

20  
2ej



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE INGENIERIA**  
**Incorporada a la U.N.A.M.**

**Diseño de un Sistema de Control para un  
Sensor Distribuido de Temperatura por  
Medio de Fibra Optica**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO-ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A**

**LUIS GERARDO MENCHACA SOTELO**

**MEXICO, D. F.**

**1980**

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## INDICE

	INTRODUCCION	1
<b>CAPITULO I.-</b>	<b>SENSORES DE FIBRA OPTICA.</b>	<b>4</b>
1.1	Generalidades.	4
1.2	Interferómetros.	7
1.3	Configuraciones Optoelectrónicas Principales.	9
1.3.1	Sensores Basados en la Modificación de la Intensidad Luminosa.	10
1.3.2	Sensores Basados en la Modificación de la Fase del Campo Optico.	11
1.3.3	Sensores de Variables Distribuidas.	13
1.4	Ventajas y Desventajas de los Sensores de Fibra Optica.	15
1.4.1	Ventajas de los Sensores de Fibra Optica.	15
1.4.2	Desventajas de los Sensores de Fibra Optica.	17
<b>CAPITULO II.-</b>	<b>ESTUDIO DE SENSORES OPTICOS BASADOS EN REFLECTOMETRIA.</b>	<b>19</b>
2.1	Pérdidas Lineales por Dispersión.	19
2.1.1	Dispersión Rayleigh.	19
2.1.2	Dispersión Mie.	21
2.2	Pérdidas de Dispersión no lineales.	21
2.2.1	Dispersión Raman Espontanea.	22
2.3	Reflectómetro Optico en el Dominio del Tiempo.	24

2.3.1	Medición de la Temperatura por Medio de Dispersión Rayleigh.	29
2.4	Reflectómetro de Polarización Óptica en el Dominio del Tiempo.	30
2.5	Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo de Raman.	31
2.5.1	Medición Distribuida de Temperatura Por efecto Anti-Stokes.	32
CAPITULO III.-	SENSOR DISTRIBUIDO DE TEMPERATURA.	38
3.1	Breve Descripción del Principio de Funcionamiento.	38
3.2	Fuente Pulsada para el Láser.	40
3.3	Amplificadores de Banda Ancha.	42
3.4	Amplificadores Logarítmicos.	44
CAPITULO IV.-	ESTUDIO Y DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE CONTROL.	46
4.1	Adquisición de Variables.	46
4.1.1	Entradas Digitales.	47
4.1.2	Salidas Digitales.	47
4.1.3	Entradas Analógicas.	48
4.2	Secuencia de Realización de Proceso.	49
4.3	Toma de Decisiones.	52
4.4	Algoritmos de Inicialización, Adquisición y Supervisión.	55
4.4.1	Algoritmo de Inicialización.	56
4.4.2	Algoritmo de Adquisición y	

	Procesamiento de los Parámetros de Operación.	58
4.4.3	Algoritmo de Supervisión.	65
4.5	Almacenamiento de Información.	71
4.6	Interconexión con Equipos de Despliegue de Información.	72
4.6.1	Estructura Básica del arreglo Alambrado HP-IB.	72
4.6.2	Señales Eléctricas del Bus.	74
CAPITULO V.-	IMPLEMENTACION EN UN SISTEMA DE EVALUACION CON MICROPROCESADOR.	78
5.1	Configuración Básica del Subsistema de Control.	78
5.1.1	Dispositivo Inteligente.	78
5.1.2	Convertor de Señales Analógicas a Digitales.	80
5.1.3	Puertos de Entrada/Salida.	81
5.1.4	Circuitos de Almacenamiento de Información.	82
5.1.5	Dispositivos de Enlace con Equipos Externos.	82
5.2.1	Programación del Subsistema de Control.	83
5.2.1	Programa de Inicialización.	84
5.2.2	Programa de Adquisición de Datos de Operación.	86
5.2.3	Programa de Supervisión.	88

5.3	Herramientas de Programacion.	89
5.3.1	El Editor.	90
5.3.2	El Ensamblador.	91
5.3.3	El Depurador (Debugger).	92
CAPITULO VI.- DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODULO DE CONTROL.		95
6.1	Circuito Maestro de Control.	95
6.1.1	Características Internas del Microprocesador 8086.	95
6.1.2	Características Externas del Microprocesador 8086.	98
6.1.3	Configuración del Circuito Maestro.	101
6.2	Circuitos de Comunicación Subsistema-Sistema.	103
6.2.1	Convertidor Analógico-Digital.	106
6.3	Circuitos de Señalización y alarmas.	108
6.4	Circuitos para el Almacenamiento de Datos.	110
6.5	Interfase IEEE-488.	113
6.6	Construcción del Módulo de Prueba.	115
	CONCLUSIONES.	119
	APENDICE A.	122

## INTRODUCCION

La disponibilidad de transductores capaces de afectar a la radiación óptica a partir de cualquier otra variable sin el empleo de elementos eléctricos o electrónicos, representa una alternativa sumamente atractiva en la medición de diversas variables.

Se ha comprobado que las diversas cantidades físicas asociadas a la luz que se propaga por una fibra óptica se ven influidas por diversas variables; así la fibra óptica ofrece la posibilidad de funcionar como un sensor de esa variable.

En efecto, la variable a medir, al interactuar con el campo óptico que se propaga en la fibra, afecta a alguna de sus propiedades como pueden ser: la amplitud, la fase, la frecuencia, la polarización o la dirección de propagación. La radiación luminosa modificada es detectada y procesada, obteniéndose de esta forma una función de la variable sensada.

Los sensores de fibra óptica desarrollados en la actualidad, cuentan con sistemas encargados de monitorear y controlar que el desempeño de su función sea el adecuado. Incluso existen sensores que poseen circuitos con los que se logra la comunicación con otros instrumentos.

Este trabajo está orientado hacia el diseño y la

construcción de un sistema de control para un Sensor Distribuido de Temperatura. Las funciones que debe llevar a cabo este sistema se pueden dividir en dos, debido a que el sensor tiene dos formas de operación; una local y la otra remota. En forma de operación local el operador tiene el control completo del sensor, por lo que el sistema de control sólo debe monitorear que los parámetros de operación de éste no alcancen los valores límite. En forma remota las funciones del sistema de control son las siguientes:

- 1.- Adquirir y procesar los datos que contienen los parámetros de operación del sensor, enviados por una computadora a través del ducto estándar IEEE-488
- 2.- Monitorear que esos parámetros no se alteren durante el tiempo en el que se encuentra encendido el sensor; siempre y cuando no se reciba la petición de que se modifiquen.
- 3.- Monitorear que los parámetros de operación no alcancen los valores límite.
- 4.- Enviar por el ducto IEEE-488 los datos de la temperatura sensada al instrumento que los va a desplegar en pantalla o papel en forma gráfica.

Previo a la selección de los circuitos y construcción del módulo de control se elabora un análisis de los procesos que el sistema de control debe realizar en la supervisión del

sensor y se determina que el microprocesador es una opción muy viable para la realización del mismo, puesto que existe flexibilidad para modificar y ampliar el sistema de control de acuerdo a las exigencias a futuro del sensor.

En la parte final de este trabajo se dan algunos criterios de diseño para cuando se desea implementar algún sistema de este tipo con circuitos digitales.

## 1.1 Generalidades

Dentro de las ventajas de la transmisión por fibra óptica se encuentra el hecho de emplear materiales totalmente dieléctricos que evitan degradación en la comunicación en donde las condiciones ambientales, por la presencia de interferencia electromagnética resultan críticas para los cables convencionales metálicos. Sin embargo, cuando se desea transducir algún tipo de señal en dicho ambiente hostil, el problema se presenta ya que normalmente se requiere de un transductor capaz de modular dicha señal siendo comúnmente usados dispositivos eléctricos o electrónicos para ese efecto.

De esta forma, la disponibilidad de transductores capaces de modular una radiación óptica a partir de cualquier otra variable sin el empleo de elementos eléctricos, representa una alternativa sumamente atractiva.

La tecnología de sensores con fibras ópticas tienen su inicio alrededor de 1976, con el programa para la Marina de los Estados Unidos denominado "Sistema de Sensores con Fibra Óptica" (FOSS); desde entonces, varias empresas del Sector Público y Privado han formado grupos para el estudio y aplicación de esta nueva tecnología.

El parámetro a medir, al interactuar con el campo óptico

que se propaga en la fibra o en un elemento transductor externo, afecta a alguna de sus propiedades tales como: la Amplitud, la Fase, la Frecuencia, la Polarización o la Dirección de Propagación. La radiación luminosa modificada es detectada y procesada, obteniéndose una función de la variable sensada.

Algunos de los parámetros que se pueden evaluar mediante la modificación de las propiedades antes mencionadas son:

- a) Presión estática
- b) Temperatura
- c) Flujo .
- d) Nivel de líquidos
- e) Señales acústicas
- f) Tasa de rotación
- g) Campos magnéticos (corriente)
- h) Campos eléctricos (voltaje)
- i) Esfuerzos
- j) Aceleración, Velocidad
- k) Composición química
- l) Desplazamiento, Torque
- j) Presencia de gases y partículas
- k) Radiación,
- l) Contaminación
- m) Acidez
- n) Velocidad Angular (giroscopos)

En la figura 1.1 se observan algunos subsistemas de los sensores con fibras ópticas.

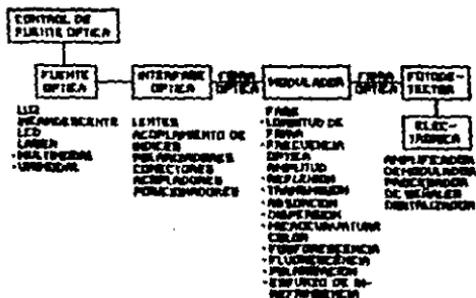
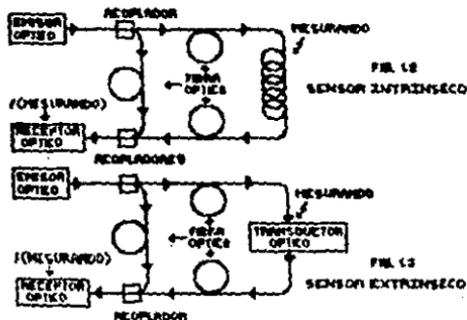


Figura 1.1

Para cubrir todo lo anterior, existe una gran cantidad de tipos de sensores, no sólo en cuanto a los métodos físicos, sino también a la amplia clasificación por configuración de sistemas; cuya nomenclatura es como sigue:

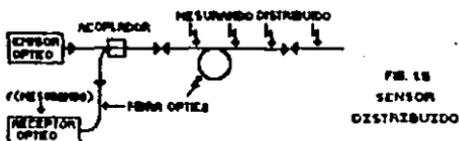
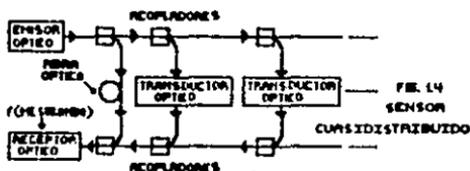
**SISTEMA INTRINSECO** es aquel en el que la fibra misma actúa como el elemento transductor (figura 1.2).



SISTEMA EXTRINSECO es aquél en el que la fibra actúa sólo llevando la luz de y hacia un transductor externo a la fibra (figura 1.3).

SENSOR PUNTUAL suministra el valor del parametro a medir en un solo punto.

SISTEMA CASI-DISTRIBUIDO consiste en un número discreto de transductores conectados por la fibra (figura 1.4).



SISTEMA COMPLETAMENTE DISTRIBUIDO consiste en la actuación continua de la fibra como un sensor intrínseco y permitiendo mediciones en cualquier punto a lo largo de la fibra (figura 1.5).

[Referencia 1.1]

## 1.2 Interferómetros

Básicamente un interferómetro es un arreglo óptico en el que se buscan hacer incidir 2 haces de luz de una misma fuente, desfasados uno con respecto al otro para generar un

patron de interferencia. El hecho de utilizar una sola fuente es debido a que es muy difícil generar un patron de interferencia constante con dos fuentes.

De ahí que surge la idea de utilizar dos métodos fundamentales de interferir la luz. El primero, es basado en la división del frente de onda; en donde el frente de onda es dividido en dos, conservando la misma intensidad. En este método de interferir la luz se requiere de un haz de luz extendido.

El segundo método y el más utilizado es el de división de intensidad; este método se basa en la división de la amplitud del haz de luz, haciendo pasar el haz por un medio en donde la transmitancia y la reflectancia son aproximadamente iguales de modo que el haz se divida en dos, conservando el mismo frente de onda pero haciendo que la intensidad se divida en partes aproximadamente iguales.

Basados en este método se han desarrollado una serie de interferómetros como son: El de Michelson, Mach-Zehnder, Fabry-Perot, Sagnac, etc.

En los interferómetros es importante considerar la polarización de la luz después de atravesar la fibra. Si no se dispone de algún medio que asegure que la luz en ambos extremos del interferómetro estén polarizados en forma paralela, la señal de salida presentará fluctuaciones, ya que la formación de franjas de interferencia, sólo se

producirá con las componentes paralelas de ambos haces y la polarización irá cambiando de forma aleatoria con el tiempo. Para evitar las fluctuaciones en la polarización se han desarrollado varios tipos de fibras unimodales especiales que conservan la polarización.

En la figura 1.6 se observan los tipos de interferómetros más utilizados.

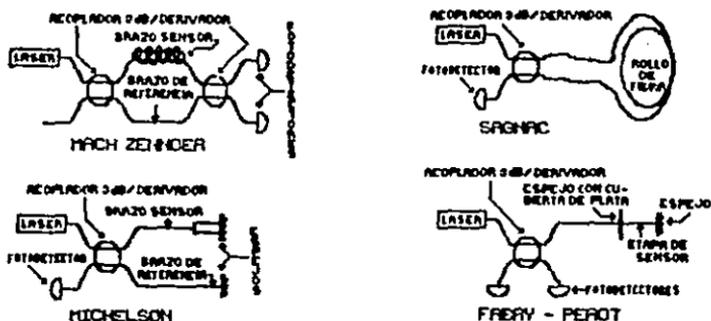


Figura 1.6

El principio de los interferómetros es utilizado en los sensores en el que el parámetro que determina su sensibilidad es la variación de fase introducida por unidad de longitud de fibra, con respecto a la unidad de la variable sensada.

### 1.3 Configuraciones Optoelectrónicas Principales.

Las configuraciones optoelectrónicas principalmente

utilizadas para la detección de las propiedades del campo óptico afectadas por el parámetro a medir, serán mencionadas a continuación así como las características de estos esquemas y sus limitaciones fundamentales

### 1.3.1 Sensores Basados en la Modificación de la Intensidad Luminosa.

En esta categoría de sensores, el parámetro a medir afecta la intensidad de la luz que se propaga en la fibra o en el transductor externo. Las figuras 1.2 y 1.3 ilustran el esquema utilizado; en este caso no se utiliza la referencia óptica proporcionada por los acopladores; se usan en general fibras ópticas multimodales.

Existen sensores de diferentes variables; por ejemplos: sensores de desplazamiento basados en cambios en la transmitividad de la luz entre dos fibras a causa del movimiento de una pantalla opaca o de una red de difracción situada entre ellas; sensores basados en variaciones en la potencia luminosa reflejada por el elemento cuyo desplazamiento se desea medir, utilizando ondas no planas; transductores de presión basados en variaciones de la potencia transmitida al modificarse las condiciones de reflexión total interna en la fibra al estar sometida a esfuerzos; sensores de concentración de gases, de detección de contaminantes, o de PH, utilizando la absorción espectral del elemento analizado; sensores de temperatura que emplean la fotoluminiscencia de un material situado en el extremo de

la fibra; sensores de radiación nuclear usando la atenuación suplementaria producida por aquella sobre la fibra.

Una de sus más grandes desventajas es que la potencia detectada, varía no sólo con el parámetro a medir; sino también, con las deformaciones en la fibra, fluctuaciones en la potencia óptica enviada, cambios de eficiencia en la inyección de la luz, etc. En general estos no son, por lo tanto, dispositivos muy precisos ni confiables; más sin embargo, los componentes empleados en su fabricación son baratos y simples: fibras multimodales, LEDs como fuente emisora de luz y detectores PIN. Además se requiere de muy poco o nulo procesamiento de la señal.

### 1.3.2 Sensores Basados en la Modificación de la Fase del Campo Óptico.

La operación de este tipo de sensores se basa en la detección de variaciones de fase causadas por cambios en la longitud de trayectoria óptica por acción del parámetro a medir, a través de diferentes fenómenos, tales como elastoóptico, electroóptico (Pockels, Kerr), magnetoóptico (Faraday), Doppler, Sagnac [Referencia 1.2].

Este tipo de sensores requiere de un montaje interferométrico que es, en general, de tipo Mach-Zehnder, con fibras ópticas unimodales, como se muestra en las figuras 1.2 y 1.3, en las que el haz de referencia del

interferómetro se deriva con acopladores ópticos.

En el arreglo Mach-Zehnder, un brazo de la fibra es expuesto directamente al parámetro a medir, mientras que el otro es protegido de este. El parámetro a medir ocasiona un cambio en la longitud de la trayectoria óptica (y así un cambio de fase) en el brazo expuesto lo cual hace que varíe la condición de interferencia cuando los dos brazos son recombinados. El nivel de luz a la salida es entonces un indicador del parámetro a medir.

La naturaleza unidimensional de la fibra óptica permite grandes longitudes de trayectoria de integración entre la luz y el parámetro a medir, de modo que la acción de la variable medida es integrada a lo largo de la fibra, siguiendo la geometría deseada. Esto constituye una ventaja debido a la gran sensibilidad obtenida al integrar el efecto sobre una trayectoria larga; además, en otros casos, la cantidad requerida es la integral.

En el primer caso se tienen, por ejemplo, los hidrófonos y los giróscopos; en el último caso, los sensores de corriente (como integral de línea del campo magnético) y de voltaje (integral de línea del campo eléctrico).

Estos sistemas presentan gran sensibilidad y rango dinámico; sin embargo, requieren de fuentes láser semiconductores de bajo ruido de fase y, frecuentemente, fibras con control de polarización y con recubrimientos

especiales tales como magnetostrictivo o piezoelectrico; además, son sensibles a otras variables tales como temperatura y vibración. El procesamiento de la señal detectada es, en muchos casos, complicado [Referencia 1.3].

### 1.3.3 Sensores de Variables Distribuidas.

La explotación de las propiedades de la diferenciación lineal tiene el potencial para proveer importantes ventajas para realizar mediciones en sistemas y estructuras grandes (ejemplos. edificios, barcos, vehículos aéreos, vehículos espaciales, etc.), ello ofrece la posibilidad de determinar la distribución espacial (a lo largo de una trayectoria escogida) de los parámetros deseados, y de este modo suministrar un nivel extra de entendimiento respecto al funcionamiento y control de dichas estructuras. Ejemplos que pueden ser citados son: La localización de fallas en sistemas de suministro eléctrico via la identificación de anomalías en los campos eléctricos y/o magnéticos, la seguridad del monitoreo de grandes contenedores (ejemplos. calentadores, vehículos aéreos) via el conocimiento detallado de los modos vibracionales o la distribución de esfuerzos, el aviso precautorio anticipado de sobrecalentamiento local o anomalías en el flujo del calor en equipos tales como transformadores de potencia, cables, sistemas de enfriamiento via el conocimiento de la distribución de temperatura a lo largo de una trayectoria escogida, etc, etc.

La determinación del valor de una variable en función de la posición a lo largo de una fibra óptica puede realizarse de manera discreta o continua. En el primer caso la medición se realiza en puntos o secciones de la fibra; los transductores pueden estar constituidos por fibras como parte integral de la fibra principal, o por elementos externos, con las fibras únicamente como elementos de conexión, como se ilustra en la figura 1.4.

En los sistemas distribuidos continuos, la manera habitual de identificar las diferentes posiciones, a lo largo de la fibra es utilizando los diferentes tiempos de propagación de la luz desde el extremo emisor. Esto puede hacerse en el dominio del tiempo, midiendo tiempos de propagación de un pulso óptico, como se ilustra en la figura 1.5 o en el dominio de la frecuencia, usando técnicas de modulación de frecuencia óptica.

Una de las técnicas utilizadas es una extensión de la reflectometría óptica en el dominio del tiempo, incluyendo el análisis de la polarización de la luz retrodifundida [Referencia 1.4], la resolución temporal permite determinar la distribución espacial de las propiedades de polarización de la fibra, lo que permite, a su vez, la obtención de la distribución de cualquier parámetro a medir que modifique dichas propiedades; por ejemplo: presión, campo magnético, campo eléctrico.

Esta técnica presenta algunas desventajas: primero, el

procesamiento de la señal de retrodifusión (por ejemplo: la determinación de los parámetros de Stokes) debe realizarse en el corto tiempo de respuesta requerido; segundo, las fibras ópticas utilizadas deben presentar características de polarización controladas.

Existe también una técnica de medición de distribución de temperatura basada en el efecto de la retrodifusión Raman en la fibra; la densidad espectral de la potencia retrodifundida presenta una estructura de bandas a longitudes de ondas de Stokes y antiStokes, entre otras; el cociente de las intensidades de estas dos componentes espectrales es función de la temperatura. Este efecto es aprovechado utilizando métodos de reflectometría junto con filtraje espectral.

#### 1.4 Ventajas y Desventajas de los Sensores de Fibra Óptica.

##### 1.4.1 Ventajas de los Sensores de Fibra Óptica.

Usadas como sensores, las fibras presentan ventajas interesantes, entre las que podemos citar:

- 1) Sensibilidad a gran cantidad de parámetros a medir.
- 2) Inmunidad a la interferencia electromagnética, pulsos electromagnéticos, descargas eléctricas y estáticas, debidas a la naturaleza dieléctrica del medio transmisor.
- 3) Gran ancho de banda.
- 4) Eliminación de la electrónica en el punto sensor.

- evitando así los "Lazos de Tierra" e incrementando la tolerancia en ambientes hostiles.
- 5) Alta sensibilidad y Rango Dinámico.
  - 6) Manejo a distancia del sensor por los dispositivos electrónicos.
  - 7) Posibilidad de mediciones distribuidas.
  - 8) Baja atenuación de la luz con la propagación.
  - 9) Facilidad de mantenimiento debido a la localización de fallas y capacidad de evaluar la operación total de múltiples puntos sensores.
  - 10) Alta confiabilidad como resultado de la naturaleza de los materiales en los dispositivos pasivos y de estado sólido.
  - 11) Diseño para uso rudo como resultado de materiales ligeros empleados en su construcción, permitiendo un alto grado de protección al impacto.
  - 12) Operatividad en ambientes hostiles sin degradación de las señales; los sistemas sensores pueden fabricarse con una fibra optica expuesta al punto a sensar, y ubicar en forma remota la electrónica asociada en un ambiente mucho más protegido, siendo particularmente útil en sistemas militares como sonares, misiles, torpedos, controles de navegación, etc.
  - 13) Flexibilidad en las configuraciones, adaptándose a las estructuras existentes de monitoreo.
  - 14) Facilmente interconectables con enlaces de comunicaciones opticas.

- 15) Tamaño y peso reducidos.
- 16) Costos disminuyen con el tiempo.

#### 1.4.2 Desventajas de los Sensores de Fibra Óptica.

Evidentemente los sensores de fibras ópticas presentan una serie de desventajas, las cuales son:

- 1) Se requiere con frecuencia de fibras especiales.
- 2) El procesamiento de la señal en ocasiones es complicado.
- 3) El enlace con el parámetro a medir debe permanecer constante.
- 4) Linealización.
- 5) Calibración.
- 6) Sensibilidad a variables externas.
- 7) Confiabilidad.
- 8) Costo aún elevado.

#### REFERENCIAS.

- 1.1 Rogers A.J. "Principles of Optical Fiber Sensor", procedente de el "Cuarto Simposium Internacional de Ciencia Aplicada e Ingenieria en Optica y Optoelectronica", King's Collage London, Marzo 1987, Tutorial T1.
- 1.2 T.G. Giallorenzi, J.A. Bucaro, J.A. Dandridge. "Optical Fiber Sensor Technology", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 18, No. 4, pp. 626-633 (1982).
- 1.3 W.A. Stallard, A.R. Beaumont, R.C. Booth. "Integrated Optic Devices for Coherent Transmission", IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol. LT-4, No. 7, pp 852-857 (1987).
- 1.4 A.J. Rogers. "Polarization OTDR: a technique for the measurements of field distributions", Applied Optics, Vol. 20, No. 6, pp 1060-1074 (1981).

## CAPITULO II.- ESTUDIO DE SENSORES OPTICOS BASADOS EN REFLECTOMETRIA.

### 2.1 Perdidas Lineales por Dispersión.

Los mecanismos de dispersión causan la transferencia de toda o casi toda la potencia óptica contenida dentro de un modo de propagación hacia el interior de un modo diferente. Este proceso trae como consecuencia la atenuación de la luz transmitida. La transferencia puede ser realizada hacia un modo de fuga o radiación en el cual no continua propagándose la luz dentro del núcleo de la fibra, pero es radiada desde la fibra. Debe hacerse notar que como en todo proceso lineal no hay cambio de frecuencia en la dispersión.

La dispersión lineal puede ser clasificada en dos grandes tipos: Dispersión Rayleigh y Mie. Ambas son el resultado de la interacción de la luz con el material de que está formada la fibra.

#### 2.1.1 Dispersión Rayleigh.

Este fenómeno se presenta debido a inhomogeneidades de naturaleza aleatoria las cuales presentan dimensiones muy pequeña comparadas con la longitud de onda de la luz. Estas inhomogeneidades se manifiestan como fluctuaciones de índice de refracción y provienen de variaciones de densidad y de composición. Las variaciones de composición pueden ser

reducidas perfeccionando el método de fabricación, pero las fluctuaciones de índice de refracción no pueden ser eliminadas. La dispersión de la luz debida a las fluctuaciones de densidad, la cual se presenta en casi todas direcciones, produce una atenuación que es proporcional a  $1/\lambda^4$  de acuerdo a la fórmula de dispersión de Rayleigh. Para un material de una sola componente esto está dado por:

$$Y_R = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} \eta^2 \rho^2 \epsilon_c K T_F \quad (2.1)$$

donde  $Y_R$  es el coeficiente de dispersión de Rayleigh,  $\lambda$  es la longitud de onda óptica,  $n$  es el índice de refracción del medio,  $p$  es el coeficiente fotoelástico promedio,  $\epsilon_c$  es la compresibilidad isotérmica a una temperatura ficticia  $T_F$ , y  $K$  es la constante de Boltzman. La temperatura ficticia está definida como la temperatura a la cual el vidrio puede alcanzar un estado de equilibrio térmico y está íntimamente relacionada con la temperatura de recocido. El coeficiente de dispersión Rayleigh está relacionado con el factor de pérdida de transmisión de la fibra. Siguiendo la relación:

$$\alpha = \exp(-Y_R L) \quad (2.2)$$

donde  $L$  es la longitud de la fibra. Es aparente de la ecuación (2.1) que la componente fundamental de la dispersión Rayleigh se reduce en gran medida operando a longitudes de onda lo mas grandes posibles.

### 2.1.2 Dispersión Mie.

La dispersión lineal también se puede deber a inhomogeneidades cuyo tamaño es comparable con la longitud de onda guiada. Estas resultan de la imperfecta estructura cilíndrica de la guía de onda y pueden ser causadas por defectos de la fibra tales como irregularidades en la unión entre el núcleo y el revestimiento, diferencias de índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento a lo largo de la longitud de la fibra, fluctuaciones de diámetro y burbujas. Cuando el tamaño de la inhomogeneidad de dispersión es mayor que  $\lambda/10$ , la intensidad de dispersión puede ser muy grande.

La dispersión creada por dichas inhomogeneidades es llamada dispersión Mie. Dependiendo de la manufactura, diseño y material de la fibra la dispersión Mie puede causar pérdidas significativas. Las inhomogeneidades pueden ser reducidas por medio de diversas técnicas.

### 2.2 Pérdidas de Dispersión no Lineales.

Las guías de onda óptica no siempre se comportan como canales completamente lineales cuyo incremento de potencia óptica de salida es directamente proporcional a la potencia óptica de entrada. Diversos efectos no lineales se presentan, los cuales en el caso de la dispersión causan una atenuación desproporcionada de la fuente, usualmente a grandes niveles de potencia óptica. Esta dispersión no

lineal ocasiona que la potencia óptica de un modo sea transferida en dirección ya sea de avance o retroceso al mismo modo o a otros modos, a diferente frecuencia óptica. Esto depende criticamente de la densidad de potencia dentro de la fibra y por lo tanto sólo se vuelve significativo arriba de los niveles de potencia de umbral.

Los más importantes tipos de dispersiones no lineales dentro de las fibras ópticas son la dispersión Brillouin y Raman, ambas presentan, en condiciones normales una muy baja intensidad; sin embargo, bajo ciertas condiciones se puede obtener ganancia óptica pero con un cambio en frecuencia contribuyendo a la atenuación de la luz transmitida a una longitud de onda específica [Referencia 2.1].

### 2.2.1 Dispersión Raman Espontánea.

Si se dispersa luz cuasimonocromática de una sustancia dicha luz consistirá principalmente de la misma frecuencia. Sin embargo, es posible observar componentes adicionales muy débiles que tienen frecuencias más altas y más bajas (bandas laterales). Además, la diferencia entre las bandas laterales y la frecuencia  $\nu_i$  es característica del material y por lo tanto sugiere una aplicación a la espectroscopia. El efecto Raman espontáneo, como se llama ahora, fue observado experimentalmente en 1928 por Raman. El efecto fue difícil de poner en uso real porque se necesitaban fuentes que inyectaran gran potencia, pero con la invención del láser se simplificó la observación del fenómeno.

Para apreciar como opera el fenómeno, considérese que una molécula puede absorber energía radiante en el infrarrojo lejano y en las regiones de microondas convirtiéndola en energía vibracional. Además puede absorber fotones infrarrojos (es decir, aquellos que están dentro de un rango de longitudes de onda de aproximadamente  $10 \text{ mm}^2$  hasta alrededor de 700 nm) transformando esa energía en movimiento vibracional de la molécula. Finalmente, una molécula puede absorber energía en las regiones visibles y ultravioleta por medio de un mecanismo de transiciones electrónicas muy parecidas a las de un átomo. Supongamos entonces que tenemos una molécula en algún estado vibracional que, usando notación cuántica, llamamos  $|b\rangle$  como se indica en forma de diagrama en la figura 2.1(a). Esto no tiene que ser necesariamente un estado excitado. Un fotón incidente de energía  $h\nu_i$  es absorbido elevando el sistema a algún estado intermedio o virtual de donde inmediatamente hace una transición Stokes emitiendo un fotón (disperso) de energía  $h\nu_s < h\nu_i$ . Al conservar la energía la diferencia  $h\nu_i - h\nu_s = h\nu_{cb}$  excitará la molécula a un nivel de energía vibracional más alto  $|c\rangle$ . Alternativamente, si el estado inicial es uno excitado, después de absorber y emitir un fotón, puede caer a un estado aún más bajo [fig. 2.1(b)] haciendo así una transición anti-Stokes. En este caso  $h\nu_s > h\nu_i$  lo cual significa que una parte de la energía vibracional de la molécula ( $h\nu_{ba} = h\nu_s - h\nu_i$ ) se ha convertido en energía radiante.

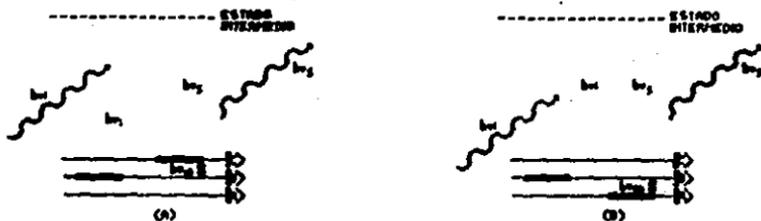


Figura 2.1

En cualquier caso las diferencias resultantes entre  $V_s$  y  $V_i$  corresponden a diferencias específicas en los niveles de energía para la sustancia que se estudia, y como tal da claves sobre su estructura molecular. La figura 2.2, para propósitos de comparación muestra la dispersión Rayleigh donde  $V_s = V_i$  [Referencia 2.2].

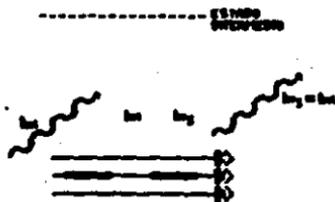


Figura 2.2

### 2.3 Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo.

Considere el arreglo mostrado en la figura 2.3. Pulsos de luz angostos procedentes de un láser son inyectados

repetitivamente dentro de una fibra optica, una pequeña porción de esa luz es dispersada hacia atrás en dirección de la fuente, de cada punto de la fibra, debido a los efectos Rayleigh y Raman.

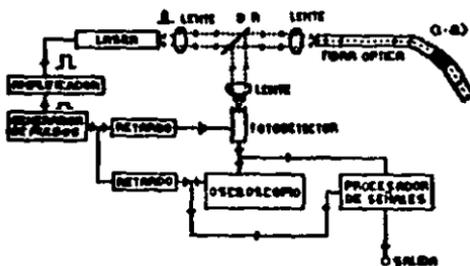


Figura 2.3

Dos tipos distintos de características son observados en la señal de luz retrodispersada. Primera, las reflexiones discretas provenientes de discontinuidades tales como pequeñas burbujas en la fibra y las reflexiones de Fresnel provenientes de rupturas, acopladores, y cierto tipo de uniones. Segunda, un regreso continuo es generado debido a la dispersión Rayleigh de el pulso de prueba. Este tipo de dispersión, la cual aproximadamente es isotropica y proporcional a  $1/\lambda^4$  esta siempre presente cuando la radiación se propaga en materiales amorfos. Esta proviene de momentos dipolares inducidos en el medio de transmisión por fluctuaciones de índice de refracción y por unas menos

extendidas, inhomogeneidades en la concentración del material [Referencia 2.31].

La figura 2.4 muestra un esquema de la potencia reflejada en una fibra "perfecta", proveniente de un pulso el cual es mostrado pasando a través de cinco puntos en la fibra. La potencia de la luz reflejada, medida en el punto de inyección, decae exponencialmente con el tiempo.

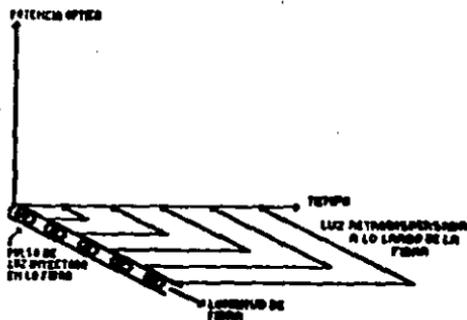


Figura 2.4

Un corte perfecto o una terminación pulida provee un punto de alta reflectividad local, conforme a la ley de Fresnel para la reflexión de la luz en un medio de acoplamiento de diferentes índices de refracción (por ejemplo vidrio y aire). La reflexión de este punto muestra una versión atenuada del pulso inyectado, y causa un pico pronunciado en el trazo. La presencia de un material acoplador de índices de refracción en la unión, o un corte

angulado, o una ruptura en la fibra, produce un pico menos pronunciado. Bajo estas condiciones la presencia de un defecto puede ser detectado por un cambio abrupto en la retrodispersión.

Suponiendo que la velocidad de propagación de la luz a través de la fibra es conocida, y que el tiempo transcurrido entre la inyección del pulso original y el regreso del pulso reflejado es medido, entonces la distancia de cualquier discontinuidad o ruptura puede ser calculado desde el punto de inyección.

La potencia óptica retrodispersada como función del tiempo  $P_{RA}(t)$  puede ser obtenida de la siguiente relación:

$$P_{RA}(t) = 1/2 P_i S \gamma_R W_0 V_g \exp(-\gamma V_g t) \quad (2.3)$$

donde  $P_i$  es la potencia óptica inyectada a la fibra,  $S$  es la fracción de potencia óptica capturada,  $\gamma_R$  es el coeficiente de dispersión Rayleigh (perdida de dispersión por unidad de longitud),  $W_0$  es el ancho del pulso óptico de entrada,  $V_g$  es la velocidad colectiva dentro de la fibra y  $\gamma$  es el coeficiente de atenuación por unidad de longitud para la fibra. La fracción de potencia óptica capturada  $S$  está dada por el cociente del ángulo de aceptación sólido para la fibra entre el ángulo sólido total como:

$$S = \frac{NA^2}{4n_1^2} \quad (2.4)$$

Utilizando las ecuaciones (2.3) y (2.4) es posible determinar la potencia retrodispersada de un punto a lo largo de la longitud del enlace en relación con la potencia óptica de adelante en ese punto [Referencia 2.4].

La figura 2.5 muestra en forma esquemática, como es obtenido un trazo de una fibra óptica la cual contiene uniones, fallas y una terminación pulida.

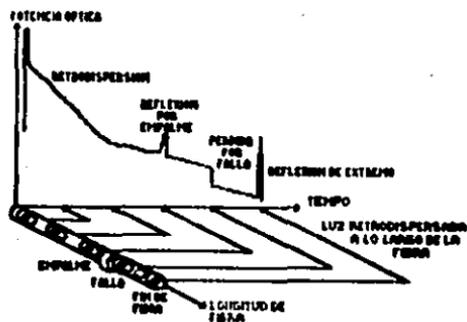


Figura 2.5

La principal ventaja de la técnica es que permite la localización de anomalías, defectos y otras características, sin destruir la fibra. También con esquemas de detección adecuados puede ser utilizada para sensar la distribución espacial de campos externos los cuales afectan las condiciones de propagación de la luz, tales como: eléctricos, magnéticos, esfuerzos, tensiones, y temperatura.

### 2.3.1 Medición de la Temperatura por Medio de Dispersión Rayleigh.

El coeficiente de retrodispersión Rayleigh en el núcleo de un fibra depende de la composición y estructura de el material del núcleo, y estas características son dependientes de la temperatura. La dependencia es particularmente mayor en fibras de núcleo líquido. Existe por lo tanto la posibilidad de utilizar directamente la dependencia en la temperatura de la señal del OTDR para el sensado distribuido de temperatura. La primera demostración de esto fue hecha en una fibra de núcleo líquido, aunque posteriormente fueron también empleadas fibras de núcleo sólido. El arreglo utilizado es mostrado en la figura (2.6).

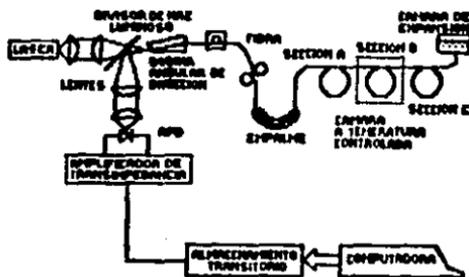


Figura 2.6

Se hace uso de una fibra multimodal y un pulso de láser de 10 ns de duración.

Resultados típicos para fibras de núcleo líquido son mostrados en la figura (2.7), y corresponde a una dependencia de coeficiente de dispersión de 0.42% por grado centigrado. El límite superior de temperatura para el arreglo de núcleo líquido se encuentra a 160 grados centigrados.

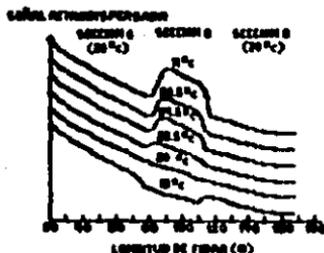


Figura 2.7

Las principales desventajas de la técnica son: la relativamente baja sensibilidad para las fibras de núcleo sólido, y la dependencia de la señal recibida en la estructura del modo. Lo segundo es notoriamente difícil de controlar.

#### 2.4 Reflectómetro de Polarización Óptica en el Dominio del Tiempo.

La figura (2.8) ilustra el arreglo básico para un

reflectómetro de polarización óptica en el dominio del tiempo.

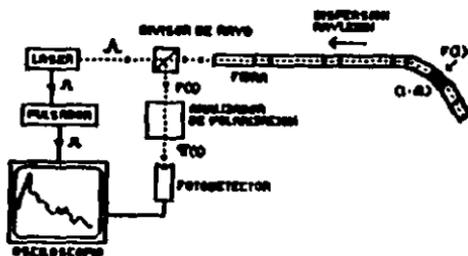


Figura 2.8

Un pulso angosto proveniente de un láser es inyectado dentro de una fibra unimodal vía un divisor de haz de polarización independiente. La dispersión Rayleigh que sufre el pulso conforme va pasando por la fibra es isotrópica y no introduce ninguna modificación de el estado de polarización del medio. Modificaciones a la polarización son, sin embargo, introducidas por un campo externo el cual es una función,  $F(l)$ , de la posición a lo largo del eje de la fibra. Haciendo un análisis del estado de polarización puede inferirse el valor del campo [Referencia 2.5].

## 2.5 Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo de Ramán.

El método del RODTR depende de el monitoreo de la señal dispersada anti-Stokes como función de la distancia a lo

largo de la fibra, la cual a diferencia de la línea Rayleigh, muestra una significativa dependencia de la temperatura, debida a la partición de energía de Maxwell-Boltzman entre los diversos estados vibracionales de las macromoléculas vitreas. En particular, si el cociente entre las líneas Stokes y anti-Stokes es medido, una medición de la temperatura absoluta puede ser realizada, este cociente esta dado por:

$$R(I) = (I_S/I_A)^4 \exp(-hcV/KT) \quad (2.5)$$

donde  $\lambda_a$ ,  $\lambda_s$  son las longitudes de onda de las radiaciones anti-Stokes y Stokes medidos,  $V$  son sus números de onda de separación desde la longitud de onda inyectada,  $h$  es la constante de Planck,  $c$  es la velocidad de la luz,  $k$  es la constante de Boltzman y  $T$  es la temperatura absoluta del núcleo de la sección de la fibra cuya dispersión de luz es recibida.

Esta relación es independiente de la potencia del láser, de las condiciones de inyección y de la composición de la fibra. La única corrección requerida es una pequeña tolerancia para las diferencias en atenuación de la fibra en  $\lambda_a$  y  $\lambda_s$  cuando son usadas grandes longitudes de fibra.

### 2.5.1 Medición Distribuida de Temperatura por Efecto Anti-Stokes

El método depende de el efecto Raman espontáneo, en el

cual la interacción ocurre en el nivel cuántico, así que el efecto corresponde a la absorción de un fotón incidente por la molécula (la cual es elevada hacia un estado de excitación virtual) y a la reemisión de un fotón de diferente energía (y por lo tanto diferente longitud de onda), ya sea más grande o más pequeña que la del fotón incidente. Ahora, si el fotón emitido tiene mayor energía que el original, la molécula debe proveer la energía extra requerida. Esto sólo puede ocurrir si la molécula ya se encuentra en un estado de excitación. El número de moléculas excitadas es dependiente de la temperatura absoluta, y así lo es el nivel de radiación dispersado; permitiendo medir temperaturas absolutas.

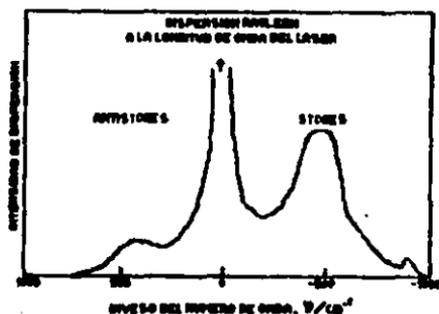


Figura 2.9

El espectro Raman para el silicio es mostrado en la figura (2.9). La estructura de banda (en lugar de líneas) es el resultado de el espaciamiento de las energías de

enlace en un sólido amorfo. La mayor energía de radiación (más pequeña longitud de onda) es conocida como luz anti-Stokes mientras que la menor componente de energía es conocida como luz Stokes.

El arreglo para el empleo de este fenómeno en el sentido distribuido de temperatura es mostrado en la figura (2.10).

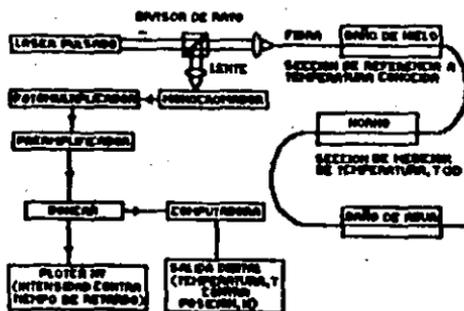


Figura 2.10

Un pulso óptico con gran potencia de pico es inyectado dentro de una fibra óptica multimodal a la frecuencia  $V_i$  y la retrodispersión a las longitudes de onda Stokes y anti-Stokes son detectadas con la ayuda de un monocromador. Un intervalo de frecuencia  $V$ , es convenientemente escogido, y los niveles de radiación en pequeños intervalos alrededor

$$V_s = V_i - V$$

$$V_a = V_i + V$$

son medidos, donde  $V_s$  y  $V_a$  son, respectivamente las frecuencias Stokes y anti-Stokes. La dependencia de temperatura de la radiación anti-Stokes es normalizada dividiendo por el nivel Stokes, con esto se eliminan los efectos que no tienen que ver con la temperatura, los cuales causan pérdidas (ejemplos: atenuación debida al material de la fibra, pérdidas por curvaturas, cambios en la eficiencia de la luz inyectada, etc.). La relación de niveles de potencia esta dada por:

$$R(t) = (V_a/V_s)^4 \exp(-hv/kT) \quad (2.6)$$

la cual confirma la independencia material.

Un sistema experimental ha sido inventado utilizando un láser de Argón, suministrando pulsos de 15 nS a una longitud de onda de 514.5 nm y una potencia pico de 5 W. Las longitudes de onda Stokes y anti-Stokes se encuentran a  $\pm 10$  nm de la línea de los 514.5 nm.

Los resultados para una fibra estándar 50/125  $\mu$ m con secciones a varias temperaturas (como se muestra en la figura (2.10)) son mostrados en la figura (2.11). La resolución de temperatura estimada fue de 5 K y la resolución espacial fue mejor que 5 m. Uno de los problemas con este sistema, es que los niveles de retrodispersión Raman son mucho más pequeños que aún los niveles de retrodispersión Rayleigh, por un factor de 1000. De esta forma, los sistemas de detección deben de ser muy

cuidadosamente diseñados, y su integración a pesar del considerable número de pulsos inyectados es normalmente necesaria; los resultados arriba mencionados fueron obtenidos con un orden de repetición de 40 KHz y 100 segundos de tiempo de integración. Además, puede usarse un láser semiconductor, en lugar de un láser de gas de alta potencia pico, debe ser usado. Esto reducirá los niveles de retrodispersión por alrededor de otro orden de magnitud. Los cálculos han mostrado, sin embargo, que aún con un láser semiconductor, cuidadosamente diseñado debe alcanzarse una resolución de temperatura de 1 K, resolución espacial de 2 a 10 m sobre un rango de 1 Km con un tiempo de medición de 1 Segundo.

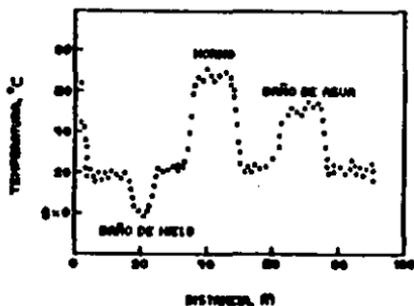


Figura 2.11

Una característica importante, digna de enfatizar, es que esta técnica efectivamente permite que cualquier fibra óptica actualmente instalada se convierta, en un sensor distribuido de temperatura no importando para que propósito fue originalmente instalada [Referencia 2.6].

## REFERENCIAS

- 2.1 Senior John M., "Optical Fiber Communications", Prentice / Hall International, London England, 1985.
- 2.2 Malacara H. Daniel, "Optica", Fondo Educativo Internacional, México D.F., 1980.
- 2.3 Danielson Bruce L., "Optical Time-Domin Reflectometer Specifications and Performance Testing", Appl. Opt. vol. 24, No. 15, pp. 2313-2322, 1985.
- 2.4 Rogers A. J., "Principles of Optical Fiber Sensor", "Cuarto Simposium Internacional de Ciencia Aplicada e Ingeniería en Optica y Optoelectrónica", King's College, London, Marzo 1987, Tutorial T1.
- 2.5 Roger A. J. "Polarisation-Optical Time Domain Reflectometry a Technique for Measurement of Field Distributions", Appl. Opt. Vol. 20, No. 6, pp. 1060-1074, 1981.
- 2.6 Dakin J. P., Pratt D. J., Ross J. N., Bibby G. W. "Distributed Optical Fiber Raman Temperature Sensor Using a Semiconductor Light Source and Detector", Electronics Letters Vol. 21, No. 13, 1985.

## CAPITULO III.- SENSOR DISTRIBUIDO DE TEMPERATURA

### 3.1 Breve Descripción del Principio de Funcionamiento.

El sensor distribuido de temperatura funciona mediante el principio de enviar un pulso angosto de luz coherente dentro de una fibra óptica, por medio de un láser semiconductor excitado por una fuente pulsada. Este pulso de luz se va retrodispersando en cada punto de la fibra, de manera que de acuerdo al efecto Raman habrá dos retrodispersiones de luz en dos diferentes longitudes de onda: una por arriba y otra por debajo de la longitud de onda de emisión.

La duración total de la señal retrodispersada es proporcional al largo de la fibra y cada punto de ésta señal corresponde a uno en la fibra, de esta forma, si la retrodispersión cambia en amplitud de acuerdo a la temperatura; como es el caso de la señal retrodispersada de menor longitud de onda, se obtendrá un pulso retrodispersado con diferentes amplitudes en cada punto directamente proporcionales a la temperatura en cada porción de la fibra. Es decir, se obtendrá un pulso retrodispersado en forma de exponencial decauyente, pero modulado en amplitud en cada punto por la temperatura existente en la parte correspondiente a esa contribución del pulso en la fibra.

Las dos señales retrodispersadas son separadas espacialmente por una rejilla de difracción e introducidas a dos fotoreceptores. No obstante que solamente la señal que

retrodispersa con menor longitud de onda, es la que porta la información de la temperatura, es necesario recibir la señal de mayor longitud de onda para utilizarla como señal de referencia, por si hubiese algún cambio en la potencia de emisión o algún cambio por pérdidas dentro de la fibra, logrando así que el sistema se vuelva inmune a dichos cambios.

Las señales recibidas por los fotoreceptores son amplificadas y corregidas logarítmicamente, para posteriormente ser restadas (lo cual al sacar el antilogaritmo, correspondería a la división de las señales). Una vez que se han restado, la señal resultante es muestreada por un convertidor analógico-digital ráfaga, de 8 bits, el cual es controlado por un microprocesador, con el objeto de señalarle por medio de líneas de retardo programables, en que punto del pulso retrodispersado (ya procesado por los amplificadores logarítmicos y restado), se debe muestrear.

Se hace la suposición de que la temperatura es una variable lenta, por lo que se puede advertir que si se emiten pulsos con una tasa de repetición del orden de unos 10 KHz, cuando menos 10,000 pulsos no cambiarán en forma. Lo que significa que el convertidor analógico-digital podrá muestrear un punto de cada uno de los 10,000 pulsos, desfasado al anterior tanto como se quiera. Es decir, si el pulso de retorno dura 10 microsegundos, el convertidor

analógico-digital podrá muestrear en el primer pulso de regreso, una conversión de los 10 primeros nanosegundos; en el siguiente la conversión será a los 20 nanosegundos; en el siguiente a los 30 nanosegundos y así sucesivamente hasta lograr el equivalente, de barrer todo un pulso de regreso y con esto se obtiene un mejoramiento en la resolución del instrumento; puesto que si el convertidor puede atrapar un dato en un tiempo del orden de los picosegundos y las conversiones se están haciendo espaciadas en una forma equivalente cada 10 nanosegundos se tendría una tasa de muestreo similar a 100 MHz.

Una vez que el convertidor muestrea un punto el microprocesador lo coloca dentro de una memoria, y es obligación de otro sistema tomarlo de ahí y procesarlo para quitarle el ruido y desplegarla en pantalla.

Gran parte del esquema mencionado anteriormente es supervisado por otro dispositivo el cual, es el motivo de esta tesis, y tiene como objeto controlar al sistema en forma remota, y además comunicarlo a otros instrumentos por medio del ducto estándar IEEE-488.

### 3.2 Fuente Pulsada para el Láser.

Esta fuente sirve para excitar al láser semiconductor que se va a emplear para insertar pulso de luz coherente dentro de la fibra óptica, con una determinada tasa de repetición.

De esta manera el instrumento proporciona al láser, pulsos eléctricos de 80 nanosegundos de duración, con una amplitud variable de 0 a 60 Amperes y una frecuencia seleccionable entre 1 y 10 KHz.

Este sistema tiene varias formas de operar:

- a) Manual Autónomo. El dispositivo genera pulsos eléctricos, con una amplitud y una frecuencia seleccionada por el operador de acuerdo a sus necesidades por medio de dos perillas, las cuales manejan respectivamente a la frecuencia y a la amplitud, desplegándose el valor de cada variable en un visualizador de cristal líquido.
- b) Manual Gobernado. El dispositivo genera una base de pulsos, los cuales avisan con su flanco de subida a un sistema inteligente externo (upi), que la fuente está lista para excitar al láser; sin embargo, la fuente no lo hará hasta que reciba autorización del sistema externo. Lo anterior es necesario para sincronizar a ambos sistemas. En este modo de funcionamiento, el operador selecciona la amplitud y la frecuencia en forma manual como se indicó en el caso anterior.

\* NOTA: Una vez que se suscita un flanco de subida, de la base de pulsos, transcurre un tiempo del orden de unidades de microsegundos como máximo en forma constante, por lo que se garantiza que antes que se presente el siguiente flanco, la fuente ya excitó al láser; de esta forma la frecuencia de la base de pulsos es también en este caso la tasa de repetición del láser.

c) Remoto Autónomo. Para este modo de operación, la fuente está provista con dos salidas analógicas, además de la salida al láser y un puerto de entrada digital de 16 bits. Las salidas analógicas dan información de la frecuencia y amplitud del pulso, en niveles contemplados entre 0 y 2 volts a un sistema externo (up2), que periódicamente los está sensando y que los puede variar a sus gusto por medio del puerto digital, el cual está distribuido de la siguiente manera: los 8 bits mas significativos, eligen la frecuencia y los 8 menos significativos eligen la amplitud.

d) Remoto Gobernado. En este modo de operación la fuente genera una base de pulsos, que avisan con su flanco de subida a un sistema externo inteligente (up1), que está listo para excitar al láser, y lo hará hasta que se le autorice. La amplitud y la tasa de repetición son elegidas y monitorizadas por un sistema controlador (up2), el cual puede estar conectado a una computadora o a un sistema de entrada/salida, por medio del ducto estándar IEEE-488.

### 3.3 Amplificadores de Banda Ancha.

Una vez insertado el pulso de luz en la fibra, esto empieza a viajar dentro de ella, y también a

retrodispersarse en cada punto de esta. Esta retrodispersión según el efecto Raman puede ser en tres diferentes longitudes de ondas: En la de transmisión, en una longitud de onda más elevada y en una longitud de onda más pequeña.

Sin embargo, la retrodispersión en la longitud de onda más pequeña a la de transmisión, es sensible en su amplitud a la temperatura, razón por la cual esta señal es la que interesa sensar con un foto amplificador de banda ancha. Para tener un sistema inmune a los cambios de amplitud de la fuente luminosa, y a las pérdidas propias de la fibra, es necesario referenciar la señal presentada anteriormente, con otra la cual es precisamente la que regresa con una mayor longitud de onda; por lo que es necesario el segundo fotoamplificador.

La banda ancha del amplificador es necesaria, debido a que el pulso que trae información de la temperatura, guarda una duración que identifica a cada punto del pulso de regreso con cada punto recorrido en la fibra, y de esta manera la amplitud de cada parte de la señal, es proporcional a la temperatura en un tramo de la fibra; esta resolución será mejorada entre más ancha sea la gama de recepción, en frecuencia del fotoamplificador.

Los amplificadores se encuentran dentro de un sistema que permite varias formas de operación las cuales son:

- a) Manual Autónomo. En esta forma el operador puede controlar, manualmente la polarización del fotodiodo de avalancha, que fluctúa entre 0 y 170 volts.
- b) Manual Gobernado. En este modo el operador, puede controlar la polarización del fotodiodo de avalancha manualmente, pero ésta estará presente, unicamente cuando sea autorizada por un dispositivo externo.
- c) Remoto Autónomo. En esta forma, el sistema ofrece una salida de 0 a 2 volts, que da el estado de polarización del fotodiodo de avalancha, y consta con un puerto de entrada de 16 bits, por medio del cual se controlará la polarización.
- d) Remoto Gobernado. En este modo, el sistema es manejado en cuanto a su polarización por un dispositivo externo (up2), mediante el puerto digital, y esta polarización será autorizada por otro sistema inteligente (up1).

### 3.4 Amplificadores Logarítmicos.

Como el pulso retrodispersado, va decayendo exponencialmente a medida que la retrodispersion se debe a puntos mas alejados a la parte de inyección, es necesario darle una corrección logarítmica; para que cuando sea digitalizada, el error de cuantización disminuya, al mismo tiempo que facilita la división, entre las dos señales que

se detectan, para obtener un cociente, que como se dijo en la explicación de los fotoamplificadores, permite tener una señal referenciada, es decir, lo más inmune posible a los cambios de amplitud en el láser y a las pérdidas de las fibras.

Estos amplificadores logarítmicos constan de un empalmador, que recupera el nivel de "DC" de la señal, una red logarítmica, conformada por diodos, polarizados a diferentes voltajes, y una etapa de amplificación lineal, que introduce su salida a un sumador.

## CAPITULO IV.- ESTUDIO Y DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE CONTROL

### 4.1 Adquisición de Variables.

Como se menciono en el capitulo anterior, una parte muy importante del sensor distribuido de temperatura es el subsistema de control el cual tiene a su cargo las siguientes funciones:

1. Se encarga de suministrarle al sistema en forma remota las condiciones de operación, como son: voltaje de polarización de los fotoreceptores APD, y la frecuencia y amplitud de la fuente pulsada de láser.
2. Supervisar el correcto funcionamiento del mismo.
3. Desplegar en pantalla los datos obtenidos de temperatura.
4. En caso de falla dar el prudente aviso.

Para realizar estas funciones, el subsistema de control requiere tener 2 clases de señales. unas de entrada y otras de salida. Con las señales de entrada el subsistema conoce el estado de funcionamiento del sistema y las condiciones de operación seleccionadas por el operador. Y con las señales de salida da a conocer al sistema la forma en la cual el operador quiere que éste funcione, así como las señales de alarma y el despliegue de los datos de la variable sensada.

Debido a la configuración del sistema, las señales de

entrada pueden ser analógicas o digitales y las señales de salida solamente son de tipo digital.

#### 4.1.1 Entradas Digitales.

La mayor parte de los instrumentos requieren de una forma de programación por parte de un usuario u operador. En el caso del presente sistema como ya se mencionó, la forma de operar se puede llevar a cabo de dos formas que son: manual y remota.

Para el caso de la forma de operación remota, se debía pensar en como transmitirle al sistema las condiciones de operación, por lo que se decidió que la mejor forma era por medio de una computadora, a través de un ducto estándar. Como es bien sabido el protocolo de comunicación de las computadoras es de tipo digital, de manera que el subsistema tiene que poseer entradas de este tipo para poder recibir las condiciones de operación por parte del operador.

Codificando en 8 bits la computadora manda al puerto de entrada del subsistema de control un dato el cual como mas adelante se podrá observar, corresponderá a la selección de una forma de operación.

#### 4.1.2 Salidas Digitales.

En cuanto el subsistema de control recibe por parte de la computadora los datos de operación, éste debe codificarlos

de tal manera que a cada octeto (byte) le corresponda ya sea un voltaje para los fotodetectores APD, o una frecuencia o una corriente para la fuente pulsada del láser.

Una vez que el subsistema codifica el dato de operación lo debe enviar al sistema por medio de un puerto de interconexión digital sistema-subsistema de control.

También debe contar con otro puerto por el cual se manden los datos obtenidos del sensado de la temperatura a través del ducto estándar y de esta forma poder visualizar por medio de algún instrumento (osciloscopio, computadora, impresora, etc.), en forma gráfica dichos datos.

Por otra parte cuando se presenta alguna anomalía en el sistema, el subsistema de control debe manifestar por medio de un puerto de salida que algo en el sistema anda mal. Al igual que para los datos de operación, a las anomalías también le corresponden determinados octetos; esto es, si falla un fotoreceptor, el subsistema de control manda un octeto por ese puerto que indica, que determinada anomalía se presentó, así como el dispositivo que presenta esa anomalía.

#### 4.1.3 Entradas Analógicas.

Todo subsistema de control requiere de una serie de señales de retroalimentación para poder conocer el estado de funcionamiento de el sistema controlado, y poder así

mantenerlo operando correctamente.

En caso del presente subsistema de control las señales de retroalimentación son voltajes de corriente directa las cuales son proporcionales a las siguientes parámetros del sensor distribuido de temperatura:

1. Voltajes de polarización de los fotodetectores APD.
2. Frecuencia de la fuente pulsada del laser.
3. Corriente de la fuente pulsada del laser.

Estos voltajes son convertidos a señales digitales y luego comparados con las señales enviadas al sensor, con el objeto de saber si lo que se esta enviando al sensor, es llevado a cabo.

#### 4.2 Secuencia de Realización de Proceso.

Para que el subsistema de control pueda realizar correctamente su labor, debe establecerse una secuencia de eventos los cuales deben contemplar todas las necesidades del sistema; de igual manera, se deben tener presentes las necesidades propias del subsistema de control.

En el instante en el que se enciende el sistema, el subsistema de control comienza a realizar sus funciones llevando a cabo una autoprueba de algunos de sus componentes, para poder determinar si se encuentra en condiciones de controlar al sistema. Una vez que se

verificó que el subsistema de control es capaz de realizar sus funciones, se debe verificar en que posición se encuentra el interruptor Local/Remoto.

Si el interruptor está en la posición de remoto, la primera función del subsistema de control es la de poner al sistema en condiciones iniciales iguales a cero. Inmediatamente después de hacer esto, debe estar listo para recibir los datos portadores de las condiciones de operación que el operador suministrará al sistema por medio de una computadora, a través del ducto estándar.

Los parámetros del sistema que pueden ser modificados a través del ducto estándar por medio del subsistema de control son los siguientes:

1. Corriente y frecuencia de la fuente pulsada del láser.
2. Voltaje de polarización de los fotoreceptores APD.

En cuanto el subsistema de control recibe todos los datos de operación del sistema, los envía a este último para que comience a funcionar.

A fin de saber si el dato recibido por el sistema es el mismo que envía el subsistema de control, este primero debe suministrarle al subsistema un parámetro de retroalimentación que sea proporcional al dato de operación con el cual se encuentra funcionando en este momento. El parámetro de retroalimentación, que para el caso de este

sistema es un voltaje de corriente directa, es enviando todo el tiempo que permanece encendido el sistema, sin importar la forma de operación del mismo.

Cuando el subsistema de control a terminado de verificar que todos y cada uno de los datos de operación fueron recibidos correctamente, debe cuidar que estos permanescan constantes mientras el operador no los modifique. De igual manera debe verificar que estos no lleguen a los valores máximos ni mínimos, ya que si llega a suceder esto sin que el operador lo hubiera deseado, significaría que algo en el sistema no esta funcionando bien.

Como otra de las funciones del subsistema de control es la de desplegar en pantalla o en papel, en forma gráfica los datos obtenidos de la variable sensada, tiene que estar pendiente de enviarlos al instrumento de despliegue en el momento en que el operador lo requiera; siempre y cuando el subsistema no se encuentre realizando una tarea de mayor prioridad. En caso de que esto sucediera, el despliegue se realizaría en cuanto el subsistema terminara de realizar esa tarea.

En el caso de que a la hora de encender el sistema, el interruptor Local/Remoto se encuentre en la posición de local, se realiza la autopruueba del subsistema de control. Pero ahora sus funciones quedan limitadas a verificar que los parámetros de operación no sean máximos ni mínimos y a desplegar los datos obtenidos de la variable sensada; ya que

no importa en que posición se encuentra el interruptor Local/Remoto para que se lleve a cabo esta función.

Si llega a darse el caso en el que el sistema comience funcionando en forma local y luego el operador quiere cambia a forma remota pero sin que se alteren las condiciones de operación. El subsistema de control debe tomar el parámetro de retroalimentación de cada una de las condiciones de operación y almacenarlas de manera que le sirvan como la base de datos que el subsistema de control debe enviar al sistema cuando funciona en forma remota. A partir del momento que el subsistema almacena los parámetros de retroalimentación y los envía el sistema, las funciones que este debe realizar son las especificadas para la forma de operación remota.

Si estando operando en forma remota, el operador quiere cambia a forma local, el subsistema de control debe dejar de verificar si el dato enviado por este es recibido por el sistema y limitarse a llevar a cabo las funciones de la forma de operación local.

#### 4.3 Toma de Decisiones.

Durante el tiempo en el que el subsistema de control se encuentra realizando sus funciones, surgen una serie de situaciones por las cuales se ve en la necesidad de tomar cierto tipo de decisiones, que corrigen o manifiestan un cambio en el funcionamiento del sistema.

Las condiciones por las cuales el subsistema de control debe de tomar una decisión, son las siguientes:

- Si en el momento de encender el sistema y realizar la autoprueba del subsistema de control, éste encuentra que uno de sus componentes no está funcionando, debe decidir si puede o no poner a funcionar al sistema, aún a pesar de que el operador le mande los datos de operación.
- Como se mencionó con anterioridad el sistema puede funcionar de dos formas que son: local y remota dependiendo de la posición en la que se encuentre el interruptor que controla la forma de operación. En el instante en el que el subsistema de control verifica la posición de este interruptor, debe decidir que rutina llevar a cabo, ya que las funciones desempeñadas por este varían de acuerdo a la posición del mismo.
- Una de las funciones del subsistema de control, cuando el sistema se encuentra funcionando en forma remota (como ya antes se dijo), es la de adquirir los datos de operación, los cuales deben ser suministrados al subsistema de control apeándose a ciertas condiciones, que más adelante se mencionarán. Debido a estas condiciones el subsistema de control tiene que decidir que datos aceptar y cuales rechazar, para

evitar que exista un mal funcionamiento en el sistema.

- Cuando el subsistema de control manda al sistema un dato con alguna condición de operación, éste al recibirlo manda de regreso al subsistema un voltaje de corriente directa el cual es proporcional al dato que fue recibido. Si el voltaje no corresponde al dato enviado, el subsistema de control debe entender que por algún motivo no fue recibido correctamente el dato, por lo que debe tomar la decisión de volver a mandarlo. Esta decisión también es tomada, si en plena operación del sistema, el subsistema de control se da cuenta de que alguno o algunos de los parámetros con los que en ese momento está funcionando no corresponden a los parámetros que el operador seleccionó al poner a funcionar al sistema; ya que éstos deben permanecer constantes a menos que el operador los modifique.
- En el supuesto caso de que, en el momento en el cual el subsistema de control está verificando si las condiciones de operación permanecen constantes, uno de los parámetros por alguna condición anormal tiene un valor ya sea superior al que el sistema puede manejar o cero, el subsistema de control debe escoger el tipo de alarma que se tiene que encender, para que el operador se entere de que existe alguna anomalía y pueda tomar las medidas necesarias que restablezcan

las condiciones normales de operación.

- \* La más importante decisión que el subsistema de control debe tomar, es la de suspender toda actividad del sistema, si la señal de nivel alto o bajo de alguno de los parámetros permanece constante por un determinado periodo de tiempo, con el fin de evitarle al sistema un desperfecto mayor.
- \* Si llega a suceder que se tengan que desplegar los datos obtenidos de la variable sensada y al mismo tiempo se detecta que alguno de los parámetros controlados está fuera de rango, el subsistema de control debe determinar si puede desplegar los datos y luego encender la señal de alarma o bien, no atender el despliegue de los datos hasta que se restablezcan las condiciones normales de operación y encender la señal y/o desactivar el sistema según sea el caso.

#### 4.4 Algoritmos de Inicialización, Adquisición y Supervisión.

Hasta el momento se han mencionado las funciones que debe llevar acabo el subsistema de control pero no se han analizado en forma detallada los procesos que debe realizar este para que pueda cumplir con todas sus obligaciones. Por lo que en el presente punto se mencionará todo lo relacionado con dichos procesos.

#### 4.4.1 Algoritmo de Inicialización.

Para que el subsistema de control pueda supervisar en forma conveniente al sistema, debe encontrarse en perfectas condiciones de funcionamiento, por lo que antes de supervisar al mismo deberá revisar que todos sus componentes se encuentren en condiciones óptimas de operación.

Ahora la pregunta es: ¿Cómo poder saber si los componentes de subsistema funcionan bien? La respuesta es sencilla. Los componentes del subsistema cuya función es crítica en la supervisión y control del sistema, realizarán una rutina y se verificará si la llevaron a cabo o no.

Si en el momento en el que se está realizando la autopruueba, alguno de los componentes presenta algún desperfecto, el subsistema de control debe determinar si el desperfecto presentado es lo suficientemente grave como para impedir que este lleve a cabo su labor; ya que en caso de serlo, evitará que el sistema funcione a pesar de que (como se mencionó antes), el operador mande los datos de operación. Además se deberá encender una señal de alarma que le permita al operador saber el porque el sistema no responde a los datos enviados por éste; en caso de que el subsistema no haya permitido que funcione el sistema. O bien hacerle notar al operador que el sistema está funcionando pero sin la correcta supervisión del subsistema.

Una vez que el subsistema de control ha pasado su prueba

de funcionamiento, tiene que verificar, que forma de operación debe llevar a cabo, ensando la posición del interruptor que controla las dos formas de operación del sistema.

Si la forma de operación seleccionada al encender el instrumento, es la local, el subsistema de control pasará a realizar la rutina de supervisión que se analizará después.

Pero si por el contrario, la forma de operación seleccionada, es la remota, antes de realizar cualquiera de sus funciones, el subsistema de control debe suministrar al sistema los datos necesarios para que las condiciones iniciales de esta sean cero.

El orden con el cual el subsistema va a suministrar las condiciones iniciales es el siguiente:

- \* Primeramente debe mandar a la fuente pulsada del láser el dato que haga que la corriente de esta sea cero.
- \* Posteriormente mandará el dato para que la frecuencia de esta misma también sea cero.
- \* Finalmente debe mandar el dato que haga que el voltaje de polarización de los dos fotoreceptores sea de igual manera nulo.

El operador podrá conocer que las condiciones iniciales del sistema son nulas cuando se enciendan las señales de nivel bajo de cada uno de los dispositivos anteriormente

mencionados. Sólo hasta que ocurra esto, el operador deberá conectar el láser, ya que de hacerlo sin que se hallan dado estas condiciones se podría dañar este.

El subsistema de control tendrá conocimiento de que las condiciones iniciales son cero, leyendo los voltajes de retroalimentación enviadas por el sistema de cada uno de los parámetros anteriormente mencionados.

Una vez que el subsistema se asegurará que se han cumplido con las condiciones iniciales pasará a realizar la rutina de adquisición de datos de operación.

La figura 4.1 muestra el diagrama de flujo de la rutina de inicialización.

#### 4.4.2 Algoritmo de Adquisición y Procesamiento de los Parámetros de Operación.

Si se desea que el sistema funcione en forma remota es necesario que a éste se le suministren las condiciones de operación por medio de una computadora a través de un ducto estándar. Para poder suministrarle al sistema las condiciones de operación es necesario que primero haya pasado la prueba de inicialización.

El encargado de recibir los datos de operación del sistema enviados por el operador, es el subsistema de control; puesto que la computadora envía caracteres ASCII y el sistema requiere ser programado con caracteres

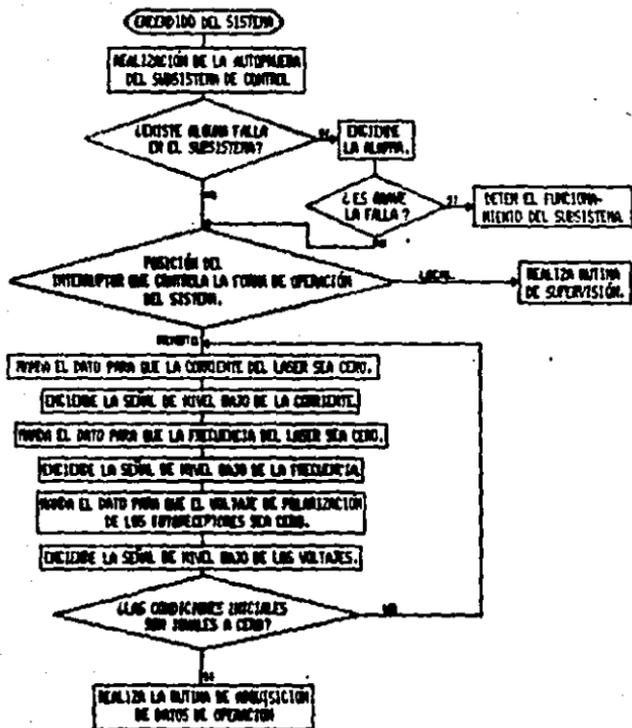


FIGURA 4.1

hexadecimales codificados, además debe seleccionar que caracteres aceptar y cuales rechazar con el fin de evitar que en el sistema existan confusiones.

El proceso que debe realizar el subsistema de control para recibir, validar, convertir, codificar y enviar al sistema los datos de operación es el siguiente:

Como el sistema está diseñado para que se le pueda cambiar el tipo de láser, es muy importante que el primer dato que recibe el subsistema de control sea la característica de corriente máxima soportada por éste; ya que si es omitido este dato, el subsistema tomará el valor máximo al cual el sistema es capaz de operar, que es el de 60 Amperes.

Después de recibir el valor de la característica de corriente máxima del láser el subsistema de control debe recibir el valor del voltaje de polarización de los fotoreceptores. Al recibirlo verifica que se encuentre entre 0 y 170 volts que es el rango admisible por el sistema si no se encuentra dentro del rango envía un mensaje de error y si lo está, convierte el valor a hexadecimal. Posteriormente ese valor es codificado en 8 bits entre 0H que es el valor correspondiente a cero volts y FFH que es el valor de 170 volts mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{(FFH) (X)}{a} - 4.1$$

Donde:

C = Es el número codificado.  
X = Es el valor del número

suministrado por el  
operador ya convertido a  
hexadecimal.  
a = El valor máximo admisible  
del parámetro a codificar.

Una vez que se obtuvo el valor hexadecimal codificado que corresponde al voltaje deseado el subsistema de control debe seleccionar a cual de los dos fotoreceptores corresponde ese valor y almacenarlo. La misma secuencia de eventos se realiza para el otro fotoreceptor.

El siguiente dato que el subsistema de control tiene que recibir es el valor de la frecuencia a la que debe oscilar la fuente pulsada del láser. Al recibirlo verifica que se encuentre entre 1 KHz y 10 KHz. Si el valor enviado es mayor o menor a este rango, el subsistema envía un mensaje de error, y si se encuentra dentro del rango, convierte ese valor a uno hexadecimal para que luego utilizando la ecuación (4.1) lo codifique en 8 bits, de manera que 0H equivalga a 1 KHz y FFH a 10 KHz. Posteriormente el valor es almacenado.

El último dato que tiene que recibir el subsistema de control es el valor de la corriente que debe suministrar la fuente pulsada al láser. En cuanto lo recibe examina si se encuentra en el rango de 0 a 60 Amperes. Si el dato enviado está fuera de este rango, se envía un mensaje de error y si el dato está dentro del rango admisible lo convierte a hexadecimal y lo codifica en 7 bits, siendo 0H igual a 0 Amperes y 7FH igual a 60 Amperes. El dato ya codificado es

almaconado.

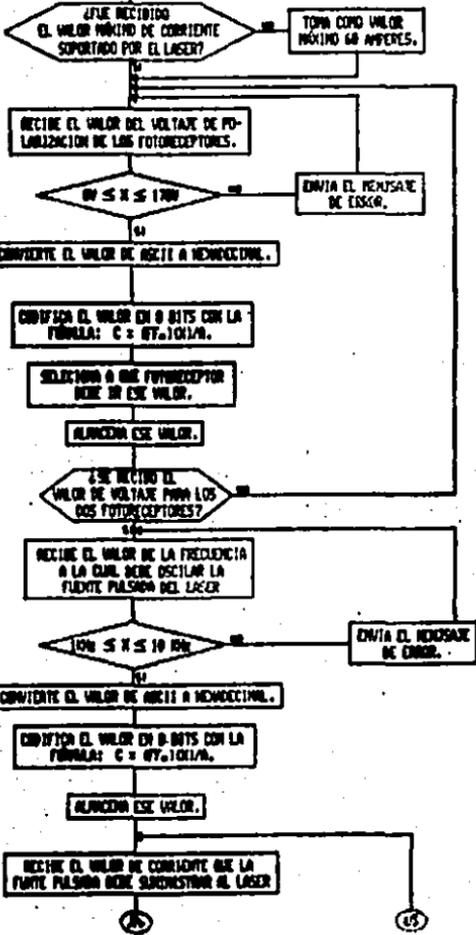
Para que los parámetros de operación del sistema puedan ser enviados a éste, es necesario que el operador mande al subsistema de control la señal de que ha terminado de enviar los parámetros de operación del sistema. En cuanto éste recibe la señal, verifica que ninguno de los parámetros tenga un valor igual a cero o máximo, ya que, si el subsistema detecta que alguno de ellos tiene un valor así, enciende la señal de nivel alto o bajo según el caso de que se trate; ésto lo hace el subsistema con el objeto de que el operador visualice que uno o varios de los parámetros tienen valores que pondrían al sistema a funcionar en los límites.

Para que los datos puedan ser enviados al sistema si se dió esta condición, es necesario que el operador mande una señal que confirme que los parámetros enviados por él son los que debe tener el sistema.

La figura 4.2 muestra el diagrama de flujo del algoritmo.

Como se podrá observar la corriente de la fuente pulsada de el laser es codificada con 7 bits; ya que el bit restante sirve para seleccionar lo que se va a visualizar en la pantalla de la fuente pulsada ya sea el valor de la corriente o el de la frecuencia.

ENCIO DE LA RUTINA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE OPERACION



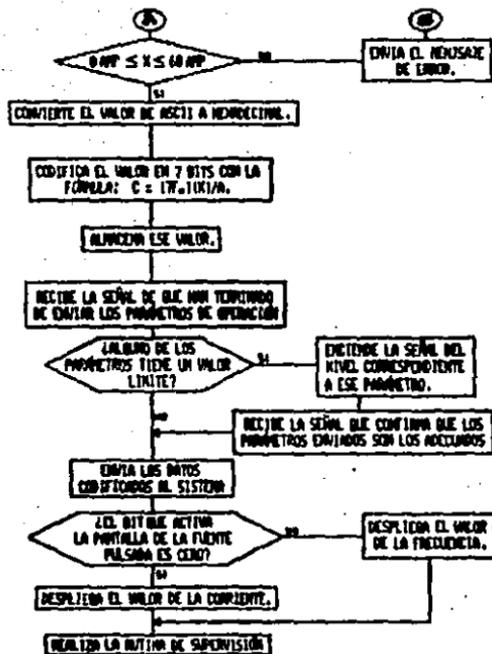


FIGURA 4.2

#### 4.4.3 Algoritmo de Supervision.

Para tener la seguridad de que el sistema esta funcionando de acuerdo a las condiciones de operacion previamente establecidas por el operador, es necesario que el subsistema de control cuente con una rutina que supervise que estas condiciones permanecen constantes durante el tiempo en el que el sistema esta en funcionamiento; siempre y cuando el operador no los modifique. La rutina debe contemplar tambien la adquisicion de los datos obtenidos de la variable sensada y el despliegue de los mismos por medio de algun instrumento.

La rutina que se debe establecer para que sea llevada a cabo por el subsistema de control despues de tener en cuenta estos aspectos es la siguiente:

- \* Como primer paso lee el voltaje de retroalimentacion que es proporcional a la corriente que suministra la fuente pulsada al laser, lo codifica en 7 bits y lo compara con el valor suministrado por el operador al programar el instrumento. Si los dos valores son iguales, pasara a realizar el siguiente bloque. Pero si no lo son, lo compara con el valor maximo admisible. Cuando este valor resulta ser igual o superior al valor admisible, el subsistema de control debe desactivar la fuente del laser y encender la señal de nivel alto designada para la corriente. En caso de que al hacer la comparacion, el valor obtenido

no es igual o superior al admisible, realizará la comparación ahora con cero. De ser igual a este valor encenderá la señal de nivel bajo de la corriente.

Es probable que el valor de retroalimentación no sea igual al valor máximo ni al mínimo y el motivo por el cual no coinciden los dos valores, puede deberse a algún tipo de interferencia presentada cuando se estaba programando al sistema. Por lo que el subsistema de control mandará el valor de corriente con el que debería estar funcionando el sistema. En cuanto el subsistema de control recibe el voltaje de retroalimentación del nuevo valor, lo comparará con el valor de referencia (que es el que el subsistema mando al sistema). Si nuevamente no coinciden ambos valores, el subsistema encenderá la señal de que el sistema no se puede sincronizar con el dato de operación que el subsistema le envió. Esta señal indicará al operador que el sistema esta funcionando, pero no bajo el valor que éste seleccionó.

- El segundo bloque de la rutina es similar al primero, ya que en esencia los pasos a realizar casi son los mismos. Primero lee el voltaje de retroalimentación proporcional a la frecuencia que la fuente pulsada suministra al láser. Luego codifica en 8 bits ese valor y lo compara con el valor de referencia. Si los dos valores son idénticos pasa a realizar el tercer

bloque. En caso de no serlo hace la comparación primero con el valor máximo, que para este caso es de 10 kHz y luego con el mínimo (cero Hertz), encendiéndose la señal que corresponda, si en alguno de los dos casos llegaran a ser iguales los dos valores.

Cuando se da el caso en el que la frecuencia es nula, además de encenderse la señal de nivel alto se debe desactivar la fuente del láser para evitarle a este un posible daño.

Así como en el caso de la corriente, el subsistema de control debe mandar el valor de frecuencia con el cual el sistema tiene que funcionar, siempre y cuando se haya comprobado que el valor codificado de retroalimentación no es igual al máximo ni al mínimo. Si en el momento en el que el subsistema de control verifica si el sistema ha puesto a funcionar a la fuente pulsada con el valor de frecuencia deseada se percata de que nuevamente los valores son diferentes, se debe encender la señal de que el sistema no puede sincronizarse al valor de frecuencia deseada.

- \* El tercer bloque de esta rutina es igual al primero, nada más que ahora los parámetros que se deben supervisar son los voltajes de alimentación de los fotoreceptores, cuyo valor máximo no debe exceder de los 170 volts. En caso de que este voltaje sea igual

o mayor a los 170 volts, el subsistema de control deberá desactivar el fotoreceptor que presente esta condición, y también encenderá la señal de nivel máximo.

- \* Una vez que el subsistema de control comprobó que el sistema esta funcionando de acuerdo a lo programado, debe verificar si hay datos enviados, por la parte del sistema que se encarga de procesar los datos obtenidos de la variable sensada. En caso de que si los haya el subsistema de control debe tomarlos y guardarlos, hasta el momento en el que exista una petición por parte del operador de que se despliequen los datos. Es en este momento cuando los datos son enviados por el ducto estándar hacia un instrumento que los mostrara en forma gráfica.
- \* El subsistema de control debe permanecer realizando la rutina anteriormente mencionada hasta que exista alguna petición de que se cambien las condiciones de operación. En el momento que ocurra esto, el subsistema de control pasara a realizar la rutina de adquisicion de datos de operación.

La figura 4.3 muestra el diagrama de flujo de esta rutina.

INICIO RUTINA SUPERVISION

LEE EL VOLTAJE DE RETORNO IDENTIFICACION  
FRENQUENTEMENTE DE LA FUENTE DE LA  
FUENTE PREGUNA DEL LASER.

CONVERTIR ESE VALOR ANALOGICO  
EN 7 BITS.

COMPARA ESE VALOR CON EL  
SUBASTANDO POR EL OPERA-  
DOR AL PROGRAMAR EL SENSOR.

¿SON IGUALES?

COMPARA EL VALOR CON EL  
VALOR MASIMO ADMISIBLE

¿X > VALOR MASIMO?

DESACTIVA  
EL LASER.

COMPARA EL VALOR  
CON CERO.

ENCIENDE LA  
SEÑAL DE NI-  
VEL ALTO DE  
LA CORRIENTE.

¿X = 0?

ENCIENDE LA  
SEÑAL DE NI-  
VEL BAJO DE  
LA CORRIENTE.

PARA EL VALOR DE CO-  
RRIENTE CON EL QUE DE-  
BERIA ESTAR FUNCIONAN-  
DO EL SISTEMA.

¿ES LA  
PRIMERA VEZ QUE LO  
ENVIAS?

LEE EL VOLTAJE DE  
RETORNO IDENTIFICACION  
PROVENIENTE DE LA  
FUENTE DEL LASER.

CONVERTIR ESE VALOR ANALOGICO  
EN 8 BITS.

COMPARA ESE VALOR CON EL  
SUBASTANDO POR EL OPERA-  
DOR AL PROGRAMAR EL SENSOR.

¿SON IGUALES?

COMPARA EL VALOR CON EL  
VALOR MASIMO ADMISIBLE.

¿X > 10 IMA?

ENCIENDE LA  
SEÑAL DE NI-  
VEL ALTO DEL  
LA FRECUENCIA.

COMPARA EL VALOR  
CON CERO.

¿X = 0?

DESACTIVA  
EL LASER.

ENCIENDE LA  
SEÑAL DE NI-  
VEL ALTO DEL  
LA FRECUENCIA.

PARA EL VALOR DE FRECUEN-  
CIA CON EL QUE DEBERIA ES-  
TAR FUNCIONANDO EL SISTEMA.

¿ES LA  
PRIMERA VEZ QUE LA  
ENVIAS?

LEE EL VOLTAJE DE RETORNO IDENTIFICACION  
PROVENIENTE DE LAS  
FOTORECEPTORES.

CONVERTIR ESE VALOR ANALOGICO  
EN 8 BITS.

COMPARA ESE VALOR CON EL  
SUBASTANDO POR EL OPERA-  
DOR AL PROGRAMAR EL SENSOR.

¿SON IGUALES?

COMPARA EL VALOR CON EL  
VALOR MASIMO ADMISIBLE

10

11

12

13

14

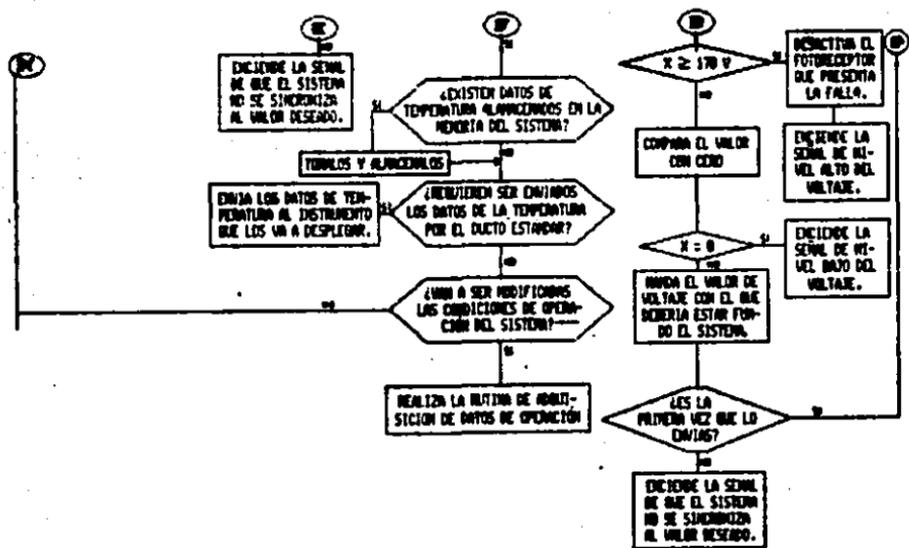


FIGURA 4.3

#### 4.5. Almacenamiento de información.

Existen ciertos valores que deben ser almacenados por el subsistema de control para poder realizar sus funciones. Los cuales le van a servir como parámetros de referencia para realizar las comparaciones que tiene que llevar a cabo cuando esta verificando si las condiciones de operación son las que el operador programó. Estos valores son:

- \* El valor de la corriente máxima soportada por el láser.
- \* El valor de corriente y frecuencia de operación de la fuente pulsada del láser
- \* El valor de los voltajes de alimentación de los fotoreceptores.

Todos los valores anteriormente mencionados son adquiridos y almacenados durante la rutina de adquisición de datos de operación y se renuevan únicamente cada vez que el operador modifique las condiciones de operación o bien, que se apague el instrumento.

Hay otro tipo de valores que son almacenados y que sirven para dar a conocer al operador las condiciones de la variable sensada (que para este caso es la temperatura). Estos datos cambian de valor cada vez que la parte del sistema que se encarga de procesarlos, tiene nuevos valores. Los datos son enviados a algún instrumento que los

desplegará en forma gráfica cuando el operador lo solicita.

#### 4.6 Interconexión con Equipos de Despliegue de Información.

Para que el sistema pueda recibir las condiciones de operación, y mostrar los resultados obtenidos de la temperatura sensada, es necesario entablar comunicación con otros instrumentos como por ejemplo osciloscopios, computadoras, graficadores, etc.

La mayoría de estos instrumentos basan su comunicación externa en normas o protocolos estandarizados, para facilitar la compatibilidad entre los mismos. Uno de estos estándares es el caso de la norma IEEE-488, norma que se utilizará para efectuar la comunicación externa del sistema.

##### 4.6.1 Estructura Básica del Arreglo Alambrado HP-IB.

Para iniciar el diseño de la interfase, es necesario conocer cual es la estructura básica del arreglo alambrado HP-IB (Hewlett-Packard interfase bus), que desarrolló Hewlett-Packard para implementar la norma IEEE-488 (denominada Bus HP-IB), el cual es ilustrado en la figura 4.4.

Un máximo de 15 dispositivos de cuatro tipos, pueden ser conectados al bus. Los cuatro tipos de dispositivos son:

1. El controlador.

2. Dispositivos que solamente hablan.
3. Dispositivos que solamente escuchan.
4. Dispositivos que hablan y escuchan, dependiendo de la forma en que se direccionaron.

En la parte superior de la figura 4.4 se puede apreciar el bus de datos bidireccional, consistente de ocho líneas de datos paralelos DIO, que interconectan a todos los dispositivos y al controlador. Estas líneas acarrean datos, direcciones y otro tipo de información codificada en 8 bits. Y están numeradas de acuerdo a la terminal que le corresponde en el conector de IEEE-488.

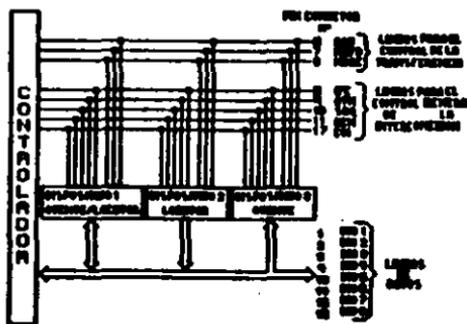


Figura 4.4

Para procesar la información en el bus de datos bidireccional se necesitan más de ocho líneas, por lo tanto son requeridos otros dos grupos de líneas. Estos dos grupos

son denominados "líneas para el manejo de la interfase y líneas para el control de la transferencia". No todas estas líneas toman parte en la transferencia de datos, pero son muy importantes para complementar la operación del bus.

En el proceso de direccionamiento los diversos instrumentos conectados por el bus HP-IB y el controlador repiten el uso de las cuatro líneas de control. Hay una línea de atención ATN (Attention) en el grupo que maneja la interfase y tres líneas de transferencia de control: dato válido DAV (Data Valid), no listo para datos NRFD (Not Ready For Data) y dato no aceptado NDAC (Not Data Accepted), que toman parte en el procedimiento conocido como handshake.

En este proceso de protocolo, el oyente y el orador toman parte diciendo cada uno su estado, como "no estoy listo para datos", "mi dato es válido" o "su dato no es aceptado". Los niveles lógicos de estas líneas serán los que indiquen el estado en que se encuentran.

#### 4.6.2 Señales Eléctricas del Bus.

El bus consta de 16 señales activas, divididas en tres grupos:

- a) Bus de datos (8 líneas).
- b) Bus para el control de la transferencia (3 líneas).
- c) Bus para el control general de la interconexión (5

líneas).

a) Bus de Datos

Esta formado por ocho líneas que permiten la transferencia de los datos entre un instrumento y otro, de octeto en octeto. La denominación de las líneas es:

DIO 1 (Data Input-Output 1); Dato de entrada-salida 1  
DIO 2 (Data Input-Output 2); Dato de entrada-salida 2  
.  
.  
DIO 7 (Data Input-Output 7); Dato de entrada-salida 7  
DIO 8 (Data Input-Output 8); Dato de entrada-salida 8

b) Bus para el Control de la Transferencia

Consta de tres señales usadas para efectuar la transferencia de cada octeto entre locutor y oyente a través de las señales DIO<sub>n</sub>. La descripción y denominación de cada señal es la siguiente:

- DAV (Data Valid); Dato válido.

Es emitida por el locutor de la transferencia, e indica que los datos DIO están estables en el bus.

- NRFD (Not Ready For Data); No listo para dato.

Es emitida por el oyente de la transferencia, e indica que aún no está listo para recibir nuevos datos.

- NDAC (Not Data Accepted); Dato no aceptado.

Es emitida por el oyente de la transferencia. e indica al locutor que debe mantener los datos en el bus por que aun no han sido almacenados.

c) Bus para el Control General de la Interconexión.

Esta constituido por cinco señales, que son empleadas para mantener un flujo ordenado de información a través del bus. Son las siguientes:

- ATN (Attention); Atención.

Es empleada por el dispositivo que hace las funciones de controlador del bus e indica a todos los demás que esta enviando un mensaje de interes general.

- IFC (Interface Clear); Limpiar la interfase.

El controlador indica al resto de los dispositivos que deben volver a su estado inicial (reset) o de reposo.

- SRQ (Service Request); Peticion de servicio

Los dispositivos no controladores usan esta linea para indicar al controlador el deseo de utilizar el bus para efectuar una transferencia de datos.

- REN (Remote Enable); Valido control remoto.

El controlador indica a los dispositivos direccionados que deben ignorar el control local, panel frontal o similar, para obedecer al control remoto recibido a través del bus.

- EOI (End or Identify); Fin o identificación.

Puede ser activada por el dispositivo locutor o por el controlador. En el primer caso indica un fin de la transmisión de un bloque de datos. En el segundo, el controlador indica a los dispositivos que han pedido servicio que se identifiquen.

## CAPITULO V.- IMPLEMENTACION EN UN SISTEMA DE EVALUACION CON MICROPROCESADOR.

### 5.1 Configuración Básica del Subsistema de Control.

De acuerdo con lo mencionado en el capítulo anterior, el subsistema de control debe estar constituido por los siguientes dispositivos:

- El que transforma las señales analógicas de retroalimentación en señales digitales.
- Uno que se encarge de encender y apagar las señales de nivel alto, bajo y sincronía de los diferentes dispositivos del sistema.
- El que envía al sistema los datos de las condiciones de operación.
- Uno que almacena los valores de las condiciones de operación y los datos de la temperatura sensada.
- El que controla el flujo de información entre el subsistema y el instrumento externo conectado a este.
- Y el que controla el funcionamiento de todos ellos y procesa la información que cada uno le proporciona.

#### 5.1.1 Dispositivo Inteligente.

La parte del subsistema de control que realiza la labor

# ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

de manejar, interpretar y canalizar la información suministrada al sistema y obtenida de este, y que también regula el funcionamiento de todos y cada uno de los distintos dispositivos conectados al mismo, debe ser un módulo muy versátil con el cual se puedan realizar actividades como:

- 1.- Hacer comparaciones entre los parámetros de retroalimentación y los de operación.
- 2.- Realizar operaciones aritméticas.
- 3.- Establecer jerarquías en el funcionamiento de los diferentes dispositivos que integran el subsistema; dependiendo de la situación a la que se encuentren supeditados.
- 4.- Tomar decisiones acertadas cuando se susciten anomalías en el sistema para evitarle algún desperfecto.
- 5.- Saber entender y procesar con exactitud la información procedente del sistema o de algún instrumento externo conectado al subsistema.
- 6.- Manejar el flujo de la información en forma bidireccional.

Además de todo esto, como la gran mayoría de la información con la que tiene que funcionar el subsistema es codificada en forma binaria, es necesario que la forma de

operación de este módulo sea en base a este sistema de numeración.

Un dispositivo que satisface todos los requerimientos anteriormente mencionados y que además ofrece las ventajas de que al utilizarlo se reduce el número de elementos empleados, aumenta la posibilidad de expansión del subsistema y admite flexibilidad de operación mediante programación, es el microprocesador.

El emplear menos circuitos implica la reducción del costo de fabricación, la disminución del ruido producido por la fuente, menor consumo de energía y disminuye el tamaño de la tarjeta del circuito impreso.

### 3.1.2 Conversor de Señales Analógicas a Digitales.

Como se recordará las señales de retroalimentación recibidas por el subsistema de control, son de tipo analógicas, señales que no pueden ser interpretadas por el microprocesador, por lo que se requiere de un elemento que las muestre, capture, cuantice y codifique antes de ser tomadas y procesadas por éste.

En pocas palabras lo que se necesita es un convertidor analógico-digital que posea las siguientes características:

- Que sea compatible con el microprocesador.
- Como se tienen que manejar varias entradas, es

necesario que tenga la flexibilidad de contar con las mismas y de poder seleccionar de cual de ellas se toma la lectura.

- \* Se le debe poder dar la orden de comenzar la conversión en el momento deseado.
- \* Debe avisar cuando ha terminado de realizar la conversión.
- \* Tiene que mantener la señal digital convertida en alta impedancia hasta que se le pida el dato, para evitar conflictos en el canal de datos del microprocesador.
- \* El tiempo de conversión debe ser lo más corto posible.

### 5.1.3 Puertos de Entrada/Salida.

Los puertos de entrada y salida sirven de enlace entre la parte de adquisición de datos del sistema, la parte de señalización externa del subsistema y la parte inteligente del mismo. Además son el medio por el cual se envían los datos de operación, las señales de estado del sistema, y se reciben los datos de la variable sensada.

Una vez que estos dispositivos capturan los datos, deben mantenerlos sin alteración mientras no sean habilitados para realizar el cambio.

Los que están conectados como entradas del subsistema, deben mantener sus salidas en alta impedancia hasta que el

dispositivo inteligente les solicite que pongan en el canal de datos la información que poseen.

#### 5.1.4 Circuitos de Almacenamiento de Información.

Como se mencionó en el capítulo anterior, existen dos clases de datos que deben ser almacenados por el subsistema de control. Unos, que contienen las condiciones de operación del sistema, que se utilizarán como parámetros de referencia en el momento de efectuar la rutina de supervisión. Y otros que corresponden a la temperatura sensada, los cuales permanecen almacenados hasta el momento de ser requeridos por el operador.

Todos estos datos cambian ya sea por las condiciones de la temperatura sensada o porque el operador desea modificar las condiciones de operación, por lo que el tipo de dispositivo adecuado para almacenar esta información es una memoria RAM estática.

Con lo que respecta al sistema operativo del subsistema, ya que no cambia bajo las condiciones de la variable sensada o si el operador lo desea, debe permanecer en una memoria EPROM.

#### 5.1.5 Dispositivos de Enlace con Equipos Externos.

Para llevar acabo la implementación de la interfase que sirve de enlace entre el sistema y los instrumentos externos,

es necesario conocer las funciones de la norma IEEE-488 que dicha interfase debe cumplir.

Las funciones de la norma IEEE-488 con las que debe contar la interfase a diseñar son las siguientes:

- \* Locutor [T]
- \* Oyente [L]
- \* Protocolo Fuente [SH]
- \* Protocolo Receptor [AH]
- \* Petición de Servicio [SR]
- \* Borrado de Dispositivo [DC]

Por lo que los circuitos que sean utilizados en la implementación de la misma, deben poseer características que los hagan cumplir con los tiempos establecidos por la norma, satisfacer los requerimientos de la función de la norma para la cual han sido empleados y además deben ser compatibles con el microprocesador.

## 5.2 Programación del Subsistema de Control.

Basicamente la programación del subsistema de control se centra en tres rutinas: la de inicialización, la de adquisición de datos de operación y la de supervisión. En el presente inciso se mencionarán los principales detalles del procedimiento empleado por cada uno de ellos para cumplir con sus funciones.

### 5.2.1 Programa de Inicialización.

El programa de inicialización se puede dividir en dos partes. En la primera, se verifica si la memoria RAM, el convertidor analógico-digital y los cerrojos de las señales de estado y alarmas del subsistema de control se encuentran en condiciones de realizar sus funciones. La memoria RAM se prueba llenando 1 Kbyte con el dato A5F3 comenzando desde la dirección 0000. Posteriormente se lee el valor de cada una de las localidades de memoria que están dentro de ese rango y se compara con el valor A5F3. Si alguna de las localidades de memoria no tiene ese valor, se manda nuevamente el dato y se vuelve a leer esa localidad. En caso de que la memoria siga sin almacenar el dato correcto, se verifica bajo qué forma de operación está funcionando el sistema, ya que no importa el estado en el que se encuentra la memoria, cuando el sistema está funcionando en forma local. En forma remota la situación es diferente, debido a que las condiciones de operación son almacenadas en memoria RAM. Así que cuando falla la memoria estando el sistema bajo esta forma de operación, el programa deshabilita toda función del sistema y subsistema hasta que se realiza el cambio de la memoria y se manda la señal de reinicialización del subsistema. La señal de que la memoria está fallando se enciende sin importar la forma de operación del sistema.

Las señales de estado y alarma deben activarse por medio de un cerrojo (latch). Como a cada señal le corresponde un

bit del cerrojo, la forma de verificar el estado de funcionamiento de este es: encender todas las señales e ir apagando una por una siguiendo una secuencia. Cada vez que se apaga una señal, el microprocesador verifica que se está cumpliendo con la secuencia.

La rutina de verificación del convertidor analógico-digital consiste en hacer que cada uno de los canales del convertidor lea un valor conocido de voltaje, lo codifique y lo compare con el valor hexadecimal equivalente. Cuando se presenta la situación en la cual el convertidor no funciona, se enciende la señal de alarma correspondiente y se detiene el proceso de supervisión (operando en forma remota también se detiene el funcionamiento del sistema).

La segunda parte del programa, verifica la forma de operación del sistema ya que de esto depende el que se realice el resto de la rutina o que pase a la parte de supervisión.

En forma de operación remota el programa de inicialización manda los datos que hacen que los parámetros del sistema sean inicialmente iguales a cero, respetando el siguiente orden:

- 1.- Corriente de la fuente pulsada del láser.
- 2.- Frecuencia de la misma fuente.
- 3.- Voltaje de polarización de los fotoreceptores.

### 5.2.2 Programa de Adquisición de Datos de Operación

En este programa se contempla la forma en la cual el subsistema de control recibe los datos de operación, los convierte de código ASCII a Hexadecimal, los codifica en 8 bits y los envía al sistema.

La persona que vaya a programar el sensor de temperatura, por medio de la computadora, debe tener la entera libertad de poder enviar los datos de operación en el orden que lo desea. Teniendo presente este criterio, se elaboró el programa de adquisición de datos de operación.

Con el propósito de evitar que existan confusiones en el subsistema cuando esté capturando las condiciones de operación del sistema. Se tomó en cuenta que el usuario al estar programando el sensor puede cometer los siguientes errores:

- 1.- Meter valores que estén fuera del rango admisible por el sistema.
- 2.- Meter valores identificados bajo un parámetro pero con unidades que no corresponden (frecuencia con unidades de corriente).
- 3.- Meter valores alfanuméricos no reconocidos por el subsistema.
- 4.- Meter valores con el punto decimal fuera de lugar.

5.- Meter valores de más de 4 dígitos.

También se tomó en cuenta en la elaboración del programa, que el sistema presenta la flexibilidad de poder cambiar el tipo de láser (obviamente las características entre un láser y otro no son iguales), por lo que fue necesario implementar una rutina que verifica si el operador mandó el valor de corriente máxima admisible por el láser colocado en el sistema. En caso de ser omitido este dato, el programa toma el valor de 60 Amp.

Para entender el proceso que realiza el microprocesador cuando convierte el dato ASCII a Hexadecimal se analiza el siguiente ejemplo:

Supóngase que el valor decimal a convertir es el 100. La computadora enviará el código ASCII de cada dígito en forma secuencial; esto es, el código ASCII del número 1 seguido de dos veces el código ASCII del número 0.

Cuando el subsistema recibe el código ASCII correspondiente al primer dígito (31), considera únicamente la parte baja de este (1). Posteriormente lo multiplica por el valor hexadecimal A y el resultado (A), lo almacena en una localidad de memoria. Del segundo valor ASCII recibido (30), también sólo se considera la parte baja (0). A este valor se le suma el resultado de la operación anterior ( $0 + A = A$ ). El nuevo resultado (A), es multiplicado por el valor hexadecimal A ( $A \times A = 66$ ), y almacenado en la misma

localidad de memoria. El último valor ASCII recibido (30), también solo considerado en su parte baja (0), se suma con el valor (66) almacenado en la localidad de memoria anteriormente mencionada ( $66 + 0 = 66$ ). Obteniéndose así, el valor hexadecimal deseado.

En este programa se utilizó la ecuación (4.1) para hacer la codificación en 8 bits de los parámetros de operación. Es conveniente hacer notar que la corriente de la fuente pulsada del láser se codifica en 7 bits; puesto que, el octavo bit es utilizado por la pantalla del sistema para seleccionar si el valor de la variable a desplegar es el de la corriente o de la frecuencia.

Los datos que contienen los parámetros de operación del sistema son enviados a éste en el siguiente orden: primero el valor de la corriente, luego el de la frecuencia y finalmente el valor de los voltajes; no sin antes verificar que ninguno sea igual a cero. En caso de que esta situación se llegue a dar, el subsistema enciende la señal de alarma correspondiente y no envía los datos hasta que recibe el mensaje que confirma, que efectivamente esas son las condiciones de operación seleccionadas por el operador.

### 5.2.3 Programa de Supervisión.

La función del programa de supervisión consiste en estar monitoreando que el sistema mantenga estables las condiciones de operación y que además no se alcancen los

valores límite.

El algoritmo propuesto en el inciso 4.4.5 es el que se utilizó para elaborar el programa. En este algoritmo se supuso que era suficiente con sólo tomar una muestra del voltaje de retroalimentación de cada parámetro para determinar si estos tenían el valor adecuado. Esto no es del todo cierto, puesto que si en el momento de tomar la muestra, la contribución de ruido existente en el sistema, es muy grande, la lectura del convertidor sería errónea. El problema fue resuelto tomando del convertidor analógico-digital 100 muestras de cada uno de los voltajes de retroalimentación y sacando un promedio de ellas. El resultado obtenido de la promediación es el que se compara con el parámetro de referencia, ya que este valor es más confiable.

En el apéndice A se encuentran los programas del sistema escritos en lenguaje ensamblador.

### 5.3 Herramientas de Programación.

Cuando se quieren desarrollar programas en lenguaje ensamblador, el primer paso consiste en escribir el llamado código fuente. El código fuente consta de una serie de mnemónicos (nombres de instrucciones) y operandos (referencia a datos) seleccionados por el programador para realizar ciertas acciones. El código fuente se escribe normalmente con la ayuda de un programa especial, el editor

de textos.

El paso siguiente consiste en traducir este código fuente al llamado código objeto que contiene ya los códigos numéricos reales para la máquina. Este proceso de traducción se realiza con la ayuda de un programa llamado ensamblador.

El último paso consiste en cargar el código máquina en memoria y ejecutarlo. Esto se realiza con la ayuda de un programa llamado emulador (debugger).

### 5.3.1 El Editor

Los editores son usados para escribir y modificar el código fuente. El código fuente es usualmente salvado en algunos elementos de almacenamiento masivo como son: discos flexibles, discos duros, cintas magnéticas, etc. El código fuente se organiza en los elementos de almacenamiento masivo en forma de archivo que por lo regular se conoce con el nombre de archivo fuente. El acceso a este archivo se hace de acuerdo al tipo de elemento de almacenamiento masivo empleado. Así tenemos que un archivo guardado en una cinta magnética no es accedido en la misma forma que uno guardado en un disco flexible. Los usuarios controlan las funciones del editor enviando los comandos adecuados a la terminal de video.

Las principales funciones de un editor son:

- Leer los datos de los elementos de almacenamiento

masivo.

- Escribir en la memoria de la terminal de video lo que esta en los elementos de almacenamiento masivo.
- Insertar datos en memoria.
- Borrar datos de memoria.
- Cambiar la posición del apuntador de caracter o línea en el reforzador (buffer).
- Desplegar el contenido del reforzador.
- Buscar una cadena específica de datos en el reforzador.
- Cambiar el contenido del reforzador.
- Entender y realizar los comandos propios del sistema.

### 5.3.2 El Ensamblador.

Los ensambladores son usados para traducir de código fuente a código objeto. El ensamblador lee el archivo fuente que en la mayoría de los casos ha sido generado por el editor, traduce el código fuente, y luego escribe el código objeto en un archivo llamado archivo objeto. Un ensamblador puede generar también otros archivos como:

- El que contiene al código fuente y al código objeto juntos, llamado archivo de listado.
- O el que guarda todas las etiquetas y nombres de las variables utilizadas en el código fuente, llamado archivo de símbolos.

El archivo de listado es usualmente impreso para ser utilizado como referencia en el proceso de depuración.

La gran mayoría de los ensambladores realizan las siguientes funciones:

- Separan el código fuente del lenguaje ensamblador en instrucciones individuales.
- Dividen cada instrucción en sus diferentes partes. Estas incluyen, las etiquetas, los mnemónicos, los operandos y los comentarios.
- Procesan cada una de las partes de acuerdo con las reglas del lenguaje ensamblador. De este proceso, el ensamblador genera un archivo de código y una tabla de símbolos.
- Graban los diferentes archivos generados en los elementos de almacenamiento masivo. Dentro de estos archivos se pueden incluir: el archivo de código objeto, el archivo de listado y la tabla de símbolos.

### 5.3.3 El Depurador (Debugger).

El depurador es una herramienta que se utiliza como ayuda para suprimir errores de los programas objeto. Los depuradores, al igual que los editores y los ensambladores, varían en complejidad. El más elemental de los depuradores contiene elementos que permiten al usuario:

- Controlar la ejecución de los programas.
- Desplegar los registros y las localidades de memoria.

Los depuradores permiten al usuario controlar la

ejecucion de los programas, dando la facilidad de:

-Ejecutar los programas instrucción por instrucción. Esto le permite al usuario ejecutar el código objeto realizando cada vez una instrucción. El usuario puede visualizar el contenido de los registros o la memoria cada que se ejecuta una instrucción, esperando que sea suficiente para garantizarle a éste que las instrucciones estan realizando la funcion deseada. Los depuradores más complejos contienen formas sofisticadas de la rutina de ejecución por instrucciones, lo cual permite al usuario especificar el número exacto de instrucciones a ser ejecutadas y además los registros o localidades de memoria que serán desplegados después de la ejecución de cada instrucción.

-Interrumpir la ejecución del programa en un punto específico. Esto permite al usuario controlar la ejecución del programa colocando un código especial, o una instrucción de interrupción en el código objeto, en alguna localidad especificada por él. Cuando el código especial es ejecutado, se transfiere el control del programa al depurador haciendo que se detenga la ejecución del código objeto del usuario. En este punto el depurador reemplaza el código objeto original por el especial y permite al usuario ver el estado de la máquina.

Normalmente los depuradores permiten al usuario desplegar el contenido de cualquier localidad de memoria y de los registros internos del CPU. Permitiendo así una completa visión del estado de la máquina.

Los depuradores más complejos permiten al usuario:

- Alterar el contenido de los registros y localidades de memoria.
- Ensamblar y desensamblar el código objeto.
- Leer y escribir en los elementos de almacenamiento masivo.
- Realizar funciones aritméticas simples.
- Utilizar interrupciones de programa más sofisticadas.
- Manipular la tabla de símbolos.

## CAPITULO VI.- DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODULO DE CONTROL.

En el presente capítulo se hará mención de los circuitos utilizados en la construcción del módulo de control, así como, sus características y principios de funcionamiento.

### 6.1 Circuito Maestro de Control.

Antes del advenimiento de los microprocesadores, el uso de las computadoras no era contemplado para el diseño de sistemas de propósito específico; sino que se compraban los sistemas de propósito general que ofrecían los fabricantes. Estos sistemas eran por lo regular muy grandes y caros para ser dedicados a una sola aplicación.

El reducido tamaño y bajo costo de los microprocesadores hizo factible la realización de sistemas de propósito específico dedicados a una aplicación en particular.

Para la realización práctica del subsistema de control se utilizó un microprocesador 8086 como elemento central del circuito maestro de control, el cual tiene a su cargo la labor de regular el funcionamiento de cada uno de los elementos del subsistema, procesar y canalizar la información que por estos medios se obtiene.

#### 6.1.1 Características Internas del Microprocesador 8086

El 8086 es un microprocesador de 16 bits, que esta

dividido internamente en dos sub-procesadores que son: la unidad de ejecución (EU) y la unidad de interfase de bus (BIU). La unidad de ejecución es la encargada de realizar todas las operaciones, mientras que la unidad de interfase de bus accesa los datos e instrucciones del exterior.

El 8086 contiene 14 registros internos de 16 bits. Algunos pertenecen a la EU y otros a la BIU, distribuidos de la siguiente forma:

- Cuatro registros de propósito general de 16 bits (AX, BX, CX, DX), que pueden subdividirse en ocho registros de 8 bits (AH, AL, BH, BL, CH, CL, DH, DL).
- Cuatro registros punteros y de índice (SP, BP, SI y DI), los cuales no pueden subdividirse. SP es el puntero de pila, BP el puntero base y SI y DI son los registros índice y fuente respectivamente.
- Un registro de indicadores de 16 bits, que contiene varios bits de estado para el procesador. Estos incluyen: indicador de cero (ZF), indicador de signo (SF), indicador de paridad (PF), indicador de acarreo (CF), indicador auxiliar de acarreo (AF), indicador de dirección (DF), indicador de interrupción (IF), indicador de desbordamiento (OF) e indicador de desvío (TF).

La figura 6.1 muestra la colocación de los mismos en el registro.



FIGURA 6.1 REGISTROS INDICADORES EN EL 8086

- Cuatro registros de segmento (CS, DS, SS Y ES). Sus códigos representan a los registros segmento de código, datos, pila y extra respectivamente.
- Un puntero de instrucción (IP).

La figura 6.2 muestra el juego completo de registros internos del 8086.

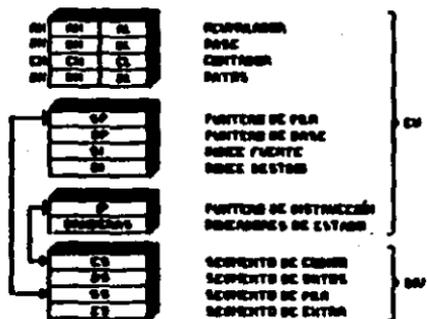


Figura 6.2

El bus de direcciones de este procesador es de 20 bits, lo que le da la capacidad de direccionar un megaocteto de memoria y 64 K octetos para puertos de entrada/salida.

### 6.1.2 Características Externas del Microprocesador 8086.

El microprocesador 8086 es un circuito integrado de 40 terminales o pines distribuidos de la manera mostrada en la figura 6.3



FIGURA 6.3 DISTRIBUCION DE LAS TERMINALES DEL 8086

Las señales que el 8086 genera o recibe se agrupan en 4 categorías:

- Señales de dirección.
- Señales de dato.
- Señales de estado y control.
- Señales de temporización y alimentación.

Para tener un bus de direcciones de 20 bits y un bus de datos de 16 en un circuito integrado de 40 terminales, el bus de datos está multiplexado con las 16 líneas menos significativas del bus de direcciones. Las otras cuatro

líneas de dirección son multiplexadas con señales de estado.

El propósito de la línea  $\overline{\text{BHE}}$  es indicar a la memoria o a los puertos de entrada/salida, cuando acceder los ocho bits más significativos del bus de datos. Esta señal solo es necesaria cuando el procesador escribe, ya que cuando realiza un ciclo de lectura no toma en cuenta el estado de esta línea.

Las señales  $\overline{\text{BHE}}$  y  $\text{A}_0$  son utilizadas por el procesador para enviar un dato a la memoria o algún puerto de entrada/salida de la siguiente manera:

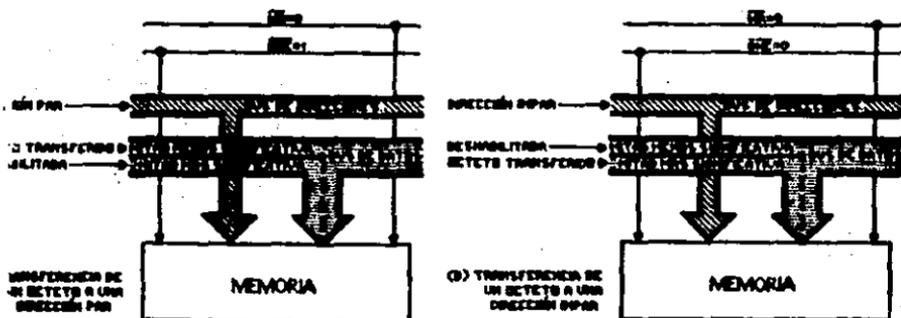
-Para transferir un octeto (byte) a una dirección impar, el procesador envía: 1) la dirección impar (deshabilitando el acceso a la mitad menos significativa del bus de datos), 2) la señal  $\overline{\text{BHE}}$  (habilitando el acceso a la mitad más significativa del bus), y 3) el dato, colocándolo en la parte más significativa del bus de datos.

-Para transferir un octeto a una dirección par, el procesador envía: 1) la dirección par (habilitando el acceso a la mitad menos significativa del bus de datos) y 2) el dato, colocándolo en la mitad menos significativa del bus de datos.

-La transferencia de una palabra en una dirección par, se realiza enviando la dirección par junto con la señal  $\overline{\text{BHE}}$  (habilitando el bus completo) y el dato de 16 bits.

-El caso de la transferencia de una palabra en una dirección impar requiere de dos accesos a memoria o a puertos. En el primer acceso el procesador envía: 1) la dirección impar (deshabilitando la mitad menos significativa del bus de datos), 2) la señal  $\overline{BHE}$  (habilitando la mitad más significativa del bus), y 3) los 8 bits menos significativos de la palabra, colocándolos en la parte más significativa del bus de datos. Después que este acceso es llevado a cabo, el procesador envía: 1) una dirección par, obtenida de sumar 1 a la dirección impar (habilitando el acceso a la mitad menos significativa del bus), y 2) los 8 bits restantes de la palabra, colocándolos en la parte menos significativa del bus de datos.

La figura 6.4 ilustra las diferentes formas de transferir información a memoria o a puertos.



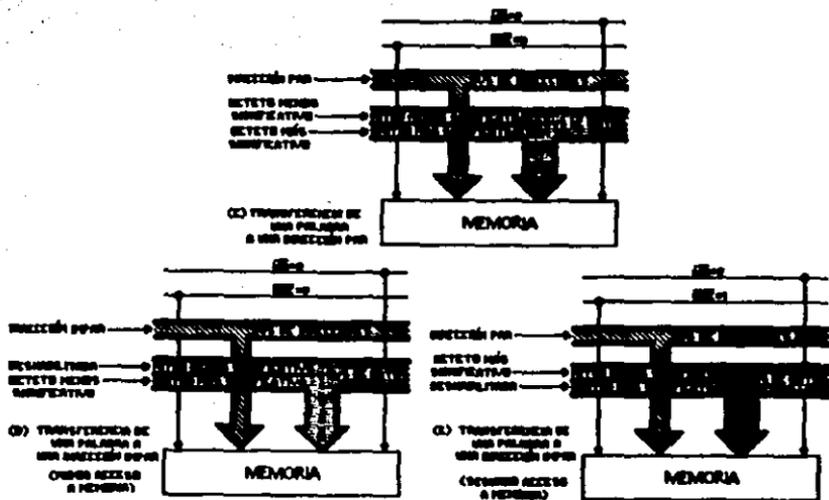


Figura 6.4

### 6.1.3 Configuración del Circuito Maestro.

El circuito de control maestro consta de cuatro elementos que son: el generador de reloj 8284, el microprocesador 8086, los cerrojos 8282 y el decodificador 74LS138.

La función del generador de reloj es la de proporcionar al microprocesador una señal de reloj de 5 MHz, cuyos tiempos de ascenso y descenso no excedan los 10 ns. Este circuito integrado tiene un oscilador controlado por un cristal de cuarzo de 15 MHz, dos salidas de reloj; y una de reinicialización. Las salidas de reloj son:

- CLK. Proporciona una frecuencia de 1/3 de la del cristal de cuarzo con un ciclo de trabajo de 1/3.
- PCLK. Proporciona una frecuencia de 1/2 de CLK con amplitud TTL y un ciclo de trabajo de 50%.

Cuando la señal de reinicialización es activada, ocurren los siguientes eventos:

- 1.- El registro de banderas toma el valor 0000, deshabilitando las interrupciones y el modo de ejecución instrucción por instrucción.
- 2.- Los registros DS, SS, ES y PC toman el valor 0000.
- 3.- El registro CS toma el valor FFFF.

Puesto que los dispositivos periféricos y las memorias conectadas al 8086 requieren de una dirección estable durante todo un ciclo del bus, la dirección generada durante el primer periodo del bus multiplexado de datos y direcciones debe ser retenida. Esta dirección es utilizada para seleccionar la localidad de memoria o el dispositivo periférico deseado. Para demultiplexar el bus de datos y direcciones, el 8086 genera una señal habilitadora (ALE), usada por el cerrojo biestable de 8 bits 8282 para atrapar la dirección.

Estos cerrojos tienen salidas manejadas por reforzadores de tres estados que suministran corrientes de 32 mA y pueden conmutar una carga de 300 pF en un tiempo de 30 nS.

El papel que desempeña el decodificador DM74LS138 en el

circuito de control maestro, es el de seleccionar la parte del subsistema que va a operar. Este circuito integrado puede decodificar hasta 8 líneas habilitadoras mediante sus 3 entradas selectoras.

La tabla 6.2 muestra el mapeo de los puertos de Entrada/Salida del subsistema.

Dirección	Salida	Dispositivo
8000-B7FF	Hab0	Interfase IEEE-488.
8800-BFFF	Hab1	Reforzador de la Dirección Parlante/ Escucha de la Interfase.
9000-97FF	Hab2	Circuitos de Señalización y Alarmas.
9800-9FFF	Hab3	Circuitos de Comunicación Subsistema-Sistema.
A000-A7FF	Hab4	Circuitos de Comunicación Subsistema-Sistema.
AB00-AFFF	Hab5	Circuitos lectores de memoria.
B000-B7FF	Hab6	Convertidor Analógico-Digital.
BB00-BFFF	Hab7	Circuito de Fin de conversión del Convertidor A/D.

El diagrama de conexiones eléctricas del circuito de control maestro es mostrado en la figura 6.5

### 6.2 Circuitos de Comunicación Subsistema-Sistema.

El subsistema de control se comunica con el sistema por medio de cuatro circuitos integrados SN74LS373 conectados al bus de datos del microprocesador. Dos de ellos conectados en la parte alta del bus y los otros dos en la parte baja del mismo. Cada 74LS373 porta con los 8 bits de codificación de

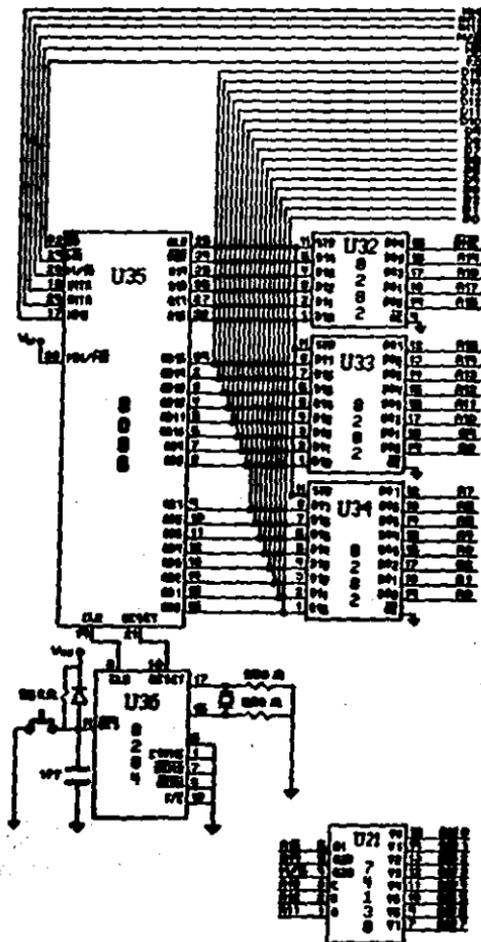


Figura 6.5

alguno de los 4 parámetros del sistema (Frecuencia, Corriente, Voltaje 1 y Voltaje 2).

El 74LS373 es un circuito integrado que contiene 8 cerrojos tipo D. Cuando el habilitador (G) de este circuito, esta en estado alto, la salida (Q) seguirá a los datos de entrada (D). Cuando el habilitador es puesto en bajo, el dato que en ese momento estaba en el cerrojo es atrapado y se mantiene estable en la salida durante todo el tiempo que el habilitador esta en bajo.

Los cerrojos conectados en la parte alta del bus de datos del microprocesador, son habilitados con las señales de habilitación Hab3, Hab4 (proporcionadas por el decodificador) y  $\overline{\text{BHE}}$ , por medio de una compuerta NOR (7402), y los conectados en la parte baja del bus, con las señales Hab3, Hab4 y Ao. Esto puede apreciarse en la figura 6.6

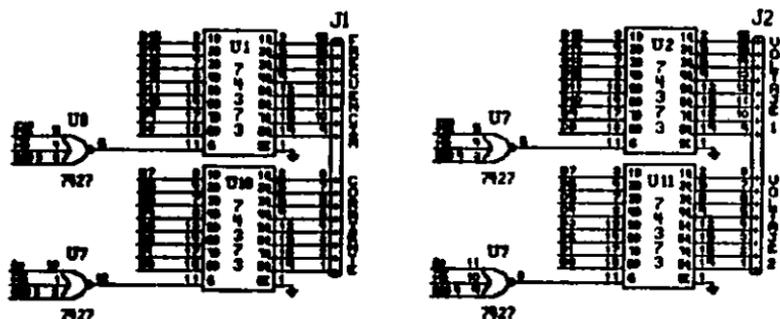


Figura 6.6

La razón para habilitar los circuitos de esta forma, es la de poder tener acceso a todo el bus o solo a parte de

el. Pudiendo así, modificar los dos parámetros (Frecuencia y Corriente ó Voltaje 1 y 2), que forman el bus completo o solo uno de ellos.

#### 6.2.1 Convertidor Analógico-Digital.

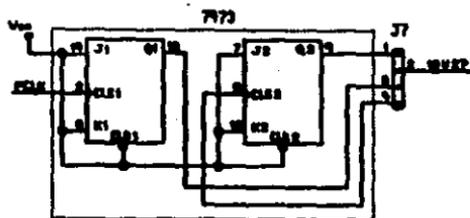
La información procedente del sistema es interpretada y codificada en el subsistema, por medio de un convertidor analógico-digital ADC0808.

El componente de adquisición de datos ADC0808 es un dispositivo CMOS monolítico con un convertidor analógico digital de 8 bits, 8 canales multiplexados y una lógica de control compatible con los microprocesadores. La técnica de aproximaciones sucesivas es la utilizada por este dispositivo para realizar las conversiones. El convertidor está dividido en tres secciones: una red escalonada de 256 resistencias, un registro de aproximaciones sucesivas y un comparador.

El proceso de conversión se realiza de la siguiente manera: se selecciona uno de los 8 canales del convertidor, enviando una dirección a las 3 terminales del decodificador del mismo. Una transición de estado bajo a alto aplicada en las terminales START y ALE inician la conversión. Nanosegundos después, se habilita el reforzador de tres estados DM74LS125 conectado entre el bit menos significativo del bus de datos (D0) del microprocesador y la terminal Fin de Conversión (EOC) del convertidor. Cuando ocurre una

transición de estado bajo a alto en esta línea, el microprocesador debe tomar el dato. Finalizando así el ciclo de conversión.

La señal de reloj que se le debe suministrar a este dispositivo no debe exceder de 1.28 MHz, por lo que no es posible conectar directamente la salida PCLK del generador de reloj al convertidor. Para salvar este obstáculo y a la vez poder tener dos diferentes frecuencias de operación, se conectó un divisor de frecuencia J-K DM74LS73 como se muestra en la figura 6.7



U20  
Figura 6.7

Si se ponen en corto las terminales 1-2 y 3-4 del conector J7, la frecuencia de operación será de 6.25 KHz y si las terminales en corto son 2-3 la frecuencia en este caso será de 1.25 MHz.

El diagrama de conexiones eléctricas del convertidor es mostrado en la figura 6.8.



Para que alguna de las señales de estado o alarma se encienda, es necesario que el microprocesador envíe el dato adecuado a los cerrojos. La señal encendida por estos, permanecerá activada hasta el momento de recibir un nuevo valor.

La figura 6.9 muestra el diagrama de conexiones eléctricas y la distribución de las señales de estado y alarma.

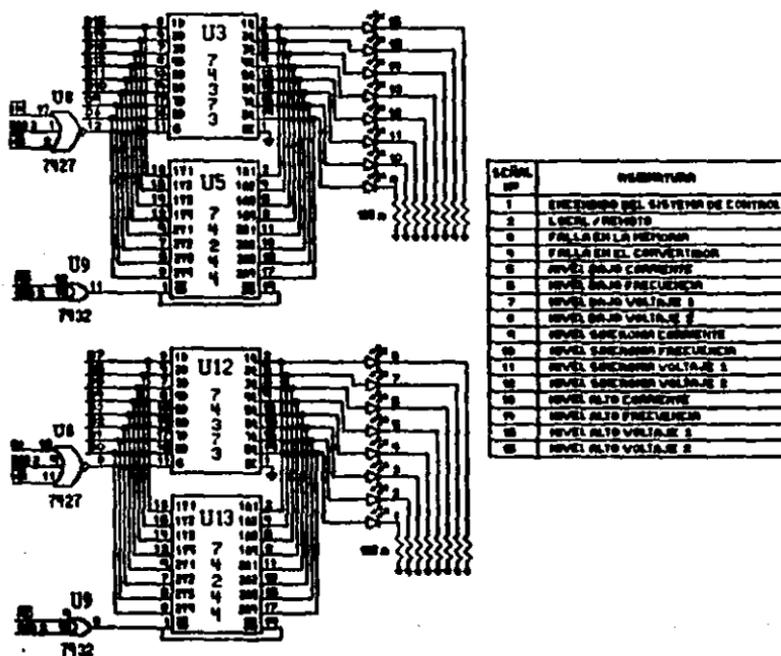


Figura 6.9

Los circuitos reforzadores mostrados en esta figura son utilizados para verificar si el dato que esta presente en ese momento, es el enviado por el microprocesador.

#### 6.4 Circuitos para el Almacenamiento de Datos.

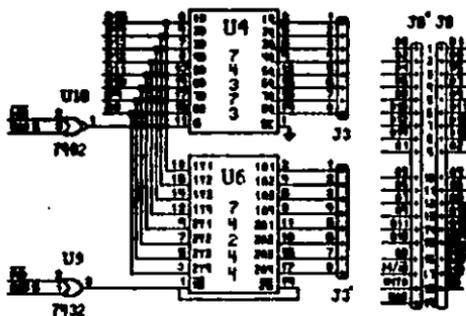
El subsistema de control cuenta con 2 memorias EPROM y 2 memorias RAM como dispositivos de almacenamiento y una serie de circuitos que permiten el acceso a parte de la memoria RAM del sistema.

El sistema operativo del subsistema de control se encuentra almacenado en una memoria EPROM 2764 de 8K x 8 bits, 200 nS de tiempo de acceso y compatible con el microprocesador 8086. Las condiciones de operación del sistema y los datos de la temperatura sensada obtenidos de la memoria RAM del sistema, son almacenados en una memoria RAM estática HM6264LP-12 de 8K x 8 bits y 120 nS de tiempo de acceso. Un reforzador DM74LS244 y un cerrojo tipo D SN74LS373 forman el circuito que permite el acceso a la memoria del sistema. Esto se logra de la siguiente forma: Cuando el sistema tiene listos los datos de la temperatura, envia una señal de interrupción al microprocesador del subsistema. Este al recibirla, responde con una señal de reconocimiento de interrupción (siempre y cuando en ese momento estén habilitadas las interrupciones). El sistema coloca en la parte baja del canal de datos la dirección donde se encuentra la rutina de interrupción a realizar. La

rutina consiste en encender el bit del cerrojo conectado en la línea HOLD del microprocesador del sistema, para ponerlo en estado de alta impedancia y poder transferir los datos de la temperatura, de la memoria del sistema a la del subsistema. Cuando la transferencia ha terminado el subsistema envía el dato que desactiva el bit conectado a HOLD del microprocesador del sistema, para liberarlo del estado de alta impedancia y permitirle continuar con sus funciones.

En caso de que al generar la interrupción, el microprocesador del subsistema tenga deshabilitado el vector de interrupciones, por estar realizando una tarea de mayor importancia, el sistema volverá a generar la interrupción poco tiempo después.

La figura 6.10 muestra el diagrama de los circuitos de almacenaje.



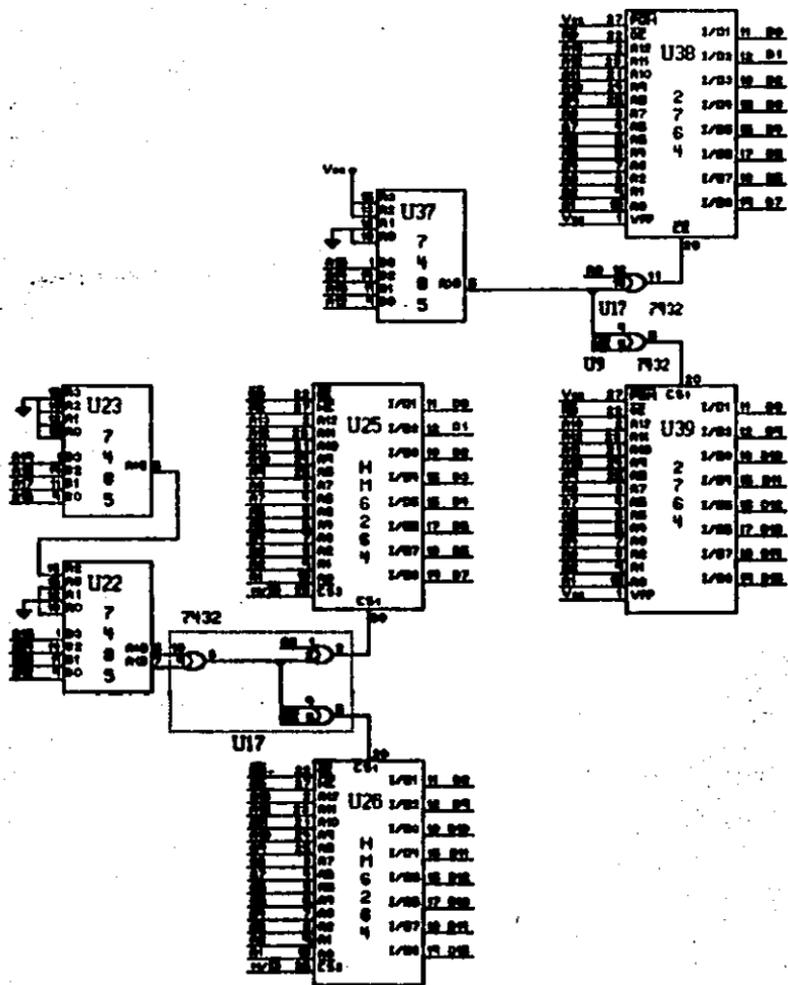


Figure 6.10

El mapeo de memoria es mostrado en la siguiente tabla:

MEMORIA	DIRECCION FISICA DE MEMORIA.
RAM	00000-03FFF
EPR0M	0BFFF-0FFFF

#### 6.5 Interfase IEEE-488.

La comunicación del sistema con el mundo exterior se realiza a través del subsistema de control, mediante un dispositivo que enlaza a este con cualquier instrumento, que cumpla con los requerimientos establecidos por, la norma IEEE-488.

El Upd 7210 es un controlador inteligente del bus de interfase de propósito general (GFIB), diseñado para cumplir con todos los requisitos especificados por la norma IEEE-488, para las funciones de parlante, escucha y controlador (TLC). Este dispositivo ofrece la gran ventaja de que al utilizarlo se reduce el número de circuitos y se simplifica la estructura de los programas destinados a la implementación de la interfase. Además como se tiene un alto nivel de control del bus, se reducen las funciones del microprocesador.

Las principales características que presenta el Upd 7210 son:

- Se pueden implementar las funciones: SH1, AH1, T5 ó TES, L3 ó LE3, SR1, RL1, PP1 ó PF2, DC1, DT1, C1-C5 de la

norma.

- Tasa de transmisión de datos programable.
- Ocho registros de escritura y ocho de lectura para: la transmisión y recepción de datos y mensajes; el control de la interfase; y conocer el estado de funcionamiento de la misma.
- Detección automática del mensaje de fin de cadena de datos (EOS).
- La transferencia de datos puede realizarse bajo control de programa o por medio de un acceso directo a memoria (DMA).
- La frecuencia de operación puede variar de 1 a 8 MHz.
- Es compatible con los circuitos TTL.
- Es compatible con la arquitectura de muchos microprocesadores.

El Upd 7210 requiere de dos reforzadores bidireccionales de 8 bits para tener control completo del bus. Estos dispositivos son:

- El SN75160. es un transmisor/receptor de 8 canales bidireccionales con control común de dirección. Este dispositivo es conectado a las 8 líneas de datos del bus IEEE-489.
- El SN75161. es también un transmisor/receptor de 8 canales bidireccionales que está especialmente configurado para implementar las ocho líneas de control del bus IEEE-489.

El diagrama eléctrico de la interfase se encuentra en la figura 6.11.

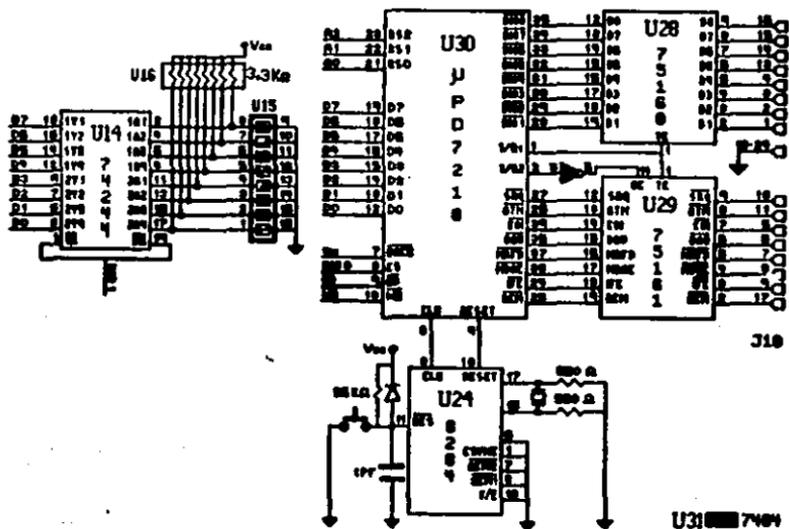


Figura 6.11

### 6.6 Construcción del Módulo de Prueba.

El circuito completo del subsistema de control se armo en una tarjeta perforada de 16.8 x 20.5 cm, la cual fué adaptada como tarjeta de enrollado.

Los criterios de diseño que se tomaron en cuenta al armar el módulo de prueba fueron los siguientes:

-A fin de minimizar el ruido debido a las corrientes transitorias en el sistema de tierras, la impedancia de tierra debe ser minimizada. Un conductor presenta una resistencia, una reactancia capacitiva y una reactancia inductiva. La resistencia es completamente independiente a la frecuencia, la reactancia capacitiva disminuye conforme la frecuencia aumenta ( $F = 1/wc$ ) y la reactancia inductiva es proporcional a esta ( $F = wl$ ). Por lo tanto, si se quiere minimizar la impedancia de tierra del circuito, se tiene que minimizar la reactancia inductiva. La forma más práctica de lograr esto, es tener el mayor número de trayectorias paralelas, lo más anchas posibles. Si esto es llevado hasta sus límites, un número infinito de líneas resultarían. Lo que equivale a tener un plano de tierra completo.

-Cuando una compuerta lógica esta conmutando, existe una corriente transitoria  $AI$  que fluye a través de la inductancia ( $LP$ ) de la fuente de alimentación  $Vcc$  produciendo un gran voltaje de ruido, el cual es aplicado a la terminal de alimentación de la compuerta lógica. La magnitud de la corriente transitoria que fluye a través de la inductancia  $LP$  puede ser minimizada o eliminada colocando un capacitor de desacoplo localizado cerca de la compuerta.

Además de los capacitores de desacoplo la tarjeta del circuito impreso debe tener un capacitor de entre 10 y

100 UF localizado en el lugar donde es alimentada la tarjeta. Este capacitor se utiliza para compensar la carga que cada capacitor de desacoplo quita.

-Las señales de reloj portan las frecuencias más altas del sistema con los tiempos de ascenso y descenso más rápidos. La corriente de estas señales es alta y periódica, lo que origina que exista alta radiación. Es por esto que en los sistemas digitales las líneas de reloj deben ser lo más cortas posibles y su trayectoria de regreso a tierra debe estar cercana a línea para minimizar el área de lazo que se forma. Además deben estar localizadas lo más cercano posible a los circuitos que los van a usar [Referencia 6.1].

La localización de los circuitos en la tarjeta es mostrado en la figuras 6.12

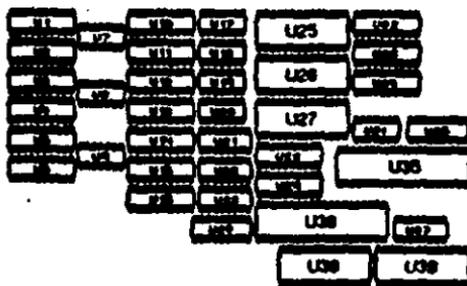


Figura 6.12

## REFERENCIAS

- 6.1 Henry W. Ott, "Digital Circuit Grounding and Interconnection" "Simposium Internacional del IEEE sobre Compatibilidad electromagnética", New Jersey, 1981.

## CONCLUSIONES

### \* Dispositivo Inteligente.

El dispositivo inteligente del subsistema de control puede implementarse con diversos microprocesadores (Z-80, 65C02, 8085, 6800, etc); en cuyo caso el resto de los circuitos no tendrían que ser cambiados; o bien, existen circuitos equivalentes que son compatibles. En el caso particular del presente trabajo el procesador 8086 está subemplado para la aplicación, pero era el único con el que se contaba. Esto no es de gran importancia puesto que es un modelo de prueba y no un dispositivo comercial, en donde se debe buscar la optimización. Sin embargo, se trataron de aprovechar algunas de las ventajas que este procesador ofrece como son:

- Hacer la transferencia de los datos de la memoria del sistema a la del subsistema de 16 bits en 16 bits para aumentar la velocidad del proceso.
- Realizar operaciones de multiplicación y división por medio de las instrucciones dedicas para este propósito.
- Poder tener acceso al bus de datos completo o sólo a parte de él.
- Utilizar algunas instrucciones que otros procesadores no poseen.

\* Generales.

El objeto de diseñar un sistema es el de resolver algún tipo de necesidad. Tomando en cuenta que las exigencias de ésta pueden sufrir alteraciones a futuro, se debe diseñar de tal manera que con un mínimo de modificaciones sea posible satisfacer los nuevos requerimientos.

La función de un sistema de control en un instrumento es la de monitorear y mantener en un estado predeterminado las condiciones de operación del mismo. Al diseñar este sistema se deben tomar en cuenta tres aspectos:

-Cuántas variables o parámetros del instrumento se desea controlar

-La precisión con la que se quiere controlar cada uno de ellos.

-El tiempo de monitoreo.

El grado de control que se tenga sobre el instrumento dependerá de las características intrínsecas del mismo y de lo complicado del diseño. El hacer un sistema que controle muchas variables o parámetros con precisión implica un alto grado de complejidad, lo que en la mayoría de los casos se traduce en un gran número de componentes para su implementación, creándose un compromiso entre la complejidad del mismo y la probabilidad de que se presente alguna falla en el sistema de control que obstaculice el funcionamiento

del instrumento.

De lo expuesto anteriormente se puede concluir que para diseñar un sistema de control eficiente, no es necesario que sea muy complicado.

El sistema de control presentado en esta tesis fue diseñado bajo estos criterios, para un sensor distribuido de temperatura. pero si se coloca un controlador de interrupciones en la tarjeta de control y se modifica la programación del sistema operativo, puede servir como sistema de control para otros tipos de sensores. Obviamente se le pueden hacer muchas modificaciones para mejorarlo y poder tener control sobre más parámetros del sistema, pero como primera aproximación se puede afirmar que cumple con el objetivo planteado para la tesis.

APENDICE A

En el presente apéndice se encuentran las tres principales rutinas del sistema de control.

"RUTINA DE INICIALIZACION"

20AB:0100	EA00C00000	JMP	0000:C000	
20AB:0105	BA0000	MOV	DX,0000	Reserva espacio de memoria para la pila.
20AB:0108	BED2	MOV	SS,DX	
20AB:010A	BCFF3F	MOV	SP,3FFF	
20AB:010D	FA	CLI		deshabilita las interrupciones.
20AB:010E	BA0090	MOV	DX,9000	
20AB:0111	BB0000	MOV	AX,0000	apaga todas las señales de alarma.
20AB:0114	EF	OUT	DX,AX	
20AB:0115	BE0000	MOV	SI,0000	
20AB:0118	B700	MOV	BH,00	
20AB:011A	C74400F3A5	MOV	WORD PTR [SI+00],A5F3	
20AB:011F	46	INC	SI	
20AB:0120	81FE000B	CMP	SI,0B00	llena 1024 localidades de memoria con el dato A5F3.
20AB:0124	7402	JZ	012B	
20AB:0126	EBF2	JMP	011A	
20AB:012B	BAF3A5	MOV	DX,A5F3	
20AB:012B	4E	DEC	SI	
20AB:012C	83FE00	CMP	SI,+00	
20AB:012F	7421	JZ	0152	
20AB:0131	3B5400	CMP	DX,[SI+00]	comprueba que el dato haya sido colocado en todas las localidades de memoria.
20AB:0134	74F5	JZ	012B	
20AB:0136	895400	MOV	[SI+00],DX	
20AB:0139	FEC7	INC	BH	
20AB:013B	80FF02	CMP	BH,02	
20AB:013E	7402	JZ	0142	
20AB:0140	EBEF	JMP	0131	
20AB:0142	BA0090	MOV	DX,9000	En caso de que falle la memoria, enciende la señal de alarma y verifica la forma de operación del sistema.
20AB:0145	B80400	MOV	AX,0004	
20AB:0148	EF	OUT	DX,AX	
20AB:0149	BA00BB	MOV	DX,BB00	
20AB:014C	EC	IN	AL,DX	
20AB:014D	2402	AND	AL,02	Si esta operando en forma remota, detén el funcionamiento del mismo.
20AB:014F	7401	JZ	0152	
20AB:0151	F4	HLT		
20AB:0152	B700	MOV	BH,00	
20AB:0154	B90200	MOV	CX,0002	
20AB:0157	BBFFFF	MOV	DX,FFFF	
20AB:015A	BA0090	MOV	DX,9000	Enciende todas las señales de alarma y apaga una por una, verificando que se lleve a cabo una secuencia.
20AB:015D	EF	OUT	DX,AX	
20AB:015E	A30001	MOV	[0100],AX	
20AB:0161	ED	IN	AX,DX	
20AB:0162	3B060001	CMP	AX,[0100]	
20AB:0166	740C	JZ	0174	
20AB:0168	FEC7	INC	BH	
20AB:016A	80FF02	CMP	BH,02	
20AB:016D	746B	JZ	01DA	
20AB:016F	A10001	MOV	AX,[0100]	
20AB:0172	EBE6	JMP	015A	

20AB:0174	A10001	MOV	AX, [0100]	
20AB:0177	BA0000	MOV	DX, 0000	
20AB:017A	F7F1	DIV	CX	
20AB:017C	3D0000	CMP	AX, 0000	
20AB:017F	7402	JZ	01B3	Apaga todas las seña-
20AB:0181	EBD7	JMP	015A	les de alarma y en-
20AB:0183	BA0090	MOV	DX, 9000	ciende la del subsis-
20AB:0186	BB0100	MOV	AX, 0001	tema.
20AB:0189	EF	OUT	DX, AX	Abre el reforzador -
20AB:018A	BA01AB	MOV	DX, AB01	para que el converti-
20AB:018D	B00B	MOV	AL, 0B	dor pueda leer el
20AB:018F	EE	OUT	DX, AL	voltaje de referencia.
20AB:0190	B700	MOV	BH, 00	
20AB:0192	C70600010000	MOV	WORD PTR [0100], 0000	
20AB:0198	BA00B0	MOV	DX, B000	
20AB:019B	B000	MOV	AL, 00	Toma 5 muestras del
20AB:019D	EE	OUT	DX, AL	voltaje de referencia
20AB:019E	52	PUSH	DX	por cada canal del
20AB:019F	BA00B5	MOV	DX, BB00	convertidor, prome-
20AB:01A2	EC	IN	AL, DX	diales y compara el
20AB:01A3	2401	AND	AL, 01	valor obtenido con el
20AB:01A5	74FB	JZ	01A2	valor equivalente a
20AB:01A7	5A	POP	DX	ese voltaje.
20AB:01AB	ED	IN	AX, DX	
20AB:01A9	80E400	AND	AH, 00	
20AB:01AC	03060001	ADD	AX, [0100]	
20AB:01B0	A30001	MOV	[0100], AX	
20AB:01B3	FEC7	INC	BH	
20AB:01B5	B0FF06	CMP	BH, 06	
20AB:01B8	7402	JZ	01BC	
20AB:01BA	EBDF	JMP	019B	
20AB:01BC	52	PUSH	DX	
20AB:01BD	BA0000	MOV	DX, 0000	
20AB:01C0	A10001	MOV	AX, [0100]	
20AB:01C3	B90500	MOV	CX, 0005	
20AB:01C6	F7F1	DIV	CX	
20AB:01CB	3CAD	CMP	AL, AD	
20AB:01CA	771D	JA	01E9	
20AB:01CC	3CA4	CMF	AL, A4	
20AB:01CE	7219	JB	01E7	
20AB:01D0	5A	POP	DX	
20AB:01D1	42	INC	DX	
20AB:01D2	B1FA07B0	CMP	DX, B007	
20AB:01D6	7719	JA	01F1	
20AB:01D8	EBC1	JMP	019B	
20AB:01DA	BA0090	MOV	DX, 9000	En caso de falla de
20AB:01DD	BB0000	MOV	AX, 0000	las alarmas, apagalas
20AB:01E0	EF	OUT	DX, AX	y enciende el led que
20AB:01E1	BA00BB	MOV	DX, BB00	indica la falla.
20AB:01E4	B004	MOV	AL, 04	
20AB:01E6	EE	OUT	DX, AL	
20AB:01E7	EBFB	JMP	01E4	
20AB:01E9	BA0090	MOV	DX, 9000	En caso de que falle
20AB:01EC	BB0B00	MOV	AX, 000B	el convertidor, deten
20AB:01EF	EF	OUT	DX, AX	funcionamiento del -

20AB:01F0	F4	HLT			
20AB:01F1	BA01AB	MOV	DX,AB01		subsistema.
20AB:01F4	B000	MOV	AL,00		Deshabilita el refor-
20AB:01F6	EE	OUT	DX,AL		zador.
20AB:01F7	BA00B6	MOV	DX,BB00		Verifica la forma de
20AB:01FA	ED	IN	AX,DX		operación del sistema.
20AB:01FB	2402	AND	AL,02		
20AB:01FD	7409	JZ	0207		
20AB:01FF	BA0090	MOV	DX,9000		Enciende la señal de
20AB:0202	B003	MOV	AL,03		remoto.
20AB:0204	EE	OUT	DX,AL		
20AB:0205	E803	JMP	020A		
20AB:0207	E98B03	JMP	0592		
20AB:020A	B700	MOV	BH,00		Suministra condicio-
20AB:020C	E8B100	CALL	0290		nes iniciales iguales
20AB:020F	EBB600	CALL	0298		a cero.
20AB:0212	BA00B0	MOV	DX,B000		
20AB:0215	EBB800	CALL	02A0		Verifica que el valor
20AB:0218	3C00	CMF	AL,00		de la corriente sea
20AB:021A	7412	JZ	022E		cero.
20AB:021C	FEC7	INC	BH		
20AB:021E	B0FF02	CMF	BH,02		
20AB:0221	7405	JZ	0228		
20AB:0223	EB6A00	CALL	0290		
20AB:0226	E8EA	JMP	0212		
20AB:0228	BA0090	MOV	DX,9000		
20AB:0229	B401	MOV	AH,01		
20AB:022D	EF	OUT	DX,AX		
20AB:022E	B700	MOV	BH,00		
20AB:0230	BA01B0	MOV	DX,B001		
20AB:0233	EB6A00	CALL	02A0		Verifica que el valor
20AB:0236	3C00	CMF	AL,00		de la frecuencia sea
20AB:0238	7414	JZ	024E		cero.
20AB:023A	FEC7	INC	BH		
20AB:023C	B0FF02	CMF	BH,02		
20AB:023F	7405	JZ	0244		
20AB:0241	EB4C00	CALL	0290		
20AB:0244	E8EA	JMP	0230		
20AB:0246	BA0090	MOV	DX,9000		
20AB:0249	ED	IN	AX,DX		
20AB:024A	B0CC02	OR	AH,02		
20AB:024D	EF	OUT	DX,AX		
20AB:024E	B700	MOV	BH,00		
20AB:0250	BA02B0	MOV	DX,B002		
20AB:0253	EB4A00	CALL	02A0		Verifica que el valor
20AB:0256	3C00	CMF	AL,00		del voltaje i sea ce-
20AB:0258	7414	JZ	026E		ro
20AB:025A	FEC7	INC	BH		
20AB:025C	B0FF02	CMF	BH,02		
20AB:025F	7405	JZ	0266		
20AB:0261	EB3400	CALL	0298		
20AB:0264	E8EA	JMP	0250		
20AB:0266	BA0090	MOV	DX,9000		
20AB:0269	ED	IN	AX,DX		
20AB:026A	B0CC04	OR	AH,04		

20AB:026D EF	OUT	Dx,AX	
20AB:026E B700	MOV	BH,00	
20AB:0270 BA03B0	MOV	DX,B003	
20AB:0273 EB2A00	CALL	02A0	
20AB:0276 3C00	CMP	AL,00	
20AB:027B 7414	JZ	02BE	Verifica que el valor
20AB:027A FEC7	INC	BH	del voltaje 2 sea ce-
20AB:027C B0FF02	CMP	BH,02	ro.
20AB:027F 7405	JZ	02B6	
20AB:0281 EB1400	CALL	029B	
20AB:0284 EBEB	JMP	0270	
20AB:0286 BA0090	MOV	DX,9000	
20AB:0289 ED	IN	AX,DX	
20AB:028A B0CC0B	OR	AH,0B	
20AB:028D EF	OUT	DX,AX	
20AB:028E EB49	JMP	02D9	Dale un valor de ce-
20AB:0290 BA009B	MOV	DX,9800	ro a la corriente y
20AB:0293 BB0000	MOV	AX,0000	frecuencia del sis-
20AB:0296 EF	OUT	DX,AX	tema.
20AB:0297 C3	RET		
20AB:029B BA00A0	MOV	DX,A000	Dale un valor de ce-
20AB:029B BB0000	MOV	AX,0000	ro a los voltajes
20AB:029E EF	OUT	DX,AX	del sistema.
20AB:029F C3	RET		
20AB:02A0 B90000	MOV	CX,0000	
20AB:02A3 C70602010000	MOV	WORD PTR [0102],0000	
20AB:02A9 B000	MOV	AL,00	
20AB:02AB EE	OUT	DX,AL	Toma 100 muestras del
20AB:02AC 52	PUSH	DX	valor del voltaje de
20AB:02AD BA00BB	MOV	DX,B800	retroalimentación y
20AB:02B0 EC	IN	AL,DX	promediales.
20AB:02B1 2401	AND	AL,01	
20AB:02B3 74FB	JZ	02B0	
20AB:02B5 5A	POP	DX	
20AB:02B6 ED	IN	AX,DX	
20AB:02B7 B0E400	AND	AH,00	
20AB:02BA 03060201	ADD	AX,[0102]	
20AB:02BE A30201	MOV	[0102],AX	
20AB:02C1 FEC1	INC	CL	
20AB:02C3 B0F933	CMP	CL,33	
20AB:02C6 7402	JZ	02CA	
20AB:02C8 E8DF	JMP	02A9	
20AB:02CA B0E901	SUB	CL,01	
20AB:02CD BA0000	MOV	DX,0000	
20AB:02D0 A10201	MOV	AX,[0102]	
20AB:02D3 F7F1	DIV	CX	
20AB:02D5 C3	RET		

**"RUTINA DE ADQUISICION DE DATOS"**

20AB:02D6 E95403	JMP	042D	Habilita al 7210 como
20AB:02D9 EB2406	CALL	0900	escucha.
20AB:02DC BA01B0	MOV	DX,B001	
20AB:02DF EC	IN	AL,DX	

20AB:02E0	AB10	TEST	AL,10	
20AB:02E2	75F2	JNZ	02D6	
20AB:02E4	EC	IN	AL,DX	
20AB:02E5	AB01	TEST	AL,01	
20AB:02E7	74FB	JZ	02E4	
20AB:02E9	8A00B0	MOV	DX,8000	
20AB:02EC	EC	IN	AL,DX	
20AB:02ED	C70600060000	MOV	WORD PTR [0600],0000	
20AB:02F3	BF0000	MOV	DI,0000	
20AB:02F6	3C00	CMP	AL,00	
20AB:02F8	74E2	JZ	02DC	
20AB:02FA	3C20	CMP	AL,20	
20AB:02FC	74DE	JZ	02DC	
20AB:02FE	3C54	CMP	AL,54	Si el caracter reci-
20AB:0300	74D4	JZ	02D6	bido es el de la le-
20AB:0302	3C74	CMP	AL,74	tra T realiza la ruti-
20AB:0304	74D0	JZ	02D6	na de supervisi3n
20AB:0306	3C2E	CMP	AL,2E	remota.
20AB:0308	7420	JZ	032A	
20AB:030A	BE00FF	MOV	SI,FF00	
20AB:030D	88B50004	MOV	[DI+0400],AL	
20AB:0311	88C1	MOV	CL,AL	
20AB:0313	AC	LDSB		
20AB:0314	3BCB	CMP	AL,CL	
20AB:0316	741D	JZ	0335	
20AB:0318	81FE06FF	CMP	SI,FF06	
20AB:031C	75F5	JNZ	0313	
20AB:031E	47	INC	DI	
20AB:031F	893E0007	MOV	[0700],DI	
20AB:0323	83FF06	CMP	DI,+06	Si el dato recibido
20AB:0326	7459	JZ	03B1	tiene mas de 6 caracte-
20AB:0328	EBB2	JMP	02DC	res manda el mensa-
20AB:032A	83FF04	CMP	DI,+04	je de error.
20AB:032D	7352	JNB	03B1	
20AB:032F	893E0006	MOV	[0600],DI	
20AB:0333	EBA7	JMP	02DC	
20AB:0335	83EE01	SUB	SI,+01	
20AB:0338	89360005	MOV	[0500],SI	
20AB:033C	83EF01	SUB	DI,+01	
20AB:033F	89FB	MOV	BX,DI	
20AB:0341	BF0000	MOV	DI,0000	
20AB:0344	B90A00	MOV	CX,000A	
20AB:0347	C70600060000	MOV	WORD PTR [0800],0000	
20AB:034D	8AB50104	MOV	AL,[DI+0401]	
20AB:0351	B400	MOV	AH,00	
20AB:0353	24F0	AND	AL,F0	Verifica que los
20AB:0355	3C30	CMP	AL,30	caracteres ASCII
20AB:0357	752B	JNZ	03B1	recibidos sean
20AB:0359	8AB50104	MOV	AL,[DI+0401]	de tipo num3rico
20AB:035D	240F	AND	AL,0F	
20AB:035F	3C0A	CMP	AL,0A	
20AB:0361	731E	JNB	03B1	
20AB:0363	0306000B	ADD	AX,[0800]	Convierte el valor
20AB:0367	A3000B	MOV	[0800],AX	ASCII a Hexadeci-
20AB:036A	57	PUSH	DI	mal.

20AB:036B	83C701	ADD	DI,+01	
20AB:036E	39DF	CMF	DI,BX	
20AB:0370	740C	JZ	037E	
20AB:0372	5F	POP	DI	
20AB:0373	A1000B	MOV	AX,[0800]	
20AB:0376	F7E1	MUL	CX	
20AB:037B	A3000B	MOV	[0800],AX	
20AB:037B	47	INC	DI	
20AB:037D	EBCF	JMP	034D	
20AB:037E	5F	POP	DI	
20AB:037F	EB0F	JMP	0390	
20AB:0381	BE00FD	MOV	SI,FD00	
20AB:0384	AC	LDSB		
20AB:0385	81FE05FD	CMF	SI,FD05	
20AB:0389	7402	JZ	038D	
20AB:038B	EBF7	JMP	0384	
20AB:038D	E949FF	JMP	02D9	
20AB:0390	8B360005	MOV	SI,I0500J	
20AB:0394	81FE01FF	CMF	SI,FF01	
20AB:0398	7E0C	JLE	03A6	
20AB:039A	81FE03FF	CMF	SI,FF03	Selecciona entre las
20AB:039E	7E03	JLE	03A3	rutinas de Frecuencia,
20AB:03A0	E93001	JMP	04D3	Corriente y Voltaje
20AB:03A3	E99A00	JMP	0440	para codificar el da-
20AB:03A6	BE06FF	MOV	SI,FF06	to Hexadecimal.
20AB:03A9	AC	LDSB		
20AB:03AA	3A060004	CMF	AL,[0400]	Codifica el valor
20AB:03AE	740B	JZ	03BB	Hexadecimal en 8
20AB:03B0	81FE08FF	CMF	SI,FF08	bits de manera que
20AB:03B4	73CB	JNB	0381	1 sea equivalente
20AB:03B6	EBF1	JMP	03A9	a 1 KHz y FF a 10
20AB:03BB	8B3E0006	MOV	DI,[0600]	Khz.
20AB:03BC	83FF00	CMF	DI,+00	
20AB:03BF	740F	JZ	03D0	Tomando en cuenta
20AB:03C1	83FF01	CMF	DI,+01	la forma en la que
20AB:03C4	74BB	JZ	0381	el valor, se hace
20AB:03C6	83FF02	CMF	DI,+02	la codificacion.
20AB:03C9	7416	JZ	03E1	
20AB:03CB	83FF03	CMF	DI,+03	
20AB:03CE	73B1	JNB	0381	
20AB:03D0	A1000B	MOV	AX,[0800]	
20AB:03D3	3D0A00	CMF	AX,000A	
20AB:03D6	77A9	JA	0381	
20AB:03D8	8400	MOV	AH,00	
20AB:03DA	B9EB03	MOV	CX,03EB	
20AB:03DD	F7E1	MUL	CX	
20AB:03DF	EB47	JMP	042B	
20AB:03E1	83EF01	SUB	DI,+01	
20AB:03E4	BAB50004	MOV	AL,[DI+0400]	
20AB:03E8	3C30	CMF	AL,30	
20AB:03EA	7495	JZ	03B1	
20AB:03EC	A00007	MOV	AL,[0700]	
20AB:03EF	2C01	SUB	AL,01	
20AB:03F1	8400	MOV	AH,00	
20AB:03F3	29F8	SUB	AX,DI	

20AB:03F5	3C02	CMP	AL,02
20AB:03F7	740A	JZ	0403
20AB:03F9	3C01	CMP	AL,01
20AB:03FB	7412	JZ	040F
20AB:03FD	3C00	CMP	AL,00
20AB:03FF	7418	JZ	0419
20AB:0401	EB22	JMP	0425
20AB:0403	B400	MOV	AH,00
20AB:0405	A0000B	MOV	AL,[0B00]
20AB:0408	B90A00	MOV	CX,000A
20AB:0408	F7E1	MUL	CX
20AB:040D	EB19	JMP	042B
20AB:040F	A1000B	MOV	AX,[0B00]
20AB:0412	B96400	MOV	CX,0064
20AB:0415	F7E1	MUL	CX
20AB:0417	EB0F	JMP	042B
20AB:0419	B9E803	MOV	CX,03E8
20AB:041C	B400	MOV	AH,00
20AB:041E	A0000B	MOV	AL,[0B00]
20AB:0421	F7E1	MUL	CX
20AB:0423	EB03	JMP	042B
20AB:0425	A1000B	MOV	AX,[0B00]
20AB:0428	B9E803	MOV	CX,03E8
20AB:0428	BA0000	MOV	DX,0000
20AB:042E	29CB	SUB	AX,CX
20AB:0430	F7E1	MUL	CX
20AB:0432	BB55B9	MOV	BX,B955
20AB:0435	F7F3	DIV	BX
20AB:0437	A31601	MOV	[0116],AX
20AB:043A	E99CFE	JMP	02D9
20AB:043D	E941FF	JMP	03B1
20AB:0440	BE0BFF	MOV	SI,FF0B
20AB:0443	AC	LDSB	
20AB:0444	3A060004	CMP	AL,[0400]
20AB:0448	740B	JZ	0452
20AB:044A	81FE0AFF	CMP	SI,FF0A
20AB:044E	7DED	JGE	043D
20AB:0450	EBF1	JMP	0443
20AB:0452	BB3E0006	MOV	DI,[0600]
20AB:0456	83FF00	CMP	DI,+00
20AB:0459	7407	JZ	0462
20AB:045B	B3FF03	CMP	DI,+03
20AB:045E	740E	JZ	046E
20AB:0460	EB1D	JMP	047F
20AB:0462	A1000B	MOV	AX,[0B00]
20AB:0465	3D3D00	CMP	AX,003D
20AB:0468	73D3	JNB	043D
20AB:046A	B400	MOV	AH,00
20AB:046C	EB52	JMP	04C0
20AB:046E	57	PUSH	DI
20AB:046F	83EF02	SUB	DI,+02
20AB:0472	BAB50004	MOV	AL,[DI+0400]
20AB:0476	3C36	CMP	AL,36
20AB:0478	73C3	JNB	043D
20AB:047A	3C2F	CMP	AL,2F

Codifica el valor Hexadecimal en 8 bits de manera que 0 sea equivalente a 0 Amp y FF a 60 Amp.

Tomando en cuenta la forma en la que fue suministrado el valor, se hace la codificación.

20AB:047C 7EBF  
 20AB:047E 5F  
 20AB:047F 83EF01  
 20AB:0482 A00007  
 20AB:0485 2C01  
 20AB:0487 B400  
 20AB:0489 29FB  
 20AB:048B 3C04  
 20AB:048D 7436  
 20AB:048F 3C03  
 20AB:0491 740C  
 20AB:0493 3C02  
 20AB:0495 7412  
 20AB:0497 3C01  
 20AB:0499 741B  
 20AB:049B 3C00  
 20AB:049D 741E  
 20AB:049F A1000B  
 20AB:04A2 B90A00  
 20AB:04A5 F7E1  
 20AB:04A7 EB1C  
 20AB:04A9 A1000B  
 20AB:04AC B96400  
 20AB:04AF F7E1  
 20AB:04B1 EB12  
 20AB:04B3 A1000B  
 20AB:04B6 B9E803  
 20AB:04B9 F7E1  
 20AB:04BB EB0B  
 20AB:04BD A1000B  
 20AB:04C0 B91027  
 20AB:04C3 F7E1  
 20AB:04C5 B85012  
 20AB:04CB F7F3  
 20AB:04CA A31001  
 20AB:04CD E909FE  
 20AB:04D0 E9AEFE  
 20AB:04D3 BE0AFF  
 20AB:04D6 AC  
 20AB:04D7 3A060004  
 20AB:04DB 740B  
 20AB:04DD B1FE0EFF  
 20AB:04E1 7DED  
 20AB:04E3 EBF1  
 20AB:04E5 B1FE0BFF  
 20AB:04E9 7E09  
 20AB:04EB E80F00  
 20AB:04EE A31C01  
 20AB:04F1 E9E3FD  
 20AB:04F4 EB0600  
 20AB:04F7 A32201  
 20AB:04FA E9DCFD  
 20AB:04FD B83E0006  
 20AB:0501 83FF00  
 20AB:0504 740C

JLE  
 POF  
 SUB  
 MOV  
 SUB  
 MOV  
 SUB  
 CMP  
 JZ  
 CMP  
 JZ  
 CMP  
 JZ  
 CMP  
 JZ  
 MOV  
 MOV  
 MUL  
 JMP  
 MOV  
 MOV  
 MUL  
 JMP  
 MOV  
 MOV  
 MUL  
 JMP  
 MOV  
 MOV  
 MUL  
 MOV  
 DIV  
 MOV  
 JMP  
 JMP  
 MOV  
 LODSB  
 CMP  
 JZ  
 CMP  
 JGE  
 JMP  
 CMP  
 JLE  
 CALL  
 MOV  
 JMP  
 CALL  
 MOV  
 JMP  
 MOV  
 CMP  
 JZ

043D  
 DI  
 DI, +01  
 AL, [0700]  
 AL, 01  
 AH, 00  
 AX, DI  
 AL, 04  
 04C5  
 AL, 03  
 049F  
 AL, 02  
 04A9  
 AL, 01  
 04B3  
 AL, 00  
 04BD  
 AX, [0800]  
 CX, 000A  
 CX  
 04C5  
 AX, [0800]  
 CX, 0064  
 CX  
 04C5  
 AX, [0800]  
 CX, 03EB  
 CX  
 04C5  
 AX, [0800]  
 CX, 2710  
 CX  
 BX, 1250  
 BX  
 [0110], AX  
 02D9  
 03B1  
 SI, FFOA  
 AL, [0400]  
 04E5  
 SI, FFOE  
 04D0  
 04D6  
 SI, FFOB  
 04F4  
 04FD  
 [011C], AX  
 02D9  
 04FD  
 [0122], AX  
 02D9  
 DI, [0600]  
 DI, +00  
 0512

Codifica el valor Hexadecimal en 8 bits de manera que 0 sea equivalente a 0 Volts y FF a 170 Volts.

Codifica el valor de voltaje del fotoreceptor No. 1.

Codifica el valor de voltaje del fotoreceptor No. 2.

Tomando en cuenta la forma en la que

20AB:0506	83FF02	CMP	DI,+02
20AB:0509	7413	JZ	051E
20AB:050B	83FF03	CMP	DI,+03
20AB:050E	74C0	JZ	04D0
20AB:0510	EB1D	JMP	052F
20AB:0512	A1000B	MOV	AX,[0800]
20AB:0515	3D0300	CMP	AX,0003
20AB:0518	73BB	JNB	04D2
20AB:051A	B400	MOV	AH,00
20AB:051C	EB5E	JMP	057C
20AB:051E	83EF01	SUB	DI,+01
20AB:0521	8AB50004	MOV	AL,[DI+0400]
20AB:0525	3C32	CMP	AL,32
20AB:0527	73A7	JNB	04D0
20AB:0529	3C2F	CMP	AL,2F
20AB:052B	7EA3	JLE	04D0
20AB:052D	EB03	JMP	0532
20AB:052F	83EF01	SUB	DI,+01
20AB:0532	A00007	MOV	AL,[0700]
20AB:0535	2C01	SUB	AL,01
20AB:0537	B400	MOV	AH,00
20AB:0539	29FB	SUB	AX,DI
20AB:053B	3C04	CMP	AL,04
20AB:053D	7410	JZ	054F
20AB:053F	3C03	CMP	AL,03
20AB:0541	7416	JZ	0559
20AB:0543	3C02	CMP	AL,02
20AB:0545	741C	JZ	0563
20AB:0547	3C01	CMP	AL,01
20AB:0549	7422	JZ	056D
20AB:054B	3C00	CMP	AL,00
20AB:054D	742D	JZ	057C
20AB:054F	A1000B	MOV	AX,[0800]
20AB:0552	B96400	MOV	CX,0064
20AB:0555	F7E1	MUL	CX
20AB:0557	EB30	JMP	0589
20AB:0559	A1000B	MOV	AX,[0800]
20AB:055C	B9EB03	MOV	CX,03EB
20AB:055F	F7E1	MUL	CX
20AB:0561	EB26	JMP	0589
20AB:0563	A1000B	MOV	AX,[0800]
20AB:0566	B91027	MOV	CX,2710
20AB:0569	F7E1	MUL	CX
20AB:056B	EB1C	JMP	0589
20AB:056D	A1000B	MOV	AX,[0800]
20AB:0570	B9EB03	MOV	CX,03EB
20AB:0573	F7E1	MUL	CX
20AB:0575	B90A00	MOV	CX,000A
20AB:0578	F7E1	MUL	CX
20AB:057A	EB0D	JMP	0589
20AB:057C	A1000B	MOV	AX,[0800]
20AB:057F	B9EB03	MOV	CX,03EB
20AB:0582	F7E1	MUL	CX
20AB:0584	B96400	MOV	CX,0064
20AB:0587	F7E1	MUL	CX

fue suministrado el valor, se hace la codificación.

20AB:0589	BA0000	MOV	DX,0000
20AB:058C	BB851E	MOV	BX,1E85
20AB:058F	F7F3	DIV	BX
20AB:0591	C3	RET	

"RUTINA DE SUPERVISION"

(Supervisión Local)

20AB:0592	FB	STI		
20AB:0593	BA00B0	MOV	DX,B000	Supervisa que el va-
20AB:0596	E907FD	CALL	02A0	lor de la corriente
20AB:0599	E80302	CALL	079F	no este en los nive-
20AB:059C	3D7F00	CMP	AX,007F	les limite.
20AB:059F	7307	JNB	05AB	En caso de que se de
20AB:05A1	3D0000	CMP	AX,0000	esta condicion en-
20AB:05A4	740A	JZ	05B0	ciende la señal de a-
20AB:05A6	E80E	JMP	05B6	larma.
20AB:05A8	BB0010	MOV	BX,1000	
20AB:05AB	E90F02	CALL	07BD	
20AB:05AE	E806	JMP	05B6	
20AB:05B0	BB1000	MOV	BX,0010	
20AB:05B3	E80702	CALL	07BD	
20AB:05B6	BA01B0	MOV	DX,B001	Supervisa que el va-
20AB:05B9	E8E4FC	CALL	02A0	lor de la frecuencia
20AB:05BC	E8F101	CALL	07B0	no este en los nive-
20AB:05BF	B9DFDD	MOV	CX,DDDF	les limite.
20AB:05C2	3DFF00	CMP	AX,00FF	En caso de que se de
20AB:05C5	7307	JNB	05CE	esta condicion en-
20AB:05C7	3D0000	CMP	AX,0000	ciende la señal de a-
20AB:05CA	740A	JZ	05D6	larma.
20AB:05CC	E80E	JMP	05DC	
20AB:05CE	BB0020	MOV	BX,2000	
20AB:05D1	E8E901	CALL	07BD	
20AB:05D4	E806	JMP	05DC	
20AB:05D6	BB2000	MOV	BX,0020	
20AB:05D9	E8E101	CALL	07BD	
20AB:05DC	BA02B0	MOV	DX,B002	Supervisa que el va-
20AB:05DF	E8B8FC	CALL	02A0	lor del voltaje 1 no
20AB:05E2	E8CB01	CALL	07B0	este en los niveles
20AB:05E5	B9BFBB	MOV	CX,BBBF	limite.
20AB:05E8	3DFF00	CMP	AX,00FF	En caso de que se de
20AB:05EB	7307	JNB	05F4	esta condicion en-
20AB:05ED	3D0000	CMP	AX,0000	ciende la señal de a-
20AB:05F0	740A	JZ	05FC	larma.
20AB:05F2	E80E	JMP	0602	
20AB:05F4	BB0040	MOV	BX,4000	
20AB:05F7	E8C301	CALL	07BD	
20AB:05FA	E806	JMP	0602	
20AB:05FC	BB4000	MOV	BX,0040	
20AB:05FF	EBBB01	CALL	07BD	
20AB:0602	BA03B0	MOV	DX,B003	Supervisa que el va-
20AB:0605	E898FC	CALL	02A0	lor del voltaje 2 no
20AB:0608	E8A501	CALL	07B0	este en los niveles
20AB:060B	B97F77	MOV	CX,777F	limite.
20AB:060E	3DFF00	CMP	AX,00FF	En caso de que se de

20AB:0611 7308  
 20AB:0613 3D0000  
 20AB:0616 740C  
 20AB:0618 E97601  
 20AB:061B BB0080  
 20AB:061E EB9C01  
 20AB:0621 E96D01  
 20AB:0624 BB8000  
 20AB:0627 EB9301  
 20AB:062A E96401

JNB 061B  
 CMP AX,0000  
 JZ 0624  
 JMP 0791  
 MOV BX,8000  
 CALL 07BD  
 JMP 0791  
 MOV BX,0080  
 CALL 07BD  
 JMP 0791

esta condición enciende la señal de alarma.

(Supervisión Remota)

20AB:062D FB  
 20AB:062E BE0000  
 20AB:0631 BA00B0  
 20AB:0634 EB69FC  
 20AB:0637 EB6501  
 20AB:063A 8B1E1001  
 20AB:063E 83C305  
 20AB:0641 39DB  
 20AB:0643 7710  
 20AB:0645 8B1E1001  
 20AB:0649 83EB05  
 20AB:064C 39DB  
 20AB:064E 7216  
 20AB:0650 BB0000  
 20AB:0653 EB2D  
 20AB:0655 3D7F00  
 20AB:0658 7216  
 20AB:065A BA009B  
 20AB:065D BB0000  
 20AB:0660 EF  
 20AB:0661 BB0010  
 20AB:0664 EB1C  
 20AB:0666 3D0000  
 20AB:0669 7705  
 20AB:066B BB1000  
 20AB:066E EB12  
 20AB:0670 A01001  
 20AB:0673 BA009B  
 20AB:0676 EE  
 20AB:0677 46  
 20AB:0678 83FE02  
 20AB:067B 7402  
 20AB:067D EBB2  
 20AB:067F BB0001  
 20AB:0682 EB3801  
 20AB:0685 BE0000  
 20AB:0688 BA01B0  
 20AB:068B EB12FC  
 20AB:068E EB1F01  
 20AB:0691 B9DFDD  
 20AB:0694 8B1E1601  
 20AB:0698 83C305  
 20AB:069B 39DB

STI  
 MOV SI,0000  
 MOV DX,8000  
 CALL 02A0  
 CALL 079F  
 MOV BX,[0110]  
 ADD BX,+05  
 CMP AX,BX  
 JA 0655  
 MOV BX,[0110]  
 SUB BX,+05  
 CMP AX,BX  
 JB 0666  
 MOV BX,0000  
 JMP 0682  
 CMP AX,007F  
 JB 0670  
 MOV DX,9800  
 MOV AX,0000  
 OUT DX,AX  
 MOV BX,1000  
 JMP 0682  
 CMP AX,0000  
 JA 0670  
 MOV BX,0010  
 JMP 0682  
 MOV AL,[0110]  
 MOV DX,9800  
 OUT DX,AL  
 SI  
 SI,+02  
 JZ 067F  
 JMP 0631  
 MOV BX,0100  
 CALL 07BD  
 MOV SI,0000  
 MOV DX,8001  
 CALL 02A0  
 CALL 0780  
 MOV CX,DDDF  
 MOV BX,[0116]  
 ADD BX,+05  
 CMP AX,BX

Verifica que la corriente tenga el valor preestablecido.

Si la corriente tiene un valor igual o mayor a 60 amp deshabilita al láser y enciende la señal de alarma.

Verifica que la frecuencia tenga el valor preestablecido.

20AB:069D	7710	JA	06AF
20AB:069F	8B1E1a01	MOV	BX,[0116]
20AB:06A3	83EB05	SUB	BX,+05
20AB:06A6	39DB	CMP	AX,BX
20AB:06AB	720F	JB	06B9
20AB:06AA	8B0000	MOV	BX,0000
20AB:06AD	EB2D	JMP	06DC
20AB:06AF	3DFF00	CMP	AX,00FF
20AB:06B2	7216	JB	06CA
20AB:06B4	8B0020	MOV	BX,2000
20AB:06B7	EB23	JMP	06DC
20AB:06B9	3D0000	CMP	AX,0000
20AB:06BC	770C	JA	06CA
20AB:06BE	8A0098	MOV	DX,9800
20AB:06C1	8B0000	MOV	AX,0000
20AB:06C4	EF	OUT	DX,AX
20AB:06C5	8B2000	MOV	BX,0020
20AB:06CB	EB12	JMP	06DC
20AB:06CA	A01601	MOV	AL,[0116]
20AB:06CD	8A0198	MOV	DX,9801
20AB:06D0	EE	OUT	DX,AL
20AB:06D1	46	INC	SI
20AB:06D2	83FE02	CMP	SI,+02
20AB:06D5	7402	JZ	06D9
20AB:06D7	EBAF	JMP	0688
20AB:06D9	8B0002	MOV	BX,0200
20AB:06DC	EBDE00	CALL	07BD
20AB:06DF	8E0000	MOV	SI,0000
20AB:06E2	8A02B0	MOV	DX,B002
20AB:06E5	8B8BF8	CALL	02A0
20AB:06E8	8BC500	CALL	07B0
20AB:06EB	898F8B	MOV	CX,88BF
20AB:06EE	8B1E1C01	MOV	BX,[011C]
20AB:06F2	83C305	ADD	BX,+05
20AB:06F5	39DB	CMP	AX,BX
20AB:06F7	7710	JA	0709
20AB:06F9	8B1E1C01	MOV	BX,[011C]
20AB:06FD	83EB05	SUB	BX,+05
20AB:0700	39DB	CMP	AX,BX
20AB:0702	7215	JB	0719
20AB:0704	8B0000	MOV	BX,0000
20AB:0707	EB2C	JMP	0735
20AB:0709	3DFF00	CMP	AX,00FF
20AB:070C	7215	JB	0723
20AB:070E	8A01A0	MOV	DX,A001
20AB:0711	8000	MOV	AL,00
20AB:0713	EE	OUT	DX,AL
20AB:0714	8B0040	MOV	BX,4000
20AB:0717	EB1C	JMP	0735
20AB:0719	3D0000	CMP	AX,0000
20AB:071C	7705	JA	0723
20AB:071E	8B4000	MOV	BX,0040
20AB:0721	EB12	JMP	0735
20AB:0723	A01C01	MOV	AL,[011C]
20AB:0726	8A00A0	MOV	DX,A000

Si el valor de la frecuencia es nulo desactiva al laser y enciende la señal de alarma.

Verifica que el valor del voltaje de polarizacion del fotoreceptor 1 sea el preestablecido.

Si el valor del voltaje es mayor o igual a 170 volts desactiva al fotoreceptor y enciende la señal de alarma.

20AB:0729	EE	OUT.	DX,AL
20AB:072A	46	INC	SI
20AB:072B	83FE02	CMP	SI,+02
20AB:072E	7402	JZ	0732
20AB:0730	EBB0	JMP	06E2
20AB:0732	BB0004	MOV	BX,0400
20AB:0735	EBB500	CALL	07BD
20AB:0738	BE0000	MOV	SI,0000
20AB:073B	BA03B0	MOV	DX,B003
20AB:073E	EB5FFB	CALL	02A0
20AB:0741	E96C00	CALL	07B0
20AB:0744	B97F77	MOV	CX,777F
20AB:0747	BB1E2201	MOV	BX,[0122]
20AB:0748	83C305	ADD	BX,+05
20AB:074E	39DB	CMP	AX,BX
20AB:0750	7710	JA	0762
20AB:0752	BB1E2201	MOV	BX,[0122]
20AB:0756	83EB05	SUB	BX,+05
20AB:0759	39DB	CMP	AX,BX
20AB:075B	7215	JB	0772
20AB:075D	BB0000	MOV	BX,0000
20AB:0760	EB2C	JMP	07BE
20AB:0762	3DFF00	CMP	AX,00FF
20AB:0765	7215	JB	077C
20AB:0767	BA00A0	MOV	DX,A000
20AB:076A	B000	MOV	AL,00
20AB:076C	EE	OUT	DX,AL
20AB:076D	BB00B0	MOV	BX,B000
20AB:0770	EB1C	JMP	07BE
20AB:0772	3D0000	CMP	AX,0000
20AB:0775	7705	JA	077C
20AB:0777	BBB000	MOV	BX,00B0
20AB:077A	EB12	JMP	07BE
20AB:077C	A02201	MOV	AL,[0122]
20AB:077F	BA01A0	MOV	DX,A001
20AB:0782	EE	OUT	DX,AL
20AB:0783	46	INC	SI
20AB:0784	83FE02	CMP	SI,+02
20AB:0787	7402	JZ	07BB
20AB:0789	EBB0	JMP	073B
20AB:078B	BB000B	MOV	BX,0B00
20AB:078E	EB2C00	CALL	07BD
20AB:0791	BA00BB	MOV	DX,BB00
20AB:0794	ED	IN	AX,DX
20AB:0795	2402	AND	AL,02
20AB:0797	7403	JZ	079C
20AB:0799	E991FE	JMP	062D
20AB:079C	E9F3FD	JMP	0592
20AB:079F	BA0000	MOV	DX,0000
20AB:07A2	BBE204	MOV	BX,04E2
20AB:07A5	F7E3	MUL	BX
20AB:07A7	B9EB03	MOV	CX,03EB
20AB:07AA	F7F1	DIV	CX
20AB:07AC	B9EFE2	MOV	CX,EEFF
20AB:07AF	C3	RET	

Verifica que el valor del voltaje de polarización del fotoreceptor 2 sea el preestablecido.

Si el valor del voltaje es mayor o igual a 170 volts desactiva al fotoreceptor y enciende la señal de alarma.

Verifica que no haya cambiado la forma de operación del sistema.

Codifica el valor de retroalimentación de la corriente. (de 2 volts a 5 volts en binario).

20AB:07B0 BA0000  
20AB:07B3 B3FA  
20AB:07B5 F6E3  
20AB:07B7 B96400  
20AB:07BA F7F1  
20AB:07BC C3  
20AB:07BD BA0090  
20AB:07C0 ED  
20AB:07C1 21CB  
20AB:07C3 09DB  
20AB:07C5 EF  
20AB:07C6 C3

MOV  
MOV  
MUL  
MOV  
DIV  
RET  
MOV  
IN  
AND  
OR  
OUT  
RET

DX,0000  
BL,FA  
BL  
CX,0064  
CX  
DX,9000  
AX,DX  
AX,CX  
AX,BX  
DX,AX

Codifica el valor de retroalimentación de los voltajes y la frecuencia. (de 2 volts a 5 volts en binario).

De acuerdo a los datos recibidos enciende o apaga las alarmas

## BIBLIOGRAFIA

1. "APX 86, 88, 186 and 188 User's Manual Programmer's Reference", Intel Corporation Santa Clara California, U.S.A., 1985.
2. Christopher L. Morgan - Mitchell White "Introducción al Microprocesador 8086/8088 (16 bits)", Byte Books/Mc Graw Hill, Mexico D.F. 1985, 339 pp.
3. "Data Conversion/Acquisiiton Data Book", National Semiconductor, Santa Clara California, U.S.A. 1984.
4. David C. Willen, "IBM PC Jr Assembler Language", Editorial Howard W. Sams & Co, Inc., Indiana U.S.A., 1984.
5. Eugene Fisher - C. W. Jensen, "Pet/CBM and the IEEE-488 Bus (GPIB)", Osborne/Mc Graw Hill, Berkeley, California, 1982, 320 pp.
6. Herbert Taub - Donald Schilling, "Digital Integrated Electronics", Mc Graw Hill-Kogakusha, LTD., Tokio Japon, 1977.
7. "IEEE-488 Standard Digital Interfase for Programable Instrumentation", Sponsor IEEE Instrumentation and Measurements Grup, IEEE Std 488-1978 (Revision of ANSI/IEEE std 488-1975).
8. John M. Senior, "Optical Fiber Communications", Prentice

Hall International, U.S.A., 1985, 558 pp.

9. "Logical Data Book", Vol II, National Semiconductor Corporation, Santa Clara California, U.S.A., 1984.
10. Morse Stephen P., "The 8086/8088 Primer", Hayden Book Co, Inc.; Hasbrouck Heights, New Jersey, U.S.A., 276 pp.
11. Russell Rector - George Alexy, "The 8086 Book", Osborne/Mc Graw Hill, Berkeley, California, U.S.A., 1980.
12. Soto Ortiz Horacio, "Diseño y Construcción de un Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo de Raman", Tesis Maestría, CICESE, 1988.
13. "The TTL Data Book", Texas Instruments, Segunda Edición, U.S.A., 1976.