

## INTRODUCCIÓN

La tendencia actual del sector empresarial e industrial, establece la necesidad de incorporar sistemas que faciliten el desarrollo de múltiples actividades en forma simultánea, a la vez que se garantiza una alta confiabilidad y efectividad en todos los procesos.

Pensando en esto, se ha pretendido en el presente proyecto diseñar y especificar un sistema de adquisición de datos, el cual será una herramienta útil para el sector eléctrico en sus deseos de expansionismo confiable.

Para garantizar que el sistema tenga una viabilidad de aplicación más global, primero se desarrolla una estadística con el fin de determinar las características de una gran variedad de sensores, y desde allí, se inicia un proceso continuo de selección y descripción de las etapas de adquisición de datos.

La elaboración del presente trabajo se ha fundamentado principalmente en las necesidades del sector eléctrico colombiano encargado de la generación de energía, para conocer en todo momento y lugar la situación de sus centrales.

Finalmente, tratando de dar un vistazo global y aplicado al sistema de adquisición de datos obtenido, se explica en forma descriptiva la manera de implementar el monitoreo para una central eléctrica de cogeneración basado en combustión interna.

Adicional al trabajo escrito aquí presentado, se ha anexado un CD ROOM, el cual contiene todos los archivos de los sensores, las hojas de especificaciones de algunos dispositivos y otros datos de interés que se citan a lo largo del texto.

## ANTECEDENTES

El proceso de generación de energía eléctrica incluye el manejo de una diversidad de subprocesos como son: combustión, vaporización, condensación, entre otros. La efectividad y productividad de cada uno de estos procesos depende de que ciertas variables se encuentren en sus valores óptimos y que el ambiente de trabajo sea adecuado para el desarrollo de dicho proceso. Es en estos momentos cuando se torna de vital importancia el hecho de monitorear cada una de las etapas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema que permita ofrecer un servicio de excelente calidad.

Este problema ha sido reconocido en el ámbito global y es por este motivo que existe una gran cantidad de empresas extranjeras de renombre que prestan servicios de monitoreo de centrales eléctricas de diversos tipos (ej. **PROYTEK S. A.** de Venezuela, **Latin-Tech Inc.** de Miami, **OMEGA** de Usa/Canadá, etc.) sin embargo, dichos servicios tienen un costo relativamente alto para el alcance de las empresas colombianas e incluso sur y centroamericanas.

En el mercado regional existen muchos tipos de sistemas de adquisición de datos de propósito general y de costos medianamente elevados, no obstante, dichos sistemas poseen entradas estándares que no son compatibles con los sensores utilizados para las variables de interés en el proceso de generación de energía eléctrica, y el acondicionamiento de las señales elevan paulatinamente los precios del sistema, adicionalmente, cuando se requiere el monitoreo de procesos remotos se debe anexar a los mencionados sistemas algunos módulos que permitan cumplir con este fin aumentando de esta forma los precios a cantidades muy grandes y que además requieren inversiones de tiempo considerables.

Basados en los argumentos expuestos, se ha pretendido diseñar un sistema de adquisición de datos de bajo costo que posea entradas apropiadas para los sensores de mayor oferta en el mercado, según el tipo de variable requerida por los procesos de generación eléctrica, y que además ofrezca la posibilidad de desarrollar todo el monitoreo desde lugares remotos facilitando la constante supervisión de los procesos.

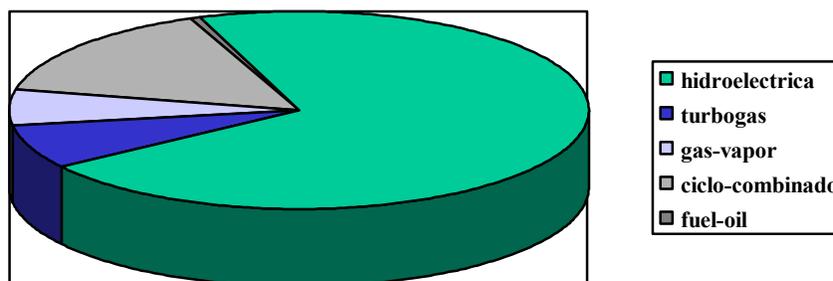
# CAPITULO 1

## CENTRALES ELECTRICAS

La energía eléctrica es una forma de energía secundaria y se obtiene a partir de la transformación de otras formas de energía mediante instalaciones que reciben el nombre de centrales eléctricas. Las distintas formas de energía surgen de la explotación de los recursos energéticos y de acuerdo a la fuente de energía que se utilice, se distinguen en diferentes tipos de centrales, como las siguientes: cuando la fuente son los combustibles de origen fósil, o sea que son recursos no renovables, la central se denomina *térmica*, si la fuente es uranio 235, que también es un recurso no renovable, la central se denomina *nuclear*. De igual forma pero en este caso empleando recursos renovables, como lo son: el Sol, el viento, el agua, la transformación química de los productos orgánicos en combustión y el calor proveniente del interior de la tierra, tendrán respectivamente las siguientes centrales: *solar*, *eólica*, *hidráulica*, *bioenergética* y *geotérmica*.

### 1.1 CENTRALES ELECTRICAS EN COLOMBIA

La capacidad efectiva neta del Sistema de Interconectado Nacional (SIN, plantas despachadas centralmente y no despachadas centralmente) a Septiembre 4 del año 2003 alcanzó un valor de 13,351.0 MW, de los cuales 13,057.00 MW (97.8%) corresponde a plantas despachadas centralmente y 294.00 MW (2.2%) son plantas no despachadas centralmente (generadores locales). El 66.33% (8,638.00 MW) de la capacidad efectiva de las plantas despachadas centralmente corresponde a plantas hidráulicas, mientras el 33.67% (4,397.00 MW) son plantas térmicas. La capacidad efectiva de las plantas no despachadas centralmente está compuesta por 231.67 MW (78.8%) hidráulicos y 62.33 MW (21.2%) térmicos. Adicionalmente, se dispone de 270 MW de capacidad por interconexiones internacionales: desde Venezuela 150 MW a través de la línea Cuestecitas-Cuatricentenario, 36 MW por la línea Cadafe-Zulia y 54 MW por la línea Corozo-San Mateo; y 30 MW desde Ecuador por la línea Tulcán-Panamericana. En la figura 1.1 se observa el porcentaje de participación de cada tipo de producción en el SIN para Colombia, basados en los datos suministrados por la UPME [1]



**FIGURA 1.1:** Diagrama porcentual de generación eléctrica en Colombia

En la carpeta PLANTAELEC disponible en el CD anexo, se presenta un listado completo suministrado por el SIN y publicado en la página del UPME donde se ilustra la producción de las diferentes centrales en Colombia así como un mapa con la ubicación geográfica de estas.

La tabla 1.1 presenta la clasificación de las principales centrales eléctricas que se encuentran en Colombia.

<b>Tipo de central</b>	<b>Fuente primaria de Energía</b>
<i>HIDROELÉCTRICA</i>	Agua-turbina Pelton
	Agua-turbina Francis
<i>TERMOELÉCTRICA</i>	Carbón – Vapor
	Gas – Vapor
	Fuel Oil – Vapor
	Turbogas
	Turbogas – Vapor

**TABLA 1.1:** Clasificación centrales eléctricas en Colombia

## 1.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS CENTRALES ELECTRICAS

A modo de síntesis y sin entrar a considerar las complejidades que implica tener en cuenta todos los elementos accesorios que intervienen en los distintos procesos para la generación de energía eléctrica, se puede explicar en forma breve en que consiste la misma: en todas las centrales eléctricas existen dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos cuya función es la de transformar las diferentes fuentes de energía para producir electricidad. Entre los distintos dispositivos se encuentra la turbina, el generador, el equipamiento mecánico y el equipamiento eléctrico. La generación de electricidad se produce en el generador, el cual funciona por la energía mecánica que le trasmite la turbina. El generador eléctrico está formado por dos piezas principales, el rotor, que es una pieza que gira por la energía mecánica que le trasmite la turbina mediante el árbol de transmisión. La otra pieza es el estator, el cual se encuentra fijo en el lugar donde se genera la electricidad cuando gira el electroimán del rotor. La turbina está formada por una rueda, compuesta por paletas llamadas álabes, que están unidas al generador por un árbol de transmisión, el cual consiste en un eje que trasmite la potencia. La turbina para funcionar necesita de un fluido como: agua, gas, etc., y su función es transformar la energía cinética proveniente de los diversos fluidos, en energía mecánica.

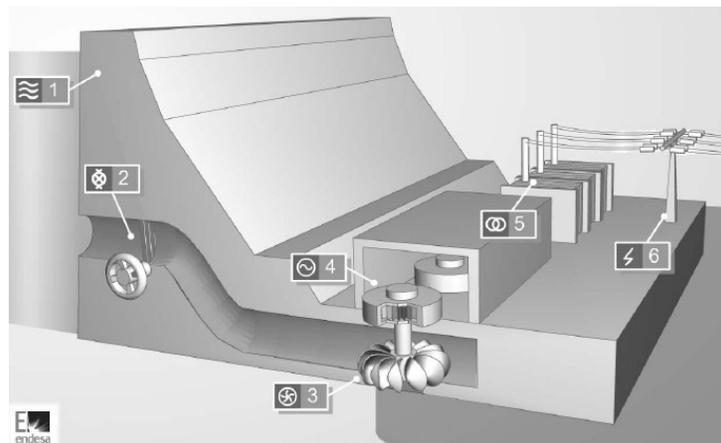
Para continuar con la discusión se describe brevemente el funcionamiento de las centrales eléctricas que se encuentran en Colombia para posteriormente determinar las variables de vital importancia para la supervisión de dichos procesos. Si se requiere mayor información sobre el funcionamiento de cada central se puede consultar [2].

### 1.2.1 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidráulicas o hidroeléctricas se construyen en aquellos lugares donde las condiciones geográficas permiten que se pueda aprovechar la energía cinética del agua, debido a la existencia de saltos y/o ríos de gran caudal. Éstos, suelen ser generalmente construidos de manera artificial cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, ya sea con un muro grueso de piedra, hormigón u otros materiales.

El agua estancada posee energía potencial que tras hacerla pasar por una tubería descendente se convierte en energía cinética, debido a la velocidad que adquiere. El agua en movimiento hace girar las hélices de una turbina hidráulica, quien a través del rotor está conectada al generador, encargado de producir la electricidad.

En la figura 1.2 se presenta un esquema de una central hidroeléctrica y se describen sus partes.



**FIGURA 1.2:** Esquema de una central Hidroeléctrica

1. Embalse. Permite disponer de una reserva de agua que utilizará la central asociada para producir energía eléctrica en función de la demanda
2. Válvula. Es el control de acceso del agua
3. Turbina hidráulica. El agua proveniente del embalse o directamente del río mueve los álabes, haciendo girar la turbina. La turbina hidráulica permite así convertir la energía cinética (masa a una cierta velocidad) del agua en energía mecánica de rotación. La turbina está acoplada al alternador.
4. Alternador. Está acoplado a la turbina hidráulica y es movido por ésta. Su función es la de convertir la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica
5. Transformador. Eleva la tensión eléctrica generada en el alternador (entre 6 y 20 Kv) hasta la tensión de la red de transporte (132, 220 ó 440 Kv)
6. Red Eléctrica. Recibe la electricidad de las centrales generadoras y la transporta a los puntos de consumo.

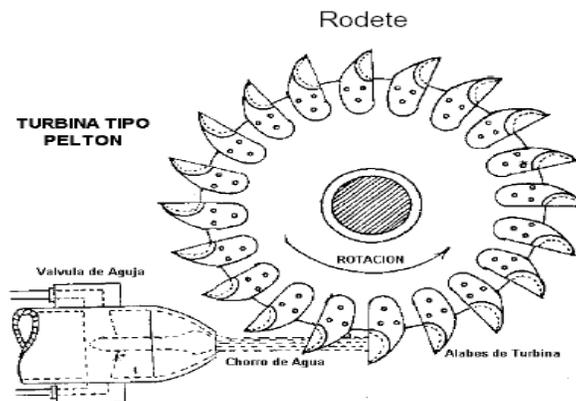
Según el salto de agua la configuración de las turbinas es distinta:

- Centrales de alta presión. Saltos grandes ( $> 300$  m.), pequeños caudales desalojados ( $20\text{m}^3/\text{s}$ ) Turbinas **Pelton** y **Francis** que reciben agua mediante tuberías de gran longitud. Zonas de alta montaña
- Centrales de media presión. Saltos y caudales medios (15-300m. y  $200\text{m}^3/\text{s}$ ) Turbinas Pelton, Francis y **Kaplan**. Embalses grandes
- Centrales de baja presión. Saltos pequeños ( $< 15$  m.), gran caudal ( $>300\text{m}^3/\text{s}$ ) Turbinas Kaplan o Francis. Valles amplios de baja montaña

### *Turbinas Pelton*

Principio de funcionamiento:

La figura 1.3 muestra una turbina Pelton, la cual está formada por una rueda móvil provista de aletas o cucharas en su periferia sobre las cuales incide el chorro de agua que sale de un inyector fijo, en el cual la regulación se efectúa variando la posición de una aguja que obtura más o menos el orificio de salida. El chorro incide en la arista central de las cucharas y se divide en dos partes que salen despedidas lateralmente, para caer después al canal de fuga directamente por la fuerza de la gravedad (por tanto, no tienen difusores). Para caudales mayores, pueden disponerse varias toberas en diversas posiciones del rodete.



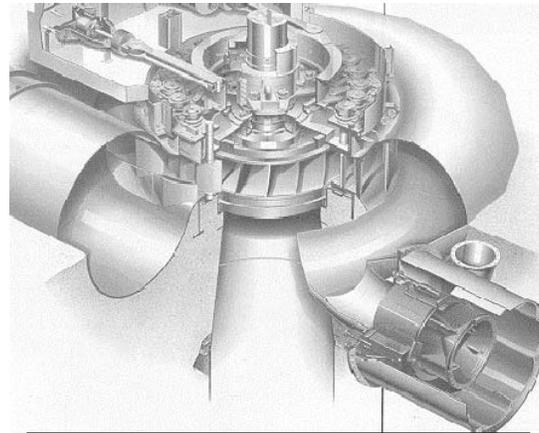
**FIGURA 1.3:** Turbina Pelton y sus partes

### *Turbina Francis*

Principio de funcionamiento:

La figura 1.4 muestra un ejemplo de este tipo de turbina; el agua a presión va a una cámara espiral en forma de caracol, cuya misión es repartir el caudal por toda la periferia del rodete

- Una serie de *álabes fijos* se encargan de canalizar correctamente las líneas de flujo del agua
- Entre esta hilera de álabes fijos y el rodete se encuentra una segunda fila de *álabes móviles* o palas directrices que constituyen lo que se denomina el *anillo distribuidor*
- El distribuidor permite regular el caudal de la turbina sin que las venas líquidas sufran desviaciones bruscas o contracciones, permitiendo un rendimiento elevado incluso con cargas reducidas. Estos álabes móviles pueden girar alrededor de un eje paralelo al eje de la máquina, y el movimiento de cierre es simultáneo para todos ellos



**FIGURA 1.4:** Turbina Francis

### *Turbina Kaplan*

Principio de funcionamiento:

Están constituidas por una hélice de eje vertical con pocos álabes y gran sección de paso entre ellos. El agua entra al rodete desde una cámara espiral con distribuidor regulable análogo al de las turbinas Francis, pero los álabes están situados a una altura relativamente menor, de forma que el flujo es prácticamente axial. Para conseguir el ángulo de incidencia óptimo de las venas líquidas cuando se funciona a caudal variable es necesario inclinar los álabes del rodete. El movimiento de todas las palas es simultáneo mediante un complejo sistema de bielas alojado en el interior del rodete.

Para mayor información sobre las centrales hidroeléctricas y los diferentes tipos de turbinas puede ser consultado en [3]

## **1.2.2 CENTRALES TERMOELÉCTRICAS**

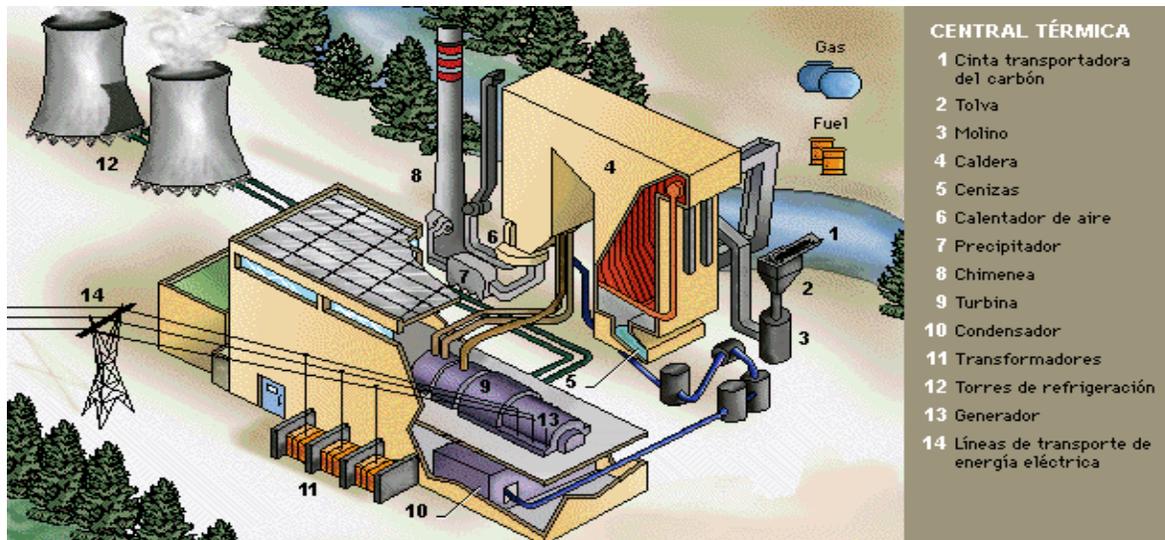
Una Central Termoeléctrica es una instalación en donde la energía mecánica que se necesita para mover el rotor del generador y, por tanto, obtener la energía eléctrica, se obtiene a partir del vapor formado al hervir el agua en una caldera. El vapor generado tiene una gran presión, y se hace llegar a las turbinas para que en su expansión sea capaz de mover los álabes de las mismas. En la figura 1.5 se muestra una central termoeléctrica típica enumerando cada una de las partes que la conforman.

Independientemente de cuál sea el combustible fósil que utilicen (*fuel-oil*, carbón o gas), el esquema de funcionamiento de todas las centrales termoeléctricas clásicas es prácticamente el mismo. Las únicas diferencias consisten en el distinto tratamiento previo que sufre el combustible antes de ser inyectado en la caldera y en el diseño de los quemadores de la misma, que varían según sea el tipo de combustible empleado.

Si se trata de una central termoeléctrica de carbón (hulla, antracita, lignito, entre otras) es previamente triturado en molinos pulverizadores hasta quedar convertido en un polvo muy fino para facilitar su combustión. De los molinos es enviado a la caldera de la central mediante chorro de aire precalentado.

Si es una central termoeléctrica de *fuel-oil*, éste es precalentado para que fluidifique, siendo inyectado posteriormente en quemadores adecuados a este tipo de combustible. Si es una central termoeléctrica de gas los quemadores están asimismo concebidos especialmente para quemar dicho combustible.

Hay, por último, centrales termoeléctricas clásicas cuyo diseño les permite quemar indistintamente combustibles fósiles diferentes (carbón o gas, carbón o *fuel-oil*, etc.), reciben el nombre de centrales termoeléctricas mixtas.



**FIGURA 1.5:** Central Termoeléctrica y sus partes

El funcionamiento de una central termoeléctrica de carbón, como la representada en la figura, es la siguiente: el combustible está almacenado en los parques adyacentes de la central, desde donde, mediante cintas transportadoras (1), es conducido al molino (3) para ser triturado. Una vez pulverizado, se inyecta, mezclado con aire caliente a presión, en la caldera (4) para su combustión.

Dentro de la caldera se produce el vapor que acciona los álabes de los cuerpos de las turbinas de alta presión, media presión y baja presión (9), haciendo girar el rotor de la turbina que se mueve solidariamente con el rotor del generador (13), donde se produce energía eléctrica, la cual es transportada mediante líneas de transporte a alta tensión (14) a los centros de consumo.

Después de accionar las turbinas, el vapor pasa a la fase líquida en el condensador (10). El agua obtenida por la condensación del vapor se somete a diversas etapas de calentamiento y se inyecta de nuevo en la caldera en las condiciones de presión y temperatura más adecuadas para obtener el máximo rendimiento del ciclo.

El sistema de agua de circulación que refrigera el condensador puede operarse en circuito cerrado, trasladando el calor extraído del condensador a la atmósfera mediante torres de refrigeración (12), o descargando dicho calor directamente al mar o al río.

Para minimizar los efectos de la combustión de carbón sobre el medio ambiente, la central posee una chimenea (8) de gran altura -las hay de más de 300 metros-, que dispersa los contaminantes en las capas altas de la atmósfera, y precipitadores (7) que retienen buena parte de los mismos en el interior de la propia central

### ***TURBINAS DE VAPOR***

Las turbinas de vapor se utilizan en los procesos de producción de energía eléctrica a partir de la energía térmica y de la energía nuclear.

Su funcionamiento se basa en el principio de la Termodinámica, según el cual cuando el vapor se expande se reduce su energía interna, transformándose en energía cinética de las partículas de vapor. Dichas partículas, de tamaño muy reducido, adquieren velocidades de hasta 2.900 Km/h por lo que al llegar a las palas de la turbina, le transmiten una energía de rotación muy alta.

Existen dos tipos de turbinas de vapor, turbinas de acción y turbinas de reacción:

- Turbinas de acción: los chorros de la turbina están sujetos a un punto dentro de la carcasa, y las palas en los bordes de ruedas que giran alrededor de un eje central. La turbina está diseñada de forma que el vapor que entra por un extremo se expande a través de una serie de boquillas hasta perder la mayor parte de su energía interna.
- Turbinas de reacción: la energía mecánica se obtiene por la expansión del vapor. Las palas suelen montarse sobre un tambor en lugar de una rueda, actuando éste como eje de la turbina.

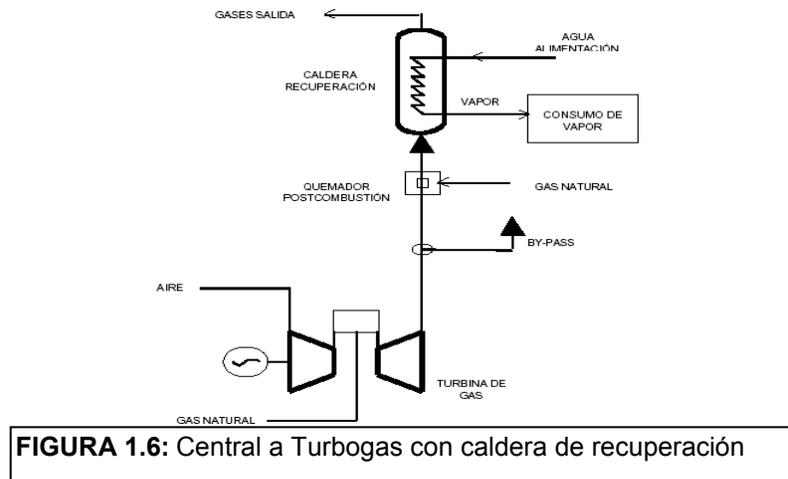
En ambos casos es necesario utilizar el sistema escalonado de obtención de energía ya que si toda la energía térmica del vapor se convirtiese de una sola vez en energía cinética, la rotación de la rueda sería excesiva.

### ***CENTRAL CON TURBINA DE GAS***

Utiliza el gas para calentar el aire, el cual se expande a causa de este calor, lo que produce un movimiento de la masa del aire. Este movimiento es llevado al interior de la turbina hacia sus aspas lo que permite la transferencia de la energía del aire al eje de la turbina, proceso de eficiencia reducida pues sólo se aprovecha una porción de ésta siendo la energía cinética del aire la más aprovechada. Lo único no aprovechable en el proceso es la energía calórica que el aire aun posee al momento de salir de la turbina.

La energía residual, en forma de un caudal de gases calientes a elevada temperatura (sobre los 500°C) puede ser aprovechada para satisfacer, total o parcialmente, las necesidades térmicas de proceso. Los gases de escape pueden ser utilizados directamente o bien en calderas de recuperación para generación de vapor a procesos. En ambos casos para poder ajustar la energía térmica proporcionada por el sistema de cogeneración con la demanda de la instalación, existe la posibilidad de incrementar el contenido energético de los gases mediante quemadores de postcombustión.

La figura 1.6 muestra una instalación convencional de cogeneración con turbina de gas, para generación de vapor con caldera de recuperación.



**FIGURA 1.6:** Central a Turbogases con caldera de recuperación

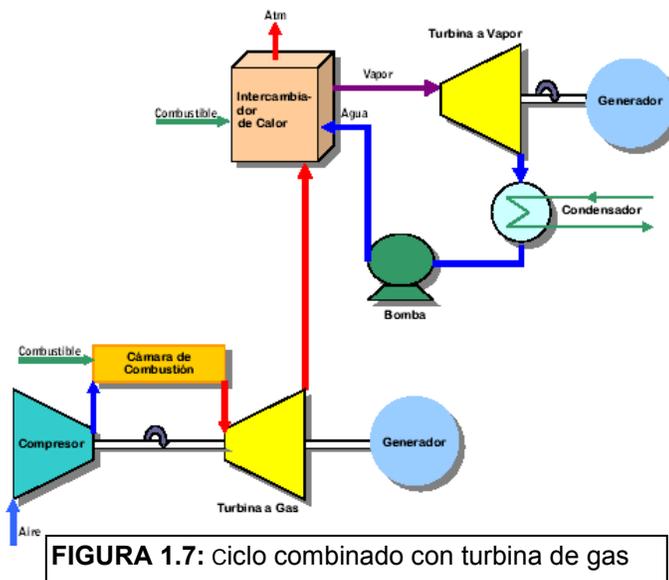
### *CENTRAL DE CICLO COMBINADO*

Los Ciclos Térmicos que generan potencia antes de la generación de Calor de proceso para la planta se denomina CICLOS TOPPING. Un ejemplo es la recuperación de calor de gases de escape de un motor diesel para producir vapor o agua caliente. Por otro lado, cuando se genera potencia (mecánica / eléctrica) a partir de energía térmica (calor) que se disiparía normalmente al ambiente se denomina CICLO BOTTOMING. Ejemplo de esto es la utilización de calor sensible en gases de escape de hornos para generar potencia.

CICLO COMBINADO es el proceso en que se unifican los dos ciclos indicados anteriormente. Así por ejemplo: se utiliza un ciclo topping, por ejemplo turbina a gas, para generar potencia y el calor sensible de escape para generar vapor. El vapor se utiliza subsecuentemente para generar más potencia expandiéndolo en una turbina a vapor, mientras se extrae vapor de la turbina como vapor de procesos.

Nótese por un lado que una planta de fuerza (potencia) típica (turbina a vapor, turbina a gas, motor diesel, etc.) operando en ciclo termodinámico simple tiene una eficiencia de conversión no superior alrededor de 40 % (30 % para motores diesel, 20 % para motores de gasolina pequeños) Por tanto la mayor parte de la energía química del combustible se disipa como calor.

Un caso típico es el potencial de aprovechamiento de gases de escape de turbina a gas(turbo gas-vapor), cuyo esquema común se muestra en la figura 1.7. Si bien modernamente éstas ya vienen provistos de sistemas de recuperación de calor, en algunos casos en que los gases salen entre 450 °C y 900 °C existe potencial de recuperación de calor.



Las centrales termoeléctricas convencionales pueden ser clasificadas de acuerdo con el método de combustión utilizado como de:

- **COMBUSTIÓN EXTERNA:** son aquellas donde el combustible no entra en contacto con el fluido de trabajo. La combustión externa es un proceso usado principalmente en las centrales térmicas a vapor, donde el combustible calienta el fluido de trabajo, en general agua, en una caldera hasta producir vapor que luego se expande en una turbina, donde producirá trabajo mecánico.
- **COMBUSTIÓN INTERNA:** Son aquellas donde la combustión se efectúa sobre una mezcla de aire y combustible, siendo el fluido de trabajo la mezcla de combustión. Este proceso de combustión interna se produce en las turbinas a gas y en las unidades térmicas de movimiento alternativo (a pistón) como los motores ciclo Otto y Diesel.

En cualquier caso para la combustión interna con movimiento alternativo, un gas o una mezcla de gases contenidos en un cilindro experimenta un ciclo, haciendo, de este modo, que un pistón comunique a un eje un movimiento de rotación, venciendo una fuerza. En ambos motores es necesario que, en determinado instante del ciclo, el gas del cilindro sea llevado a alta temperatura y alta presión. En el motor de Stirling y en la máquina de vapor esto se consigue mediante un horno exterior. Sin embargo, la alta temperatura y alta presión alcanzadas en un motor de combustión interna se producen por la reacción química entre un combustible y aire, que tiene lugar en el propio cilindro. En el motor de gasolina, la combustión de la gasolina con aire tiene lugar con explosión por la acción de una chispa eléctrica. Sin embargo, en el motor diesel se utiliza como combustible un aceite pesado cuya combustión se hace más lentamente pulverizando el aceite dentro del cilindro a un ritmo adecuado.

## *CENTRALES DE COMBUSTION INTERNA*

El ciclo supone la realización de seis procesos, cuatro de los cuales requieren movimiento del pistón y se denominan carreras:

1. *Carrera de admisión.* Una mezcla de vapor de gasolina y aire penetra dentro del cilindro por aspiración del pistón. La presión del exterior es mayor que la de la mezcla, en cantidad suficiente para producir aceleración y vencer el rozamiento.
2. *Carrera de compresión.* La mezcla de vapor de gasolina y aire se comprime hasta que su presión y temperatura se elevan considerablemente. Esto se lleva a cabo durante la carrera de compresión del pistón, en la cual se producen rozamiento, aceleración y pérdidas de calor por conducción.
3. *Ignición.* Mediante una chispa eléctrica se provoca la combustión rápida de la mezcla caliente. Los productos resultantes de la combustión alcanzan una presión y temperatura muy elevadas, pero el volumen permanece constante. El pistón no se mueve durante este proceso.
4. *Carrera de expansión.* Los productos calientes de la combustión se expanden y empujan el pistón hacia afuera, experimentando así una caída de presión y de temperatura. Durante esta carrera el pistón realiza trabajo y en ella también se producen rozamiento, aceleración y conducción del calor.
5. *Apertura de la válvula de escape.* Al final de la carrera de expansión los productos de la combustión todavía están a temperatura y presión superiores a las del exterior. Una válvula de escape permite la salida de parte del gas hasta que la presión es la atmosférica. Durante este proceso el pistón no se desplaza.
6. *Carrera de escape.* El pistón expulsa fuera del cilindro casi todos los productos resultantes de la combustión, ejerciendo una presión suficientemente mayor que la exterior como para producir aceleración y vencer el rozamiento. Esta es la carrera de escape.

En el motor Diesel que se ha considerado, para la realización de un ciclo son necesarias cuatro carreras del pistón y sólo una de las cuatro suministra trabajo. Como en el motor Diesel solo se comprime aire, es posible suprimir las carreras de admisión y escape y completar así el ciclo en dos carreras. En el motor Diesel de dos tiempos (dos carreras), de cada dos carreras, una suministra trabajo, con lo que la potencia se duplica. El fundamento es muy sencillo: al terminar la carrera que suministra trabajo, cuando el cilindro está lleno de productos de la combustión, se abre la válvula y tiene lugar el escape hasta que los productos de la combustión están a la presión atmosférica y entonces, en lugar de utilizar el propio pistón para expulsar a los gases restantes, se introduce aire nuevo dentro del cilindro, que sustituye a los productos de la combustión. Para este fin se utiliza en una sola operación lo que anteriormente requería dos carreras independientes del pistón.

## CAPITULO 2

### CLASIFICACION DE SENSORES

En el capítulo anterior se definió las principales características de funcionamiento de las centrales eléctricas que se encuentran en Colombia, detallando cada una de sus partes. Como paso a seguir en la tabla 2.1 se especifican las principales variables que se presentan en dichas plantas, para poder determinar el tipo de sensor requerido, así mismo, se presenta un listado de los sensores que se encuentran disponibles en el mercado.

#### 2.1 PRINCIPALES VARIABLES DE LAS DIFERENTES PLANTAS ELECTRICAS

TIPO DE CENTRAL	VARIABLES	UBICACIÓN	VALOR MÁS COMUN
<b>HIDRAULICA</b>	Nivel agua	Represa	10-240 m
	Presión agua	entrada a turbina	300 bares
	Caudal agua	entrada a turbina	1500 l/min
	Flujo agua	entrada a turbina	2 m/s
	Temperatura agua	Tubería a turbina	25 °C
<b>CARBON-VAPOR</b>	Nivel agua	Domo	1-10 m
	Temperatura horno	Horno	400-700°C
	Temperatura vapor	Tubería hacia turbina	400-700°C
	Temperatura agua	Tubería de retorno	Hasta 200°C
	Presión vapor	Tubería hacia turbina	1000 bares
	Presión agua	Tubería de retorno	500 bares
	Flujo aire	Tubería hacia el horno	10 m/s
	Flujo agua	Tubería hacia la caldera	2 m/s
<b>GAS-VAPOR</b>	Flujo carbón pulverizado	Tubería hacia el horno	10 m/s
	Nivel agua	Domo	1-10 m
	Temperatura horno	Horno	400-700°C
	Temperatura vapor	Tubería hacia turbina	400-700°C
	Temperatura agua	Tubería de retorno	Hasta 200°C
	Presión vapor	Tubería hacia turbina	1000 bares
	Presión agua	Tubería de retorno	500 bares
	Flujo aire	Tubería hacia el horno	10 m/s
	Flujo agua	Tubería hacia la caldera	2 m/s
Flujo gas	Tubería hacia el horno	10 m/s	

<b>TIPO DE CENTRAL</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>VALOR MÁS COMUN</b>
<b>FUEL.OIL-VAPOR</b>	Nivel agua	Domo	1-10 m
	Temperatura horno	Horno	400-700°C
	Temperatura vapor	Tubería hacia turbina	400-700°C
	Temperatura agua	Tubería de retorno	Hasta 200°C
	Presión vapor	Tubería hacia turbina	1000 bares
	Presión agua	Tubería de retorno	500 bares
	Flujo aire	Tubería hacia el horno	10 m/s
	Flujo agua	Tubería hacia la caldera	2 m/s
	Flujo combustible	Tubería hacia el horno	2 m/s
	Nivel combustible	Tanque de reserva	1-10 m
<b>TURBO-GAS</b>	Flujo gas	Tubería hacia el horno	10 m/s
	Flujo aire	Tubería hacia el horno	10 m/s
	Temperatura horno	Horno	400-700 °C
	Temperatura gas	Tubería hacia la turbina	Hasta 500 °C
	Presión gas	Tubería hacia la turbina	1000 bares
<b>TURBOGAS-VAPOR(CICLO COMBINADO)</b>	Nivel agua	Domo	1-10 m
	Temperatura horno	Horno	400-700°C
	Temperatura vapor	Tubería hacia turbina	400-700°C
	Temperatura agua	Tubería de retorno	Hasta 200°C
	Temperatura gas	Tubería hacia el horno	Hasta 400 °C
	Presión vapor	Tubería hacia turbina	1000 bares
	Presión agua	Tubería de retorno	500 bares
	Presión gas	Tubería hacia turbina	1000 bares
	Flujo aire	Tubería hacia el horno	10 m/s
	Flujo agua	Tubería hacia caldera	2 m/s
	Flujo gas	Tubería hacia horno	10 m/s
<b>COMBUSTIÓN INTERNA</b>	Temperatura mezcla	Cámara combustión	500 °C
	Presión mezcla	Cámara combustión	1000 bares
	Nivel combustible	Tanque de reserva	1-10 m
	Flujo aire	Entrada a cámara de combustión	5 m/s
	Flujo combustible(gas)	Entrada a cámara de combustión	5 m/s

**TABLA 2.1:** Tipos de centrales y variables más importantes

Para los sensores de presión de gases y vapores, los cuales trabajan en condiciones ambientales extremas, se debe tener en cuenta la temperatura a la cual operan, pues esta puede alterar su desempeño o respuesta.

Debido a que la red de distribución de alto voltaje se encuentra comúnmente configurada en conexión estrella, y además se hace necesario determinar la velocidad de la turbina para

llevar un control de la frecuencia de la energía generada, se debe anexar a la lista de variables anteriormente mencionada, las siguientes variables:

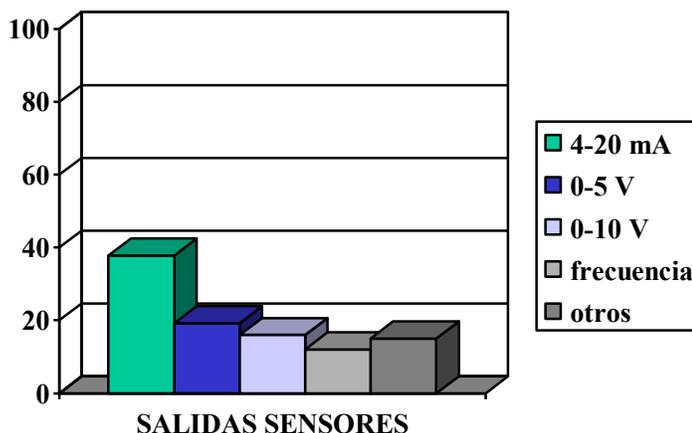
- 3 VOLTAJES DE FASE: Para cada una de las fases, con un valor normalmente comprendido entre 6 y 20 KV en la salida del alternador.
- 4 CORRIENTES: Para cada una de las fases y una adicional para el neutro (400A–2600A)
- 3 FRECUENCIAS: Una para cada fase.
- 3 FASES: El ángulo de fase entre el voltaje y la corriente permite calcular la potencia generada por la central y debe ser medida para cada línea.
- VELOCIDAD DE LA TURBINA: Permite controlar la frecuencia de la señal generada.

En la tabla 2.2 se realizan unas estadísticas dando referencia de cada una de las diferentes variables con sus respectivas salidas, en el diagrama en barras mostrado en la figura 2.1 se grafican los resultados obtenidos de la muestra con el fin de dar a conocer las tendencias que presentan los fabricantes de transductores, los datos bases para la realización de dicha estadística fueron seleccionados a través de catálogos disponibles en Internet; en el CD anexo se encuentra una carpeta llamada *sensores* que presenta las hojas técnicas de los sensores que sirvieron como muestra.

VARIABLE	TIPOS DE SALIDAS					
	4-20 mA	0-5 V	0-10 V	Frecuencia Hz	0-20 mA	0-100 mA
<b>Flujo</b>	5	2	--	2	--	--
<b>Nivel</b>	11	3	1	--	--	--
<b>Caudal</b>	5	--	1	7	2	--
<b>Presión</b>	16	13	12	1	2	3
<b>Temperatura</b>	5	1	2	--	1	--
<b>Corriente</b>	5	3	1	--	--	--
<b>R.P.M</b>	--	1	--	5	--	--
<b>Frecuencia</b>	--	1	1	--	--	--
<b>Voltaje</b>	--	--	2	--	--	--
<b>Fase</b>	1	2	1	--	--	--
<b>TOTAL</b>	48	26	21	15	5	3

VARIABLE	TIPOS DE SALIDAS						
	0-12 V	Serial	-1V a +6V	1-6 V	1-11 V	BCD	0-120 V
<b>Nivel</b>	1	--	--	--	--	1	--
<b>Temperatura</b>	--	3	1	--	--	--	--
<b>Voltaje</b>	--	--	--	--	--	--	1
<b>Presión</b>	--	2	--	1	1	--	--
<b>TOTAL</b>	1	5	1	1	1	1	1

**TABLA 2.2:** Tipos de salidas de los sensores.



**FIGURA 2.1:** Diagrama en barras de los tipos de salidas más comunes para los sensores

En el mercado no se encuentran sensores de corriente y voltaje para los rangos requeridos, lo más común es utilizar transformadores para bajar estos altos valores a rangos manejables.

## 2.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE ENTRADAS

A partir de los resultados obtenidos en la estadística y con el fin de abarcar la totalidad de las variables necesarias para la central eléctrica más compleja (ciclo combinado), se ha determinado que el sistema de adquisición de datos debe poseer 32 entradas distribuidas de la siguiente manera:

- 16 entradas de 4-20 mA.
- 5 entradas de 0-5 V.
- 5 entradas de 0-10 V.
- 6 entradas de frecuencia\*

Las entradas de frecuencia se encuentran distribuidas así: 3 para rangos entre 0-100 Hz los cuales corresponden a la frecuencia de la red. Los 3 restantes para rangos entre 0-10 KHz que servirán de propósito general para sensores con este tipo de salida.

La descripción del funcionamiento de cada uno de los sensores, así como algunas referencias de acondicionadores puede ser consultado en [7].

## CAPITULO 3

### ESTADÍSTICA DE SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS

Como se ha mencionado previamente, en el mercado existe una gran variedad de sistemas embebidos que permiten desarrollar monitoreo y control. Con el fin de establecer la opción más apropiada, tanto por capacidad como por economía, para la implementación del monitoreo de variables diversas, se ha obtenido a partir de catálogos disponibles en Internet una muestra estadística, importante y representativa tanto de costos como de características de los productos disponibles, ya que la aplicación tiene un ámbito industrial, se enfatizó principalmente en la investigación de los PLC, debido a su característica de construcción y que no requieren, como las tarjetas de adquisición de datos, un PC que los controle; la tabla 3.1 presenta las características más importantes de los dispositivos encontrados, además en el CD anexo se puede hallar una descripción más completa de la mayoría de ellos:

TIPO DE SISTEMA	REFERENCIA COMERCIAL	NUMERO DE ENTRADAS		PUERTO COMUNICA.	PRECIO (DOLARES)
		ANAL	DIGIT		
D. A. C	SCMD100	--	24 / 48	BUS ISA	-----
D. A. C	DAQ-6024E	16	8	PCMCIA	-----
D. A. C	XW-900-8217	8	16	RS-232, RADIO(900MHZ)	795.00
D. A. C	XW-900-8200	8	16	RS-232, RADIOMODEM	795.00
D. A. C	Web DAQ	32	4	RS-232, ETHERNET	995.00 (software)149.00
Datalogger	DATAKER	30	5	RS-232 RADIO TELEFONO	-----
Datalogger	V-LINK-M	4	--	RADIO	695.00
SISTEMA EMBEBIDO	MBX-6*	6	7	RS-232	120.00
PLC	DL-05	8	16	RS-232	250.00
PLC	DL-06	20	1	RS-232/422/485	470.00
PLC	DL-105	10	8	RS-232C	453.00
PLC	DL-205 (CPU)**	4	8	RS-232 ETHERNET	390.00
					380.00
					115.00
					695.00
PLC	DL-305 (CPU)**	4	8	RS-232	690.00
					550.00
					510.00
					130.00
PLC	DL-405 (CPU)**	4	8	RS-232 ETHERNET	685.00
					980.00
					620.00
					190.00
PLC	SK-1600 RICS	4	32	RS 232/485	700.00
PLC	EDAS-1001E	--	32	RS 232/485 ETHERNET	915.00

TIPO DE SISTEMA	REFERENCIA COMERCIAL	NUMERO DE ENTRADAS		PUERTO COMUNICA.	PRECIO (DOLARES)
		ANAL	DIGIT		
PLC	EDAS 1002E	16	16	RS 232/485 ETHERNET	1315.00
	EDAS 1031E				1515.00
PLC	T100-MD	8	24	RS 232/485	300.00
PLC	T100-MX	8	48	2 RS232 RS 485	469.00
PLC	T44H	--	28	RS 232, RS 485	199.00
PLC	E10-NPN	--	6	-----	69.00
PLC	A-tek's 4300	6	8	RS 232, RS 485	395.00
PLC	LOGO 12/24 Rco	2	6	-----	98.36
PLC	FAB ARRAY AF-10MR-D	0 a 6	0 a 6	AF-232	121.00
PLC	M90 OPLC	8	--	LCD, GSM	599.00
PLC	C-0100	--	20	RS-232	1625.00
PLC	C-0104	4	12	RS-232	1800.00
SISTEMA EMBEBIDO	CAN-CORE	2	8	RJ10 CAN bus, I <sup>2</sup> C, RS-232	(EUROS) 94.80

**TABLA 3.1:** Principales sistemas de adquisición de datos

\*Este sistema embebido ya no se encuentra disponible en el mercado.

\*\*Estos sistemas son modulares, en la lista se nombran los módulos de interés.

Como puede notarse la mayoría de los sistemas embebidos y PLC disponibles carecen de una gran cantidad de características requeridas para el desarrollo satisfactorio de la aplicación, además aquellos que satisfacen una cantidad considerable de las necesidades tienen unos costos muy elevados (ejemplo PLC EDAS 1002 que posee interfaz ethernet cuesta US\$1315), en un principio se pensó en utilizar el PLC de la familia FAB, porque permite un fácil acople a las necesidades planteadas, además de ser económico, sin embargo, al pretender realizar el monitoreo de las variables, lo cual era posible gracias a un software que realizaba funciones SCADA, se encontró que dicho sistema solo permite exportar las variables para las cual estaba diseñado (6 valores análogos), es decir, que posee una arquitectura cerrada, lo cual no permite la expansión del sistema. De toda esta investigación se puede concluir que los PLC son útiles para desarrollar tareas de control in-situ, pero al momento de implementar monitoreo, no son muy ventajosos ó resultan muy costosos.

A partir de la situación se hace necesario desarrollar un sistema con más posibilidades de aplicación, pensando en esto, se toma la iniciativa de utilizar microcontroladores; en la tabla 3.2 se enumeran algunos microcontroladores disponibles en el mercado:

PROVEEDOR	REFERENCIA	CARACTERISTICAS	PRECIO (US \$)
Atmel	AT89C51-24QI	4K Flash, RAM 128x8, 32 I/O programables, dos timer de 16 bit	3,95
Dallas	DS80C390-FNR	Puertos I/O de 4-ch 8-bit, 4Kx8 SRAM controladores 2-ch CAN 2.0B, 2puertos seriales	43,20
Fujitsu	MB90F598GPF	4Kx8 RAM, 128Kx8 Flash, TIM 9-ch 16-bit, 78 pines I/O 3-ch Serial I/O, ADC 8-ch 10-bit, 4-ch 8-bit PWM, 1-ch CAN 2.0A(B)	15,73
Infineon	80C537-16NT4085	Microcontrolador de 8 bits CMOS para ROM externa (64Kx8), 256 RAM, ADC 8 bits	27,71
Intersil	CDP68HC68T1E	Reloj de tiempo real (función time/calendar), RAM 32x8, SPI	6,97
Motorola	KMC908AZ60ACFU	MCU 8-bit(8MHz),RAM 2K/1Kx8, Flash 60Kx8,1Kx8 EEPROM, TIM/PWM 8-ch16-bit,51-ch I/O,15-ch 8-bit ADC,SPI/SCI,CAN	20,61
Motorola	MC68HC908GP32CFB	32Kb Flash, 512 RAM, I/O 33, ADC 15ch 8bit, TIM 4ch 16bit+PWM, SPI, UART	12,39
Zilog	Z84C1510FEC	Controlador de perifericos con CPU Z80 (10MHz), 2 Serial I/O, 16-Bit Paralelo I/O, 4 circuitos contador/Timer, Watch-Dog, Clock Generator Circuit, 4 Power-Down Modes.	12,65
Philips	P87LPC764	CPU 80C51, 4K EPROM, 128 RAM, TIM 16-bit counter/timers, 2 comparadores análogos, UART, bus I <sup>2</sup> C, 15 pines I/O.	2.64

**TABLA 3.2:** Principales microcontroladores que existen en el mercado

De acuerdo con la tabla 3.2, se elige el microcontrolador MC68HC908GP32 basándose en los siguientes criterios:

- ◊ Su bajo costo.
- ◊ Disponibilidad en el mercado.
- ◊ Alta capacidad de procesamiento.
- ◊ Facilidad de acceso a la información referente al microcontrolador.
- ◊ Opciones de hardware suficientes para la aplicación tales como: 2 puertos seriales, 8 canales de conversión análogo/digital, 32 Kbytes de memoria de programa, 2 timers, 33 líneas generales de I/O, entre otras.
- ◊ Fácil programación y disponibilidad de múltiples compiladores.

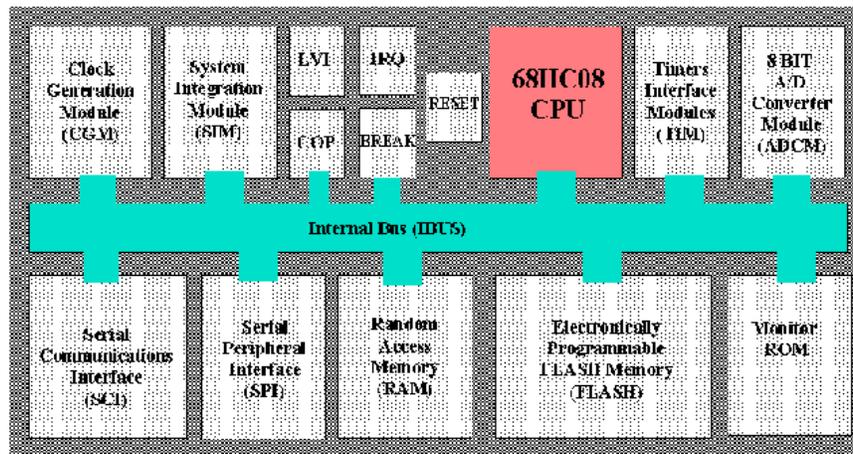
### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL MICROCONTROLADOR MC68HC908GP32

Ahora se enuncian las principales características de este microcontrolador mencionando algunos de los módulos que posee, además describiendo su funcionamiento.

#### 3.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

- CPU HC08, de alto desempeño
- 32 Kbytes de flash de usuario
- 307 bytes de ROM monitor

- 512 bytes de RAM de usuario
- 8 MHz de frecuencia máxima de bus interno.
- 2 timers multifunción de 16 bits y dos canales.
- Múltiples banderas de interrupción y registros para uso de las ISR independientes.
- A/D de 8 canales 8 bits del tipo radiométrico.
- Puerto de I/O serial (SPI) sincrónico
- Comunicación serial asincrónica (SCI)
- 33 líneas generales bi-direccionales de I/O, todas con 10mA capacidad.
- Osciladores duales: cristal 32khz (pll) o cristal externo
- Reset por baja tensión (LVI) programable p/ 3v y 5v
- Encapsulado 40 pines DIP o 44 pin QFP (montaje smd)



**FIGURA 3.1:** Mapa de organización del microcontrolador GP32

### PUERTOS DE E/S

5 puertos digitales de E/S

Puerto	Pines	Dirección
PORTA	8	0H
PORTB	8	1H
PORTC	5	2H
PORTD	6	3H
PORTE	2	4H

**TABLA 3.3:** puertos que posee el microcontrolador gp32

Algunos pines comparten funciones con otros módulos del sistema

- Pines del PortA compartidos con el módulo de KBI (GP32/GP20)
- Pines del PortB compartidos con el módulo de A/D (GP32/GP20)
- Pines del PortD compartidos con el módulo de SPI y los de TIMER

Cuando no son usados por un submódulo, pueden ser usados como I/O

*(SCI) Módulo serial Asíncronico*

- Full duplex, Alta Velocidad, asíncronico programable 8 o 9 bit largo de carácter.
- Pedidos y habilitación de interrupción separados para Rx y Tx.
- Polaridad programable de la salida del Transmisor.
- Detección de error de trama en el receptor.
- Chequeo de Paridad por Hardware.
- Consta de 7 registros para programarlo.

*(SPI) Módulo Serial Sincrónico*

- Operación Full-Duplex, modos Master y Slave.
- Registros separados transmisor y receptor.
- 4 frecuencias modo Master (máximo = frecuencia de bus/2)
- Frecuencia máxima modo Slave = frecuencia de bus. Reloj con polaridad y fase programables.
- Habilitación de interrupción separadas: SPRF (receptor lleno) y SPTE (transmisor vacío)

*TIMER INTERFACE MODULE (TIM)*

- Cuatro canales programables, input captures: cualquier flanco de disparo
- Output compares: set, clear, o “toggle action” como nivel de salida
- PWM (Modulación por Ancho de Pulso): “Buffereada o no Buffereada”
- Clock del sistema con preescalador de 7 pasos. Modo de operación “Free-running” o “Módulo up-count” Acción “toggle” sobre cualquier pin de canal en “Overflow” Stop y reset del TIM Counter.

*MONITOR ROM MODULE (MON08)*

- Permite la grabación “En – Circuito” de la memoria FLASH del MCU.
- Recibe y ejecuta comandos por una interfaz RS-232 estándar.
- Comunicaciones por medio del pin PTA0 o PTB0.
- Velocidad de transmisión: 4800 baud a 28.8 Kbaud

*(ADC) MODULO CONVERSION ANÁLOGO DIGITAL*

- 8 Canales con entrada Multiplexados (un ADC y varios canales)
- Aproximación Sucesiva Lineal
- Resolución de 8 bits.
- Conversión Simple o Continua
- Indicación de fin de conversión por bandera o interrupción.
- Pines de Vref externos para referencia del conversor

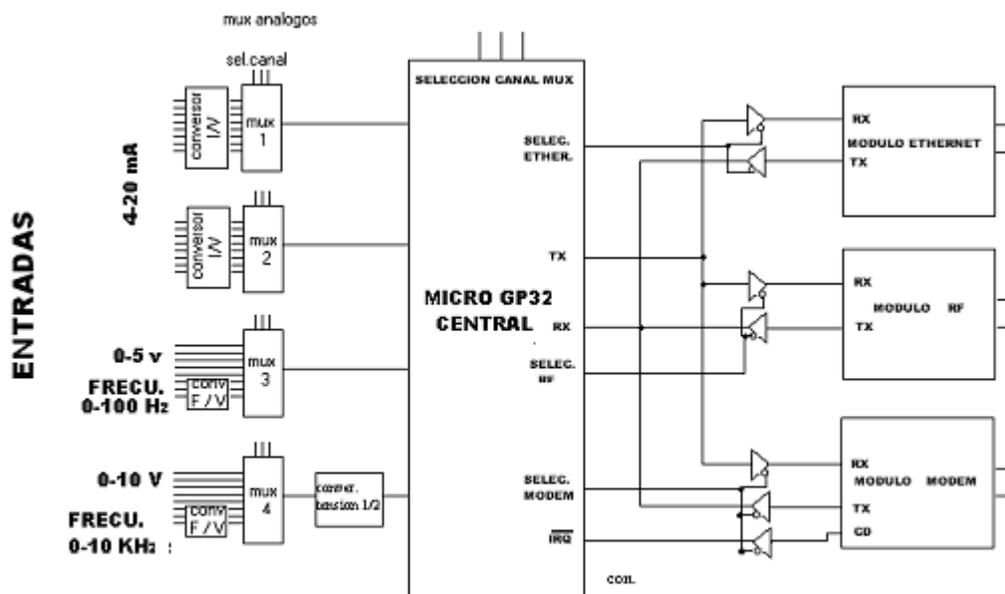
Si se requiere mayor información acerca del microcontrolador MC68HC908GP32 se puede consultar el datasheet y otras ayudas que se encuentran en el CD anexo en la carpeta *MICROGP32* o descargarlo de la página de motorola[4].

## CAPITULO 4

### MODULO DE ADQUISICIÓN

Ya se determinó mediante métodos estadísticos el tipo de variables que se necesitan sensar, además el sistema que de acuerdo con los criterios primarios de diseño permitirá adquirir dichas variables. Sin embargo, los valores suministrados en la salida de los sensores no son compatibles con los valores requeridos en el conversor A/D del microcontrolador, a este punto se le puede adicionar el hecho de que solo se posee 8 canales de entrada para adquirir 32 señales de salida de los sensores.

En el presente capítulo se pretende dar solución al problema de acondicionar las señales de tal forma que puedan ser adquiridas por el microcontrolador y del método empleado para introducir estas 32 variables en 8 posibles entradas, además se presenta el esquema de comunicación serial, el cual es tradicional cuando se realiza una comunicación de datos con un PC u otro sistema de procesamiento. La figura 4.1 muestra un esquema detallado de todo el módulo de adquisición que se empieza a detallar en adelante.



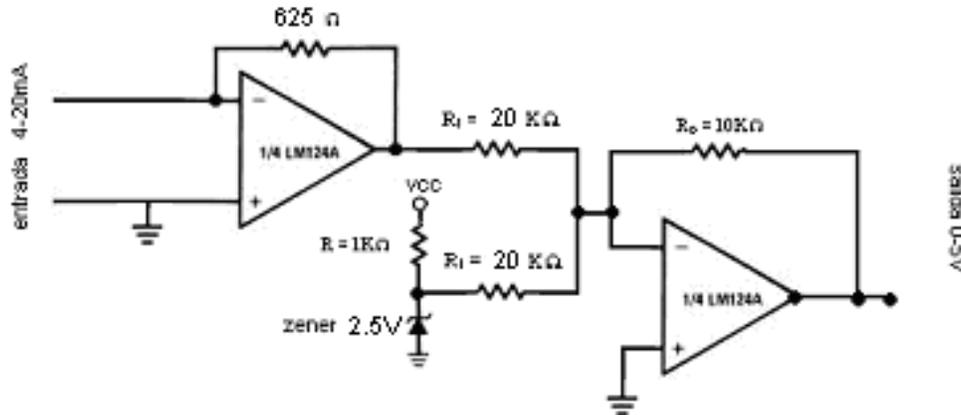
**FIGURA 4.1:** Esquema general del sistema de adquisición de datos

#### 4.1 CONVERSION DE SEÑALES A VOLTAJE

Como ya se mencionó, la adquisición de datos debe realizarse a través del conversor análogo / digital que posee el microcontrolador, este dispositivo requiere en las entradas de los canales de conversión valores de voltaje que varíen entre el rango de 0 – 5V, sin embargo, el sistema de adquisición propuesto posee entradas de corriente, de voltaje entre 0 – 5V, entre 0 – 10V y de frecuencias en dos rangos: 0-100Hz y 0-10KHz. Esto implica que debe realizarse un acondicionamiento de señal previo a la adquisición. A continuación se explicará cada uno de los acondicionadores utilizados.

#### 4.1.1 CONVERSION CORRIENTE VOLTAJE (4-20mA @ 0-5V)

Para este tipo de acondicionamiento de señal se usa el circuito mostrado en la figura 4.2:



**FIGURA 4.2:** Circuito de conversión 4-20mA@0-5V

El primer amplificador operacional se utiliza para convertir la corriente en voltaje, la resistencia de realimentación se escoge del valor  $R = 625\Omega$ , debido a que el voltaje que debe aparecer cuando se produzca la menor corriente (4mA) debe ser el mismo con que se referencia el voltaje mediante el diodo zener de 2.5V;  $R = 2.5V / 4 \cdot 10^{-3}A$   $R = 625\Omega$ . Cabe notar que el voltaje que se va a presentar luego de esta etapa es negativo. El funcionamiento de los amplificadores operacionales con realimentación es explicado en [5]

El segundo operacional es el encargado de ajustar la escala y de invertir el voltaje; para ello se emplea la configuración sumador inversor caracterizado por la ecuación 4.1

$$V_0 = - [V_1 \cdot (R_0 / R_1) + V_2 \cdot (R_0 / R_2)] \quad (4.1)$$

Si se hace  $R_1 = R_2$  en (4.1)

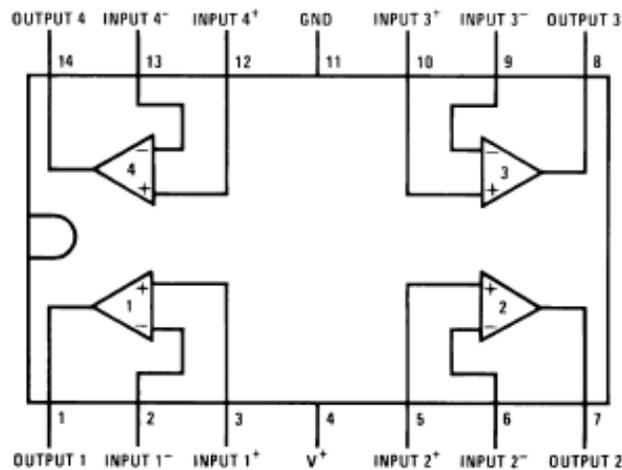
$$V_0 = - (V_1 + V_2) \cdot (R_0 / R_1) \quad (4.2)$$

Si no se ajusta la escala los valores que entrega la primera etapa de este conversor son: para 4mA salida -2.5V y para 20mA salida -12.5V. Es debido a esto que se usa un diodo zener de 2.5V en la configuración sumador para bajar la escala de (-2.5V) a (-12.5V) para la escala (0V) a (-10V).

Luego de bajar la escala es necesario adecuarlo a los niveles 0-5V, esto se realiza mediante el factor  $(R_0 / R_1)$ , se fija  $R_0 = 10K\Omega$  por lo tanto  $R_1 = (10K\Omega \cdot 10V) / (5V)$ ,  $R_1 = 20 K\Omega$ .

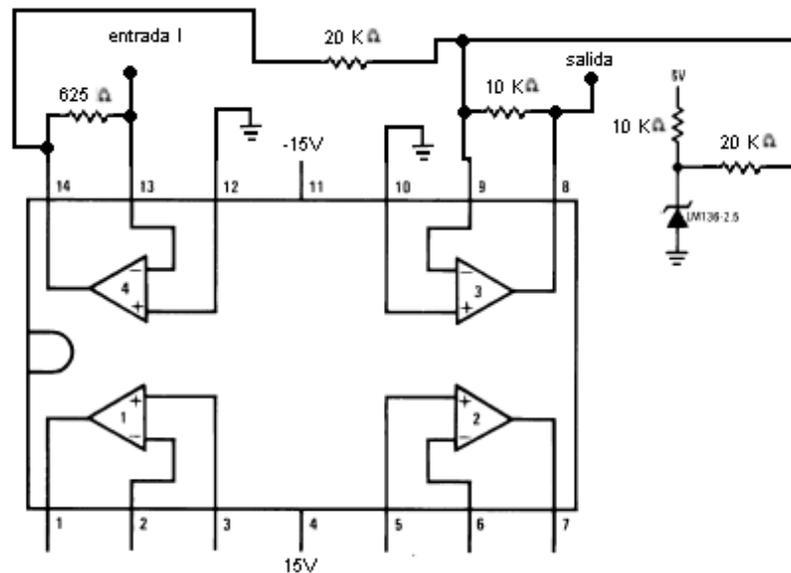
El signo negativo de este sumador inversor altera la polaridad, volviendo positivo el voltaje de salida.

Para la implementación del circuito acondicionador explicado anteriormente, se recomienda el amplificador LM324 por su bajo costo y por poseer 4 amplificadores, y un diodo zener de 2.5V(LM136-2.5); la figura 4.3 muestra el diagrama del LM324.



**FIGURA 4.3:** Diagrama del LM324

El circuito de Implementación del convertor corriente-voltaje mediante el LM324 es mostrado en la figura 4.4:



**FIGURA 4.4:** Montaje del convertor usando el LM324

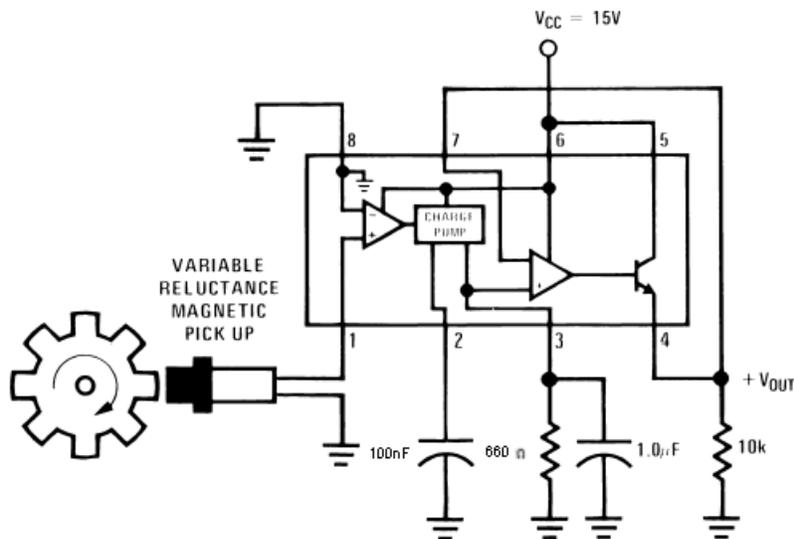
La conversión de corriente a voltaje no se hace después del multiplexor análogo puesto que se hace muy complicado conseguir un multiplexor análogo de corriente y sí se consigue su precio es muy elevado (cerca de los 300 dólares).

#### 4.1.2 CONVERSIÓN DE FRECUENCIA(0-10KHz) A VOLTAJE:

Para la conversión de frecuencia a voltaje se sugiere el circuito integrado LM2907, escogido por su bajo costo y buena linealidad, el cual para tener una salida determinada en voltios se debe escoger los valores de R(pin 3) y C(pin 2) mediante la siguiente fórmula:

$$V_O = V_{CC} \times f_{IN} \times C \times R \quad (4.3)$$

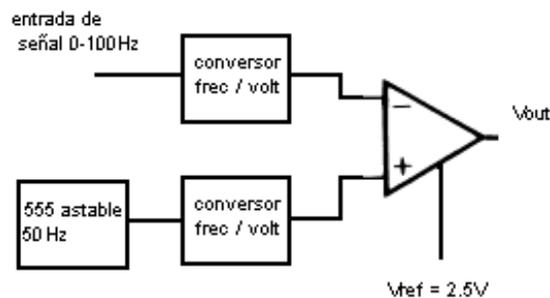
Se escoge como  $V_O = 10V$ ,  $V_{CC} = 15V$ ,  $f_{IN} = 10KHz$  y se fija  $C = 100nF$ , por tanto  $R = 660\Omega$ .



**FIGURA 4.5:** Conversor frecuencia/voltaje a 10KHz con el LM2907

#### 4.1.3 CONVERSIÓN DE FRECUENCIA(0-100Hz) A VOLTAJE:

La figura 4.6 muestra el esquema utilizado para medir frecuencia entre el rango 0-100Hz



**FIGURA 4.6:** Conversor frecuencia/voltaje a 100Hz

Se utiliza un amplificador de instrumentación(AD623) debido a su alta ganancia en modo diferencial, las entradas a este amplificador serán:

- Un voltaje proporcional a la frecuencia de la señal a la cual se quiere medir su frecuencia.
- Un voltaje proporcional a la frecuencia de la señal del 555(50Hz).

Para medir frecuencias tan bajas(0-100Hz) no basta con conectar esta señal a un conversor de frecuencia a voltaje debido a que los cambios tan pequeños no se notarían, puesto que estos conversores tienen típicamente una escala lineal hasta 10KHz. Es por esto que se hace una comparación de una señal que tiene una frecuencia fija de 50Hz con la señal de entrada.

Para que el 555 emita una señal precisa de 50 Hz se debe escoger los valores de Ra, Rb y C de la siguiente fórmula:

$$F = 1/T = 1.44 / [C*(Ra+2*Rb)] \quad (4.4)$$

Donde F=50Hz, C se fija en 1uF, Rb=7200Ω por tanto Ra=14.4KΩ.

Para el conversor de frecuencia a voltaje se usa el LM2907 por tanto hay que escoger R y C como se hizo en el conversor de 0-10KHz conforme a la ecuación 4.3. Se escoge como  $V_O = 0.1V$ ,  $V_{CC} = 15V$ ,  $f_{IN} = 100Hz$  y se fija  $C = 100nF$ , por tanto  $R = 660\Omega$ .

En el amplificador de instrumentación para no usar voltajes negativos se usa una referencia de 2.5V, con esto, si la salida del amplificador es 2.5 quiere decir que la señal de entrada tiene una frecuencia de 50Hz. Para determinar la ganancia de este amplificador de instrumentación se debe establecer cual es el mayor voltaje que ocurrirá en el modo diferencia; como el conversor F/V para el 555 siempre da un voltaje fijo de aproximadamente 0.05V y para el otro conversor F/V la mayor salida es 0.1 cuando es 100Hz, la mayor diferencia será 0.05V, por lo tanto el amplificador de instrumentación debe tener una ganancia de 50(por usar referencia de 2.5V). La ganancia de este amplificador de instrumentación se realiza mediante el resistor Rg mediante la formula 4.5:

$$R_g = 100 K \Omega / (G - 1) \quad (4.5)$$

Por tanto  $R_g = 4.9 M\Omega$

El diagrama del AD623 es el siguiente:

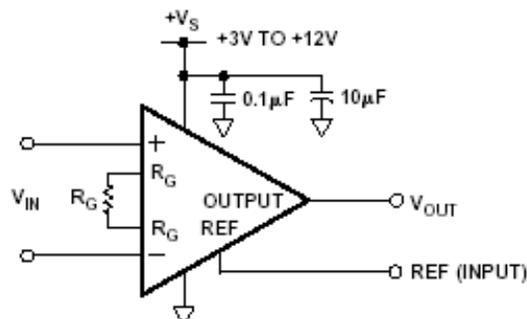
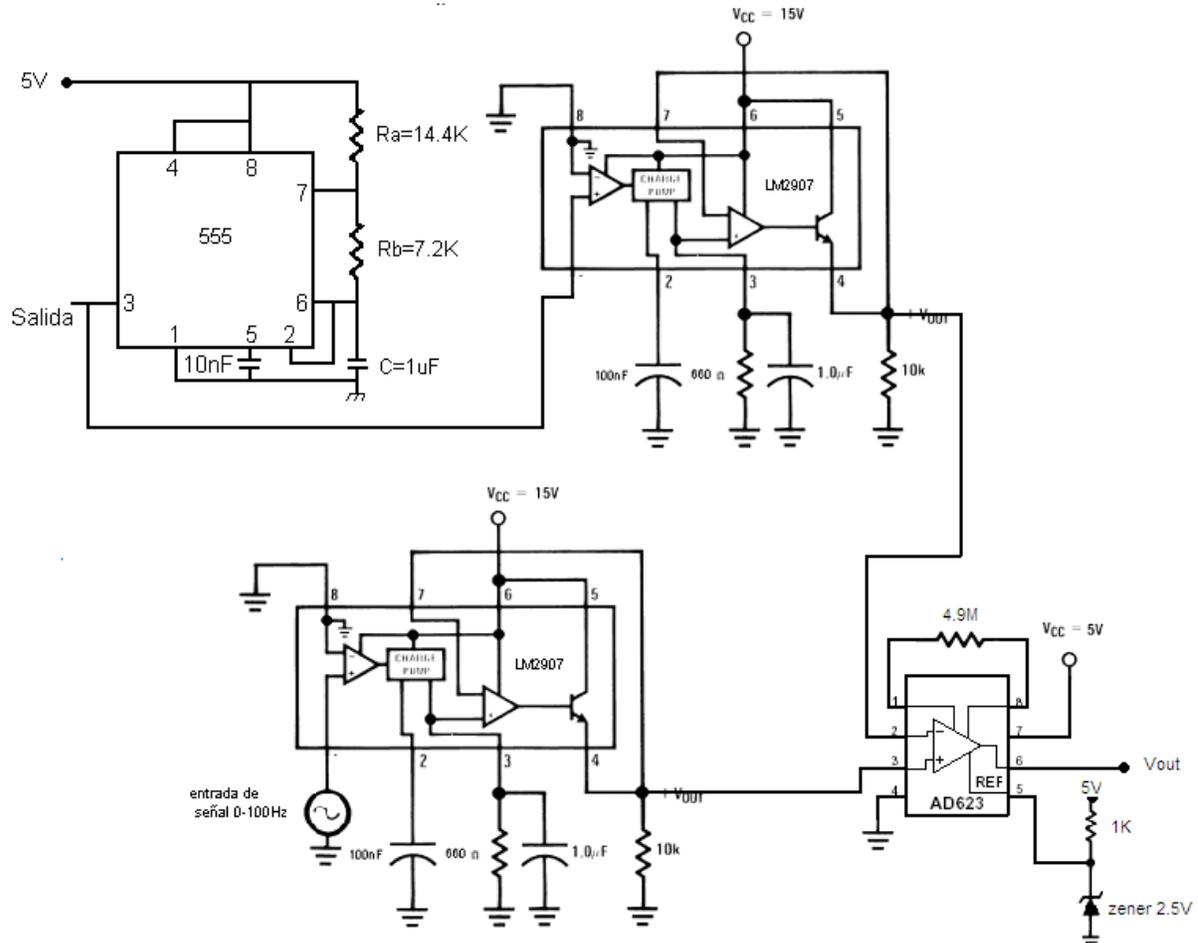


FIGURA 4.7: Diagrama del AD623

Para la señal a la cual se quiere medir la frecuencia es necesario que este acotada entre -5V a 5V ó 0V a 5V, para que el convertor de F/V pueda aceptarla.

El circuito de conversión de frecuencia a voltaje de 0-100Hz es mostrado en la figura 4.8:

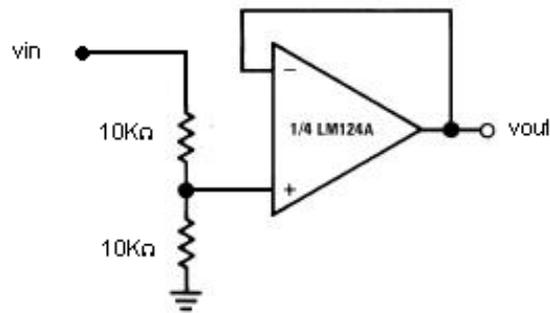


**FIGURA 4.8:** Circuito del convertor de F/V a 100Hz

#### 4.1.4 CONVERTOR DE VOLTAJE A VOLTAJE ( $V_0 = \frac{1}{2}V_i$ )

La figura 4.9 presenta el circuito que permite reducir a la mitad el voltaje para las entradas del rango 0 – 10V.

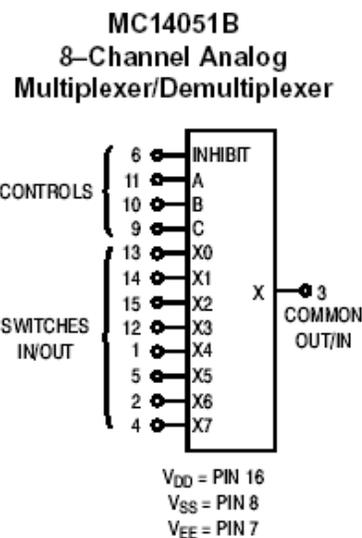
El divisor de tensión mediante las dos resistencias de 10KΩ permite que el voltaje de entrada sea dividido entre dos; el amplificador operacional se encuentra configurado como seguidor de voltaje por lo tanto su función es adaptar impedancias sin modificar el voltaje de entrada. Para la implementación de este circuito se aconseja el circuito integrado LM324, debido a sus bajos costos y buenas características. Alguna teoría sobre amplificadores operacionales puede ser consultada en [6].



**FIGURA 4.9:** Circuito del convertor de V/V a 1/2

## 4.2 MULTIPLEXACION DE SEÑALES

Para la multiplexación de las señales se utiliza un mux análogo MC14051B de la empresa on-semiconductor; La descripción detallada de sus pines es mostrada en la figura 4.10

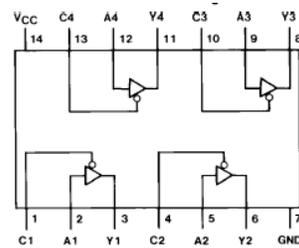


**FIGURA 4.10:** Diagrama de pines del mux MC14051B

Este es un mux análogo de ocho canales, el cual solo se alimentará con una fuente de 5V puesto que nunca llegarán valores negativos a este mux.

## 4.3 HABILITACIÓN DE MODULOS DE TRANSMISION

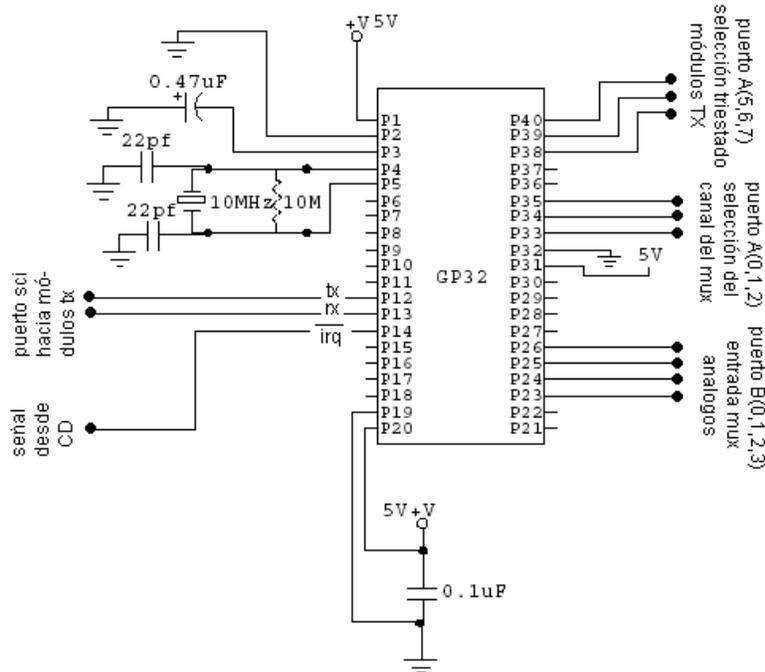
Para esto se utiliza el circuito integrado 74LS125 que es un circuito con cuatro compuertas triestados; la figura 4.11 es el diagrama de conexión:



**FIGURA 4.11:** Diagrama de pines del circuito 74LS125

## 4.4 PROGRAMACIÓN Y SOFTWARE

La figura 4.12 representa el diagrama de conexiones necesario en el microcontrolador central para su correcto funcionamiento.



**FIGURA 4.12:** Diagrama de conexión para microcontrolador central

El funcionamiento del GP32 es el siguiente:

El microcontrolador estará en modo de bajo consumo(wait) cuando no este realizando ninguna acción, para salir de este estado tiene que ocurrir alguna de estas dos interrupciones:

- Buffer lleno de recepción de la SCI.
- Por línea externa

Cuando exista la interrupción por buffer lleno, que ocurre cuando el módulo de RF ó ethernet pide datos al microcontrolador central, la variable dat se carga con el valor presente, este valor es para el módulo de rf el caracter 'r' y para el módulo de ethernet el caracter 'e'.

Cuando se presenta la interrupción por línea externa, que ocurre cuando el MODEM pide datos al microcontrolador central, en la rutina de esta interrupción la variable dat se carga con el valor 'm'.

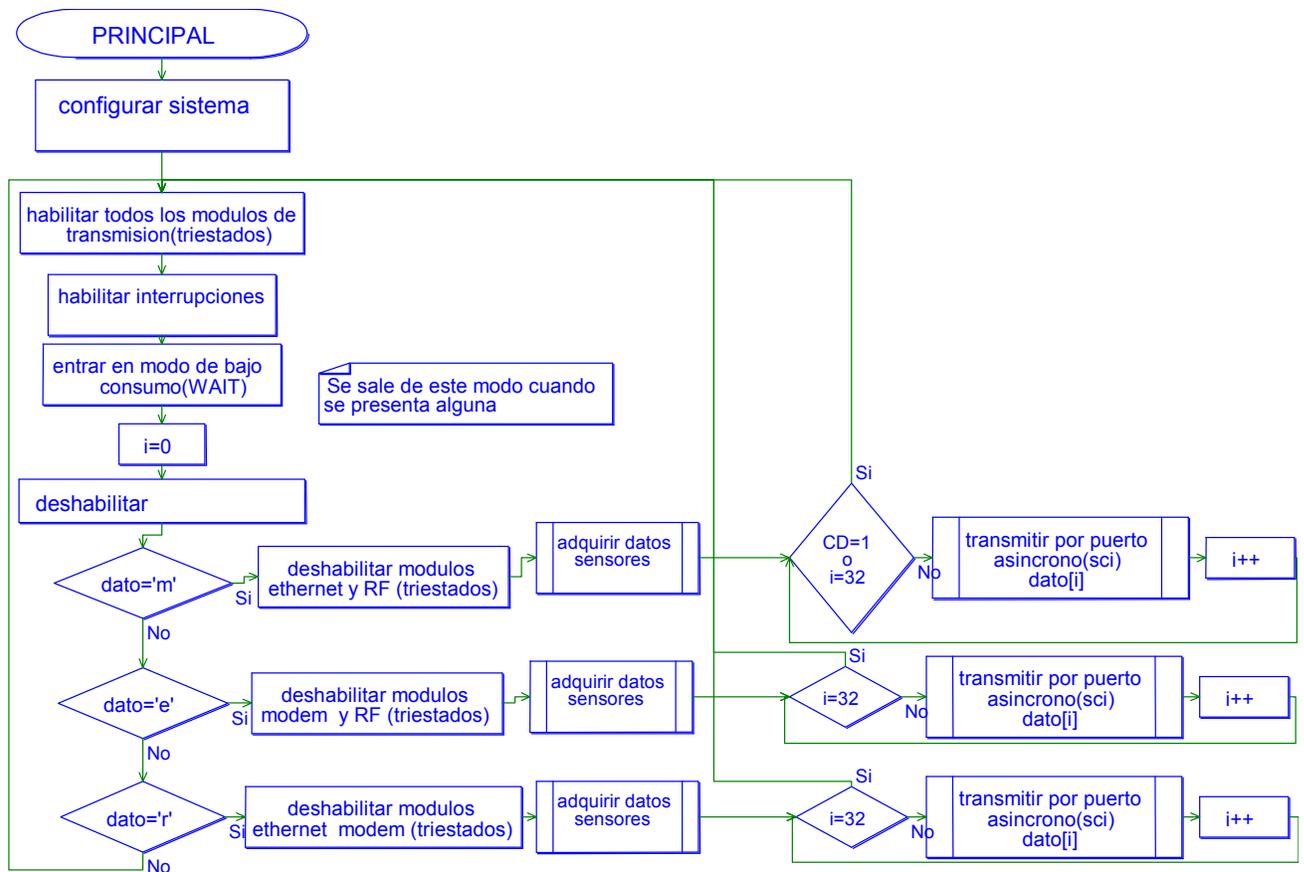
Luego de retornar de la interrupción el programa tiene que validar que módulo es el que esta haciendo la petición.

Si el caracter es 'm' el programa debe deshabilitar los módulos de RF y ethernet colocando las triestados en alta impedancia de estos módulos, luego hay que adquirir los datos de las 32 variables y guardarlo en el arreglo dato[], después de esto se hace un ciclo para transmitir el dato[i] que acabará cuando CD=1 ó i=32; la señal CD indica cuando el MODEM remoto se desconectó del MODEM local(se explicará mejor esta señal en el capítulo 5).

Si el caracter es 'e' el programa debe deshabilitar los módulos de RF y MODEM, luego debe recoger los valores de los sensores y guardarlos en el arreglo datos[], después entra en un ciclo donde se transmite el dato[i] que se acabará si ya se han transmitido las 32 variables(i=32).

Si el caracter es 'r' el funcionamiento del programa es el mismo para el carácter 'e'.

El diagrama de flujo del microcontrolador GP32 central se muestra en la figura 4.13.

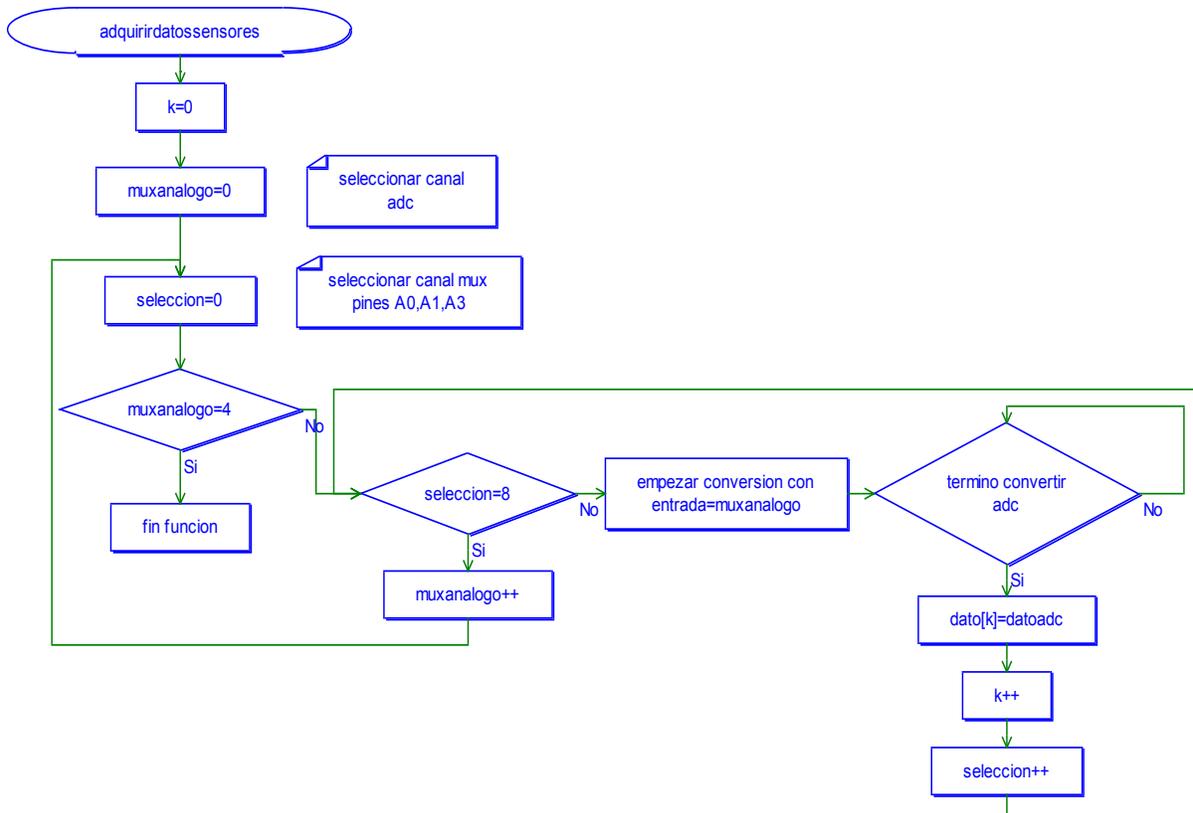


**FIGURA 4.13:** Diagrama de flujo de programa principal

Para configurar el sistema se debe: configurar los puertos A como salida y B como entrada ADC, habilitar el modo de bajo consumo(wait), el puerto serial SCI a 9600 bps además con 1 bit de comienzo, 8 bits de datos y 1 de parada, habilitar interrupciones IRQ y SCI, configurar el ADC a una sola conversión.

El arreglo datos[] y la variable i se deben definir como variables globales.

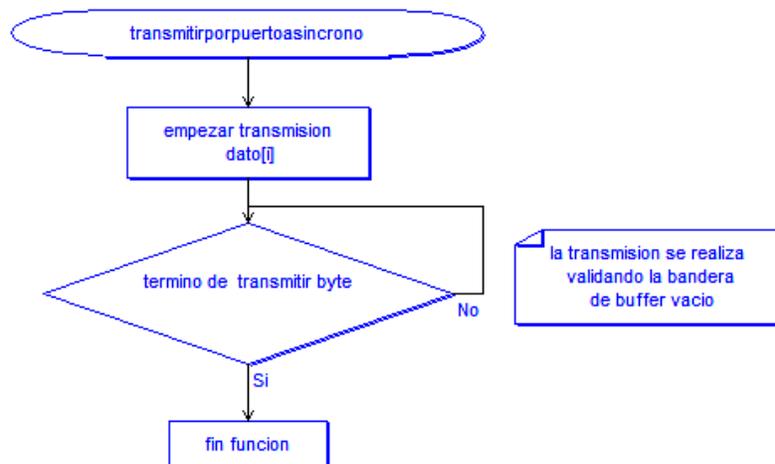
La función adquirir datos sensores se muestra en la figura 4.14:



**FIGURA 4.14:** Diagrama de flujo de la función adquirir datos

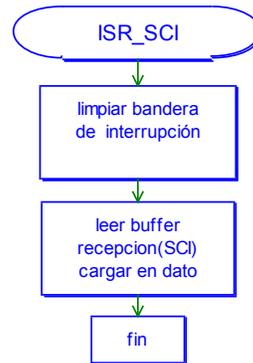
La variable muxanalogo es la encargada de seleccionar el canal para la conversión del ADC, selección es la encargada de escoger el canal del mux análogo. En este programa no hay necesidad de tener en cuenta el tiempo del mux análogo debido a que es despreciable comparado con el tiempo que tardan las instrucciones en el GP32.

La función transmitir por puerto asíncrono (sci) dato[i] es mostrado en la figura 4.15



**FIGURA 4.15:** Diagrama de flujo de la función transmitir dato

La interrupción por recepción de dato por la sci es mostrado en la figura 4.16



**FIGURA 4.16:** Diagrama de flujo de la interrupción de la SCI

La interrupción por línea externa se muestra en la figura 4.17



**FIGURA 4.17:** Diagrama de flujo de la interrupción de la IRQ

## CAPITULO 5

### MODULOS DE TRANSMISIÓN

Hasta ahora se ha presentado como obtener los valores generados por cada uno de los sensores seleccionados para las variables de mayor importancia en los procesos de generación eléctrica y como transmitir estos a través del puerto serial; Esto es suficiente en los casos en que se requiera realizar un monitoreo local a cualquier tipo de central de generación, sin embargo, el objetivo propuesto desde el principio es suplir con las necesidades, cada vez más comunes, de realizar una supervisión de ciertos procesos desde lugares geográficamente distantes mediante los medios más apropiados para el entorno industrial. En el presente capítulo se detallará cada uno de los métodos de transmisión de datos seleccionado especificando los esquemas de funcionamiento de estos.

#### 5.1 SELECCIÓN DE MEDIOS DE TRANSMISION

La transmisión de datos está definida como: “transferencia de información entre dos puntos sustentada en el empleo de una señal electromagnética”. En este proceso se pueden distinguir tres componentes fundamentales que son: información, señal electromagnética y el medio de transporte de la información ó canal. El nivel físico es el más bajo del estándar ISO/OSI, este se ocupa de cómo se transmiten los datos a través de los medios de físicos de transmisión. Debe ocuparse de que todas las entidades concuerden en la forma de usar el medio físico, así: Un BIT a 1 enviado no debe ser interpretado por el receptor como un BIT a 0, este nivel contempla:

- Elementos físicos de la conexión.
- Software de control de los elementos físicos

Los medios de transmisión pueden clasificarse en:

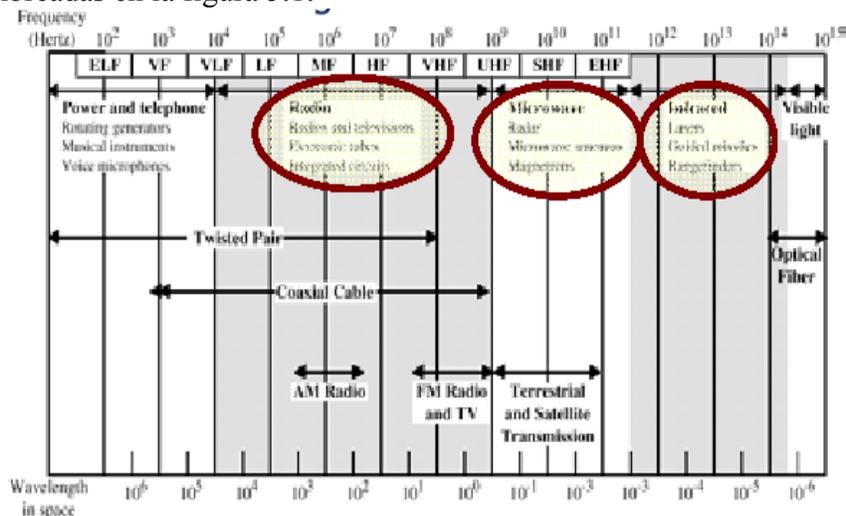
- **Medios guiados** (cable coaxial, fibra óptica, par trenzado, etc.)
- **Medios no guiados** (Ondas de radio, Microondas, infrarrojos, comunicaciones ópticas”láser”, etc.)

Medios Guiados: La señal a transmitir está confinada en un medio físico, la capacidad depende de la distancia. La característica de estos medios con la distancia es:

Medio de transmisión	Velocidad de transmisión	Ancho de Banda	Atenuación (dB/Km)	Separación Repetidores(m)	Costo
<i>Par trenzado</i>	Mbps	MHz	3	2	Muy bajo
<i>Cable coaxial</i>	Gbps	GHz	2	10	Medio
<i>Fibra óptica</i>	Tbps	THz	0.3	50	Alto

TABLA 5.1: medios guiados

Medios no Guiados: Existen tres rangos de frecuencia de interés, que corresponden a las regiones sombreadas en la figura 5.1:



**FIGURA 5.1:** bandas de frecuencia para ondas Electromagnéticas

- 2 – 40GHz: Microondas (satélites): Técnicas de acceso al medio complejas, ideal para grandes distancias y grandes cantidades de datos
- 30MHz – 1GHz: Omnidireccional (radiodifusión): Fáciles de generar, cubren largas distancias.
- $10^{11}$ - $10^{14}$  Hz (Infrarrojos): Cortas distancias.

Puesto que el desarrollo de sistemas de adquisición de datos requiere de manejo de poca cantidad de datos y sistemas con velocidades de transmisión no tan elevadas, además pensando en brindar un producto que posea las características más utilizadas en la industria, se determina que el presente diseño ofrecerá las siguientes alternativas de comunicación:

- Radiofrecuencia
- Red Ethernet
- Interfaz RS-232 para comunicación por MODEM.

Las salidas para Fibra Óptica y comunicación satelital no se ofrecen por considerar que este tipo de comunicación acarrea unos costos muy altos, innecesarios para las aplicaciones que pueden tener lugar. La comunicación por infrarrojo es muy poco utilizada debido a las restricciones de alcance que tiene.

A lo largo del capítulo se especificará un poco mejor el esquema de funcionamiento de los módulos utilizados para obtener cada una de las salidas seleccionadas.

## 5.2 MODULO DE RADIOFRECUENCIA

La idea fundamental de este módulo es ofrecer una señal analógica de salida que pueda ser introducida a un sistema transmisor, adecuado para transportar la información a la distancia requerida por una aplicación determinada. Existen diferentes tipos de modulación cuyo resultado final es una señal analógica:

- Una señal analógica portada en otra señal analógica; puede ser, modulación de amplitud (AM) y modulación angular (frecuencia: FM, ó fase: PM)
- Una señal digital portada en una señal analógica; puede ser, modulación por desplazamiento de amplitud (ASK ó por lo general llamada OOK), modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) y modulación por desplazamiento de fase (PSK)

Cualquier técnica de modulación consiste en modificar alguna característica (amplitud, frecuencia o fase) de una señal llamada portadora, de acuerdo a la variación de la información. Las diferentes categorías de modulación dependen del tipo de característica modificada y también de la naturaleza de la información. Puesto que la información es digitalizada en el microcontrolador central previo a la transmisión, las únicas técnicas de interés son las del segundo tipo (ASK, FSK y PSK), con todas sus posibles modificaciones (QPSK, BPSK, M-ARIA, entre otras). Es necesario resaltar algunas características de los distintos tipos de modulación digital:

- ❖ ASK, Representa un BIT a 1 como una señal de una frecuencia determinada y un BIT a 0 como una ausencia de señal; es muy sencilla de implementar; es muy susceptible a perturbaciones.
- ❖ FSK, Representa un BIT a 1 como una señal de una frecuencia y un BIT a 0 como una señal de otra frecuencia separada un  $\Delta f$  de la primera; es un poco más compleja de implementar; menos susceptible a perturbaciones.
- ❖ PSK, Representa un BIT a 1 como una señal de determinada fase y un BIT a 0 como una señal con 180 grados de desfase con respecto a la primera, es un poco más compleja; es muy estable ante perturbaciones; posee algunas variaciones que permiten incrementar enormemente la velocidad de transmisión complicando un poco los transmisores y receptores.

Para mayor información sobre las técnicas de transmisión RF, así como las bandas de frecuencia disponibles puede consultarse [8.]

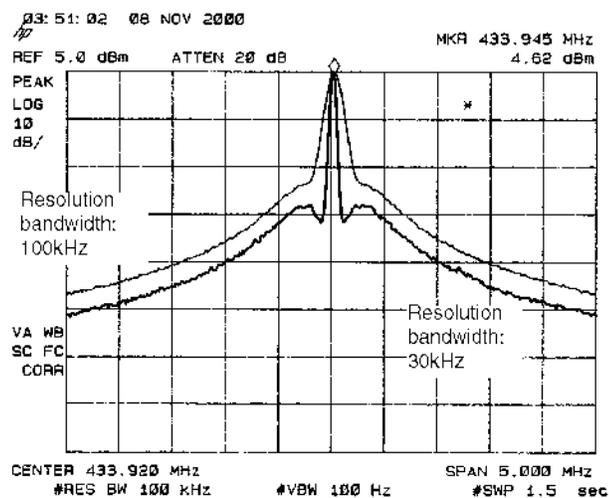
El objetivo que debe cumplir el módulo es obtener los datos digitales en forma serial del microcontrolador encargado de la adquisición y suministrarlos en forma análoga, con un tipo de modulación adecuado a un transmisor externo cualquiera. Puesto que se ha seleccionado para la unidad central el microcontrolador MC68HC908GP32, se eligió igualmente para la transmisión el dispositivo MC33493DTB y para la recepción el MC33593FTA, ambos dispositivos son suministrados por la empresa MOTOROLA, la cual es también distribuidora del microcontrolador seleccionado, todos los dispositivos son fácilmente adquiribles y se encuentran disponibles para el mercado común. En la carpeta RF del CD que se anexa al proyecto, se encuentran las especificaciones de los dispositivos

mencionados, sin embargo, en la tabla 5.2 se presentaran las principales características que se deben tener en cuenta para comprender el funcionamiento del módulo

<i><b>DISPOSITIVO</b></i>	<i><b>DESCRIPCIÓN</b></i>
<b>MC33493</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmisor UHF con VCO integrado.</li> <li>- Rango de frecuencias seleccionable entre: 315 - 434 y 868 - 928 (MHz).</li> <li>- Selección del tipo de modulación OOK y FSK.</li> <li>- Salida de reloj de datos para microcontrolador.</li> <li>- Entrada de datos y habilitador.</li> <li>- Entrada de datos en codificación MANCHESTER.</li> <li>- Espectros de frecuencia mostrados en las figuras 5.2 y 5.3.</li> </ul>
<b>MC33593</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Receptor UHF sintonizado con PLL.</li> <li>- Rango de frecuencias seleccionable entre: 868MHz, 902/928MHz.</li> <li>- Selección del tipo de demodulación OOK y FSK.</li> <li>- Ancho de Banda en frecuencia intermedia de 500 KHz.</li> <li>- Rata de transmisión de datos entre 1 a 11kBd.</li> <li>- Recuperación del reloj de datos de codificación MANCHESTER.</li> <li>- Interfaz SPI para configuración interna y transmisión de datos.</li> <li>- Capacitores de descarga del mezclador y del control automático de frecuencia.</li> <li>- Modo de bajo consumo automático.</li> <li>- Detección de ID, reconocimiento de cabecera, detección de fin de mensaje.</li> </ul>

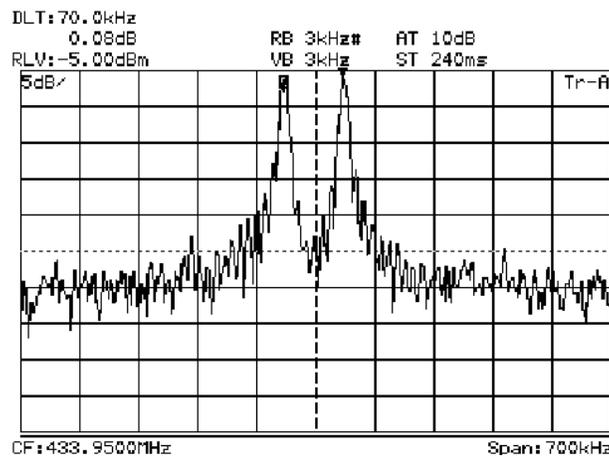
**TABLA 5.2:** Características transmisor MC33493 y receptor MC33593

Figure 5: RF spectrum at 434MHz frequency band displayed with a 5MHz span



**FIGURA 5.2:** Respuesta en frecuencia del circuito transmisor de RF para modulación OOK, a frecuencia 434MHz. Tomado del datasheet de MC33493 de la empresa MOTOROLA

Figure 8: RF spectrum at 434MHz band for a 70kHz FSK deviation at 4.8kbit/s



**FIGURA 5.3:** Respuesta en frecuencia para el circuito transmisor de RF con modulación FSK, a frecuencia de 434 MHz. Tomado del datasheet del MC33493 suministrado por la MOTOROLA

Los dispositivos seleccionados son una tecnología RF de bajo costo para las bandas disponibles no licenciadas: industrial, científica y médica (ISM por sus siglas en inglés); pueden ser usados en aplicaciones que requieran datos moderados (velocidad y cantidad), velocidades entre 9600-19200 bps con 100 ms + latencia son aplicaciones usuales y posibles en estos sistemas.

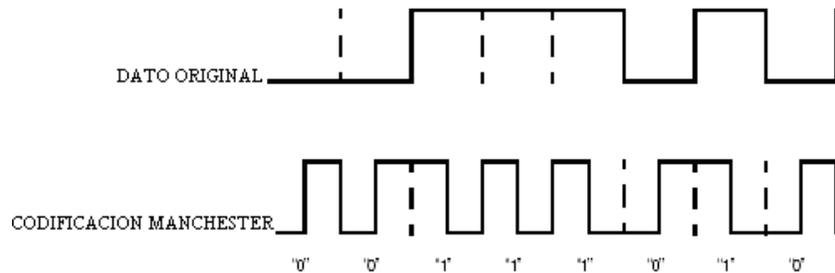
### 5.2.1 DESCRIPCION

El módulo consta de un microcontrolador MC68HC908GP32 el cual se encarga de recibir los datos seriales enviados desde el módulo de adquisición, y anexarle lo necesario (cabecera, cola, etc.) para transmitirlo mediante el 33493 a través de RF, así mismo, el microcontrolador recibe la petición externa de transmisión y transfiere dicha petición al microcontrolador central, para que este inicie la etapa de adquisición.

Un esquema completo del sistema se encuentra en el anexo A, a continuación se pretende dar una breve descripción del módulo.

Debido a la disponibilidad del producto y a las opciones de configuración que este posee, se ha seleccionado la FSK como el tipo de modulación más adecuada para la aplicación debido a que ofrece mayor seguridad para la información ante perturbaciones, además de ser un esquema muy estándar en el ámbito empresarial para la transmisión de datos (como se muestra en las figuras 5.2 y 5.3, el dispositivo tiene un buen comportamiento en frecuencia para los dos tipos de modulación siendo en FSK fácilmente reconocible el valor de frecuencia para ceros, del valor asignado a unos), la velocidad de transmisión de la SCI será de 9600 bps para conservar un valor compatible con los otros módulos utilizados, frecuencia de transmisión para RF es 868 MHz (opcional y configurable) disponible tanto en receptor como transmisor.

La codificación MANCHESTER es usada para la comunicación tanto en el transmisor como en el receptor, en la figura 5.4 se presenta un ejemplo para la cadena de bits 00111010, esta se define como sigue: El dato es enviado durante la primera mitad del bit, un dato complementario es enviado en la segunda mitad del bit.

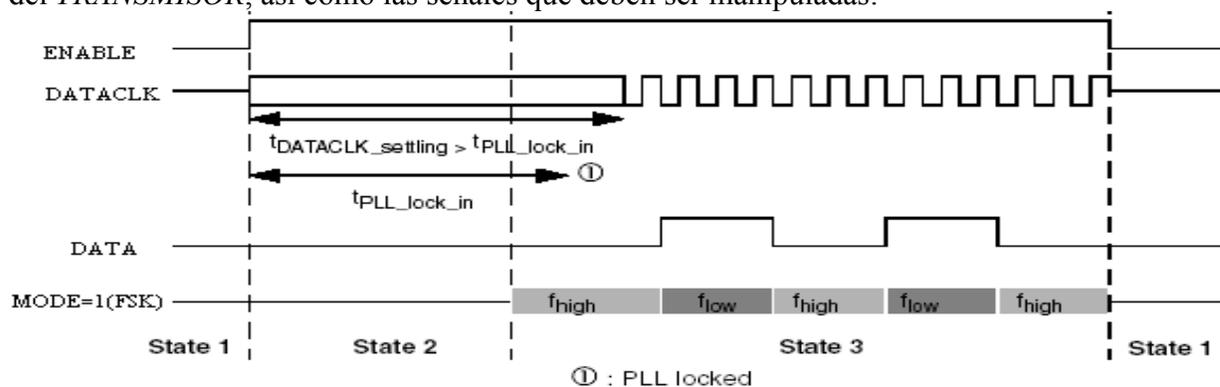


**FIGURA 5.4:** Codificación Manchester para datos binarios

Este tipo de codificación implica que el valor medio de la señal es cero ó constante, además, permite recuperar el reloj desde la misma cadena de datos. Para conseguir una recuperación correcta del reloj, el código Manchester debe tener un ciclo útil entre:

- 48% y 52% para OOK.
- 45% y 55% para FSK.

El diagrama de tiempos mostrado en la figura 5.5 representa el principio de funcionamiento de la *TRANSMISOR*, así como las señales que deben ser manipuladas:



**FIGURA 5.5:** Diagrama de tiempos básico de transmisión FSK del circuito MC33493

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta cuando el dispositivo se utiliza en el modo FSK son:

Se debe conectar al pin CFS del transmisor un circuito que sirve como selector de frecuencia cuando DATO=0 ó DATO=1, dicho circuito se puede observar en el anexo A, sin embargo, puede ser reemplazado por un circuito paralelo equivalente que se muestra en el datasheet del dispositivo (carpeta RF del CD que se anexa)

Para el transmisor, el VCO es un oscilador de relajación totalmente integrado. La frecuencia exacta de salida es igual a:  $f_{RFOUT} = f_{XTAL} * [\text{razón de divisor del PLL}]$

La banda de operación es seleccionada a través del pin BAND, la tabla 5.3 brinda los detalles para selección de cada banda:

Nivel de entrada pin BAND	Banda de frecuencia(MHz)	Razón de división del PLL	Frecuencia oscilador de cristal (MHZ)
Alto	315	32	9.84
	434		13.56
Bajo	868	64	

**TABLA 5.3:** Banda de frecuencias del transmisor

El funcionamiento del *RECEPTOR* está compuesto de un mezclador con cancelación de imagen, seguida por un filtro pasa-banda de frecuencia intermedia en 660 KHz, un control automático de ganancia (ACG) y un demodulador OOK/FSK. La salida de datos del circuito puede ser la salida de un comparador, o el puerto SPI si el Data Manager es habilitado.

EL DATA MANAGER tiene cinco propósitos: detección del ID, reconocimiento de cabecera, recuperación del reloj, salida de datos y recuperación del reloj del SPI detección del fin de mensaje. Este bloque es habilitado durante la configuración, el comportamiento del dispositivo de acuerdo a este bit es el siguiente:

DME	SPI status	Formato de datos	Salida
0	Deshabilitada	Cadenas Sin reloj	MOSI --
1	Maestro cuando RESETB=1	Bytes de datos Recuperación de reloj	MOSI SCLK

**TABLA 5.4:** Modo de operación del data manager

ESTADOS DEL RECEPTOR: Existen tres modos diferentes en los que puede estar el receptor:

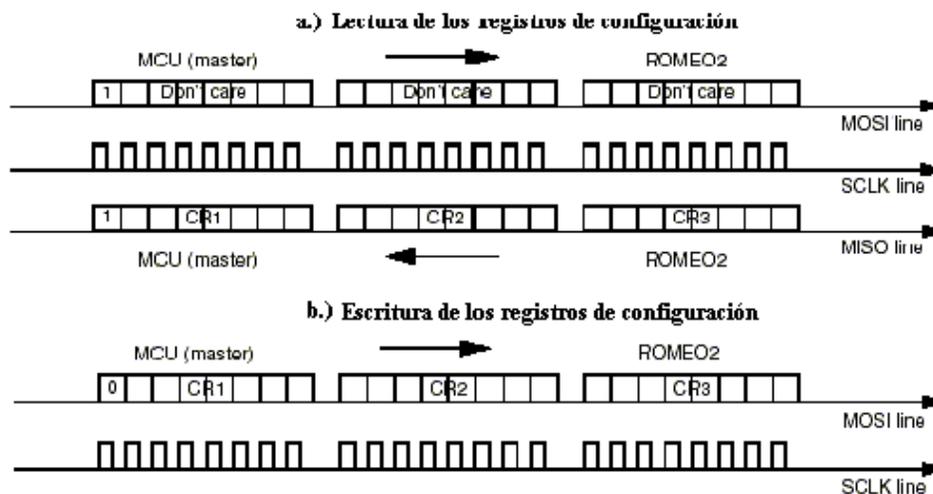
- Modo Sleep: Corresponde al modo de bajo consumo
- Modo de configuración: Es usado para leer o escribir los registros internos. En este estado, la SPI es esclava y el receptor está habilitado, el oscilador de cristal está activo generando el reloj para el SPI. Esto implica que después del circuito estar en modo sleep, un retardo de tiempo correspondiente a la alerta del oscilador de cristal debe ser insertado entre la puesta a cero del pin RESETB y el inicio de la transmisión sobre la SPI. El oscilador está activo, esto implica que los datos demodulados pueden ser leídos en DMDAT, pero no enviados a la SPI.
- Modo Activo: El receptor está habilitado y esperando para recibir un telegrama RF, la SPI esta configurada como maestro.

CONFIGURACION: Para el modo de configuración, un nivel bajo es aplicado en RESETB, el microcontrolador es el nodo maestro proporcionando el reloj de información sobre la entrada SCLK y los bits de configuración y control sobre la línea MOSI. Si no se desea la configuración por defecto, el microcontrolador (MCU) puede cambiarla escribiendo en los registros de configuración. Los registros de configuración pueden ser leídos también para conocer su contenido. Los registros de configuración no pueden ser

direccionados separadamente, la configuración tiene que ser enviada como una cadena de bits de 3x8. Los contenidos son escritos(ó leídos) como una cadena de datos seriales de 24 bits como se muestra en la figura 5.6. Las transmisiones que no son múltiplo de 24 bits, pueden provocar configuraciones inesperadas. El primer BIT transmitido en el MOSI no cambia el contenido de los registros de configuración. Observe que un nivel bajo aplicado en RESETB no afecta el contenido de los registros de configuración.

Cuando RESETB es puesto en nivel alto, si el Data Manager esta habilitado, el dispositivo se convierte en maestro y envía los datos recibidos a la línea MOSI y el reloj recuperado a la línea SCLK. Es aconsejable por lo tanto que la SPI del MCU este configurada como esclavo. Si los datos recibidos no constituyen un número entero de Bytes, el data manager puede generar y enviar un byte extra cuyo contenido es irrelevante. Si DME=0, la SPI es deshabilitada.

Cuando la SPI del dispositivo sea cambiada de esclava a maestro ó viceversa, se recomienda que el MCU este configurado esclavo previamente.



**FIGURA 5.6:** Modificación de la configuración del MC33593 a: lectura, b: escritura

En la hoja de especificaciones del dispositivo, la cual se encuentra en la carpeta RF del CD anexo, se muestra un bosquejo de los registros que se deben configurar y las especificaciones de cada uno de sus bits.

#### DESCRIPCION DEL MENSAJE:

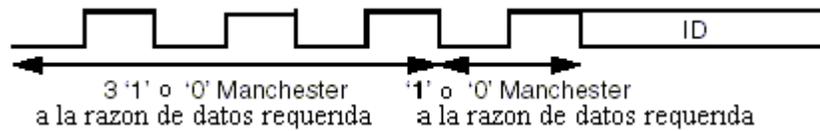
Toda la descripción se realiza asumiendo el DME (data manager enable) activo alto:

La palabra ID es un Byte codificado Manchester, cuyo contenidos ha sido previamente cargado en la configuración en el registro 2. El complemento de la palabra ID es reconocida como identificador, este byte es enviado a la misma velocidad que los datos.

Para iniciar la transmisión se requiere inicialmente enviar un preámbulo como el mostrado en la figura 5.7:

- La palabra ID
- La cabecera si HE = 1.
- Datos si HE = 0.
-

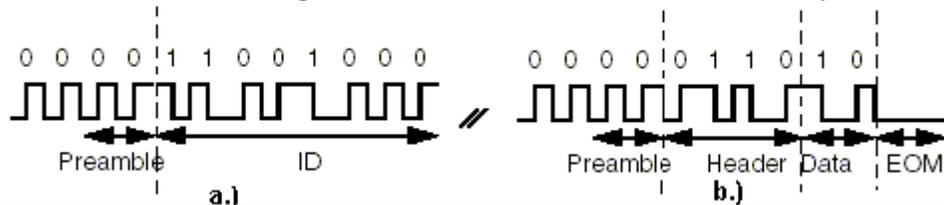
Esto permite tener unos datos de referencia y recuperar el reloj.



**FIGURA 5.7:** Conformación del preámbulo para el mensaje con receptor en el modo FSK

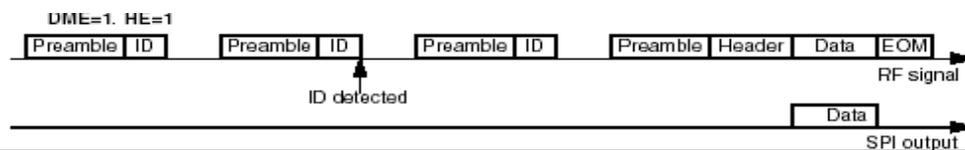
La palabra de cabecera es un mensaje en código Manchester de cuatro bits ('0110' o su complemento) enviados a la velocidad de transmisión seleccionada. Los datos deben seguir a la cabecera sin ningún retardo de tiempo. Los datos son completados por una palabra fin de mensaje (EOM), la cual consiste en dos unos o ceros NRZ (no retorno a cero) consecutivos, nunca puede ser finalizada simplemente sesando la transmisión. Si la palabra de cabecera se recibe complementada, la salida de datos también será complementada.

En la figura 5.8 se muestra un ejemplo de cómo de ser conformado finalmente un mensaje completo, en este caso se envía preámbulo, ID, cabecera, 2 bits de datos y fin de mensaje.



**FIGURA 5.8:** .Formato del mensaje RF a: identificador (para reloj) b: mensaje (2 bits)

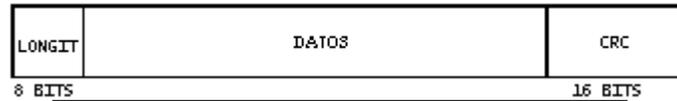
En la figura 5.9 se muestra como se comporta el MC33593 con los datos recibidos, el receptor se encuentra cierto tiempo es modo sleep y cuando detecta el identificador adecuado envía el mensaje.



**FIGURA 5.9:** Tratamiento de los datos RF recibidos, con el receptor configurado con DME=1 y HE=1

El protocolo propuesto para el mensaje enviado es muy simple, se muestra en la figura 5.10 y consta de:

1. Un campo de longitud (valor de 8 bits), expresa la longitud de una trama completa, incluyendo la longitud de los campos CRC.
2. Datos (Pueden ser de longitud variable), es limitado por la memoria de los búfer transmisor y receptor, el tamaño máximo del campo es 255 bytes. Sin embargo se planea para la presente aplicación un tamaño de 32 bytes correspondiente a cada una de las variables.
3. Un campo CRC de 16 bits.



**FIGURA 5.10:** Protocolo de transmisión RF

El código de redundancia cíclica (también llamado códigos polinomiales) es usado para verificar la integridad de los valores recibidos. Un código polinomial propuesto es el conocido como CRC-16 y está dado fórmula (5.1).

$$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1 \quad (5.1)$$

A partir de (5.1) puede construirse una tabla que ofrezca los valores necesarios para cada dato, dichos valores se anexaran durante la transmisión y se comprobarán y retirarán durante la recepción. El resultado del cálculo del CRC debe ser 0. Mayor información sobre códigos CRC en [11].

## 5.2.2 PROGRAMACION

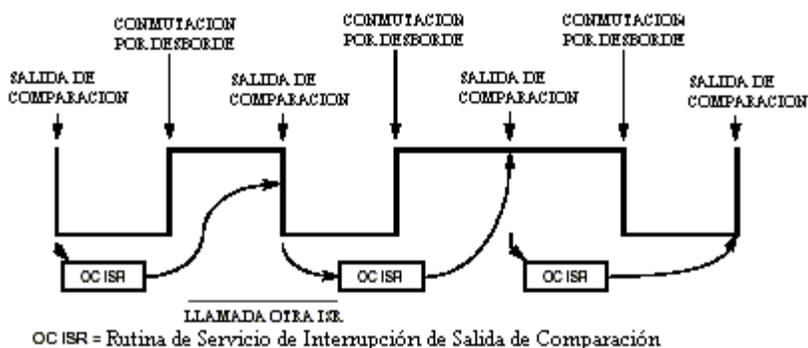
Como se había mencionado con anterioridad el módulo RF está compuesto por un microcontrolador GP32 de la familia 08 de la empresa MOTOROLA, el dispositivo transmisor con sus componentes pasivos necesarios y el dispositivo receptor con sus componentes necesarios.

El microcontrolador (MCU) es el encargado de establecer comunicación serial asíncrona con elementos externos, comunicación serial en código Manchester con el transmisor RF y comunicación serial síncrona con la SPI del receptor RF. La figura 5.11 es el diagrama de estados de la MCU.



**FIGURA 5.11:** Diagrama de estados del microcontrolador del modulo RF

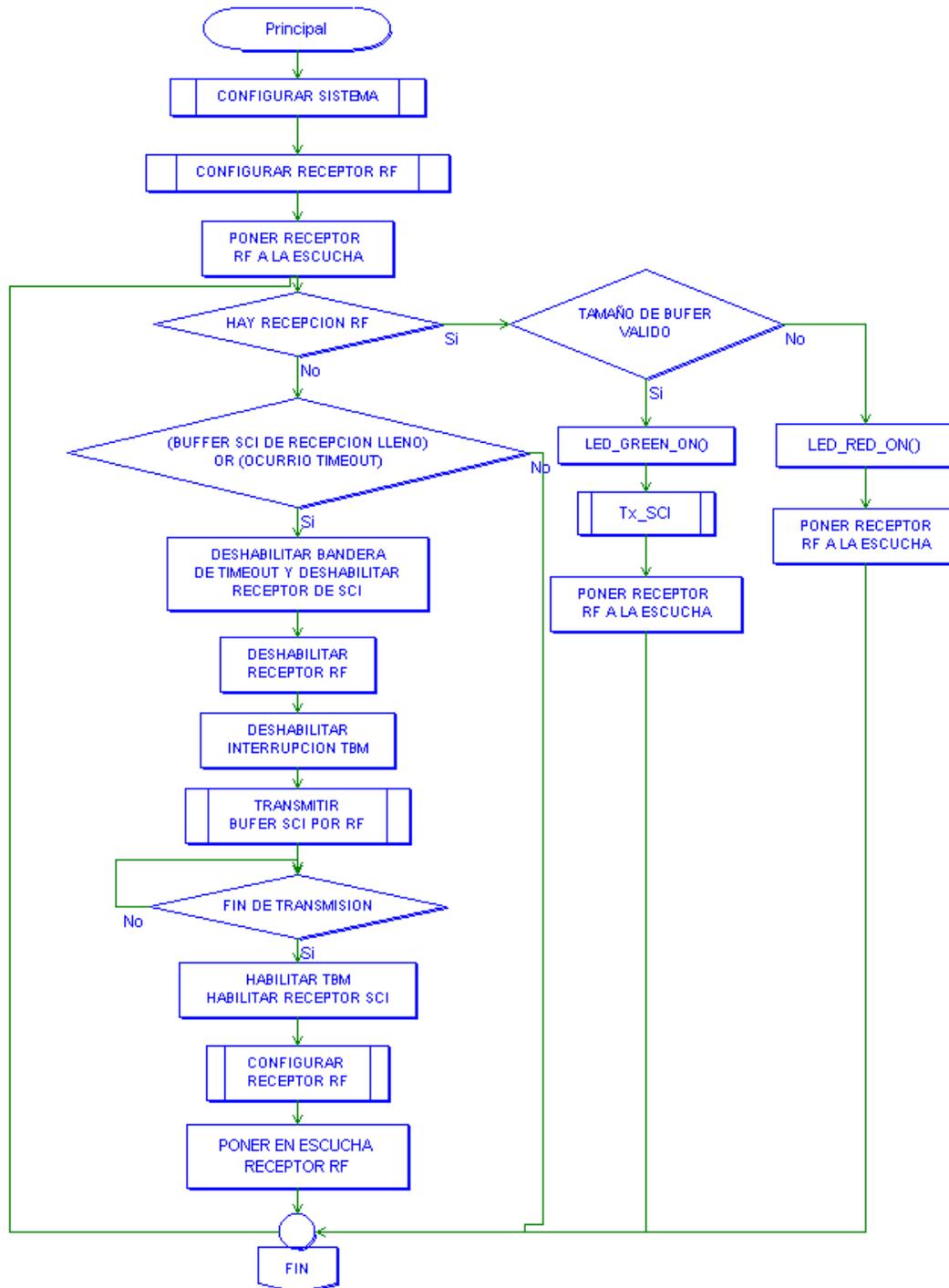
El proceso de recepción de los datos RF se realiza por una simple interrupción que genera la SPI cuando se ha llenado el buffer; el proceso de recepción de datos de la SCI también genera una interrupción la cual a su vez inicializa el módulo TBM de la MCU para indicar que la transmisión ha finalizado generando una nueva interrupción después de transcurrir un milisegundo sin recibir datos, esto se hace como una alternativa para indicar que se finalizó la transmisión sin enviar 10 u 11 unos continuos, la transferencia de datos seriales asincrónicos se realiza en un proceso normal de transmisión SCI; la transferencia de datos para el transmisor RF implica un poco más de complejidad, debido a que los datos requeridos deben llevar una codificación Manchester, para conseguir esto se ha empleado los canales del módulo TIM de la MCU seleccionada configurados como comparación de salida, la figura 5.12 bosqueja el procedimiento, a continuación se brinda una breve descripción del proceso desarrollado para obtener la codificación Manchester: Se configura el módulo del timer de tal forma que entregue los datos a la velocidad requerida, para 9600 baudios es  $104 \mu\text{s}$ . El nivel de salida del pin TXDATA (entrada de datos del transmisor) es conmutado (desde el bit ELS0A a TXDATA) cada vez que el contador alcanza el valor predeterminado en el latch del comparador, de esta manera se carga el latch del comparador con el dato correspondiente a la mitad del periodo y se transmite a la salida TXDATA el nivel del bit que se desea transmitir, cuando ocurre el desborde del timer, el valor complementario es conmutado, a la vez que se carga el siguiente bit a ser enviado en el bit ELS0A del registro de control y estado del timer, en resumen, cuando se genera interrupción por salida de comparación, se conmuta por hardware el contenido de ELS0A al pin TXDATA, luego se va a la subrutina de servicio en la cual se carga el siguiente bit a ser transmitido.



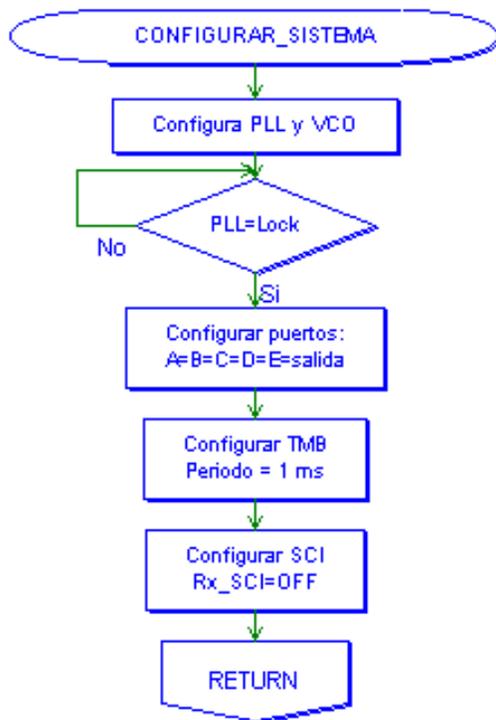
**FIGURA 5.12:** Generación de código Manchester con el timer

Las MCU 08 de MOTOROLA poseen múltiples y fáciles herramientas de programación que incluso permiten desarrollar los programas en lenguaje C y mediante compiladores transportarlo a lenguaje de máquina, los diagramas de flujo que se presentan a continuación en las figuras 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 son de arquitectura abierta por lo que pueden ser implementados en cualquier compilador.

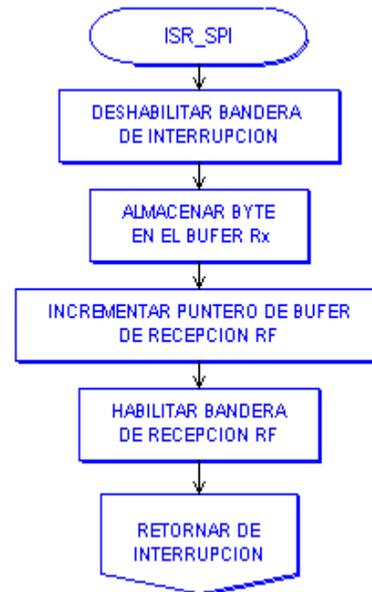
Es necesario mencionar que la empresa MOTOROLA ofrece una tarjeta llamada RF-08, la cual ofrece modulación OOK, dos puertos seriales (RS232 y RS485) y múltiples opciones de entrada/salida, el funcionamiento es muy similar al aquí explicado y ofrece el software para el compilador HI-WARE ofrecido por la empresa Metrowerks, Inc., cualquier información al respecto puede ser consultada en [3].



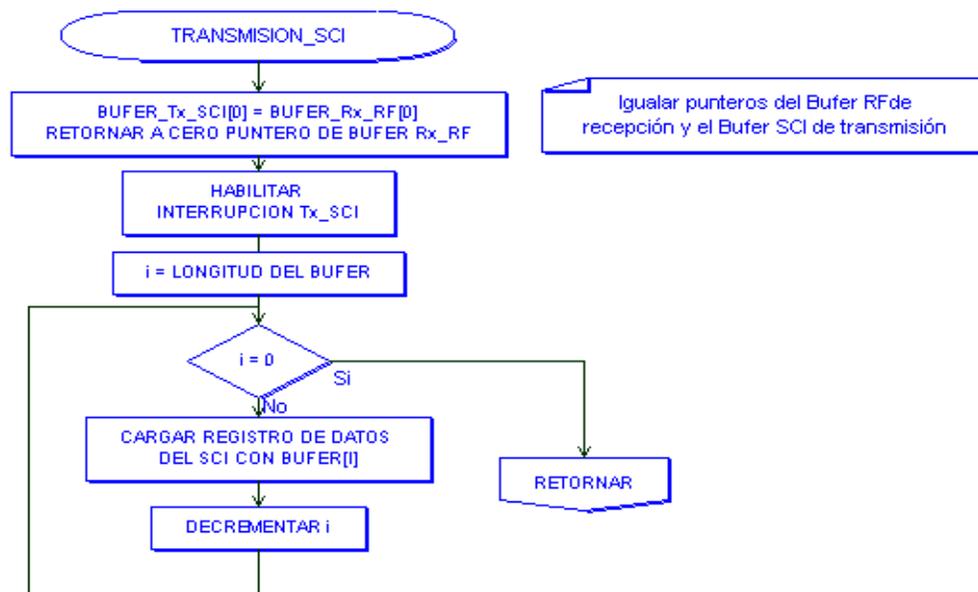
**FIGURA 5.13:** Diagrama de flujo del programa principal para la MCU del módulo RF



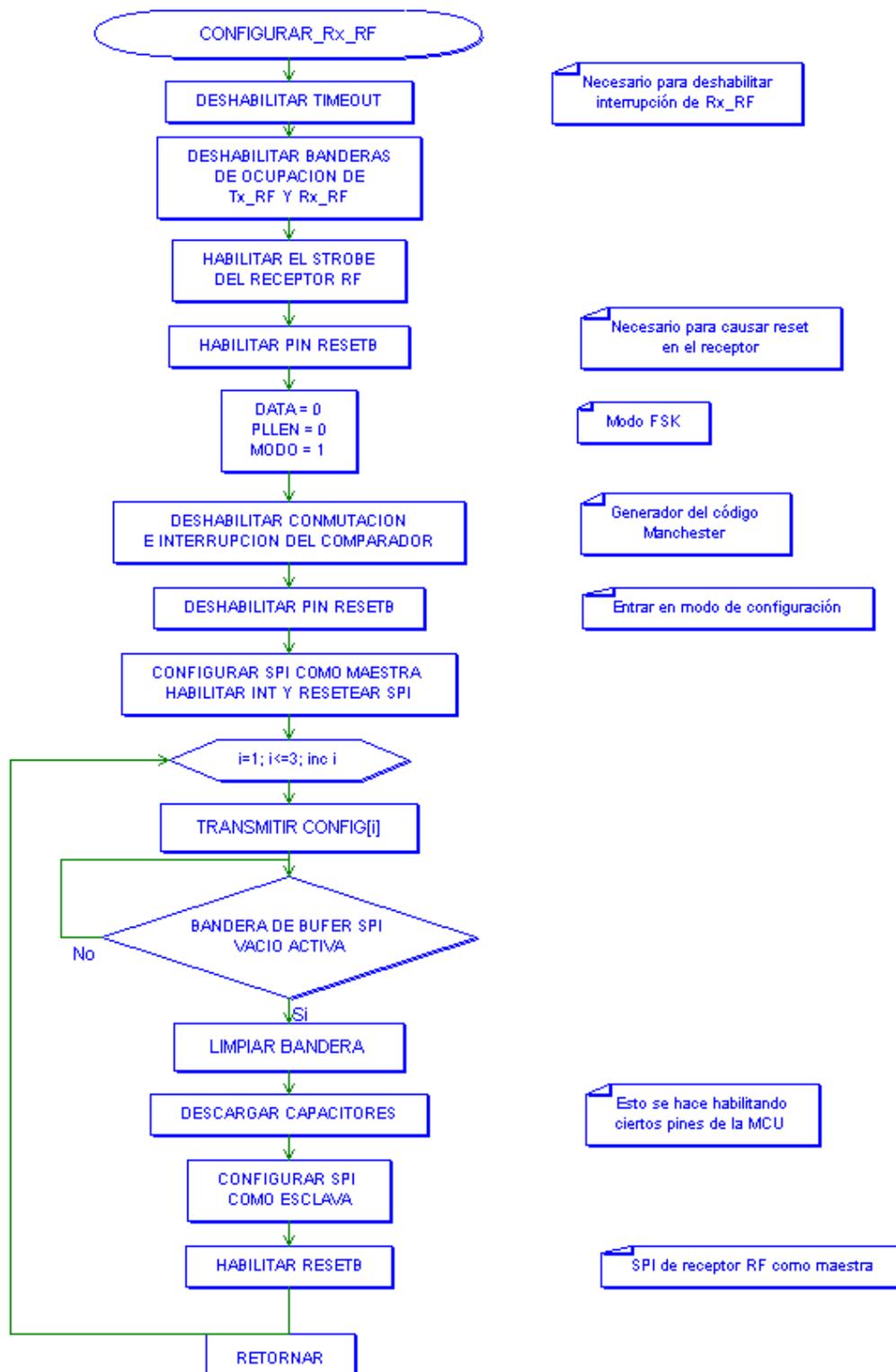
**FIGURA 5.14:** Diagrama de flujos de la subrutina que configura el sistema, al inicio del programa principal



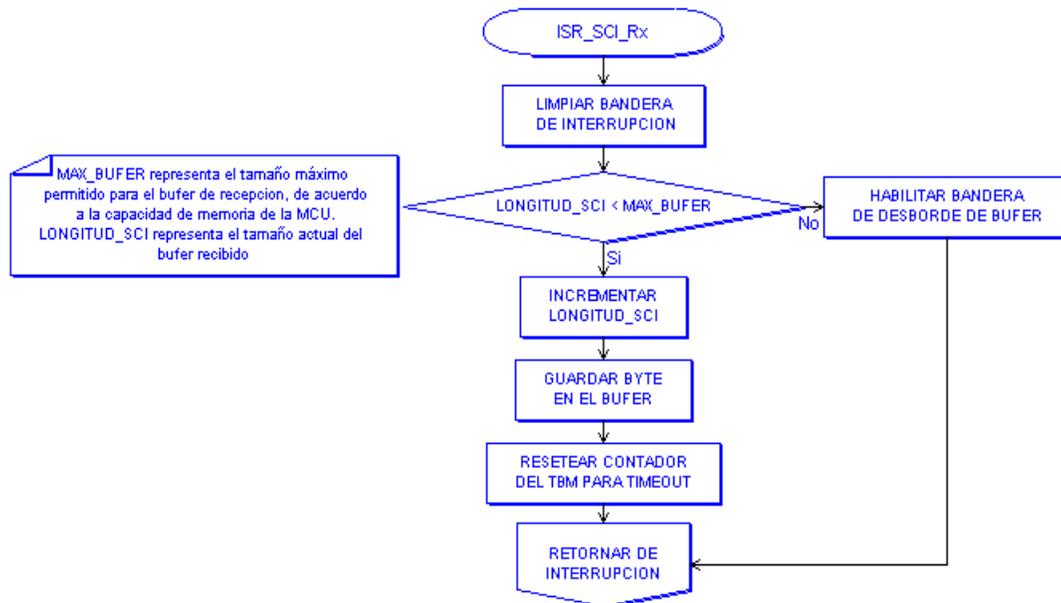
**FIGURA 5.15:** Diagrama de flujo de la rutina de servicio de interrupción que almacena en el búfer Rx\_RF, los datos recibidos por radiofrecuencia, para luego ser transmitidos por la SCI



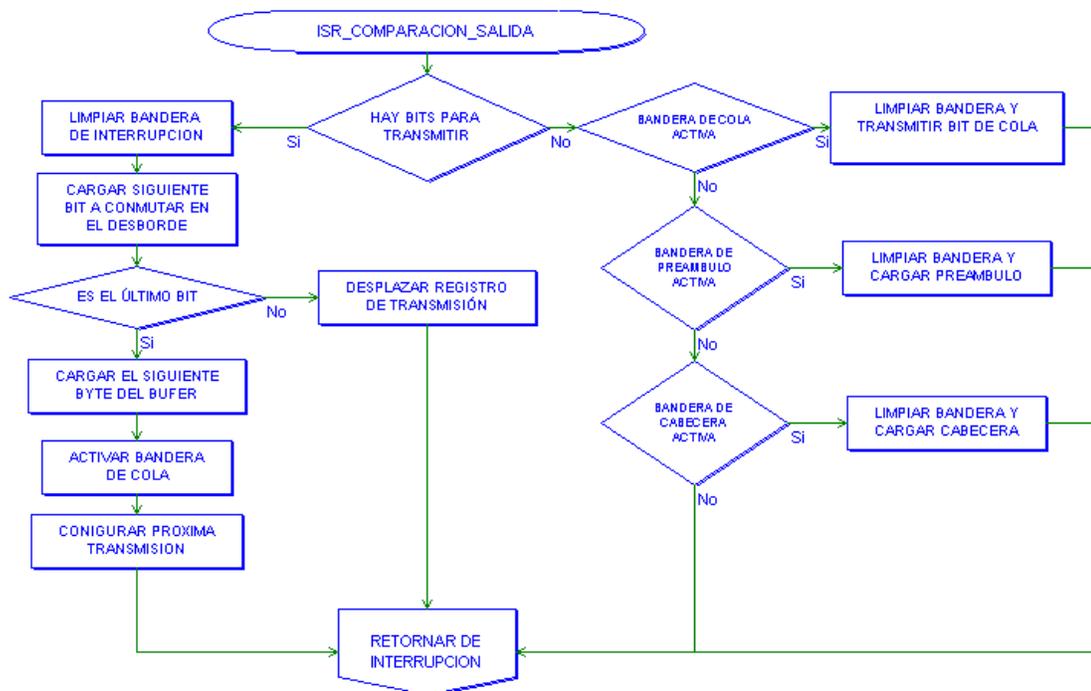
**Figura 5.16:** Diagrama de flujo de la subrutina que transmite los datos recibido por radiofrecuencia mediante la SCI



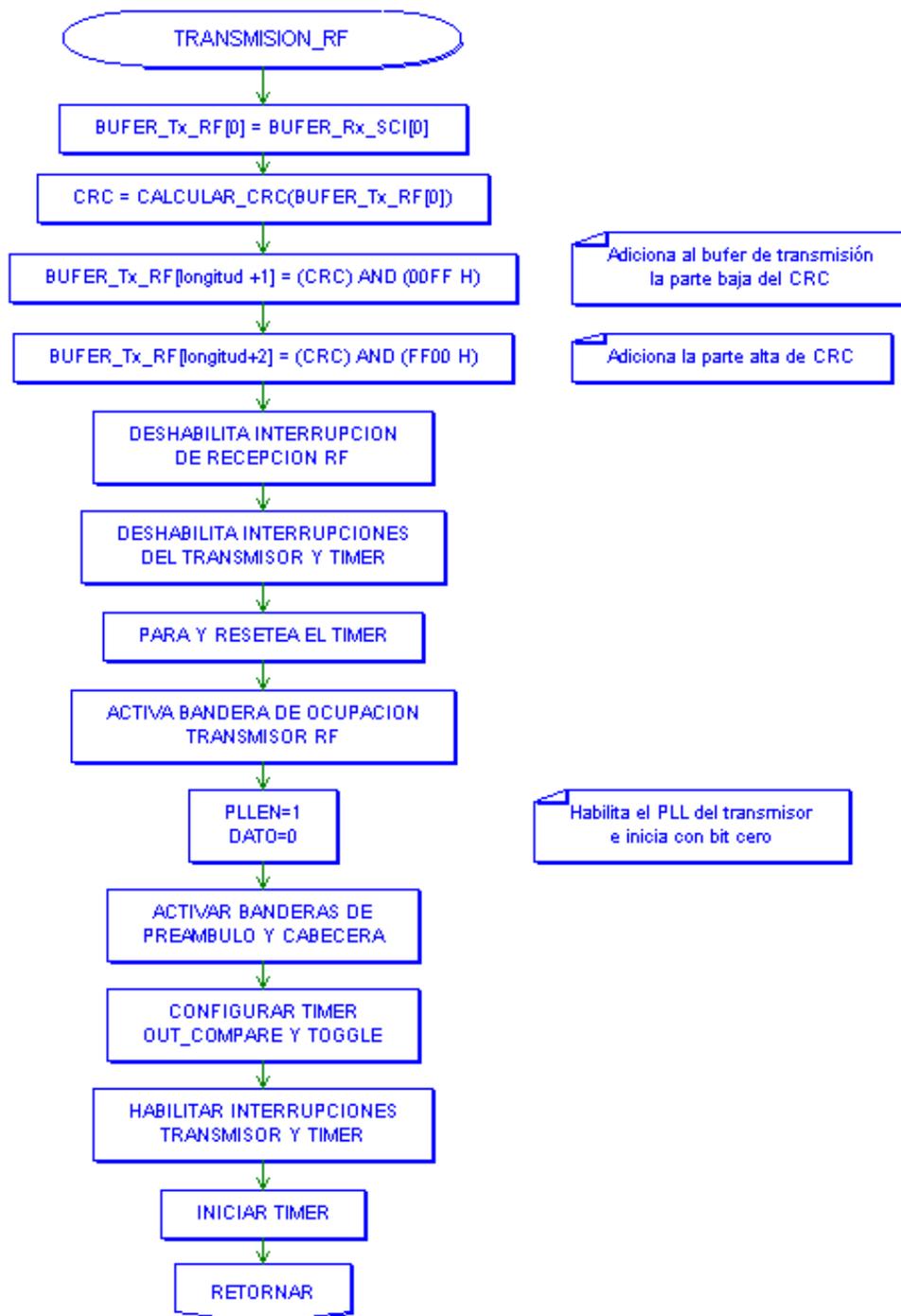
**FIGURA 5.17:** Diagrama de flujo de la subrutina que configura el receptor de radiofrecuencia, y lo deja en escucha continua.



**FIGURA 5.18:** Diagrama de flujo de la rutina de servicio de interrupción generada por el receptor SCI, en la cual se carga el byte recibido en el búfer Rx\_SCI



**FIGURA 5.19:** Diagrama de flujo de la rutina de servicio de interrupción como resultado de desborde del timer configurado en comparación de salida, esta rutina permite la generación del código

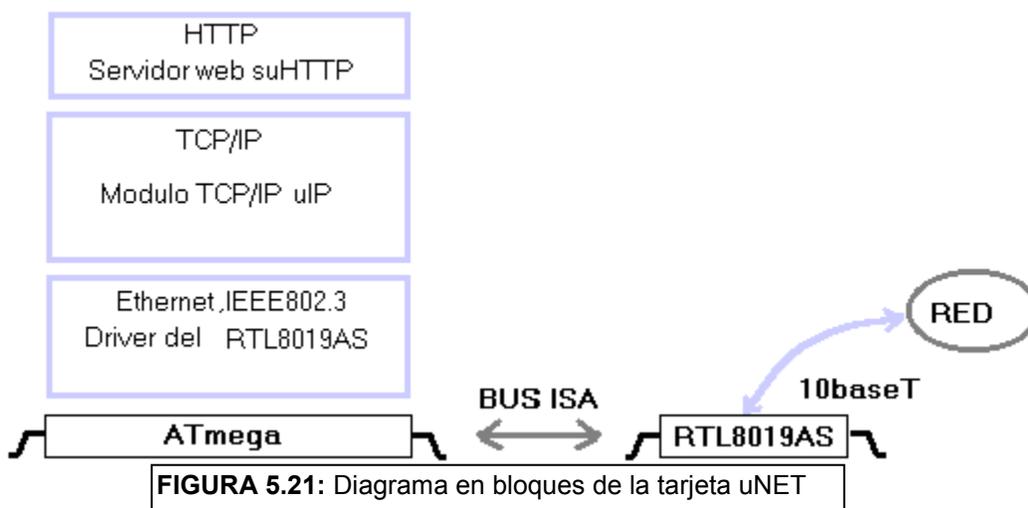


**FIGURA 5.20:** Diagrama de flujo de la subrutina que transmite mediante radiofrecuencia los datos contenidos en el búfer del receptor de la SCI, además calcula y adiciona el código CRC para la corrección de errores.

### 5.3 MODULO ETHERNET

Se hace notorio en la actualidad la tendencia de las industrias de incorporar dispositivos que les permitan conectar sus sistemas de monitoreo y control a redes Ethernet, esto es debido a que aquellas ofrecen la posibilidad de transmitir datos a velocidad aceptable con bajos costos y soporte técnico suficiente, es por este motivo que se ha querido brindar la posibilidad a los potenciales usuarios del sistema de adquisición diseñado de comunicar sus datos mediante red Ethernet, ya que además esta soporta los protocolos más comunes de red como el TCP/IP (utilizado en internet).

Para conseguir esto, se acopla al diseño la tarjeta uNET<sup>1</sup> desarrollada en el trabajo de grado por el ingeniero FREDY HERNÁN RIASCOS CAMPIÑO [10], cuyo diagrama en bloques se muestra en la figura 5.21, esta consta de un microcontrolador ATmega y un controlador de red de referencia RTL8019AS de RealTek.



El diagrama de conexiones entre el microcontrolador y el controlador de red se presenta en el anexo B. En el presente proyecto no se desarrolló modificación alguna al hardware del diseño original, únicamente se desarrolló el script necesario para la aplicación requerida, fundamentado en el software de aplicación desarrollado para la tarjeta uNET.

A continuación se presentan algunas pautas para el desarrollo de las aplicaciones para esta tarjeta, cualquier información adicional sobre funcionamiento del Hardware ó desarrollo de software para la tarjeta puede ser consultada en el trabajo de grado mencionado antes. El RealTek RTL8019AS es un adaptador compatible con Ethernet e IEEE 802.3, este dispositivo proporciona todas las funciones de la capa MAC (Media Access Control), es decir todo lo esencial para enviar y recibir paquetes.

Al realizar una aplicación en la tarjeta es necesario tener en cuenta ciertos aspectos, a saber: Primero la interfaz de red, la cual varía un poco con respecto a las instrucciones en ciertas funciones a utilizar y los métodos de petición de datos de acuerdo al sistema operativo utilizado.

<sup>1</sup> Proyecto de grado realizado por estudiante de ingeniería electrónica de la Universidad del Quindío

La tabla 5.5 resume algunas de estas características:

<b>TIPO</b>	<b>Descripción</b>
Main	Contiene la función principal. Función main() típica de lenguaje C. La función main para Windows y Linux varía levemente de la función main que se utiliza en microcontrolador en cuanto a la forma de evaluar si hay paquete listo en la NIC.
Drivers	Contiene las rutinas controladoras de la interfaz de red. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>En Linux:</b> uIP proporciona los archivos tapdev que cumplen esta función en Linux.</li> <li>• <b>En Windows:</b> Debe utilizar los archivos ethernet.c y ethernet.h desarrollados en este proyecto.</li> </ul> <b>Con el RTL8019AS.</b> El Drivers para este dispositivo está en los archivos drivers.c y drivers.h., es posible editar los archivos rtl.h y rtl.c para arquitectura específica.
uip_arch	Contiene las funciones de suma de control CRC. Estas rutinas pueden ser modificadas u optimizadas para una arquitectura en particular incluso para ganar velocidad pueden escribirse en ensamblador.
uipopt.h	Archivo de configuración debe ser editado para una correcta configuración según el sistema.

**TABLA 5.5:** Resumen archivos u-net

Como paso a seguir se debe tener en cuenta los archivos que realizan la configuración y que permiten el desarrollo de las aplicaciones en el módulo uIP, estos archivos no se deben modificar puesto que son independientes de la aplicación y del sistema, la tabla 5.6 muestra los archivos requeridos:

<b>TIPO</b>	<b>Descripción</b>
uip.c y uip.h	Contiene las funciones principal de módulo uip. El archivo uip.c tiene ciertas modificaciones en el compilador para que permita manejar adecuadamente el controlador.
uip_arp.c y uip_arp.h	Estos archivos contienen el código de las funciones que cumplen con el protocolo ARP. No deben ser modificadas.

**TABLA 5.6:** Archivos que se necesitan para manejar la u-net

Las funciones mencionadas en las tablas anteriores se encuentran definidos y declarados en archivos con extensión .c y .h, desarrolladas en el proyecto mencionado, por lo cual se hace posible limitarse en desarrollar y anexar los archivos de cada aplicación en especial. Todos estos archivos son incluidos en un proyecto para luego ser compilados en un sistema apropiado para tal fin y exportados a la MCU del módulo.

Para el desarrollo de la aplicación final se utiliza el protocolo HTTP, el cual puede transmitir cualquier tipo de información (texto, gráficos, binarios, etc.) respetando su

formato original. Puesto que nuestra aplicación requiere un intercambio constante de información, es decir, que es dinámica. No es apropiado utilizar un formato HTML el cual es estático, a cambio de esto se requiere utilizar la pasarela CGI para permitir la interactividad. La interfaz CGI(pasarela) define una forma cómoda y simple de ejecutar código que se encuentran en la máquina que aloja al servidor. Para la presente aplicación se realizará un formulario HTML. Esto consiste en que cuando el usuario gestiona y envía un formulario desde su navegador web, el servidor HTTP recibe los datos y ejecuta un script CGI encargado de procesar esta información. A continuación el script genera el código HTML de salida, esta salida esta conectada directamente con el servidor que envía al cliente dicha información y de esta forma el usuario pueda ver el resultado de la operación.

Para la instalación de scripts (funciones CGI) en el proyecto se deben seguir los siguientes pasos:

- ✓ Por cada función CGI debe existir una cadena en memoria flash con la URI del programa CGI que representa tal función CGI este arreglo se edita en `ufiles.h`.
- ✓ Edite el macro número de scripts `N_SCRIPTS` en el archivo `sconf.h`.
- ✓ Las funciones CGI deben ser editadas en el archivo `sconf.c`
- ✓ Antes de compilar el proyecto hay que editar la función `ucgi_init()` en el archivo `sconf.c`. en esta función se debe incluir el macro `get_cp()`. Allí también se inician el arreglo de punteros tipo `const char ucgi_name[]` con los nombres de los scripts y el arreglo de punteros a funciones `ucgi_function[]` con las diferentes funciones CGIs. Note que cada función CGI y la cadena con la URI (nombre). Deben estar en la misma posición en su correspondiente arreglo.

Para escribir en forma correcta las funciones CGI se aconseja tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Si la función CGI utiliza variables estas deben declararse como `static`, esto es por que la función no se ejecuta en un solo llamado. Cuando tiene que enviar datos entrega el control al servidor para que envíen el dato, en este proceso el valor de las variables puede perderse ya que no se cuenta con un mecanismo que permita el apilamiento de las variables locales.
- Toda función CGI debe iniciar con el macro `script_init()` Este macro es el encargado hacer el salto a la sentencia que debe ejecutarse en el presenta llamado de la función.
- Lo primero que debe hacer la función es procesar la cadena `QUERY_STRING`. Note que los datos del `querystring` solo están disponibles en la primera llamada de la función CGI, en llamadas posteriores es improbable que no se hallan alterado. Por esto la información más relevante debe guardarse en variables `static` o globales.
- Como en todo programa CGI hay que poner una cabecera con el tipo MIME. Para documentos html utilice el macro `script_header()`. Puede editar este macro para otro tipo de documentos.
- Se utilizan los macros `outst()`, y `coutst()` como salida estándar, el primero para cadenas en memoria RAM y el segundo para cadenas tipo `const`, es decir, en memoria flash. El programador puede ver estos macros como funciones que envían los datos al módulo uIP bloqueando el flujo de la función CGI hasta que la

transferencia se haya realizado. En este proceso las variables locales pueden ser alteradas, por lo que no es conveniente guardar datos relevantes para la función en este tipo de variables.

- La última sentencia de la función CGI debe ser el macro `script_end()`

El formulario utilizado es el siguiente:

```
<html><body><center> MEDIDAS CENTRAL ELECTRICA<BR><BR>
<form name=medidas method=get action=medidas.cgi>
<input type=submit name=Actualizar value=Actualizar>
</form>
```

Este solo crea un título centrado y un vínculo que permite actualizar la página, esta es la parte estática de la página y se convierte en un arreglo hexadecimal llamado *formed* dentro del script gracias al programa EDITOR UFILE creado en el proyecto uNET, el paso a seguir en el programa de aplicación, es enviar al microcontrolador central la palabra que sirve como identificador. En este momento el central adquiere los datos y los envía por la USART al módulo, este los recibe, los almacena y luego los envía por la red. Puesto que el central envía los datos en forma binaria, es necesario realizar la conversión a ASCII previo a la transmisión por la red. Es necesario aclarar que en esta aplicación no se requiere de QUERY\_STRING puesto que solo existe una acción a realizar en la página (recargar la página ó actualizar)

El script de la aplicación llamado *medidas.cgi* creará por tanto una tabla en la cual se presentaría el orden del sensor y su valor actual, cada que se pulsa actualizar la página se carga nuevamente con los valores actuales. El usuario puede ver la página como se muestra en la figura 5.22.



**FIGURA 5.22:** Ejemplo de pagina principal cargada por módulo Ethernet

Para la transmisión y recepción de datos a través de la USART se utilizan las funciones creadas para tal propósito en la aplicación suNET del trabajo de grado en mención.

Para el desarrollo de la aplicación, se utilizó el proyecto de aplicación suhttp implementada en el proyecto original, en dicha aplicación se modificó los siguientes archivos:

- ◇ ufiles.h
- ◇ sconf.h
- ◇ sconf.c
- ◇ usart.c

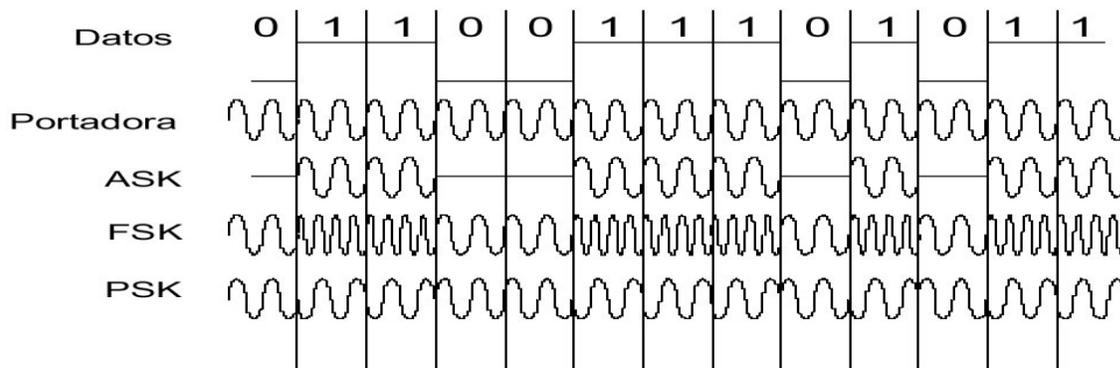
El código fuente resultado de las alteraciones se presenta en el CD anexo al proyecto en la carpeta *ETHERNET/modificaciones*, allí también se presenta un ejemplo de la página en formato HTML (estático) El proyecto completo que incluye los archivos necesarios para realizar la compilación se encuentra en el archivo *ETHERNET/modulo*.

## 5.4 MODULO MODEM

Aunque este módulo está enfatizado para la utilización del MODEM, perfectamente podría ser utilizado como un puerto de comunicación serial asíncrona, puesto que el modem no realizará llamadas sino que solo las responderá.

### 5.4.1 DEFINICION DEL MODEM.

El nombre módem viene de la unión de las palabras **modulador** (modulador) y **demodulador** (demodulador). Se llama modulador al circuito que acepta secuencias de bits de datos y aplica las *técnicas de modulación* (en la figura 5.23 se muestran algunas de estas técnicas) a una onda portadora de acuerdo con los bits. Se llama demodulador al circuito que acepta una portadora modulada y recrea la secuencia de bits usada para modular la portadora. Debido a que el ancho de banda en una línea telefónica es relativamente pequeño, los sistemas para optimizar éste son muy importantes, ya que siempre se desea transmitir la cantidad máxima de información en el mínimo tiempo posible. Esto se consigue con *métodos de compresión* (codificación) muy sofisticados y con técnicas para enviar múltiples bits simultáneamente.



**FIGURA 5.23:** Tipo de modulaciones disponibles en el modem

### *POR QUÉ UTILIZAR LOS MODEMS*

- El sistema telefónico análogo sigue siendo la principal facilidad utilizada para comunicación de datos.
  - Los computadores producen pulsos digitales, en tanto que el sistema telefónico está diseñado para transmitir señales análogas que están dentro del espectro auditivo de los seres humanos.
  - Se requiere de un dispositivo que convierta pulsos de datos digitales generados por los computadores a tonos análogos que pueden ser transportados por el sistema telefónico.
- La figura 5.23 presenta un esquema típico de comunicación por MODEM, el dispositivo que realiza la llamada se denomina MODEM local y el que la recibe MODEM remoto.



**FIGURA 5.24:** Comunicación entre Modem local y remoto

## 5.4.2 CONEXIONES DEL MODEM.

El módem es un elemento intermedio entre el equipo terminal de datos DTE y la línea telefónica. Por tanto, hay que definir el modo en que el módem se conectará tanto a la línea telefónica como al DTE. Los módems se conectan a la línea telefónica a través de un conector RJ-11. En cuanto a su conexión con el DTE, se han definido varios estándares de conectividad. Los más comunes son los propuestos por la norma RS-232 o la recomendación V.24, los que se verán a continuación.

## 5.4.3 INTERFACE RS-232C

La RS-232C utiliza intercambio de datos binarios en serie según la recomendación V.24 del CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telégrafos y Telecomunicaciones), e idénticas características al V.28. Debido a la proliferación de equipos de distintos fabricantes, ha causado que estos hayan tenido que ponerse de acuerdo en las normativas de conexión de sus equipos. Se resolvió el problema con esta asociación de estándares EIA con el estándar RS-232, que es el adoptado con mas frecuencia para transmisiones serie. En el campo de las telecomunicaciones uno de los factores más importantes que hay que tener en cuenta son los estándares. Es necesario no olvidar que gracias a que todos los módems se acogen a las recomendaciones CCITT V21, V22 ó V23 se pueden comunicar unos con otros. Pues bien, la recomendación que hoy por hoy está vigente en cuestión de módems de alta velocidad para líneas telefónicas es la V32 del CCITT para módems de 9.600 bps.

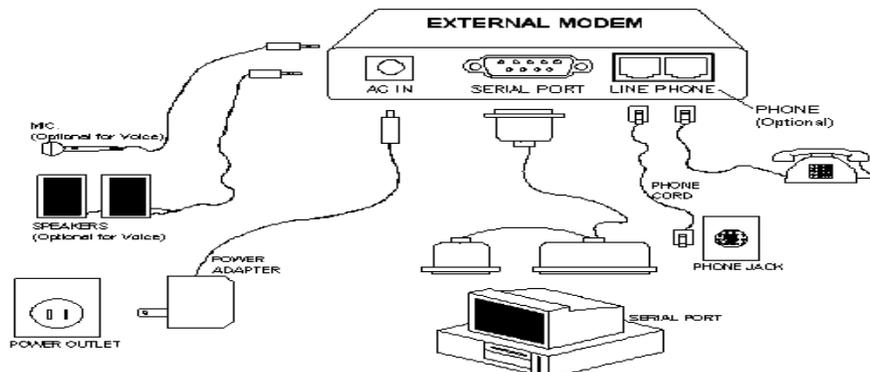
## 5.4.4 COMUNICACIÓN CON EL MODEM

Para el módulo de transmisión MODEM se necesita conectar un MODEM externo.

### *MODEM EXTERNO*

La figura 5.25 muestra un Modem de este tipo, viene provisto de un cable con conector telefónico donde una de las salidas se conecta directamente a la línea telefónica y la otra al MODEM, además lleva incorporado otro conector para teléfono, siendo éste totalmente independiente del funcionamiento del MODEM. Además lleva un adaptador para la entrada corriente eléctrica. El MODEM viene incorporado de un conector serie para que se conecte a esa salida del ordenador; pero el cable de conexión en la mayoría de los casos no viene incluido debido a esa cuestión de compatibilidad, pues no se construyen específicamente para un tipo de ordenador, este cable se puede adquirir en las tiendas especializadas en productos de informática. Además el MODEM externo suele incluir una serie de extras que el interno no posee como son: interruptor de encendido y apagado, un pequeño altavoz que nos sirve para escuchar el tono de línea, el marcado de un número, si se ha realizado

una buena conexión, etc., y por último viene con una serie de leds que se encienden según se estén realizando algunas de las operaciones básicas tales como el envío y recepción de datos, la selección de alta velocidad, si está en modo auto contestación, si se ha realizado la conexión, etc.



**FIGURA 5.25:** Diagrama MODEM externo

Para comunicarse con un MODEM externo se usan los comandos AT (que se explicarán más adelante) y ciertas líneas que cumplen funciones específicas, la tabla 5.7 nombra algunas de estas líneas:

Shortening Name	Name
TD	Transmit Data
RD	Receive Data
CTS	Clear to Send
DCD	Data Carrier Detect
DSR	Data Set Ready
DTR	Data Terminal Ready
RTS	Request To Send
RI	Ring Indicator

**TABLA 5.7:** Señales para manejar el modem

Para el módulo de comunicación MODEM solo se utilizará las señales: TD y RD para transmitir y recibir respectivamente, CD para controlar cuando el MODEM esta conectado con otro MODEM, las señales CTS y RTS no se usarán puesto que estas son señales de control de flujo que no se necesitan por la cantidad de datos tan pequeña utilizada y además porque la comunicación entre el MODEM local y el remoto es la misma velocidad entre el microcontrolador y el MODEM remoto. La señal DTR no es indispensable puesto que sirve para que el MODEM este en modo comando o modo on-line (esto se explica más adelante), la línea DSR se usa para hacer handshaking, pero por la igualdad de velocidades, no es necesaria y la señal RI es una señal más de aviso que de control.

#### 5.4.5 COMO SE HACE LA COMUNICACIÓN CON EL MODEM

Los módem siempre funcionan en uno de estos modos: el modo de comando o el modo en línea.

- El **modo comando** se usa para la configuración del módem o para marcar, es posible comunicarse con el módem a través del conjunto de comandos AT. Después de ejecutar un comando, el módem regresa un código de resultado de confirmación.
- Después de que se establezca una conexión con un módem, el módem pasa al **modo en línea** (on-line). En el modo en línea, el módem recibe caracteres desde la computadora sin interpretarlos, luego convierte los datos en señales analógicas y luego transmite estas señales a través de la línea telefónica.

Puede introducir comandos únicamente cuando el módem está en el modo comando. No puede entrar comandos cuando el módem está en el modo en línea, es decir, enviando o recibiendo datos mediante las líneas telefónicas.

#### 5.4.6 COMANDOS DE CONTROL DEL MÓDEM

La mayoría de los módems se controlan y responden a caracteres enviados a través del puerto serie. El lenguaje de comandos para módems más extendido es de los comandos Hayes que fue inicialmente incorporado a los módems de este fabricante. Estos comandos y mucha otra información sobre modem puede ser vista en [9]

#### Existen dos tipos principales de comandos:

- Comandos que ejecutan acciones inmediatas (ATD marcación, ATA contestación o ATH desconexión)
- Comandos que cambian algún parámetro del módem (por ejemplo ATS7=90)

En la carpeta MODEM del CD anexo se pueden ver todos los comandos AT de configuración, además la especificación de los registros S.

#### *Ejemplos de algunos comandos AT y registros S.*

#### Comandos AT

##### ATD número

1) Descuelga y llama al número de teléfono solicitado.

2) Espera un tono de llamada antes de marcar.

2.1) Si no se detecta ese tono en S6 segundos, el MODEM devuelve código de resultado "no dial tone"

2.2) Si se detecta el tono el MODEM espera S7 segundos

2.2.1) Si no establece conexión el MODEM vuelve al estado de comandos

2.2.2) Si se establece conexión el MODEM entra en el estado on-line.

#### ATE

0) No Eco

1)Con Eco.

## Comandos S

**S0** (*rango = 0 - 255; 0 =no aplicado; default = 0*) El numero de rings que debe sonar el MODEM antes de contestar.

**S7** (*rango = 1-255; default = 50; unidades = segundos*) El tiempo máximo que el MODEM espera la portadora desde el MODEM remoto antes de colgar.

### 5.4.7 DESARROLLO DE UNA CONEXIÓN A TRAVÉS DE MODEM

El proceso de conexión de dos ordenadores utilizando módems se describe en esta sección. En la conexión participan dos ordenadores con sus respectivos módem que se encuentran conectados a la red telefónica. En el ordenador que origina la conexión, el usuario trabaja sobre un programa de comunicaciones que le permite actuar sobre el módem, la secuencia en la tabla 5.8 muestra la conexión entre dos modems, el cual empieza con el paso 1 y termina con el paso 12.

Paso	Usuario	Software	MODEM llama	Módem responde	Que sucede
1		Selecciona "dial" en el menú del programa o tecldea en la línea de comandos.	Activa la señal DTR y envía al módem el comando de marcación <b>ATDT 055</b>	El módem conecta el altavoz, descuelga la línea, espera el tono de llamada y marca el número de teléfono.	
2			Comienza observando los códigos de resultados del módem.	Espera una respuesta durante tiempo según configuración del registro S7.	
3					La línea de teléfono suena.
4					El módem detecta la llamada, y contesta situando el tono de respuesta en línea.
5				El módem detecta el modo de respuesta y sitúa la portadora de comienzo en línea.	
6				Los módems se ponen de acuerdo en la modulación y velocidad a utilizar.	Los módems se ponen de acuerdo en la modulación y velocidad a utilizar.

7			Los módems determinan la técnica de compresión y control de errores a utilizar	Los módems determinan la técnica de compresión y control de errores a utilizar
8			Envía el código de rta. "connect" al PC, apaga el altavoz, y activa(coloca OFF) la señal CD.	
9		Detecta el código de rta. y/o la señal CD; Informa al usuario que la conexión está establecida.		
10	Comienza la comunicación con el host.	Gestiona la sesión de comunicaciones; vigila la pérdida de portadora monitorizando la señal CD.	Envía y recibe datos.	Envía y recibe datos.
11	Completa la sesión de comunicaciones y selecciona el comando "disconnect".	Desactiva la señal DTR, o envía +++ seguidos por ATH.		
12			Cuelga el teléfono.	Detecta la pérdida de portadora y cuelga

**TABLA 5.8:** Secuencia de la llamada a un Modem

#### 5.4.8 TRANSMISION ASINCRONICA DE DATOS O PROTOCOLO "STAR-STOP"

Los datos que maneja un módem están organizados en bytes separables, al igual que cuando se almacenan en una memoria principal. En la transmisión asincrónica los datos se envían como bytes independientes, separados, pudiendo mediar un tiempo cualquiera entre un byte y el siguiente. Es el modo de transmisión corriente vía módem usado en las PC, siendo en general el empleado por su sencillez para bajas velocidades de transmisión de datos.

El MODEM reconoce los siguientes formatos:

1 ó 0 bits de inicio, 7 ó 8 bits de datos, 1 bit de paridad y 1 ó 2 bits de parada.

El estándar más utilizado por los fabricantes de MODEM es 1 bit de inicio, 8 bits de datos y 1 bit de parada.

#### 5.4.9 CONFIGURACIÓN DEL MODEM EXTERNO

Para poder que el MODEM se pueda comunicar con el microcontrolador central gp32, primero se tendrá que enviar algunos comandos AT para poderlo configurar y así tener una exitosa comunicación. A continuación se listan los comandos AT que se necesitan, con su correspondiente explicación, luego se nombra un programa que posee el computador para poder transmitir estos comandos.

- **AT&F0:** Devuelve las características de fábrica(para resetear cualquier configuración errónea pasada)
- **ATE0:** Desactiva el eco(el MODEM no retornará el comando que se esta enviando)
- **ATQ1:** Suprime los códigos de resultado(los emite el MODEM y es para saber sus estados, Ej.: OK, CONNECT, etc.)
- **AT&C1:** activa las funciones de la línea CD(carrier detect)
- **AT&D0:** Desactiva las funciones normales de la línea DTR(data terminal ready)
- **T&K0:** Desactiva el control de flujo DTE/DCE, con este comando se olvidan las líneas CTS y RTS, y por caracteres Xon y Xoff.
- **AT&N6:** Configura una velocidad de enlace fija con otro MODEM a 9.600 bps, se escoge este valor por ser muy común en transmisiones de datos, además es la misma velocidad con que el microcontrolador le estará transmitiendo datos.
- **ATS0=1:** configura el registro S0 que es el encargado de quedar en el estado de llamadas entrantes.
- **AT&Q0:**selecciona el modo asincrónico directo que es el de conexión entre el microcontrolador y el MODEM.

Se desactivan las líneas de control de flujo RTS y CTS debido a que la transmisión entre el MODEM local y el microcontrolador son a la misma tasa de 9600 bps.

Para poder transmitir estos comandos AT de configuración, se debe contar con un puerto serie que maneje RS-232 y comunicación asíncrona, para poder lograr esto se utiliza una computadora normal ya que todas vienen equipadas con puertos con estas características. El uso de un programa de comunicaciones tal como Windows HyperTerminal, puede emitir comandos directamente desde el modo terminal del programa de comunicaciones.

Ejemplo:

ATQ1 <CR> (en el programa hyperterminal)

OK (se verá en el monitor del computador si el MODEM quedó configurado para suprimir los códigos de resultado).

Para poder configurar el MODEM y que pueda conectarse con este módulo del sistema es necesario activar este comando AT en el MODEM externo que se desee colocar; esta es la versión comprimida de los comandos vistos anteriormente.

**AT&F0E0Q1&C1&D2&K0&N6&Q0S0=1 <CR>**

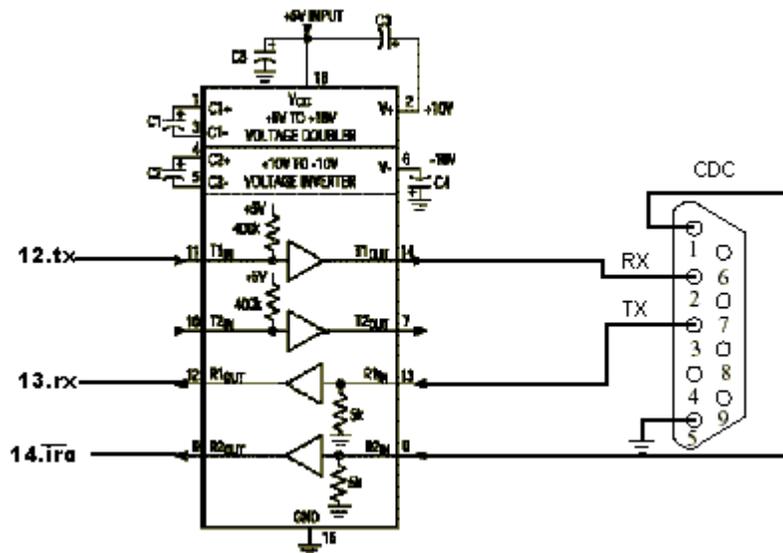
Si en el monitor aparece OK el MODEM queda listo para trabajar. Pero para que esta configuración quede guardada es necesario guardarla en la NVRAM que tiene el MODEM, esto es posible agregando este comando.

AT&W0 <CR>

Y esperar a que en el monitor aparezca OK

#### 5.4.10 INSTALACIÓN DEL HARDWARE DEL MÓDULO MODEM

El módulo MODEM es bastante sencillo como puede verse en la figura 5.26, el programa para manejar el MODEM se realiza en el microcontrolador central GP32 (que se encuentra en el capítulo 4), lo único que hay que realizar es la conversión de los niveles TTL de la MCU a niveles RS-232 del MODEM (señal td) y de RS-232 a TTL (señales rd y cd). Para esto se utiliza un circuito integrado llamado MAX232 que convierte los niveles RS-232 (cerca de +10 y -10 V) a voltaje TTL (0 a +5 V) y viceversa sin requerir nada más que una fuente de +5 V.



**FIGURA 5.26:** Esquema de conexiones entre microcontrolador e interfaz DB-9 para Modem

Cuando se vaya a conectar el MODEM se debe tener en cuenta que el pin TD del conector DB-9 debe llegar a TD del MODEM y el pin RD al pin RD del MODEM. Para la línea CD no se necesitó negarla para activar la interrupción puesto que cuando el MODEM detecta una conexión, la línea CD se pone en cero. La señal RD en el microcontrolador se puede suspender debido a que el MODEM tiene deshabilitadas las emisiones de comandos hacia el microcontrolador; se deja para futuras ampliaciones que este módulo haga la llamada.

#### 5.4.11 SOFTWARE DEL MÓDULO MODEM

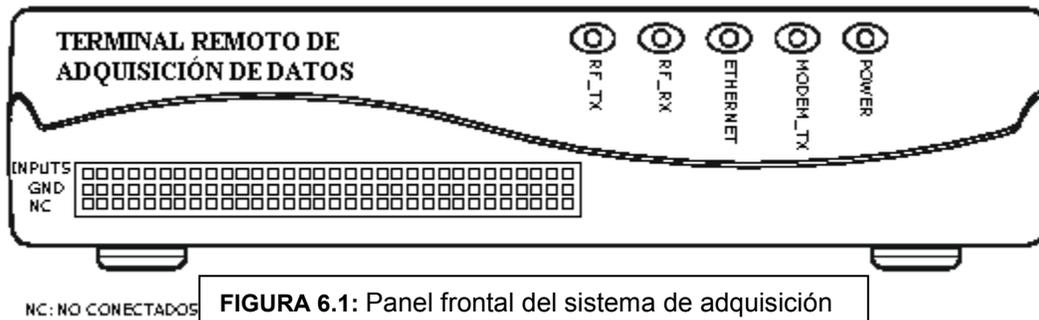
Aunque el programa de manejo del MODEM con el microcontrolador se ve en el capítulo de módulo de adquisición, en esta sección se detallará mejor su funcionamiento.

El MODEM no necesitó de un microcontrolador adicional debido al fácil funcionamiento de este, además de la poca carga que tiene el microcontrolador central. En el MODEM se usa la señal CD(estado on-line) para crear una interrupción en el microcontrolador y así liberarlo del estado WAIT; en la interrupción se le da el valor correspondiente al código ASCII de la 'M'(para diferenciarlo de los demás módulos); retornando de esta, el microcontrolador valida los diferentes módulos(RF, ETHERNET o MODEM) deshabilitando los módulos de RF y ethernet, luego sensa las 32 variables. A partir de allí se empieza a validar si el MODEM ya transmitió las 32 variables ó si la conexión se perdió mediante el monitoreo de la línea CD, si y solo si las dos condiciones son falsas el micro transmite hacia el MODEM la variable con índice i.

## CAPITULO 6

### ESPECIFICACIONES

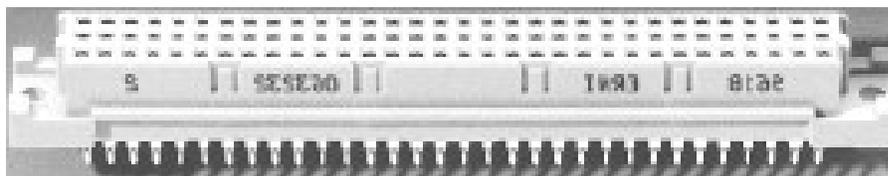
Ya se ha completado el sistema de adquisición de datos, describiendo detalladamente cada uno de sus módulos, como paso a seguir se dará una breve explicación de las características de las entradas y salidas del sistema y la interfaz con el usuario del dispositivo(indicadores) La figura 6.1 muestra un diseño de la cara frontal del aparato.



Allí se puede observar que el panel posee 5 leds de aviso, los cuales permiten dar a conocer al usuario u operario, las operaciones que se están llevando a cabo, el primer led de derecha a izquierda en la imagen es el aviso de encendido de alimentación; el segundo es aviso de transmisión por MODEM, este led se enciende cuando se están enviando datos por la interfaz DB-9 para MODEM; el tercer led corresponde a Ethernet, y se activa cuando se está realizando una comunicación por la red; el cuarto led indica que se están recibiendo datos por el módulo RF y finalmente el quinto led es encendido en el momento que se inicia la transmisión de datos por el módulo de radiofrecuencia.

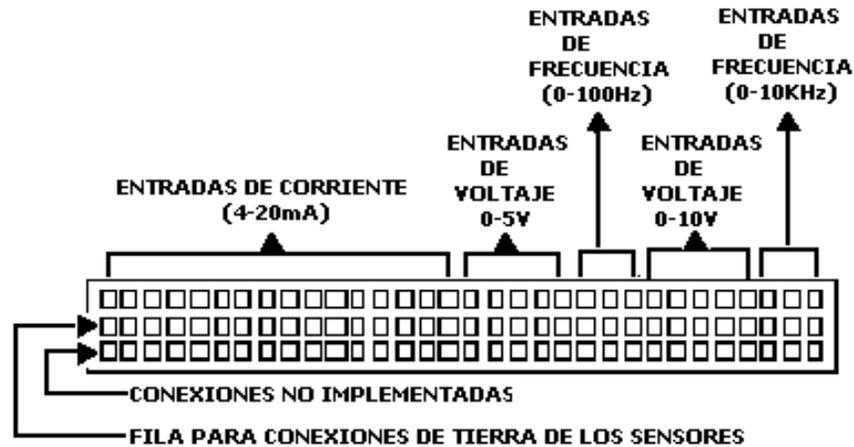
### 6.1 ENTRADAS

Como se puede notar en la figura 6.1 el sistema posee 96 entradas de las cuales las 32, correspondientes a la fila inferior, no se encuentran conectados, éstas se dejan para posibles ampliaciones del módulo de entrada ó brindar en el futuro opciones de salida para control, los conectores de entrada para los sensores consisten en un conector DIN 41612 hembra, distribuido por la empresa ERNI inc, fabricado en poliuretano no inflamable, posee una resistencia de contacto  $< 20 \text{ m}\Omega$  y resistencia de aislamiento de  $10^{12}\Omega$ . En la figura 6.2 se observa el aspecto real del conector sugerido.



**FIGURA 6.2:** Conector DIN para entradas

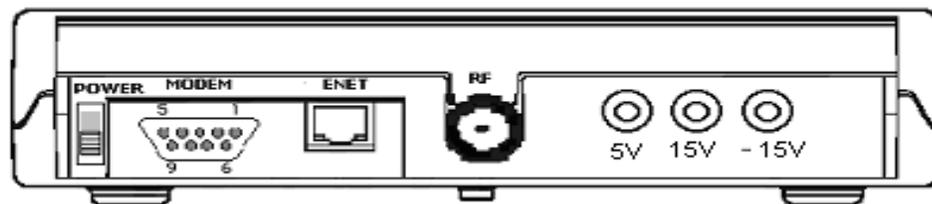
Las entradas soportan 3A de corriente por lo que no existe problema con los rangos manejados. La figura 6.3 presenta un esquema detallado de las conexiones de entrada.



**FIGURA 6.3:** Diagrama de conexiones para las entradas de los sensores

Es necesario aclarar que las entradas deben estar entre los niveles especificados para un correcto funcionamiento del sistema, además, las entradas de frecuencia de tener una amplitud de  $-5$  y  $5$  Vac ó de  $0$  a  $5$  Vac.

La figura 6.4 corresponde a la cara posterior del aparato.



**FIGURA 6.4:** Panel posterior del sistema

Allí pueden ser fácilmente distinguidas las salidas para radiofrecuencia, Ethernet y para MODEM en formato DB-9, también se encuentra las entradas de alimentación y el interruptor de encendido

## 6.2 SALIDAS

Los conectores para cada una de las salidas son conectores estándar así:

### 6.2.1 MODEM

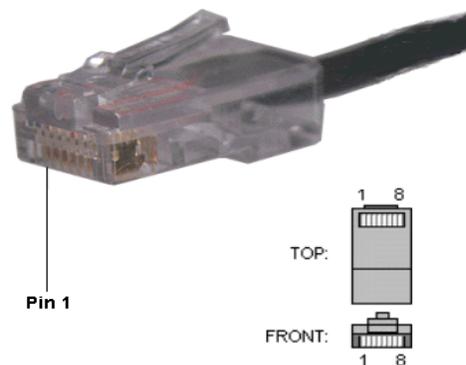
La salida está conectada a un puerto DB-9 hembra, por lo cual requiere para el MODEM un conector macho, la configuración de pines de cada uno se ofrece en la tabla 6.1

Signal Name	Signal Direction	Function	Mapping on J3 (Male)	Signal Name	Signal Direction	Function	Mapping on J2 (Female)
TXD	Output	Transmit data	3	TXD	Output	Transmit data	2
RXD	Input	Receive data	2	RXD	Input	Receive data	3
RTS	Output	Request to send	7	RTS	Output	Request to send	8
CTS	Input	Clear to send	8	CTS	Input	Clear to send	7
DTR	Output	Data terminal ready	4	DTR	Output	Data terminal ready	6
DSR	Input	Data set ready	6	DSR	Input	Data set ready	4
GND	—	Ground	5	GND	—	Ground	5

**TABLA 6.1:** Señales conector DB-9 izquierda: Macho, derecha: Hembra

## 6.2.2 ETHERNET:

El conector más común para este tipo de salidas es el RJ-45, el sistema tiene conector hembra, por lo que la red requiere un conector macho. La asignación de pines en el RJ-45 para ETHERNET es la mostrada en la tabla 6.2 y la figura 6.5 muestra un conector típico de este tipo.



**FIGURA 6.5:** Conector RJ-45

Pin #	Ethernet 10BASE-T 100BASE-TX
1	Transmit +
2	Transmit -
3	Receive +
4	N/A
5	N/A
6	Receive -
7	N/A
8	N/A

**TABLA 6.2:** Señales conector RJ-45

### 6.2.3 RADIOFRECUENCIA

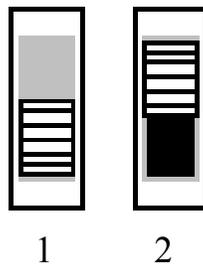
Para la salida de radio frecuencia se dispone de un conector UHF hembra para panel como el mostrado en la figura 6.6, es necesario mencionar que el circuito transmisor está diseñado con un acople de impedancia para una carga de 50 ohmios, por lo que en caso de utilizar un cable coaxial de impedancia diferente debe diseñarse un acoplador de impedancia externo.



**FIGURA 6.6:** Conector UHF hembra

### 6.3 EL INTERRUPTOR

Permite encender el equipo, es decir, habilitar la alimentación, se recomienda conectar las entradas de alimentación antes de activar el interruptor de encendido. La figura 6.7 muestra las posiciones de encendido y apagado para el interruptor.



1

2

**FIGURA 6.7:** Función del interruptor de POWER posición 1=apagado, 2=encendido

### 6.4 ALIMENTACIÓN

Para su funcionamiento el dispositivo requiere de tres voltajes de alimentación como se muestra en la figura 6.3, estas fuentes de alimentación deben ser muy estables, con poco rizado y con un valor de 5V y +/-15V, estas entradas permiten polarizar todos los circuitos integrados internos, incluyendo los amplificadores operacionales, de la fuente de 5V se tomará también el voltaje de referencia para el conversor análogo a digital que posee la MCU.

## 6.5 FUNCIONAMIENTO

La puesta en marcha del equipo es muy sencilla y solo requiere tener los conectores adecuados, la fuente de alimentación, el equipo transmisor y el medio de transmisión.

Los pasos que se deben seguir para la operación del equipo es la siguiente:

1. Conectar los sensores previamente ubicados, de acuerdo con el tipo de salida que presenten.
2. Conectar la fuente de alimentación en las entradas correspondientes, verificando antes que el interruptor se encuentre en posición de apagado.
3. Conectar el/los puerto(s) de comunicaciones que se desee utilizar, según las especificaciones.
4. Configurar el dispositivo periférico utilizado para la comunicación (recuerde que el Modem externo debe ser previamente configurado por el Hyperterminal)
5. Llevar el interruptor a la posición de encendido, verificando en el indicador frontal, su correcto funcionamiento.
6. Establecer la comunicación remota desde la central de monitoreo (recuerde que: en el caso de RF debe enviarse el código ASCII de la R para el reconocimiento en la MCU central, así mismo debe transmitirse la palabra ID adecuada para que el receptor se active. En el caso de MODEM, debe enviarse los comandos AT respectivos para establecer la comunicación. Finalmente en el caso de Ethernet debe cargar la dirección IP adecuada)
7. Espere un momento mientras se adquieren los datos y se realiza la transmisión.
8. La central de monitoreo debe poseer el software de aplicación adecuado para la interpretación de los datos y la presentación en una interfaz agradable al usuario.

Debe recordarse que en caso de establecer una comunicación por red ethernet, debe cargarse primero la dirección IP del dispositivo, esto se hace en la configuración del módulo, cargando el macro UIP\_IPADDR en el archivo uipopt.h con la dirección correspondiente. Para mayor información sobre la configuración consultar [2].

## 6.6 PRECIO

El precio del sistema total esta referenciado de acuerdo en gran parte por los precios establecidos en el año 2004 por la empresa Suconel de Colombia, la tabla 6.3 muestra el listado de dispositivos utilizados con el valor correspondiente.

Elemento	Cantidad	Valor unitario en dólares	Valor total en dólares
Microcontrolador MC68HC908GP32	2	\$14	\$28
LM324	9	\$0.25	\$2.25
Diodo zener 2.5V 1W	2	\$0.1	\$0.2
LM2907	9	\$2	\$18
AD623	3	\$2.5	\$7.5
LM555	3	\$0.25	\$0.75
MC14051B	4	\$0.5	\$2

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario en dólares</b>	<b>Valor total en dólares</b>
74LS125	2	\$0.25	\$0.5
Tarjeta ethernet	1	\$45	\$45
MAX232	1	\$1.6	\$1.6
MC33493	1	\$2	\$2
MC33593	1	\$3	\$3
RF2436	1	\$5	\$5
DIN 41612 hembra	1	\$6.1	\$6.1
Conector DB-9 hembra	1	\$0.4	\$0.4
Conector RJ-45 hembra	1	\$0.4	\$0.4
Conector UHF coaxial hembra	1	\$1.3	\$1.3
Caja en acrílico	1	\$20	\$20
Otros conectores	-	\$5	\$5
Resistencias, condensadores, bobinas, cristales, leds.	-	\$15	\$15
<b>TOTAL</b>			<b>\$164</b>

**TABLA 6.3:** Listado de precios del sistema total

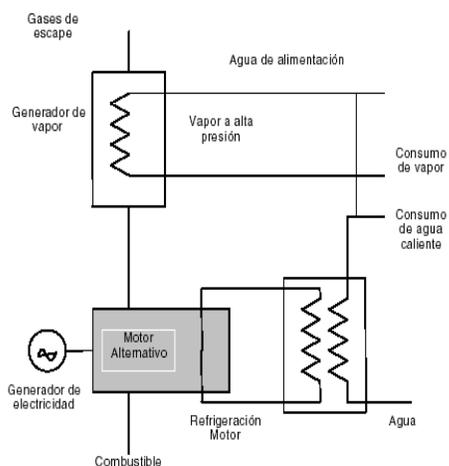
\*El precio de los componentes esta establecido con sus respectivos gastos de envío.

Como se puede notar en la tabla 6.3 el valor total del sistema es muy inferior comparado con los dispositivos listados en la tabla 3.1, además ofrece unas características muy superiores de acuerdo a las aplicaciones que puedan tener lugar.

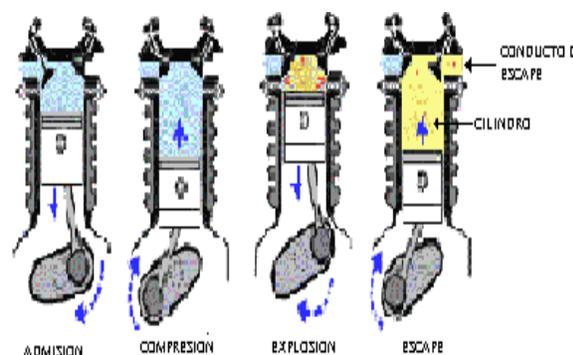
## CAPITULO 7

### APLICACIÓN A PLANTA DE COGENERACION

Ya se tiene completamente determinado como es la estructura del sistema de adquisición de datos, ahora se explicará brevemente como se puede hacer uso de éste. Para ello se pretende realizar el monitoreo de una planta de cogeneración basada en combustión interna (M.A.C.I). En el capítulo 1 se presentó el funcionamiento de una central eléctrica en general, así como una breve discusión sobre cada planta, incluida la central de combustión interna. La figura 7.1 presenta el esquema básico de funcionamiento, y la figura 7.2 el funcionamiento de los cilindros en cada una de las carreras.



**FIGURA 7.1:** Central con motor alternativo de combustión interna



**FIGURA 7.2:** Estado del cilindro en cada una de las carreras del M.A.C.I.

La figura 7.3 muestra un esquema del aspecto físico común:



**FIGURA 7.3:** Fotografía de un M.A.C.I. tomado de diapositivas del curso 2003-04 de Tecnología Energética de Universidad de Navarra

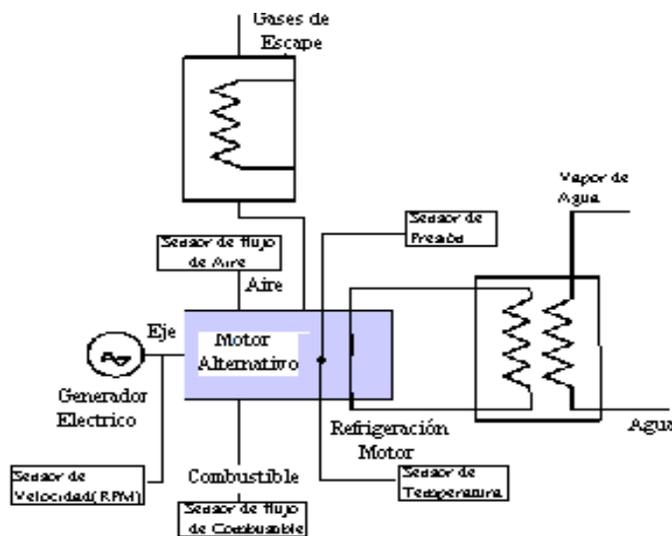
Puesto que la etapa de adquisición de datos ha sido suficientemente explicada en los capítulos previos, la parte que se torna de vital importancia en el diseño es la selección de los sensores. Como ya se mencionó, las variables de interés para los sistemas de cogeneración con M.A.C.I son principalmente las mostradas en la tabla 7.1.

<b>COMBUSTIÓN INTERNA</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>VALOR MÁS COMUN</b>
	temperatura mezcla	Cámara combustión	500 °C
	Presión mezcla	Cámara combustión	500 bares
	nivel combustible	Tanque de reserva	1-10 m
	Flujo aire	Entrada a cámara de combustión	5 m/s
	flujo combustible(gas)	Entrada a cámara de combustión	5 m/s

**TABLA 7.1:** Principales variables de la planta de combustión interna

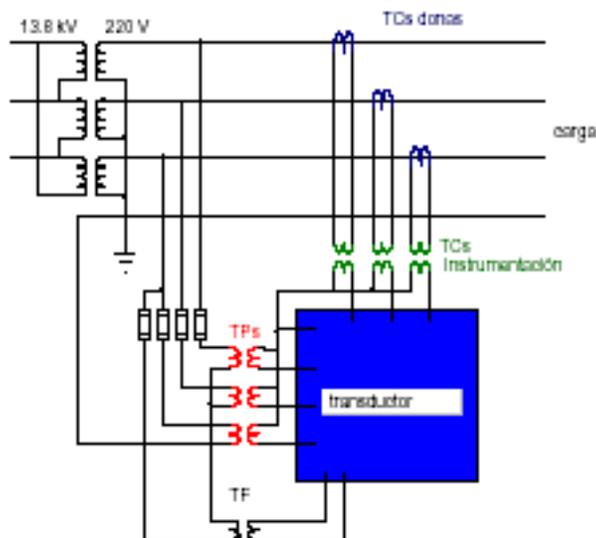
Además de las variables de interés de todo sistema de generación, las cuales son: Voltaje en las fases, Corriente en las fases, Corriente en el neutro, velocidad de la turbina, frecuencia de fases.

La figura 7.4 muestra la ubicación de los sensores en el sistema global, las medidas de flujo de aire y combustible que se realizan en la entrada de la cámara de combustión permiten determinar la ausencia ó deficiencia de alguno de los dos componentes que intervienen en la reacción química en el cilindro que produce las condiciones de alta temperatura y alta presión, una vez obtenidas estas dos condiciones se supervisan para garantizar que están en los valores adecuados. La medida de nivel de combustible se realiza para garantizar el correcto funcionamiento del sistema por el tiempo requerido.



**FIGURA 7.4:** Ubicación de sensores en el M.A.C.I

Se puede ver en la figura 7.4 que los sensores de temperatura y presión son ubicados en el cilindro y los de flujo en los tubos de conducción de admisión para el combustible y el aire. La velocidad de la turbina se monitorea en el eje del generador, el nivel de combustible es sentido en el tanque que normalmente se encuentra en el exterior del motor, las variables eléctricas se pueden supervisar gracias al uso de transformadores, en la figura 7.5 se puede ver más fácilmente las conexiones que permiten desarrollar dicho monitoreo.



**FIGURA 7.5:** Proceso de acondicionamiento de señales eléctricas

Los transformadores de corriente o donas, permiten llevar los valores de las corrientes de las fases, las cuales pueden variar de 400 A para una subestación de 150 KVA a 2600 A para una de 1000 KVA. Estos niveles de corriente no se pueden manejar en equipo de monitoreo por lo que es necesario utilizar transformadores de corriente. Los transformadores de instrumentación tienen la función de reducir las corrientes y los voltajes a niveles apropiados para los circuitos electrónicos utilizados en la adquisición de datos. Ya se conoce la ubicación de los sensores en la planta, se hace necesario determinar cual sensor utilizar según las características requeridas.

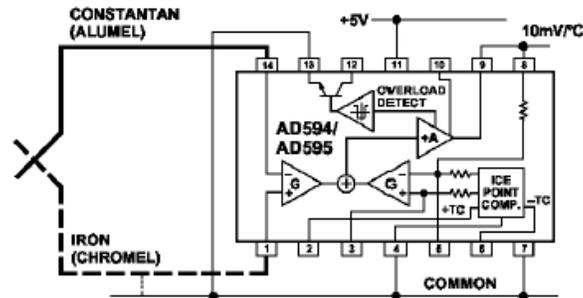
## 7.1 SENSOR DE TEMPERATURA

El rango de temperatura que se maneja en el motor de combustión interna es aproximadamente 500°C, en el mercado existen algunos sensores para estos rangos de temperatura, los cuales poseen en su salida alguno de los formatos preestablecidos para la tarjeta, por ejemplo podemos mencionar el TMA H6425 de la empresa Kobold, el cual es un termómetro con resistencia de inserción que posee una salida entre 4 y 20 mA para un rango de temperatura entre 0°C y 600°C. La hoja de datos puede ser hallada en el CD anexo en la carpeta *SENSORES/temperatura*. Sin embargo, alguien puede considerar que es mejor opción utilizar un termopar tipo J, cuyas características se muestran en la tabla 7.2:

Material de la unión	Rango típico(°C)	Sensibilidad(μV/°C)	Designación
Hierro – Constantan	0 a 760	55	J

**TABLA 7.2:** Especificaciones termopar tipo J

Puesto que el sistema de adquisición no posee entrada para termopares y la respuesta de estos dispositivos es muy pequeña y fuera del rango de cualquier entrada, se hace necesario utilizar acondicionadores de señal previo a la tarjeta, se plantea el AD594 que se muestra en la figura 7.6, de *Analog Devices*, el cual es un acondicionador para termopares tipo J que tiene un amplificador de instrumentación y un compensador lineal, una salida de alarma de rotura o desconexión del termopar, se alimenta a +5V y suministra una salida de 10mV/°C.

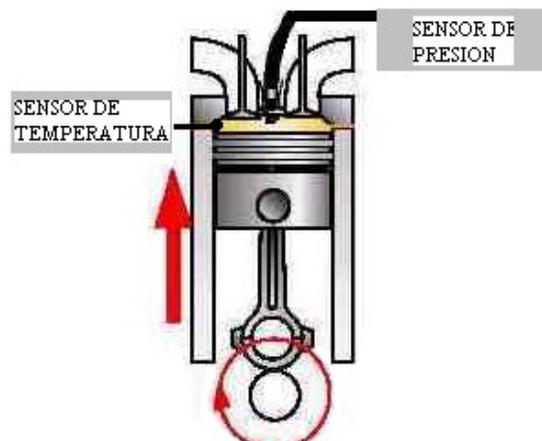


**FIGURA 7.6:** Acondicionador de señal AD594 para termopares tipo J

Así, la señal de salida se encuentra en un formato disponible en nuestro sistema el cual es una entrada analógica entre 0V y 5V.

## 7.2 SENSOR DE PRESION

La presión de compresión se conoce simplemente como compresión y consiste en el nivel de presurización que la mezcla aire-combustible alcanza al ser confinada por el pistón en la cámara de combustión, la presión de compresión es un factor cambiante dependiente del tipo de motor y de su tamaño. Con el fin de no perder generalidad, se considera que esta presión puede llegar hasta 500 bares (rango que consideramos muy superior), en el mercado existe una gran cantidad de sensores para éste y muchos otros rangos, cuya señal de salida se encuentra en un formato disponible en la tarjeta, en el archivo *SENSORES/presión* del CD anexo se encuentra una buena diversidad de sensores, cabe mencionar que el sensor además de cumplir con los requerimientos de rango de presión, debe soportar temperaturas altas, por lo que requiere de un diseño especial, podemos mencionar por ejemplo: Extreme - KD-1911 de la empresa *Kaman Instrumentation Operations*, el cual posee un rango de medición entre 5.00 y 5000 psi, además soporta temperaturas entre -100 y 1000°F, este sensor ofrece una salida de voltaje analógico o frecuencia, ambas disponibles en la tarjeta diseñada; el AutoPSI-S2000 de la empresa *OPTRAND*, rango de presión 0-2000 bar y temperatura de 0-300°C, señal de salida entre 0.5 - 5V. Según lo visto, dichos sensores no requieren acondicionamiento de señal previo a las entradas de la tarjeta. Los sensores de presión y temperatura se encuentran ubicados estratégicamente como se muestra en la figura 7.7, de tal forma que al realizarse la compresión sea posible realizar la medición.



**FIGURA 7.7:** Ubicación de sensores de presión y temperatura en el cilindro

### 7.3 SENSOR DE FLUJO DE COMBUSTIBLE

En los Motores de combustión interna se tiene la ventaja de utilizar motor DIESEL, por lo que el combustible es menos inflamable que los hidrocarburos comunes. El sistema de bombeo de combustible de un M.A.C.I. consta de un depósito, una bomba de combustible y un dispositivo que vaporiza o atomiza el combustible líquido. La idea es sensar el combustible líquido después de la bomba. Como en los anteriores casos existen sensores que permiten convertir la cantidad de flujo de combustible en valores disponibles en las entradas de nuestro sistema, se puede citar: flow-captor tipo 4114.30/4115.30 construido por *WEBER*, este dispositivo permite sensar flujos hasta 200 cm/s de líquidos, suministrando una salida entre 4 - 20mA proporcional al flujo. En el archivo *SENSORES / flujo* del CD anexo existen otros dispositivos para medir flujo de líquidos que no son muy atractivos para esta aplicación debido a las técnicas de medición utilizadas, sin embargo en el mercado hay una gran cantidad de transductores disponibles.

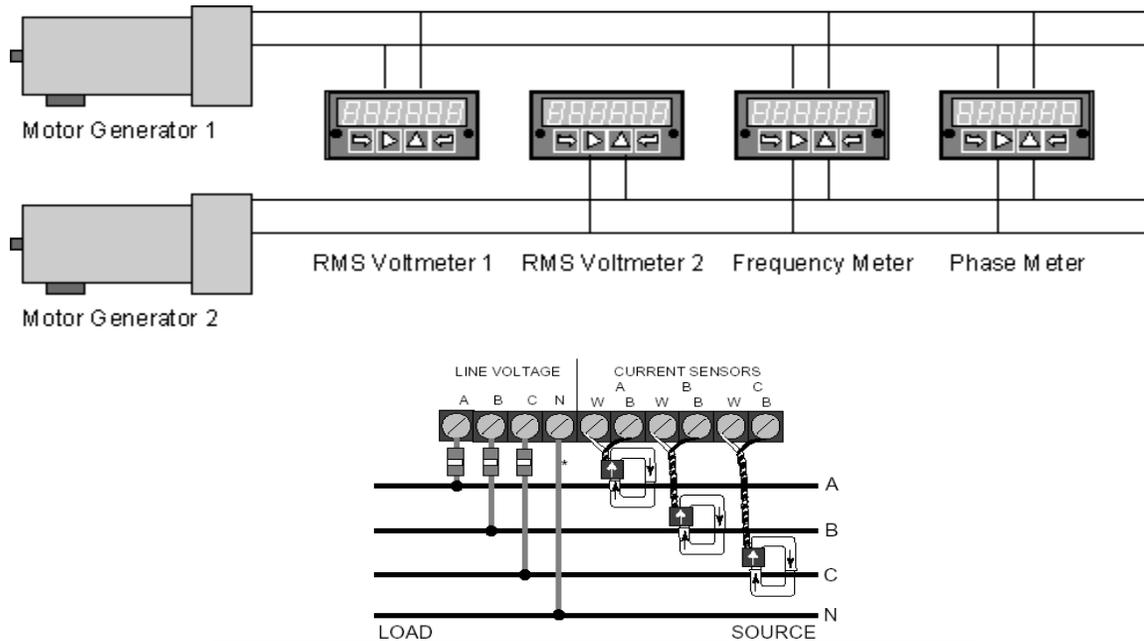
### 7.4 SENSOR DE FLUJO DE AIRE

El aire juega un papel importante en el proceso de combustión, es por tal motivo que se requiere conservar una correcta proporción aire / combustible, por lo que se hace necesario sensar el flujo de aire que se dirige a través del colector hacia el cilindro. Dicha función puede ser realizada por diversos transductores de flujo, como ejemplo proponemos el controlador de flujo de aire LN520GA/LG518GA de *EGE-Elektronik*, que permite sensar el rango de 0.5 – 15m/s suministrando una salida de 4 – 20mA.

### 7.5 SENSORES DE VARIABLES ELECTRICAS

El método empleado para el monitoreo de corriente, voltaje y frecuencia es el esquematizado en la figura 7.5 mostrado anteriormente, para la realización de ello se puede utilizar los transformadores de instrumentación requeridos, suministrado por algún productor local (estos dispositivos depende de la capacidad de producción de la central), de tal forma que la corriente sea llevada a valores apropiados para los sensores, en el mercado encontramos variados sensores, que se puede utilizar, por ejemplo para corriente, el CR4320/4340 de la empresa *CR Magnetics Inc*, estos sensores brindan una salida de corriente de 4 - 20mA para una corriente de entrada de 5 – 400/600A respectivamente, así mismo para voltaje el CR473 de la misma empresa que suministra una salida de 4 – 20mA para una entrada de voltaje de hasta 600VAC, los catálogos y especificaciones de éstos y otros sensores de corriente y voltaje se encuentran en la carpeta *SENSORES / corriente* y *SENSORES / voltaje* respectivamente. La conversión de voltaje para la entrada de frecuencia que posee el presente diseño, debe ser tal que el secundario del transformador de instrumentación(entrada a la tarjeta) se encuentre entre el rango de 0 a 5VAC ó –5 a 5VAC. En toda central eléctrica es necesario conocer como es el comportamiento de cada uno de los tipos de potencia con el fin de saber cuanta de esta potencia es realmente aprovechada y tomar las acciones correctivas necesarias, en el mercado existen algunos dispositivos que determinan el valor de dichas potencias y los transducen a valores eléctricos como los disponibles en las entradas del sistema diseñado(0–5V, 0–10V, 4–20mA, entre otros), sin embargo, un método más común y más abierto para diferentes aplicaciones es sensar y transmitir la fase, para luego mediante cálculos matemáticos sencillos determinar cada una

de las potencias. En la carpeta *SENSORES/fase* del CD anexo se hallan algunos sensores y medidores disponibles, para la aplicación aquí planteada se selecciona el Laureate™ Phase Angle Meter suministrado por la empresa *LAUREL electronics inc*, el cual posee un módulo que suministra salida entre 4 – 20mA ó 0 – 10V ambos formatos compatibles con el sistema diseñado. La figura 7.8 muestra el esquema de conexión de las entradas del sensor, todas las señales son tomadas después de los transformadores de instrumentación para que los valores sean adecuados para las entradas del medidor.



**FIGURA 7.8:** Diagrama de conexión para los sensores de fase

## 7.6 SENSOR DE NIVEL

Es uno de los dispositivos cuya selección requiere más cuidado, debido a que el transductor tiene presencia continua de un líquido inflamable, por lo que la seguridad se convierte en un factor determinante. El rango de medida al que debe responder el sensor se encuentra entre 1m – 10m el cual es un rango típico de medida de muchos sensores comerciales, teniendo en cuenta estas características se encuentran sensores de nivel con contacto como el T/LL100 o Fuel Level Sensor de la empresa *Kavlico* y sin contacto como el The Probe (sensor de ultrasonido) o el SITRANS LR 200(sensor de radar) ambos de la empresa Siemens.

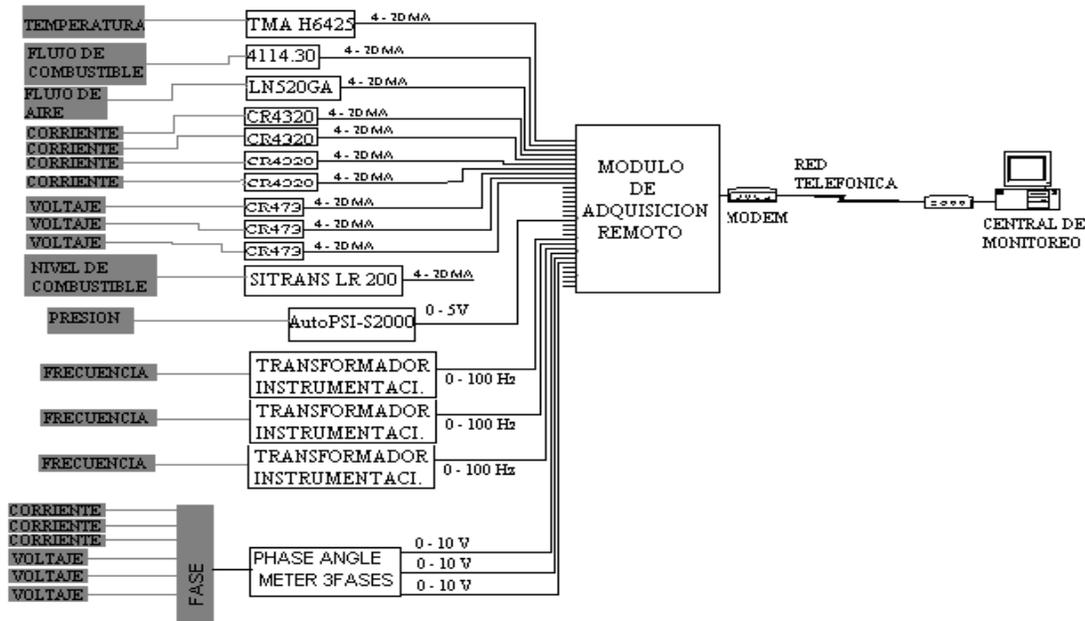
Todos los sensores mencionados para nivel entregan una salida compatible con alguna entrada de nuestro sistema de adquisición por lo que no requiere acondicionamiento, para la presente aplicación se selecciona el sensor SITRANS LR 200 de la empresa Siemens, teniendo en cuenta que el ACPM(combustible del M.A.C.I.) posee una constante dieléctrica mayor de tres( $\epsilon > 3$ ) requerido para la reflexión de las Ondas Electromagnéticas(OEM), este dispositivo entrega una salida entre 4 – 20mA proporcional al nivel. La figura 7.9 muestra la ubicación del sensor de nivel en el deposito de combustible.



**FIGURA 7.9:** ubicación del sensor de nivel en el depósito

## 7.7 COMUNICACIÓN

Para la presente aplicación vamos a suponer que la comunicación se realiza a través de MODEM mediante la red telefónica pública conmutada, en la figura 7.10 se muestra un diagrama final de conexiones de todo el sistema. Cuando la central de monitoreo realice la petición de datos, la tarjeta mediante los procedimientos ya explicados en los capítulos anteriores adquirirá el valor de todas las variables y las transmitirá, el programa del microcontrolador se puede alterar de tal forma que solo adquiera y transmita los valores en las entradas utilizadas esto puede realizarse fácilmente seleccionando en el multiplexor las entradas correspondientes y leyendo solo los canales del ADC respectivos, si esto se realiza, la trama de datos consistirá únicamente en 18 Bytes. El procesador de la central de monitoreo debe establecer la comunicación y la petición de datos, además debe contar con algún software de aplicación que permita al usuario visualizar y comprender los datos transmitidos, sin embargo, esta discusión se encuentra fuera del alcance de este proyecto.



**FIGURA 7.10:** Esquema final del sistema de adquisición de datos para central eléctrica con motor alternativo de combustión interna.

## CONCLUSIONES

- El sistema diseñado posee entradas compatibles con los valores de salida que tienen mayor tendencia en los fabricantes de sensores para los diversos tipos de variables de interés, a continuación se nombran las principales salidas encontradas:

4 – 20 mA	37.8%
0 – 5 V	19.2%
0 – 10 V	16.0%
Frecuencia	12.0%
Otros	15.0%

- Puesto que el sistema posee una capacidad de 32 variables de entrada en diversos formatos, éste brinda la posibilidad de supervisar las variables de mayor interés aún para la planta de mayor complejidad estructural (ciclo combinado).
- Según los estudios realizados se puede afirmar que los PLC son dispositivos con muy buen comportamiento en el momento de realizar funciones de control en la planta, pero son una alternativa complicada y costosa para cumplir con funciones de monitoreo. Así mismo se ve que para estas alternativas es más cómodo utilizar microcontroladores o sistemas embebidos.
- Se especificaron en forma detallada los módulos de adquisición de datos que permiten realizar la conversión de las señales de entradas a los niveles requeridos por el sistema de adquisición, en este caso el microcontrolador MC68HC908GP32.
- Como opciones de comunicación se brinda:
  - Un módulo de transmisión de datos en radiofrecuencia de bajo costo, para frecuencias de 868 o 434 MHz (seleccionable), con tipo de modulación OOK ó FSK seleccionable, frecuencias no licenciadas y disponibles para aplicaciones médicas, industriales ó caseras. Se usó un dispositivo compatible con el módulo de adquisición, comunicados a través del puerto serial.
  - Para ETHERNET se realizó un script para la tarjeta de comunicación uNET [10], dando continuidad al desarrollo hecho en este trabajo de grado.
  - Una interfaz DB-9 para la comunicación a través del MODEM, la cual resultó ser muy sencilla gracias a que el sistema opera en forma remota y la comunicación es establecida por el MODEM local. Esta comunicación se realiza en el mismo módulo de adquisición.
  - El sistema presenta interfaz de comunicación de datos estándar para los tres esquemas propuestos, con conectores comerciales de fácil consecución y se especifica detalladamente el tipo de conectores con sus conexiones correspondientes.
- La aplicación desarrollada muestra en forma clara la capacidad del sistema diseñado para el monitoreo, no solo de plantas eléctricas, sino además de cualquier aplicación que requiera supervisión remota cuyos sensores se encuentren en los rangos manejados por las entradas del sistema.

- El sistema de adquisición de datos puede ser aplicado a las plantas de generación alternativas que posee la empresa de Telecomunicaciones de Colombia Regional Quindío, para la supervisión de nivel de combustible y potencia eléctrica generada cuando el sistema de generación central a cargo de la EDEQ tiene un corte en el suministro.
- Puesto que la MCU central se encuentra poco saturada, el sistema puede ser utilizado para aplicaciones de control si se realizan las modificaciones adecuadas.
- El material obtenido en la realización del presente trabajo puede ser fácilmente adaptado y complementado de tal forma que sirva como nota de aplicación para ciertas asignaturas del programa de ingeniería electrónica de la Universidad del Quindío como son: Electrotecnia, instrumentación, comunicaciones, telemática y otras que se consideren convenientes.

## AMPLIACIONES FUTURAS

Puesto que el sistema tiene un diseño abierto, existen varias posibilidades de ampliación tanto de cobertura, como de capacidad de procesamiento, a continuación se plantean algunos de los proyectos posibles. La implementación es posible gracias a la poca congestión que posee el microcontrolador central.

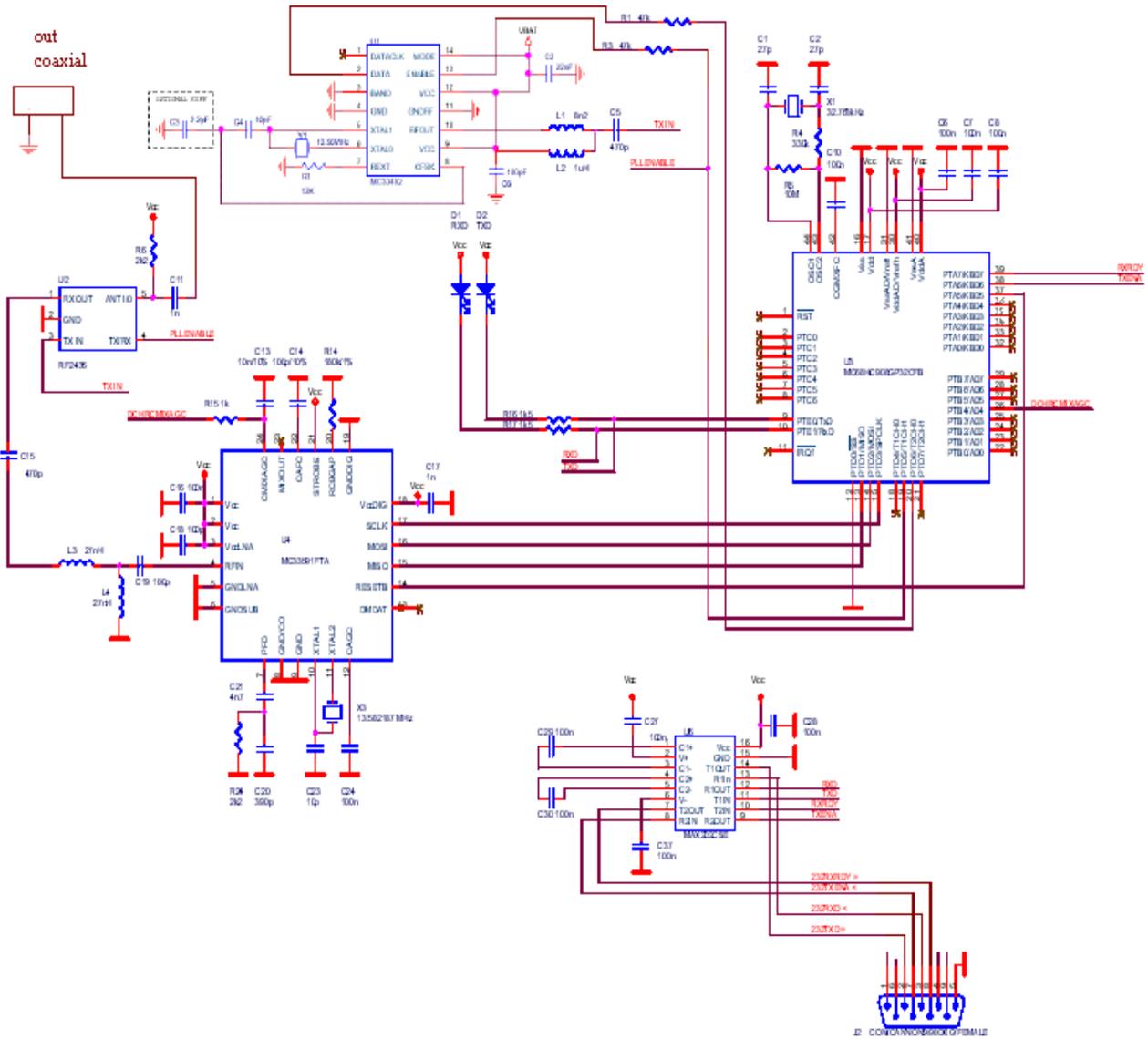
- ❖ Implementación de protocolos para comunicaciones industriales bajo estándares de supervisión y control SCADA sobre la plataforma de adquisición de datos diseñado.
- ❖ Implementación de funciones de control ON/OFF y telemando para el sistema diseñado.
- ❖ Implementación de funciones de control digital (PID/PD/PI) para las plantas en el sistema de adquisición diseñado.
- ❖ Ampliación de la capacidad de supervisión del sistema diseñado para cierta aplicación específica, el sistema actual posee 16 canales de entrada (dual para entrada y tierra) adicionales no conectados, cuatro canales de conversión A/D libres y varios pines de entrada/salida no utilizados, por lo que fácilmente puede ampliar su capacidad de entradas, solo requiere modificar o adaptar el programa para la cantidad de variables requeridos.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Unidad de Planeación Minero Energética(UPME): [www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co)
- [2] Página sobre Centrales electricas de Rafael Alejo García-Mauricio  
<http://thales.cica.es.html>
- [3] Documento en formato PDF llamado hidráulicas.pdf, disponible en la red, publicado por el departamento de ingeniería industrial de la universidad de Castilla-La Mancha.
- [4] Motorola, Inc. — <http://www.motorola.com/semiconductors/>
- [5] Documento en formato PDF llamado Amplificadores con realimentación de corriente de Sergio del Castillo Molina disponible en la dirección:  
[www.redeya.com/electronica/tutoriales/PDF/amplif.pdf](http://www.redeya.com/electronica/tutoriales/PDF/amplif.pdf)
- [6] Notas de aplicación OA-07 de National Semiconductor: Curren-feedback op amp. Applications circuit guide.1
- [7] CD ROM: *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook CRCnetBase 1999*. De la base de datos CRC.
- [8] CD ROM: *The RF and Microwave Handbook* de la base de datos del CRC.
- [9] Curso de comandos del modem en la red:  
<http://www.infase.es/FORMACION/CURSOMODEM/cinco11.html>
- [10] Riascos Fredy H., Conexión de microcontroladores a redes Ethernet, 2004.
- [11] *IEEE Micro Magazine*, “A Tutorial on CRC Computations” publicado en agosto, 1988.

# ANEXOS

## ANEXO A MODULO RF CIRCUITO



**FIGURA A.1:** Diagrama circuital del módulo de radiofrecuencia



Además de las líneas de datos, direcciones y control mostradas en el esquema del circuito del RTL8019AS mostrado anteriormente y agrupadas en el conector el circuito integrado utiliza otras señales para seleccionar el modo de operación, la configuración de los leds indicadores, alimentación y la interfaz con el par trenzado. En la tabla 1.2.0 se hace un resumen de las señales necesarias para poner en marcha el dispositivo

Pin N°	Nombre	Tipo	Descripción
36-43	SD0 –SD7	E/S	<b>Bus de Datos.</b> 8 líneas de datos
5, 7-10	SA0-SA4	Entrada	<b>Bus de Direcciones:</b> El Controlador se configura a través de 4 paginas de registros seleccionadas a través del registro 00h en cada pagina. Las paginas cuentan con un máximo de 16 registros I/O. Además hay otros dos registros que deben ser direccionados. Por tanto son suficientes 5 líneas de dirección para acceder a todos los registros NE2000 compatible del RTL8019AS. Ver tabla 1.3.0
4	INT0	Salida	<b>Bus de Control:</b> El dispositivo tiene 7 líneas de interrupciones, aquí solo se utilizara INT0. Esta Línea se pone en alto cuando una interrupción ocurre y en estado lógico bajo en ausencia de interrupción también puede configurarse para que este en estado de alta impedancia. (Ver [2] pag. 19).
29	IORB	Entrada	<b>Bus de Control:</b> Línea para operaciones de lectura.
30	IOWR	Entrada	<b>Bus de Control:</b> Línea para operaciones de escritura.
33	RSTDRV	Entrada	<b>Bus de Control:</b> Línea activa alta. Para poder que el RTL8019AS sea reiniciado correctamente, las señales ser pulsos mayores a 800ns, los pulsos menores a este tiempo serán ignorados.
45 46	TPOUT+ TPOUT-	Salida	Este par de señales transmiten la señal de salida, se conectan directamente a u transformador de aislamiento según la convención de punto.
59 58	TPIN + TPIN -	Entrada	Reciben la señal de entrada procedente del par trenzado se conectan directamente a un transformador de aislamiento según la convención de punto.
66 65	PNP JP	Entradas	Estos pines están conectados a resistencias de pull down. Quedando en estado lógico bajo si se dejan las patas libres. Para poner en alto se coloca resistencias de pull-up de 10K. Estas señales son probadas por RTL8019AS cuando el dispositivo es alimentado o es reiniciado. Dependiendo del estado de estas señales, el controlador iniciara en modo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumper</li> <li>• Jumperless</li> <li>• Plug and Play.</li> </ul> Ver sección modo de configuración
64	AUI	Entrada	Esta señal debe ponerse a tierra indicando que se utilizara una interfase no AUI
63 62	LED2 LED1	Salida	Salidas para los leds indicadores configurable en el registro CONFIG3 (ver [2])
50	X1	Entrada	Conectar a un cristal de 20Mhz o a un oscilador externo
51	X2	Salida	Señal de retroalimentación del cristal. Solo debe utilizarse s, en X1 se conecta un cristal.
6,17,47,57, 70,89	VDD	-	Señal de alimentación +5V.
14,28,44,52, 83,86	GND	-	Tierra

**Tabla A.1:** Descripción pines controlador de red