMCIA, SRAM y DRAM. El reloj al que trabaja el bus también puede darse de la división del reloj del CPU que se selecciona. Este reloj da la velocidad de los ciclos del Pcbus y el tiempo de acceso a la EPROM y la memoria Flash.

El procesador GCAT-6000 tiene diferentes opciones de memoria, las cuales están diseñadas para diferentes propósitos, en algunos sistemas no todos los dispositivos de memoria son utilizados. Estas memorias son :

- EPROM o memoria Flash
- SRAM
- DRAM
- Memoria Flash Surface Mount
- Tarjetas de memoria PCMCIA

CODIFICACIÓN DEL PCBUS.

El GCAT-6000 presenta un conector compatible con los conectores Pcbus XT con una configuración como la de la tabla III.4.1

La comunicación entre GCAT y los microcontroladores PIC se hará por medio del bus de datos, es decir, en forma paralela. Mediante una rutina de interrupciones se establece la comunicación entre GCAT y los PIC's. La rutina es como se muestra en la figura III.4.3.

PIN	SEÑAL	PIN	SEÑAL
1a	IOCHCK-	1b	GND
2a	D7	2b	RESET
3a	D6	3b	VCC
4a	D5	4b	IRQ2
5a	D4	5b	N/C
6a	D3	6b	DRQ2
7a	D2	7b	N/C
8a	D1	8b	N/C
9a	D0	9b	N/C
10a	IOCHRDY	10b	GND
11a	AEN	11b	MEMW-
12a	A19	12b	MEMR-
13a	A18	13b	IOW-
14a	A17	14b	IOR-
15a	A16	15b	DACK3-
16a	A15	16b	DRQ3
17a	A14	17b	DACK1-
18a	A13	18b	DRQ1
19a	A12	19b	DACK0-
20a	A11	20b	CLK
21a	A10	21b	IRQ7
22a	A9	22b	IRQ6
23a	A8	23b	IRQ5
24a	A7	24b	IRQ4
25a	A6	25b	IRQ3
26a	A5	26b	DACK2-
27a	A4	27b	TC
28a	A3	28b	ALE
29a	A2	29b	VCC
30a	A1	30b	OSC
31a	A0	31b	GND
32a	GND	32b	GND

TABLA III.4.1 CONECTOR DE 64 TERMINALES

Cuenta con un segundo conector, el cual presenta señales de un número de dispositivos de entrada/salida, este conector de 50 terminales, se presenta exactamente enfrente del conector Pcbus (como se observa en la figura III.4.1), según la tabla III.4.2, las señales de las funciones gráficas dependen de que el modulo CTR o LCD sea habilitado.

PIN	SEÑAL	USO	PIN	SEÑAL	USO
1	CARDB	PC/Chip	2	CSUTILB-	Chip sel
3	DCD1	COM2 :	4	RXD1	COM2 :
5	TXD1	COM2 :	6	DTR1	COM2 :
7	DSR1	COM2 :	8	RTS1	COM2 :
9	CTS1	COM2 :	10	RI1	COM2 :
11	DCD0	COM1 :	12	DTR0	COM1 :
13	DSR0	COM1 :	14	RI0	COM1 :
15	OP0	Util Reg	16	OP1	Util Reg
17	OP2	Util Reg	18	PS3	PC/Chip
19	PWRUP	PC/Chip	20	VCC	bocina
21	SPKR	Bocina	22	PS2	PC/Chip
23	DOT0	LCD/CRT	24	DOT1	LCD/CRT
25	DOT2	LCD/CRT	26	DOT3	LCD/CRT
27	VS/FLM	LCD/CRT	28	FRAME	LCD
29	HS/LP	LCD/CRT	30	DOTCLK	LCD
31	Vo	LCD	32	VCC	LCD
33	GND	LCD	34	VEE	LCD
35	BACKLIGHT	LCD	36	KBCLK-	teclado
37	GND	teclado	38	KBDATA-	teclado
39	VCC	teclado	40	RxDO,Rx/TxA	COM1 :
41	RTSO	COM1 :	42	TxD0,Rx/TxB	COM1 :
43	CTSO	COM1 :	44	GND	COM1 :
45	BRESET-	Res switch	46	VCORE	Vcc
47	GND	-	48	GND	-
49	ANALOGIN	A/D	50	REF +	A/D

TABLA III.4.2 CONECTOR DE 50 TERMINALES

Existen dos formas para extraer los datos almacenados en la tarjeta de memoria Flash. La primera es con una PC externa y a través del puerto serial, con ayuda de un software de comunicación , tales como Interlink.exe Intersrv.exe . Este procedimiento puede ser relativamente lento, todo dependerá de las PC 's y de la cantidad de datos almacenados en la tarjeta de memoria.

La segunda opción es desmontar la tarjeta del dispositivo para trasladarla a una PC portátil con interface PCMCIA o bien una PC de escritorio con PCMCIA. Esta opción puede ser más rápida; pero si consideramos que caliper es un dispositivo que debe estar sellado ya que estará sujeto a un ambiente rudo e inmerso en líquidos, tal vez se tarde mucho más en abrir y cerrar el módulo caliper, que en esperar un tiempo en leer los datos vía serial.

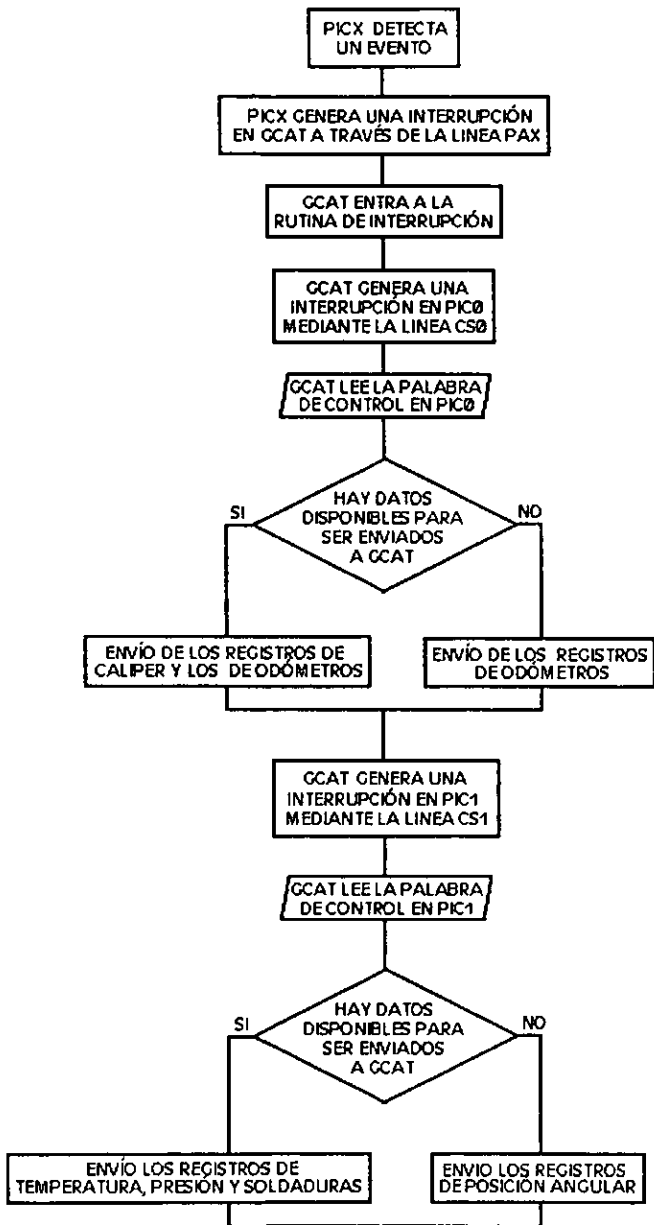


FIGURA III.4.3 ALGORITMO DE COMUNICACIÓN PIC-GCAT

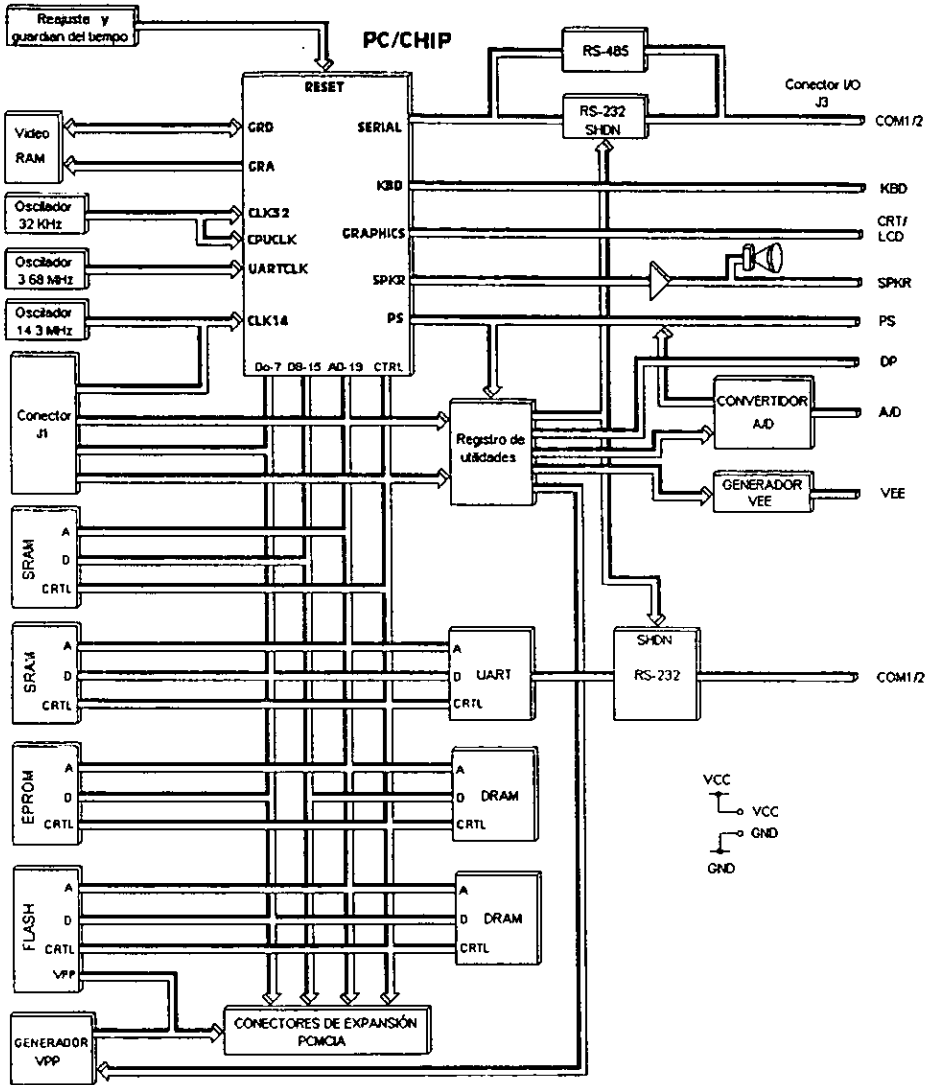


FIGURA III.4.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DE PC GCAT-6000

III.5 ALMACENAMIENTO DE DATOS.**III.5.1 INTRODUCCIÓN**

El Caliper tiene como función adquirir las deformaciones geométricas de la tubería de transporte de hidrocarburos, así como un perfil de temperatura, presión y tamaño de los tramos de tubo. Para cada parámetro adquirido se incluirá la lectura de la distancia y el tiempo. En el caso de las deformaciones geométricas se incluye también el valor del sensor de posición angular.

La cantidad de información que se requiere almacenar es demasada; si consideramos una línea de transporte de hidrocarburos de 120km, podemos analizar lo siguiente:

Sensor	Frecuencia de muestreo supuesta	Cantidad de muestras o eventos posibles	Byte cada muestra o evento	Bytes totales
soldaduras	(1 sold / 8m)x120km	15 000	5 + 2	105 000
deformación geométrica	(5deformaciones/Km)x120	600x20	5 + 12	204 000
temperatura	(50 cambios)x120km	50	5 + 2	350
presión	(100cambios)x120km	100	5 + 2	700
otras	(5deformaciones/Km)x120	600x20	5 + 12	204 000
total		39 150		551 550

TABLA III.5.1 EVENTOS POSIBLES

No es posible determinar el número de eventos posibles. Para el caso de Temperatura y Presión se almacenará su valor cuando se registre una variación e hipotéticamente éste será el número de eventos considerados. Se debe tomar en cuenta un factor de seguridad considerando que el número de eventos para esos cinco parámetros (incluyendo otras anomalías como válvulas, codos, etc.) podría duplicarse; el número total de eventos sería de 78 300. (ver tabla III.5.1)

Para el número total de eventos posibles (78 300), se almacena la distancia asociada dada por los odómetros (3 bytes) y el tiempo en que sucede (2 bytes).

Los bytes totales por el factor de seguridad se incrementan al doble, esto es 1 103 kbytes. Debemos considerar además que el programa de aplicación, el manejo de comunicación con la PC externa y el manejo de archivos también se almacenan en este mismo dispositivo.

De lo anterior se puede estimar una capacidad mínima de memoria; pero se debe recordar que la cantidad de memoria debe de ser suficiente para la impredecible cantidad de veces en que puede ocurrir cada evento, es por ello que la capacidad de almacenamiento requerido se estima en 10 Mbytes. El medio de almacenamiento debe de ser **no volátil**, de rápido acceso y bajo consumo ya que recordemos que está alimentado por baterías y se deben de conservar los datos aún sin alimentación.

Existen diferentes tipos de almacenamiento que pueden cumplir con los requerimientos anteriores, discos flexibles, discos duros, cintas digitales y tarjetas de memoria (20). Debido a que el sistema tiene que ser compacto y está sujeto a mucha vibración, el medio de almacenamiento debe ser en estado sólido, por lo que analizaremos únicamente las memorias, haciendo una breve descripción de ellas.

Las memorias ROM son programadas por el fabricante de acuerdo a una mascarilla que indica las conexiones necesarias para poder almacenar un código que no será modificado después de su implementación; estas memorias son tipo no volátil.

Las memorias PROM pueden ser programadas por el usuario, sin embargo por su baja densidad de información, alta disipación de potencia y por ser programables solo una vez, no son útiles para nuestras necesidades.

Las memorias EPROM pueden ser programadas y borradas por el usuario y tienen una alta densidad de información, bajo consumo de potencia y tiempo de acceso adecuado, pero tienen un tiempo de escritura muy grande y para ser borradas deben de quitarse del circuito donde se encuentran y ponerse dentro de una lámpara de luz ultravioleta en un tiempo no menor a 10 minutos.

Las memorias EEPROM permiten el almacenamiento de información en medios no volátiles además de poder ser borradas eléctricamente, pero el tiempo de escritura es muy grande, su densidad de información baja y su costo es elevado.

Las memorias RAM con soporte de batería son adecuadas a nuestras necesidades, ya que su tiempo de acceso es pequeño, densidad de información alta, bajo consumo de potencia y bajo costo, pero la desventaja principal es el requerimiento de baterías para conservar la información, lo cual no garantiza el almacenamiento.

Las memorias Flash tienen un tiempo de escritura pequeño, alta densidad de información, baja disipación de potencia, costo adecuado, pueden ser borradas y reprogramadas por la cantidad de información que se desee sin quitarlas del circuito donde se encuentren y la posibilidad de ser borradas y reprogramadas puede ser de hasta 100 mil veces (mínimo 100 mil veces el ciclo de escritura). La información almacenada es válida durante mínimo 10 años. Una memoria Flash es una memoria no volátil y de un alto nivel de ejecución en lectura y escritura.

Haciendo un análisis de los tipos de memoria disponible, la que reúne todos los requisitos para esta aplicación es la memoria tipo Flash. Aprovechando los recursos de GCAT-6000, que se seleccionó como procesador central, éste cuenta con la opción de integrar un socket PCMCIA para tarjetas de memoria. Las tarjetas de memoria Flash se presentan comercialmente con capacidades de 1, 2, 4, 8, 10, 20 y 32 Mbytes, por lo que se selecciona como medio de almacenamiento una tarjeta de memoria Flash de 10 Mbytes AmCOXXBFLKA de la marca AMD (21).

III.5.2 TARJETA DE MEMORIA FLASH

III.5.2.1 Descripción.

Las memorias Flash combinan la flexibilidad del borrado eléctrico de una E²PROM con alta densidad y el bajo costo por bit de las EPROM . En la figura III.5.1 se muestra claramente la diferencia en precios de estos tres tipos de memoria y la densidad que soportan.

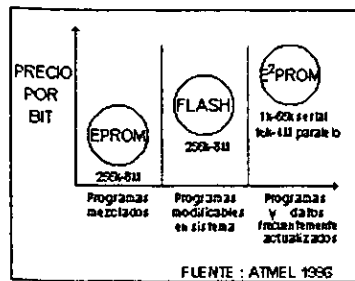


FIGURA III.5.1 FLEXIBILIDAD

El costo de los elementos de una tarjeta de memoria Flash continúa en descenso debido al incremento de la densidad y rápido crecimiento en la producción por volumen. Una célula de memoria Flash , de Intel por ejemplo, es menor que su equivalente célula DRAM (22) . La memoria Flash ha creado una nueva dimensión para las aplicaciones de memorias no volátiles, sistemas como el PC BIOS, controladores de disco duro y aplicaciones de teléfonos celulares aprovechan las ventajas de las memorias Flash.

Para almacenamiento de archivos que requieran alto nivel de ejecución, rapidez en el manejo de datos , tamaño pequeño y ligero, una tarjeta de memoria Flash es la mejor solución. Las tarjetas están siempre basadas en memorias Flash de menor densidad de almacenamiento, ya sea de 2 o hasta 8 memorias Flash dentro de una tarjeta. Para su mayor versatilidad son compatibles con el estándar **PCMCIA/JEIDA** (23) .

Las tarjetas de memoria se han estado utilizando desde hace algún tiempo, las primeras fueron ROM usadas en los video juegos y los organizadores de bolsillo. Éstas fueron producidas en varios formatos antes de la formación de PCMCIA/JEIDA. Después las tarjetas incluyeron respaldos de batería SRAM y E²PROM.

El consumo de potencia es una de las grandes ventajas de un tarjeta de memoria Flash, el borrado y la escritura de datos no es tan distinto a la operación de re-escribir información en un disco, técnicas de software son aplicadas para permitir a la Flash imitar la funcionalidad de un disco.

Podemos ver en la tabla III.5.2 un ejemplo de las diferencias en tiempo de acceso de un disco y una memoria Flash (24):

	Disco/DRAM	FLASH
tiempo promedio de búsqueda	28.0ms	0
estado latente	8.3ms	0
velocidad en la transferencia de datos : lectura escritura	8Mbits/sec 8Mbits/seg ..ahora leído desde la RAM	106.7Mbits/sec 1Mbit/sec acceso directo al procesador
tiempo total de acceso (archivo de un kbyte)	37.3ms	0.15ms

TABLA III.5.2 DIFERENCIAS DE TIEMPOS DE ACCESO

MEMORIA	FLASH	SRAM + BATERIA	DRAM + DISQUETE	EEPROM	OTP/ EPROM	ROM DE MASCARA
INHERENTEMENTE NO VÓLATIL	✓			✓	✓	✓
ALTA DENSIDAD	✓		✓		✓	✓
BAJA POTENCIA	✓			✓	✓	✓
CELULA DE UN TRANSISTOR	✓				✓	✓
ALMACENAMIENTO DE DATOS Y CODIGOS	✓	✓	✓	✓		
BYTE ALTERABLE		✓	✓	✓		
BLOCKING	✓	✓	✓	✓		
HANDS OFF UPDATES	✓	✓	✓	✓		
IN-SYSTEM REESCRIBIBLE	✓	✓	✓	✓		

TABLA III.5.3 MEMORIAS FLASH CONTRA MEMORIAS DE TECNOLOGIAS TRADICIONALES

III.5.2.2 Beneficios del uso de una tarjeta de memoria Flash [25].

- Una de las principales ventajas es el tamaño compacto semejante a una tarjeta de crédito o de teléfono.
- La densidad de información aumenta día con día.
- El almacenamiento de la Información es mucho más seguro , ya que no se emplean piezas mecánicas las cuales pudieran sufrir deformaciones y ocasionar pérdidas de información, además las condiciones ambientales como humedad, polvo y temperatura afectan en menor grado a diferencia de otro tipo de dispositivos.
- Las tarjetas de memoria Flash contienen por si mismas tres diferentes tipos de protección contra escritura.
- A diferencia de algunos medios de almacenamiento, éstas no requieren diferentes voltajes de programación y de lectura.

Las memorias Flash requieren de software para operar. La escritura y el borrado de una memoria Flash difiere significativamente dependiendo de la fabricación de la tarjeta. Estos requerimientos son transparentes para el usuario ya que los fabricantes incluyen en las tarjetas sus especificaciones y proporcionan el software manejador.

Fundamentalmente un manejador Flash tendrá que manejar 4 operaciones básicas [26] :

- Leer: transferir el(los) byte(s) específico desde la tarjeta a un buffer
- Escribir: transferir un(los) byte(s) específico desde un buffer hacia la tarjeta de memoria
- Copiar: transferir un dato específico desde una localidad hacia otra dentro de la misma Flash
- Borrar: restaurar todos los bytes en el bloque específico a su estado borrado.

III.5.2.3 Tipos.

Actualmente la memoria Flash está bien comercializada, por lo que existen diversas marcas que las fabrican, AMD, Intel y Motorola entre las más comerciales, Atmel, Fujitsu, Hitachi, Microchip, NEC, Panasonic, Philips, Sharp, Texas Instruments y Toshiba las aplican en la fabricación de sus productos por lo que es viable contactar su venta con ellas. Las diferencias entre unas marcas y otras no son específicas en la tecnología sino en las aplicaciones, la densidad y otras características.

Como ya se mencionó, las tarjetas de memoria Flash al igual que otros dispositivos en tarjeta (modem, faxes, tarjetas LAN, tarjetas de memoria etc.) están basados en el estándar PCMCIA/JEIDA. Este estándar tiene 5 variaciones en tipos de tarjetas PC respecto a los atributos físicos de ellas, estos son [27]:

- Tipo I - 3.3 mm de espesor (85.6 mm x 54.0 mm)
- Tipo II - 5 mm de espesor (85.6 mm x 54.0 mm)
- Tipo III - 10.5 mm de espesor (85.6 mm x 54.0 mm)
- Tipo I extendido - 3.3 mm de espesor y 40 mm de largo (54.0 mm ancho)
- Tipo II extendido - 5 mm de espesor y 40 mm (54.0 mm ancho)

Las tarjetas del Tipo I son compatibles en todos los sockets. Los fabricantes deberán de esforzarse por el desarrollo de tarjetas de tipo I asegurando la compatibilidad con el mayor número de PC's. El siguiente tamaño, Tipo II, fue desarrollado para aplicaciones que no se ajustaran dentro de las restricciones de los 3.3mm de espesor. Las tarjetas del tipo III proveen espacio adicional para tarjetas PC de discos duros mecánicos ATA.

Las interfaces comunes para todas las tarjetas PC son un socket conector de 68 pines en fila doble. El conector pitch de 1.27 mm es específico para 10, 000 ciclos insertar/remove. Se previene la inserción al revés de la tarjeta con llaves polarizadas.

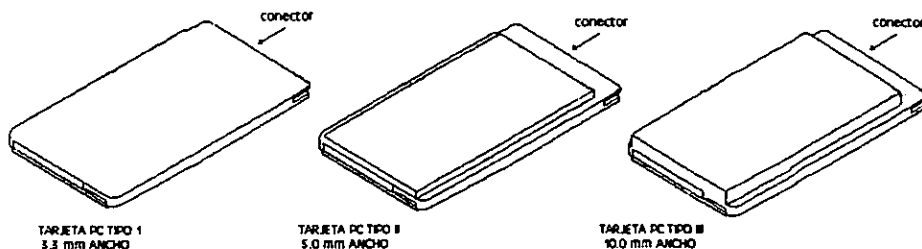


FIGURA III.5.2. TIPOS DE TARJETAS PC

PCMCIA ha desarrollado algunos estándares los cuales definen los atributos de hardware y software para las tarjetas PC. PCMCIA es responsable de la distribución y la actualización de estas especificaciones. Los estándares son:

- PC CARD Standard Specification Release 2.1
- Socket Services Specification Release 2.1
- Card Services Specification Release 2.1
- PC Card ATA Mass Storage Specification Release 1.02
- AIMS Specification Release 1.01

Las tarjetas de memoria Flash se fabrican en dos estándares, el PC Card Standard Specification Release 2.1 y el PC Card ATA Mass Storage Specification Release 2.1

El estándar PCMCIA "PC Card Standard Release 2.1" provee los fundamentos sobre los cuales están fundados todos los estándares de tarjetas PC. Esta especificación define los parámetros físicos, eléctricos, y ambientales de las tarjetas PC. En suma, la especificación describe el formato de la estructura de la información de la tarjeta (CIS Card Information Structure) la cual permite al Software de la PC determinar el tipo y las capacidades de una tarjeta en particular.

Las especificaciones de una tarjeta PC ATA definen el estándar de una interface hardware desde un dispositivo ATA a la interface PCMCIA. La especificación detalla las interfaces eléctricas y lógicas. Las especificaciones de tarjetas PC adicionan el ATA (AT Atributos) ANSI Draft Standard, revisión 3.1. El estándar ATA está definido por el subcomité ANSI X3T9.2.

ATA provee un estándar y una interface bien definida para las máquinas basadas en PC. Los beneficios de este estándar es que incluye una gran base de hardware y software que soporta el protocolo ATA. PCMCIA define como obligatorio el soporte de direcciones de entrada/salida y las interrupciones asignadas estándar (IRQ) para los dispositivos en tarjetas PC ATA. La asignación de estas direcciones de entrada/salida asegura el soporte del BIOS y dispositivos con manejo de los "drivers" ATA.

La primera implementación de una tarjeta PC ATA fue una memoria Flash Silicon desarrollado por SunDisk . Algunos manejadores mecánicos de discos en forma de tarjeta PC

le sucedieron. Pese a que el mercado es dominado por la arquitectura SunDisk , el bajo costo y la alta densidad hacen atractivos los manejadores mecánicos de disco.

El diseño del almacenamiento en masa es comunmente basado en el estándar ATA. Hay básicamente dos tipos de diseño ATA , manejadores de disco duro ATA y memoria Flash ATA.

Para nuestra aplicación en particular se acoplan mejor las tarjetas de memoria Flash que corresponden al estándar PCMCIA, que las tarjetas Flash ATA - PCMCIA, éstas últimas se formatean como disco duro y tienen menor versatilidad que las otras ya que sus especificaciones son más particulares.

En general, las tarjetas Flash Motorola, Intel y AMD funcionan de la misma forma. Para ejemplificar ello y para explicar el funcionamiento de una tarjeta Flash , se especifican algunas características de la serie D de AMD en el apartado siguiente (III.5.2.4).

III.5.2.4 Características [28].

- La serie D de las tarjetas de Amd , a la que pertenece nuestra tarjeta, se basa en la Am29F016C de 16Mbit.
- Tiempo de acceso 200/150 ns máximo.
- Operación con una fuente simple, 5.0 V \pm 5% voltaje de escritura, borrado y lectura.
- CMOS, bajo consumo de potencia, 45 mA máxima corriente activa en modo lectura, 65 mA máxima corriente activa en modo escritura/borrado.
- Mínimo 100,000 ciclos de escritura/borrado por sector.
- Estándar de 68 terminales PCMCIA/JEIDA
- Switch de protección de escritura, previene accidental pérdida de datos.
- No requiere baterías para el almacenamiento de datos.
- < 1 μ A típica corriente en modo standby, tiempo de acceso estándar desde este modo.
- Memoria de atributos por separado.
- Operaciones automáticas de escritura y borrado
- Soporte para señales de reset

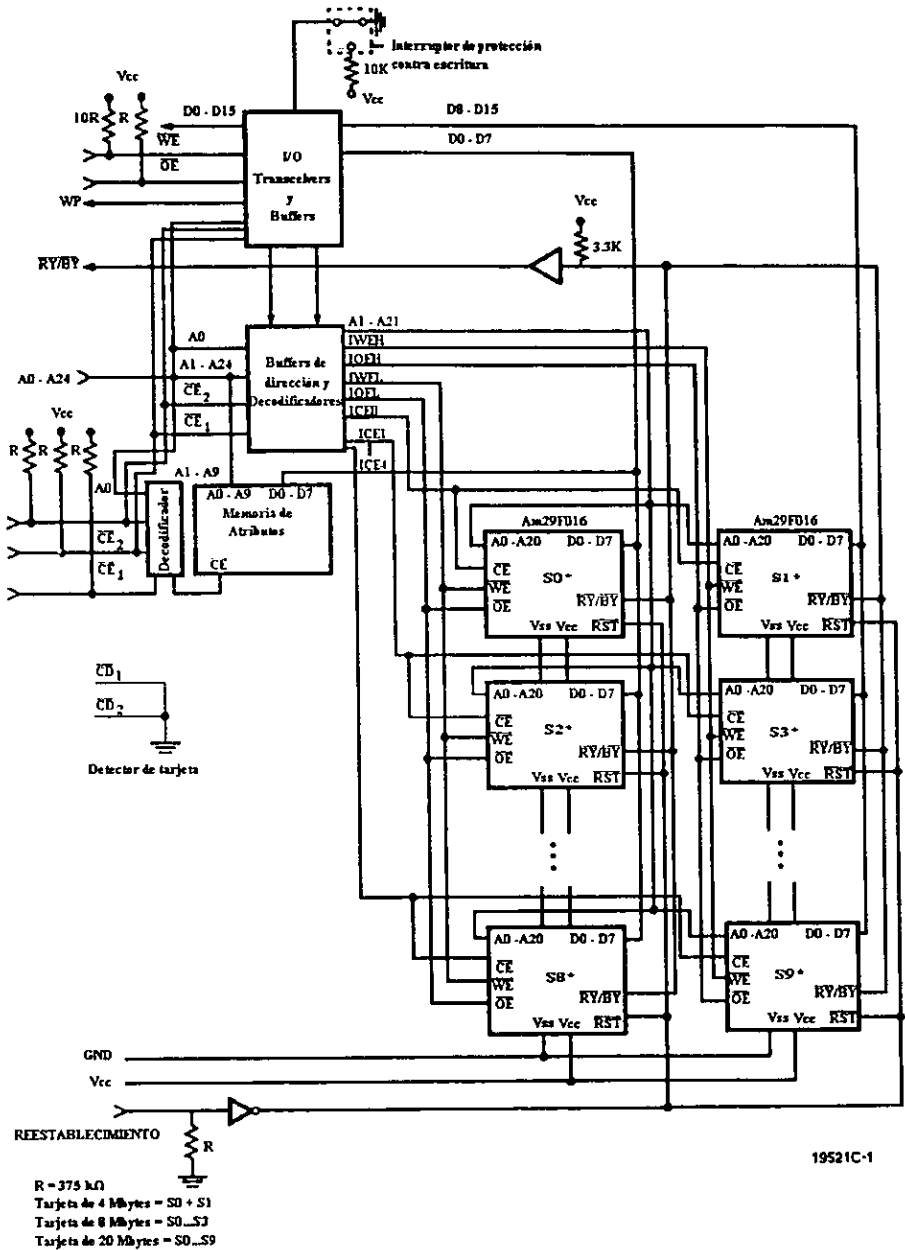


FIGURA III.5.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TARJETA DE MEMORIA FLASH

III.6 FUENTES

El suministro de energía para un dispositivo autónomo, portátil y que viajará en una línea de transporte de hidrocarburos, es de vital importancia para el desempeño del dispositivo. El tiempo de autonomía de operación depende de dos aspectos importantes:

- a) El consumo de energía del dispositivo
- b) El tipo de batería seleccionado

Si consideramos que el dispositivo en cuestión recorrerá hasta 120 Km a una velocidad de recorrido de 2 a 12 Km/h, en el peor de los casos tendremos un requerimiento de 60 horas de operación.

Por otro lado deben considerarse las limitaciones de espacio. El diablo debe tener como encapsulado el espacio de un tubo de 6.0" de diámetro, por lo que la selección de las baterías debe realizarse con un análisis exhaustivo de tipos de baterías comercialmente disponibles.

III.6.1 TIPOS DE BATERÍAS

En la actualidad los sistemas de computo son cada día más utilizados en todos los ámbitos. Es por ello que son mayores los requerimientos de Sistemas Ininterrumpibles de Potencia (UPS), así como de respaldo de baterías en aplicaciones de control, de monitoreo y de equipo portátil, por lo que continúa vigente el desarrollo en tecnologías para la fabricación de baterías, para lograr cada vez más energía en un volumen menor.

En el mercado se encuentran normalmente, dos tipos comunes de baterías. Las baterías que usan *plomo - calcio*, y las baterías de *plomo - puro*.

Las baterías compuestas de *plomo-calcio*, usan tecnología de *placa-gruesa* y son denominadas baterías de *plomo ácidas*, hechas de malla de plomo aliadas con calcio. Las baterías de *plomo puro*, tecnología de *placa delgada*, usan un aditivo de estaño y son denominadas como *purelead*.

La composición química de una batería *purelead* tiene mejor desempeño tanto en altas como en bajas temperaturas comparada con las tradicionales baterías ácidas. A altas temperaturas, la reacción química que causa el envejecimiento es acelerada en las baterías ácidas, a diferencia de las *purelead* que resisten esta reacción química más efectivamente, permitiendo así que las baterías tengan una vida útil más larga. En una aplicación esto significa menos reemplazos y mayor confiabilidad.

A bajas temperaturas, la facilidad a la que una batería descarga y recarga su potencia depende de su resistencia interna, lo cual es una consideración muy importante que debe tomarse en cuenta. Una batería puede cargarse y descargarse más plenamente, cuando contiene placas delgadas (más placas en la misma batería).

Las baterías con placas delgadas también significan que el tamaño y peso de la batería puede ser reducido, hasta el 30 % comparado con otras tecnologías y el tiempo de descarga es menor de 45 minutos. Cuando se recargan baterías rápidamente se puede llegar a sobrecargar la resistencia. Para evitar esta situación, una batería deberá usar una mezcla de químicos y diseñar la recombinación de los gases formados dentro de la célula de la batería durante la sobrecarga.

Las células cilíndricas purelead se encuentran usualmente en una configuración llamada paquete de 6 BC. Estas células han sido preferidas por la industria debido a sus características de trabajo. Algunas células cilíndricas son también empacadas en metal para ambientes más rudos y con temperaturas extremas. Este tipo de células ofrecen flexibilidad de empaque para que cualquier número de células puedan estar unidas para reunir los requerimientos de potencia para las diferentes aplicaciones; sin embargo, una de las desventajas de la células cilíndricas, es que su geometría física no permite su acomodo geométrico como las baterías prismáticas lo ofrecen. En las baterías, la densidad de potencia es dependiente sobre el monto total del área de superficie de las placas que son disponibles para la reacción química que origina la energía.

Otra de las desventajas de las células cilíndricas es la interconexión entre las células que el fabricante deberá llevar a cabo para configurar las baterías en los requerimientos de voltaje, esta interconexión significa sumar costos al usuario final al incrementar el trabajo y el material.

La principal ventaja de las baterías prismáticas de plomo-calcio, comparadas a la purelead cilíndricas y prismáticas es su bajo costo atribuido a su bajo costo de fabricación y a su disponibilidad.

Para las baterías usadas en locaciones remotas, se utiliza una caja de acero para evitar que el empaque de las baterías se infle, lo que causa que las baterías pierdan capacidad. Hoy en día las baterías prismáticas purelead ofrecen esta protección.

DESEMPEÑO	purelead	plomo-calcio
Desempeño a altas temperaturas	excelente	razonable
Desempeño a bajas temperaturas	excelente	razonable
presión de apertura	alta	baja
capacidad de recarga rápida	excelente	razonable
tolerancia a altas temperaturas	excelente	moderada

TABLA III.6.1 TECNOLOGIA PURELEAD CONTRA PLOMO-CALCIO

Como podemos observar en la gráfica, de la figura II.6.1, con la temperatura que se espera opere el dispositivo Caliper, la batería puede dar una vida útil de más de 6 años

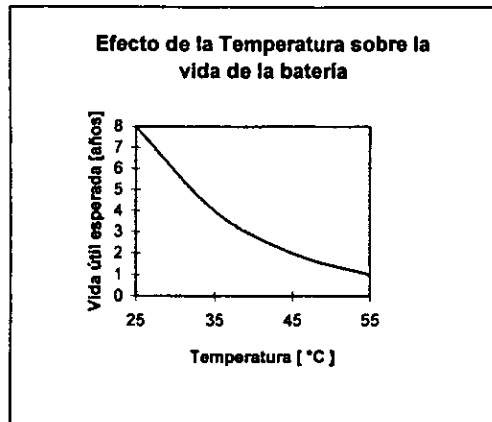


FIGURA III.6.1 GRÁFICA DE TEMPERATURA CONTRA LA VIDA DE LA BATERÍA

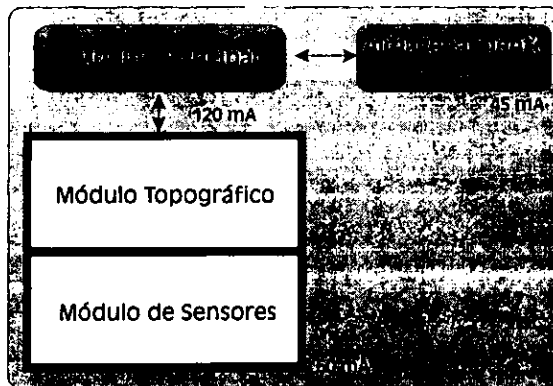


FIGURA III.6.2.1 CORRIENTES MÁXIMAS DEL SISTEMA

III.6.2 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

De acuerdo a los requerimientos de alimentación para los distintos módulos que integran el dispositivo Caliper, el dispositivo requiere de 2 voltajes de alimentación, +5V y +12V, como se puede observar en la figura III.6.2.1, donde se muestran las corrientes máximas estimadas que consumen los módulos, estas serán demandadas para el módulo central sólo en el arranque y para el almacenamiento sólo en el ciclo de escritura. En trabajo normal el consumo máximo se reduce a 100mA.

Como los requerimientos de voltaje de alimentación de los circuitos son de 5V/100mA, +5V/120mA y 12V/30mA, se diseña un circuito de fuentes de alimentación cuyo diagrama esquemático se muestra en la figura III.6.2.2.

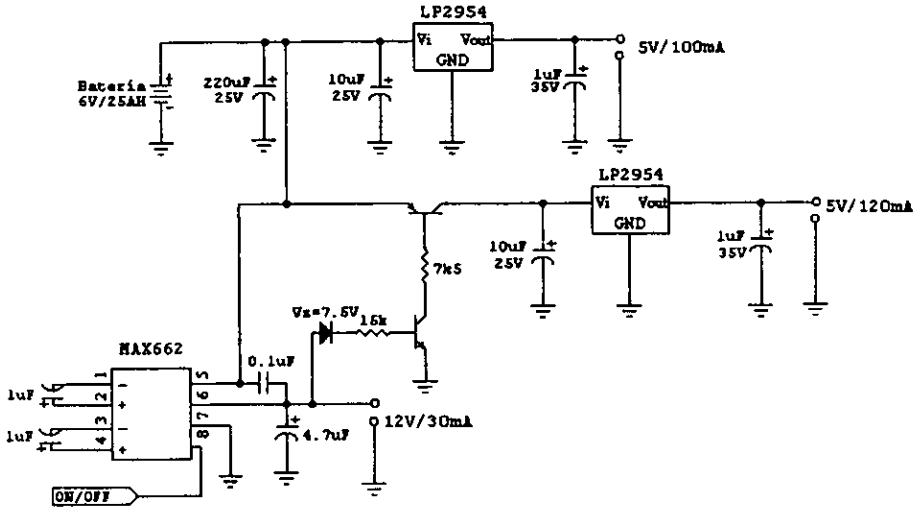
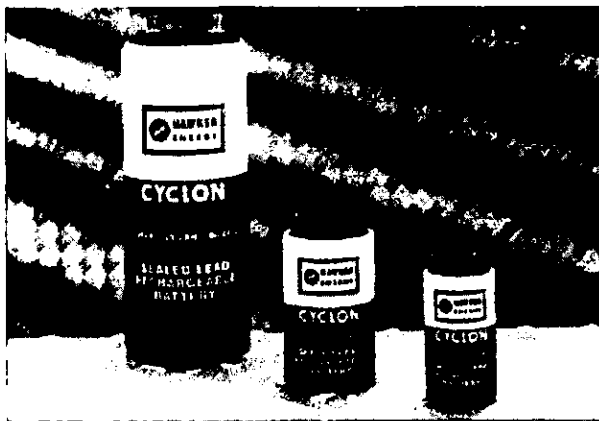


FIGURA III.6.2.2 CIRCUITO DE FUENTES DE ALIMENTACION



Familia de productos Cyclon

FIGURA III.6.2.3. PRODUCTOS DE LA FAMILIA CYCLON.

Se puede observar en el diagrama esquemático que la batería utilizada es de 6V y el consumo de potencia total de 1.5Watts, por lo que se requiere de 0.25Ampere. Si se considera que el dispositivo debe tener una autonomía de hasta 60 horas, se requieren 15 AH.

Las baterías seleccionadas son del tipo recargables y es difícil comprobar cuando se encuentran al 100% de carga, por ello que es necesario contar con un factor de seguridad que para este caso es de 1.5, siendo el requerimiento de baterías de 6V/22.5AH.

En la sección III.6.1, se analizaron dos tipos de baterías, de lo cual se decide utilizar la tecnología purelead de tipo de célula cilíndrica debido al encapsulado de esta aplicación (tubo de 6"). De las marcas disponibles en el mercado, a la fecha se encuentra que solamente las baterías CYCLON®, cuyas características por su química de plomo puro y estaño en regulación de válvulas, son construidas con recombinación de gases. Este tipo de baterías se muestran en la figura III.6.2.3. Este proceso patentado por Hawker Energy Products Inc (29), proporciona larga vida y es industrialmente líder en rangos de temperatura, ya que estas baterías pueden ser utilizadas en condiciones climáticas extremas tales como climas árticos o desérticos.

III.6.3 SELECCIÓN

La célula Cyclon® , es una célula recargable sencilla de Plomo Sellado, cuya construcción sellada utiliza un sistema electrofítico que provee numerosas ventajas; entre ellas, un alto grado de flexibilidad para reunir requerimientos inusuales. Esta célula puede observarse en la figura III.6.3.1 Pueden estar ensambladas en una variedad casi infinita de formas para reunir voltajes y Amperes/hora precisos a necesidades específicas.

ESPECIFICACIONES TECNICAS (30)

Para cada célula BC, 2V, 25.0 AH , a los 25 °C, se tienen las siguientes especificaciones:

- Número de parte 0820-0004
- Capacidad a 1.67 Vpc
 - Rango de 10 horas 25 AH
 - Rango de 1 hora 19.26 AH
 - Rango de 15 minutos 13.58 AH
- Dimensiones (incluyendo terminales) Ver figura III.6.3.2.
 - Largo 173.99 mm
 - Diámetro 65.28 mm
 - Peso 1.67 Kg
- Resistencia interna a plena carga 1.5 MΩ a 25 °C
- Voltaje nominal 2V
- Nivel nominal de corto circuito para célula cargada 1.335 A
- Rango de temperatura
 - Almacenamiento -65 °C a +65 °C
 - Descarga -65 °C a +65 °C
 - Carga -40 °C a +65 °C

- Tiempo máximo recomendado de almacenamiento antes de recargar 24 meses a 25 °C o 2Vpc, lo que suceda antes
- Seguridad de presión en la válvula de alivio 50 psi
- Rango de presión atmosférica Vacío a 8 atmósferas
- Carga por célula a 25 °C
 - Voltaje constante 2.30 a 2.40
 - Corriente constante 50mA max con control y regulación 25mA min
- Vida esperada 8 años

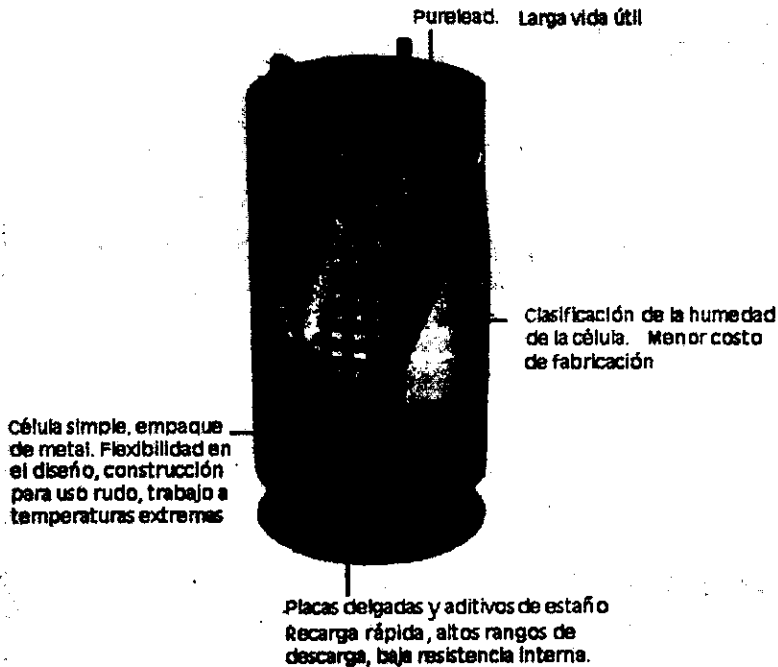


FIGURA III.6.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS CYCLON.

Este tipo de baterías presentan el más bajo nivel de corrosión. Debido a su forma única, las células Cyclon ofrecen flexibilidad de diseño imposible en diseños de baterías prismáticas. Incrementa la potencia por volumen. Su construcción adecuada para uso rudo, ofrece mejor resistencia para cualquier condición (como choques y vibraciones) que las baterías que cuentan con empaque de plástico convencional haciendo su uso ideal en

aplicaciones externas. Soporta presiones hasta 50 Psi, mantiene la integridad del envase desde -65 °C hasta + 65°C, y necesita muy pocos reemplazos y revisiones. La capacidad de recargarse rápidamente no es la única ventaja, no requiere una corriente límite con un voltaje constante de carga, se recarga en estado alto en una hora, se carga y descarga en cualquier orientación. Entrega una potencia regular, provee alta estabilidad en el voltaje. Su baja resistencia interna se traduce en la habilidad de la batería de cargarse y descargarse fácilmente.

Considerando las características y las ventajas arriba mencionadas, para esta aplicación (caliper), se selecciona una batería de 6Volts, la cual está formada por 3 baterías recargables de marca Cyclon® de Hawker Energy Products Inc. de 2 V/25 Ampere-Hora cada una y conectadas en serie, con lo que se dispone de una batería recargable de 6V/25 Ampere-hora.

Uno de los aspectos que deben contemplarse es el recargado de baterías, ya que cada vez que se utilice el dispositivo caliper en una corrida de inspección, las baterías deben estar en su carga máxima para asegurar que durante todo el recorrido las baterías fallen.

CARGADORES DE BATERÍA

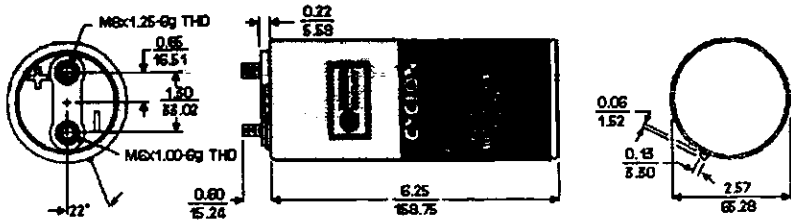
Los cargadores que se emplean son de la marca Power Sonic Corp. Modelo PCS-124000A con las siguientes características (31):

- salida de 12 Vdc a 4 A
- entrada a 115V 60Hz
- fusibles tipo 2AG 2A

Para llevar a cabo el recargado de las baterías es necesario seguir las siguientes precauciones:

- solamente usar tomacorrientes con terminal de tierra (tres terminales)
- no exponer a la lluvia
- reemplazar terminales o cables defectuosos inmediatamente
- cargar solamente baterías recargables con terminales limpias y libres de ácido, otro tipo de baterías pueden explotar causando daños y heridas
- conectar o desconectar la batería solamente cuando la fuente esté desconectada ya que podría hacerse arco o quemaduras.
- no poner en superficies calientes par reducir el riesgo de quemaduras.

Como puede notarse, para recargar las baterías se hará con arreglo serie de 6 baterías de 2V/25AH.



TODAS LAS DIMENSIONES = $\frac{\text{PULGADAS}}{\text{MILIMETROS}}$

FIGURA III.6.3.2 DIMENSIONES DE LA BATERÍA CYCLON 2V, 25 AH

III.7 ENSAMBLADO

El dispositivo Caliper de 12", que nos ocupa, está integrado por tarjetas electrónicas, sensores y baterías. Para cumplir con las restricciones y normas, los módulos, tienen que ensamblarse en un tubo de la mitad del diámetro del ducto a ser inspeccionado, para este caso 6". La electrónica asociada al dispositivo está distribuida en 4 tarjetas: Socket PCMCIA, GCAT, Conectores y Fuentes, y Microcontroladores.

- a) Socket PCMCIA: alberga la tarjeta de memoria Flash, que se usa como medio de almacenamiento.
- b) GCAT: este módulo, es el procesador central, el cual tiene el BIOS del sistema y sistema operativo MS-DOS 6.22, así como el socket service, el Driver y Flash File System para manejar la tarjeta de memoria, en un Disk-On Chip.
- c) Conectores y Fuentes: este módulo cuenta con los conectores para el Gcat, para el puerto serial, los micros y la batería, incluye también los reguladores de voltaje y la lógica de decodificación de puertos para la comunicación de GCAT con los microcontroladores.
- d) Microcontroladores: esta tarjeta incluye los 2 microcontroladores para la adquisición de sensores, las interfaces, convertidor A/D y conexión para cada uno de los sensores.

Las 4 tarjetas se montarán una encima de la otra formando un torre y abarcando el espacio de una caja de 6 x 4 x 3 7/8 pulgadas, como se puede ver en la figura III.7.1.

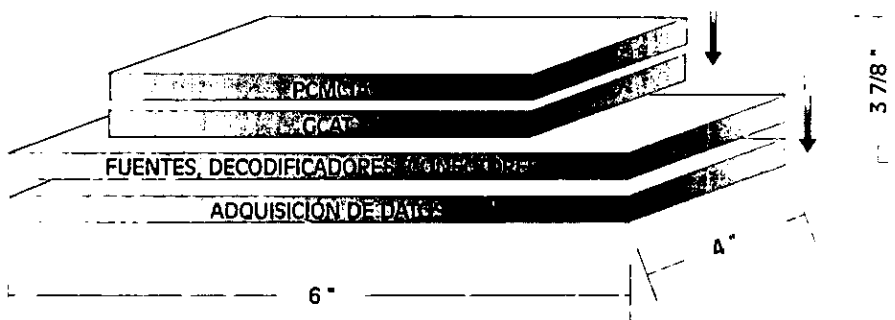


FIGURA III.7.1 DIMENSIONES MÁXIMAS DEL MÓDULO ELECTRÓNICO

El tamaño de la tarjeta de adquisición de datos (micros), que contiene toda la electrónica de sensores, es de 6 x 4 pulgadas, al igual que la tarjeta que contiene las fuentes que se derivan de las baterías, la decodificación de direcciones para la comunicación entre los microcontroladores y el sistema central y los conectores entre ellos. La tarjeta de almacenamiento (PCMCIA) y la tarjeta GCAT, son más pequeñas, su tamaño es de 2.55 x 3.4 pulgadas para ambas.

Si se hiciera una vista dentro del tubo contenedor, ésta se vería como en la figura III.7.2.

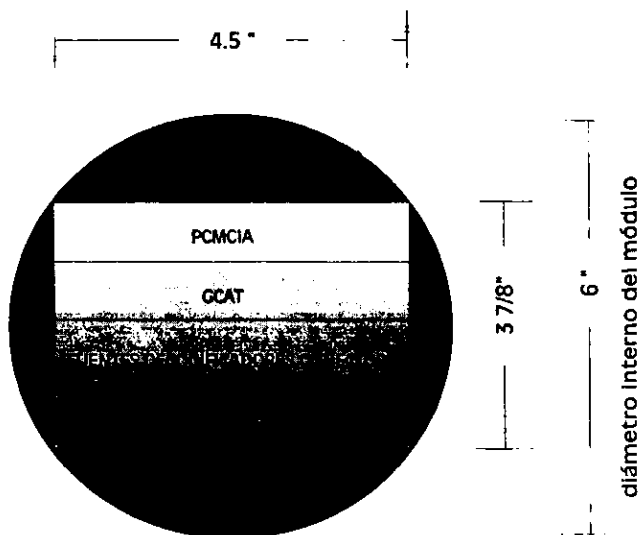


FIGURA III.7.2 VISTA DEL MÓDULO ELECTRÓNICO

La caja que contiene a las tarjetas, se encuentra aislada de la batería y ambas partes son ensamblados dentro de un tubo de 6", el cual está aislado del medio en el que va a viajar, dentro de la línea de transporte de hidrocarburos., en la figura III.7.3 se analizan las entradas y salidas de la torre ya fija de las cuatro tabletas.

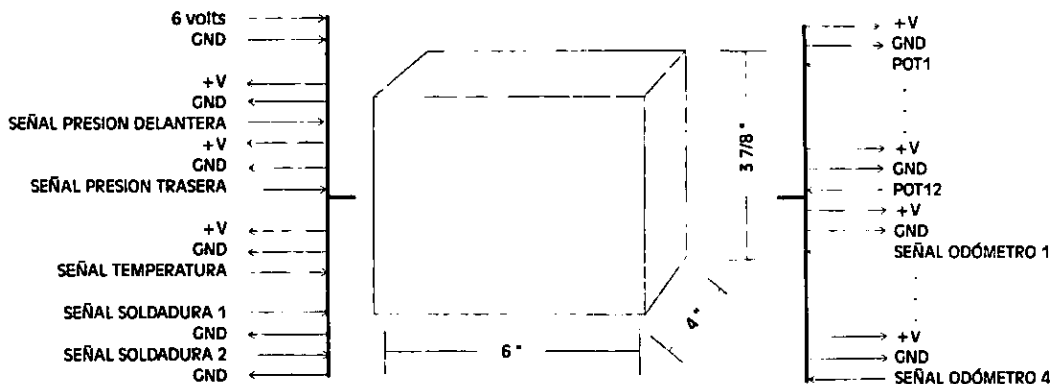


FIGURA III.7.3 ENTRADAS Y SALIDAS DEL MÓDULO AISLADO

En la figura III.7.4 se muestra como se verá el diablo una vez ensamblados todos sus módulos y requerimientos mecánicos.

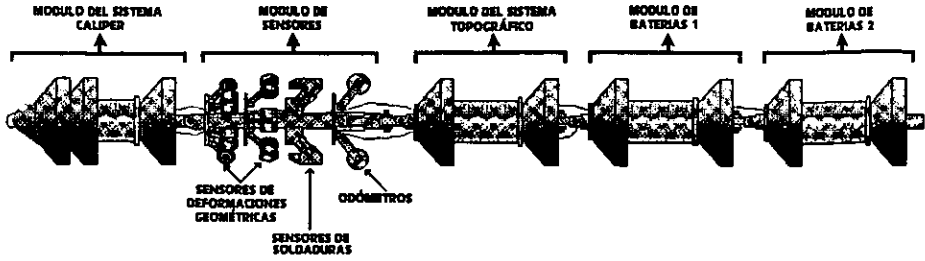


FIGURA III.7.4 DISTRIBUCIÓN DE MÓDULOS

REFERENCIAS.

- [1] SINCLAIR, Ian R. *Sensors and Transducer. A guide for technicians* Newnes, Gran Bretaña 1988
- [2] *PC-2 Potentiometers*. Bourns Inc. 1984
- [3] *SF-3 Resistive Componentes*. Bourns Inc. 1985
- [4] *National Data Conversion Acquisition*. Databook 1995
- [5] *National Pressure Transducer*. Handbook 1977
- [6] *Motorola Sensor Device Data* 1995
- [7] *MICRO SWITCH.Sensing and Control Pressure and Airflow Sensor*. Catalog 20.Honeywell Inc. June 1995.
- [8] *36 series. Pressure Transmitters*_Gulton-Statham Transducers,Inc.1994
- [9] SCHOBER, Peter. *Generadores Hall ep 33* Marcombo S.A. Siemens Aktiengesellschaft, Barcelona 1989
- [10] SENSOR. Volumen 5 *A comprehensive Survey Magnétic Sensor* VCH. RFA 1989
- [11] *MICRO SWITCH. Specifier´s Guide for Solid State Sensors*. Catalog 20. Honeywell Inc. December 1991.
- [12] MCLYMAN, Colonel. *TRANSFORMER & INDUCTOR DESIGN HANDBOOK*. Dekker USA 1988
- [13] *DATOS TÉCNICOS SOBRE TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE*. Manual editado con autorización de la asociación técnica del acero inoxidable. UnionMex.
- [14] *PIC 16/17 Microcontroler Databook*. Microchip 1996/1997
- [15] URUÑUELA, M Jose Ma. *MICROPROCESADORES, PROGRAMACIÓN E INTERCONEXIÓN* McGraw Hill México 1994
- [16] *PIC 16CXX Delopment tools*. PARALAX Inc. 1993
- [17] *PIC 16/17 Microcontroler Databook*. Microchip 1996/1997
- [18] *PCMCIA Training Manual* AMD. USA 1995
- [19] *GCAT Technical Reference Manual Dsp*. Design Limited. England 1995
- [20] *Flash Memory: Volumen 1* INTEL 1994
- [21] *AmCOXXDFLKA 4,8,20, OR 32 Megabyte 5.0 Volt-only Flash Memory PC Card*. AMD Publication# 19521 Rev:D Amendment/0 Issue Data: December 1996
- [22] *Flash Memory: Volumen 2* INTEL 1994

-
- [23] *Flash Memory Products* AMD 1996
- [24] *Motorola DRAM & Memory Module Data* Motorola ,inc.1994
- [25] *Motorola DRAM & Memory Module Data* Motorola ,inc.1994
- [26] *AmCOXXDFLKA 4,8,20, OR 32 Megabyte 5.0 Volt-only Flash Memory PC Card.* AMD
Publication# 19521 Rev:D Amendment/0 Issue Data: December 1996
- [27] MORI, Michael T. *The PCMCIA. Developer 's Guide*
Sycard Technology 1994
- [28] *AmCOXXDFLKA 4,8,20, OR 32 Megabyte 5.0 Volt-only Flash Memory PC Card.* AMD
Publication# 19521 Rev:D Amendment/0 Issue Data: December 1996
- [29],[30] JANA, Kalyan. *Telecommunications Power Backup. The importance of batteries*
Gates Energy Products, USA 1993
- [31] Automatic Battery Charger PSC124000A. Power Sonic. Redwood City,CA.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

CAPÍTULO IV : PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se describen las diferentes pruebas de laboratorio realizadas para cada una de las partes que integran el módulo de adquisición de datos del dispositivo caliper, así como los resultados de dichas pruebas.

Para facilitar la descripción se organiza la información por parámetros, aunque en algunas pruebas se involucran varios a la vez, se detallará únicamente el parámetro en cuestión.

IV.1 PRUEBAS DE LABORATORIO.

Como es de esperarse en un diseño, una vez hecha la topología general, se diseñan las partes una a una realizando pruebas de funcionalidad. En algunos casos se requiere de otros circuitos que sirvan como herramienta para probar el desempeño del circuito que se requiere.

IV.1.1 DIÁMETRO INTERNO DE LA TUBERÍA.

Para realizar las pruebas de funcionamiento de la rutina para muestrear los brazos sensores del sistema caliper, se implementa una tarjeta que incluye un microcontrolador y 12 potenciómetros una vuelta sin tope, donde cada potenciómetro representa un brazo (ver figura V.1.1). A la rutina se le agrega comunicación RS-232 para comunicar la tarjeta vía serie a una PC.

Para leer datos del microcontrolador y desplegar la información en la pantalla de la PC, se desarrolla un programa de aplicación en lenguaje C. Las pruebas consisten en correr el programa de aplicación en la PC y simular las variaciones de las lecturas de los brazos moviendo uno o más potenciómetros del arreglo.

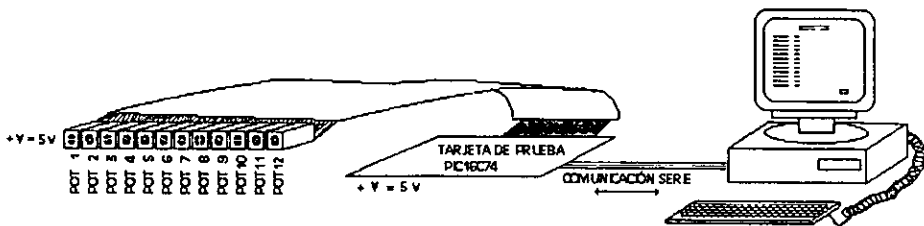


FIGURA IV.1.1 TARJETA DE PRUEBA CALIPER.

Para la transmisión y recepción tipo serial se utilizan las terminales Tx y Rx del PIC16C74, un acoplador de voltaje (MC145107P) y un conector, como se muestra en la figura IV.1.2

Con el arreglo de los 12 potenciómetros es posible simular las anomalías, capturar la información en una PC y verificar el funcionamiento de la rutina de detección de anomalías geométricas.

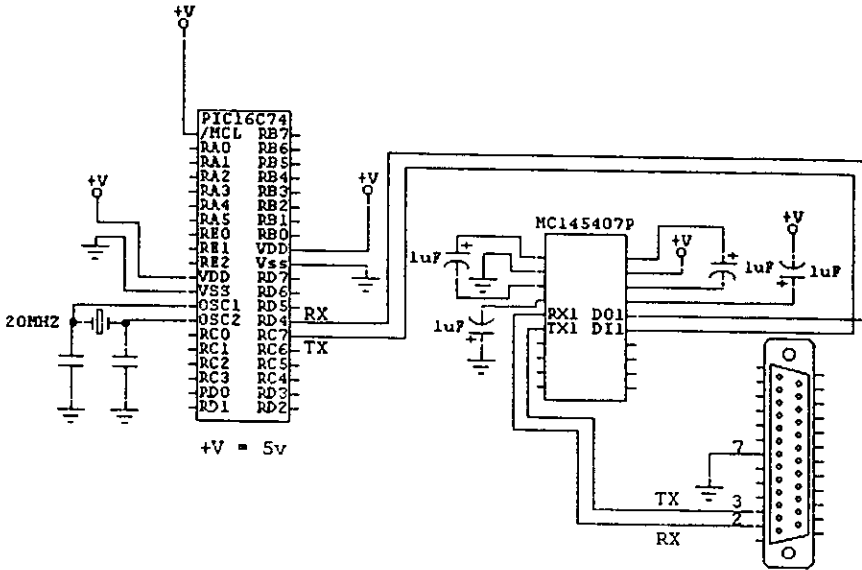


FIGURA IV.1.2 COMUNICACIÓN SERIAL PIC- PC

MOVIMIENTO BRAZO [in]	VALOR DEL RADIO [in]	MOVIMIENTO BRAZO [grados]	MOVIMIENTO POT [grados]	VALOR POT [kΩ]	VOLTAJE POT [V]	VALOR A/D (cuentas)
+ 1.5	7.5 °	0 °	136.2 °	3.78k	1.9V	97
0	6 °	36.5 °	180 °	5k	2.5V	128
- 2.19	3.81 °	90 °	244.2 °	6.78k	3.39 V	174
Δ	3.69 °	90 °	108 °	3k	1.5 V	77
Δ 0.25	0.25 °	6.09 °	7.31 °	0.203k	0.101 V	5.21

TABLA IV.1.1 RELACION ENTRE BRAZOS Y POTENCIÓMETROS DEL CALIPER.

Como se describe en la sección III.3.2.1 , por diseño mecánico los brazos sólo pueden moverse 90° y considerando la relación de engranes 1:1.2 los potenciómetros tienen un giro de 108 grados. En la tabla IV.1.1 se puede observar la relación entre el movimiento del brazo, giro en el potenciómetro y valores obtenidos en el convertidor.

IV.1.2 TEMPERATURA Y PRESIÓN.

El sensor de temperatura usado es el LM35DZ, el cual entrega 10 mV/°C; para un rango de temperatura de 0°C a 100°C, la salida es de 0 mV a 1000 mV.

Este parámetro es escalado de 0V a 4.096V con un amplificador operacional ya que el A/D MAX186, opera con una referencia interna de 4.096V.

El sensor de presión seleccionado proporciona un voltaje de 1 a 4 V para 0 - 5000 PSI.

Estos parámetros se adquieren con un microcontrolador y un convertidor A/D de 12 bits, salida serial (MAX186), como se describe en la sección III.3.2.2.

Para probar el funcionamiento de las rutinas del micro, se aprovechan las rutinas de comunicación serial entre PIC y una PC. Con la ayuda del despliegue en el monitor de la PC fue posible probar el muestreo de los parámetros con el micro controlando el MAX186 y las rutinas de temperatura y presión descritas en la sección III.3.2.2, comprobando así que efectivamente el micro realiza una interrupción cada que sucede una diferencia de $\pm 1^\circ\text{C}$ o $\pm 1\text{kg/cm}^2$.

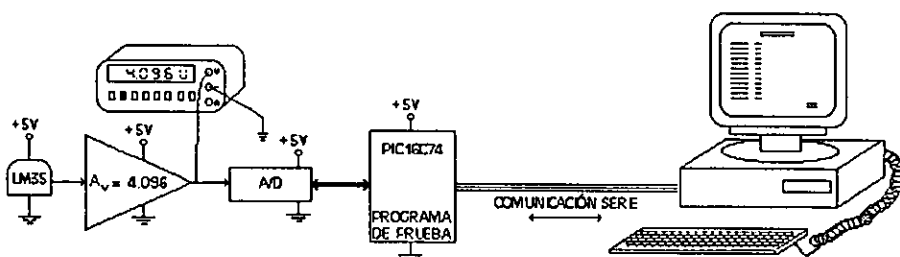


FIGURA IV.1.3 PRUEBAS PARA EL SENSOR DE TEMPERATURA (con multímetro y con A/D)

IV.1.3 POSICIÓN ANGULAR

Para poder realizar las pruebas con los dos microcontroladores funcionando se diseña e implementa una interface paralela para comunicar la PC y los micros. Esta interface es probada inicialmente con una PC de escritorio y posteriormente con el módulo central GCAT-6000, el cual realiza la función de procesador central en el sistema.

Con los dos micros funcionando fue posible probar las rutinas del caliper y posición angular ya que este último es un parámetro complementario al caliper. En la figura IV.1.4 se observa la relación entre el péndulo y el convertidor MAX186 dependiendo del giro del dispositivo.

GRADOS GEOMÉTRICOS	VALOR RESISTIVO [Ω]	VALOR ANALÓGICO [V]	VALOR DIGITAL [cuentas]
0	0	0	0
90	2.5 k	1.024	1023
180	5 k	2.048	2047
270	7.5 k	3.072	3071
360	10 k	4.096	4095

TABLA IV.1.2 RELACION ENTRE POTENCIÓMETRO DEL PÉNDULO Y CONVERSIÓN DIGITAL.

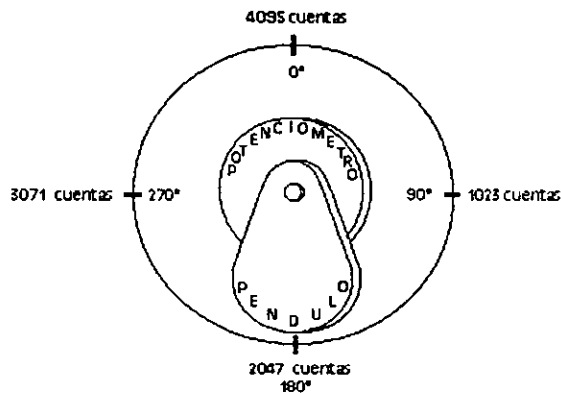


FIGURA IV.1.4 MOVIMIENTO EN GRADOS DEL PENDULO

IV.1.4 ODOMETROS

Para realizar pruebas con los odómetros, se implementaron ruedas con imanes, girados por motores de DC, de esta manera se simula la velocidad del recorrido (2-12 km/hr). En la figura IV.1.5 se muestra el acoplamiento entre el sensor y el disco con imanes.

Debemos recordar que el perímetro de la rueda es diseñado de 20 cm, con imanes cada 2cm, por lo que según los datos de la tabla IV.1.3, son suficientes 3 registros para almacenar la cuenta de cada odómetro.

Para comprobar la exactitud de la cuenta que está generando la rutina, se implementa una tarjeta con un micro y display de 7 segmentos, para comparar si la distancia mostrada en el monitor de la PC era igual a la obtenida en el display de 7 segmentos.

VELOCIDAD	DISTANCIA	TIEMPO	CUENTAS	VALOR DIGITAL
2 km/hr	20 cm	360 ms	10	#0Ah
	1 km	0.5 h	50 000	#C350h
	120 km	60 h	6 000 000	#5B8D80h
12 km/hr	20 cm	60 ms	10	#0Ah
	1 km	5 min	50 000	#C350h
	120 km	10 h	6 000 000	#5B8D80h
MAXIMA	DISTANCIA	ALMACENADA	16 777 215	#FF FF FF h

TABLA IV.1.3 DIFERENTES TIEMPOS PARA VELOCIDADES EXTREMAS

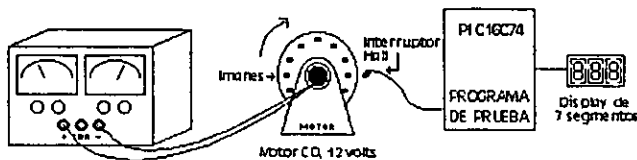


FIGURA IV.1.5 MOTOR DE PRUEBA DE ODÓMETROS

IV.1.6 SOLDADURA

La sección del detector de cordones de soldadura fue probada y depurada varias veces para asegurar su buen funcionamiento. Para las pruebas del sensor, se utilizó un tubo con un cordón de soldadura que unía dos tramos. Al desplazar el sensor sobre el tubo, en el instante que pasa por la unión con soldadura se genera una señal típica, esta señal debe ser reconocida por la rutina implementada. Se usa la tarjeta con un micro y display de 7 segmentos para probar la rutina según se muestra en la figura IV.1.6. Con la ayuda de un osciloscopio digital, se ajustan los timers que la rutina de detección de soldadura establece para identificar la señal típica.

Un problema que se presentará durante la corrida del instrumento es el ruido producido durante el recorrido en el sensor de soldaduras ya sea por corrosión, imperfecciones del material, o por vibraciones. Para que el microcontrolador reciba una señal más limpia, se incluye en el diseño un filtro activo pasobajas a 100Hz (ver capítulo III.3.2.2) y un comparador, éste último es implementado con un amplificador operacional el cual se satura al detectar una señal mayor de 3.5 volts, y para cualquier valor menor, la salida es 0 volts. En la figura III.3.2.2.h se muestran las señales vistas en las diferentes etapas, directa del sensor, filtro-amplificador y comparador.

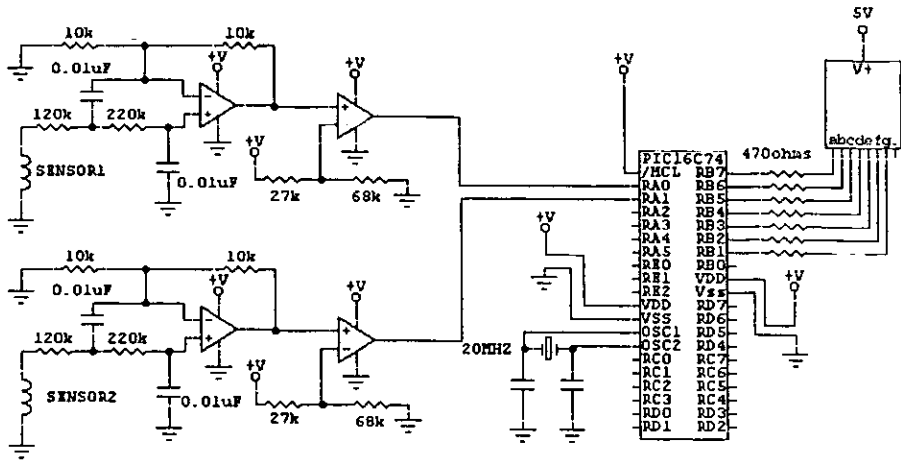


FIGURA IV.1.6 CIRCUITO DE PRUEBA DETECCIÓN DE SOLDADURAS

Para el ajuste de los timers se adquirieron las señales típicas de uniones de soldadura a diferentes velocidades con el osciloscopio digital, se midieron los tiempos t_1 y t_3 , los cuales oscilan desde fracciones de milisegundos hasta 30 milisegundos, dependiendo de la velocidad a la que se desplaza el sensor. Para el tiempo t_2 se establece un timer con un tiempo estimado de 1 segundo. La función de estos tiempos se especifica detalladamente en el capítulo III.3.2.2. y estos pueden observarse en la figura IV.1.7.

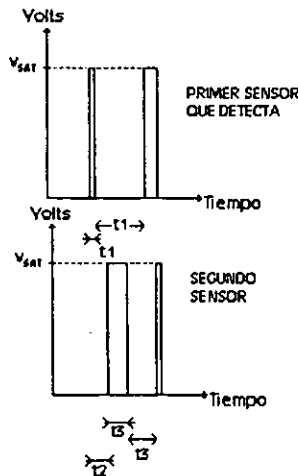


FIGURA IV.1.7 TIEMPOS EN LA SEÑAL DE SOLDADURA

IV.1.7 COMUNICACIÓN PIC-GCAT

Para la comunicación entre el módulo GCAT-6000 y la tarjeta de microcontroladores, se diseña una interface paralela, con la cual se decodifican 2 puertos, que corresponden uno para cada microcontrolador. La comunicación se establece por medio de interrupciones y un conjunto de códigos con funciones específicas, se realizan una serie de pruebas para verificar que los puertos y la IRQ asignados, no entren en conflicto con otros periféricos y registros especiales con que cuenta el módulo.

IV.2 INSTRUMENTOS USADOS

Las pruebas de laboratorio requieren como su nombre lo indica diferentes tipos de equipo para realizarse. Los instrumentos utilizados se clasifican como sigue:

IV.2.1 ELEMENTOS DE PROGRAMACIÓN.

Se mencionan los utilizados para programar los microprocesadores.

- Parallax PIC16Cxx Assembler v4.6
Copyright © Parallax, Inc. 1996
- MPLab for windows /16 v3.22.00
Copyright © Microchip Technology Inc. 1995
- Picstart Plus Development System v1.30
- PC ambiente Windows 3.1 o más recientes
- Lámpara de luz ultravioleta: SPECTROLINE PE-240T EPROM ERASING ULTRAVIOLET LAMP 115 V, 60 Hz, 0.2 AMPS. Spectronics Corporation

IV.2.2 ELEMENTOS DE PRUEBA

El equipo de laboratorio usado es el siguiente:

- Osciloscopios:
 - Tektronix 2230, 100MHz Digital Storage Oscilloscope
 - Fluke 97, 50 MHz Scopemeter
- Multímetros:
 - Hewlett Packard 3466A Digital Multimeter
 - Fluke 77 Series II Multimeter
- Fuentes de poder:
 - LODESTAR DC Power Supply PS-305
 - Hewlett Packard 6236B Triple Output Power Supply 0-6 V, 0 - 2.5 A/ 0 ±20V, 0.5A
- Cables y conectores
- Tarjetas de prueba protoboard y circuitos impresos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

CAPÍTULO V : CONCLUSIONES

Se puede concluir que se cumple satisfactoriamente el objetivo principal de este trabajo de tesis, el cual es, el diseño y construcción del módulo de adquisición de datos para un instrumento de inspección interna de tuberías de transporte de hidrocarburos. Dicho instrumento detecta anomalías geométricas en el ducto y almacena la información adquirida de anomalías y distancias. Para complementar la información se adicionan parámetros para obtener un perfil de temperatura y presión en el ducto, así como un perfil de la velocidad a la que viaja el dispositivo . Se incluye también la detección de las uniones de soldadura entre tramos de tubo.

Para todos los parámetros, la forma de almacenamiento es como se muestra en la tabla IV.1 .

TIEMPO						D I S T A N C I A				EVENTO
b ₂₅	b ₁₆	b ₁₅	b ₈	b ₇	b ₀	12 BYTE 10	9 BYTE 7	6 BYTE 4	3 BYTE 0	BYTES NECESARIOS
HORA	MINUTO	SEGUNDO				ODO 4	ODO 3	ODO 2	ODO 1	SEGÚN EVENTO

TABLA IV.1 FORMATO DE ALMACENAMIENTO

A la fecha, en que se da por concluido este trabajo de tesis, los módulos electrónicos se encuentran probados y funcionando, al igual que la comunicación con el módulo GCAT-6000, el cual adquiere los datos y los almacena en una tarjeta de memoria Flash de 32 Mbytes.

Todas las partes están probadas simulando las señales de los sensores, pero la parte mecánica aún está en el 90% de avance. El paso a seguir es someter el dispositivo a diferentes pruebas de campo.

Aunque conceptualmente el diseño del diablo caliper es sencillo, su construcción mecánica resulta complicada, ya que se deben de tomar muchas consideraciones además de que los materiales para su construcción deben de ser de excelente calidad. Es por ello que el diseño mecánico es muy lento ya que se deben diseñar y maquinar todas y cada una de las partes, teniendo especial cuidado y respetando las tolerancias permitidas para poder ser ensambladas correctamente.

Actualmente se desarrolla el software para la recuperación y presentación gráfica de los datos de tal manera que se pueda graficar la sección del tubo donde existe una anomalía geométrica y correlacionar la información de distancia y otros parámetros auxiliares. Se está desarrollando también el diablo geocaliper el cual determinará el perfil topográfico de la línea de transporte. El módulo de adquisición de datos es similar al del diablo caliper, lo que cambia son los parámetros, el módulo de proceso central es el mismo módulo GCAT-6000 descrito en este trabajo.

OBSERVACIONES Y COMENTARIOS.

El diablo caliper de 12", motivo de este trabajo de tesis, es el primer diseño construido de un instrumento caliper en México. El diseño contempló dejar cierta infraestructura para otras aplicaciones, tales como 3 canales analógicos del convertidor A/D de 12 bits. Se considera que una vez terminado y probado al 100%, se puede reproducir fácilmente para dispositivos de inspección de mayor diámetro, tale como de 15", 18", 24" y menores de hasta 9".

Falta trabajar más y condicionar mejor la parte mecánica y la electrónica asociada para los brazos sensores del caliper para darle más resolución a este parámetro, ya que esta primera versión sólo detectará anomalías mayores de 0.25" con incrementos de $\pm 0.25"$. Esto discretiza mucho la información, aunque el software de recuperación y procesamiento hará la unión de puntos con líneas rectas, es posible aumentar la resolución de dos maneras:

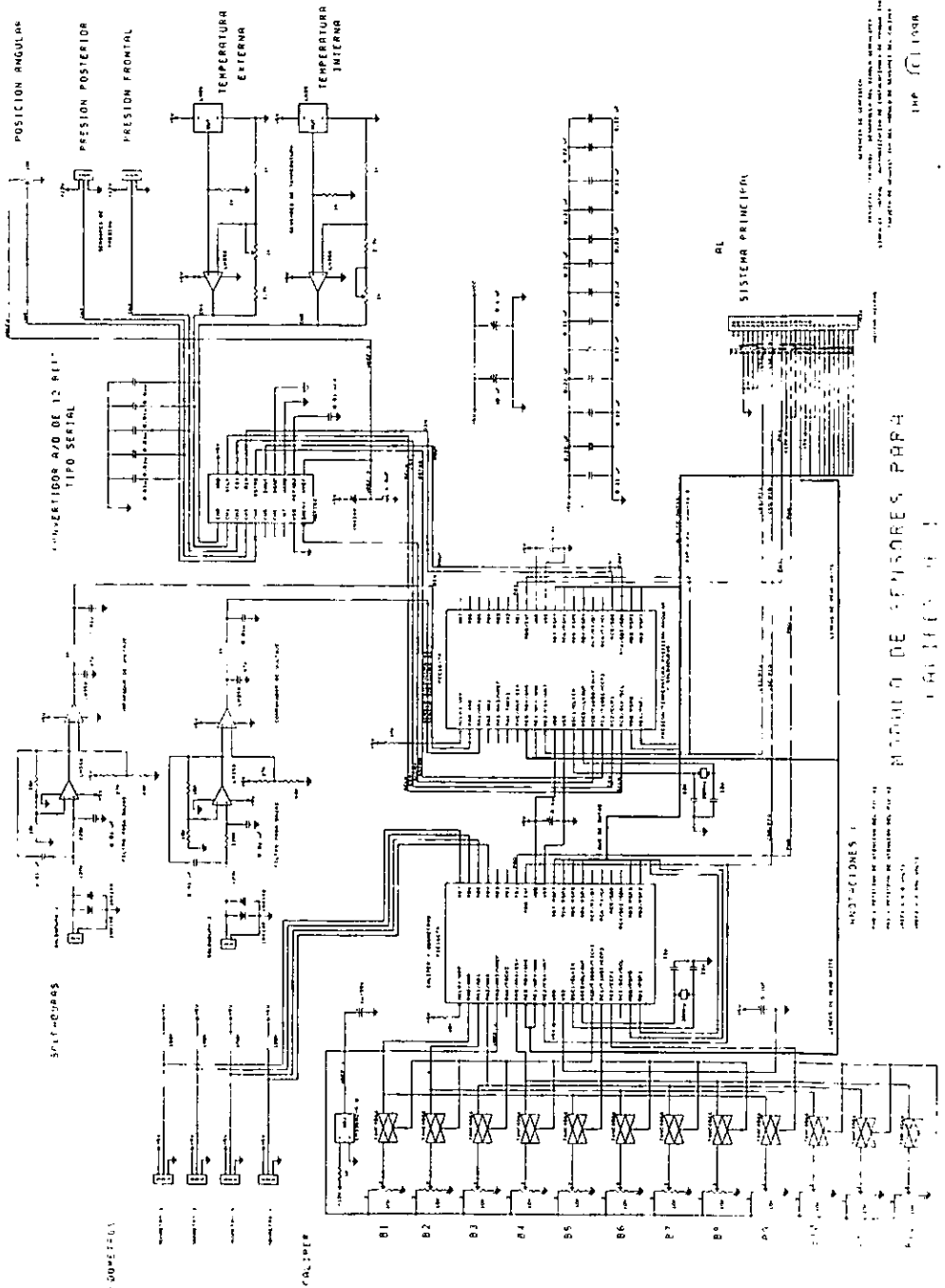
1. Mecánica: dando una relación mayor entre los engranes que transmiten el desplazamiento del brazo. La actual es de 1:1.2
2. Electrónica: polarizar los potenciómetros de $10k\Omega$ con 12 Volts y calibrar los valores de referencia (a 6" de radio) a $2.48k\Omega$, con esto se amplía el rango dinámico de 1.5V a 3.6V (72% del A/D) y si unido a esto se alimenta al PIC con una referencia de 4.096V que se dispone del MAX186, se incrementa el rango de trabajo al 87.89% pudiendo tener resoluciones de 0.01" (0.41mm).

Se debe considerar que las vibraciones en los brazos, se manifiestan como ruido en los sensores, por lo que se hará necesario realizar algún promedio de las muestras para filtrar los efectos.

Es posible que por motivos de vibración y golpeteo, al momento de pasar el dispositivo por una unión de soldaduras, la señal se vicia y la rutina no reconozca la señal como señal típica. Este evento perdido es posible recuperarlo ya que los ductos están contruidos en forma normal por tramos de 8 metros, y si por algún motivo no se detecta la unión, el siguiente evento de soldadura se espera tener a los 16 metros del último detectado. Al recuperar la información se notará esta falta.

Otra fuente de error puede manifestarse en los odómetros. La circunferencia donde se montarán los imanes es de 20 cm, un pequeño error en esta medida traerá como consecuencia cuentas diferentes en los odómetros; por ejemplo, un error de 0.5mm, equivalente al 0.25%, en 100km arroja un error de $\pm 0.25km$ (250m). Esta es una de las razones por las que se decide operar hasta con 4 odómetros, la distancia puede ser estimada del promedio de los 4.

Para finalizar estos comentarios, podemos concluir que debido a que es el primer caliper construido y diseñado en México, seguramente en las pruebas de campo, se presentarán algunos problemas, por lo que el equipo de trabajo estará al pendiente para corregirlos, ya que el diseño se podrá usar en lo futuro en otros caliper para inspección de líneas de hidrocarburos de diámetros diferentes al de 12", motivo de este trabajo..

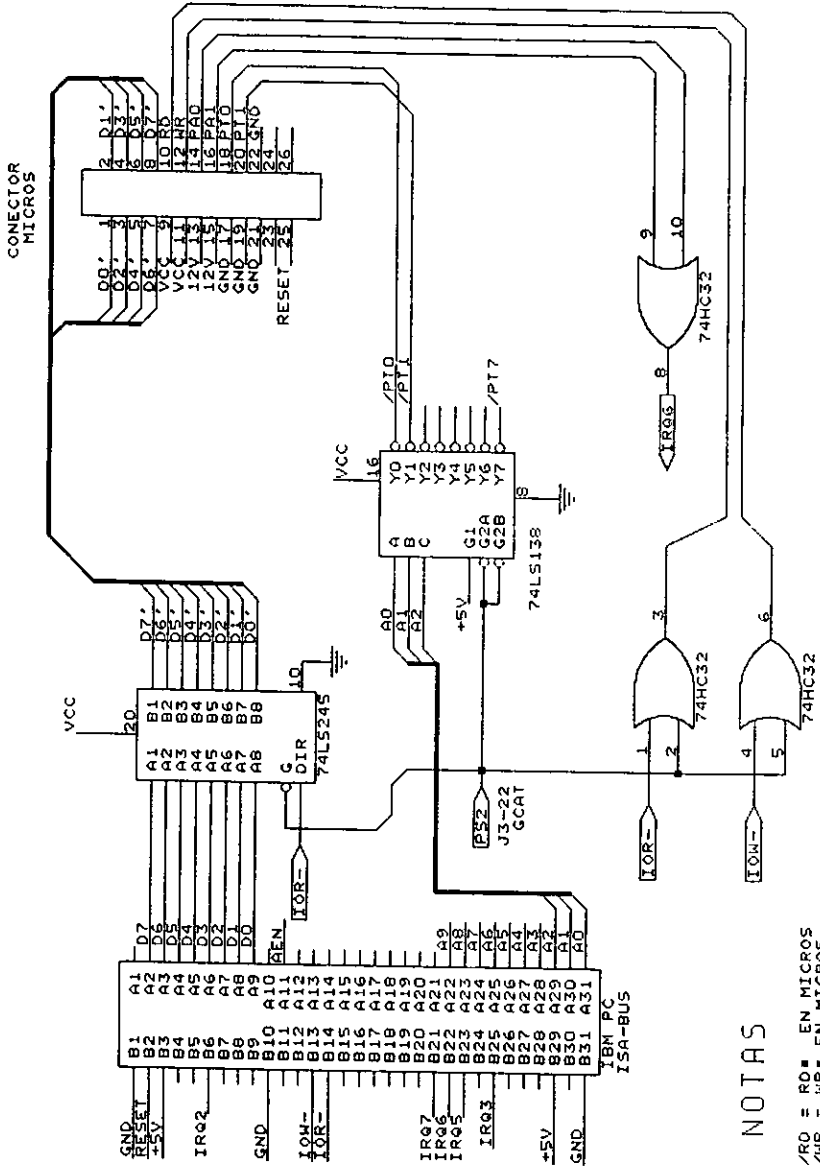


MANUAL DE MONTAJE
 PARA EL MONTAJE DEL MÓDULO DE SENSORES PARA EL SISTEMA PRINCIPAL
 DEL VEHICULO

MÓDULO DE SENSORES PARA EL SISTEMA PRINCIPAL

CONDICIONES DE MONTAJE
 PARA EL MONTAJE DEL MÓDULO DE SENSORES PARA EL SISTEMA PRINCIPAL
 DEL VEHICULO

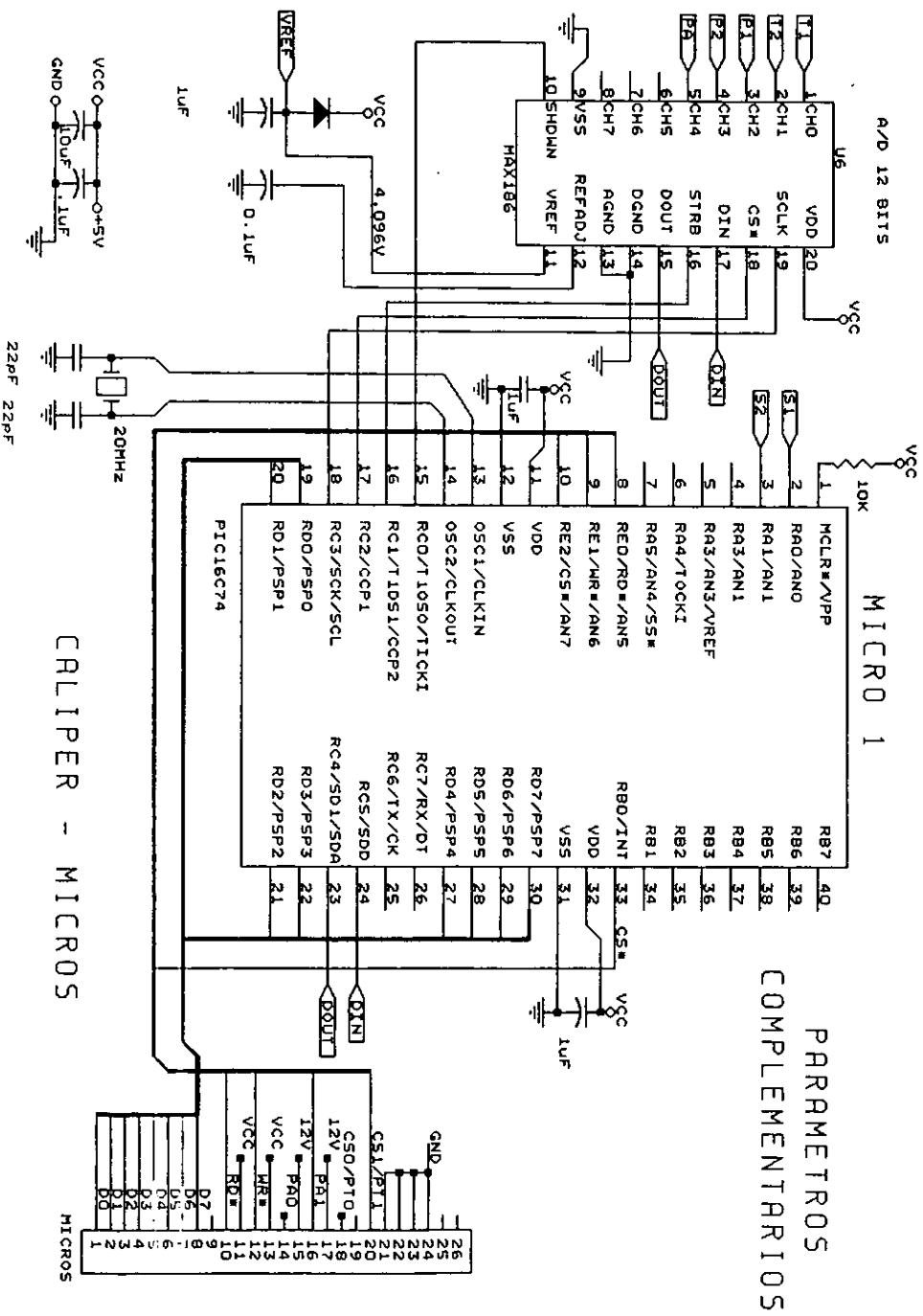
LOGICA DE DECODIFICACION



DECODIFICA. SCH

NOTAS

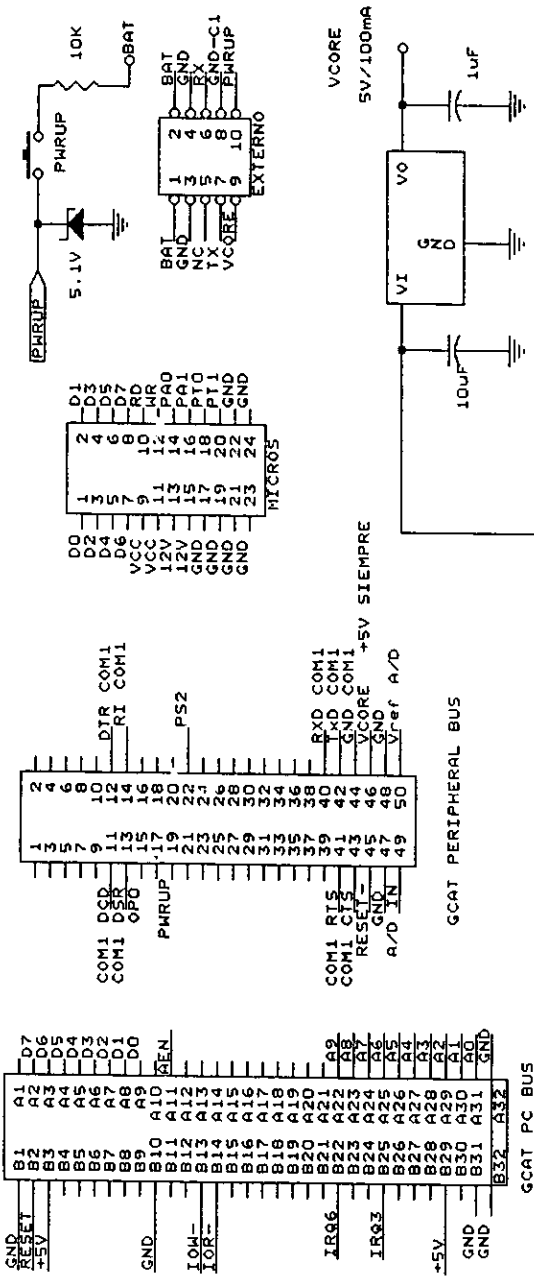
- /RD = RD# EN MICROS
- /MR = MR# EN MICROS
- /AO = P. ATENCION PIC 1
- /PT1 = CS. INT #PIC 1
- /PT2 = CS. INT #PIC 2



CALLIPER - MICROS

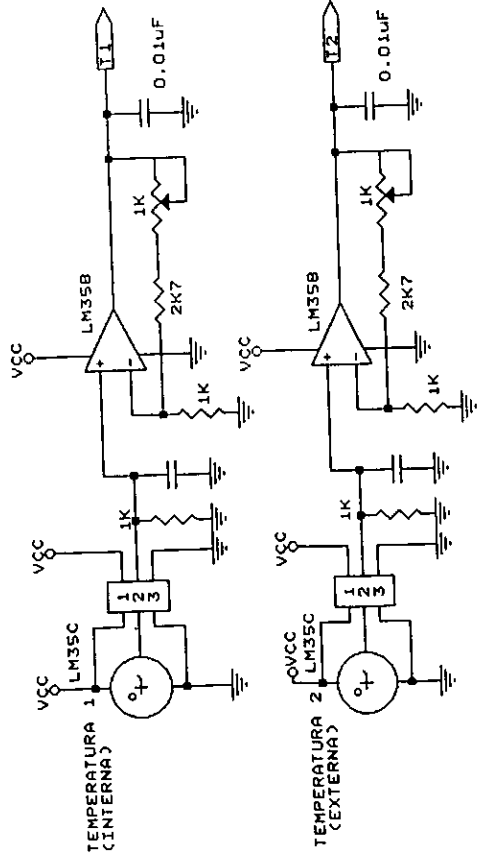
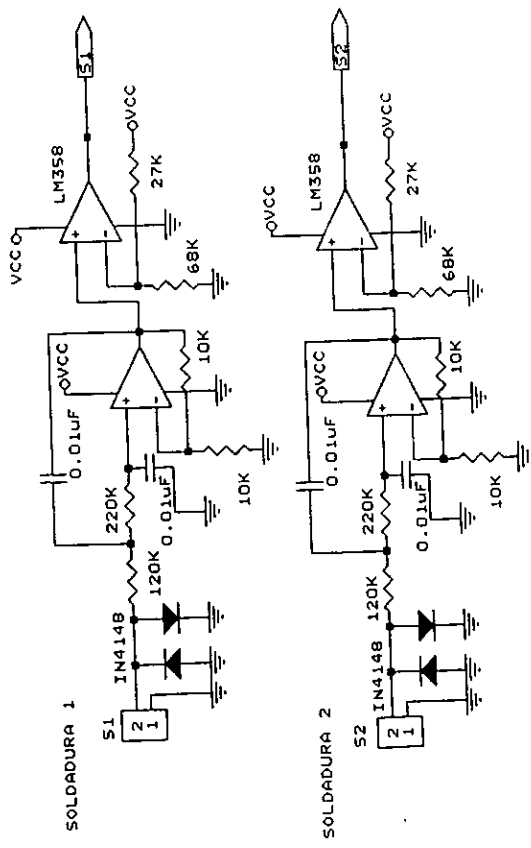
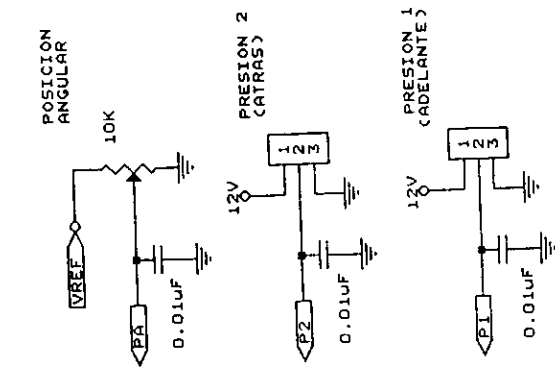
PARAMETROS
COMPLEMENTARIOS

CONEXIONES Y FUENTES



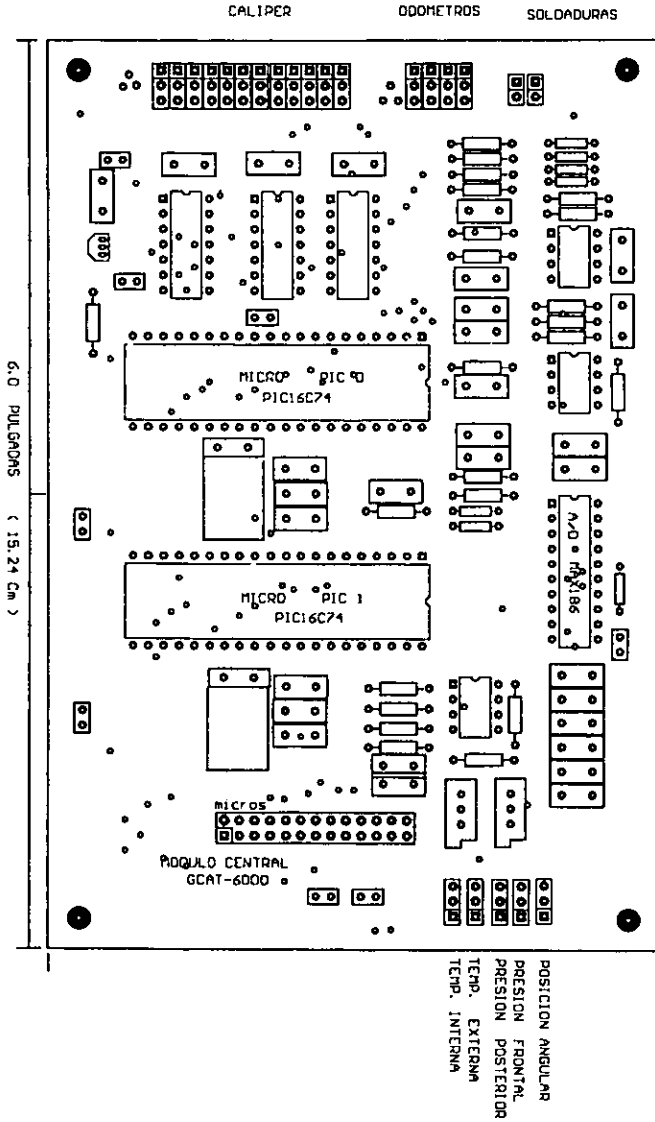
NOTAS

- /RD = EN MICROS
- /WR = EN MICROS
- PAL = P. ATENCION PIC 1
- /PTO = CS, INT en PIC 2
- /PT1 = CS, INT en PIC 1
- OPD = 1 SUSPENDIDO
- VCC = 0 SUSPENDIDO

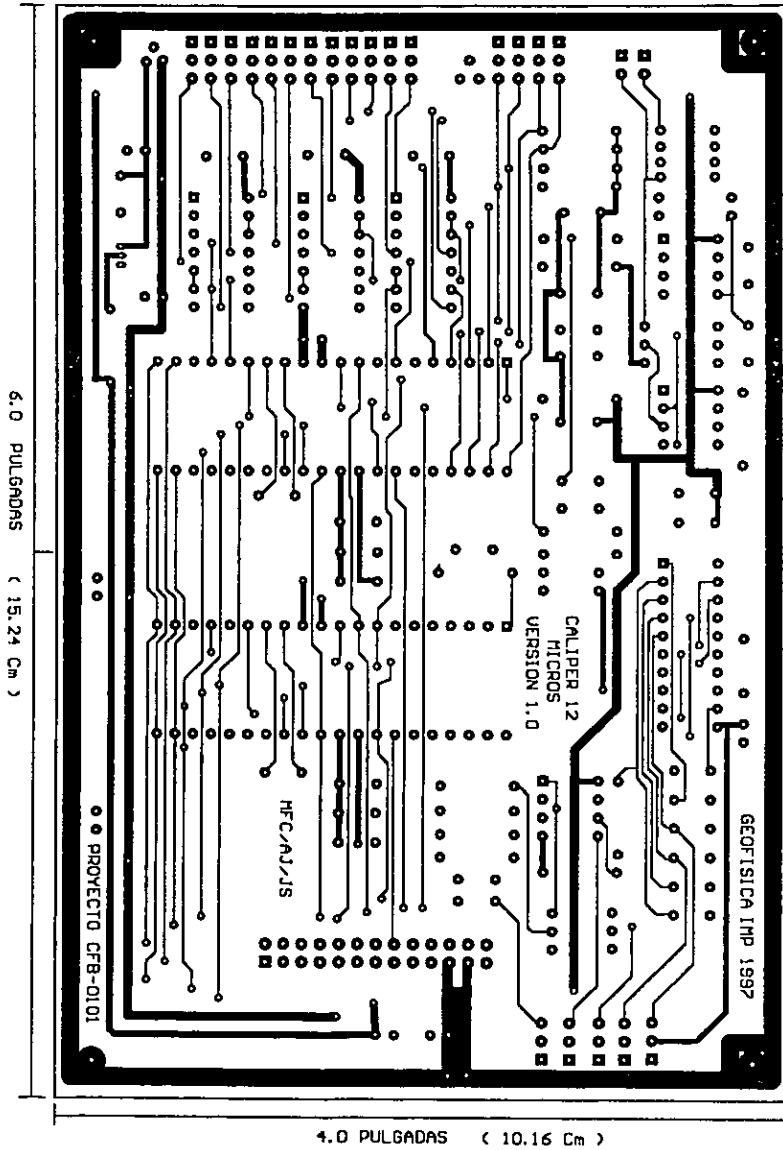


SENSORES

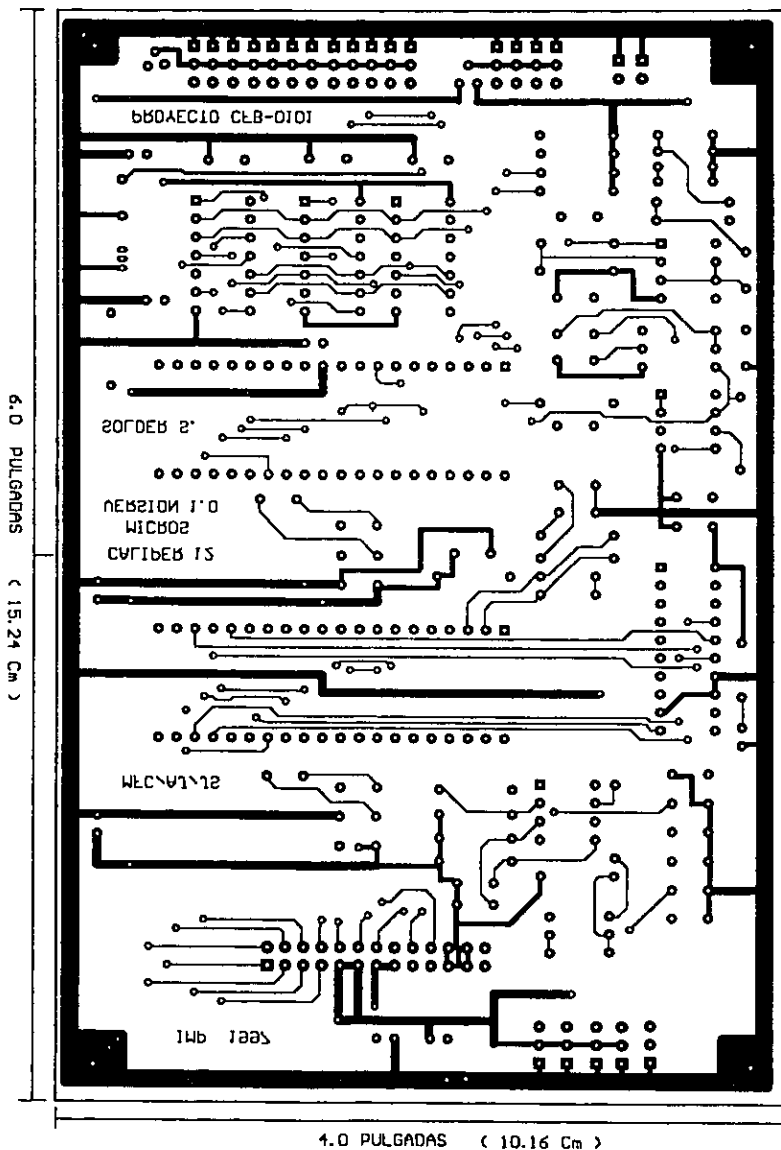
CALIPER - MICROS

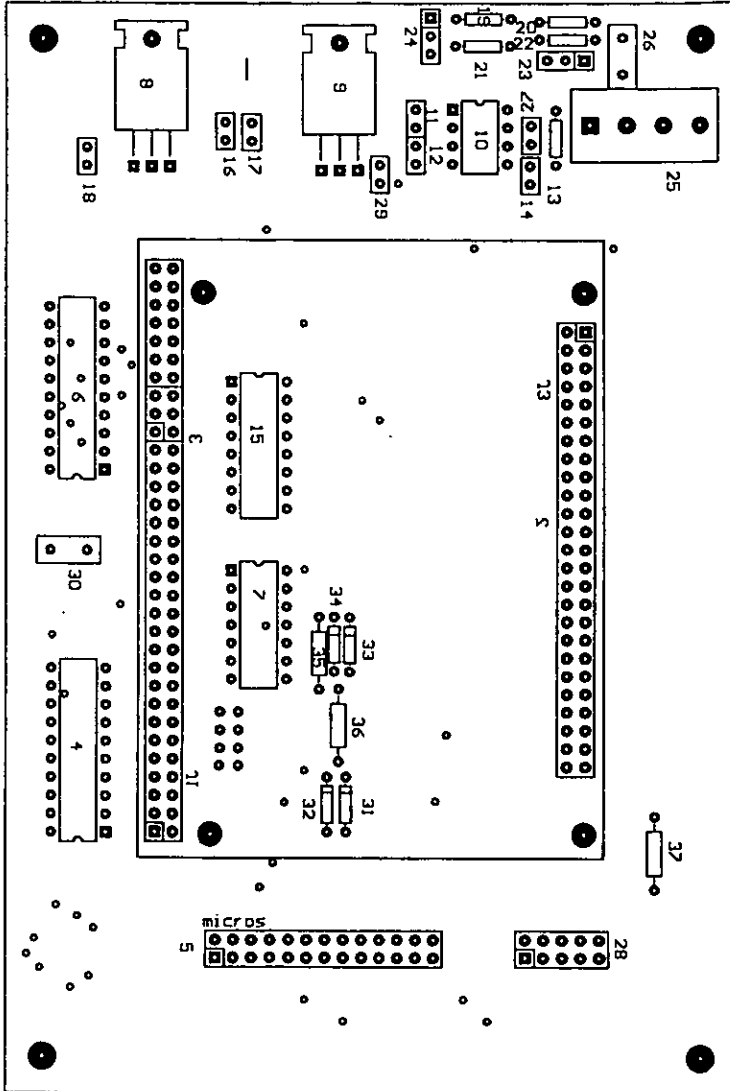


MODELO CALIPER-MICRDS (SENSORES Y MICROCONTROLADRES)
LADO COMPONENTES

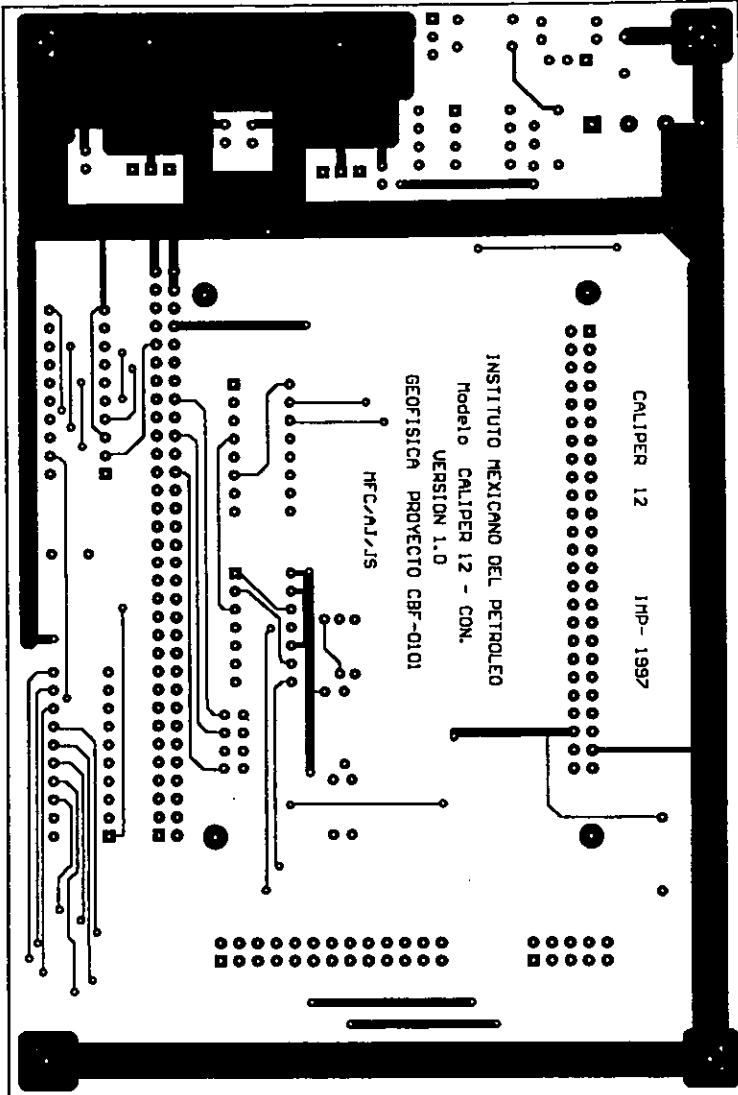


MODELO CALIPER - MICROS (SENSORES Y MICROCONTROLADRES)
LADO DE SOLDADURA

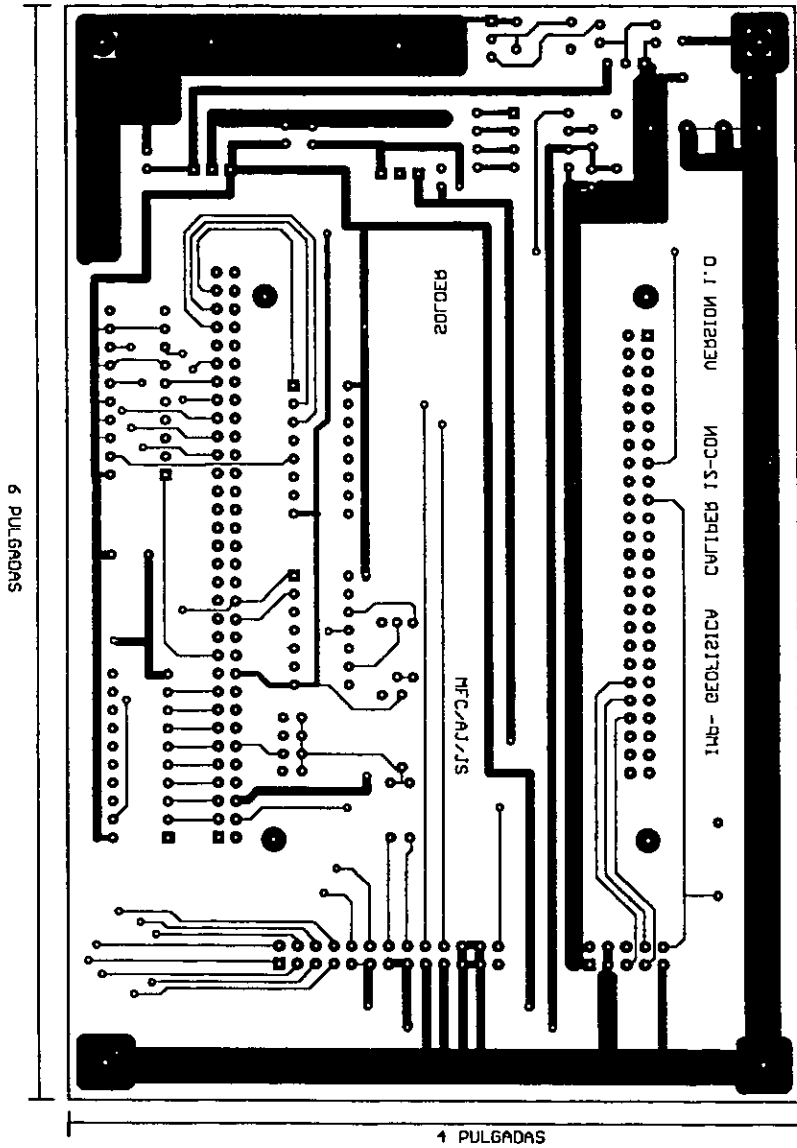




MODELO CALIPER-CON (CONECTORES Y FUENTES)
LADO COMPONENTES



MODELO CALIPER-CON (CONECTORES Y FUENTES)
LADO DE SOLDADURA



LISTADOS DE LOS PROGRAMAS DE LOS MICROCONTROLADORES PIC16C74

```

.....
: INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
: LINEA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE INSTALACIONES DE PRODUCCION
: PROYECTO CFB-0101 * CONSTRUCCION DE UN DIABLO GEOCALIPER *
: GERENCIA DE GEOFISICA DE EXPLOTACION
: PROGRAMA PIC0: PROGRAMA DE DETECCION DE ANOMALIAS GEOMETRICAS
: Y ODOMETROS
:
:PROGRAMA: PTS01.SRC
.....

```

```

.....: ESPECIFICACION DEL DISPOSITIVO .....:
device pic16c74,hs_osc,protect_off,wdt_off

;pic16c74 => Microcontrolador Microchip de 40 pines
;hs_osc => Rangos de oscilador de cristal 4MHz a 20MHz
;protect_off => Modo no protegido
;wdt_off => Watchdog Timer deshabilitado.

```

.....:ASIGNACION DE ETIQUETAS:.....:

```

potU2 = rc.0 ;Línea para habilitación del 74HC4066 (CI U2)
potU3 = rc.1 ;Línea para habilitación del 74HC4066 (CI U3)
potU4 = rc.2 ;Línea para habilitación del 74HC4066 (CI U4)
odometro = rb ;Por el puerto "B" se monitorea a los 4 sensores de Efecto Hall
psp = rd ;Puerto Esclavo Paralelo.
pa0 = rb.1 ;Petición de atención del PIC0.

```

.....: ASIGNACION DE REGISTROS INDIRECTOS:.....:

```

;MODO DE DIRECCIONAMIENTO: Tipo Indirecto
;El acceso a estos registros se hace por medio de dos registros especiales,
;el FSR (File Select Register)y el INDF, este último no existe físicamente.

```

```

; org 20h Inicio del Banco "0".
;Registros SUM_ => Sirven para almacenar la conversión actual del respectivo POT.
;Registros SOB_ => Sirven para almacenar la posición inicial del respectivo POT.

```

;NOMBRE No Bytes Localidad

```

;sum1 ds 1 20h
;sob1 ds 1 21h
;sum2 ds 1 22h
;sob2 ds 1 23h
;sum3 ds 1 24h
;sob3 ds 1 25h
;sum4 ds 1 26h
;sob4 ds 1 27h
;sum5 ds 1 28h
;sob5 ds 1 29h
;sum6 ds 1 2Ah
;sob6 ds 1 2Bh
;sum7 ds 1 2Ch
;sob7 ds 1 2Dh
;sum8 ds 1 2Eh
;sob8 ds 1 2Fh
;sum9 ds 1 30h
;sob9 ds 1 31h
;sum10 ds 1 32h
;sob10 ds 1 33h
;sum11 ds 1 34h

```

```
;sob11 ds 1 35h
;sum12 ds 1 36h
;sob12 ds 1 37h
```

;Registros R__=> Sirven para almacenar la posiciones del respectivo POT si es
; que el movimiento rebaso el margen establecido con respecto a
; su posición anterior.

```
;R1 ds 1 38h => Brazo #1
;R2 ds 1 39h => Brazo #2
;R3 ds 1 3Ah => Brazo #3
;R4 ds 1 3Bh => Brazo #4
;R5 ds 1 3Ch => Brazo #5
;R6 ds 1 3Dh => Brazo #6
;R7 ds 1 3Eh => Brazo #7
;R8 ds 1 3Fh => Brazo #8
;R9 ds 1 40h => Brazo #9
;RA ds 1 41h => Brazo #10
;RB ds 1 42h => Brazo #11
;RC ds 1 43h => Brazo #12
```

;Registros D__-> Sirven para almacenar la distancia en la cual ocurrió
; alguna anomalía en cualquiera de los 12 brazos de caliper.
; Dxa=> Menos significativo
; Dxb=> Medianamente significativo
; Dxc=> Más significativo

; org 0A0h Inicio del Banco "0".

```
;D1a ds 1 A0h Odómetro1
;D1b ds 1 A1h
;D1c ds 1 A2h

;D2a ds 1 A3h Odómetro2
;D2b ds 1 A4h
;D2c ds 1 A5h

;D3a ds 1 A6h Odómetro3
;D3b ds 1 A7h
;D3c ds 1 A8h

;D4a ds 1 A9h Odómetro4
;D4b ds 1 AAh
;D4c ds 1 ABh
```

;En estos registros se almacena la distancia actual del instrumento.

```
; org 0E8h
;cambios1 ds 1 E8h
;ODO1a ds 1 E9h
;ODO1b ds 1 EAh
;ODO1c ds 1 EBh
;cambios2 ds 1 ECh
;ODO2a ds 1 EDh
;ODO2b ds 1 EEh
;ODO2c ds 1 EFh
;cambios3 ds 1 F0h
;ODO3a ds 1 F1h
```

```
;ODO3b ds 1 F2h
;ODO3c ds 1 F3h
;cambios4 ds 1 F4h
;ODO4a ds 1 F5h
;ODO4b ds 1 F6h
;ODO4c ds 1 F7h
```

```
..... ASIGNACION DE REGISTROS DIRECTOS.....
;Estos registros se accesan de manera directa, de tal forma que cuando uno
;se dirige a ellos el programa debe de estar en el banco al cual pertenece
;dicho registro.
;Estos registros se usan para el control del programa.
```

```
org 44h
;BANCO CERO

seccion ds 1 ;44h
canal ds 1 ;45h
flag ds 1 ;46h
w_temp ds 1 ;47h
status_temp ds 1 ;48h
actmov ds 1 ;49h
antpar ds 1 ;4Ah
antcomp ds 1 ;4Bh
muestras ds 1 ;4Ch
variacion ds 1 ;4Dh
conversion ds 1 ;4Eh
posact ds 1 ;4Fh
sustraendo ds 1 ;50h
posant ds 1 ;51h
temporal ds 1 ;52h
discrimina ds 1 ;53h
salto ds 1 ;54h
directo ds 1 ;55h
sen1 ds 1 ;56h
actual ds 1 ;57h
fsr_prin ds 1 ;58h
fsr_int ds 1 ;59h
code ds 1 ;5Ah
sen2 ds 1 ;5Bh
```

```
..... RESET-INTERRUPCION .....
;En esta secci3n se establece hacia donde se debe dirigir el programa en caso
;de un Reset o una Interrupci3n.
```

```
org 0 ;Sj reset, se configura al micro.
jmp inicio
org 04h ;Sj interrupci3n, realiza rutina de INT.
jmp int
```

```
.....
;*****
;***** RUTINAS Y SUBRUTINAS DEL PROGRAMA PRINCIPAL *****
;*****
.....
..... RUTINA DE INTERRUPCION .....
.....
```

```
int movwf w_temp ;se salvan los valores del acumulador
swapf status,w ;y del registro de status.
bcf status,5
```

```

movwf status_temp

;**** Empieza ISR ****
;***** Se salva la dirección del registro al cual *****
;***** direcciona el programa y se pone la dirección *****
;***** del registro al cual direccionaba la rutina *****
;***** de interrupción. *****

mov   fsr_prin,fsr
mov   fsr,fsr_int

;***** En este bloque se recibe el código exterior *****
;***** y se verifica que no haya error y se salva. *****

setb  rp0
jnb   ibf,;cali_2
clrb  rp0
mov   code,psp

;**** INTERRUPCION DEBIDO A ESCRITURA ***

:estado  cjne   code,#33h,;cali_1           ;code=33h=51decimal
          jnb   variacion.0,;intpic1
:intpic0  mov   psp,#4Ah                   ;4Ah=74d
          jmp   :salir
:intpic1  mov   psp,#4Bh                   ;4Bh=75d
          jmp   :salir

:cali_1   cjne   code,#34h,;odo_1           ;code=34h=52decimal
          mov   fsr,#38h
          mov   sen2,#44h
          mov   psp,indf
          inc   fsr
          jmp   :salir

:odo_1    cjne   code,#35h,;salir           ;code=35h=53decimal
          mov   fsr,#0E9h
          mov   sen1,#0ECh
          mov   psp,indf
          inc   fsr
          jmp   :salir

;**** INTERRUPCION DEBIDO A LECTURA ***

:cali_2   clrb  rp0
          cjne  code,#34h,;odo_2
          mov   psp,indf
          inc   fsr
          cjne  fsr,;sen2,;salir           ; sen1 valor inicial=0EBh
          add   fsr,#5Ch                   ; 44h+5Ch = A0h
          add   sen2,#68h                   ; 44h+68h = ACh
          cjne  fsr,#08h,;salir
          clrb  variacion.0
          clrb  pa0
          jmp   :salir
:odo_2    cjne  code,#35h,;salir
          mov   psp,indf
          inc   fsr
          cjne  fsr,;sen1,;salir         ; sen1 valor inicial= 0EBh
          add   sen1,#04h
          inc   fsr
    
```

```

:Salir  mov    fsr_in1,fsr
        mov    fsr,fsr_prin
        clrb  intf
        ;*****
        swapf status_temp,w
        movwf status
        swapf w_temp,f
        swapf w_temp,w
        ;*****
        reti
    
```

*****: SUBROUTINA DE BORRADO *****
 ;Esta rutina borra todos los registros que se accesan de manera indirecta.

```

borrar  mov    fsr,#20h           ;inicio del Banco #0
:borra1 clr    indf
        inc    fsr
        cje   fsr,#44h,:bloque2
        jmp   :borra1
:bloque2 mov   fsr,#0A0h        ;inicio del Banco #1
:borra2 clr    indf
        inc    fsr
        cje   fsr,#0ACh,:bloque3
        jmp   :borra2
:bloque3 mov   fsr,#0E8h
:borra3 clr    indf
        inc    fsr
        cje   fsr,#0F8h,:noborrar
        jmp   :borra3
:noborrar  ret
    
```

*****: RUTINA DE RETARDO *****
 ;Esta subrutina se utiliza para dar tiempo a que se estabilicen los
 ;interruptores digitales (circuitos 74HC4066) durante el proceso de
 ;multiplexeo, y as; después convertir un voltaje ya estable.
 ;El tiempo es de 5ms. (con un cristal de 20Mhz)

```

retardo clr    conversion
:pasos2 clr    sustraendo
:pasos1 inc    sustraendo
        cjne  sustraendo,#00h,:pasos1
        call odomet
        inc  conversion
        cjne  conversion,#10h,:pasos2
        ret
    
```

*****:SUBROUTINA DE MULTIPLEXEO DE INTERRUPTORES DIGITALRES *****
 ;Esta subrutina se ocupa de habilitar a solo uno de los 3 bloques de
 ;interruptores digitales. Cada bloque contiene 4 interruptores digitales
 ;o canales. Una vez que se habilitó a un bloque se realiza la conversión
 ;de los 4 canales uno por uno, iniciando por el AN0,AN1,AN2 y finalmente el AN4.

```

selec_secc  sb  seccion.0
            jmp  :habili1
            clrb potU2
            setb potU3           ;Habilita a los brazos 5,6,7 y 8
            clrb potU4
            ret
:habili1  sb  seccion.1
            jmp  :habili2
            clrb potU3
    
```

```

setb    potU4      ;Habilita a los brazos 9,10,11 y 12
clrb    potU2
ret
:habilit2 clrb    potU4
setb    potU2      ;Habilita a los brazos 1,2,3 y 4
clrb    potU3
ret
    
```

.....SUBROUTINA DE MULTIPLEXEO DEL LOS CANALES ANALOGICOS
;De esta subrutina se obtiene el código que habilita a cada uno de los 4
;canales de conversión A/D (AN0,AN1,AN2 y AN4). El respectivo canal queda
;habilitado en el momento en que se carga el código al registro especial ADCON0.

```

selec_canal jmp pc+w
retw      81h,89h,91h,0A1h
    
```

..... RUTINA DE OBTENCION DE REFERENCIAS DEL CALIPER
;Esta rutina obtiene la posición inicial de los 12 brazos del caliper.
;Esta posición inicial sirve como referencia para poder evaluar cual es el
;desplazamiento real de cada brazo mecánico.

```

ref_cero  setb  adon      ;Activa convertidor.(consume corriente)
          clr   muestras  ;Se borra contador.
          clr   seccion   ;Este registro define que bloque de interruptores son habilitados.
          clr   canal     ;Este registro define que canal analógico es activado.
          mov   fsr,#020h  ;Pone la dirección de registro al FSR.
:repite   call  selec_secc ;SUBROUTINA
          call  retardo    ;SUBROUTINA
:convers  mov   W,canal    ;SUBROUTINA
          call  selec_canal ;SUBROUTINA
          mov   adcon0,W   ;Hace efectiva la selección del CANAL.
          call  retardo    ;SUBROUTINA
          setb  go_done    ;Inicia conversión en el CANAL activo.
:ciclo    snb   go_done    ;Espera hasta que conversión terminada
          jmp   :ciclo
          cll
          add   indf,adres  ;Suma las conversiones de cada CANAL.
          jc   :sobre_flu  ;Si la suma genera un sobre flujo salta.
          inc   fsr
:continuar inc   fsr
          cje   canal,#03h,:camb_secc ;Salta a cambiar bloque si el bloque
          inc   canal      ;anterior ha sido terminado.
          jmp   :convers
:camb_secc inc   seccion
          cjne  seccion,#03h,:repite
          clr   seccion
          mov   fsr,#20h
          inc   muestras
          cje   muestras,#10h,:divisions ;Salta si 16 sumas hechas.
          jmp   :repite
:sobre_flu inc   fsr
          inc   indf
          jmp   :continuar
          ;***** Se obtiene el promedio de las sumas *****
:divisions clr   muestras
:siguel   swap   indf
          and   indf,#0Fh
          inc   fsr
          swap  indf
          and   indf,#0F0h
    
```

```

inc     fsr
inc     muestras
cjne   muestras,#0Ch,:sigue1
clr     muestras
mov     fsr,#20h
:sigue2 mov     W,indf
inc     fsr
add     indf,W           ;Almacena el valor promedio (REFERENCIAS)
inc     fsr
inc     muestras
cjne   muestras,#0Ch,:sigue2
ret
    
```

:::::::::::RUTINA DE SENSADO DEL LOS ODOMETROS :::::::::::
 ;En esta rutina se sensa el estado actual de cada Odómetro (sensor de Efecto Hall)
 ;y se compara con el estado anterior para saber si hubo algún cambio y así poderlo
 ;tomar como una cuenta más en los odómetros.

;DIRECTO = Guarda temporalmente la dirección al cual direcciona el FSR. Antes
 ; de iniciar la rutina de Odómetros, y al terminar la rutina se devuelve
 ; el valor al FSR.
 ;DISCRIMINA = indica que Odómetro se procesa.
 ;ANTCOMP = Contiene los estados anteriores de los 4 Odómetros.
 ;ANTPAR = Contiene el estado anterior del Odómetro que est en proceso.
 ;ACTUAL = Contiene el estado actual de los 4 Odómetros.
 ;ACTMOV = Contiene el estado actual del Odómetro que est en proceso.

```

odomet  mov     directo,fsr
        mov     fsr,#0E8h
        mov     discrimina,#10h
        mov     actual,odometro           ;Sensa el estado actual de los odómetros.
:comienza mov     salto,#04h
        mov     actmov,actual
        and     actmov,discrimina
        mov     antpar,antcomp
        and     antpar,discrimina
        clz
        xor     actmov,antpar
        jz     :no_cambio
:cambio inc     indf
        cjne   indf,#02h,:no_cambio
        clr     indf
        inc     fsr
        inc     indf
        dec     salto
        clz
        test   indf
        jnz   :no_cambio
        inc     fsr
        inc     indf
        dec     salto
        clz
        test   indf
        jnz   :no_cambio
        inc     fsr
        inc     indf
        dec     salto
:no_cambio add     fsr,salto
        rl     discrimina
        clz
    
```

```

test    discrimina
jnz     :no_salir
mov     antcomp,actual      ;Una vez procesado el valor actual de cada uno,
mov     fsr,directo        ;éste pasa a ser el valor anterior para el
ret     ;siguiente proceso.

```

```

:no_salir jmp :comienza

```

:::::RUTINA DE DISCRIMINACION CONTINUA :::::::

;Esta rutina analiza la posición actual de cada brazo del caliper, con
;respecto a la referencia correspondiente al mismo brazo (posición inicial
;del brazo), para obtener la posición real. Solo en caso de que la magnitud
;de la diferencia entre la posición real actual y la posición real anterior
;de cada brazo respectivamente, haya rebasado el margen para que se considerara
;como anomalía o variación y no se trate de una simple variación por vibración.

```

rest_cont mov muestras,#17h
          mov   fsr,#20h
:sig_resta mov conversion,indf
          inc   fsr
          csae  conversion,indf
          jmp   :negativo
:positivo sub  conversion,indf
          mov   posact,conversion
:compara  call magnitud
          cjbe  posact,#01h,:no_vario
:vario    setb variacion.0
          mov   indf,conversion
:no_vario dec  muestras
          cje   muestras,#0Bh,:salir
          sub   fsr,muestras
          call  odomet
          jmp   :sig_resta
:negativo mov  sustraendo,conversion
          mov   posact,indf
          sub   conversion,indf
          sub   posact,sustraendo
          jmp   :compara
:salir    snb  variacion.0
          call  alma_dist
          ret

```

::::: SUBROUTINA DE OBTENCION DE LA MAGNITUD DE LA VARIACION :::::::

;Esta subrutina hace la diferencia entre la posición real anterior y la
;posición real actual de los 12 brazos, respectivamente. Después, obtiene la
;magnitud de esta diferencia, para que posteriormente esta magnitud sea
;comparada con el margen establecido y así poder decidir si se trata de
;vibración o efectivamente de un cambio significativo de la forma geométrica
;de la tubería.

```

magnitud add  fsr,muestras
          mov  posant,indf
          sb   posant.7      ;bit de signo. Si "1" = negativo
          jmp  :normal
          not  posant
          inc  posant
:normal  stc
          sub  posact,posant
          snc
          jmp  :valor_d
          not  posact
          inc  posact
:valor_d ret

```


::::::::::SUBROUTINA DE ALMACENAMIENTO DE DISTANCIAS DE LA VARIACION ::::::::::

;Cuando ha ocurrido alguna variación en alguno de los brazos del caliper
 ;se almacena en un buffer de 12 registros la cuenta de los 4 Odómetros en la
 ;cual ocurrió dicha variación. (Cada Odómetro lleva su cuenta con 3 registros)

```

alma_dist call odomet
           clr seccion
           mov canal,#4Ah
           mov muestras,#49h
: copia   mov fsr,#0E9h
           mov temporal,indf
           sub fsr,muestras
           mov indf,temporal
           jb seccion.i.,inc_regis
           inc seccion
: suma    add fsr,canal
           cje fsr,#0F9h,:completo
           jmp :copia
:inc_regis clr seccion
           inc canal
           inc muestras
           jmp :suma
:completo ret
    
```

::::::::::: RUTINA DE ADQUISICION CONTINUA ::::::::::::::

;Esta rutina hace la conversión de los 12 brazos del caliper. Esto se hace
 ;de manera repetida para estar monitoreando el comportamiento de los mismos,
 ;y así poder detectar alguna variación que se considere significativa.

;sección = Este registro define que bloque de interruptores son habilitados.

;canal = Este registro define que canal analógico es activado.

```

adquisicion clr seccion
           clr canal
           mov fsr,#20h ;Pone la dirección del registro al FSR.
:repitop call selec_secc ;SUBROUTINA
:convers mov W,canal
           call selec_canal ;SUBROUTINA
           mov adcon0,W ;Hace efectiva la selección del CANAL.
           call retardo ;SUBROUTINA
           setb go_done ;Inicia conversión en el CANAL activo.
: ciclo   snb go_done ;Espera hasta que conversión terminada.
           jmp :ciclo
           mov indf,adres
           add fsr,#02h
           cje canal,#03h,:camb_secc
           call odomet ;SUBROUTINA
           inc canal
           jmp :convers
:camb_secc clr canal
           inc seccion
           cjne seccion,#03h,:repitop
           ret
    
```

::::::::::: PROGRAMA PRINCIPAL ::::::::::::::

```

inicio setb rp0 ;Cambia al BANCO #1
        mov trisb,#11111101b ;Configura líneas PTO "B" como entradas.
        mov trisc,#11111000b ;Configura líneas PTO "C" como I/O.
        mov trise,#17h
        mov adcon1,#03h ;Define líneas Analógicas e I/O (PTO A y E)
    
```

```

mov    option,#1000000b
clrb  rp0                ;Regresa al BANCO #0
mov    adcon0,#80h      ;Define el reloj que usar el convertidor A/D.
mov    inicon,#00010000b ;Habilita interrupción RBO/INT.
clrb  pa0
clrb  potU2              ;Deshabilita al bloque de interruptores U2
clrb  potU3              ;De,habilita al bloque de interruptores U3
clrb  potU4              ;Deshabilita al bloque de interruptores U4
sleep
nop
clr   variacion
clr   flag
call  borrar            ;SUBROUTINA
mov   antcomp,odometro ;Almacena el estado inicial de odómetros.
call  ref_cero          ;SUBROUTINA
:proceso mov intcon,#10010000b ;Habilita interrupción RBO/INT.
call  odomet           ;SUBROUTINA
call  adquisicion      ;SUBROUTINA
call  rest_cont        ;SUBROUTINA
jnb   variacion.0,:proceso
setb  pa0
jmp   :proceso

```

.....: FIN DEL PROGRAMA PRINCIPAL:.....

```

.....:
:      INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
:      LINEA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE INSTALACIONES DE PRODUCCION
:      PROYECTO CFB-0101 " CONSTRUCCION DE UN DIABLO GEOCALIPER "
:      GERENCIA DE GEOFISICA DE EXPLOTACION
:      PROGRAMA PICI: ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA, PRESION,
:      POSICIÓN ANGULAR Y DETECCIÓN DE SOLDADURAS
.....:
:PROGRAMA: PTS01.SRC
.....:

```

.....: ESPECIFICACIÓN DE DISPOSITIVO:.....

```

device pic16c74, hs_osc, wdt_off, protect_off

;pic16c74 => Microcontrolador Microchip de 40 pines
;hs_osc   => Cristal con rangos de oscilación de 4MHz a 20MHz
;protect_off=> Modo no protegido
;wdt_off  => Watchdog Timer deshabilitado.

```

.....: ASIGNACION DE ETIQUETAS:.....

```

sclk = rc.3      ;Línea de reloj al MAX186DCPP.
cs   = rc.2      ;Línea de encendido y apagado del MAX186DCPP.
din  = rc.5      ;Línea para envío de palabra de control.
sstrb = rc.1     ;Bandera de aviso del MAX de conversión terminada.
dout = rc.4      ;Línea de salida del resultado digital.
psp  = rd        ;Puerto "B" como Bus de datos.
shdn = rc.0      ;Línea para dormir al MAX186CDPP.
pa1  = rb.1      ;Petición de atención del PIC16C74.

```

.....: ASIGNACION DE REGISTROS INDIRECTOS:.....

.MODO DE DIRECCIONAMIENTO: Tipo Indirecto

:El acceso a estos registros se hace por medio de dos registros especiales, el FSR (File Select Register) y el INDF, este último no existe físicamente.

:BANCO #1

```
: org A0h
:      => bmes = Byte Menos Significativo. Se usan 8 bits.
:      => BMAS = Byte M s Significativo. Se usan 4 bits.
```

:Nombre	Tamaño	Dir	Uso del Registro
:tfant0	ds 1	A0h	Temperatura Externa Anterior. => bmes
:tfant1	ds 1	A1h	Temperatura Externa Anterior. => BMAS
:teant0	ds 1	A2h	Temperatura Interna Anterior. => bmes
:teant1	ds 1	A3h	Temperatura Interna Anterior. => BMAS
:pfant0	ds 1	A4h	Presión Frontal Anterior. => bmes
:pfant1	ds 1	A5h	Presión Frontal Anterior. => BMAS
:ptant0	ds 1	A6h	Presión Trasera Anterior. => bmes
:ptant1	ds 1	A7h	Presión Trasera Anterior. => BMAS
:posi0	ds 1	A8h	Posición Inicial del P,ndulo. => bmes
:posi1	ds 1	A9h	Posición Inicial del P,ndulo. => BMAS
:tfact0	ds 1	AAh	Temperatura Externa Actual. => bmes
:tfact1	ds 1	ABh	Temperatura Externa Actual. => BMAS
:teact0	ds 1	ACH	Temperatura Interna Actual. => bmes
:teact1	ds 1	ADh	Temperatura Interna Actual. => BMAS
:pfact0	ds 1	AEh	Presión Frontal Actual. => bmes
:pfact1	ds 1	AFh	Presión Frontal Actual. => BMAS
:ptact0	ds 1	B0h	Presión Trasera Actual. => bmes
:ptact1	ds 1	B1h	Presión Trasera Actual. => BMAS
:cnvpos0	ds 1	B2h	Resultado de la conversión del P,ndulo. => bmes
:cnvpos1	ds 1	B3h	Resultado de la conversión del P,ndulo. => BMAS
:presdif0	ds 1	B4h	Presión Diferencial. => bmes
:presdif1	ds 1	B5h	Presión Diferencial. => BMAS
:pos0	ds 1	B6h	Desplazamiento o Posición real del P,ndulo. => bmes
:pos1	ds 1	B7h	Desplazamiento o Posición real del P,ndulo. => BMAS
:solda0	ds 1	B8h	Marcas Magn.éticas o Soldaduras. => bmes
:solda1	ds 1	B9h	Marcas Magn.éticas o Soldaduras. => BMAS

..... ASIGNACION DE REGISTROS DIRECTOS:.....

:Estos registros se accesan de manera directa, de tal forma que cuando uno se dirige a ellos el programa debe de estar en el banco al cual pertenece dicho registro.

:Estos registros se usan para el control del programa.

:BANCO #0

```
org 20h
corrimiento ds 1 :20h
comando ds 1 :21h
temporal ds 1 :22h
resultado0 ds 1 :23h
resultado1 ds 1 :24h
canal ds 1 :25h
bandera ds 1 :26h
comp ds 1 :27h
compara ds 1 :28h
suma ds 1 :29h
comple20 ds 1 :2Ah
comple21 ds 1 :2Bh
fsr_prin ds 1 :2Ch
fsr_int ds 1 :2Dh
w_tcmp ds 1 :2Eh
status_temp ds 1 :2Fh
```

```

code      ds    1      ;30h
regtim    ds    1      ;31h
bantiem   ds    1      ;32h

        org 38h
ponA      ds    1      ;valor para nivel primer pico
ponB      ds    1      ;valor para caida
ponC      ds    1      ;valor para nivel segundo pico
case      ds    1      ;seleccion de sensor
conv1     ds    1      ;valor del ultimo sensado para sensor 1
conv2     ds    1      ;valor del ultimo sensado para sensor 2
pos1      ds    1      ;valor del pico que estoy analizando para sensor 1
pos2      ds    1      ;valor del pico que estoy analizando para sensor 2
sol       ds    1      ;incremento soldadura
bander    ds    1      ;
ttresa    ds    1      ;timer de soldadura (evento) entre los dos sensores
ttresb    ds    1      ;
tunoa     ds    1      ;timer entre picos 1 y 2 (a y b)
tunob     ds    1      ;
tdosa     ds    1      ;timer entre picos 2 y 3 (b y c)
tdosb     ds    1      ;
sum1      ds    1      ;
sum2      ds    1      ;
flujo1    ds    1      ;
flujo2    ds    1      ;
cuenta    ds    1      ;
filc1     ds    1      ;
arc1      ds    1      ;
arc2      ds    1      ;
arc3      ds    1      ; 50h
    
```

;;::::::::: RESET Y/O INTERRUPCION :::::::::::

;En esta sección se establece hacia donde se debe dirigir el programa en caso de un Reset o una Interrupción.

```

        org    0          ;Si reset, se configura al micro.
        jmp    inicio
        org    04h       ;Si interrupción, realiza rutina de INT.
        jmp    int
    
```

;;::::::::: RUTINA DE INTERRUPCION :::::::::::

```

int     movwf   w_temp     ;se salvan los valores del acumulador
        swapf   status,w   ;y del registro de status.
        bcf    status,5
        movwf   status_temp
    
```

;***** Se salva la dirección del registro al cual *****
;***** direcciona el programa y se pone la dirección *****
;***** del registro al cual direccionaba la rutina *****
;***** de interrupción. *****

```

        mov    fsr_prin,fsr
        mov    fsr,fsr_int
    
```

;***** interrupción para timers de la rutina de soldaduras

```

        jnb    t0if,sal    ;cada 6.5536 ms
:tmrcero inc    tunoa
        cjne   tunoa,#08h,:tmruno ;T=52 ms
        setb   bander.0
:tmruno inc    ttresa
    
```

```

        cjne   ttresa,#98h,:tmrdos      ;t= 1 seg
        setb  bander.2
:tmrdos inc   tdosa
        cjne   tdosa,#08h,:sal         ;t=52 ms
        setb  bander.1
:sal    setb  bander.7
        clrb  t0if
    
```

;**** INTERRUPCIÓN DEBIDO A COMUNICACIÓN

```

        setb  rp0
        jnb  ibf,:sdf_2
        clrb rp0
        mov  code,psp

        ;**** interrupcion debido a escritura ***

:sdf_1  cjne  code,#3Dh,:posang_1      ;code=3Dh=61decimal
        mov  fsr,#0A0h
        mov  psp,indf
        inc  fsr
        jmp  :salir
:posang_1 cjne code,#3Ch,:salir      ;code=3Ch=60decimal
        mov  fsr,#0B6h
        mov  psp,indf
        inc  fsr
        jmp  :salir
    
```

;**** interrupcion debido a lectura ***

```

:sdf_2  clrb  rp0
        cjne  code,#3Dh,:posang_2
        mov  psp,indf
        inc  fsr
        cjne  fsr,#0A8h,:salir
        clr  bandera
        clrb pa1
        clr  bantiem
        jmp  :salir
:posang_2 cjne code,#3Ch,:salir
        mov  psp,indf
        inc  fsr
:salir  mov  fsr_int,fsr
        mov  fsr,fsr_prin
        clrb intf
        ;*****
        swapf status_temp,w
        movwf status
        swapf w_temp,f
        swapf w_temp,w
        ;*****
        reti
    
```

..... SUBROUTINA DE BORRADO

:Esta rutina borra todos los registros que se accesan de manera indirecta.

```

borrar  mov  fsr,#0A0h      ;inicio del Bank 1
:ciclo  clr  indf          ;borra el registro apuntado por FSR
        inc  fsr          ;apunta al registro siguiente.
        cjne fsr,#0BAh,:ciclo ;Sale hasta borrar registros
        mov  fsr,#038h     ;inicio del Banco 0
    
```

```

:ciclo0  clr    indf          ;borra el registro apuntado por FSR
         inc    fsr          ;apunta al registro siguiente
         cjne  fsr,#050h,;ciclo0 ;Sale hasta borrar registros usados en la rut. soldadura
         ret
    
```

..... RUTINA DE RETARDO

```

retardo  clr    regtim
:pasol   inc    regtim
         cjne  regtim,#05h,;pasol
         ret
    
```

..... OFF_SET

;Esta rutina se corre sólo al arrancar el sistema, con el fin de obtener
;los valores iniciales de presión,temperatura y posición angular.
;La posición angular inicial sensada es muy importante, ya que para obtener
;el desplazamiento o posición real del Péndulo basta sumar el complemento a 2
;de la posición inicial con el resultado de la conversión del movimiento.

```

off_set  clr    canal
:conver  mov    fsr,#0A0h
         clrb  es           ;Enciende al MAX186DCPP.(Consume Energia)
         mov  w,canal
         call comando_canal ;SUBROUTINA
         mov  comando,w
         call envio_comando ;SUBROUTINA
         call alma_resul    ;SUBROUTINA
         and  resultado1,#0Fh
         setb es           ;Apaga al MAX186DCPP.( NO Consume Energia)
         mov  indf,resultado0
         inc  fsr
         mov  indf,resultado1
         inc  fsr
         inc  canal
         cjne canal,#05h,;conver
         ret
    
```

..... COMANDO_CANAL

;Esta subrutina se utiliza para obtener el código o protocolo con el cual se
;le indica al MAX186DCPP el canal a convertir, el tipo de conversión
;(diferencial o normal), el tipo de referencia (0 a 4.096V ó -2.048 a +2.048V)
;y el modo del reloj (interno o externo),

```

comando_canal  jmp    pc+w
               retw  71h,73h,79h,7Bh,75h
    
```

..... ENVIO_COMANDO

```

envio_comando  clr    corrimiento
:envia_bit  setb  sclk
            movb  din,comando.0 ;envio comando bit a bit
            inc  corrimiento
            clrb  sclk
            cje  corrimiento,#08,;completo
            rr   comando
            jmp  :envia_bit
:completo  ret
    
```

..... ALMACENA_RESULTADO

```

alma_resul  setb  sclk
            nop
            clrb  sclk
            nop
    
```

```

call    retardo
clr     corrimiento
:checa  sb      sstrb      ;verifica el fin de la conversion
        jmp    :checa
        call   retardo
        setb   sclk
        nop
        clrb   sclk
        nop
:alma_bit setb   sclk
        movb  resultado0.0,dout ;pongo c/bit en resultado
        inc   corrimiento
        clrb   sclk
        cje   corrimiento,#0Ch,:completo
        movb  temporal.0,resultado0.7 ;guardo b7 que no se pierda
        rl    resultado0           ;roto a la izq.
        rl    resultado1           ;roto a la izq.
        movb  resultado1.0,temporal.0 ;roto b7 en el otro reg
        jmp   :alma_bit
:completo ret
    
```

::::: VALORES ACTUALES DE PRESION,TEMPERATURA Y POSICION ANGULAR ::::::

```

pt_act  clr     canal           ;primer canal
        mov    fsr,#0AAh       ;primer registro actual
:conver clrb   cs
        mov    w,canal         ;canal = w
        call   comando_canal   ;tabla de comandos de control
        mov    comando,w       ;para cada canal
        call   envio_comando
        call   alma_resul      ;guardo valor de la conversión
        and   resultado1,#0Fh
        setb   cs
        mov    indf,resultado0  ;resultado de la conversión en
        inc   fsr              ;su registro correspondiente
        mov    indf,resultado1
        inc   fsr              ;incremento registro
        inc   canal           ;incremento canal
        cjne  canal,#05h,:conver
        ret
    
```

::::: VARIACION_PRESION ::::::

```

var_pres clr     compara
        mov    fsr,#0AFh
        mov    comp,#1Eh      ;limite comparación presión
        call   det_varp
        jnb   bandera.2,:sal
        call   pres_dif
        call   mov_pres
:sal    ret
    
```

::::: VARIACION_TEMPERATURA ::::::

```

var_temp clr     compara
        mov    fsr,#0A13h
        mov    comp,#29h      ;limite comparación temp
        mov    suma,#01h      ;bit bandera.0 para temperatura Externa
        call   det_vart
        snb   bandera.1
        call   mov_tempe      ;tempe => temperatura interna.
        snb   bandera.0
        call   mov_tempf      ;tempf => temperatura externa.
    
```

```

ret

:.....: DETERMINA LA VARIACION DE LA PRESION :.....:
det_varp mov    temporal,indf
sub        fsr,#0Ah
clz
xor        temporal,indf          ;verifico dif. bit a bit
jnz       :sobre_limite
add        fsr,#09h
mov        temporal,indf
sub        fsr,#0Ah
stc
sub        temporal,indf
snc
jmp        :directo1
not        temporal
inc        temporal
:directo1 cjb    temporal,comp,:sec_trasera
:sobre_limite setb  bandera.2
:regreso ret
:sec_trasera inc  compara
cje        compara,#02h,:regreso
add        fsr,#0Dh
jmp        det_varp

:.....: DETERMINA LA VARIACION DE LA TEMPERATURA :.....:
det_vart mov    temporal,indf
sub        fsr,#0Ah
clz
xor        temporal,indf          ;verifico dif. bit a bit
jnz       :sobre_limite
add        fsr,#09h
mov        temporal,indf
sub        fsr,#0Ah
stc
sub        temporal,indf
snc
jmp        :directo1
not        temporal
inc        temporal
:directo1 cjb    temporal,comp,:sec_trasera
:sobre_limite jb  compara.0,:te
:tf        setb  bandera.0
skip
:te        setb  bandera.1 ;bit bandera.1 para temperatura interna
:sec_trasera inc  compara
cje        compara,#02h,:regreso
add        fsr,#0Dh
jmp        det_vart
:regreso ret

:.....: PRESION_DIFERENCIAL :.....:
pres_dif  clr    compara
mov        fsr,#0AFh
repite   mov    temporal,indf
add        fsr,#06h
mov        indf,temporal
sub        fsr,#04h
mov        temporal,indf
add        fsr,#04h
stc

```



```

sub    indf,temporal
snc
jmp    :directo
not    indf
inc    indf
:directo inc    compara
cje    compara,#02h,:listo
sub    fsr,#07h
jmp    :repite
:listo  ret

```

::::: RUTINA PARA MOVER LOS REGISTROS ACT => ANT DE PRESION ::::::::::

```

mov_pres mov    fsr,#0B1h
:ciclo  mov    temporal,indf
sub     fsr,#0Ah
mov     indf,temporal
add     fsr,#09h
cjne   fsr,#0ADh,:ciclo
ret

```

:: RUTINA PARA MOVER LOS REGISTROS ACT => ANT DE TEMPERATURA INTERNA :::

```

mov_tempe    mov    fsr,#0ADh
:ciclo  mov    temporal,indf
sub     fsr,#0Ah
mov     indf,temporal
add     fsr,#09h
cjne   fsr,#0ABh,:ciclo
ret

```

:: RUTINA PARA MOVER LOS REGISTROS ACT => ANT DE TEMPERATURA EXTERNA :::::

```

mov_tempe    mov    fsr,#0ABh
:ciclo  mov    temporal,indf
sub     fsr,#0Ah
mov     indf,temporal
add     fsr,#09h
cjne   fsr,#0A9h,:ciclo
ret

```

::::::::::::::::::::: PENDULO :::::::::::::::::::::::

::::: RUTINA DE INICIALIZACION DEL POT :::::::::::::::

```

comple2 mov    fsr,#0A8h
not     indf
inc     indf
mov     comple20,indf
inc     fsr
not     indf
mov     comple21,indf
ret

```

::::: PROCESO DEL PENDULO :::::::::::::::

```

pro_pen mov    fsr,#0B2h
mov     temporal,indf
add     fsr,#04h
mov     indf,temporal
sub     fsr,#03h
mov     temporal,indf
add     fsr,#04h
mov     indf,temporal
dec     fsr
clc
add     indf,comple20

```

```

sc
jmp :no_carry
:carry inc fsr
      add indf,comple21
      inc indf
      and indf,#0Fh
      ret
no_carry inc fsr
      add indf,comple21
      and indf,#0Fh
      ret
    
```

.....: RUTINA PARA PETICION DE ATENCION :.....

```

:Bandera => Registro de eventos pendientes por enviar.
:Bandera.0 -> Evento de temperatura Externa.
:Bandera.1 => Evento de temperatura Interna.
:Bandera.2 => Evento de presión Frontal y/o Posterior.
:Bandera.3 => Evento de soldadura.
checa_ban and bandera,#0Fh
      clz
      test bandera
      jz :volver
      setb bantiem.0
      setb pa1
:noleido jb bantiem.0,:noleido
:volver ret
    
```

.....: OFF_SET soldadura :.....

```

off_set2 call conversi
      cfc
      add sum1,conv1
      sne
      inc flujo1
      cfc
      add sum2,conv2
      sne
      inc flujo2
      inc cuenta
      cjne cuenta,#08h,off_set2
      rr sum1
      rr sum1
      rr sum1
      movb sum1.5,flujo1.0
      movb sum1.6,flujo1.1
      movb sum1.7,flujo1.2
      rr sum2
      rr sum2
      rr sum2
      movb sum2.5,flujo2.0
      movb sum2.6,flujo2.1
      movb sum2.7,flujo2.2
      cfc
      add sum1,sum2
      jc :carry
      rr sum1 ;En este momento off_set = sum1
      ret
:carry rr sum1
      setb sum1.7 ;offset = sum1
      ret
    
```

.....: CONVERSIONES :.....

```

conversi mov adeon0,#81h
    
```

```

        setb    go_done
:wait1  jb      go_done,:wait1
        mov    conv1,adres
        mov    adcon0,#89h
        clr    tunob
:mmm    inc    tunob
        cjne  tunob,#04h,:mmm          ;retardo de 1.6 us
        setb  go_done
:wait2  jb      go_done,:wait2
        mov    conv2,adres
        clrb  adon
        ret
    
```

.....: RUTINA DE SOLDADURA :.....

```

solda  call  conversi
:rutina cje   case,#01h.:sensor2
:sensor1 inc  case
        mov  fsr,#038h
        add  fsr,pos1
        cje  pos1,#01.:enmedio
:extremos cjae conv1,indf.:pos
        jnb  bander.0.:rutina
:limpia  clr  pos1
        clrb bander.0
        jmp  :rutina
:pos     cje  pos1,#00.:sigue
:pon     jb  bander.0.:limpia
:sigue  clr  tunoa
        clr  tunob
        clrb bander.0
        inc  pos1
        cjnc pos1,#03h.:rutina
        clr  pos1
        jnb  bander.3.:timer2
        setb bander.3
        jnb  bander.4.:juntar
        clr  ttresa
        clr  ttresb
        clrb bander.2
        jmp  :rutina
:enmedio cjbc conv1,indf.:pon
        jnb  bander.0.:limpia
        jmp  :rutina
:timer2  jnb  bander.2.:rutina
        clrb bander.3
        jmp  :rutina
:sensor2 clr  case
        mov  fsr,#38h
        add  fsr,pos2
        cje  pos2,#01.:enmedio2
:extremos2 cjae conv2,indf.:pos2
        jnb  bander.1.:salida
:limpia2 clr  pos2
        clrb bander.1
        jmp  :salida
:pos2    cje  pos2,#00h.:sigue2
:pon2    jb  bander.1.:limpia2
:sigue2  clr  tdosa
        clr  tdosb
        clrb bander.1
        inc  pos2
    
```

```

    cjne    pos2,#03h,::salida
    clr    pos2
    jb     bander.4,::timer
    setb   bander.4
    jb     bander.3,::juntar
    clr    ttresa
    clr    ttresb
    clrb   bander.2
    jmp    ::salida
:enmedio2  ejbe    conv2,indf,::pon2
    jb     bander.1,::limpia2
    jmp    ::salida
:timer     jnb     bander.2,::salida
    clrb   bander.4
    jmp    ::salida
:juntar    jb     bander.2,::clear
    inc    sol
    setb   bandera.4
:clear     clrb   bander.3
    clrb   bander.4
    clrb   rb.7
:salida    ret
    
```

PROGRAMA PRINCIPAL

```

inicio  setb    rp0
        mov    trisb,#1111101b ;pa1=rb.1
        mov    option,#1000000b
        mov    intcon,#00010000b
        clr    rp0
        clrb   pa1
        setb   shdn
        clr    bandera
        setb   cs
        clrb   sclk
        sleep
        nop
        setb   rp0
        mov    trisb,#1111101b ;pa1=rb.1
        mov    trise,#17h
        mov    trisc,#11010010b
        mov    adcon1,#05h ;Define líneas Analógicas e I/O (PTO A y E)5 para Vref=ra.3
        mov    option,#10000110b
        clr    rp0
        mov    adcon0,#81h ;Define el reloj que usar el convertidor A/D.
        call   borrar
        call   off_set
        mov    ponA,#99h ;xxxh = xxx volts (3V)
        mov    ponC,#99h ;xxxh = xxx volts
        call   on_set2
        mov    ponB,sum1 ;sum1 = off_set de soldadura
        add   ponA,sum1
        add   ponC,sum1
        call   comple2
        mov    intcon,#10010000b ;Habilita interrupcion RBO/INT.
        clr    bantiem
:proceso call   pt_act
        call   solda
        call   pro_pen
        call   solda
        call   var_pres
    
```

```
call    solda
call    var_temp
call    solda
call    checa_ban
jmp     :proceso
```

.....: FIN DEL PROGRAMA PRINCIPAL :.....

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL PICO (CALIPER)

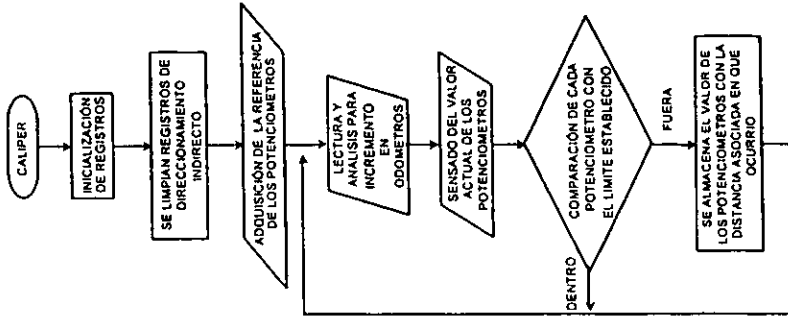


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL PIC1 (SENSORES)

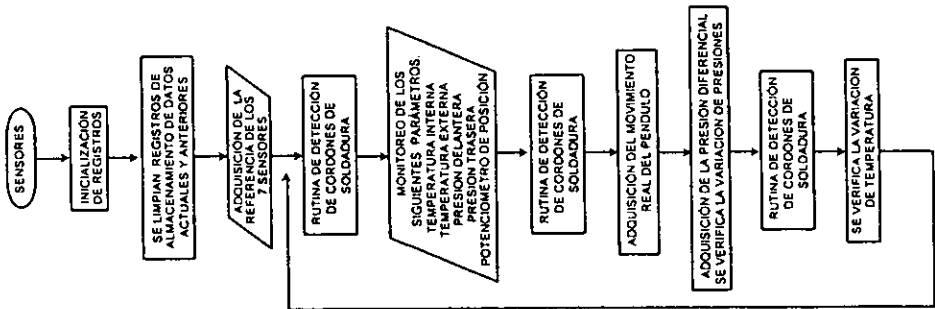
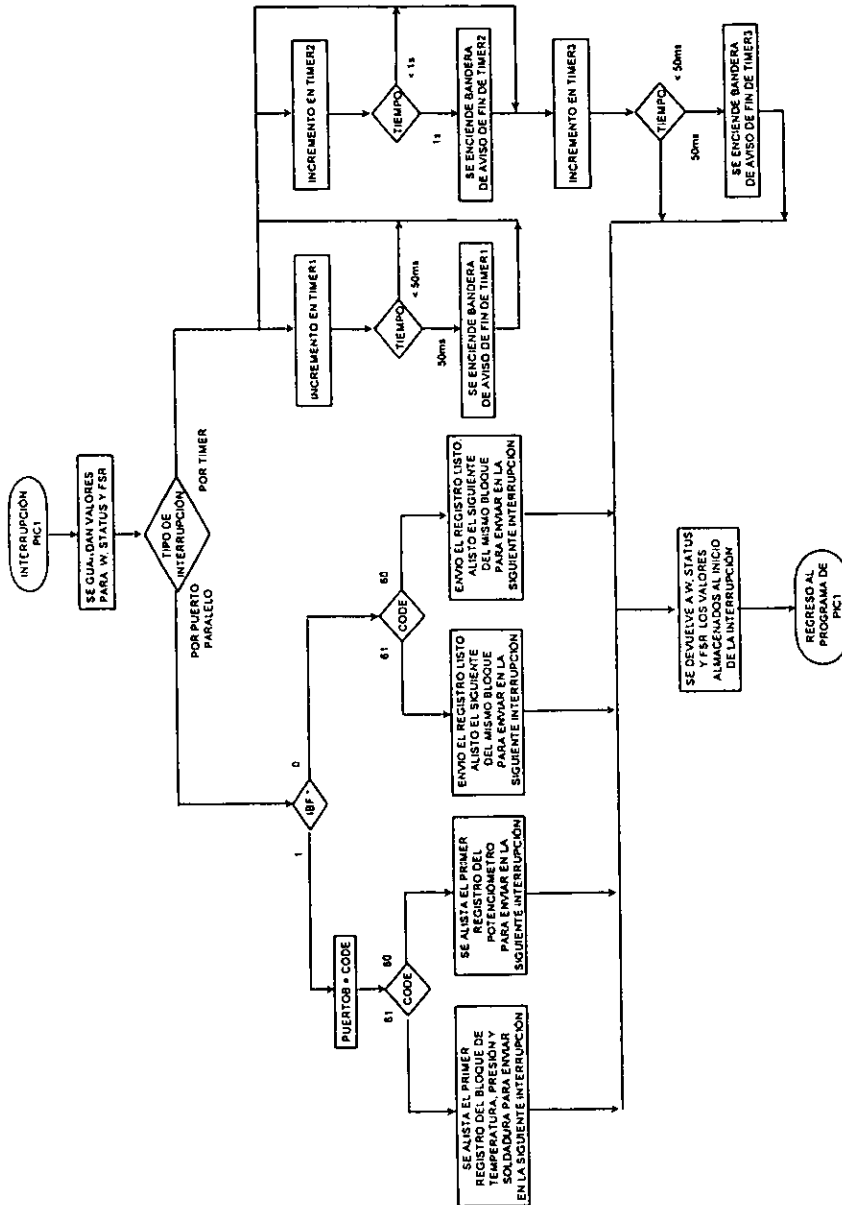
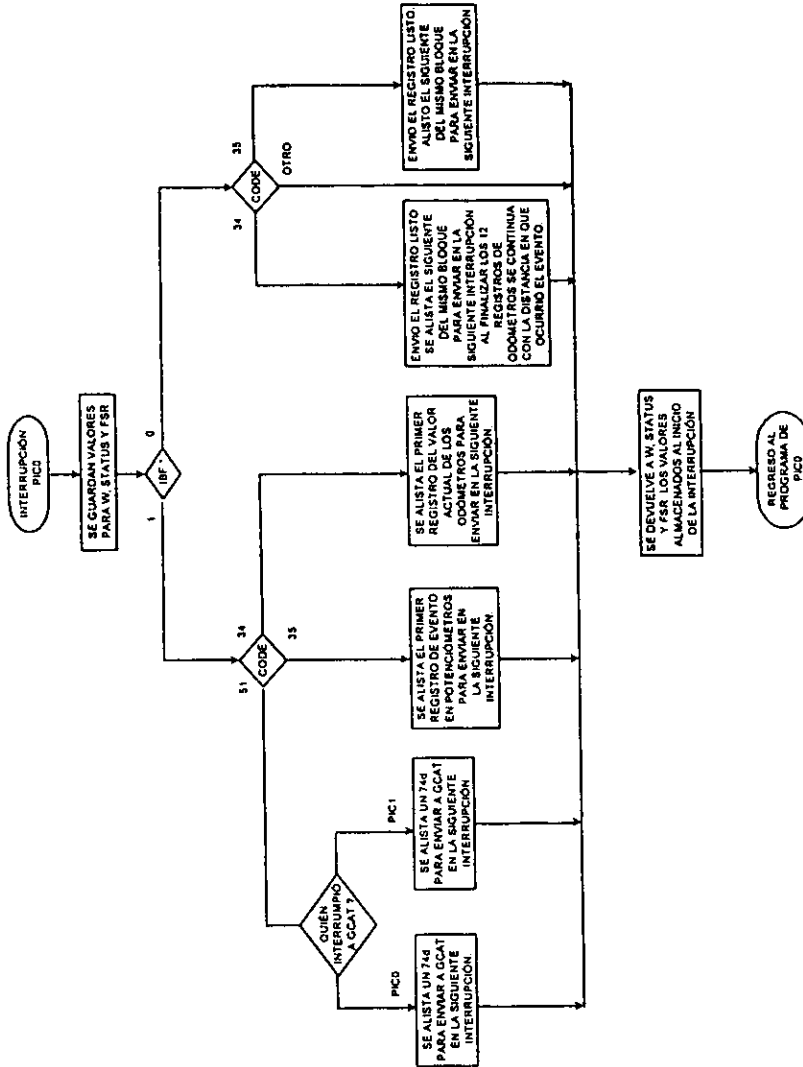


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA DE INTERRUPCIÓN DEL PROGRAMA DEL PICO



* IBF BIT DE ESTADO DEL BUFFER DEL PUERTO ESCLAVO

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA DE INTERRUPCIÓN DEL PROGRAMA DEL PIC1



· IBF BIT DE ESTADO DEL BUFFER DEL PUERTO ESCLAVO

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA CONVERTIDOR A/D MAX186

El MAX186 es un convertidor analógico digital de 12-bits que combina un multiplexor de ocho canales, un capturador de muestra con un ancho de banda elevado, una interfaz serial, una alta velocidad de conversión y un consumo de potencia excesivamente bajo.

El dispositivo opera con una señal de alimentación de +5V o una doble alimentación $\pm 5V$. Las líneas de entrada analógicas son configuradas por programa como unipolares o bipolares (a través de un protocolo de comunicación) y como modo de operación simple o diferencial.

El MAX186 ejecuta la conversión analógica-digital por medio del método de aproximaciones sucesivas utilizando cualquiera de los dos modos de reloj, ya sea para una interfaz serial de reloj interno o de reloj externo. La interfaz serial puede operar más allá de los 4MHz cuando el modo de reloj interno es usado. El MAX186 tiene un voltaje de referencia interno de 4.096 volts, además cuenta con un "amplificador de referencia" que simplifica el ajuste de la ganancia.

El MAX186 está provisto de una terminal /SHDN para "dormir" al dispositivo y dos modos de bajo consumo seleccionables por programa. Gracias a que el *acceso a la interfaz serial* es ejecutado de manera *automática* al polarizar el dispositivo y de que el *tiempo de encendido* del dispositivo es muy corto, es posible poner en modo de "bajo consumo" al MAX186 entre cada conversión. Usando esta técnica de *baja alimentación* entre conversiones, la corriente de la fuente de alimentación puede ser cortada en los periodos de no conversión a menos de 10 μA

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL MAX186

- Ocho canales de conversión A/D para entrada simple o 4 canales para entrada diferencial
- Operación con alimentación simple (+5V) o doble ($\pm 5V$)
- Bajo consumo de energía: 1.5 mA en operación y 2 μA en modo "dormido"
- Capturador de muestra interno, velocidad de muestreo 133 kHz
- Referencia interna de 4.096 volts
- Opción de configuración como entradas unipolares o bipolares
- Rango de Temperatura 0°C a +70°C para empaque DIP plástico - 20 terminales

CONFIGURACIÓN DE TERMINALES DEL MAX186

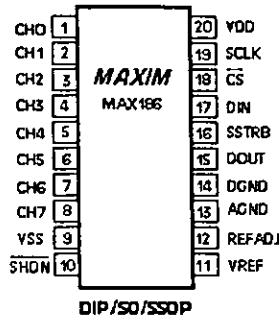


FIGURA D.1 CONFIGURACIÓN DE TERMINALES

- CH₀-CH₇ → Entradas de muestra analógica.
- /SHDN → Entrada de habilitación de bajo consumo de tercer estado. Poniendo ésta terminal a nivel bajo, el consumo de corriente baja a menos de 10µs, de otra forma el MAX186 opera totalmente. También, poniendo ésta terminal a un nivel alto el "amplificador de referencia" está en el modo de *compensación interna*. Y finalmente, si no se conecta ésta terminal, el "amplificador de referencia" se encuentra en el modo de compensación externa.
- VREF → Esta terminal es el voltaje de referencia para la conversión analógica-digital. También es la salida del "amplificador de referencia".
- REFADJ → Entrada del amplificador de referencia. Para deshabilitar al amplificador de referencia, se debe poner ésta terminal a VDD.
- AGND → Tierra analógica (para las conversiones no-diferenciales o simples).
- DGND → Tierra digital.
- DOUT → Salida del dato serial. El dato es sacado durante los fillos de caída de la señal de reloj en la terminal SCLK. Y tiene alta impedancia cuando la terminal /CS está en estado alto.
- SSTRB → Bandera de aviso. Cuando se trabaja en el modo de reloj interno, ésta terminal tiene un nivel bajo cuando la conversión está empezando y vuelve a un nivel alto cuando la conversión ha finalizado. Ahora, cuando se opera en el modo de reloj externo, ésta terminal tiene un nivel alto cuando la conversión está empezando y un nivel bajo cuando la conversión ha terminado. Y finalmente, la terminal adquiere alta impedancia cuando el nivel de la terminal /CS es alto (sólo en el modo externo).
- DIN → Entrada de datos serial. El dato es aceptado en el filo de caída del reloj SCLK.
- /CS → Esta línea de selección de dispositivo se activa en nivel bajo. El dato de entrada no será aceptado a menos que /CS esté en bajo. Cuando /CS está en un estado alto, DOUT tiene un estado de alta impedancia.

- SCLK** → Entrada de reloj serial. Por medio de esta terminal se sincroniza la entrada y salida de datos de la Interfaz serial. En el modo de reloj externo, SCLK también determina la velocidad de la conversión (el ciclo de trabajo debe ser del 45% al 55%).
- VDD** → Entrada del voltaje positivo de alimentación, $5V \pm 5\%$.

GENERALIDADES

El MAX186 utiliza un circuito captador de muestra para convertir la entrada analógica a una señal digital de 12-bits. Está provisto de una interfaz serial flexible de fácil conexión a microprocesadores. No es necesario utilizar capacitores externos. La figura D.3 muestra el diagrama a bloques del MAX186.

El circuito de entrada equivalente de la arquitectura de muestreo del comparador analógico del módulo convertidor se ilustra en la figura D.2.

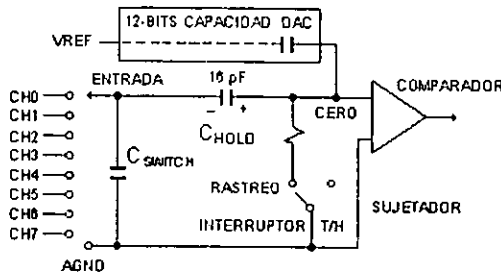


FIGURA D.2 CIRCUITO DE ENTRADA EQUIVALENTE.

En modo *simple* la entrada no inversora del comparador analógico es internamente conmutada con cada una de las entradas analógicas, y la entrada inversora del comparador es conmutada a la tierra analógica (AGND). En el modo *diferencial* el par de entradas del comparador son seleccionadas a dos pares de entradas analógicas respectivamente de la siguiente forma : CH0/CH1 , CH2/CH3 , CH4/CH5 y CH6/CH7.

El intervalo de adquisición abarca tres ciclos de reloj SCLK y finaliza en el filo de caída del último ciclo, una vez que el último bit de la palabra de control ha sido aceptado.

El intervalo de conversión comienza con la conmutación de C_{Hold} con los canales de entrada hacia las entradas inversora o no inversora del comparador. En el modo simple, la entrada no inversora es simplemente la tierra analógica (AGND). Esto desbalancea al nodo CERO en la entrada del comparador. La capacidad de ajuste DAC durante el periodo de conversión restaura al nodo CERO a 0 volts sin limitar a la resolución de 12-bits, lo cual se transforma en una representación digital de la señal de entrada analógica.

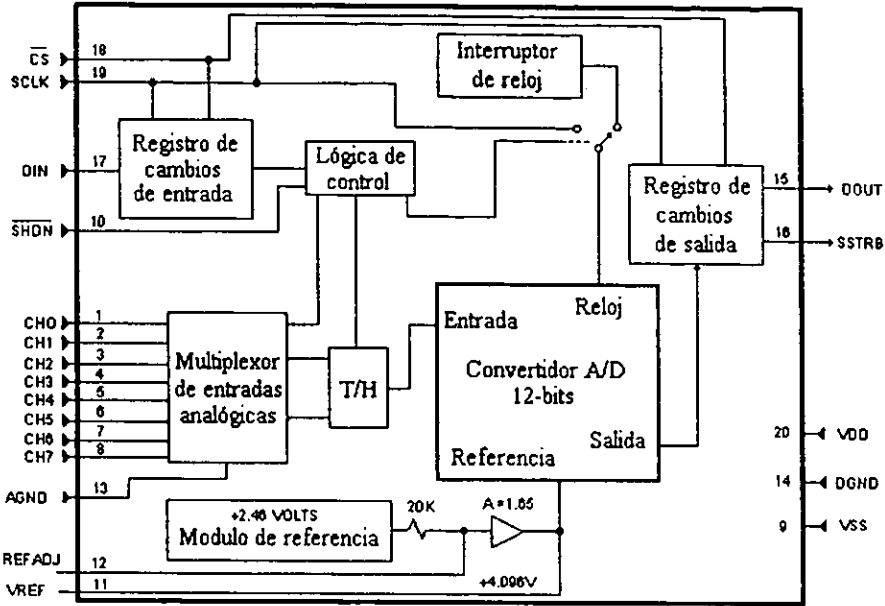


FIGURA D.3 DIAGRAMA A BLOQUES DEL MAX186.

MODO RASTREADOR Y MODO SUJETADOR | CONMUTADOR T/H |

El modo rastreador entra en el quinto filo de caída de la señal SCLK, una vez que han sido aceptados cinco de los ocho bits de la palabra de control. El modo sujetador entra en el octavo filo de caída de la señal SCLK, una vez que los ocho bits de la palabra de control han sido aceptados.

El tiempo requerido para que el módulo T/H adquiera una señal de entrada, esta en función de la rapidez con que la capacitancia de entrada es cargada. Si la fuente generadora de la señal de entrada es de alta impedancia, el tiempo de adquisición se alarga y más tiempo debe dejarse entre conversiones.

ANCHO DE BANDA DE ENTRADA

La circuitería rastreadora de entrada del convertidor analógico digital tiene un pequeño ancho de banda de 4.5 MHz, lo que hace posible la digitalización de eventos transitorios muy veloces, además de permitir la medición de señales periódicas con un ancho de banda mayor al del convertidor. Para evitar señales de alta frecuencia se recomienda el uso de filtros, con el fin de aislar a la banda de frecuencias de interés antes de convertir esta señal.

COMO INICIAR UNA CONVERSIÓN

Una conversión es iniciada en el MAX186 cuando la palabra de control ha sido introducida al MAX por la terminal DIN. En cada filo de subida del reloj SCLK, con la terminal /CS en estado bajo, es aceptado un bit de la palabra de control dentro del MAX.

Después de que la terminal /CS cae a un nivel bajo el primer bit lógico "1" que llegue a la terminal DIN define al bit más significativo de la palabra de control. Hasta que es recibido este primer bit de inicio, cualquier bit lógico "0" es aceptado por el MAX, pero sin producir algún efecto. La tabla de la figura D.4 muestra el formato de la palabra de control.

Bit 7 (MSB)	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0 (LSB)
START	SEL2	SEL1	SELO	UNI/ $\overline{\text{BIP}}$	SGL/ $\overline{\text{DIF}}$	PD1	PDO

BIT	NOMBRE	DESCRIPCIÓN															
7 (MSB)	START	El primer estado lógico "1" después de que /CS va a bajo, define el inicio del byte de control.															
6 5 4	SEL2 SEL1 SELO	Estos tres bits seleccionan cual de los ocho canales es usado para la conversión (ver tablas B y C).															
3	UNI/ $\overline{\text{BIP}}$	1 = unipolar, 0 = bipolar. Selecciona el modo de conversión unipolar o bipolar. En el modo unipolar puede ser convertida cualquier señal de entrada que este entre el rango de 0V a VREF. En el modo bipolar, la señal puede estar entre el rango de -VREF/2 a +VREF/2.															
2	SGL/ $\overline{\text{DIF}}$	1 = simple, 0 = diferencial. Selección de la conversión simple o diferencial. En el modo simple los voltajes de la señal de entrada son referenciados a AGND. Y en el modo diferencial es medida la diferencia de voltaje entre dos canales.															
1 0 (LSB)	PD1 PDO	Selecciona el tipo de reloj y los modos de bajo consumo. <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>PD1</td> <td>PDO</td> <td>Modo</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>Bajo consumo completo (IQ = 2 μA).</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>Bajo consumo rápido (IQ = 30 μA).</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>Reloj interno.</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>Reloj externo.</td> </tr> </table>	PD1	PDO	Modo	0	0	Bajo consumo completo (IQ = 2 μ A).	0	1	Bajo consumo rápido (IQ = 30 μ A).	1	0	Reloj interno.	1	1	Reloj externo.
PD1	PDO	Modo															
0	0	Bajo consumo completo (IQ = 2 μ A).															
0	1	Bajo consumo rápido (IQ = 30 μ A).															
1	0	Reloj interno.															
1	1	Reloj externo.															

FIGURA D.4 FORMATO DE LA PALABRA DE CONTROL

Usando el *circuito de operación típico*, sólo se requieren tres transferencias de 8-bits para ejecutar una conversión completa, donde una transferencia de 8-bits es para configurar al convertidor analógico digital, y las otras dos transferencias para sacar el resultado de la conversión (12-bits).

SEL2	SEL1	SELO	CHO	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	AGND
0	0	0	+								-----
1	0	0		+							-----
0	0	1			+						-----
1	0	1				+					-----
0	1	0					+				-----
1	1	0						+			-----
0	1	1							+		-----
1	1	1								+	-----

FIGURA D.5 SELECCIÓN DEL CANAL EN EL MODO SIMPLE

MODOS DE RELOJ EXTERNO E INTERNO

El MAX186 puede operar en dos modos de reloj (interno y externo) para ejecutar la conversión por aproximaciones sucesivas. En ambos modos, el reloj SCLK cambia el dato de entrada y salida del MAX. El módulo " rastreador / sujetador " (T/H) rastrea (o adquiere) la señal de entrada durante la entrada de los tres últimos bits de la palabra de control. Los bits PD1 y PD0 de la palabra de control establecen que modo de reloj es usado en la conversión.

Reloj Externo

Con este modo no sólo se sincroniza la salida y entrada de un dato del MAX, también puede guiarse a pasos la conversión analógica-digital. Aquí la terminal de salida SSTRB cambia hacia un estado alto después de que ha sido recibido el último bit de la palabra de control, iniciándose así automáticamente la conversión de la muestra adquirida.

Una vez que está listo el dato digital, aparecerá un *bit resultado* en la salida DOUT, durante los siguientes doce filios de caída del reloj SCLK (ver la figura D.6). Cuando la terminal /CS tiene un estado bajo, las salidas SSTRB y DOUT adquieren un valor de alta impedancia, y en el siguiente filo de caída en la entrada /CS, la salida SSTRB conmutará a un estado bajo hasta que el MAX haya hecho la adquisición de la nueva muestra y esté listo para volver a iniciar la conversión. La conversión debe completarse en el menor tiempo posible o de otro modo los capacitores almacenadores pueden degradar el resultado de la conversión.

Debe de usarse el *modo de reloj interno* si el periodo de conversión excede 10 µs o si las interrupciones del reloj serial podrían causar que el intervalo de conversión exceda los 120µs.

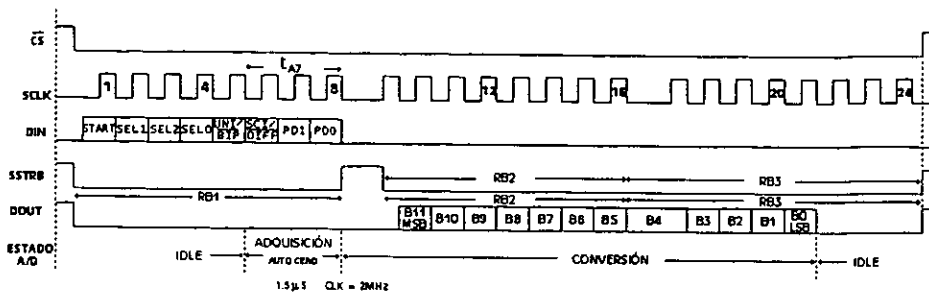


FIGURA D.6 TEMPORIZACIÓN DE LA CONVERSIÓN EN EL MODO DE RELOJ EXTERNO.