



## FACULTAD DE INGENIERÍA

“PROTOTIPO DE SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y OPCIONES DE  
TRANSMISIÓN PARA EL EXPERIMENTO DE DETECCIÓN DE CÁMARAS  
OCULTAS EN LA PIRÁMIDE DEL SOL EN TEOTIHUACAN”

### Proyecto de

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO  
P R E S E N T A:

ARRIETA GONZÁLEZ EMILIO

DIRECTOR DE TESIS  
Dr. Arturo Menchaca Rocha



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Más allá de descubrir sus hermosas piezas cerámicas y sus majestuosos edificios, los arqueólogos han buscado explicar y entender a la sociedad que vivió en Teotihuacan ¿Quiénes eran sus pobladores?, ¿De donde venían?, ¿Qué lengua hablaban?, ¿Cuál era su forma de gobierno? Éstas son algunas de las preguntas que en la actualidad conducen las investigaciones interdisciplinarias en Arqueología.

A mis padres por su apoyo incondicional

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería y del Instituto de Física de la UNAM

A mi novia Mariana por su cariño, paciencia y apoyo

## INDICE

-	<b>Resumen</b>	
-	<b>I. Introducción.....</b>	<b>2</b>
-	<b>II. Marco Teórico.....</b>	<b>5</b>
	Fundamentos de adquisición de datos	
	Conversión básica de señales	
	Señales analógicas	
	Teorema del muestreo-Criterio de Nyquist.	
	Acondicionamiento de la señal	
	Filtrado y Ruido	
	Linealización	
	 Transductores	
	Temperatura	
	Sensores de temperatura de CI	
	Otros dispositivos	
	Tasa o Razón de flujo	
	Flujómetros térmicos	
	Otros	
	Conversión Analógica- Digital ADC	
	Muestreo	
	Cuantización	
	Tipos de convertidores A/D	
	ADC de Aproximaciones Sucesivas	
	Características del convertidor A/D	
	Otros métodos de conversión A/D	
	 -III <b>Adquisición de datos.....</b>	<b>33</b>
	Análisis de necesidades	
	Descripción del Área de trabajo	
	Elección de transductores-sensores	
	Calibración	
	Análisis y desarrollo	
	Tarjeta de adquisición de Datos	
	Adquisición de datos en LABVIEW	
	Diseño del Sistema Prototipo de Adquisición de Datos	
	Implementación del Sistema Prototipo de Adquisición de Datos	
	Resumen y conclusiones.....	<b>76</b>

<b>-IV</b>	<b>Transmisión de Datos.....</b>	<b>102</b>
	Opciones de transmisión de los datos	
	Diseño	
	Implementación	
	Análisis de funcionamiento y causas de las fallas	
	Comunicación de datos vía GSM-GPRS	
	Comunicación de datos vía Banda Ancha Satelital	
	Generalidades del nuevo método y principio de operación	
	Puesta en marcha	
	Resumen y conclusiones.....	118
<b>V</b>	<b>Conclusiones</b>	
<b>VI</b>	<b>Bibliografía</b>	

## **RESUMEN**

El problema a resolver en esta tesis es la lectura remota e interpretación de diferentes variables físicas de un experimento instalado en la parte inferior de la Pirámide del Sol en Teotihuacan, Estado de México, desde un laboratorio situado en el Instituto de Física de la UNAM, en Ciudad Universitaria.

Estas variables físicas servirán para tener información de las condiciones en que se está llevando a cabo el experimento de detección del flujo de partículas subatómicas (muones) provenientes de la atmósfera. Con ello se desea identificar la existencia de posibles cámaras o espacios vacíos dentro del cuerpo de la misma pirámide.

Este experimento resulta ser de gran interés para la comunidad científica nacional e internacional, así como para el público en general, ya que esta incógnita ha sido planteada desde hace mucho tiempo.

Para resolver este enigma se han propuesto diferentes técnicas, pero ninguna se considera será tan contundente como la empleada en esta ocasión, debido a la tecnología de punta a nivel internacional con que se cuenta en la actualidad y en la que se es pionero en la UNAM.

Este experimento es llevado a cabo en conjunto por un equipo de científicos del Instituto de Física, quienes se encontraron con la necesidad de contar con la ayuda de alguien con conocimientos de ingeniería para resolver los problemas surgidos de comunicaciones y adquisición de datos dando origen a esta tesis.

## INTRODUCCIÓN

En 1969 se llevó a cabo en Egipto un experimento destinado a buscar posibles cámaras o espacios vacíos en el cuerpo de la Pirámide de Kefrén, a través de una técnica desarrollada por el Premio Nobel Luis Álvarez, la cuál consiste en la detección del flujo de muones (partículas de masa intermedia entre el protón y el electrón) atmosféricos. Estos experimentos no difieren mucho de los obtenidos de una radiografía industrial, es decir medidas de variaciones en la densidad del medio.

La parte medular del experimento, y lo referente a las técnicas utilizadas para lograr estos objetivos, se salen de los alcances y pretensiones de éste trabajo. Pero cabe mencionar que está a cargo de un grupo interdisciplinario de investigadores y científicos principalmente Físicos del propio Instituto de Física y es objeto de investigación y materia de otros trabajos de Tesis tanto de licenciatura como de maestría y doctorado.

De este grupo surge la necesidad de contar con varios individuos con la formación en ingeniería necesaria.

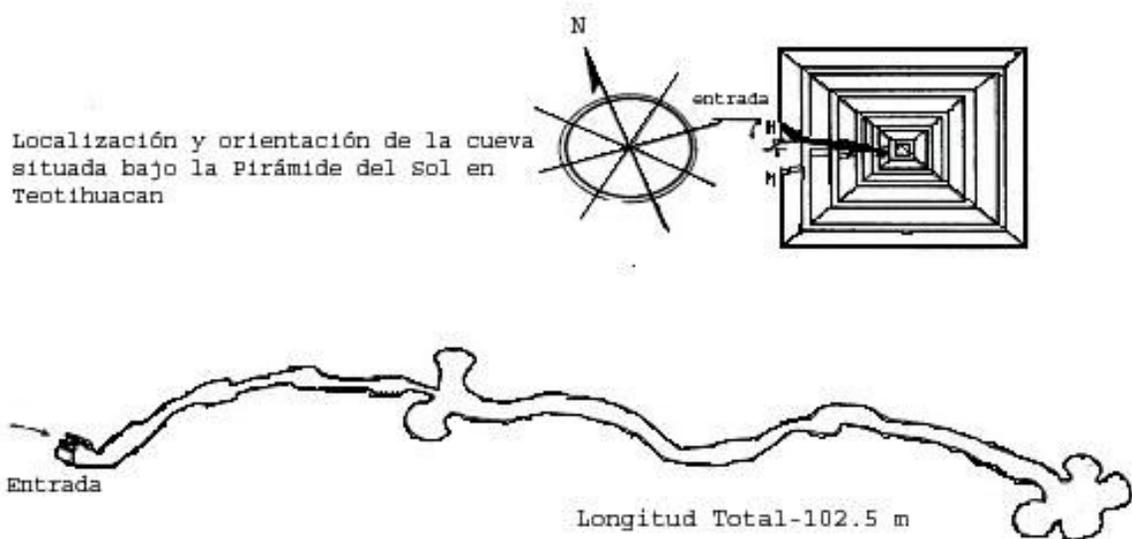


Figura 1.1

El problema es la accesibilidad a los datos obtenidos en el lugar del experimento, ya que es imposible permanecer largos periodos de tiempo en la cueva bajo la Pirámide del Sol, pues se trata de una cueva de origen natural, que posee una gran humedad relativa y poca ventilación.

El poder contar con un monitoreo remoto y en tiempo real facilitará el análisis de los datos obtenidos desde un laboratorio acondicionado adecuadamente en las instalaciones del Instituto de Física en Ciudad Universitaria.

Este tipo de problema de telemetría se ha presentado en otras ocasiones y en diversos contextos pero en esta ocasión, se trata de un lugar donde no existe infraestructura de telecomunicaciones adecuadas y este es el principal punto a resolver.

Concretamente se requirió diseñar un sistema de adquisición remoto de datos, que nos permitirá conocer el estado de las diferentes variables físicas que podrían en un momento dado afectar el funcionamiento correcto del experimento, como por ejemplo la temperatura, la presión atmosférica, la humedad relativa, la concentración de algunos gases necesarios para el mismo experimento y otras más suficientes para darnos una idea general de las condiciones globales en las que se está desarrollando el experimento.

Para esta etapa se desarrolló un sistema basado en la paquetería de programación y control desarrollado por LabView de National Instruments, capaz de realizar el control y monitoreo de diferentes señales ya sean analógicas o digitales y en caso de ser necesario realizar la transformación a analógico o digital según sea el caso.

Éste desarrollo incluyó desde la decisión de qué tipo de sistema se necesitaba, dadas las características del experimento para entonces poder decidir qué tipo de tarjetas de adquisición de datos eran necesarias. En principio se sabía que deberían ser compatibles cien por ciento con el lenguaje utilizado de programación, así como con los transductores utilizados, su caracterización, calibración y puesta en funcionamiento en conjunto.

Se ha escogido LabVIEW, debido a que es el mismo que se utiliza en otras etapas del experimento, además de que tiene una gran facilidad para la interconexión con el hardware así como la amigabilidad para desarrollar todo tipo de aplicaciones rápidamente.

Las lecturas se muestran en los indicadores de la interfaz gráfica y se van almacenando para la documentación en un archivo de formato de texto. También se van comparando con un valor límite para cada variable 'set point' para en caso de que la lectura sobrepase los requerimientos se alerte al operador.

La transmisión de los datos hacia la PC se realizó por medio del protocolo TCP/IP y dependiendo de los parámetros presentes se realizarán los ajustes para mantener los requerimientos necesarios.

---

**MARCO TEÓRICO**Fundamentos de adquisición de datos

## Conversión Básica de Señales

La información que obtenemos del mundo físico o real deberá ser convertida en una forma tal que pueda ser procesada por una computadora. Para este fin debemos tomar en cuenta conceptos básicos relacionados con el tratamiento y transformación de la señal analógica, en una señal digital. Ya que las computadoras utilizan lenguajes de código binario debemos prestar especial atención al estudio de los más comunes códigos binarios, así como los conceptos básicos de Teoría del Muestreo que nos servirá como inicio para lo que será el estudio del convertidor Analógico-Digital, ADC, y posteriormente poder conectarlo al computador para su tratamiento digital.

Con el término “Adquisición de Datos” nos referimos a la recolección de información de sistemas que, trabajan en “Tiempo Real”, y se caracterizan por su habilidad para adquirir datos o para realizar una tarea de control dentro de una ventana de tiempo aceptable. La duración de esta ventana de tiempo dependerá del tiempo de respuesta del sistema.

El Hardware utilizado para la adquisición de datos lo llamamos “SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS”, estos sistemas funcionan como una interfaz entre el mundo real con sus parámetros físicos reales, que son análogos y el mundo de las señales digitales de las computadoras.

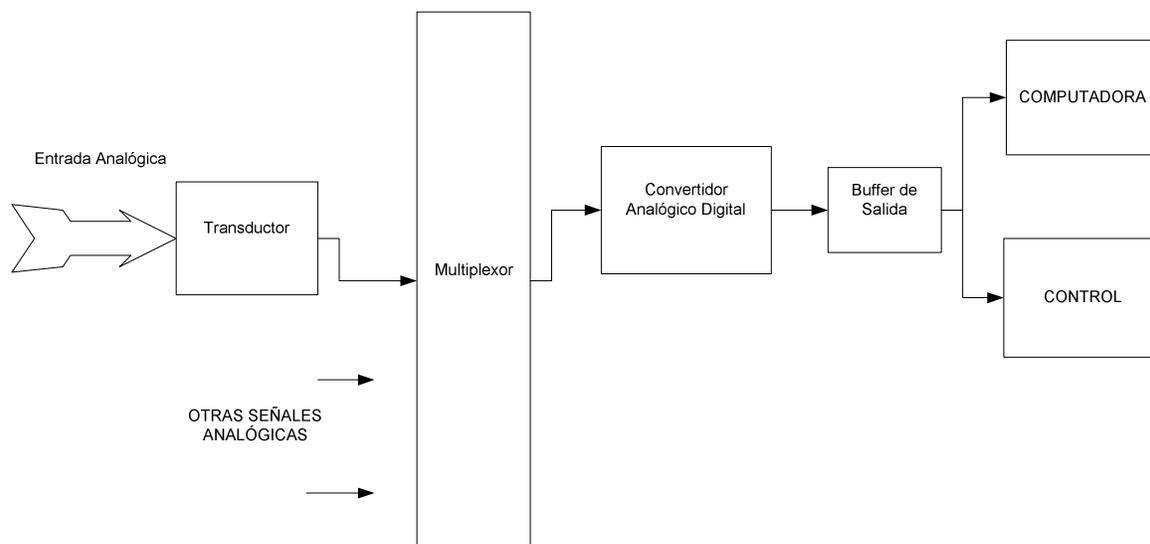


Figura 2.1

Actualmente ingenieros y científicos utilizan computadoras con diferentes estándares de conexión tales como PCI, PXI, PCMCIA, USB, IEEE1394 ISA Paralelo o Serial, para la adquisición de datos, ya sea en laboratorios de investigación, o en automatización industrial.

Para cualquiera que sea el caso se puede llamar como un estándar al llamado PC-DAQ, (Personal Computer Data Acquisition System), o Sistema de Adquisición de Datos basado en Computadora Personal, al que nos podemos referir simplemente como Sistema DAQ, que está formado de los elementos básicos siguientes :

- PC
- Transductores
- Acondicionadores de señal
- Hardware DAQ
- Software

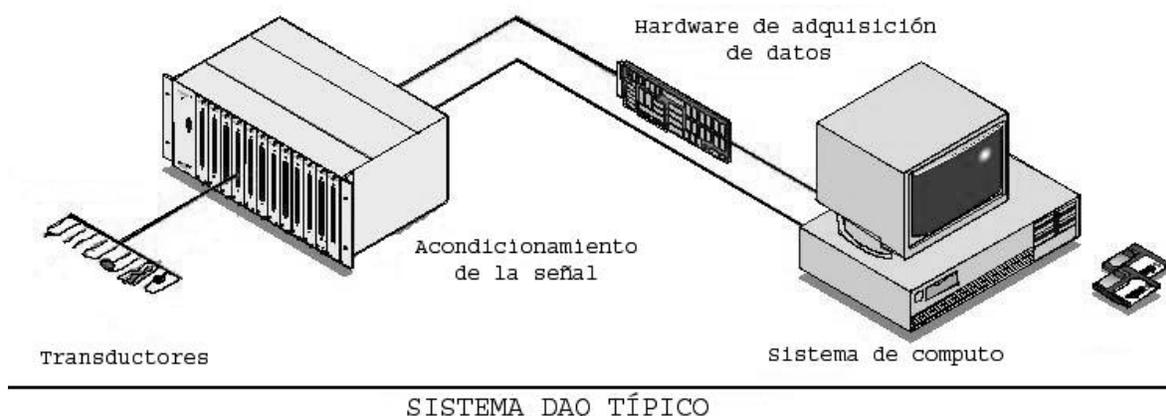


Figura 2.2 –Sistema típico de adquisición de datos DAQ

La computadora que se use afectará directamente la velocidad a la que se pueda adquirir los datos. Pero con la tecnología actual podemos dejar de preocuparnos por este aspecto ya que con las arquitecturas de Bus de que disponemos son más que suficientes para nuestros propósitos y éste deja de ser un factor que influya directamente en los resultados obtenidos.

El dispositivo que lleva a cabo la conversión entre la señal real y la señal eléctrica es lo que llamamos un transductor. Esta señal será capaz de moverse dentro y fuera de la computadora por medio del mismo sistema de adquisición de datos.

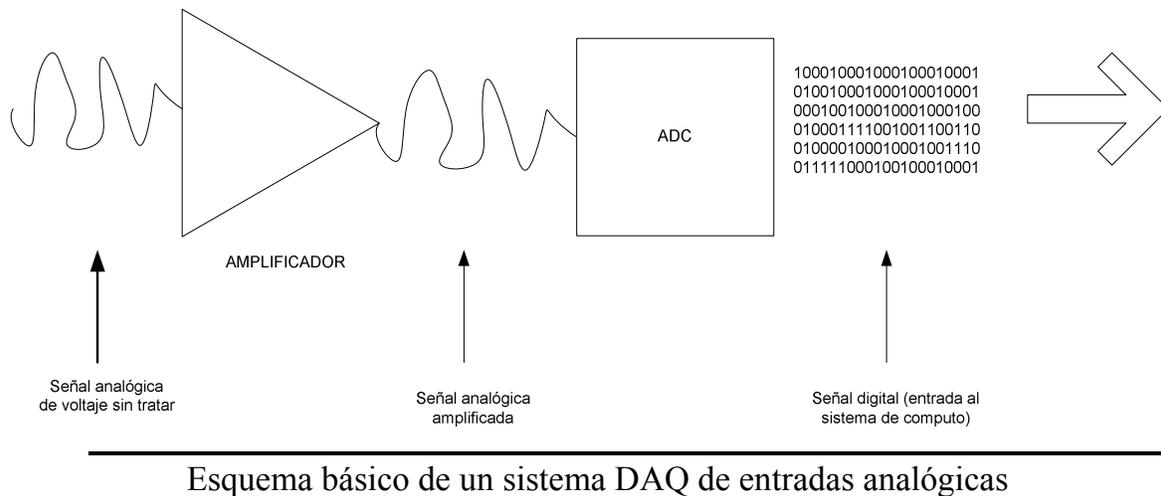


Figura 2.3

En la figura podemos ver un esquema fundamental del funcionamiento básico de un dispositivo DAQ cualquiera de entrada analógica

Mediante el uso de multiplexores en un sistema de adquisición de datos, sólo necesitaremos un convertidor A/D, en lugar de un convertidor A/D por cada entrada analógica. Debido a que la mayor parte del costo de un sistema está precisamente en el subsistema del convertidor A/D, el uso de los multiplexores nos permite un gran ahorro.

Resulta muy importante el conocer bien las condiciones en que se está conectando nuestro dispositivo a tierra con respecto a la señal. La tierra de la señal de interés puede estar en un valor diferente que el de la tierra del dispositivo de adquisición. Esto nos puede llevar a inexactitudes en las mediciones de interés, ya sean de voltaje o corriente. Esto es lo que llamamos un “loop a tierra” (ground loop), debido a que existe una diferencia de potencial entre las dos conexiones.

National Instruments hace las siguientes recomendaciones al conectar las señales de entrada:

Se deberán utilizar conexiones de modo diferenciales para cualquier canal que cumpla con cualquiera de las siguientes condiciones.

- El nivel de entrada de la señal es demasiado bajo, menor que 1 V.
- Las puntas con que se conecta la señal al dispositivo de adquisición son mayores a 3 metros.
- La señal de entrada requiere de un punto de referencia independiente.
- Las conexiones de la señal viajan a través de un ambiente ruidoso (ruido eléctrico).

En los sistemas de adquisición la resolución, es decir la mínima diferencia de valores que se es capaz de medir, es un parámetro importante. Las mediciones analógicas son digitalizadas por un ADC, que convierte un valor de entrada a un número entero no signado de N-bits.

Un entero de 12 bits puede tomar 4,096 valores diferentes ( $2^{12}$ ) comprendiendo desde cero hasta 4095. Por otro lado un entero de 16 bits podrá tomar 65,536 valores diferentes ( $2^{16}$ ) comprendiendo desde cero hasta 65,535.

Si suponemos un rango de voltaje de una señal de entrada de 0-5 [Volts] un ADC con una resolución de 12 bits será capaz de distinguir voltajes cada  $\frac{5}{4,096}$  [Volts] = 1.221[mV], mientras un ADC de 16 bits de resolución será mucho más sensible ya que podrá distinguir voltajes cada  $\frac{5}{65,536}$  [V]= 0.0763 [mV].

#### TEOREMA DEL MUESTREO

Una señal analógica, tal como es obtenida de un transductor o sensor, representa algún parámetro físico, definido para cada instante de tiempo, es decir, una señal analógica es una función continua en el tiempo.

Esta señal deber ser convertida en alguna forma, capaz de ser procesada por una computadora digital, ya que para su procesamiento solo serán útiles los números binarios digitales. Para tal efecto deberán ser presentados en forma de una serie de valores numéricos equivalentes a la señal analógica a la computadora.

El caso ideal sería poder procesar todos los valores definidos de la variable analógica, pero debido a limitantes de almacenamiento y el poder de procesamiento deberemos limitar el número de puntos muestreados. Estos valores tomados en intervalos discretos de tiempo, constituyen las “muestras” de la señal analógica.

La tasa a la que la señal es muestreada determinará la precisión de la representación como una función discreta en el tiempo.

Analizando el proceso matemático del muestreo tendremos:

Si a una señal  $x(t)$  la multiplica otra señal  $p(t)$  siendo esta un tren de pulsos, la señal resultante  $x_p(t)$  será también un tren de pulsos, pero con sus amplitudes limitadas por  $x(t)$  envolviéndolas. Esto, como sabemos es un proceso de modulación, donde  $x(t)$  es la señal moduladora,  $p(t)$  es la señal portadora y  $x_p(t)$  será la señal modulada.

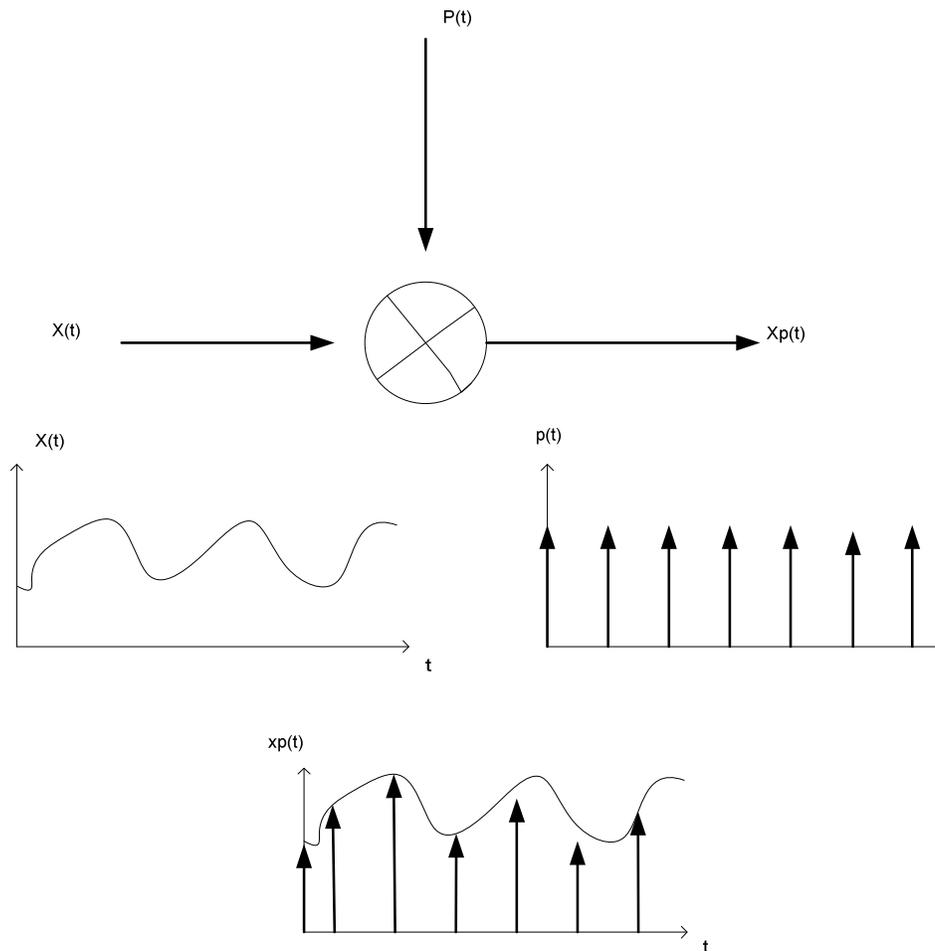


Figura 2.4

Pero si lo que deseamos es recuperar la señal original  $x(t)$ , debemos observar el Teorema del Muestreo que nos indica que “bajo ciertas condiciones una señal continua en el tiempo puede ser completamente representada y capaz de ser recuperada a partir del conocimiento de sus valores instantáneos o muestras igualmente espaciadas en el tiempo” (Oppenheim y Willsky, 1983).

Para estudiar las condiciones de recuperación debemos considerar las correspondientes funciones equivalentes en el dominio de la frecuencia, es decir, sus transformaciones de Fourier

Al ver el espectro de las señales podemos ver que  $X(f) = 0$  para frecuencias mayores a  $f_m$ , esto es  $x(t)$  no tiene frecuencias más allá que la correspondiente a  $f_m$ ; se dice que  $x(t)$  una señal limitada en banda. El espectro para un tren de pulsos espaciado en tiempo por  $T$  será también una secuencia de pulsos espaciado por  $1/T = f_s$ , la frecuencia de muestreo.

El recuperar la señal analógica  $x(t)$  a partir de su representación muestreada significa ser capaz de recuperar su espectro totalmente en el dominio de la frecuencia. Un filtro paso-bajas será capaz de esto siempre y cuando su frecuencia de corte  $f_c$  sea mayor que  $f_m$ .

A partir de estos conceptos se ve a simple vista sencilla la recuperación de la señal muestreada, pero esto bajo la hipótesis de que estamos trabajando siempre con una señal limitada en banda y la frecuencia de muestreo  $f_s$  no es superior a  $f_m$ , pero en la realidad será superior a  $f_m$  por un factor de  $(f_s - f_m)$ , entonces.

$$f_s - f_m > f_m \rightarrow f_s > 2 f_m$$

$f_s$  será al menos el doble que  $f_m$ .

Ahora ya podemos enunciar el Teorema del Muestreo completo.

Las condiciones para una correcta representación y recuperación serán:

La señal deberá estar limitada en banda, y la frecuencia de muestreo NO deberá ser inferior a dos veces la frecuencia más alta presente en la señal.

Sin embargo, en el mundo real, estas condiciones ideales no son siempre conseguidas. Señales provenientes de un sensor cualquiera tendrá seguramente un número infinito de armónicas, y para poder incrementar la frecuencia de muestreo se necesitará un procesamiento muy rápido y una muy grande capacidad de almacenamiento en la computadora, a veces no fácilmente costeable. Esto hace que sea casi imposible el procesamiento de señales reales sin un error, pero se tenderá a minimizar estos errores.

Se deberá, entonces tener cuidado de que la FRECUENCIA DE MUESTREO sea al menos de el doble de la frecuencia máxima de la señal que estemos muestreando, si son 5 o 10 veces resultará mucho mejor, de otra forma se podrá llegar a tener lecturas inexactas. La frecuencia de muestreo es simplemente el número de veces por segundo que el ADC mide el valor de todas las señales

Un Trigger o Señal de Disparo le dice al dispositivo DAQ que empiece a tomar las lecturas o muestras cuando se cumpla cierta condición, ya sea que un voltaje sobrepase un nivel predeterminado o que baje de cierto umbral, o bien que sea fijado arbitrariamente, de igual manera se pueden tomar estos parámetros junto con otros para determinar las características de una señal para que a partir de allí empezar a tomar las muestras. Entenderemos como TRIGGER, Gatillo o Disparo a un cambio en la misma señal que el dispositivo de adquisición entenderá como señal de inicio al proceso mismo de adquisición. Algunos dispositivos pueden ser configurados para que por medio del mismo hardware sea disparada esta señal.

## Acondicionamiento de la señal

En el diseño de transductores lo que se intenta es identificar diferentes materiales que presenten cambios en alguna propiedad, debidos a cambios en parámetros físicos que sean sensados. La amplitud y linealidad de estas salidas de los transductores a menudo no son el principal interés en un principio, pero para un sistema de adquisición de datos si lo son.

Por lo tanto se hace necesario un acondicionamiento de la señal para aumentar la amplitud y mejorar la linealidad en un Sistema DAQ.

El término “Acondicionamiento de la señal” tal como lo utilizamos da idea de hacerle los cambios necesarios a la señal analógica antes de ser aplicada al convertidor A/D. Algunos de los más comunes tipos de acondicionamientos son:

- 1-Buffering
- 2-Filtrado.
- 3-Cambio de nivel de la señal.
- 4- Conversión de señal.
- 5-Linearización

Una gran parte de los circuitos integrados para ADC que actúan en conjunto con el dispositivo de adquisición DAQ, esperan obtener una lectura dentro de un rango determinado, por ejemplo de [0 a 5] Volts o, [-5 a 5] Volts , pero los transductores que entregarán esta señal producen diferentes tipos de señales eléctricas, surge entonces la necesidad de acondicionar dicha señal, mediante un tratamiento de la señal para que esta sea de las características que se espera tener a la entrada del dispositivo de adquisición.

Los principales puntos a tomar en cuenta serán, el Ruido, Señales de alto y bajo nivel, aislamiento, y voltajes de modo común.

---

## Filtrado y Ruido

Debido a que los sistemas de adquisición de datos son a menudo utilizados en ambientes industriales, es común que esto tienda a introducir interferencias espurias o parásitas al sistema de adquisición mismo. Estas señales son catalogadas simplemente como Ruido y son generalmente atribuidas a frecuencias de 60 o 400 Hz provenientes de líneas de transmisión o por cambios en cargas inductivas tales como motores encendiendo. Estas interferencias pueden llegar a introducir errores de consideración en la señal de entrada de interés.

El ruido eléctrico es algo que debemos tomar en consideración para sistemas de adquisición de datos, se trata básicamente de señales eléctricas no deseadas que el sistema pudiera tomar como verdaderas.

Cada vez que tenemos un cable eléctrico suelto o enrollado, como la mayoría de los sistemas DAQ tienen, recoge al menos señales en forma de ruido eléctrico, ya que dicho cable actuará en forma de una antena de radio. Entre más largo sea el cable, o mejor dicho, entre más grande sea el área que cubra el cable, mayor será el ruido que recogerá.

Podemos enumerar algunos pasos a tomar en cuenta para intentar minimizar dicho fenómeno.

- 1-Minimizar el largo del cable entre el transductor y el ADC, una vez digitalizada, una señal es mucho menos susceptible al ruido.
- 2-Usar alambre del tipo de par trenzado. Así se minimiza el área que cubre el cable, o aún mejor utilizar cables blindados y/o cables coaxiales.
- 3- De ser posible, utilizar una señal con un voltaje alto, en el cable entre el transductor y el ADC.
- 4- En un caso extremo, usar una señal con una pequeña corriente, usualmente de 4-20 [mAmps]. Señales con corriente pueden viajar por unos cuantos metros, sin recoger ruido de consideración.
- 5-Preferir señales diferenciales a las simples.
- 6- Finalmente podemos filtrar la señal, de cualquier manera los puntos anteriores tienen preferencia ya que con ellos se puede prevenir que el ruido se mezcle con la señal desde un principio. De ser necesario un filtrado por medio de hardware tendrá preferencia sobre uno de software.

---

Un filtro es un circuito que deja pasar cierta banda de frecuencias, mientras atenúa las señales de otras frecuencias.

Como hemos establecido, la fuente de origen de una señal para un sistema DAQ es un transductor. El ancho de banda (BW) de la mayoría de los transductores es aproximadamente 10 Hz, de tal forma que filtrar el ruido de estos transductores será relativamente fácil por medio de un filtro pasa-bajas.

Si seguimos sin poder deshacernos del ruido en la señal, a pesar de haber hecho caso a los puntos anteriores, todavía queda una posibilidad, en el caso de que estemos midiendo una señal que cambia lentamente, podemos filtrarla con un filtro paso-bajas, que no dejará pasar las señales de alta frecuencia. Muchos sistemas DAQ cuentan con estos filtros ya incluidos en el mismo dispositivo, pero no será de ninguna ayuda si estamos tratando con señales de alta frecuencia en el mismo rango que el del ruido, debido a que podemos llegar a filtrar la señal junto con el ruido.

Como último recurso para reducir el ruido es por medio de software, podemos ya sea utilizar un sistema sofisticado de filtrado por software, o simplemente promediar un conjunto de muestras par tratar de este modo reducir el ruido y las variaciones en las lecturas de un mismo punto real. Al promediar varios puntos y de un conjunto solo obtener un dato, el ruido se ve reducido en proporción a la raíz cuadrada del inverso del número de muestras utilizadas en dicho promedio.

Señales de alto y bajo nivel.

Entendemos como nivel de una señal como la amplitud de voltaje que presenta.

Quizá la más común forma de acondicionar una señal es un cambio de nivel o amplitud, un cambio en el nivel de la señal requerirá ya sea amplificación o atenuación en la misma señal. La atenuación es generalmente realizada con una red resistiva, en forma de un divisor de voltaje, mientras que para una amplificación se requerirá de un dispositivo activo tal como un transistor o un amplificador operacional. Una práctica común es utilizar ambas técnicas a la vez, es decir atenuación y amplificación, para el acondicionamiento de la señal en muchos instrumentos electrónicos, tales como multímetros y osciloscopios electrónicos para lograr múltiples rangos.

Para una señal de bajo nivel, el ruido será mucho más significativo, relativamente con el tamaño de la señal de entrada, así que de alguna manera se deseará poder incrementar el tamaño de nuestra señal, si es que no se ha podido reducir el ruido. En algún punto antes de que una señal de bajo nivel llegue al ADC, se hará necesario amplificarla para que alcance el rango que requiere DAQ, usualmente

entre 0-5 Volts. LA gran parte de los sistemas de adquisición tienen integrado un amplificador diseñado para este fin.

Para señales de alto nivel, algunos sistemas DAQ, tienen integrado un amplificador con una ganancia fraccional, pero si la exactitud no es tan importante, se puede hacer uso de un divisor de voltaje por medio de resistencias.

### Aislamiento

Aislamiento significa que no habrá conexión directa alguna entre dos partes de un mismo circuito. Las dos secciones eléctricas no se encuentran conectadas en ninguna manera, de tal modo que si un voltaje peligrosamente alto ocurre en cualquiera de las dos secciones, no dañará a la otra sección. De igual forma el aislamiento ayudará a remediar problemas derivados del aterrizaje de la señal, al mismo tiempo que protegerá contra posibles excesos de voltaje.

## Linearización

Como se ha mencionado anteriormente, la linealidad en el diseño de un transductor es algo que generalmente se considera secundario, pero no por eso deja de ser muy importante para el diseño de un sistema de adquisición de datos.

La salida de un transductor puede ser linealizada utilizando un amplificador con una ganancia que sea función de su voltaje de entrada, por lo tanto entregando una salida lineal.

Por ejemplo, la señal de voltaje de salida de un transductor puede variar exponencialmente con respecto a alguna variable dinámica, tal como temperatura.

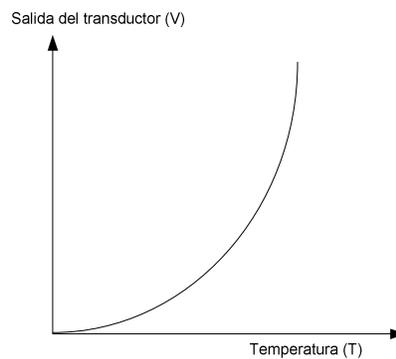


Figura 2.5

El voltaje de salida producido por el transductor puede ser expresado como

$$V = V_0 e^{\theta T},$$

Donde:

$V$  = voltaje de salida del transductor

$V_0$  = voltaje de salida del transductor a una temperatura de referencia

$\theta$  = constante exponencial

$T$  = temperatura en grados Celsius.

Este voltaje puede ser linealizado utilizando un amplificador cuya salida variará inversamente con el voltaje de entrada utilizando la expresión de los logaritmos naturales.

$$V_{out} = K \ln V_{in}.$$

Donde:

$V_{out}$  = voltaje de salida del amplificador

$V_{in}$  = voltaje de entrada al amplificador

$K$  = constante de calibración

Sustituyendo las últimas ecuaciones podemos llegar a que  $V_{out} = K (\ln V_o + \ln e^{\theta T})$  ó  $V_{out} = K \ln V_o + K\theta T$ .

Esta última ecuación es ya una ecuación lineal, por lo tanto podemos decir que la salida del amplificador es lineal con respecto a la temperatura, pero con un factor de escala de  $K\theta$ , y un offset  $K \ln V_o$ .

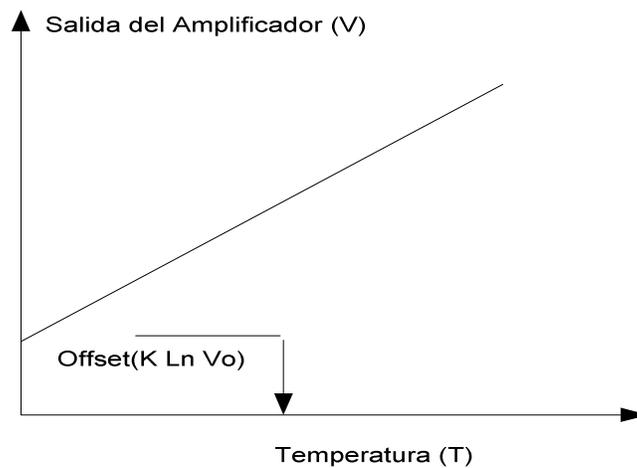


Figura 2.6

---

## **Transductores**

En cualquier sistema de adquisición de datos, las señales que medimos serán finalmente traducidas en voltajes compatibles con el sistema de adquisición que estemos usando, aún una señal de corriente será convertida en un voltaje en algún punto, dentro o fuera del sistema de adquisición,

Los dispositivos encargados de convertir cualquier señal física real en una señal eléctrica, casi siempre un voltaje son llamados Transductores.

Un transductor sensa fenómenos físicos y produce una señal eléctrica que el sistema DAQ es capaz de interpretar.

En nuestro caso, por ejemplo, un termocople, convierte la lectura de temperatura que obtiene en una señal analógica que un convertidor análogo-digital podrá ser capaz de medir.

Lo mismo aplicará casi exactamente para los diferentes tipos de transductores que nos interesarán para nuestro caso de estudio, tales como transductores de flujo, presión, etc.

En cada caso, la señal eléctrica producida será proporcional al parámetro físico que cada transductor estará monitoreando.

Las señales eléctricas generadas por los transductores deberán ser optimizadas para el rango de entrada de cada sistema de adquisición de datos. El acondicionamiento de la señal consistirá básicamente en la amplificación de señales de bajo nivel y el filtrado para obtener una medida mas adecuada.

Dependiendo del tipo de transductor, algunos utilizan excitación por medio de voltaje o de corriente para generar un voltaje de salida.

Los transductores son generalmente clasificados de acuerdo al principio eléctrico involucrado en su operación, estos son:

- 1- Transductores pasivos, que requieren de una fuente de poder externa.
- 2- Transductores activos o auto-generadores de señal que requieren una fuente externa de señal.

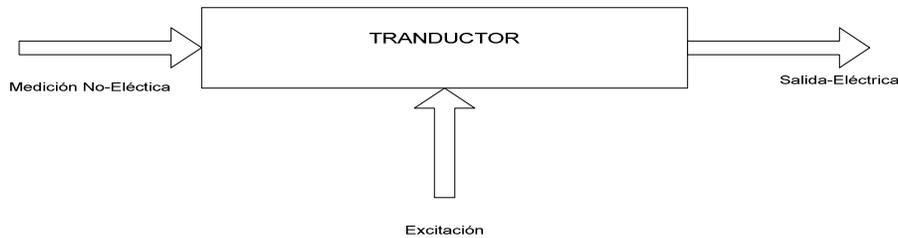


Figura 2.7

## TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

Diversos son los tipos de sensores para temperatura que son utilizados en los diferentes campos de acción ya sea en la industria o en laboratorios, así como diversos son también los métodos para medir la temperatura con diferentes sensores basándose en muy diferentes principios físicos.

### Termómetros de unión P-N

El efecto de la temperatura en una unión p-n, que es indeseable en la mayoría de las aplicaciones, puede ser utilizada efectivamente para medir la temperatura. Mientras estos dispositivos tienen una salida lineal con respecto a la temperatura, debido a su naturaleza de semiconductor tienen un rango limitado de operación.

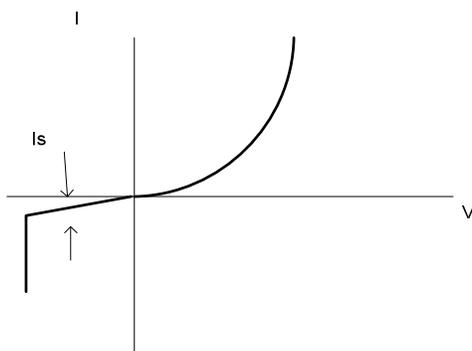


Figura 2.8

En la figura vemos la gráfica característica de corriente-voltaje para un diodo de silicio para un rango medio de corriente. La corriente de directa está dada como sabemos por la ecuación característica del diodo.

$$I = I_s(e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

Donde:

I = corriente a través del diodo

V = voltaje aplicado

I<sub>s</sub> = corriente de saturación

k = constante de Boltzmann

q = magnitud de la carga del electrón

Si despejamos para obtener V y resolvemos tendremos

$$V = \frac{E_g}{q} - \frac{4.6kT}{q} (\ln M - \ln I)$$

donde M es una constante independiente de la temperatura y E<sub>g</sub> es el intervalo de energía del silicón a 0 K . De esta última ecuación se ve que el voltaje del diodo queda linealmente relacionado con la temperatura.

Un transistor es también un buen sensor de temperatura. El voltaje base-emisor varía directamente con la temperatura para una corriente de colector constante, de la misma forma en que lo hace para el diodo en directa .

Sensores de temperatura por circuitos integrados CI.

Integrados tales como los LM35, LM135, LM235, y LM335 de Nacional Semiconductor son sensores de temperatura con una salida de voltaje. Estos operan tal como si fueran dos Zenners de 2 terminales y tienen un voltaje de rompimiento directamente proporcional a una temperatura absoluta de 10 mV/K. Con una impedancia dinámica menor a 1 ohm, el dispositivo operará sobre un rango de corriente de 400 µA a 5 mA, virtualmente sin cambio en su desempeño. Si es calibrado a una temperatura de 25°C el LM135 tiene un error máximo de 1.5°C en un rango de 100°C, el mucho menos caro LM335 tiene un error de 2°C con un rango de operación de -55 a +150°C

La salida del LM335 puede ser expresada como

$$V_o(T) = V_o(T_0) \frac{T}{T_0}$$

Donde T es la temperatura desconocida y T<sub>0</sub> es una temperatura de referencia, ambas expresadas Kelvin. Al calibrar la salida para leer correctamente una sola temperatura, la salida para todas las temperaturas será la correcta.

## OTROS DISPOSITIVOS

Existen en el mercado otros dispositivos transductores de temperatura, algunos de los cuales producen ya sea una corriente o incluso una señal digital como salida de tipo RS-485 de dispositivos del tipo de circuitos integrados. La gran ventaja de cualquiera de estos otros tipos es su gran inmunidad al ruido eléctrico, así que si se cumple con el rango de operación y la exactitud necesaria, serán una excelente opción a considerar.

- Termocople
- Detector de temperatura por resistencia (RTD, Resistance Temperature Detector)
- Thermistor
- Sensor de Circuito Integrado
- Termómetro ultrasónico de alambre delgado
- Termómetro de cristal de cuarzo
- Termómetro de Ruido de Johnson
- Termómetro de cuadripolo de resonancia nuclear
- Termómetro de Corriente de Eddy.

---

## TRANSDUCTORES DE TASA O RAZÓN DE FLUJO

Algunos nombres comunes para los transductores de tasa de flujo ya sea de líquidos o gases son, flujómetros, o flujómetros de masa o simplemente, MFC (Mass Flow Controller) o controladores de flujo.

En muchos transductores de flujo, en realidad se utilizan transductores de temperatura mientras que la sustancia fluye por dentro de un tubo, en algunos caso se aplica calor a dicho tubo. Existen transductores de flujo magnéticos que no contienen piezas mecánicas por lo que son muy eficientes pero funcionan solo con fluidos eléctricamente conductores al pasar un campo electromagnético a través del fluido moviéndose a través de un tubo.

Si el fluido contiene una mínima cantidad de partículas suspendidas o burbujas, funcionarán los transductores de flujo ultrasónicos que funcionan al hacer pasar ondas sonoras a través del fluido en movimiento.

Al trabajar con flujómetros utilizamos la palabra rapidez como un escalar opuesto a velocidad, una cantidad vectorial, debido a que muchos de los flujómetros empleados en su forma más simple no proporcionan información de dirección.

Flujómetros diferentes, proporcionan tipos de mediciones, por medio de diferentes técnicas. La técnica por infusión de calor constante, mide el flujo de masa promedio (Kg./s). Técnicas de presión diferencial así como turbinas, miden un flujo promedio de volumen ( $m^3/s$ ). Técnicas electromagnéticas y ultrasónicas miden la rapidez promedio del fluido (m/s), así como por último la técnica por convección térmica y por presión diferencial tales como el tubo Pitot, miden la rapidez local del fluido, (m/s). Para un diseño satisfactor, y como diseñadores del sistema de medición e instrumentación, resulta muy importante conocer exactamente la cantidad física a ser medida, así como si el fluido es compresible o no.

### Flujómetros térmicos

Los flujómetros térmicos posicionan un elemento calentado en la trayectoria del flujo o en el fluido. El calor es transferido de este elemento al fluido a una razón determinada por una diferencia de temperatura entre el elemento y el fluido, ( $\Delta T$ , °C), el calor específico del fluido ( $c$ , J/kg.K), la rapidez del fluido ( $u$ , m/s) y las características del flujo. Dos diferentes técnicas de medición del flujo hacen uso de la transferencia del calor.

El Método de Convección Térmica que mide el calor perdido del elemento calentado y el Método de Infusión Constante de Calor que mide el cambio de temperatura en el fluido debido a la inyección de calor.

Otros tipos de flujómetros

- Flujómetros electromagnéticos
- Flujómetros ultrasónicos
- Flujómetros mecánicos
- Flujómetros de Presión Diferencial

## OTROS TIPOS DE TRANSDUCTORES

Para casi cualquier parámetro físico que pueda ser medido existe el transductor apropiado de alguna manera.

Intensidad de luz, pH, humedad, conductividad, todas las frecuencias del espectro electromagnético, de desplazamiento, etc. Para todos ellos existirá el transductor especializado.

Cuando el parámetro físico, resulta ser demasiado especializado, tal como medir pequeñas concentraciones de partículas en un gas purificado, se requerirá de un transductor igualmente de especializado, lo que lleva a pensar que esto llevará a un transductor igualmente caro y delicado.

## **CONVERSIÓN ANALÓGICA- DIGITAL ADC**

El término ANALÓGICO en la industria de las telecomunicaciones y el cómputo significa todo aquel proceso entrada/salida cuyos valores son continuos. Algo continuo es todo aquello de puede tomar una infinidad de valores dentro de un cierto limite, superior e inferior.

El término DIGITAL de la misma manera involucra valores de entrada / salida discretos. Algo discreto es algo que puede tomar valores fijos. El caso de las comunicaciones digitales y el cómputo, esos valores son el CERO (0) o el UNO (1) o Bits (BInary DigiTs).

La conversión de señales es el proceso mediante el cual se produce la transformación de la señal analógica en una digital, para que pueda ser interpretada adecuadamente por el computador y viceversa. Los circuitos que realizan estas funciones son los convertidores analógico/digital (A/D) y los convertidores digital/analógico (D/A).

Un convertidor A/D toma un voltaje analógico de entrada y después de cierta cantidad de tiempo produce un código digital de salida el cual representa la entrada analógica. El convertidor A/D es la etapa más importante en la transformación A/D, pues transforma nuestro mundo real de variables físico-eléctricas, a un lenguaje que puede entender el computador

El principio básico de operación es el uso del principio de un comparador, para determinar si se debe o no encender un bit en particular de la salida en forma de número binario.

Es típico de un sistema DAQ el uso de un convertidor digital-análogo DAC para determinar una de las entradas del comparador.

La conversión Analógico-Digital consta de varios procesos:

Muestreo  
Cuantización  
Codificación

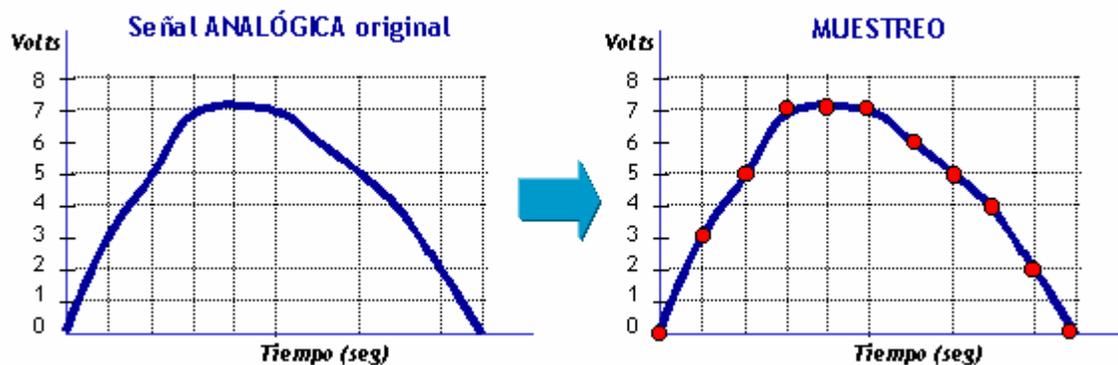


Figura 2.9

### Muestreo

Toda tecnología digital está basada en la técnica de muestreo (sampling en inglés). Cuando una grabadora digital toma una muestra, básicamente toma una fotografía fija de la forma de onda y la convierte en bits, los cuales pueden ser almacenados y procesados. Comparado con la grabación analógica, la cual está basada en registros de voltaje como patrones de magnetización en las partículas de óxido de la cinta magnética. El muestreo digital convierte el voltaje en números (0s y 1s) los cuales pueden ser fácilmente representados y vueltos nuevamente a su forma original.

### Razón de muestreo

La frecuencia de muestreo de una señal en un segundo es conocida como razón de muestreo medida en Hertz (Hz).

$$1 \text{ Hz} = 1/\text{seg.}$$

La razón de muestreo determina el rango de frecuencias o Ancho de Banda de un sistema.

A mayores razones de muestreo, habrá más calidad o precisión.

Cuantización:

Es el proceso de convertir valores continuos en series de valores discretos.

Mientras que el muestreo representa el tiempo de captura de una señal, la cuantización es el componente amplitud del muestreo. En otras palabras, mientras que el muestreo mide el tiempo, la cuantización es la técnica donde un evento analógico es medido dado un valor numérico.

Para hacer esto, la amplitud de la señal es representada en una serie de pasos discretos. Cada paso está dado entonces por un número en código binario que digitalmente codifica el nivel de la señal. La longitud de la palabra determina la calidad de la representación. Una vez más, una palabra más larga, mejor la calidad de un sistema de audio (comparando una palabra de 8 bits con una de 16 bits o 32 bits).

El bit de resolución de un sistema define el rango dinámico del sistema. 6 dB es ganado por cada bit.

Por ejemplo:

8 bits equivale a 256 estados = 48 dB (decibeles)

16 bits equivalen a 65,536 estados = 96 dB.

Entonces, se debe de tomar muestras a tiempos menores y se debe de cuantizar a mayores niveles (bits), si sucede lo contrario suceden errores de cuantización.

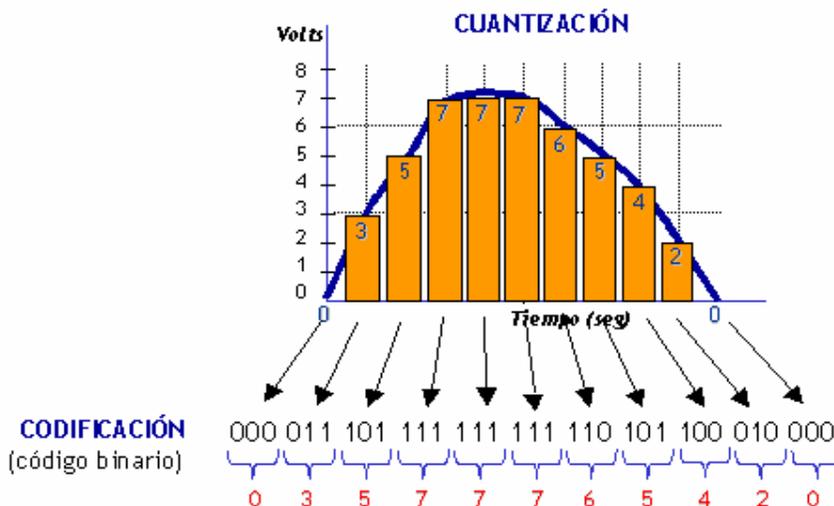


Figura 2.10

La codificación es la representación numérica de la cuantización utilizando códigos ya establecidos y estándares. El código más utilizado es el código binario, pero también existen otros tipos de códigos que son empleados.

A continuación se presenta una tabla donde se representan los números del 0 al 7 con su respectivo código binario. Como se ve, con 3 bits, podemos representar ocho estados o niveles de cuantización.

En general

$$2^n = \text{Niveles o estados de cuantización}$$

Donde n es el número de bits.

Número	Código binario
0	000
1	001
2	010

---

## TIPOS DE CONVERTIDORES A/D

El proceso de conversión A/D es generalmente más complejo y consumidor de tiempo que el proceso D/A y se han desarrollado muchos métodos diferentes para tales fines, siendo los métodos más utilizados e implementados los siguientes:

Algunos tipos básicos de métodos de Conversión Analógica-Digital ADC

ADC de Rampa Digital

ADC de Aproximaciones Sucesivas

ADC Flash

El tipo de convertidor utilizado en el desarrollo es de Aproximaciones Sucesivas por lo cuál es del que se describe su funcionamiento a grandes rasgos.

### Convertidor A/D de aproximaciones sucesivas

El convertidor A/D que más se utiliza en la práctica es del tipo de aproximaciones sucesivas. Posee circuitos más completos que los de rampa digital, y además en un tiempo de conversión más pequeño. Adicionalmente, su tiempo de conversión es un valor fijo independiente del valor de la entrada analógica.

Este tipo de convertidor no utiliza un contador para proveer la entrada al bloque del sistema convertidor D/A. En su lugar usa un registro y así obtiene el arreglo de la Figura.

Mientras que el contador empleado en el método de la rampa digital progresaba a través de una cuenta binaria paso a paso, el "registrador" tiene la modificación de sus valores binarios en una secuencia bastante diferente. El principio de funcionamiento se describe a continuación:

Se pone en nivel alto el MSB (bit más significativo) y todos los otros bits en cero. Esto produce un valor a la salida del D/A igual al peso del MSB. Si  $V_s'$  es mayor que  $V_s$ , el comparador queda en nivel BAJO. Esto hace que el MSB sea puesto en 0. Si  $V_s'$  es mayor que  $V_s$ , EL MSB se mantiene en nivel ALTO.

El segundo MSB es puesto en nivel ALTO. Nuevamente, si el valor de  $V_s'$  es mayor que  $V_s$ , este bit es puesto en 0. Si no, se mantiene en nivel ALTO.

Este proceso se continúa para todos los bits en el registro. Este procedimiento de puesta en marcha del convertidor requiere "de un período de reloj por bit".

El circuito de un convertidor A/D por aproximaciones sucesivas clásico se muestra en la figura.

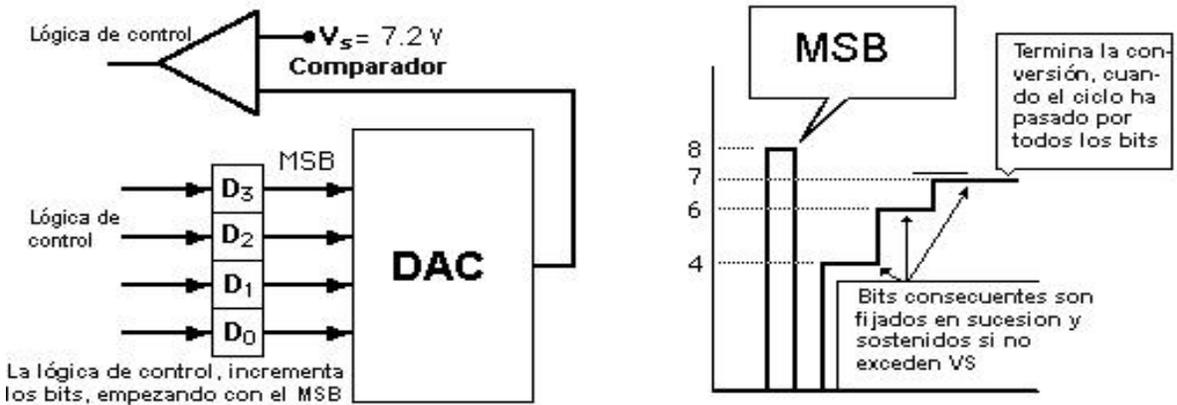


Figura 2.11

El ADC de aproximaciones sucesivas es mucho más rápido, debido a que utiliza lógica digital para convergir en el valor más cercano al voltaje de entrada.

De igual forma son utilizados un comparador y un DAC en el proceso

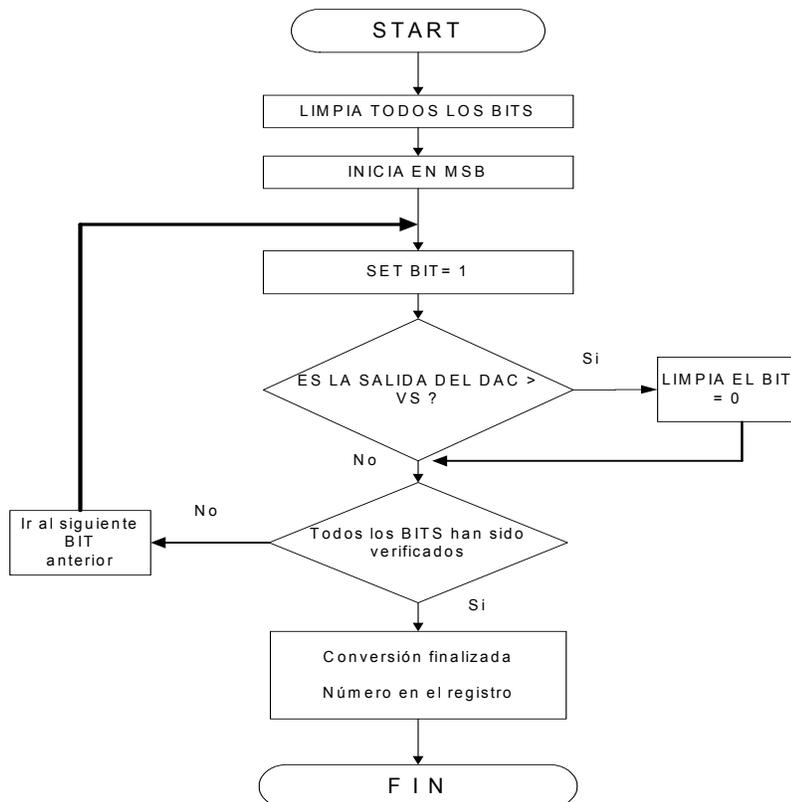


Figura 2.12

Existen muchas aplicaciones en que los datos analógicos tienen que ser digitalizados y transferidos a la memoria de una computadora.

El proceso por el cual la computadora adquiere estos datos analógicos digitalizados se conoce como adquisición de datos.

La computadora puede ejecutar varias tareas con los datos, según la aplicación.

En una aplicación de almacenamiento, como una grabación de audio digital o un osciloscopio digital, la computadora interna almacenará los datos y un tiempo después los transferirá a un DAC para reproducir los datos analógicos.

En una aplicación de control de proceso, la computadora puede examinar los datos o realizar cálculos con ellos para determinar que salidas de control generan.

CARACTERÍSTICAS DEL CONVERTIDOR ANALÓGICO A DIGITAL

A la salida digital de un convertidor analógico a digital ideal de 4 bits se gráfica en función del voltaje de entrada analógica en la Figura.

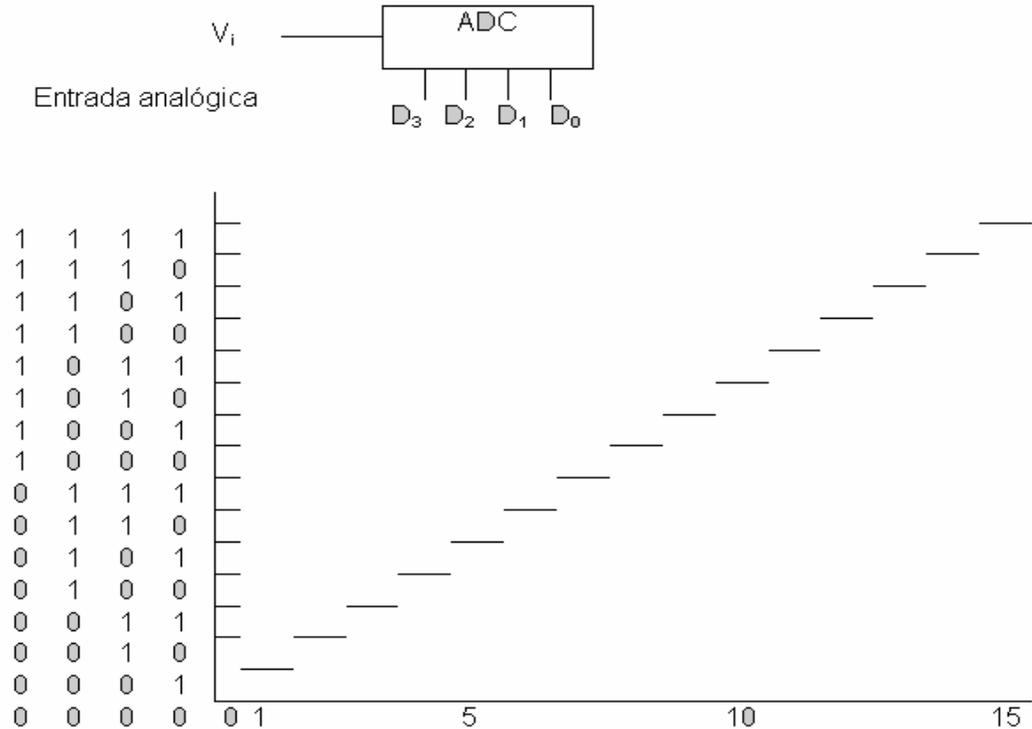


Figura 2.13

Características de Entrada-Salida de un ADC de cuatro bits

De manera análoga a lo que ocurre con los convertidores digital/analógico, la resolución de un convertidor analógico a digital se define de dos maneras. Primero, es el número máximo de códigos de salida digital.

Esta expresión de la resolución del convertidor es la misma que en el caso del convertidor analógico y se repite aquí :

$$\text{Resolución} = 2^n$$

La resolución también se define como la razón de cambio del valor en el voltaje de entrada,  $V_i$ , que se necesita para cambiar en 1 LSB (Bit menos significativo) la salida digital.

---

Si se conoce el valor del voltaje de entrada a escala completa, ViFS (Full Scale Input Voltaje), que se requiere para producir una salida digital de todos los unos, es posible calcular la resolución mediante:

$$\text{Resolución} = \text{ViFS} / (2^n - 1)$$

En su forma más simple, la ecuación de entrada-salida de un convertidor digital a analógico está dada por:

$$\text{Código de salida digital} = \text{equivalente binario de } D$$

Donde D es igual al valor decimal de la salida digital; o sea, D es igual al número de bits menos significativos en la salida digital y D se calcula a partir de

$$D = \text{Vi} / \text{resolución}$$

### ERROR DE CUANTIFICACIÓN

Existe una incertidumbre inevitable respecto al valor exacto de Vi cuando la salida es 0101.

Dicha incertidumbre se especifica como error de cuantificación. Su valor es  $\pm \frac{1}{2}$  LSB. Al incrementar la cantidad de bits se logra una mejor resolución y el error de cuantificación es menor.

---

## ADQUISICIÓN DE DATOS

Una vez presentado los conceptos teóricos básicos, necesarios para poder entender los sistemas y dispositivos básicos que utilizaremos en el análisis, desarrollo e implementación de los dispositivos experimentales, pasamos a una etapa donde basándonos en los mismos, y en factores externos. Debemos decidir que es lo que vamos a necesitar y cuál es el mejor tipo y la mejor forma de implementación, ya sea por sus características de operación, precio o facilidad de uso para un experimento a largo plazo, tomando en cuenta las variadas y particulares características que deben de cumplir.

En primer lugar lo que se hizo fue conocer y familiarizarse con el ambiente de trabajo en el laboratorio del propio Instituto de Física. Esto debido a que en él se utilizan equipos y tecnologías que no son comunes y algunos que no se utilizan en ningún otro laboratorio en la propia universidad.

Los principales puntos de interés fueron:

Electrónica NIM y Estándar CAMAC

- ADC
- TDC
- DISCRIMINADOR
- PULSER

Electrónica estándar

- Osciloscopios Digitales
- Generadores de señales
- Fuentes de alto voltaje

## ANÁLISIS DE NECESIDADES

Sería fácil suponer que las condiciones de operación para este experimento resultarían similares con el único antecedente que existe, pero aunque existan algunas, éstas son mínimas y en cambio las diferencias son tan grandes como sustanciales. Esto resulta lógico, simplemente al tratar de comparar las tecnologías existentes en 1969, año en que se llevó a cabo el experimento en Egipto, con la disponible en la actualidad.

De hecho esto es uno de los puntos principales por los que debemos empezar, el análisis de tecnologías existentes y lo más complicado, el escoger la que sea la más adecuada para nuestro caso. Debido a la gran oferta que existe actualmente esto fue un proceso lento y laborioso, pero de qué tan acertada resultará esta elección dependía en gran medida el éxito del proyecto en si.

Antes que nada se hizo un bosquejo de lo que se necesitaba para poder analizar la forma de resolver los problemas presentados.

### Descripción del Área de trabajo

Como se ha explicado anteriormente, el área de trabajo y operación a lo largo de al menos un año, continuamente y sin interrupción, será el interior de un túnel que pasa por debajo de la Pirámide del Sol, mismo que por condiciones naturales del terreno resulta ser un área extremadamente húmeda, oscura y de difícil acceso desde el exterior.

Por tratarse de una zona de alto interés arqueológico y patrimonio cultural, las instalaciones necesarias para el equipo científico no podrá alterar en nada la construcción original teotihuacana o la cueva misma. Se midieron todos los puntos críticos por donde deberá de pasar toda la instrumentación, debido a que algunas piezas deberán ser fabricadas y ensambladas a la medida exacta.

Después de la puerta de acceso sigue una escalera metálica que baja hasta los 8 metros de profundidad, donde se inicia el túnel, éste es uno de los puntos más importantes y de mayor dificultad para el paso del equipo.

El túnel en si es muy irregular, en el lugar mas estrecho tiene unos 80 cm. de ancho y en el lugar más bajo alcanza casi 1 metro de alto, el uso de equipo protector tal como casco y guantes resultó de vital necesidad.

En la parte final del túnel, aproximadamente a 102 metros, casi en el centro de la pirámide, existe una cueva de dimensiones útiles para nuestro propósito, en este espacio es donde se decidió situar la instrumentación necesaria. En este espacio se colocó primero una lona en el piso y sobre ella una plataforma de madera para prevenir alterar el piso original.

Una vez que tenemos una idea de dónde es que vamos a estar trabajando y las condiciones que se tienen allí, podemos pasar a la etapa más importante y central de la contribución hacia el proyecto que como se ha de suponer al considerar sus dimensiones e implicaciones, no sería posible de realizar por una sola persona, ni un solo equipo de trabajo, sino por pequeños grupos de trabajo, cada uno encargado a un responsable, pero coordinados todos, trabajando en forma independiente, todos con la misma relevancia, pero en diferente prioridad.

Primeramente lo que surge como necesidad básica es procurar un espacio elemental donde trabajar, lo más cómodamente y con seguridad para los operadores como para los equipos y materiales.,

Posteriormente sobre la plataforma se construyó una caseta que aislará el detector y el equipo electrónico del ambiente del interior de la cueva, debido a que éste ambiente altamente húmedo dañaría el equipo o alteraría la lectura de las mediciones.



Figura 3.1

Existe la necesidad de resolver la necesidad de tener energía eléctrica dentro de la cueva. Esto no formaba parte del proyecto original y fue coordinado bajo la responsabilidad de otro miembro del grupo, pero se menciona aquí debido a que, resultó ser de vital relevancia para poder continuar con el proyecto propio, además de que fue implementado en conjunto por todo el grupo de investigación debido al gran esfuerzo físico y de logística que esto implicaba.



Figura 3.2

Instalación de energía

Finalmente llegamos a la cuestión de nuestro interés que es básicamente, como fue mencionado anteriormente, el monitoreo de variables físicas dentro del ambiente que ha sido descrito y principalmente la necesidad de contar con estas lecturas de una manera oportuna y confiable en las instalaciones de Ciudad Universitaria.

Primeramente lo que se tendrá que decidir es precisamente, qué variables son las que se tendrá que monitorear para así poder determinar la mejor forma de hacerlo, obedeciendo a la importancia que éstas tengan y de lo delicado que sea su manejo para la seguridad del área de trabajo. Existen variables que serán meramente informativas. Pero del estado de algunas otras dependerá casi enteramente que el experimento en su totalidad funcione correctamente.

Una variable física que resulta obvia de monitorear, en un proceso donde se va a tener equipo electrónico confinado en un espacio reducido y sin ventilación natural, es la temperatura.

En las diferentes y frecuentes visitas de inspección al lugar del experimento se observó que debido a las características de los materiales con que se encuentra construida la pirámide en su totalidad y su ubicación geográfica existe una gran filtración de agua y esto ocasiona que se tenga un ambiente particularmente húmedo dentro del área de trabajo, y como se sabe que la humedad tiene repercusión en el correcto funcionamiento de los equipos electrónicos y sobre todo en las lecturas del experimento en sí, esto hace evidente que la humedad sea otra variable con la necesidad de ser monitoreada.

En el proceso de funcionamiento interno del detector se utiliza una mezcla de gases que puede variar en su composición dependiendo de las características deseadas, pero con cualquiera de las posibles mezclas se utilizan gases que aunque son inertes, pueden tener consecuencias al estar en concentraciones elevadas ya que estos gases desplazan el oxígeno y causan que el ambiente se vuelva no respirable. Este hecho nos lleva a la necesidad de monitorear el estado del gas ambiente, ya sea monitoreando la concentración de éstos gases o bien la calidad del aire para ser respirable, que a fin de cuentas es lo mismo, pero indirectamente.

Como se ha mencionado anteriormente, en todo el proceso interno del experimento, el manejo y control de gases es un proceso delicado y vital tanto para el correcto funcionamiento del experimento como para la seguridad de los operadores que en algún momento tengan la necesidad de estar en el área de operación. Por esto se decidió incluir el monitoreo de estos gases dentro de las variables vitales de las que se deberá tener control o al menos información del estado en que se encuentran. Esto deberá ocurrir en cualquier momento del funcionamiento y no necesariamente estando en el lugar físicamente.

Aquí es donde surge la necesidad de tener un monitoreo en tiempo real y a distancia de las diferentes variables mencionadas.

En principio sólo se trabajó con estas variables básicas, pero el diseño con el que se trabajó se pensó de forma modular, de tal manera que en cualquier momento se pueda agregar una o más variables a monitorear sin que esto implique volver a rediseñar la estructura básica.

Esquema básico de las variables

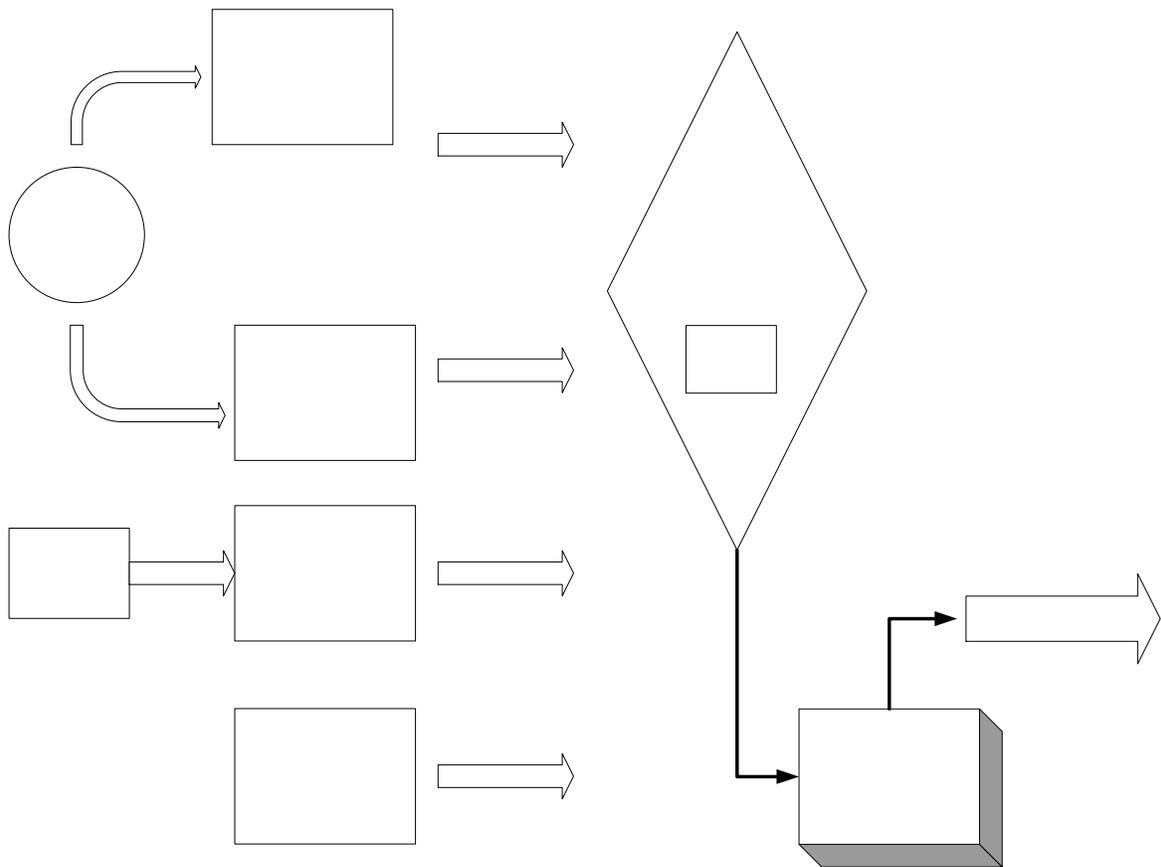


Figura 3.3

### Elección de sensores-transductores

Los transductores sensan y toman lecturas del fenómeno físico y producen señales eléctricas que el sistema DAQ mide e interpreta mientras que las señales eléctricas generadas por los deberán ser optimizados para el rango de entradas del sistema.

#### Temperatura

Formalmente la temperatura es una propiedad física de un sistema que mide la transferencia de energía térmica, o calor, entre ese sistema y otros. Es una medida de la energía cinética de las partículas que componen el sistema

También se puede medir la temperatura basándose en alguna propiedad como la expansión de un líquido o un gas, la resistencia de un conductor, la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico (termocople), etc. En la práctica existen numerosos tipos de sensores de temperatura o termómetros que, según la aplicación específica, pueden ser los más adecuados.

Para poder decidir entre la gran diversidad con que contamos en el mercado se trató de resumir las principales características en forma de una tabla para entonces poder tomar una decisión más práctica.

En la tabla siguiente se indican algunos tipos de termómetros y sensores de temperatura usuales junto a algunas de sus características más notables.

<b>Tipo de termómetro</b>	<b>Rango Nominal [°C]</b>	<b>Costo</b>	<b>Linealidad</b>	<b>Características Notables</b>
<b>Termómetro de mercurio</b>	-10 a 300	Bajo	Buena	Simple, lento y de lectura manual
<b>Termoresistencia (RTD Resistente Temperture Detectors)</b>	-150 a 600	Medio	Alta	Exactitud
<b>Termocople</b>	-150 a 1500	Bajo	Alta	Requiere referencia de temperatura y acondicionamiento
<b>Termistor</b>	-15 a 115	Medio	No lineal	Muy sensible
<b>Integrado Lineal</b>	-10 a 120	Medio	Muy alta	Fácil conexión a sistemas de adquisición de datos
<b>Gas</b>	-20 a 100	Medio	Buena	No muy versátil
<b>Diodos</b>	-200 a 50	Bajo	Alta	Bajo costo

Figura 3.4

De donde resalta el circuito Integrado para nuestra la aplicación debido a sus características de rango de operación, facilidad de uso y confiabilidad. Por lo que a continuación lo analizamos con mayor detenimiento.

Termómetro basado en un circuito integrado.

Varios fabricantes han producido circuitos integrados que son muy adecuados para medir temperaturas. En particular estos circuitos son adecuados para medir temperaturas cuando se usa un sistema de toma de datos conectado en una computadora. Estos circuitos, por lo general tienen tres patas: tierra, alimentación ( $V_c$  entre 5 a 15V) y una salida. Estos circuitos producen una señal muy lineal y calibrada. Por lo general producen entre 1 y 10 mV/K. Existen integrados con calibraciones para diversos sistemas de unidades. El rango usual de estos termómetro esta típicamente entre los  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $120^{\circ}\text{C}$ .

La serie de sensores de temperatura LM35 es un conjunto de circuitos integrados de precisión, cuya salida de voltaje es linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados. El LM35 tiene, por lo tanto esta ventaja por sobre otros dispositivos calibrados en una escala de Kelvin, ya que no se hace necesaria ninguna operación posterior a la lectura obtenida. Este dispositivo no requiere de ninguna calibración o acondicionamiento externos, para poder entregar su precisión típica de  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  a en una temperatura ambiente promedio y  $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$  en un rango completo de  $-55$  a  $+150^{\circ}\text{C}$ . Se logra un bajo costo de operación al hacer la calibración y acondicionamiento a nivel de WAFER.

Gracias a su baja impedancia de salida, linealidad y calibración precisa e inherente se hace que se logre una interfaz para lectura o control especialmente sencilla. Puede ser polarizada con fuentes de poder sencillas o con fuentes de voltaje positivo y negativo (+,-).

Debido a que drenan solamente  $60\ \mu\text{A}$  de la fuente, esto se refleja en un calentamiento mínimo, menos de  $0.1^{\circ}\text{C}$  en aire estacionario.

El LM35 está especificado para operar en un rango de  $-55$  a  $+150^{\circ}\text{C}$  mientras que con un acondicionamiento extra se puede lograr aumentar la precisión final.

Lo podemos encontrar en diferentes encapsulados tales como el TO-46 o el TO-92, en forma de integrado de montaje superficial de 8 patas o TO-220

Principales características.

- Calibrado directamente en escala de grados centígrados

- Lineal  $+10\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$

- Precisión garantizada de  $0.5^{\circ}\text{C}$  a  $25^{\circ}\text{C}$

- Especificado para un rango de operación completo de  $-55$  a  $150^{\circ}\text{C}$

- Apropiado para aplicaciones remotas.

- Bajo costo de implementación debido a la calibración a nivel del Wafer

- Tensión de operación de 4 a 30 volts

---

Menos de 60  $\mu\text{A}$  de drenaje de corriente  
Bajo calentamiento  
Baja impedancia de salida, 0.1  $\Omega$  para 1 mA de carga.

El LM35 puede ser aplicado fácilmente y en la misma forma que otros sensores integrados de temperatura, puede ser pegado o cementado a una superficie y su temperatura estará alrededor de 0.01  $^{\circ}\text{C}$  de diferencia con la temperatura de la superficie.

Esto supone que la temperatura ambiente es casi la misma que la temperatura en dicha superficie; si la temperatura del aire fuera de alguna manera muy diferente con la de la superficie, la temperatura del sensor estará en un punto intermedio. Esto será especialmente cierto para el encapsulado plástico TO-92, donde las patas de cobre son el principal camino térmico para llevar el calor dentro del dispositivo, así que su temperatura estará más cercana a la temperatura del aire que la temperatura de la superficie.

Para minimizar este problema, deberá asegurarse que el alambrado del dispositivo esté a la misma temperatura que la de la superficie de interés, una forma fácil de asegurar esto es cubriendo los alambres con una sustancia epóxica junto con la superficie de interés, esto asegurará que la temperatura sea la misma y que la lectura no se vea afectada por la temperatura de aire.

De igual forma que con cualquier otro circuito integrado, el LM35 y su respectivo alambrado deberá mantenerse aislado y seco, para evitar pérdidas y corrosión, especialmente en ambientes fríos donde pueda darse cierta condensación del aire, se puede utilizar también barniz protector para circuitos impresos.

Curva de calibración Termómetro contra la respuesta del circuito integrado LM35

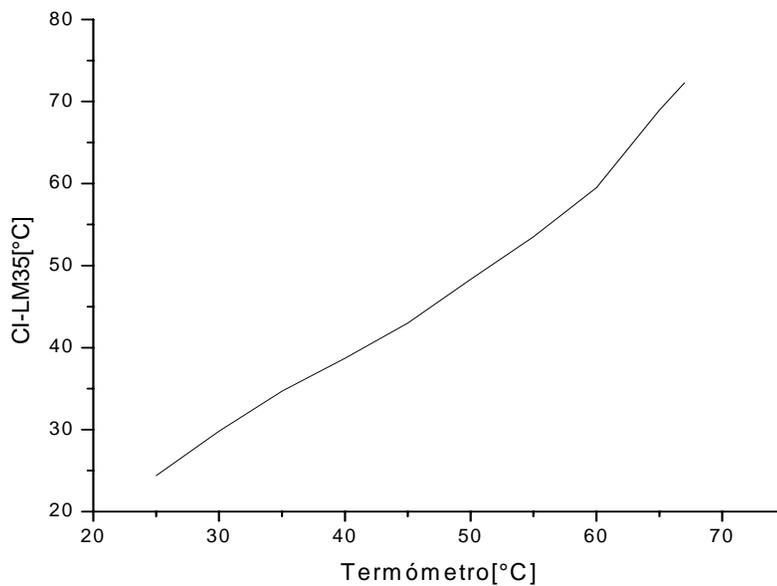


Figura 3.5

Regresión Lineal para los datos

$$Y = A + B * X$$

Parámetro	Valor	Error	
A	-4.44406	2.39962	
B	1.09659	0.04877	
R	SD	N	P
0.99218	2.14544	10	< 0.0001

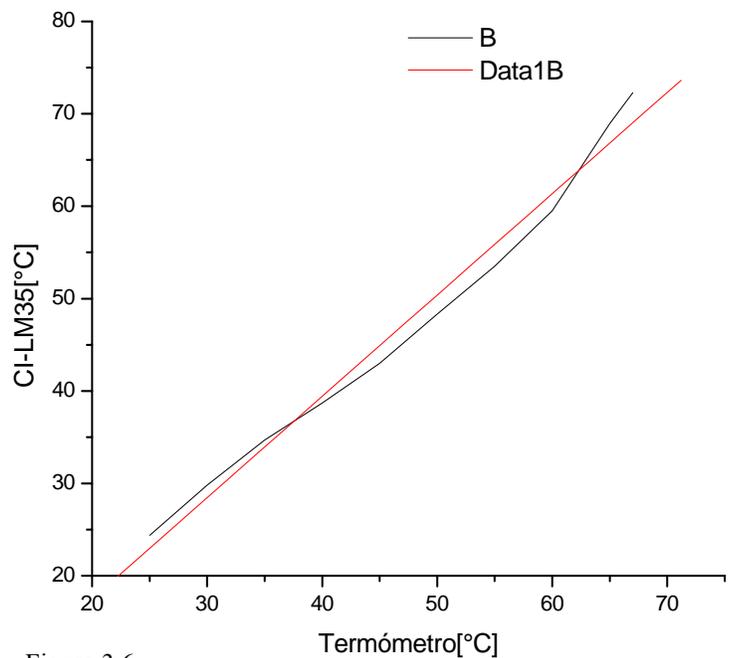


Figura 3.6

## Humedad

Las medidas de humedad involucran diferentes términos y unidades. Estos términos y unidades caen dentro del área de la Psicrometría, el estudio del vapor de agua concentrado en el aire como una función de la temperatura y la presión.

Dependiendo de la aplicación de interés serán el término a utilizar. Por ejemplo:

Dew point o punto de rocío y punto de escarchado se utilizan cuando la resequead de un gas es un parámetro importante, el punto de rocío es también utilizado como un indicador del vapor de agua en los procesos de altas temperaturas.

Relaciones de mezclas, porcentajes de volumen y humedad relativa son usualmente empleados cuando el vapor de agua es ya sea una impureza o un componente definido en un proceso de mezcla de gases.

Humedad Relativa es más comúnmente utilizada en aplicaciones HVAC, (Heat Vacuum, Air Conditioning) donde se ve afectado directamente el confort humano y la calidad del aire es un parámetro de importancia.

La Psicrometría se encargará de las propiedades termodinámicas de los gases húmedos mientras que la Humedad simplemente se refiere a la presencia de vapor de agua en el mismo aire u otros gases. La psicrometría se interesa por las mezclas entre vapor de agua y el aire seco, mismo que es tratado como un gas homogéneo al tener una composición relativamente constante con un peso molecular de 28.9645, el peso molecular del agua es 18.01528.

Las leyes de los gases nos dicen que la presión total en una mezcla de gases será la suma de las presiones parciales de los gases que la constituyen. Además las relaciones de volumen de dichos gases serán de igual manera iguales a las relaciones de sus presiones parciales. Por ejemplo la presión atmosférica es la suma de las presiones parciales del aire seco y del vapor de agua ( $p_{atm} = p = p_{aire} + p_{agua}$ ).

Cuando una mezcla de aire y vapor de agua está en equilibrio con agua líquida o hielo, se considera que está saturada, es decir Humedad relativa  $RH = 100\%$ .

### Humedad Relativa

Es la relación entre la presión parcial del vapor y la presión de saturación del vapor a una misma temperatura, temperatura Dry Bulb, o de bombilla seca, o simplemente temperatura seca.

La temperatura seca se refiere básicamente a la temperatura ambiente del aire, se le llama de bulbo seco debido a que es medida por un termómetro estándar cuya bombilla no es húmeda, si así lo fuera la evaporación de la humedad de su superficie afectaría las lecturas. Generalmente se refiere a la temperatura del aire exterior.

$$RH = \frac{\rho_w}{\rho_{ws}} = \frac{\rho_{ws}(Td)}{\rho_{ws}(T)}$$

donde  $\rho_{ws}(Td)$  es la presión de saturación a la temperatura de DEW Point o Punto de Rocío y  $\rho_{ws}(T)$  es la presión de saturación a una temperatura de **Dry-Bulb**.

La humedad relativa es dependiente de la temperatura y la humedad pero independiente de la presión total, si ambas temperaturas son variables conocidas o constantes, entonces la Humedad Relativa puede ser calculada fácilmente, calculando la presión de saturación para ambas temperaturas y entonces aplicando la definición anterior.

La temperatura de DEW POINT es la temperatura en la que una muestra dada de aire húmedo se satura, si la muestra es enfriada a una temperatura por debajo de este punto, entonces el vapor de agua comienza a condensarse. Este fenómeno es la base de operación para varios sensores de humedad.

### Sensores de Humedad de circuitos integrados de silicio

Los sensores de humedad relativa, utilizan un polímero térmico probado industrialmente, construidos con tres capas capacitivas, electrodos de platino y excepto por las versiones para altas temperaturas, incluyen una salida acondicionada de voltaje integrada en el chip de silicón.

En su operación, vapor de agua en el estrato dieléctrico del capacitor se equilibra con el gas circundante. El estrato poroso de platino protege la respuesta dieléctrica

de influencias externas mientras que el polímero protector sobre los sustratos los protege mecánicamente principalmente de contaminantes externos tales como el polvo y aceites. Una capa gruesa de polvo detendría o retrasaría el tiempo de respuesta del sensor debido a que tomaría más tiempo al vapor equilibrarse en el sensor.



Figura 3.7

La salida de todos los tipos de sensores de humedad basados en absorción se ve afectada por ambas variables, la temperatura y el porcentaje de humedad relativa (%RH). Debido a esto se utilizará una compensación de temperatura en aplicaciones que así lo requieran, tales como la necesidad ya sea de una precisión elevada o de un ancho rango de temperatura de operación.

#### Salida de voltaje

La salida de voltaje del circuito integrado sensor de humedad relativa (RHIC sensor) es una función del voltaje de polarización, del porcentaje de de humedad relativa, %RH, y de la temperatura, esta salida es directamente proporcional.

Para poder tener una ecuación de salida de voltaje se debe de hacer una regresión lineal primero tendiendo como constante la temperatura  $t=25^{\circ}\text{C}$  para poder tener una linealización aceptable con lo que se obtiene:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{supply}} (0.0062 (\%RH) + 0.16)$$

Donde si se fija el voltaje de polarización en 5Vdc y se despeja el %RH tenemos la variable que nos interesa.

Posteriormente, el fabricante nos proporciona una ecuación independiente para corregir el factor de %RH tomando como variable la temperatura T;

$$RH \text{ verdadero} = (\%RH) / (1.0546 - 0.00216 T) = T \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde tendremos las siguientes tolerancias

$\pm 1 \%$  para  $T > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\pm 2 \%$  para  $10 \text{ } ^\circ\text{C} < T < 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\pm 5 \%$  para  $T < 10 \text{ } ^\circ\text{C}$

Siempre que la temperatura de la superficie del sensor activo caiga por debajo del punto de rocío (Dew Point) del gas circundante, esto ocurrirá en el sensor aún y cuando la temperatura caiga solo momentáneamente. Variaciones pequeñas de temperatura cerca del sensor pueden llegar a afectar la operación correcta del sensor si es que se está trabajando en niveles de humedad superiores al 95%.

Mientras que el agua resulta rápida de condensarse, al mismo tiempo es lenta para evaporarse en ambientes de humedad elevadas. Debido a esto existirá un periodo de recuperación que será considerable, durante este tiempo el sensor sólo nos indicará una salida constante de 100% de Humedad Relativa, sin importar la lectura real ambiental.

Como en nuestro caso de interés se trabajará con humedades relativas cercanas al 90% se aconseja seguir las siguientes recomendaciones.

- 1 Mantener una buena mezcla de aire para minimizar fluctuaciones locales de temperatura
- 2 Procurar utilizar sensores diseñados específicamente para tal situación, en el caso de los sensores de la serie HIH de Honeywell, el HIH-3602-A y C utilizan un filtro inoxidable para proteger la estructura del sensor, una cubierta hidropónica elimina la condensación y humedad sobre todo en ambientes saturados.
- 3 Calentar el sensor para que el área activa esté más caliente que el punto local de condensación, esto puede hacerse ya sea por medio de un calentador externo o de sobrecalentado el chip CMOS operándolo a una voltaje de alimentación superior, (para este caso se deberá de recalibrar el sensor en dicha situación)

Todos los sensores para humedad relativa se recuperan rápidamente de un estado de condensación o humedad sin sufrir un corrimiento en su calibración. De cualquier forma, después de una exposición por más de 24 horas a un ambiente mayor al 95% de humedad relativa o bien en condición continua de condensamiento, sufrirá un corrimiento positivo de aproximadamente 2% al 3%. Este corrimiento puede ser compensado si se sitúa al sensor en un ambiente menor al 10% de humedad por un periodo de 10 horas.

Los sensores de humedad relativa de circuitos integrados de silicón vienen calibrados de fábrica lo que les da una gran confiabilidad para poder ser intercambiables de una unidad a otra. Esta característica ayuda al diseñador a evitar la calibración individual y de esta manera reducir costos y aumentar la rapidez con que se puede tener un dispositivo en funcionamiento completamente operacional. Si la aplicación lo requiere se puede lograr una precisión mejorada al sintonizar finamente cada dispositivo individualmente por medio de una aproximación lineal a una temperatura fija de 25°C.

Por su simplicidad de operación y su disposición en el mercado nacional escogimos trabajar con el sensor HIH-3605 de Honeywell y dependiendo de los resultados obtenidos evaluar si serviría para nuestro propósito.

El HIH-3605 es un circuito integrado monolítico diseñado específicamente para usuarios OEM (Original Equipment Manufacturer). Gracias a su salida de voltaje lineal es posible tener una entrada directa a un controlador o cualquier otro dispositivo o simplemente tener la lectura digital.

Con sólo 200  $\mu$ A de drenado de corriente típicamente, el HIH-3605 resulta ideal para sistemas de bajo consumo, como por ejemplo alimentados por baterías.

El HIH-3605 proporciona una calidad de sensado de Humedad Relativa para instrumentación a un costo bajo y al presentar un empaquetado SIP (Single-in line-Package) resulta fácil de integrar en un diseño típico de laboratorio para su posterior implementación, una vez aprobado su funcionamiento.

Como principales características podemos mencionar

- Salida lineal de voltaje proporcional a la RH
- Intercambiable
- Bajo consumo de energía
- Alta precisión
- Rápido tiempo de respuesta
- Estable
- Resistente químicamente

Para poder tener una visión más completa del funcionamiento y confiabilidad del sensor operando en condiciones reales, fue necesario realizar una calibración comparando las lecturas con otros dispositivos diseñados y construidos específicamente para tal propósito. Aquí surgió la necesidad de tener un instrumento patrón, mismo del que se carecía en las instalaciones del instituto y fue necesario recurrir a la ayuda y asesoría del personal calificado y con experiencia del Instituto de Geofísica de la misma Universidad. Esto principalmente porque en los laboratorios de este instituto se contaba con un instrumento calibrado que sirvió como unidad patrón.

En las instalaciones del Instituto de Geofísica, en el laboratorio de Instrumentación Meteorológica del Centro de Ciencias de la Atmósfera, se contó con la ayuda del Ingeniero Jorge Escalante, para llevar a cabo la calibración y caracterización primeramente de los aparatos con que se contaba y no se tenía la seguridad de que tan precisa y acertada eran las lecturas que nos entregaban y a continuación se repitió el proceso para el sensor HIH-3605 de Honeywell con el que se estuvo trabajando.

Dado que los instrumentos de que disponíamos proporcionaban a la vez lecturas de temperatura como de humedad, se aprovechó para corroborar de igual forma su calibración y precisión.

Se tomaron lecturas de ambas variables a lo largo de todo el día y por varios días, para poder así llevar a cabo un análisis de linealidad y darnos cuenta así, si podríamos confiar en tales instrumentos.

*Revisión de Calibración de sensores de Temperatura y Humedad Relativa con respecto a un HMP45D (Vaisala)*

**TEMPERATURA [ °C ]**

PATRON	12A01	8A00	9A01
26.1	23.9	23	23
25.8	23.8	23	23
22.4	22	22	22
20.4	20.3	20	20
19.2	19.1	19	19
19	19	19	19
18.2	18.3	18	18
18.5	18.6	18	18
17.9	18.2	18	18
17.8	18.2	18	18
19.2	18.9	18	18
18.5	18.6	18	18
19.1	19	19	19

Figura 3.8

## HUMEDAD RELATIVA [ %RH ]

PATRON	12A01	8A00	9A01	BARO
32.2	27	32	29	35
12.9	20	21	20	<20
13	22	23	22	20
13	21	22	21	<20
13.5	22	26	24	<20
14	20	21	21	<20
14.49	22	26	25	<20
17.4	21	22	22	20
18	23	25	24	<20
18.8	23	25	24	<20
22	23	26	25	24
24	24	25	25	24
26	27	30	28	
26.9	30	32	30	
27.4	25	29	27	25
27.8	27	29	28	
29.2	31	31	29	
29.6	26	30	28	34
29.7	26	29	28	
30.5	32	32	32	
30.8	32	32	30	
33.1	31	32	30	
35.7	30	32	30	
40	37	39	39	45
41	39	41	41	46
51.3	51	49	47	58
54.5	54	52	50	61
57.4	62	62	59	69
59.5	59	58	56	66

Figura 3.9

<i>Tendencia I2A01 a partir de 26%</i>	
24.91415403	
25.84787719	
26.36661228	Estimación lineal
26.78160035	-
28.2340586	1.03119617 1.76748739
28.64904667	0.05553295 2.11370154
	0.95565545 2.65512826
	344.810945 16
28.75279369	2430.81581 112.795297
29.58276983	
29.89401089	
32.28019229	
34.97761475	
39.43873652	
40.47620669	
51.16214952	
54.48205409	
57.4907176	
59.66940498	

Figura 3.10

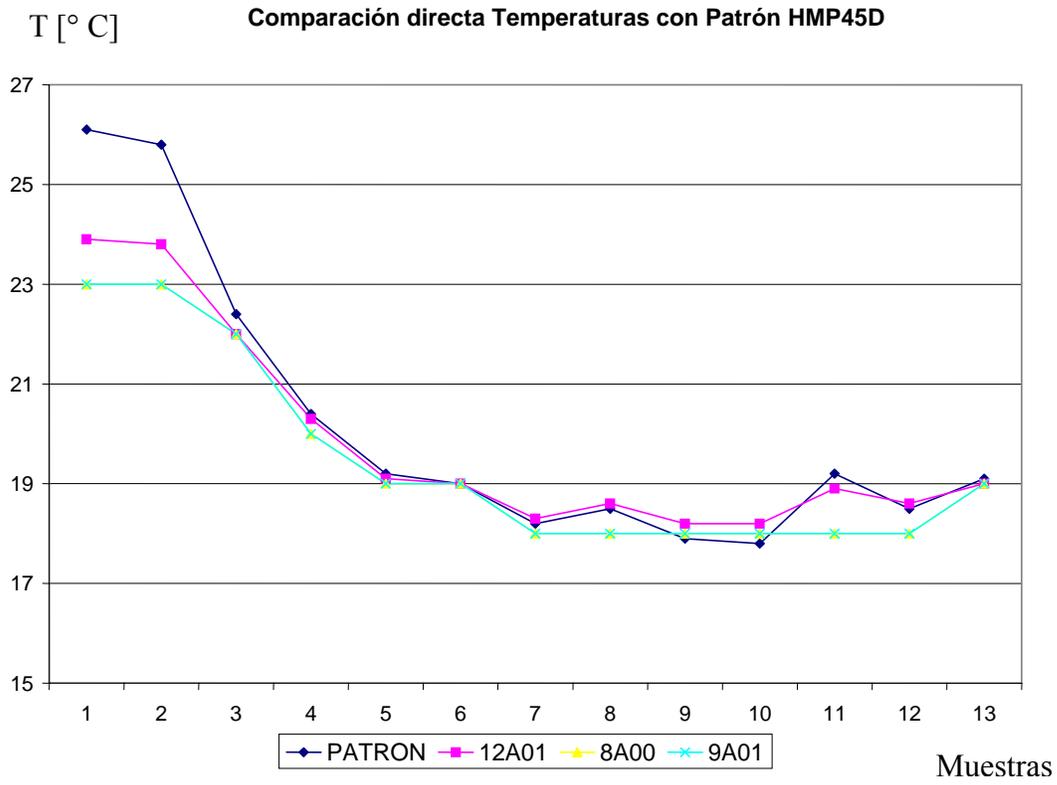


Figura 3.11

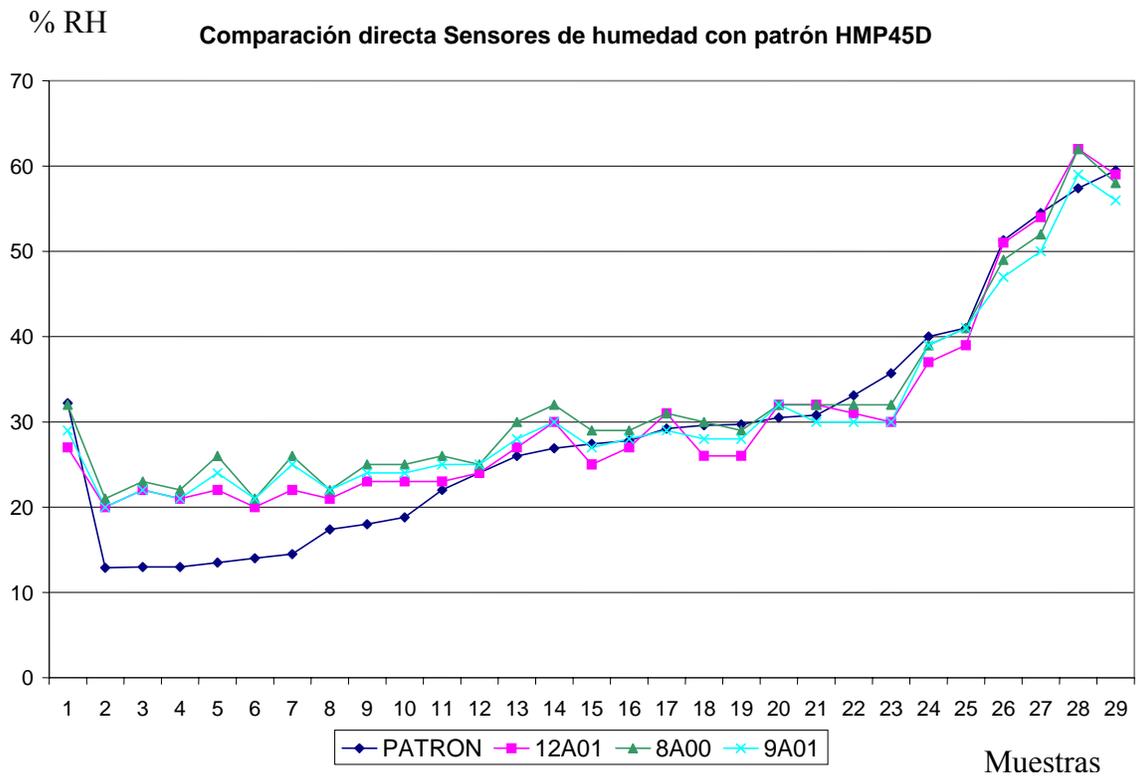


Figura 3.12

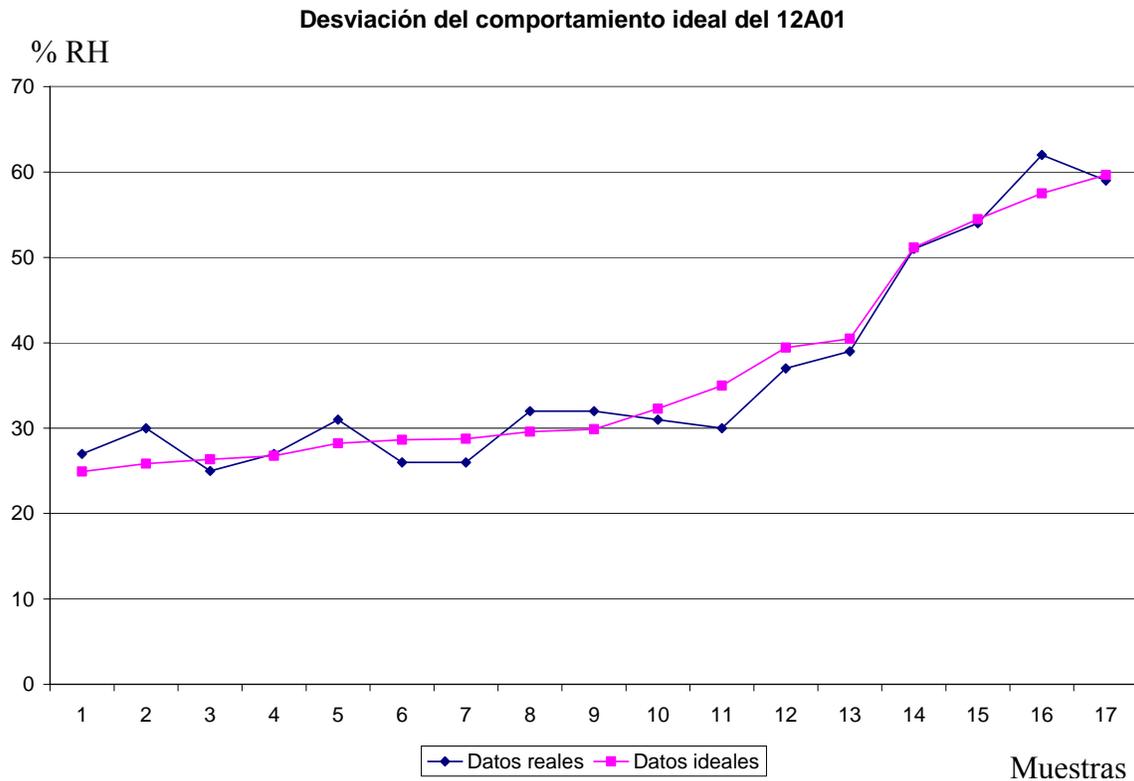


Figura 3.13

Analizando los resultados y las gráficas generadas, después de recolectar datos al menos durante una semana, pudimos darnos cuenta de que los dispositivos a utilizar son lo suficientemente lineales, al menos en los rangos de operación de nuestro interés. Con estos resultados podemos seguir trabajando con los transductores con la seguridad de que las lecturas obtenidas de acercan lo suficiente a la realidad medida con un instrumento patrón.

### Flujo másico

Monitorear en tiempo real, el flujo de gas resulta de suma importancia para el funcionamiento del experimento en si. Para su operación, el experimento detector utiliza un conjunto de electrodos operando a un alto voltaje, mismos que a su vez están inmersos en un gas, (AR 20% & CO2 80%). Este gas es vital para el funcionamiento de la totalidad del mismo.

Se analizaron diferentes formas de poder medir el flujo, la primera opción fue al observar como se llevaba a cabo en el laboratorio actualmente, observamos que era por medio de un rotámetro, pero éste instrumento al ser completamente analógico dificulta un control preciso, además de que no nos entrega una salida que pueda ser convertida fácilmente a una señal eléctrica para ser interpretada por el sistema de adquisición de datos. Existe la posibilidad de poder hacer adaptaciones al rotámetro para que nos pudiera entregar una salida en forma de voltaje proporcional a la lectura, pero esta opción resultaba muy complicada de implementar y casi tan cara como cambiar el sistema en su totalidad.

Después de analizar diversas opciones en cuanto a marcas, presupuestos y tecnologías disponibles, se decidió por la opción que nos ofrecía la marca SIERRA-INSTRUMENTS, por medio de un medidor de flujo de uso específico para laboratorios y que además de venir pre-calibrado de fábrica para el gas utilizado en particular, así como para la cantidad de flujo con que se va a trabajar, que es muy pequeño y resultaba despreciable para la mayoría de las demás opciones por tratarse de usos industriales principalmente, por ejemplo en la industria del gas y del petróleo.



Figura 3.14  
Rotámetro

Pero, aquí surge la pregunta, ¿Porqué medir el flujo másico?

En muchos procesos es la masa y no el volumen, la variable crítica. Las mediciones de flujo volumétrico son menos confiables que las mediciones de flujo másico, debido a que cambios en la temperatura y presión del gas se verán reflejados en la densidad del volumen de gas. En un proceso de control, pueden ser inducidos errores adicionales que se propagarán mientras cambie la presión en el proceso.

De manera contraria a los rotámetros, medidores de turbinas y otros medidores de flujo volumétrico, los medidores térmicos de flujo másico resultan ser relativamente inmunes a cambios internos en la temperatura y presión. Debido a que estos instrumentos miden directamente el flujo molecular, son capaces de entregar de una manera confiable, repetible y precisa un volumen a una tasa deseada.

## El principio de Sensado Térmico

Un gas entra en el cuerpo del flujo del medidor y se divide en dos caminos. La mayor parte del flujo va a través del “bypass” laminar, esto ocasiona una caída de presión que obliga a una porción del flujo conocida hacia el tubo sensor.

Alrededor de dicho tubo sensor se encuentran dos espirales RTD's (Resistance Temperature Detector) que proporcionan una cantidad constante de calor en el flujo de gas. La transferencia de calor entre estos dos elementos resulta de la interacción con las moléculas del gas fluyendo, independientemente de fluctuaciones en la temperatura y presión.

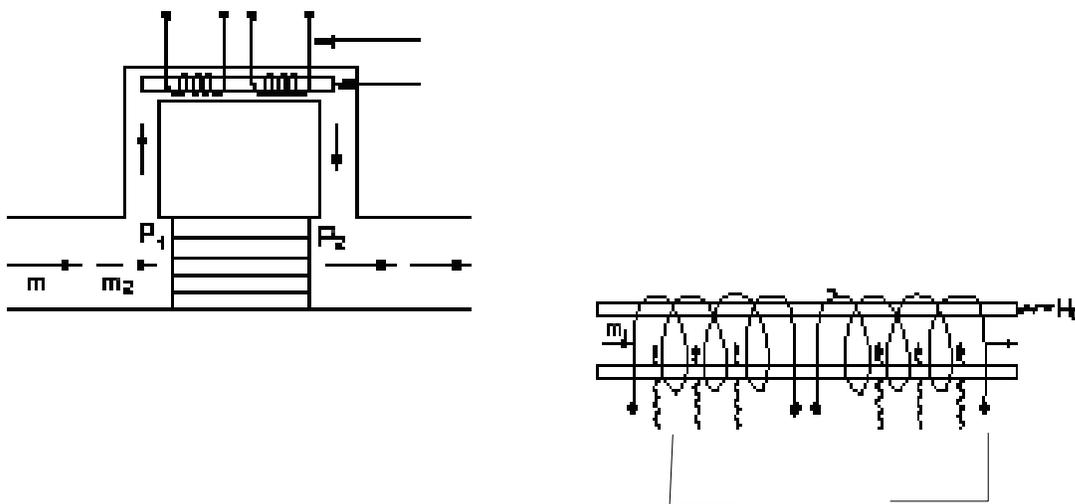


Figura 3.15

En su operación real, el flujo másico del gas lleva consigo calor del serpentín superior al inferior. El serpentín o espiral inferior, por lo tanto tiene una temperatura mayor al de la parte superior. Ambos serpentines son como piernas de un circuito tipo puente con una salida de voltaje, proporcional a la diferencia de la resistencia en a lo largo de los serpentines, que es a su vez proporcional ala razón del flujo másico en el tubo capilar. Ambos parámetros, el calor de entrada y el coeficiente de calor específico, serán constantes.

A pesar de que la salida no es intrínsecamente lineal con el flujo de másico, lo es suficientemente cercano, en el rango de operación normal, el tipo de sensor escogido de la marca Sierra Instruments utilizan un linealizador de 5 a 10 puntos para asegurar la linealidad a lo largo de todo el rango de operación del instrumento.

La precisión sobresaliente de este tipo de medidores se debe en gran parte a la gran estabilidad que ofrece el sensor de flujo, debido a que los espirales internos están contruidos de platino y al Standard NIST (Nacional Institute of Standards and Technology) con que es detectada la temperatura. Gracia a esto, el dispositivo es virtualmente libre de corrimiento, el corrimiento máximo del sensor, en un análisis de dos años fue menor al 0.5%.

Diseñados para reducir costos en aplicaciones analíticas y en laboratorios donde ya se encuentran funcionando sistemas con otros medidores de flujo estándares.

Los medidores de flujo de Sierra Instruments están diseñados para reemplazar los próximamente obsoletos rotámetros con un costo reducido, ya que con estos dispositivos no es necesaria una compensación de temperatura y presión como sería el caso con otros sistemas tales como los mismos rotámetros o medidores de turbinas por ejemplo. Cuentan con un display digital que puede ser removido y seguir funcionando de la misma forma, al mismo tiempo podemos ser capaces de tener una lectura proporcional en forma de voltaje de [0 – 5] VDC o de corriente de [4-20] mA con la que podemos trabajar en el sistema de adquisición de datos.

Existe la posibilidad de tener control y no sólo monitoreo del flujo deseado, mientras que en cualquiera de las dos posibilidades se podrá instalar, de inicio o posteriormente una válvula de seguridad capaz de cerrar el flujo en su totalidad a una orden remota manual o bajo ciertas condiciones dictadas por el mismo diseño del sistema de adquisición se señales y control y monitoreo de las mismas.



Figura 3.16

### Análisis y desarrollo

La mejor manera de analizar y almacenar los datos adquiridos es la de registrarlos de manera digitalizada para su posterior análisis. Muchos instrumentos digitalizan y almacenan los datos en memoria digital para su posterior transferencia a un archivo digital. La señal analógica obtenida directamente de los transductores será entonces digitalizada y almacenada en una computadora utilizando una tarjeta de adquisición de datos.

Para seleccionar la tarjeta de adquisición de datos se tomaron en cuenta diversos factores, principalmente de costo, versatilidad de uso y compatibilidad con sistemas ya existentes, debido a la naturaleza de las señales que se están manejando, esto es, señales analógicas con frecuencias no muy altas

Se eligió trabajar con la tarjeta 6024 de la serie E de National Instruments, por sus características de diseño y prestaciones para trabajar en conjunto con el sistema de adquisición de datos. Esta serie es la más accesible y de fácil uso que nos ofrece la marca que a su vez se eligió trabajar con esta marca debido a que ya existían otros dispositivos y software de diseño funcionando en los laboratorios del Instituto, la serie E nos ofrecía la tecnología suficiente y hasta sobrada, en su momento para los objetivos buscados. Estos dispositivos son utilizados en una gran variedad de aplicaciones donde se aprovechan sus capacidades tales como:

- Adquisición de datos continua de alta velocidad, hasta 200 k muestras / s
- Capacidad de disparo externo
- Sensado y medida de altos voltajes al ser utilizado en conjunto con un acondicionador de señales de NI

Así mismo estos dispositivos presentan un voltaje de referencia altamente preciso, utilizado durante la auto-calibración, que puede ser ejecutada mediante una simple llamada de software, con lo que se minimizan los errores causados por corrimientos en la temperatura principalmente.

Estos dispositivos nos ofrecían la posibilidad de tener diferentes modos de conectar las señales, incluyendo una forma diferencial para ocho canales analógicos y un máxima eliminación de ruido, así mismo una forma referenciada o no-referenciada en el modo simple para todas los 16 canales de entrada analógica.

Esta tarjeta ofrece un Triggering o disparo digital y dos contadores/ timers de 24 bits a 20 MHz, así como ocho líneas digitales de entrada/salida compatibles con ambos 5 V TTL y CMOS y dos salidas analógicas.

Conjuntamente con el hardware es necesario un software de control para interactuar con la tarjeta. Este control se puede llevar a cabo de tres formas distintas. La primera consiste en la programación directa de los registros, es el método que permite más flexibilidad en cuanto a la capacidad de control, pero al mismo tiempo es el más costoso en cuanto a tiempo y dificultad de programación. Otro método es utilizar un driver o software, es decir, una serie de funciones que actuarán sobre los registros de la tarjeta, pero a un nivel de programación superior al de la programación directa de registros, con la que tenemos la misma flexibilidad que el caso anterior, pero en un tiempo de desarrollo mucho menor.

Por último, está la posibilidad de controlar la tarjeta a través de un programa de nivel superior a los anteriores. Esto nos permite el desarrollo de aplicaciones potentes en cuanto a representación y análisis, un claro ejemplo de este método sería el control de la tarjeta a través de LABVIEW.

Aunque en nuestro caso se hizo el desarrollo completamente en Labview, fue necesario conocer el funcionamiento básico del driver correspondiente, para así aprovechar al máximo las prestaciones de la tarjeta. En general cualquier aplicación lo que realiza es un llamado a las funciones de este software.

National Instruments también nos ofrece esta parte del sistema, en este caso utilizamos NI-DAQ, ya que NI lo ofrece en conjunto con la misma tarjeta, NI-DAQ integra una completa funcionalidad del hardware con Labview, el lenguaje que se utilizó para el desarrollo del sistema de adquisición de datos.

NI-DAQ es una librería de rutinas que soporta todas las tarjetas de adquisición de National Instruments. Se encarga de gestionar las entradas y salidas analógicas y digitales, las señales de temporización, el control de DMA para lenguajes de programación convencionales, el control de triggers y el multiplexado. También dispone de funciones para RTSI (Real Time System Integration) y SCXI, también de National Instruments.

El software NI-DAQ incorpora librerías DLL (Dynamic Link Library), esto nos permite una gran flexibilidad para el control de la tarjeta, utilizando diferentes lenguajes de programación.

Gracias a él es posible realizar procesos complejos tales como la sincronización de múltiples dispositivos, mediciones en red, el manejo de DMA y la gestión de buffers y datos de una manera fácil y casi transparente para el usuario.

## Tarjeta de Adquisición de Datos NI- PCI 6024E

La PCI 6024E es una tarjeta de bajo costo, multifunción de E/S para señales analógicas, digitales y de temporización, destinada para computadoras compatibles PC. Sus características principales las describimos a continuación.

- Conversión Analógica-Digital de 12 bits.
  - 16 canales simples o 4 diferenciales
  - Ganancia programable
  - Frecuencia máxima de muestreo de 200 KS/s
  - Barrido de varios canales de entrada
  - Margen de entrada de 0 a 10 V ó de  $\pm 5V$
  - Buffer FIFO de 512 muestras
  - Protección contra sobre tensión de  $\pm 40 V$  encendida y  $\pm 25 V$  apagada
  
- Dos DAC de 12 bits con doble Buffer
  - Salida unipolar o bipolar
  
- Ocho líneas de E/S digitales TTL / CMOS
  - Configurables para entradas, salidas o transferencias bidireccionales.
  - Generaciones de interrupciones
  
- Dos contadores / temporizadores de 24 bits

La etapa de entrada de una tarjeta de adquisición de datos es muy común, para todos los tipos y modelos. Básicamente consta de un multiplexor, que nos permite contar con varios canales de entrada, seguido de un amplificador de instrumentación de ganancia programable. Este amplificador se conecta a otro amplificador de muestreo y retención (Sample and Hold), y finalmente éste proporciona el valor de tensión al conversor Analógico- Digital.

En la figura podemos ver esta etapa general de entrada

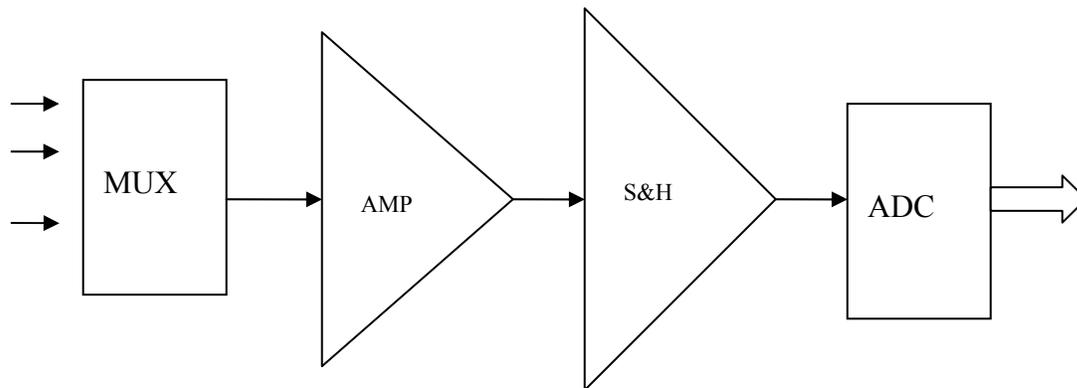


Figura 3.17

Las salidas analógicas se componen básicamente de conversores DAC, que se conectan directamente al bus interno del microprocesador, para cada salida analógica se necesita un conversor AC que normalmente tienen la misma resolución que los AC de entrada.

Los puertos digitales están implementados por medio de un controlador digital paralelo, tal como el 8255.

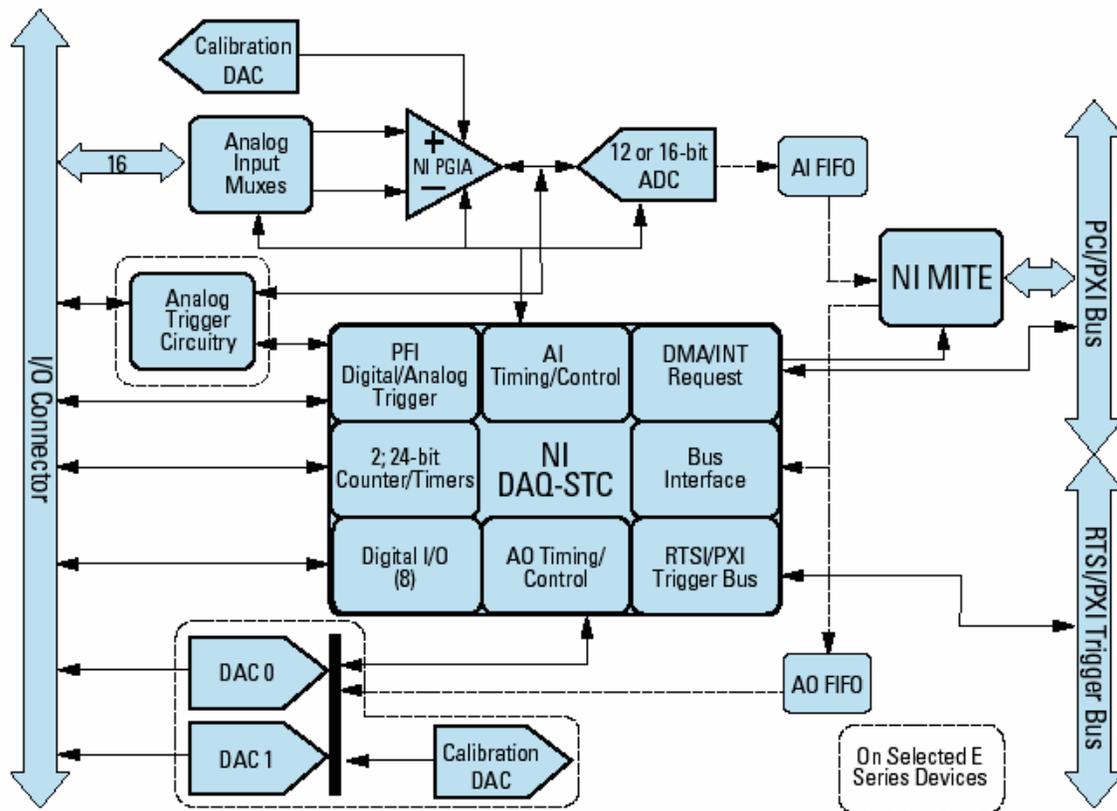


Figura 3.18

En la figura podemos ver el diagrama de bloques de este tipo de tarjetas de adquisición de datos de National Instruments.

En general, casi todos los dispositivos DAQ recientes son del tipo llamado “Plug and Play”, es decir que casi inmediatamente después de conectados se puede empezar a trabajar con ellos.

Independientemente del dispositivo con que estemos trabajando, los pasos que seguimos para iniciar a trabajar fueron los siguientes:

1. Instalar Labview
2. Instalar los drivers de NI-DAQ y MAX (Measurements & Automation Explorer)
3. Instalar el dispositivo DAQ, la tarjeta específicamente.

Para que la computadora y el lenguaje de programación pueda interactuar con el dispositivo es necesario que identifique la tarjeta como un dispositivo único, de esto se encargará el MAX asignándole un número de dispositivo, de esta forma se pueden tener mas de un dispositivo instalados sin generar conflictos de identificación y poder trabajar con ellos ya sea en conjunto o separados.

4. Configurar el dispositivo DAQ

5. Opcionalmente se pueden asignar nombres a las señales con que se va a trabajar

6. Probar el dispositivo. Esto puede ser realizado dentro del mismo MAX

NI-DAQ puede gestionar transferencias de datos por DMA, interrupciones o software de estructura, polling, utilizando principalmente dos sistemas de transferencia de datos, I/O programable y DMA. La velocidad de transferencia, entonces, está limitada tanto por el mecanismo de transferencia como por el ordenador, la tarjeta y el sistema operativo.

El I/O programable es un método de software para transferencia de datos desde la memoria de la computadora a un dispositivo de entrada/salida. Por cada dato el CPU ejecuta un código de transferencia de datos hacia la tarjeta de adquisición de datos, por lo tanto, permanecerá ocupada mientras el dato esté siendo escrito o leído de la tarjeta y no podrá atender a ningún otro código de aplicación; en resumen, el funcionamiento general del sistema será más lento.

Por otro lado, el método de transferencia de datos por DMA hace uso del hardware en lugar del software, para las transferencias entre la memoria de la computadora y la tarjeta, esto requiere de que previamente se programe el chip controlador de DMA, que es el que llevará a cabo las transferencias, independientemente del procesador, por lo tanto, éste quedará libre de tener que ejecutar un código para transferir cada dato y en libertad para ejecutar otras aplicaciones. Sin embargo, el procesador y el controlador de DMA comparten el mismo BUS, lo que de todas formas significa una disminución de rendimiento del sistema, aunque no tanto como en el método anterior.

El haber escogido esta tarjeta de adquisición y debido a la forma en que se ha diseñado el sistema en conjunto, nos permitirá en un futuro si es que así se requiere, la posibilidad de cambiarla por otra de mejores características tales como resolución o velocidad de muestreo del mismo fabricante o de algún otro. Se escogió este fabricante en un principio por su excelente relación costo-beneficio y por la compatibilidad con otros dispositivos ya existentes en el sistema completo.

## ADQUISICIÓN DE DATOS EN LABVIEW

## Instrumentación Virtual

Un instrumento virtual es un módulo de software que simula el panel frontal de un instrumento real, que apoyándose en elementos de hardware, tales como tarjetas de adquisición de datos, tarjetas DSP, instrumentos accesibles vía GPIB, VXI, RS-232, accesibles por medio de la computadora, realiza una serie de medidas y funciones, tal y si se tratara de un instrumento real.

De tal modo que, cuando se ejecuta un programa que funciona como Instrumento Virtual o VI (Virtual Instrument), vemos un panel frontal cuya función es idéntica al del instrumento físico, facilitando la visualización y el control del aparato. Es a partir de los datos reflejados en este panel o display, que el VI deberá actuar, recogiendo datos o generando señales.

Aunque el control de instrumentación por medio de computadoras no es nuevo, ya desde los setentas se utilizaba la PC mediante la interfaz IEEE-488 o GPIB (General Purpose Interface Bus), no ha sido sino hasta los noventas cuando se han logrado grandes avances en cuanto a velocidad y manejo de grandes cantidades de memoria, gracias principalmente a uso de procesadores de 16 y 32 bits y su abaratamiento.

Gracias a las características de Laview como lenguaje gráfico de programación, el proceso de creación de un VI se ve simplificado notablemente, minimizando así el tiempo de desarrollo de las aplicaciones. Cuando creamos un VI en Laview, trabajamos esencialmente con dos ventanas : Una en la que se implementa el panel frontal y otra que es donde se ve implementado el nivel de programación, para esto se cuenta con librerías e indicadores específicos y con la posibilidad de crear más, si así lo requiere nuestra aplicación.

Para crear una variable, basta con agregar o pegar un control de alguna de las librerías en el panel frontal, inmediatamente aparecerá una terminal en la ventana de programación representándolo, el nivel de programación del VI consistirá entonces en conectar y organizar estos puntos formando bloques funcionales hasta obtener el resultado que deseemos visualizar. Los bloques funcionales son íconos de entradas y salidas que se conectan entre sí mediante líneas de flujo por donde fluyen los datos.

La programación gráfica nos permite diseñar un VI de una manera intuitiva, vertiendo las ideas del programador directamente en un diagrama de bloques.

Labview es un lenguaje de programación totalmente adecuado para la adquisición de datos, entre otros motivos por la total compatibilidad con todas las tarjetas de adquisición de datos de National Instruments. Su interfaz gráfica nos ofrece una gran potencia de visualización de señales y dispone de librerías de procesado para tratamiento de las señales adquiridas. Para hacer todo esto posible, Labview ofrece una librería específica de adquisición de datos que nos proporciona una herramienta de trabajo de fácil uso y que nos permite disponer de una mayor flexibilidad en el manejo de la tarjeta de datos.

Son muchos los VI's que nos ofrece la librería de adquisición de datos, desde unas muy sencillas hasta otras orientadas a programación para expertos.

En nuestro caso sólo utilizamos algunos de los más sencillos y fáciles de entender, sin tener la necesidad conocer profundamente el hardware de la tarjeta de adquisición de datos.

### Diseño del Sistema Prototipo de Adquisición de Datos

Primero se explica el funcionamiento de los VI's dedicados a la adquisición de datos analógicos, y posteriormente veremos la manera en que se interconectaron para así llegar a formar el sistema de adquisición de datos.

**AI Sample Channel** (Canales de muestreo de entrada analógica). Este VI adquiere una muestra del canal especificado por la variable Channel. Mide la señal del canal especificado y regresa el voltaje medido.

**Device.** Especifica el número de spot donde está conectado la tarjeta

**Low limit y High Limit** Especifica los niveles de tensión máximos y mínimos que pueden ser medidos con la tarjeta.

**Sample.** Contiene el valor en volts de la muestra adquirida.

**Channel.** Especifica el número del canal que se desea muestrear

**AI Sample Channels.** Su función es la misma que la del VI anterior, con la diferencia de que permite adquirir una muestra de diversos canales

**AI Acquire Waveform.** Adquiere un número específico de muestras a una determinada velocidad de muestreo. Este VI es de uso muy común ya que permite adquirir señales que varían con el tiempo de una forma relativamente rápida. Al trabajar con este VI debemos de tener siempre presente el criterio de Nyquist al adquirir una señal con un determinado ancho de banda. Resulta también útil cuando se desea adquirir señales para una posterior representación o procesado.

**Number of samples.** Determina el número de muestras o puntos que se desea obtener

**Sample Rate.** Especifica la velocidad a la que se van a obtener las muestras. Como sabemos, el inverso matemático de este parámetro resulta ser el tiempo transcurrido entre muestra y muestra.

**Waveform.** Contiene la señal muestreada. Es un Array o arreglo, donde cada posición contiene la muestra en orden temporal de adquisición.

**AI Acquire Waveforms.** Su función es la misma que en la anterior pero en este VI es posible muestrear varios canales en la misma ejecución. Es importante mencionar que la frecuencia de muestreo máxima de cada canal será la máxima especificada por el fabricante dividido por el número de canales a muestrear.

Los VI's que se usan para la generación de señales son equivalentes los de adquisición, ahora la variable sample, corresponderá a voltage.

**A0 Update channel.** Proporciona el valor especificado por voltaje a la salida del canal analógico Channel de la tarjeta de adquisición de datos.

## IMPLEMENTACIÓN

Una vez que entendemos como funcionan los VI básicos de interés particular para la adquisición de datos, además de los de uso general que no se mencionan pero que obviamente se domina su uso, podemos pasar finalmente a la etapa de implementación.

El tipo de programación que se implementó fue de tipo modular, de modo tal que diseñamos, probamos e implementamos módulos independientes para cada función específica y al final se unieron todos en un módulo general, donde una vez que sabemos que funcionan cada uno independientemente, no habrá duda de que funcionen todo formando un sistema completo.

Los módulos son básicamente:

1. Polarización
2. Adquisición de datos de temperatura
3. Adquisición de datos de humedad
4. Adquisición de datos de flujo másico
5. Presentación de los datos adquiridos

Para poder encender cualquiera de los transductores es necesario polarizarlos correctamente. Esto puede ser logrado ya sea individualmente a cada uno por separado por medio de fuentes independientes.

Por ahora se decidió trabajar individualmente con cada uno, polarizándolos por medio de la misma tarjeta, gracias a las salida analógica que nos ofrece y tomando en cuenta la cantidad de corriente que necesita un transductor, no representa problema alguno para ser entregada por la tarjeta.

El primer VI tiene como objetivo, polarizar de manera fija y estable el voltaje necesario para hacer funcionar cada uno de los transductores

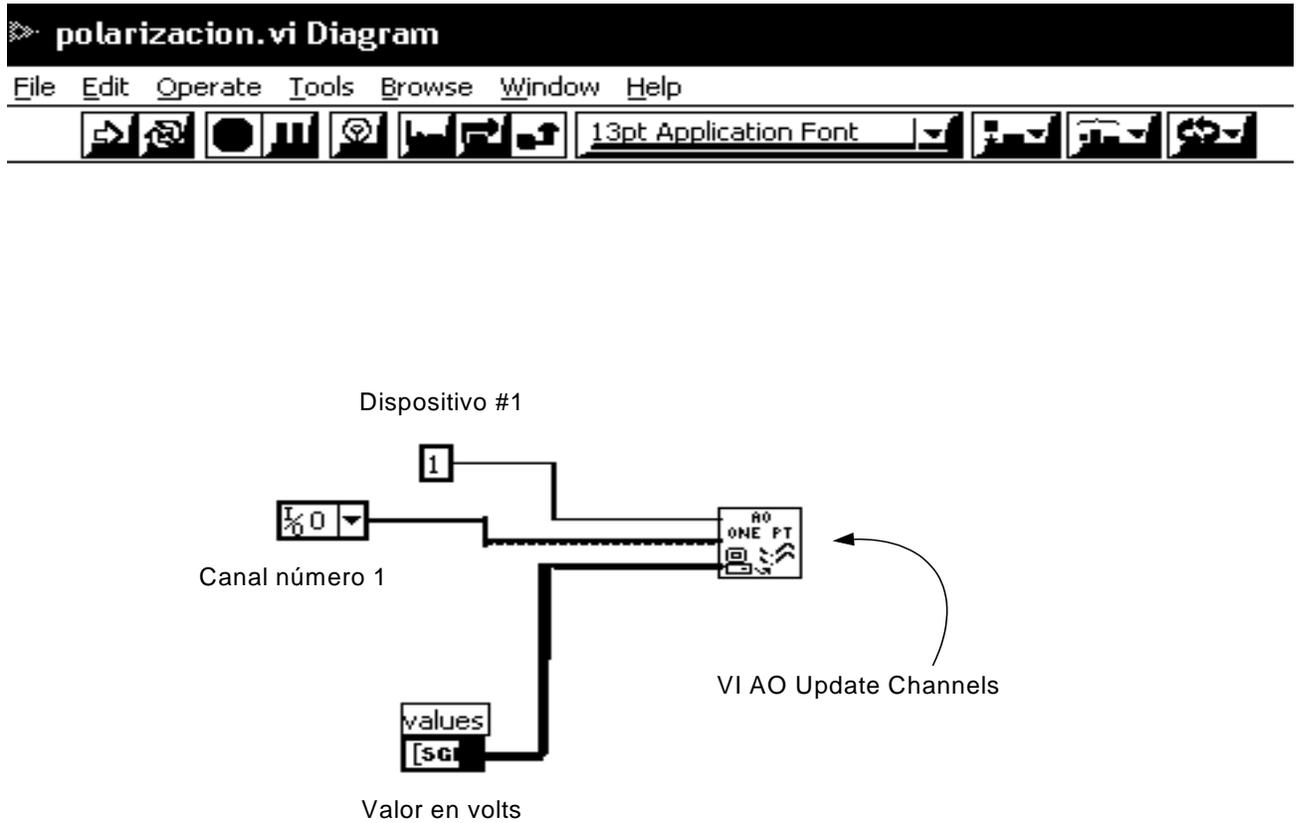


Figura 3.19

Adquisición de datos de Temperatura.

Las señales de temperatura, procedentes de los diferentes transductores o sensores, son todas de muy baja frecuencia.

Lo que se desea hacer primero es adquirir una señal procedente del canal 0 para ser representada en forma de evolución temporal en un indicador tipo “waveform graph” (gráfico de forma de onda) y a la vez en otro de tipo entero.

Como en cualquier problema de programación, son muchas las formas posibles de implementar esta aplicación.

Para implementar el diagrama de bloques se utilizaron los VI's **AI SAMPLE CHANNEL** y **AI ACQUIRE WAVEFORM**. El primero nos proporciona la muestra instantánea y el segundo la representación de la evolución temporal. En la utilización del VI AI Acquire waveform se deberá tener en cuenta la frecuencia de adquisición. Como sabemos, el ancho de banda de la temperatura está cercano a los 10 Hertz, por lo que muestreando a más o menos 20 muestras/ seg se tendría mas que suficiente para una correcta adquisición de la señal. Sin embargo, para que la representación de la señal esté definida lo suficiente se deberá muestrear a una mayor frecuencia.

Es importante hacer notar que la relación entre el número de muestras y la frecuencia fija el tiempo de adquisición. Si no tenemos esto en cuenta se podría llenar la memoria de la computadora de control y almacenamiento y llegar a generar un error en la gestión de memoria.

Finalmente el diagrama de bloques quedó como podemos ver en la gráfica, cabe mencionar que fue necesario hacer un promedio de las lecturas obtenidas para así estabilizar los valores alrededor de un valor central, esto fue implementado con un ciclo donde las lecturas se tomaron “n” número de veces y al final del ciclo promediado entre las mismas “n” veces.

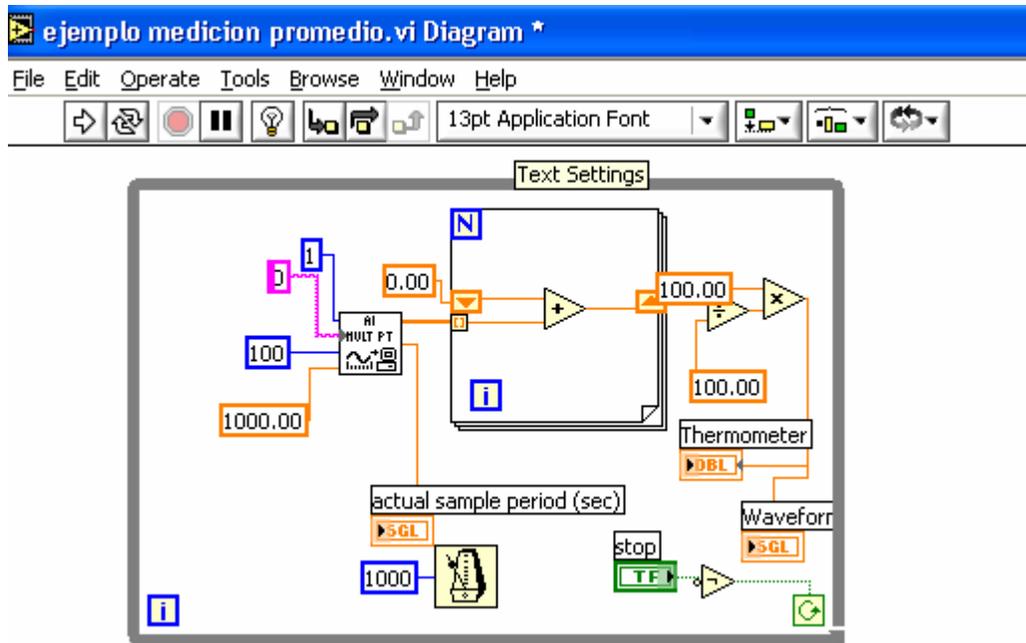


Figura 3.20

El panel frontal quedó como se muestra

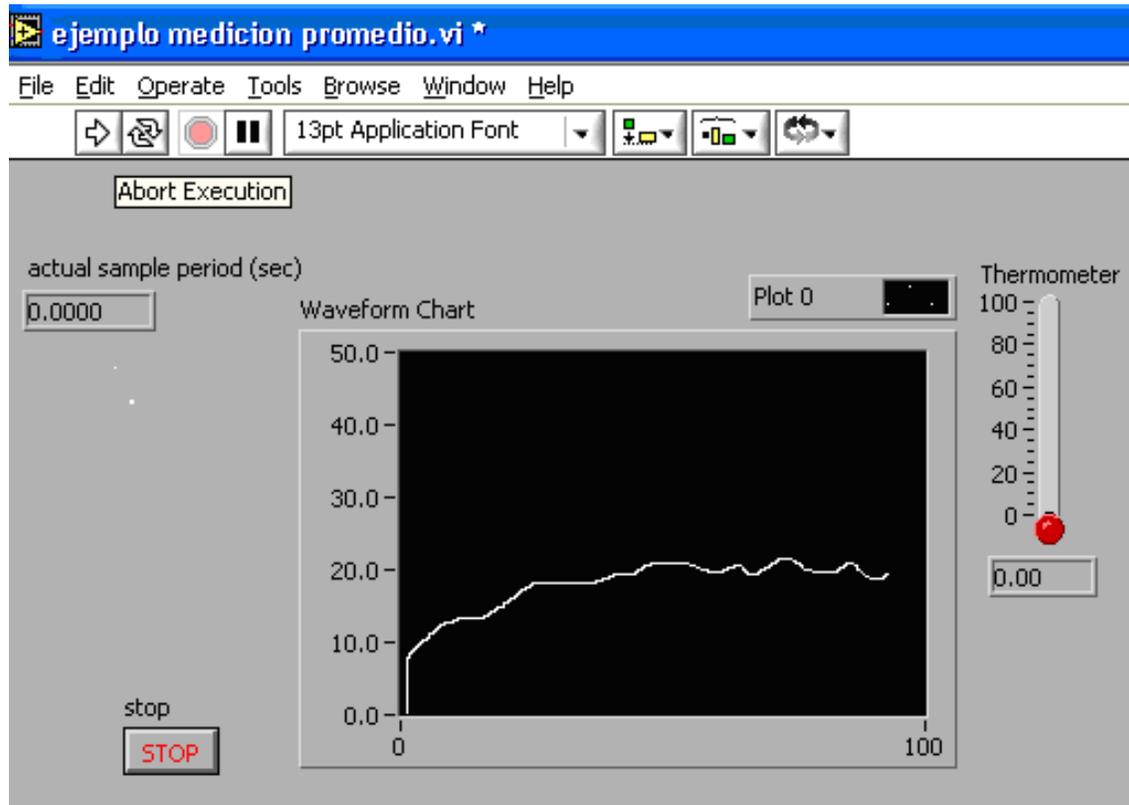


Figura 3.21

Adquisición de datos de Humedad y Flujo másico

De la misma manera que en el caso de la temperatura, se considera a la humedad y el flujo másico como módulos que pueden ser agregados al diseño integral del sistema de adquisición de datos, una vez que funcionan independientemente y como en todos los casos tratamos con transductores de voltaje, que trabajan relativamente dentro del mismo rango de operación. Esto nos facilitó la implementación de los módulos siguientes una vez que tenemos el primero operando correctamente, bastando con mínimas adecuaciones en cada caso particular como la adecuación de los rangos correctos de operación y el acondicionamiento de cada señal en particular.

En el caso de la medición de la humedad el panel final de control resultante fue el siguiente, y para el de la medición del flujo el resultado fue uno muy similar.



Figura 3.22

Finalmente resta hacer funcionar los módulos de forma conjunta, esto no presenta gran dificultad una vez que se ha comprendido la forma de programación modular que se escogió desde un principio.

Gracias a la baja frecuencia de adquisición con que se trabaja, la frecuencia de muestreo y la capacidad de procesamiento de nuestro sistema de cómputo, esto no representa obstáculo para que se lleven a cabo estos tres o más procesos, en caso de ser necesario en paralelo y no es necesario cuidar la sincronización de procesos y la presentación de los datos de manera que pueden ser interpretados rápida y fácilmente para ser analizados y en su caso tomar las acciones necesarias de forma inmediata.

**Resumen y conclusiones**

Antes que nada para poder integrarse al equipo de desarrollo fue importante familiarizarse con el entorno de trabajo en el laboratorio, los diferentes tipos de instrumentación y su correcta operación. Después de esto se hizo un análisis de las condiciones de operación en que se encontrará operando el experimento en su fase final y así poder migrar de las condiciones del laboratorio a las condiciones reales en el sitio de investigación.

En base a lo anterior se decidió que las principales variables de interés y con las que se trabajaría en un principio, serían:

- La temperatura
- El porcentaje de humedad
- El flujo de los gases de trabajo

Se decidió trabajar primero con estas tres variables, pero el diseño que se propuso nos da la facilidad de poder en cualquier momento poder aumentar o quitar variables, al tratarse de un modelo modular.

Se estudiaron y analizaron los principios físicos en que se basa el funcionamiento de cada uno de los diferentes transductores, para cada una de las diferentes variables, para así poder elegir el más fácil de utilizar y el de funcionamiento más simple pero que cumpliera con nuestras necesidades específicas. Se hicieron pruebas de linealidad y calibración de cada uno de ellos para estar seguros de su funcionamiento y poder confiar plenamente en las especificaciones de los fabricantes. En el caso específico de la humedad, no se contaba con patrones de referencia en los laboratorios del instituto, así que recurrimos a la asesoría y ayuda del personal calificado y experimentado en el tema del departamento de instrumentación y electrónica del Centro de Ciencias de la Atmósfera del Instituto de Geofísica de la Universidad.

Para complementar la parte de adquisición de datos, se necesitó de una tarjeta que concentrara las lecturas analógicas provenientes de los diferentes transductores y se encargara de digitalizar estas lecturas para su posterior almacenamiento y análisis. Para éste propósito se eligió trabajar con la tarjeta NI-6024E de National Instruments, basándose en diversos factores, principalmente en la relación costo-beneficio que nos ofrecía.

Para el manejo de todo el sistema y principalmente de la tarjeta de adquisición es necesario un lenguaje de programación capaz de servir de interfase con el sistema de cómputo y con el usuario. Para esto se eligió trabajar con el lenguaje gráfico de programación del mismo fabricante de la tarjeta y de otros dispositivos utilizados en otras etapas del desarrollo del experimento, LABVIEW de National Instruments.

Gracias a este lenguaje fue posible tener una completa integración con las funciones del hardware utilizado, ya que nos permite realizar procesos complejos tales como el manejo de múltiples dispositivos, integración de mediciones en ambientes de red, y la gestión de buffers de datos de manera eficiente y sencilla para el programador, y sobretodo que por complejo que sea el proceso de integración, esto no se ve reflejado al usuario final.

Gracias a las características de Labview como lenguaje gráfico de programación, el proceso de programación se vio simplificado notablemente, minimizando así el tiempo de desarrollo de las aplicaciones. Su interfaz gráfica nos ofrece una gran potencia de visualización de señales y dispone de librerías de procesado para tratamiento de las señales adquiridas. Para hacer todo esto posible, Labview ofrece una librería específica de adquisición de datos.

Se implementó un diseño en la programación de tipo modular, de modo tal que diseñamos, probamos e implementamos módulos independientes para cada función específica y al final se unieron todos en un módulo general, donde una vez que sabemos que funcionan cada uno independientemente, no habrá duda de que funcionen todo formando un sistema completo y en cualquier momento será posible añadir o suprimir módulos, según sea necesario en el desarrollo del experimento.

Los módulos iniciales fueron:

1. Polarización
2. Adquisición de datos de temperatura
3. Adquisición de datos de humedad
4. Adquisición de datos de flujo másico
5. Presentación de los datos adquiridos

En este punto, ya tenemos lecturas reales y confiables de las señales provenientes de los transductores, estas señales, una vez digitalizadas y almacenadas están listas para ser transmitidas del sitio del experimento debajo de la Pirámide del Sol al laboratorio en el Instituto de Física.

**TRANSMISIÓN DE LOS DATOS**

Una vez concluida la parte referente a la adquisición de los datos, y que se encuentra completamente operacional, retomamos el problema que ya había sido mencionado anteriormente pero no se había hecho nada por resolver. Esto es, el problema que nos acarrea la situación de que el experimento se lleve a cabo en un lugar alejado e incomunicado, tal como lo es la zona arqueológica de Teotihuacan en el Estado de México y más aún dentro de un túnel debajo de la Pirámide del Sol, es decir completamente aislado del entorno donde se desarrolló el experimento en su fase experimental.

Con Labview, la publicación y distribución de datos, que generamos con nuestra aplicación, a través de Internet la podemos llevar a cabo de forma muy sencilla y en algunos casos, bastará con realizar algunas configuraciones sencillas.

Las herramientas más comunes para tal efecto aprovechando las virtudes de una red de paquetes pública, tal como lo es Internet serían las siguientes:

TCP/ IP & UDP  
DataSocket  
WebServer

Existen diversas razones para fundamentar el por qué pensar en realizar nuestra aplicación de forma distribuida y no de forma concentrada. La gran mayoría de las aplicaciones actuales recogen, analizan, procesan y visualizan los datos en una misma máquina. Esta forma de implementar está cambiando actualmente, ahora la adquisición de datos ya no se realiza sólo en una misma computadora, sino que existen sensores distribuidos que recogen la información y tienen la capacidad de conectarse directamente a una red, convirtiéndose en un punto remoto de medida, de donde se puede importar directamente los datos a nuestra aplicación.

Otra ventaja de montar la aplicación de forma distribuida es el hecho de poder aprovechar las diferentes características de las diferentes máquinas o plataformas de manera que podamos procesar información en la máquina más potente y visualizar los resultados en otra con características más limitadas.

## OPCIONES DE TRANSMISIÓN DE LOS DATOS

Comunicación de datos vía MODEM

La primera alternativa en que se pensó para poder transmitir los datos una vez adquiridos y almacenados temporalmente fue aprovechando la red celular existente en la zona del experimento. Cabe mencionar que los primeros intentos de hacer esto fueron al inicio de las pruebas relacionadas con el experimento en sí. Hace poco más de dos años. Por este motivo en ese entonces no se tenía la seguridad de contar con la cobertura de que se cuenta ahora en cuanto a la telefonía celular comercial y el primer paso a realizar. Fue por lo tanto necesario verificar el estado de dicha red, para dado el caso analizar otras posibilidades de transmisión de datos, tales como microondas, radio-comunicación o comunicaciones satelitales.

Una vez comprobada la disponibilidad del acceso a la red celular, el siguiente paso fue escoger el modo de transmisión para así poder decidir el equipo con el que sería necesario contar.

Se decidió por aprovechar la experiencia que se había adquirido trabajando con Labview, además de que formaría parte del sistema tanto de adquisición de datos externos como de datos propios del mismo experimento, y así podría llegar a formar un sistema global en conjunto.

Por lo tanto el paso inmediato a seguir fue desarrollar un VI donde Labview fuera capaz de interactuar con un MODEM cualquiera, para posteriormente sustituir la línea telefónica ordinaria por la línea telefónica celular.

Este punto no fue tan trivial como suena, sin llegar a ser muy complejo, pero sí exigió llegar a comprender con claridad la manera en que se llevan a cabo las comunicaciones de la computadora saliendo por un puerto cualquiera y como interactúa este puerto con el exterior para tener respuesta y así realizar una acción determinada. Más que una programación compleja desde cero, lo que se hizo fue aprovechar VIs existentes y así formar un sistema que sirviera a nuestro propósito sin tener que empezar desde cero con problemáticas que ya han sido resueltas en ocasiones anteriores con resultados satisfactorios y en situaciones similares.

Normalmente, los dispositivos que intervienen en una comunicación serie son el Equipo Terminal de Datos (ETD), que suele ser una PC, y el Equipo de comunicación de Datos (ECD), que generalmente es un MODEM. Esta comunicación se lleva a cabo mediante el estándar RS-232 o “Recommended Standard 232” que está definido en las especificaciones ANSI como “la interfaz entre un equipo Terminal de datos y un equipo de comunicación de datos empleando un intercambio en modo serie de datos binarios”. En él se describen las diferentes reglas a seguir para realizar una comunicación serie entre dos dispositivos distantes entre sí.

Las características principales que definen el estándar son:

Velocidad máxima de transmisión de datos de 20 kbps, aunque existen aplicaciones que sobrepasan esta especificación hasta 116 kbps , pero se consideran fuera norma.

Capacidad de carga máxima de 2500 pF. Esto se traduce en una longitud máxima de cable entre la PC y la Terminal de 15 a 20 metros.

Labview nos proporciona herramientas de gran utilidad para el manejo del puerto serie. Todas las funciones que serán necesarias en el momento de establecer una comunicación serie se encuentran ya programadas en forma de VI's. De esta forma la programación de la comunicación llega a ser transparente al implementarse. Labview se ocupa de manejar el puerto convenientemente para obtener o entregar los datos requeridos. Es importante tener en cuenta que siempre se deberá realizar la configuración del puerto serie, inicializándolo según sean las características deseadas para la comunicación, esto sólo será necesario una vez, mientras con cambien las condiciones.

Antes de utilizar el puerto se deberá configurar. Aquí es donde se le indicará a la PC como deberá actuar en el momento de la comunicación, es decir qué número de puerto se utilizará, la velocidad, el tipo de paridad, etc. Teniendo en cuenta que esta misma configuración se deberá igualmente en la PC como en la Terminal remota. Todos estos parámetros pueden ser indicados utilizando el VI específico para tal proceso este es, Serial Port Init.

Una vez que el puerto ha sido configurado, lo siguiente será enviar o recibir los datos, aquí al igual que en la configuración se deberá escoger el VI adecuado y con un par de parámetros de entrada, Labview se encargará de la transferencia de dichos datos, ya que a partir de aquí estará establecida la comunicación y los datos serán enviados. El VI a utilizar será Serial Port Write.

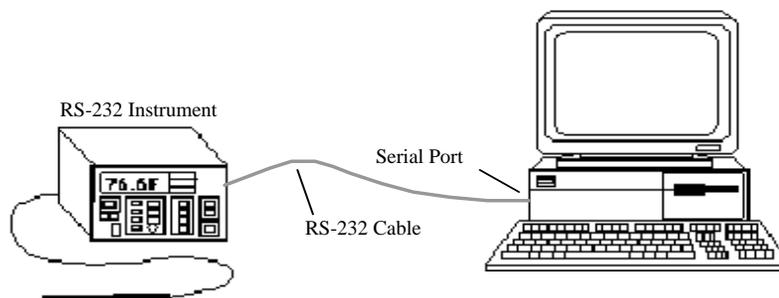


Figura 3.1

El tipo de conector que se utiliza generalmente en las comunicaciones serie basadas en el RS232 es del de tipo DB9.

El objetivo que se busca al utilizar la comunicación serie de una PC conectada a un MODEM y éste a una línea telefónica celular, es poder tener acceso a datos almacenados en la PC desde cualquier otro punto con otro MODEM conectado éste a una línea convencional telefónica.

Para lograr esto, se debieron de programar VI's para ambos extremos de la línea telefónica, uno que establezca la comunicación marcando, y otro para el que está en el extremo remoto que contestará y comenzará a transmitir. El archivo es entonces guardado en el extremo receptor, al terminar esta función, la comunicación es interrumpida, quedando a la espera de que se vuelva a establecer el proceso.

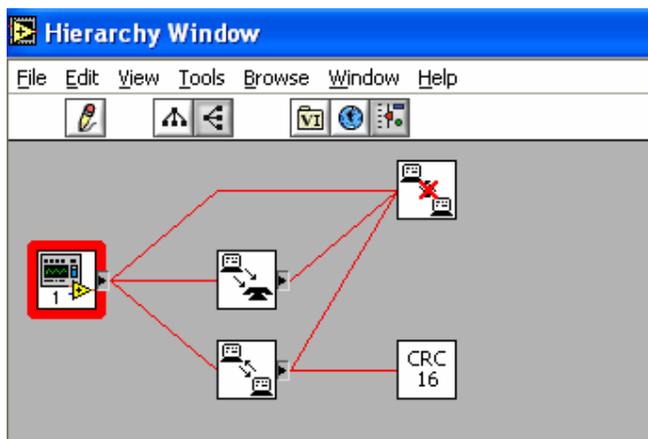


Figura 3.2

Podemos ver en el esquema los bloques principales de que consta el proceso de marcado y transmisión de datos.

Primeramente vemos el bloque, que representa un VI, donde se establece la marcación del número telefónico de la línea conectada al MODEM remoto, este VI utiliza comandos AT compatibles al estándar HAYES para configurar y marcar al MODEM. Una vez que se le ha indicado al MODEM que marque, éste espera una respuesta de al menos 7 bytes, se verifica entonces la respuesta, en el caso de ser "NO CARRIER" o "CONNECT" para determinar si ha sido establecida la conexión. Si ninguno de estas dos respuestas son encontradas, se asume que no ha sido establecida la conexión. De igual forma sucederá si esta respuesta toma un tiempo mayor a 40 segundos. En este caso, el VI encargado de desconectar el MODEM correrá y éste será reinicializado y puesto en estado de espera nuevamente.

Una vez que la parte remota contesta y la comunicación ha sido establecida, pasamos al VI donde se transfiere el archivo. En ambas parte deberá estar corriendo el VI correspondiente, uno para marcar y recibir los datos y otro para recibir la llamada y los mandar los datos.

Al inicio, el VI verifica si la conexión ha sido y permanece establecida., una vez que el proceso de “Handshaking”, el archivo es mandado en paquetes de 107 bytes, esto para evitar que se sobrecargue el buffer y simplificar el código. El extremo receptor verifica la cantidad de datos en los paquetes para así identificar el final del archivo, en lugar de utilizar el carácter de fin de archivo, de esta manera se pueden mandar cualquier tipo de archivo, text, exe, vi, etc.

De tal forma que un archivo quedará formado como sigue:

100b bytes de datos + 4 bytes de código de corrección de errores + 3 bytes indicando la longitud total del archivo.

Cuando el paquete de datos ha sido enviado, el extremo que envía espera la confirmación de que ha sido recibido para determinar que los datos han llegado al otro extremo. Cuando el extremo que recibe los datos ya los ha recibido, éste recalcula el código CRC de detección de errores y lo compara con el que ha sido enviado. Entonces, éste envía un 0 si es que el código es igual, un 1 si es que no lo es y un 2 si es que el código es igual pero el archivo mide menos de 100 bytes.

Finalmente el código quedó como se muestra con su correspondiente panel frontal

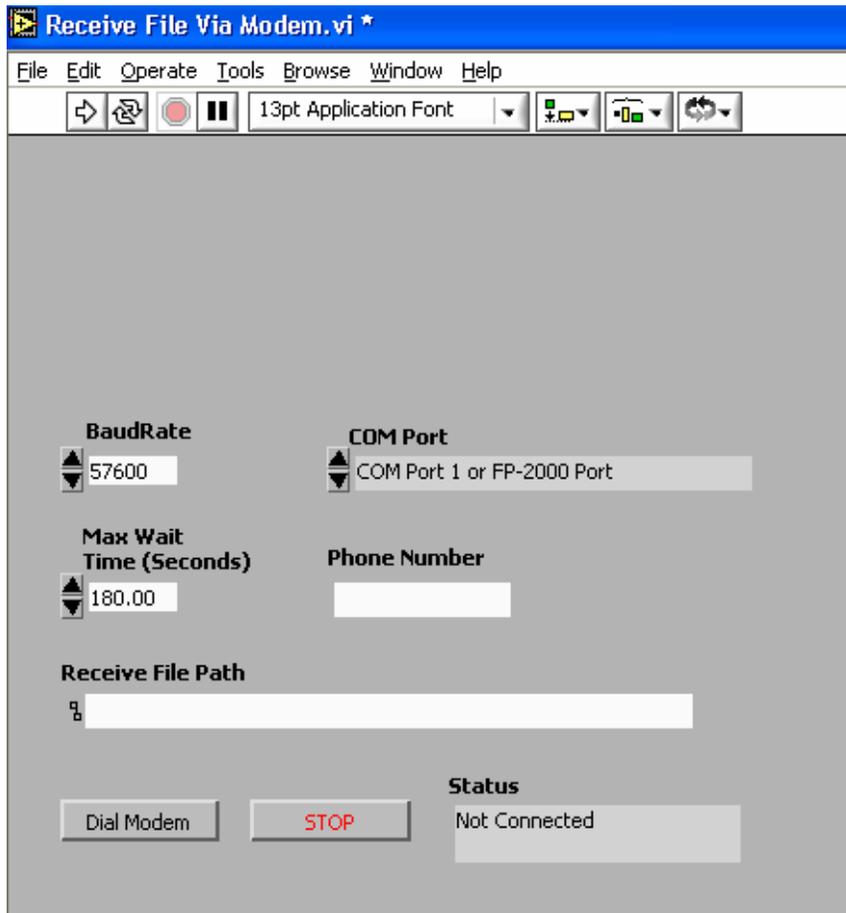


Figura 3.3

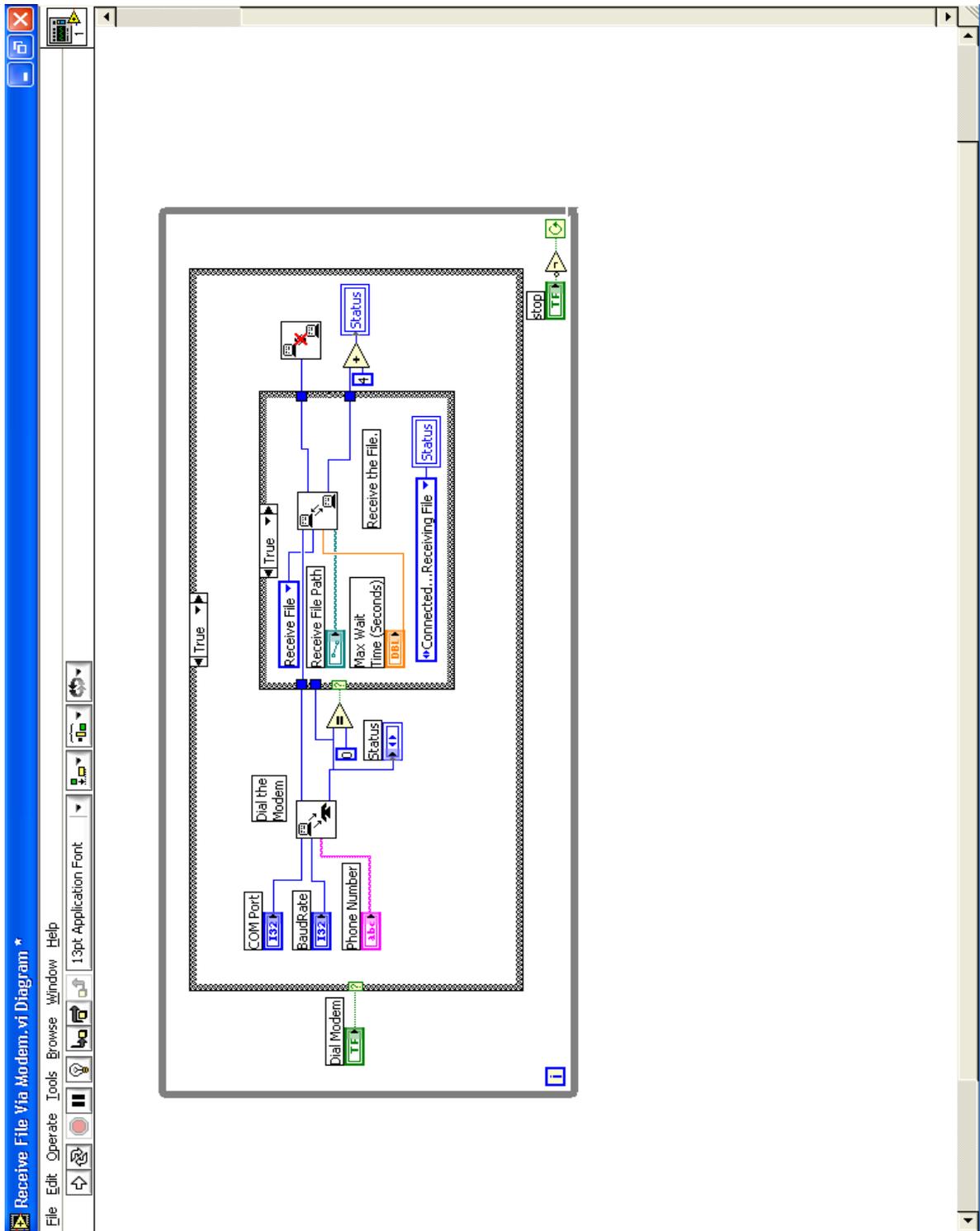


Figura 3.4

Para la parte Remota, que es la que recibirá la llamada, se implementó el correspondiente VI para la transmisión de archivos. Estará configurado el MODEM para autoresponder de forma automática y siempre en espera de la llamada. Cuando la comunicación es establecida, el VI enviará el archivo seleccionado en el campo correspondiente. Al terminar de enviar el archivo el MODEM se desconecta y vuelve a su estado de espera y listo par volver a iniciar el proceso. En el esquema siguiente podemos ver los VI's necesarios para esta etapa.

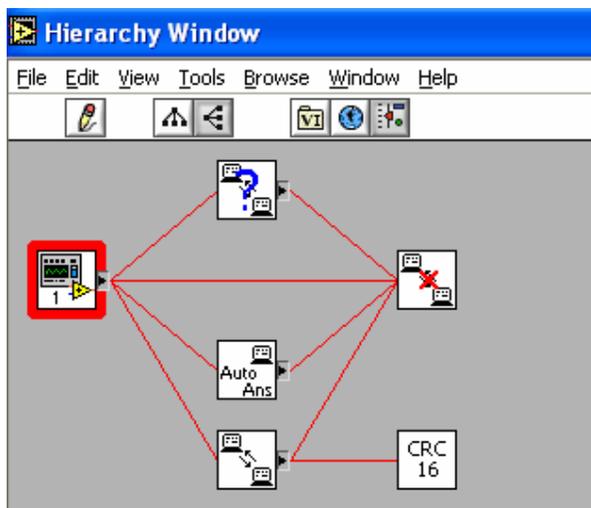


Figura 3.5

En primer lugar tenemos el VI, CHECK FOR INCOMING CALL, que se encarga de verificar el momento en que el MODEM recibe una llamada, esto lo hace verificando el número de bytes en el puerto serie, si hay mas de 15 bytes en el puerto, que es la longitud del string que regresa el MODEM en el momento en que está conectado. Si es así entonces busca por el string “CONN” para establecer que hay una llamada, si “CONN” no es encontrado, se supone que la conexión ha fallado y resetea el MODEM.

El VI, SET MODEM TO AUTO ANSWER, utiliza comandos AT estándar HAYES, para configurar el MODEM y dejarlo en estado de auto respuesta. Si es necesario añadir comandos extra, aquí es donde se pueden introducir

Después tenemos el VI SEND FILE vía MODEM, que se encargará de la transmisión del archivo una vez establecida la comunicación, mismo que ya se ha explicado ya que es el mismo que funciona en el otro extremo de la comunicación.

Finalmente al final de el proceso de transmisión deberá desconectarse el MODEM, resetearlo y dejarlo en modo de espera. Esto lo hacemos con el VI DISCONNECT MODEM.

El código completo y el panel frontal quedaron como se muestra a continuación

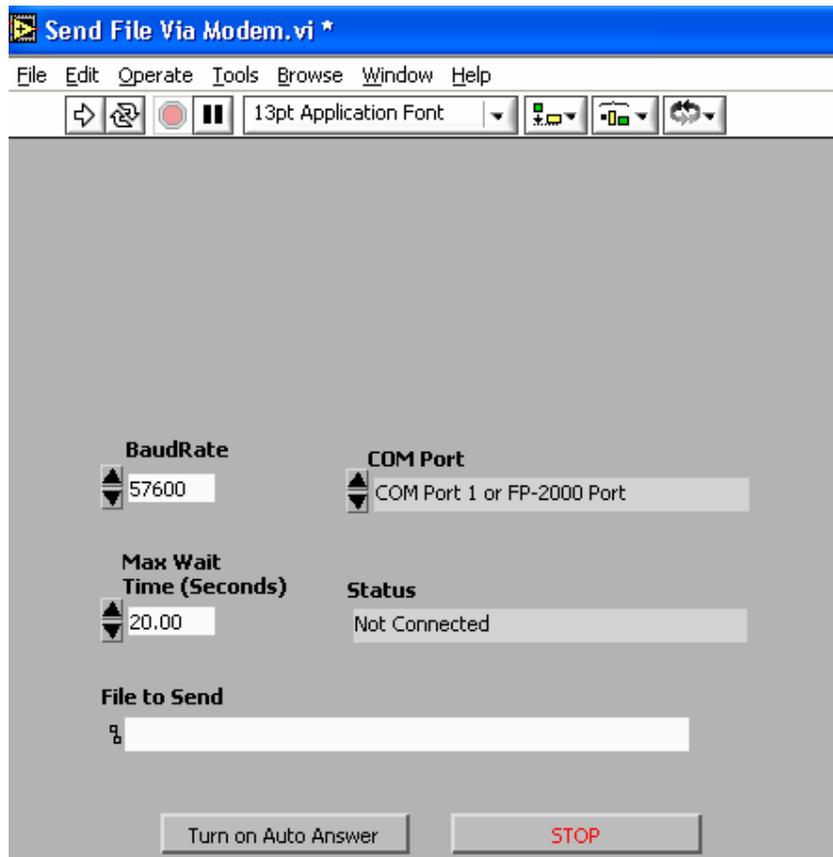


Figura 3.6

Figura 3.7

Como línea remota utilizamos el teléfono celular fijo con las siguientes características.

Teléfono celular.

Teléfono Celular de Unidad Fija: FX2500

Potencia de salida: 3 Watts

Estabilidad de frecuencia  $\pm 2.5$  ppm

Sensibilidad del receptor: 116 dB a 12 dB

Ruido: 32 dB por debajo de 8KHz



Figura 3.8

## Aplicaciones Remotas de Adquisición de Datos vía TCP/IP

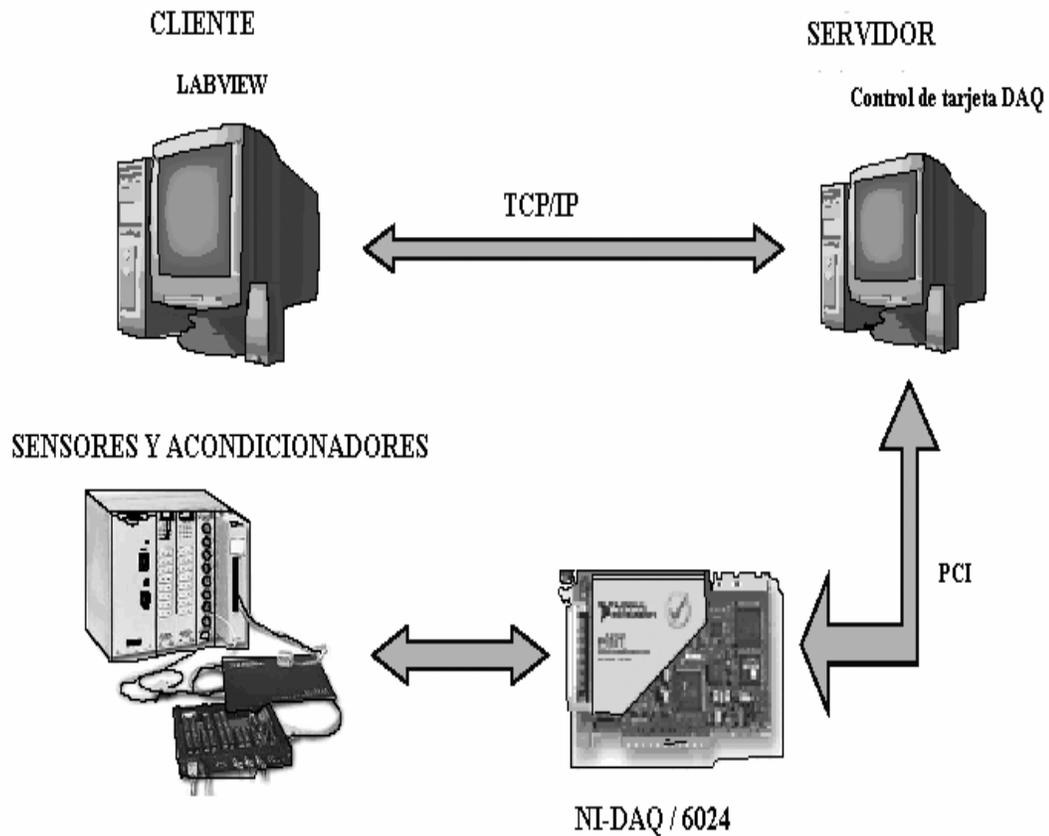


Figura 3.9

Esquema comunicación por MODEM-CELULAR ANALÓGICO  
Pasando por RED-UNAM-Internet

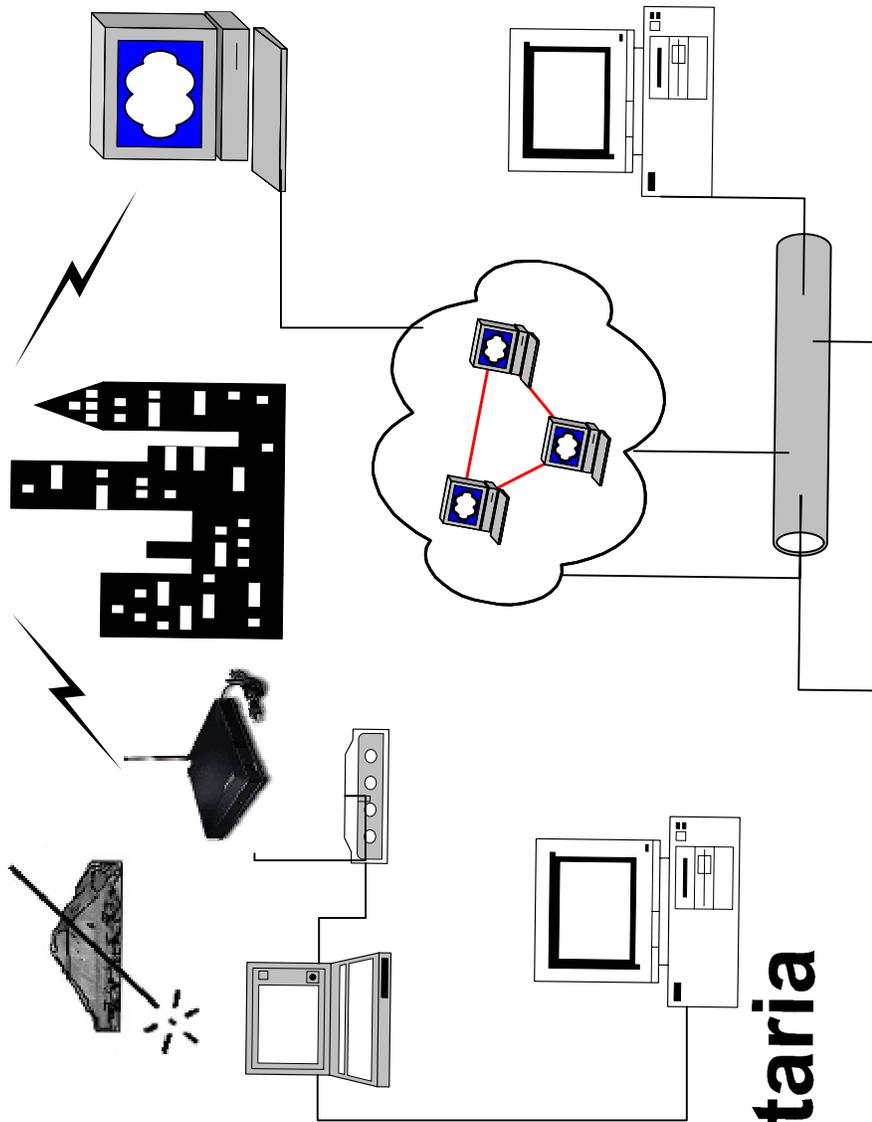


Figura 3.10

Esquema comunicación por MODEM-CELULAR ANALÓGICO  
Conexión Directa

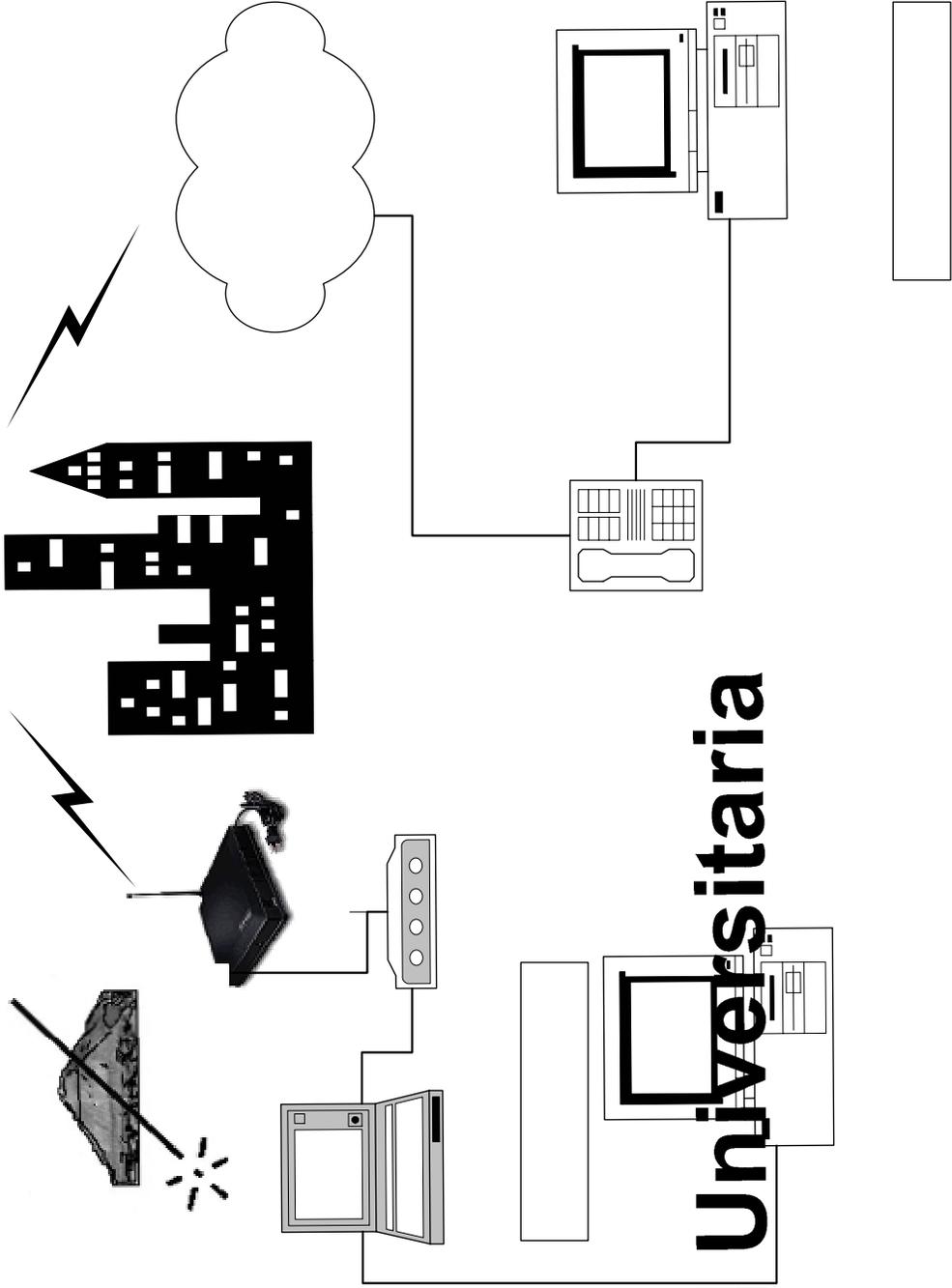


Figura 3.11

### Comunicación de datos vía GSM-GPRS

#### Antecedentes

En 1978, en Estados Unidos se introdujo el Advanced Mobile Phone System (AMPS), aunque su introducción comercial no fue sino hasta 1983 después de resolver los problemas regulatorios con la FCC (Federal Communication Comision).

En Europa mientras tanto la Nordic Mobile Telephony (NMT) dio inicio su operación comercial, haciendo evidente para algunos países europeos que los sistemas de telefonía móvil analógicos tenían bastantes limitaciones. En primer lugar, su capacidad existente se vio sobrepasada por la demanda potencial y en segundo lugar, los diferentes sistemas existentes no ofrecían compatibilidad para los usuarios. Estas circunstancias apuntaban hacia el diseño de un sistema completamente nuevo.

La CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) fue un foro de estandarización que en los 80's incluía a las administraciones europeas de correos y telecomunicaciones de mas de 20 países que llevó a la creación en 1982 de un nuevo organismo de estandarización, cuya labor consistió en especificar un sistema único de telecomunicaciones para toda Europa en la banda de los 900 MHz.

El GSM (Groupe Spécial Mobile) fue creado como la contraparte inalámbrica de los sistemas ISDN (Integratd Services Digital Network) y tuvo su primera reunión Estocolmo. El significado de estas siglas cambiaron después por el de Global System for Movil Communications.

La Comisión Europea empezó un programa de Desarrollo e Investigación de Tecnologías Avanzadas para las Comunicaciones en Europa, llamado RACE (R & D in Advanced Communications Technologies in Europe) que establecería las bases del ambiente de la tercera generación de comunicaciones móviles celulares digitales. La implementación de los resultados del programa RACE establecería una red de comunicaciones integradas de banda ancha (IBCN- Integrated Broadband Communications Network), siendo el sucesor de servicios integrados ISDN.

La elaboración del estándar GSM se llevó casi una década desde 1982 cuando se crea el grupo de trabajo hasta 1992 cuando los principales operadores GSM900 europeos iniciaron operaciones comerciales del servicio.

#### Concepto de PCS

En los años siguientes el comité T1 y la TIA (Telecommunications Industry Association) han trabajado conjuntamente para desarrollar los estándares de los Servicios de Comunicación Personal, PCS. Los sistemas PCS están basados en estos estándares y en la evolución de estos mismos sistemas. PCS es un término

amplio que describe un número de servicios y sistemas, los cuales habilitan a un usuario a comunicarse a cualquier hora, en cualquier lugar y de cualquier forma.

El concepto actual de PCS, y adoptado en la terminología del Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI) es el siguiente:

Un conjunto de capacidades que permiten alguna combinación de movilidad de terminales, movilidad personal, y formas de administración de servicios.

Por movilidad de terminales entendemos, como la capacidad de una terminal inalámbrica de acceder a los servicios de telecomunicaciones desde diferentes puntos mientras está en movimiento, y la capacidad de la red para identificar, localizar y seguir esa terminal. Movilidad personal es la capacidad del usuario de acceder los servicios de telecomunicaciones en cualquier terminal alámbrica o inalámbrica en base a su identificador personal, y la capacidad de la red de proveer estos servicios de acuerdo al perfil del servicio de cada usuario. La movilidad personal involucra la capacidad de la red para localizar la terminal asociada con el usuario para propósitos de direccionamiento, enrutamiento y cobro de las llamadas.

PCS es un concepto de comunicación de alta movilidad que es similar al concepto de celular en muchas formas. Mientras que el sistema celular utiliza macrocélulas, con diámetros de hasta algunos kilómetros, el sistema PCS usa un mayor número de pequeñas células, llamadas micro células. Los sistemas PCS utilizan una tecnología digital, por lo que tiene muchas ventajas sobre el sistema celular analógico, entre éstas destacan los actuales servicios de datos que se pueden ofrecer. Los servicios de PCS se dividen en tres categorías: banda angosta, en el orden de los 900 MHz, banda amplia, en el rango de 1800 a 1900 MHz, y sin licencia, en el orden de 1900 MHz. Son ofrecidos diferentes tipos de servicios en cada una de estas bandas.

Servicios por categoría:

Banda angosta: radiolocalización, mensajería, fax, aplicaciones especiales.

Banda amplia: comunicación de voz, datos, video.

Sin Licencia: LAN inalámbricas, PBX inalámbricas, computadoras portátiles.

La combinación de tecnología digital avanzada y las nuevas capacidades de encriptamiento hacen una red más segura para las comunicaciones inalámbricas. En términos de análisis de costos, los sistemas PCS tienen una tasa de costos más baja comparada con los sistemas celulares, además de que los sistemas base son físicamente más pequeños reduciendo así los costos de instalación.

Otra característica de los sistemas PCS es que al usar técnicas de espectro esparcido puede usar más canales de frecuencia simultáneamente, así como el hacer reuso de frecuencias.

Aunque existen algunas diferencias clave entre los sistemas PCS y los celulares, la evolución de los estándares ha conducido a que las capacidades de ambos sean convergentes, llegando a ser un poco difícil el diferenciar entre sistemas.

Hasta la fecha los proveedores de servicio inalámbrico se habían enfocado principalmente en los servicios de voz. Sin embargo la demanda del mercado le ha exigido a la industria de las comunicaciones inalámbricas el proporcionar servicios de datos inalámbricos. Además, el interés por la comunicación inalámbrica de datos ha ido en aumento, en parte debido a los nuevos servicios de comunicaciones inalámbricas y a la disponibilidad de equipo poderoso de cómputo portátil.

### Segunda Generación (2G)

La segunda generación móvil 2G, corresponde a los sistemas tales como GSM, apoyado por el ETSI, CDMAOne, por parte de ANSI y TDMA (Time Division Multiple Access), también llamado D-AMPS (Digital Advance Mobile Phone Service) al ser la versión digital de AMP. Son todos sistemas digitales con técnicas avanzadas de uso del espectro radioeléctrico con capacidades mejoradas. Se basan en un ancho de banda de 9.6 kbit/s para datos y fax

CDMA (Code Division Multiple Access), es un término genérico que define una interfaz de aire inalámbrica basada en la tecnología de espectro disperso (Spread Spectrum). En estos sistemas todos los usuarios transmiten en el mismo ancho de banda simultáneamente, usando códigos matemáticos para transmitir y distinguir entre las múltiples conversaciones inalámbricas. Los códigos usados para el esparcimiento tienen valores pequeños de correlación y son únicos para cada usuario, así de esta forma un receptor determinado deberá ser capaz de seleccionar la señal deseada.

TDMA consiste en dividir un canal con un ancho de banda determinado en ranuras de tiempo, de manera que los canales virtuales se crean asignando a cada comunicación una ranura de tiempo.

GSM, originalmente fue desarrollado como el estándar europeo para telefonía móvil digital, se ha ido posicionando como el sistema móvil de uso más difundido en el mundo. Trabaja en las frecuencias de 900 MHz, y 1800 MHz en Europa, Asia y Australia y en la frecuencia de 1900 MHz, en Norteamérica y Latinoamérica.

PCS, (Personal Communication Services) es el término colectivo que se refiere a los servicios de telefonía móvil de América en la banda de frecuencias de 1900 MHz.

PDC (Personal Digital Cellular) es el estándar japonés para la telefonía móvil digital en las bandas de 800 MHz y 1500 MHz.

### Generación 2.5 G

La generación 2.5 se caracteriza por el aumento de la velocidad en la transmisión de datos utilizando redes de conmutación de paquetes.

CDMA2000-1X o estándar IS-2000 fue publicado por la TIA y ofrece aproximadamente la misma capacidad para voz que el CDMAOne. Las transmisiones de datos promedio son de 144 kbps. Se refiere a la implementación de CDMA2000 dentro del espectro existente para las portadoras de 1.25MHz de CDMAOne. El término se deriva de N=1, es decir el uso de la misma portadora de 1.25 MHz de CDMAOne y el 1X significa una vez 1.25 MHz.

GPRS, General Packet Radio Service, es la actualización de las redes móviles existentes para posibilitar estar siempre “en línea” y brinda el servicio de Internet con mucha más rapidez, se trata de una tecnología vinculada a paquetes que posibilitan el Internet móvil de alta velocidad, 115kbps, y otras comunicaciones de datos.

### Tercera generación 3G

Pensada para un Roaming global y transmisión de datos a alta velocidad a través de técnicas avanzadas de conmutación de circuitos y de paquetes, soporta tecnología IP (Internet Protocol) y ATM ( Asynchronous Transfer Mode) lo que posibilita acceso a Internet, y en general aplicaciones multimedia móviles, con servicios personalizados y basados en la localización de usuarios.

EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution): Tecnología que da a GSM y TDMA capacidad similar para manejar servicios para la tercera generación de la telefonía móvil, fue desarrollada para habilitar la transmisión de grandes cantidades de datos a alta velocidad 384 kbps.

CDMA2000: tecnología de radiotransmisión que favorece la evolución de CDMAOne/IS95 de banda angosta a la tercera generación, sumando múltiples operadores.

WCDMA (Wideband Code División Multiple Access): tecnología para las radiocomunicaciones digitales de banda ancha de Internet, multimedia, video y otras aplicaciones que exigen mucha capacidad.

Esta modalidad de transferencia es óptima sólo en el caso en que los dos usuarios tengan que intercambiarse una cantidad significativa de datos (transferencia de ficheros o archivos); resulta ineficiente en cuanto los datos a intercambiarse son de pequeñas cantidades o bien, en el caso más frecuente, el tráfico de datos es de tipo interactivo o transitorio, es decir, el tiempo de uso efectivo de los recursos

de la red supone sólo una parte con respecto al tiempo total de conexión (como, por ejemplo, la navegación en Internet a través de la World Wide Web).

Es decir, se tiene el mismo problema para GSM que para la PSTN (Public Switched Telephone Network) o red pública telefónica.

La solución es entonces una modalidad de transferencia por paquetes de datos, en la que los datos de los usuarios, pueden ser transportados por la propia red sin necesidad de una asociación con un circuito físico. Ya se ha dado un paso intermedio en esa dirección con el GSM de fase 2, previendo servicios con acceso a las puertas pertinentes de la red PSPDN (Public Switched Packet Data Network). Sin embargo, siempre es necesario establecer una conexión física (por conmutación del circuito) en la red de radio, incluso cuando se accede a un canal virtual de la red de paquetes.

El resultado de ello es que el recurso de radio es igualmente subutilizado y el usuario ocupa un canal de tráfico (por cuyo uso se tendrá que pagar en base al tiempo empleado), para conectarse a otra red en la cual, la información no viaja a un rendimiento fijo.

Con el sistema GPRS para la fase 2+ del sistema GSM, el acceso a la red de paquetes se lleva al nivel del usuario del móvil a través de protocolos como los TCP/IP (Transmission Control Protocol), X.25, y CLNP (Connectionless Network Protocol), sin ninguna otra necesidad de utilizar conexiones intermedias por conmutación del circuito.

Al contrario que el servicio de transferencia de datos con modalidad de conmutación de circuito, en el que cada conexión establecida se dedica sólo al usuario que la ha solicitado, el servicio GPRS permite la transmisión de paquetes en modalidad “link by link”, es decir, los paquetes de información se encaminan en fases separadas a través de los diversos nodos de soporte del servicio, denominados GSN (Gateway Support Node), una vez que un paquete ha sido transmitido por la interfaz de radio, se vuelven a liberar los recursos, que así pueden ser utilizados por algún otro usuario y el paquete se vuelve a enviar sucesivamente de nodo a nodo hacia su destino.

En los servicios GSM los recursos son gestionados según la modalidad resource reservation, es decir que, se emplean hasta el mismo momento en que la petición de servicio no se ha llevado a término. En el GPRS, sin embargo, se adopta la técnica del context reservation, es decir, se tiende a preservar las informaciones necesarias para soportar ya sea las peticiones de servicio de forma activa o las que se encuentran momentáneamente en espera. Por tanto, los recursos de radio se ocupan, sólo cuando hay necesidad de enviar o recibir datos. Los mismos recursos de radio de una celda se dividen así entre todas las estaciones móviles (MS), aumentando notablemente la eficacia del sistema.

El servicio GPRS, por tanto, está dirigido a aplicaciones que tienen las siguientes características:

Transmisión poco frecuente de pequeñas o grandes cantidades de datos

Transmisión intermitente de tráfico de datos tip burst como en aplicaciones en las que el tiempo medio entre dos transacciones consecutivas es de duración superior a la duración media de una única transacción.

Telemetría

Acceso a Internet usando la World Wide Web

### Arquitectura de la red

Podemos pensar en la red GPRS como una red montada sobre la red GSM. GPRS puede transportar paquetes de datos desde 9.6 a 171kbps. La red GPRS intenta reutilizar los elementos de una red GSM existentes, pero para construir una red celular móvil basada en paquetes, es necesario agregar nuevos elementos a la red, interfaces y protocolos que manejen el tráfico de paquetes como es requerido.

La red GSM proporciona servicios de transmisión de datos desde la fase inicial. Sin embargo, se trata de servicios con modalidad de transferencia por conmutación del circuito, es decir, donde la red, una vez establecida la conexión física entre dos usuarios, dedica los recursos propios hasta que no es solicitado expresamente el establecimiento de la conexión, independientemente del hecho de que los dos usuarios se intercambien datos durante todo el tiempo de conexión.

Los nodos GSN pueden verse como entidades en las que está localizada gran parte de las funciones necesarias para soportar el GPRS. En el GPRS PLMN (Public Land Mobile Network), generalmente hay más nodos GSN y la infraestructura que los conecta, denominada backbone network (ruta de enlace), permite el routing de los paquetes transmitidos por los usuarios de la red o dirigidos a éstos. En relación con la localización de la estación móvil genérica GPRS, se usan los HSN (Home Support Node) y el VSN (Visited Support Node). El HSN es el nodo de la backbone network al que llegan los paquetes dirigidos al móvil en base al valor de su dirección de la red; además, cuando el móvil es localizado en el área gestionada por otro nodo de la ruta de enlace, el HSN vuelve a mandar hacia ese nodo los paquetes destinados al móvil.

EL VSN es el nodo de la backbone network en cuya área se encuentra normalmente el equipo móvil.

La backbone network puede ser una red pública de datos de paquetes, lo que permite limitar los costos de realización, o bien una red de datos de paquetes dedicada optimizada para el soporte del servicio.

A la backbone network también están conectadas las entidades de trabajo intermedio, que garantizan la interconexión de la GPRS PLMN a otras redes de datos como, por ejemplo, la red Internet, las redes PSPDN (Public Switched Packet Data Network), las redes privadas de paquetes y otras.

Las principales funciones desempeñadas por estas entidades son: la conversión de los protocolos y el mapeo de las direcciones de red de las entidades envueltas en la comunicación de datos. Otra nueva entidad necesaria para el soporte del servicio es el GPRS Register.

Las funciones llevadas a cabo por un GPRS register son esencialmente las de memorizar informaciones relativas al servicio GPRS; en particular cada GPRS register contiene:

Información necesaria para el routing de los paquetes dirigidos a un equipo móvil GPRS.

Información relativa al perfil de suscripción del abonado; tales como, informaciones características de la calidad del servicio solicitada por el usuario (QoS = Quality of Service).

La llave de acceso a estas informaciones relativas al abonado genérico GPRS es el IMSI (International Mobile Subscriber Identity).

Cuando se habla de calidad de servicio, QoS, sólo se hace referencia a un conjunto de parámetros de prestaciones que pueden ser observados directamente y medidos desde el punto de acceso al servicio utilizado por el usuario. Los criterios que se usan para valorar la calidad de una prestación de servicio son principalmente:

Velocidad

Cuidado

Fiabilidad

La velocidad con que es servida una petición de servicio puede ser valorado en términos de bit rate con que las informaciones son transportadas o bien en términos de intervalo de tiempo para terminar la petición de servicio.

El cuidado se refiere, al grado de corrección con el que se atiende una petición de servicio.

La fiabilidad del servicio sintetiza la disponibilidad del servicio sin tener en cuenta la velocidad ni el cuidado con que se atienden las peticiones de servicio.

En relación a cada uno de estos tres criterios de valoración es posible distinguir diferentes clases de servicio:

Servicios de altas prestaciones en los que la variación del parámetro prestacional medido es irrelevante (guaranteed service)

Servicios caracterizados por buenas prestaciones y por un valor preciso de la variación del parámetro prestacional (predictive service)

Servicios caracterizados por discretas prestaciones y por un valor no precisado de la variación del parámetro prestacional (best effort service)

Para llevar a cabo una transferencia de datos, lo primero que se hace es definir un contexto PDP (Packet Data Protocol) antes de iniciar una comunicación con una red externa. Un contexto PDP define las características de la conexión, tales como APN (Access Point Name) y Qos. El APN especifica cual es el punto de acceso de la red externa, al acceder nosotros por medio de TELCEL se especifica el valor de “internet.itelcel.com”. Una vez definido el contexto PDP, se realiza la conexión con la red GPRS del “carrier” que nos proporciona el servicio, técnicamente se trata de una conexión con el nodo SGSN que forma la red GPRS.

El último paso es la activación del contexto definido previamente; aquí se crea una tabla de direccionamiento en el nodo SGSN para los paquetes originados y terminados en la terminal móvil. Al finalizar esta etapa ya podemos intercambiar tramas en formato TCP/IP. Cuando se han realizado estos pasos, se activa un cliente PPP que negocia con el servidor PPP del “Carrier” las direcciones IP para el acceso a Internet. Una vez configuradas estas direcciones, ya se dispone del acceso a Internet.

La transmisión puede ser asimétrica entre los enlaces ascendente y descendente, además éstas se gestionan de forma independiente. El modo de transmisión es así debido que ha sido adaptado al tipo de navegación de Web, así una terminal GPRS tendrá 4 veces mayor capacidad de transmisión de bajada que de subida.

Deberán de ser tomados en cuenta los siguientes puntos para utilizar en los protocolos de comunicación.

Entre el SGSN y el GGSN, que existen en toda la red GPRS, se utiliza el protocolo GPRS Tunneling Protocol (GTP), que tiene un nivel superior a los protocolos UDP (User Datagram Protocol) y TCP (Transfer Control Protocol). Estos últimos solamente se pueden utilizar con las versiones 97 y 98, pero para la 99 únicamente es soportado UDP.

#### Capacidades

Los factores más importantes que se deberán considerar para obtener unas condiciones óptimas de operación en los sistemas de comunicación GPRS son:

- La cantidad de tráfico de paquetes de datos y voz manejados
- El número de timeslots soportados
- El esquema de codificación utilizado

En GPRS existen 4 esquemas de codificación definidos CS-1, 2, 3 y 4. El CS-1 es usado cuando la calidad de la señal es mala; el CS-4 es utilizado cuando las condiciones de radio son óptimas.

La tasa de transmisión de datos está dividida en categorías dependiendo del número de slots que se utilicen. De esta manera las velocidades de capa física son:

CS-1= 9.05 kbps  
CS-2= 13.4 kbps  
CS-3= 15.06 kbps  
CS-4= 21.4 kbps

Algunos sistemas, inicialmente soportaban solamente dos esquemas de codificación: el CS-1 y 2, por lo tanto si usamos un MS con CS-4 y 8 timeslots, la máxima velocidad será de 160 kbps. Un cálculo más realista usando un MS con CS-2 y 4 timeslots, la máxima velocidad alcanzada será de 48kbps; esta puede ser incrementada utilizando tecnologías de compresión.

#### GSM / GPRS Clases de MS's

##### Class A (GSM/GPRS)

Esta clase soporta tráfico de GSM y GPRS de manera simultánea.

##### Class B (GSM/GPRS)

Móviles de esta clase pueden tener un attach a GPRS y GSM, pero usando un servicio a la vez. En esta clase el móvil puede hacer o recibir llamadas, o enviar o recibir un SMS durante una conexión de GPRS. Durante una llamada o SMS, el servicio de GPRS es suspendido y finalizado automáticamente después de finalizar la llamada o la sesión de SMS.

##### Class C (GSM or GPRS)

El teléfono tiene un attach a GPRS o a un servicio GSM. Es necesario cambiar de forma manual entre cada uno de los servicios.

### Ventajas y Desventajas

Resumiendo, podemos citar como principales ventajas de los sistemas GPRS

“Always Connected”, un usuario puede estar conectado todo el tiempo que se desee, eliminando así los retardos generados en la reconexión a la red y transferir información en tiempo real.

Tarificación por volumen de datos transferidos, en lugar de en base al tiempo transcurrido. El costo de establecer la conexión a la red es nulo.

Mayor velocidad de transmisión. En GSM sólo se puede tener un canal asignado, mientras que en GPRS se pueden tener varios canales asignados, tanto en un sentido como en el otro. La velocidad aumentará de acuerdo con los canales asignados. Además, GPRS permite el uso de esquemas de codificación de datos que permiten una velocidad de transferencia de datos mayor que en GSM.

Posibilidad de realizar y recibir llamadas de voz, mientras se está conectado a la red GPRS

Modo de transmisión asimétrico, más adaptado al tipo de tráfico de navegación HTML.

Robustez en la conectividad: GPRS mejora la integridad en la transmisión de datos gracias a mecanismos implementados, tales como la codificación de datos, la cuál incrementa su resistencia a condiciones adversas del medio. El grado de codificación dependerá de las condiciones del medio.

Seguridad: Al inicio de la sesión el usuario es autenticado utilizando la SIM. Estos datos de autenticación son validados con los registros de la red. GPRS soporta el cifrado de los datos del usuario a través de la interfaz inalámbrica. Si el usuario se conecta a una red privada corporativa, se puede tener un alto nivel de encriptación.

### Desventajas

Saturación de los canales de comunicación en la radiobase en horas pico, es decir que la capacidad es limitada para todos los usuario.

Las velocidades en la práctica llegan a ser menores que el máximo teórico

## Rangos Frecuenciales

E-GSM900

TX 880 – 915 MHz

RX 925 – 960 MHz

GSM1800

TX 1710 – 1785 MHz

RX 1805 – 1880 MHz

GSM1900

TX 1850 – 1910 MHz

RX 1930 – 1990 MHz

## Máxima Potencia de salida de RF

EGSM900 - 2 Watts (33 dBm), Power class 4

GSM1800 - 1 Watt (30 dBm), Power class 1

GSM1900 - 1 Watt (30 dBm), Power class 1

Sensibilidad &gt; -105 dBm

Espacio entre canales 200 kHz

Modulación GMSK

### Implementación de la comunicación

Antes de comenzar, necesitamos tener la siguiente información disponible referente al Operador de Red.

- **APN (Access Point Number).** Es el nombre del dominio de la red que se va a utilizar antes de que pueda conectarse a la red.
- **Nombre de Usuario y Contraseña.** Utilizados para comprobar la identidad.
- **DNS.** Necesario para traducir los nombres de los sitios web en direcciones que la red pueda reconocer (193.116.254.84).
- **Dirección IP.** Utilizada para identificar su ordenador en la red.

#### Requisitos del Sistema.

Los requisitos del sistema para poder ejecutar la aplicación son los siguientes:

<i>Articulo</i>	<i>Requisitos</i>
<b>Sistema Operativo</b>	Windows 98SE : Todas las versiones Windows Millenium : Todas las versiones Windows NT4 : "Service Pack 6" instalado Windows 2000 : Todas las versiones Windows XP HOME : Todas las versiones Windows XP PRO : Todas las versiones
<b>CPU</b>	Pentium 133 MHZ Requerimientos mínimos del sistema operativo correspondientes
<b>Espacio de Disco</b>	<b>10 Bytes</b>

Figura 3.12

Para todos ellos, deberá estar instalado el Internet Explorer 4.1 o superior (aun si no es el navegador por defecto).

El **Acceso Telefónico a Redes** (Remote Access Service) debe también estar instalado en el equipo

La mejor solución para nuestra aplicación es una unidad celular fija o FCT (Fixed Cellular Terminals). Este tipo de terminales son capaces de emular una línea fija con tono de marcado sobre la red celular conectando un teléfono analógico fax o computadora simplemente por medio de un puerto RJ11 o RS232

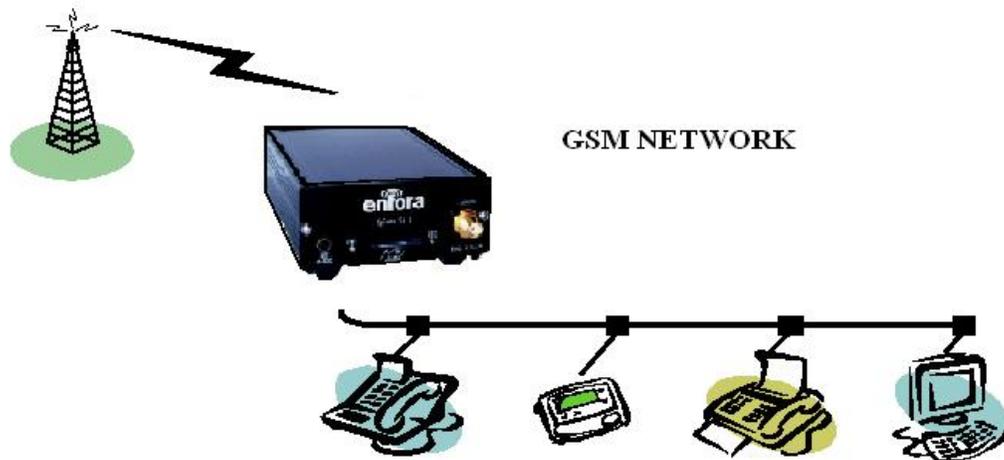


Figura 3.13

Con esta terminal se puede transmitir Datos sobre la red móvil GSM utilizando GPRS o HSCD, por cualquiera de los dos puertos

#### Conexión de línea

Para comunicaciones de datos, hasta el estándar V.90 se puede acceder con la línea con velocidades hasta 56 kbps utilizando un MODEM externo

#### Conexión Serial RS232

Cuando la PC o un dispositivo de datos es conectado de esta forma el dispositivo podría ser utilizado como un MODEM interno. Conectando la computadora en cualquiera de estos puertos se podrá tener una conexión similar a una conexión de MODEM tipo Dial-up de 56kbps y así poder tener acceso a datos como navegar en Internet o correos electrónicos.

### **Instalación y configuración de la Terminal Fija celular como MODEM externo en GPRS**

Abrir el Panel de Control de Windows dar doble clic en el icono de MODEM Aparecerá la ventana de Opciones de TELEFONO y MODEM, seleccionar el fólder de MODEMS

En la opción de MODEMS agregar uno nuevo y seleccionar el modelo de la Terminal de la lista, si no se encuentra el modelo específico, deberá funcionar con un modelo genérico de MODEM.

Seleccionar el puerto adecuado para instalar el MODEM, teniendo cuidado de seleccionar un puerto que no ocupe otra aplicación en la PC.

Configurar las opciones avanzadas del MODEM en el menú de propiedades.

Elegir la velocidad más alta para la conexión con el MODEM. Posteriormente seleccionar la carpeta Advanced, para configurar la cadena de inicialización para la RED GPRS en el campo de Extra Settings.

La cadena a configurar es **+cgdcont=1,"IP","internet.itelcel.com"**

Una vez realizada esta configuración, solo resta regresar al panel de control y crear un nuevo perfil de marcación para el nuevo MODEM, escogiendo el nuevo MODEM como el predeterminado para así crear una cuenta nueva de conexión a Internet con los siguientes parámetros:

Número telefónico: **\*99#**

Deshabilitar la opción de **Códigos de Área y Reglas de Mercado**

Username: **webgprs**

Password: **webgprs2002**

Así, configurado el MODEM de esta forma funcionará de tal manera que sea transparente para la aplicación, y aparezca como si la máquina encargada estuviera conectada a la RED de datos, sin importar como sea esta conexión.

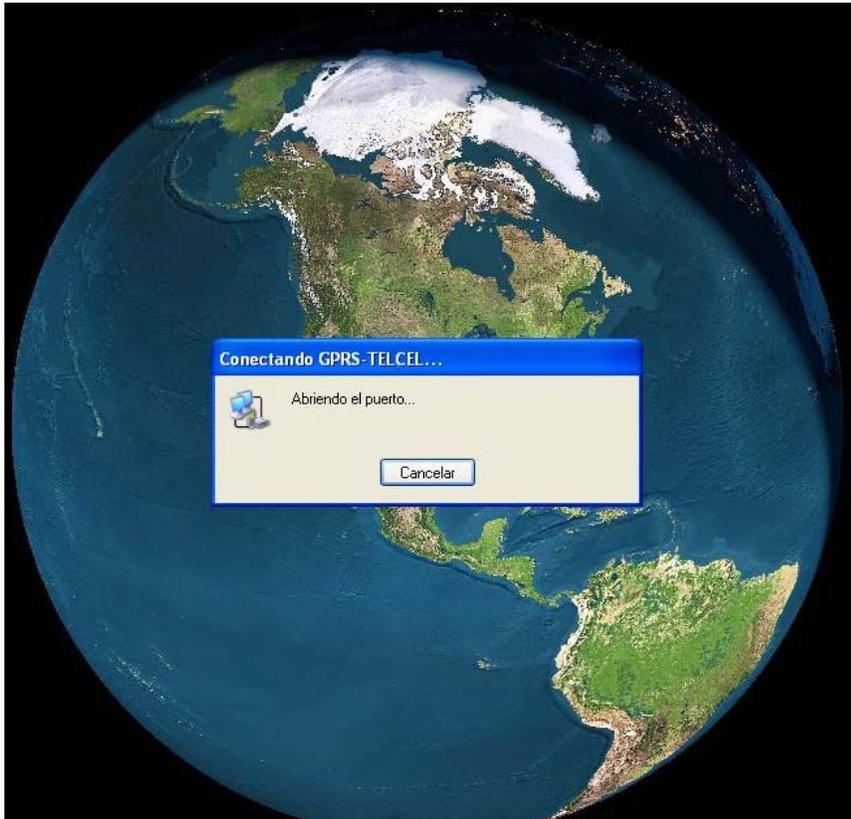


Figura 3.14



Figura 3.15

Esquema de comunicación por GSM-GPRS

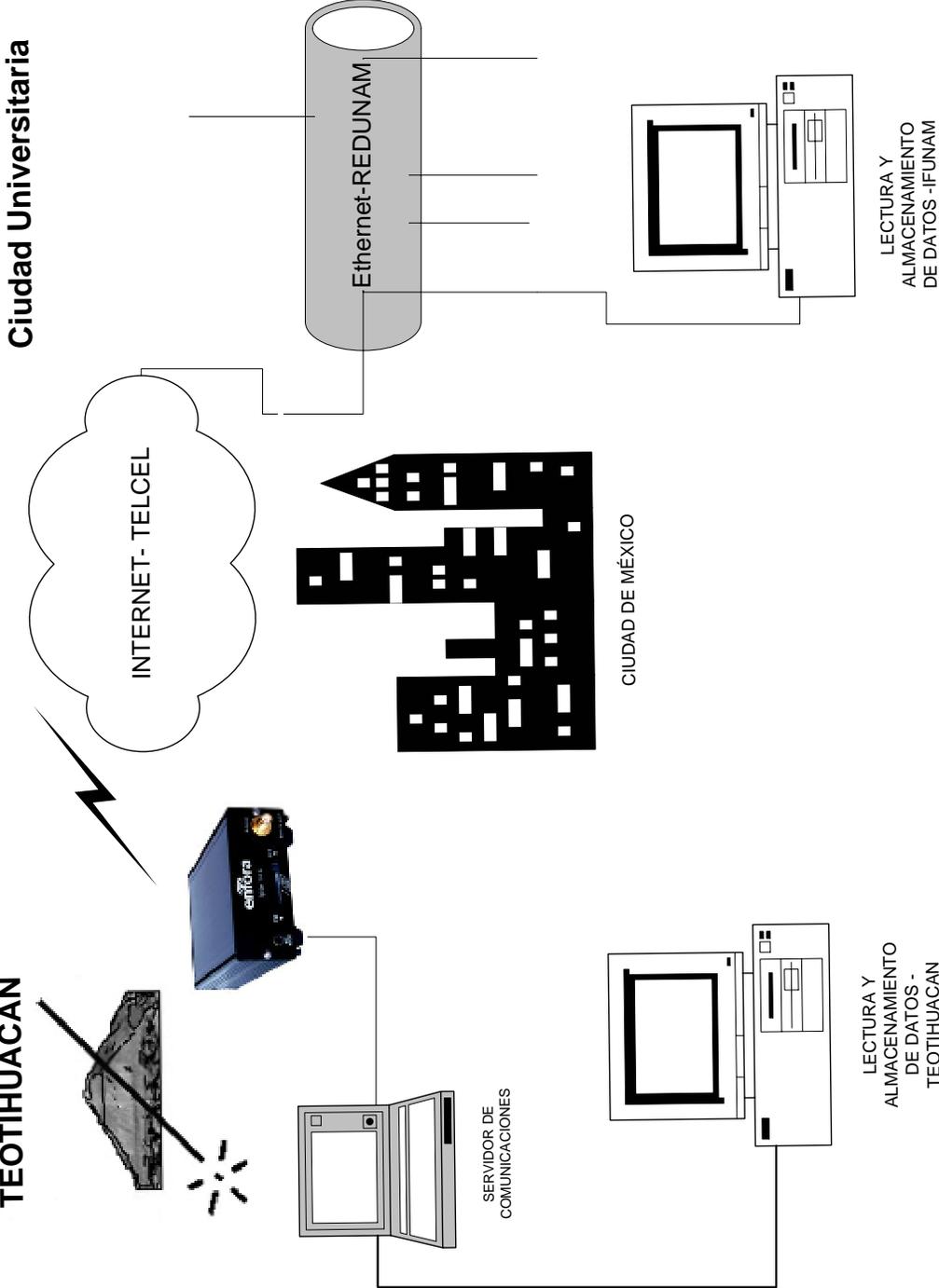


Figura 3.16

## Método alternativo de Transmisión de Datos

### Banda ancha

¿Qué es?

Utilizando la definición más sencilla, un satélite es simplemente una estación repetidora que tiene un circuito de transmisión ascendente desde la estación terrena hasta el satélite, y un circuito de transmisión descendente desde el satélite hasta la estación terrena o hasta la terminal terrena del usuario final.

Un sistema de comunicaciones satelital se divide en dos segmentos en dos segmentos, un segmento terrestre y un segmento espacial. El segmento espacial incluye obviamente el satélite, así como también la infraestructura necesaria en tierra para mantenerlo en operación, realizando las funciones de monitoreo, telemetría y comando. El segmento terrestre consiste en las estaciones terrenas de transmisión y recepción.

La huella del satélite o región de cobertura es el área principal de servicio que cubre un satélite; la intensidad de campo más alta está normalmente en el centro del área de cobertura, reduciéndose su intensidad hacia los bordes exteriores. Aunque teóricamente sería posible cubrir el 42% de la superficie de la Tierra con un satélite, la potencia de la señal recibida sería muy baja, siendo necesario el empleo de estaciones terrenas muy potentes. Por el contrario si lo que se desea es cubrir una pequeña zona, la potencia efectiva sería mínima al estar dirigida y concentrada en un punto.

Una de las principales aplicaciones de las tecnologías satelitales es la capacidad de proveer nuevos servicios de telecomunicaciones que requieren un gran ancho de banda ya que permiten utilizar tecnologías avanzadas de compresión digital para optimizar su capacidad.

Estas tecnologías dan servicio a proveedores de broadcasting de audio y video y a compañías que se dedican a la transmisión multicast de datos basados en protocolos IP y de acceso al Backbone de Internet, telepuertos y portadoras. Gracias a la cobertura que se puede ofrecer y a la potencia de transmisión, se ha logrado que los usuarios lo encuentren como un medio apropiado para ser aplicado en aplicaciones de acceso a Internet, evitando así cuellos de botella terrestres.

La conexión a Internet vía satélite es el sistema ideal de acceso para aquellos lugares donde no llega el cable o la telefonía, por ejemplo en zonas rurales. Pero también en la misma ciudad constituye un sistema alternativo a los demás, por

ejemplo para evitar cuellos de botella debido a la alta saturación a la que están sometidas las líneas convencionales y un ancho de banda muy limitado.

Con un enlace a Internet satelital de dos vías le damos a cualquier aplicación acceso a la más alta tecnología usada por las empresas mundiales no importando el lugar en donde se necesite. Sin los problemas de las conexiones telefónicas ofrece una comunicación accesible, segura y muy rápida conexión a Internet.

Al estar siempre conectado, no requiere teléfono. Además puede compartirse fácilmente en una red local con varias computadoras, sin la necesidad de esperar, siempre está listo debido a que está desarrollado para los usuarios de Internet que buscan más velocidad de acceso en la descarga de archivos y multimedia de una manera fácil, económica y versátil con un mínimo de mantenimiento; ideal para zonas rurales en donde no hay teléfono con velocidades de hasta 1400kbps.

#### Beneficios

Para el usuario es la solución más veloz que existe basada en una tecnología Satelital de dos vías que ofrece una recepción de ancho de banda de hasta 900 kbps o 1800kbps dependiendo del equipo.

El servicio siempre está disponible y puede ser usado el tiempo que sea, no requiere teléfono.

#### Funcionamiento

Al igual que el servicio ADSL, el Internet Satelital es un servicio asimétrico, esto significa que el ancho de banda para la bajada es proporcionalmente mayor que el de subida.

Como cualquier conexión a Internet, las velocidades podrán variar en base al uso o tráfico y podrán ser en algunas ocasiones más rápido que en otras. En el servicio Satelital se pueden utilizar diferentes enlaces satelitales disponibles, por ejemplo se utiliza el satélite Satmex 5 principalmente, obteniendo una gran cobertura en toda la República Mexicana., pero también están disponibles satélites de la compañía INTELSAT y Panamsat, ofreciendo así mayor diversidad de paquetes económicos.

Independientemente de la compañía que ofrezca el servicio el funcionamiento será el mismo, siendo básicamente.

### Enlaces ascendentes y descendentes

Las señales llegan al satélite desde la estación en tierra por lo que se llama "Haz ascendente" y se envían a la tierra desde el satélite por el "Haz descendente".

Para evitar interferencias entre los dos haces, las frecuencias de ambos son distintas. Las frecuencias del haz ascendente son mayores que las del haz descendente, debido a que a mayor frecuencia se produce mayor atenuación en el recorrido de la señal, y por tanto hay que transmitir con más potencia, y en la tierra se disponen de ella.

Para evitar que los canales próximos del haz descendente se interfieran entre sí, se utilizan polarizaciones distintas. En el interior del satélite, existe un bloque denominado Transceptores que tienen como misión recibir, cambiar y transmitir las frecuencias del satélite.

Para conectarse a Internet vía satélite necesitaremos los siguientes elementos:

Módem Satelital (DVB).

Antena parabólica y soporte.

LNB.

Alimentador

Un proveedor que proporcione el acceso a Internet por satélite.

### Módem para satélite

Existen dos tipos de módems para realizar la conexión por satélite en función de la conexión a Internet.

El primer grupo conocido es el formado por los módems unidireccionales, (sat-módem) cuya característica principal es que solo puede recibir datos. Por otro lado encontramos los módems bidireccionales, (astromódem) el cual es capaz de recibir y enviar datos.

Un módem bidireccional, cuenta además con un Canal de Retorno, de subida o uplink, vía Satélite o DVB-RCS, Return Channel via Satellite), .se diferencia de los módems unidireccionales en que éstos que sólo cuentan con un canal de entrada, también llamado directo o "forward" y son conocidos como DVB-IP

En definitiva, con un sat-módem para enviar y recibir datos desde Internet necesitará además ocupar una conexión terrestre (telefónica, por cable...), mientras que con un astromódem no necesitará dicho tipo de conexión adicional, ya que es bidireccional.

Los módems bidireccionales han de ser de DVB-SAT DATA, ( DVB es lo que se conoce como encapsulación), con las siguientes características técnicas:

#### Modulación

QPSK (para recepción) y OQPSK (para transmisión): La técnica de modulación QPSK consiste en la formación de símbolos de dos bits, empleándose cuatro saltos de fase diferentes sobre la portadora, por lo tanto se forman cuatro puntos en la constelación de la señal (diagrama en donde visualizamos los estados de la señal), equidistantes y con la misma amplitud.

#### Codificación

Encadenada Reed-Solomon y Viterbi FEC: Las siglas FEC significan: Forward Error Correction. Describen una técnica para enviar bits redundantes suficientes para reconocer la información afectada por errores y en ciertas instancias corregirla. Existe una gran cantidad de códigos del tipo FEC que permiten corregir errores.

#### Antena parabólica

El diámetro de la antena parabólica esta en función de la zona de cobertura (huella o footprint) del satélite que nos de acceso a Internet. Para orientar una antena hacia un satélite es necesario conocer los ángulos de observación, estos son, la elevación y el azimut.

El ángulo de elevación es el ángulo formado por el horizonte y el plano de la onda radiada de la estación terrena, o bien el ángulo formado por la antena en la estación terrena entre el satélite y el horizonte terrestre.

Si el ángulo de elevación es muy pequeño y la distancia de la antena al satélite es muy grande, eso significaría que la señal atravesaría una gran cantidad de atmósfera terrestre, consecuentemente la atenuación será a tal grado que la transmisión sería inadecuada. Generalmente  $5^\circ$  es considerado como el mínimo ángulo de elevación aceptable.

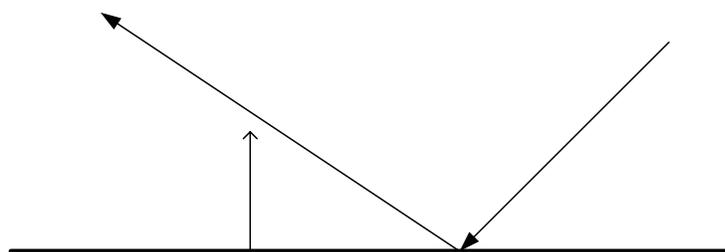


Figura 3.17

## Azimut

## Satélite

El azimut se define como el ángulo horizontal de una antena, se mide en el sentido de las manecillas del reloj a partir del norte que se conoce como el azimut referido a  $0^\circ$ . O bien como puede estar referido a partir de los  $180^\circ$  desde el norte, conocido como azimut referido a  $180^\circ$ .

El ángulo de elevación y el azimut dependerán de la latitud y de la longitud de la estación terrena, así como de la longitud del satélite en órbita.

Los tipos de antenas parabólicas más importantes son los siguientes:

- Foco primario
- Offset
- Cassegrain
- Gregoriana
- Antena plana.

## Ángulo de ele

## Alimentador o iluminador (feed)

El alimentador se encarga de recoger las microondas concentradas en el foco de la parábola y pasarlas al elemento siguiente. El alimentador nos permite recibir todas las polaridades que llegan a la antena, las cuales serán separadas más adelante. Para separar las dos polaridades más usuales (polarización lineal, vertical y horizontal) hay dos tipos de dispositivos:

**Polarrotor:** Permite la recepción de las dos polaridades utilizando un solo conversor LNB. Su funcionamiento se basa en el giro de  $90^\circ$  de una sonda situada en su interior. Como se pierde los canales de la otra polaridad no puede utilizarse en instalaciones colectivas.

**Ortomodo:** Permite la recepción simultánea de señales con polarización vertical y horizontal mediante la utilización de un repartidor de guías de onda en el que una de las guías se gira  $90^\circ$ . A él se tendrá que conectar dos conversores LNB, uno para cada polarización.

Conversor LNB (Low Noise Block)

(Conversor en bloque de baja figura de ruido) y HPA

La señal del haz descendente, que se refleja en la superficie de la antena parabólica, orientada al satélite determinado, concentra toda su energía en el Foco, y a través del iluminador situado en dicho punto, se introduce la señal en el amplificador previo.

La señal captada por la antena es muy débil, por la gran atenuación que sufre en el espacio desde el satélite hasta el punto de recepción y, además, por tener una frecuencia muy elevada, debe ser cambiada para evitar al receptor (sintonizador de satélite) a una frecuencia mucho más baja que se propague por el cable coaxial sin una gran atenuación. El dispositivo encargado de ello se denomina Conversor y al ser de bajo nivel de ruido se denomina conversor de bajo nivel de ruido o LNC, que unido a un amplificador de bajo nivel de ruido o LNA y a un oscilador local, forma lo que se llama LNB (Low Noise Block) o bloque de Bajo nivel de Ruido, que comúnmente se denomina Conversor LNB.

$$\text{LNB} = \text{LNA} + \text{Up/Down Converter}$$

Los LNB deberán de ser capaces de recibir todo el ancho de banda, desde 10.7 a 12.75 GHz, conocida como banda Ku.

La alimentación del conversor se realiza a través del propio cable de señal con sus correspondientes filtros de baja frecuencia en 15 ó 20V de tensión continua.

Al Amplificador de Alta Potencia (HPA, High Power Amplifier) también se le conoce como Transmisor o Transceptor (Transceiver) ya que está en la parte Transmisora, existen varias versiones de HPAs, dependiendo de la potencia radiada y de otros factores. Los hay de estado sólido, los SSPA (Solid State Power Amplifier) o SSHPA, los hay analógicos de de Tubos de Vacío, los TWTs (Travelling Wave Tube), los KPA (Klystron Power Amplifiers). Los SSPAs generalmente se usan para potencias bajas, los TWTs y los Klystron se utilizan para potencias muy altas.

## Bandas de frecuencias utilizadas en la comunicación satelital

Banda P	200-400 MHz
Banda L	1530-2700 MHz
Banda S	2700-3500 MHz
Banda C	3700-4200 MHz 4400-4700 MHz 5725-6425 MHz
Banda X	7900-8400 MHz
Banda Ku1	10.7-11.75 GHz (Banda PSS)
Banda Ku2	11.75-12.5 GHz (Banda DBS)
Banda Ku3	12.5-12.75 GHz (Banda Telecom)
Banda Ka	17.7-21.2 GHz
Banda K	27.5-31.0 GHz

## Ventajas:

Disponible en cualquier lugar.

Proporciona rapidez de conexión y navegación.

Instalación sencilla y fiable.

La conexión a Internet primaria seguirá funcionando independientemente.

Capacidad de acceso a gran capacidad de datos.

Las rentas mensuales son de bajo costo.

Instalación y soporte de instaladores profesionales certificados por el fabricante en USA.

Alta seguridad debido a que cuenta con triple encriptación para evitar accesos no autorizados.

Ideal para redes Internet. Basta conectar un cable Ethernet UTP nivel 5 del MODEM satelital al hub o switch.

## Características del servicio:

Velocidad promedio de recepción de 600kbps y 1000kbps que puede funcionar hasta 700kbps y 1200kbps respectivamente, transmisión 20 a 120kbps.

La velocidad puede variar dependiendo del monto de tráfico en Internet, contenido de un sitio, del desempeño y configuración del equipo con el que se acceda y la zona, por lo que la velocidad no esta garantizada.

Conexión permanente las 24 horas sin límite de tiempo y sin límite de descargas.

Dirección IP dinámica (se puede actualizar el sistema para tener una dirección IP fija aunque no es necesario).

Instalación profesional, con soporte para cambio de transponder (apuntando la antena en el satélite que mejor le funciona en la región)

No hay costo por computadoras adicionales conectadas.

Incluye:

Plato satelital 98cm (antena).

LNB para transmisión y recepción

Base para montar en pared o piso (no tierra)

Hasta 30 metros de cable (15 de transmisión y 15 de recepción, mas no es recomendado).

Módem satelital

Conexión ethernet

Instalación profesional



Figura 3.18

Esquema de comunicación por Banda Ancha Satelital

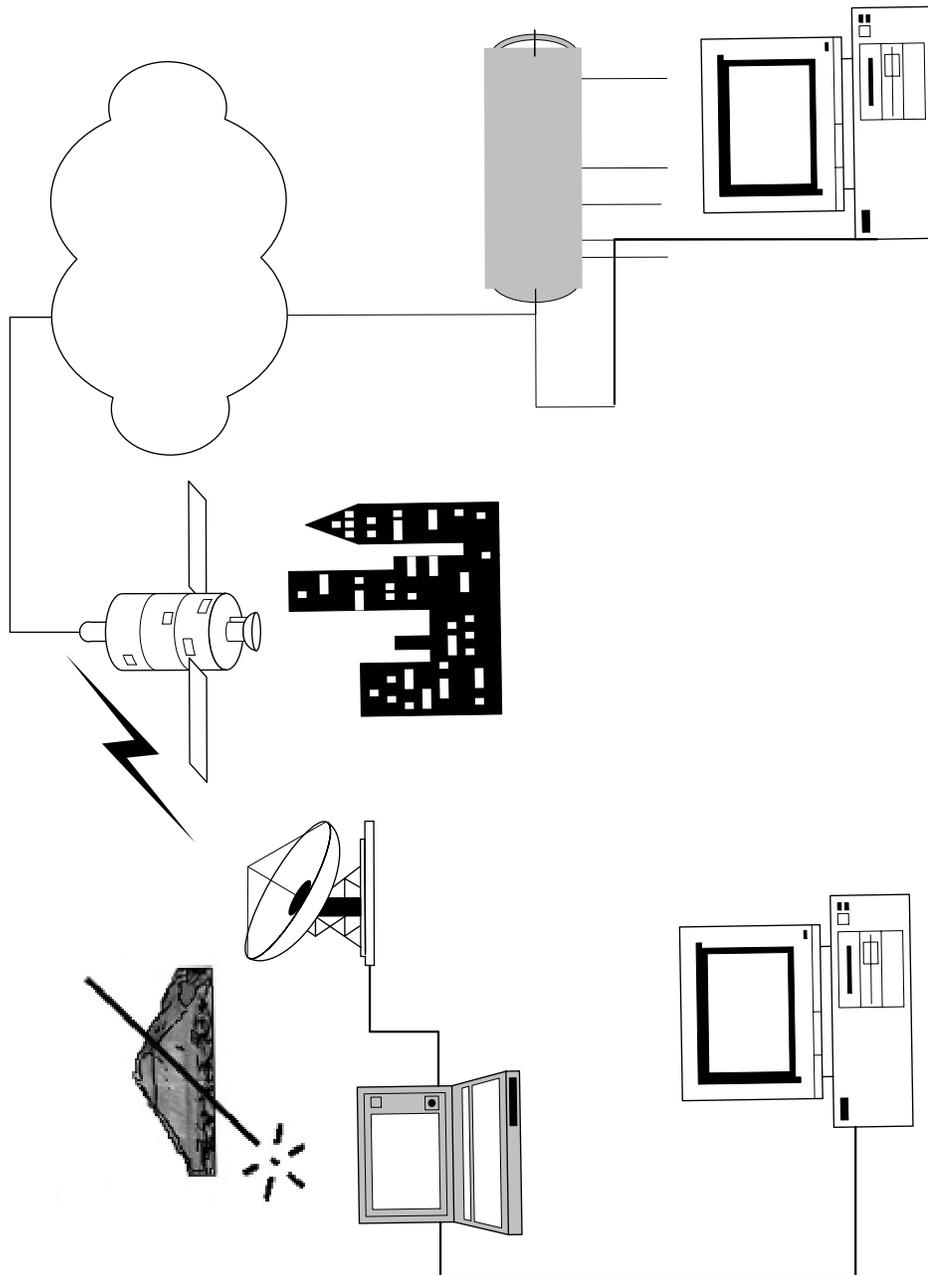


Figura 3.19

**Resumen y conclusiones**

La problemática relacionada a la transmisión de los datos adquiridos dentro del cuerpo de la Pirámide, ya sean los propios del experimento o los de las variables de control, se intentó resolver de diferentes maneras.

Partiendo del hecho de que el sistema de adquisición de datos al final del proceso nos entrega un archivo digital en una dirección determinada y conocida, el objetivo entonces es poder tener acceso a dicho archivo en las instalaciones de los laboratorios del Instituto de Física.

La primera alternativa en que se pensó para poder transmitir los datos fue aprovechando la red celular existente en la zona del experimento. Cabe señalar que en los inicios del desarrollo de este trabajo de investigación no existía comercialmente el mismo servicio con que se cuenta actualmente en cuanto a tecnologías disponibles ni en cuanto a cobertura de servicio, por lo que no resultaba evidente a simple vista la factibilidad de esta opción de comunicación y fue necesario contemplar diversas opciones antes de decidir implementar alguna.

Se decidió por la opción de comunicación vía teléfono celular por ser la más simple y barata de implementar.

En ese tiempo la opción de comunicación celular con que se contaba era únicamente la que nos ofrecía la compañía IUSACELL de México, en su modalidad de CDMA-Analógica, por lo que para poder implementar la transmisión de datos por dicho medio se tuvo que diseñar un sistema capaz de llevar a cabo automáticamente la comunicación del sistema local de cómputo con los puertos de comunicación correspondientes a un módem analógico, y de éste pasando por la red de telefonía pública a otra terminal telefónica cualquiera o bien, que fuera capaz de registrarse también de forma automática a un servidor tipo “Dial-up” de servicio de Internet y así poder tener esa máquina en una red virtual, y de este modo poder tener acceso a los datos de manera remota.

Para esto se utilizó el lenguaje de programación gráfica LabView de National Instruments, mismo que se utilizó en la etapa del diseño de la adquisición de datos. La programación en este lenguaje nos permite desarrollar una implementación modular y de este modo ir agregando módulos conforme se vayan necesitando diferentes funciones. Se implementaron los subprogramas llamados Instrumentos Virtuales o VÍ's con los que se trabaja en Labview, es necesario un VI para cada función que se requiera que el programa realice, desde el acceso al puerto serial, al que se conectó el MODEM, hasta la subrutina donde el MODEM transmite el archivo al otro extremo.

Como fuente de acceso a la red celular se utilizó la Unidad Fija FX2500 de la marca Motorola que como se ha mencionado, utiliza una tecnología que si bien era actual en ese tiempo con el paso este par de años se volvió obsoleta y sin respaldo por parte del proveedor del servicio.

Esta opción, aunque fue ampliamente probada y certificada, presentaba cierta inestabilidad en el enlace y fallas aleatorias en la calidad de conexión atribuidas tanto a la calidad y fuerza de la señal como a las condiciones climatológicas, por que no era una opción confiable al 100%, aunque si lo suficientemente como para poder operar con ella en un principio.

Hechos que nos obligaron a buscar otra opción tecnológica para sustituir esta forma de implementación.

La opción lógica para sustituir la tecnología que se había vuelto obsoleta era simplemente sustituir la parte referente al enlace a la red celular y de esta forma seguir aprovechando todo el desarrollo de software que se había hecho hasta este punto, pero esta forma de operar seguía presentando algunos problemas en cuanto a la calidad del enlace y principalmente en cuanto a los costos de operación, principalmente debidos al tiempo aire de llamada celular que implicaba el hacer una llamada y registrarse en un equipo remoto, en cualquiera de las dos opciones antes mencionadas ya fuera directamente a un equipo remoto terminal o a un servidor para tener acceso a la red Internet. Esto debido a que el registro y transferencia de los datos se seguía realizando de forma analógica por medio de un MODEM diseñado para operar con líneas analógicas y conectado a la red pública de telefonía convencional.

Fue entonces cuando, siguiendo con la investigación de tecnologías alternas, llegamos al descubrimiento del principio de operación de la tecnología celular digital en su modalidad de GSM - GPRS (Groupe Spécial Mobile o Global System for Mobile Communications – General Packet Radio System) y entonces buscamos qué proveedor de servicio nos ofrecía esta modalidad de comunicación celular ahora digital y especializada en transmisión de datos.

La solución es entonces una modalidad de transferencia por paquetes de datos, en la que los datos de los usuarios pueden ser transportados por la propia red sin necesidad de una asociación con un circuito físico y de esta forma establecer una conexión física (por conmutación del circuito) en la red de radio, accediendo a un canal virtual de la red de paquetes.

Con el sistema GPRS para la fase 2+ del sistema GSM, el acceso a la red de paquetes se lleva al nivel del usuario del móvil a través de protocolos como los TCP/IP (Transmission Control Protocol), sin ninguna otra necesidad de utilizar conexiones intermedias por conmutación del circuito.

Resumiendo, podemos citar como principales ventajas de los sistemas GPRS

“Always Connected”, un usuario puede estar conectado todo el tiempo que se desee, eliminando así los retardos generados en la reconexión a la red y transferir información en tiempo real.

Tarificación por volumen de datos transferidos, en lugar de en base al tiempo transcurrido. El costo de establecer la conexión a la red es nulo.

Mayor velocidad de transmisión. En GSM sólo se puede tener un canal asignado, mientras que en GPRS se pueden tener varios canales asignados, tanto en un sentido como en el otro. La velocidad aumentará de acuerdo con los canales asignados. Además, GPRS permite el uso de esquemas de codificación de datos que permiten una velocidad de transferencia de datos mayor que en GSM.

Posibilidad de realizar y recibir llamadas de voz, mientras se está conectado a la red GPRS

Resultan evidentes las ventajas que nos ofrece esta nueva tecnología para la transmisión de datos, que además de ser una tecnología ampliamente soportada por los proveedores de telefonía celular, se encuentra en pleno desarrollo y gran crecimiento en la región, por lo que se espera no se vuelva a presentar el problema que se tuvo al haber tenido todo el desarrollo listo y operativo y por falta de soporte volver a tener que diseñar el sistema de comunicaciones. Actualmente el sistema está diseñado para que si ocurriese este inconveniente, no se tengo que volver a diseñar el sistema desde cero, sino solo sustituir la parte o módulo correspondiente, más aún se ha hecho un estudio de las tecnologías que se encuentran en desarrollo o etapa de introducción y se ha comprobado que, de darse una migración a alguna de estas, el cambio que tendría que llevarse a cabo sería mínimo y de relativa facilidad de implementación.

Una de estas nuevas tecnologías de punta que ya en la actualidad se ofrece es la llamada Banda Ancha Satelital. Esto es un servicio proveedor de Internet por medio de una antena orientada directamente a un satélite, servicio que actualmente es ofrecido por al menos un par de proveedores y se ha comprobado que ya se encuentra operando de forma comercial. A diferencia de servicios satelitales de este tipo que eran ofrecidos años antes, actualmente el usuario final puede elegir el ancho de banda requerida y solo pagar por éste. Anteriormente era necesario rentar un canal de comunicación satelital completo, incrementando los costos enormemente y haciendo esta opción poco factible para un usuario individual, prácticamente imposible por razones de costos altamente elevados.

### CONCLUSIONES

En el capítulo tres, referente a la adquisición de datos, se logró demostrar que era posible llevarla a cabo con el método y los elementos propuestos. Llegando a tenerlo completamente operacional en el ambiente controlado del laboratorio, se procedió a ajustar las condiciones de operación al nuevo entorno en que se va a encontrar por al menos un año de operación continua. Estas nuevas condiciones de operación se describen en el mismo capítulo en la parte referente al análisis de necesidades, donde se ve claramente que estas nuevas condiciones difieren por mucho de las condiciones de cualquier laboratorio. Actualmente se encuentra en etapa de pruebas en el lugar definitivo del experimento donde nos hemos encontrado con que las que alguna vez fueron hipótesis del funcionamiento, ahora son las condiciones reales y es entonces donde se ha puesto a prueba realmente el diseño operacional.

Se encontró por ejemplo, que las lecturas variaban considerablemente fuera de la caseta que se construyó, mientras que dentro de ésta las lecturas se mantenían relativamente estables, favoreciendo esto las condiciones de operación. Se ha encontrado también que la variación de estas variables fuera de la Pirámide no tienen una repercusión directa y considerable dentro del túnel y por lo tanto en las condiciones reales de operación de la instrumentación, que no ha sido diseñada para operar fuera de los ambientes controlados de los laboratorios.

Como parte fundamental del sistema de adquisición de datos, se tiene la tarjeta ADC, que es donde se concentran las lecturas analógicas que entregan los transductores y donde se digitalizan para poder ser analizadas en tiempo real o bien almacenadas para poder hacerlo posteriormente.

La utilización de la tarjeta NI-6024E cumplió sobradamente con las expectativas de diseño y operación, aunque por sus características técnicas resultó ideal para el objetivo estas mismas características nos llegaron a limitar en un crecimiento futuro, debido a las limitaciones de entradas y salidas finitas y que no pueden crecer conforme crezcan las necesidades. Este punto se recomienda ser considerado posteriormente.

Para el manejo de todo el sistema y principalmente de la tarjeta de adquisición se utilizó LabView, un lenguaje de programación gráfica capaz de servir de interfaz con el sistema de cómputo y con el usuario, debido a sus prestaciones ya mencionadas y a la completa integración con otros dispositivos que integran el sistema completo de experimentación, ya que nos permite realizar procesos complejos de una manera lógica y de fácil implementación, debido a que una vez desarrollado y probada una parte, resulta igualmente sencillo ir agregando código de programación para ir resolviendo problemas más complejos a partir de soluciones sencillas encadenadas.

## CONCLUSIONES

Gracias a las características de Labview como lenguaje gráfico de programación, el proceso de programación se vio simplificado notablemente, minimizando así el tiempo de desarrollo de las aplicaciones. Su interfaz gráfica nos ofrece una gran potencia de visualización del proceso en su totalidad para facilidad de interpretación de un usuario final no familiarizado con los procesos complejos internos que se llevan a cabo todo el tiempo de operación.

Se implementó un diseño en la programación de tipo modular, de modo tal que diseñamos, probamos e implementamos módulos independientes para cada función específica y al final se unieron todos en un programa general.

En este punto ya tenemos lecturas reales y confiables de las señales provenientes de los transductores. Estas señales, una vez digitalizadas y almacenadas están listas para ser transmitidas del sitio del experimento debajo de la Pirámide del Sol al laboratorio en el Instituto de Física.

En lo concerniente a la transmisión de los datos adquiridos dentro del cuerpo de la Pirámide, ya sean los propios del experimento o los de las variables de control, se intentó resolver de diferentes maneras, siendo finalmente resuelta de una manera que no se había pensado siquiera al inicio de los estudios de factibilidad y opciones operación y transmisión

Partiendo del hecho de que el sistema de adquisición de datos al final del proceso nos entrega un archivo digital en una dirección determinada y conocida, el objetivo entonces es poder tener acceso a dicho archivo de manera remota, en las instalaciones de los laboratorios del Instituto de Física o en cualquier otro punto que se desee.

La primera alternativa en que se pensó para poder transmitir los datos fue aprovechar la red celular existente en la zona del experimento. Cabe señalar que en los inicios del desarrollo de este trabajo no existía comercialmente el servicio con que se cuenta actualmente en cuanto a tecnologías disponibles ni en cuanto a cobertura de servicio, por lo que antes que nada se realizó un estudio de cobertura y calidad de las señales con que se pudiera contar. De igual forma fue necesario contemplar diversas opciones antes de decidir implementar alguna.

Se decidió por la opción de comunicación vía teléfono celular por ser la más simple y barata de implementar.

En ese tiempo la opción de comunicación celular con que se contaba era únicamente la que nos ofrecía la compañía IUSACELL de México, en su modalidad de CDMA-Analógica, por lo que para poder implementar la transmisión de datos por dicho medio se tuvo que diseñar un sistema capaz de llevar a cabo automáticamente la comunicación del sistema local de cómputo con los puertos de comunicación correspondientes a un módem analógico, y de éste pasando por la red de telefonía pública a otra terminal telefónica cualquiera o

## CONCLUSIONES

bien, que fuera capaz de registrarse también de forma automática a un servidor tipo “Dial-up” de servicio de Internet y así poder tener esa máquina en una red virtual, y de este modo poder tener acceso a los datos de manera remota.

Para esto se utilizó nuevamente el lenguaje de programación gráfica LabView, mismo que se utilizó en la etapa del diseño de la adquisición de datos.

Como fuente de acceso a la red celular se utilizó la Unidad Fija FX2500 de la marca Motorola que, como se ha mencionado, se utiliza una tecnología que si bien era actual en ese tiempo con el paso este par de años se volvió obsoleta y sin respaldo por parte del proveedor del servicio por lo que nos vimos obligados a buscar otra opción tecnológica para sustituir esta forma de implementación.

La opción lógica para sustituir la tecnología que se había vuelto obsoleta era simplemente sustituir la parte referente al enlace a la red celular y de esta forma seguir aprovechando todo el desarrollo de software que se había hecho hasta este punto, pero esta forma de operar seguía presentando algunos problemas en cuanto a la calidad del enlace y principalmente en cuanto a los costos de operación, principalmente debido al tiempo aire de llamada celular que implicaba el hacer una llamada y registrarse en un equipo remoto, en cualquiera de las dos opciones antes mencionadas. Esto debido a que el registro y transferencia de los datos se seguía realizando de forma analógica por medio de un MODEM diseñado para operar con líneas analógicas y conectado a la red pública de telefonía convencional.

Fue entonces cuando siguiendo con la investigación de tecnologías alternas llegamos al descubrimiento del principio de operación de la tecnología celular digital en su modalidad de GSM - GPRS y entonces buscamos qué proveedor de servicio nos ofrecía esta modalidad de comunicación celular ahora digital y especializada en transmisión de datos.

La solución fue entonces una modalidad de transferencia por paquetes de datos, en la que los datos de los usuarios pueden ser transportados por la propia red sin necesidad de una asociación con un circuito físico y de esta forma establecer una conexión física (por conmutación del circuito) en la red de radio, accediendo a un canal virtual de la red de paquetes.

Con el sistema GPRS para la fase 2+ del sistema GSM, el acceso a la red de paquetes se lleva al nivel del usuario del móvil a través de protocolos como los TCP/IP, sin ninguna otra necesidad de utilizar conexiones intermedias por conmutación del circuito.

Además de ser una tecnología ampliamente soportada por los proveedores de telefonía celular, se encuentra en pleno desarrollo y gran crecimiento en la región, por lo que se espera no se vuelva a presentar el problema que se tuvo al haber tenido todo el desarrollo listo y operativo y por falta de soporte volver a

## CONCLUSIONES

tener que diseñar el sistema de comunicaciones. Actualmente el sistema está diseñado para que si ocurriese este inconveniente nuevamente, no se tenga que volver a diseñar el sistema desde cero, sino solo sustituir la parte o módulo correspondiente. Más aún se ha hecho un estudio de las tecnologías que se encuentran en desarrollo o etapa de introducción y se ha comprobado que de darse una migración a alguna de estas, el cambio que tendría que llevarse a cabo sería mínimo y de relativa facilidad de implementación.

Si consideramos que la primera opción de comunicación celular analógica empleada, pertenecía a la Primera generación de telefonía celular y a la utilizada actualmente se le considera parte de la Segunda o 2.5 en cuanto a telefonía celular digital, la Tercera Generación que sería el siguiente paso inmediato se distingue por la convergencia entre redes de datos inalámbricas y las redes globales de datos alámbricas, ya que en la actualidad los servicios de transmisión de datos han sobrepasado la demanda de los servicios de voz.

Algunos sistemas que actualmente ofrecen estos servicios son el CDPD, el GPRS, de ellos se han tomado tecnologías y estándares para la integración de los nuevos sistemas, los llamados de Tercera Generación, propuesto para lograr un sistema global de comunicaciones móviles, como por ejemplo del UMTS o los conocidos como sistemas EDGE que ya se ofrecen comercialmente.

Otra de estas nuevas tecnologías de punta y que pudiera ser una buena opción para nuestras necesidades es la llamada Banda Ancha Satelital, esto es un servicio proveedor de Internet por medio de una antena orientada directamente a un satélite y de éste se obtiene directamente entrada a la red de Internet.

Este servicio que actualmente es ofrecido por al menos un par de proveedores y se ha comprobado que ya se encuentra operando de forma comercial. A diferencia de servicios satelitales de este tipo que eran ofrecidos años antes, actualmente el usuario final puede elegir el ancho de banda requerido y solo pagar por éste en diferentes planes ofrecidos de acuerdo a las necesidades. En años anteriores era necesario rentar un canal de comunicación satelital completo a un operador directamente, incrementando los costos enormemente y haciendo esta opción poco factible para un usuario individual, si no es que imposible por razones de costos altamente elevados.

## **CONCLUSIONES**

Por último se hace la propuesta de que una vez que se encuentre en funcionamiento, implementar un método alternativo de transmisión, para ofrecer redundancia y seguridad en el proceso de comunicación, que si bien no resulta práctico hacerlo desde ahora, una vez que esté funcionando el experimento resultará de vital importancia el tener un enlace de este tipo

Se hace la propuesta de hacer esto por medio de un enlace de datos satelital ya que esto nos simplifica la administración e instalación y al tratarse de un servicio subcontratado cuenta con la garantía de servicio necesaria para poder confiar en él sin problema alguno.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros

Tocci, Ronald J.  
Digital Systems, 5th Ed, Prentice-Hall, 1991

Halliday & Resnick,  
Fundamentals of Physics, 3E, Wiley 1988

Sears F., W. Zemansky, M. W., Young, H. D.  
University Physics, 6th Ed., Addison-Wesley, 1982.

Antonio Manuel Lázaro  
Labview 6i, Programación Gráfica para el control de instrumentación  
Paraninfo, Thompson Learning, España 2001.

Bruce Mihura  
Labview for Data Acquisition,  
National Instruments, Virtual Instrumentation Series, United States, 2001

Larry D. Jones, A. Foster Chin  
Electronic Instruments and Measurements, 2nd ed,

Introduction to Labview 7 and Data Acquisition (NI-DAQmx)  
Prentice Hall, New Jersey, 1991.

Interfacing Sensors to the IBM-PC, Willis J. Tompkins, John G Webster  
Prentice-Hall 1998, New Jersey- USA.

Enfora GSM-GPRS Spider SA User Manual GSM0000PB001MAN

GSM\_GPRS Modem Manager User Manual GSM0000PB003MAN

## Tesis

Ake Jarkin, Manuel Alejandro

Evolución hacia la tercera generación de sistemas móviles a través de la tecnología GPRS

Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM-México, 2005.

Sánchez Gómez, Patricia María

Análisis del desempeño de las redes celulares GSM-GPRS

Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM-México, 2005.

Robles Mendoza, Alfredo

Análisis de implementación de la tecnología GPRS en redes GSM

Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM-México, 2004.

Bautista Betanzos, Angélica

Diseño de un sistema prototipo de comunicaciones de telemetría para la supervisión del consumo de energía eléctrica basada en la tecnología GPRS

Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM-México, 2005.

Hernández Olvera, José Raul

Comunicación de datos de una red de estaciones hidrológicas utilizando la tecnología GSM

Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM-México, 2005.

Acosta Mendoza, Luis Enrique

Comunicación entre sistemas de control de paso del tren ligero de la Ciudad de México utilizando tecnología GPRS

Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM-México, 2003

## Ligas electrónicas

<http://www.national.com>

<http://www.flowmeterdirectory.com/>

<http://www.info-labview.org/>

<http://www.ni.com>

<http://www.honeywell.com/>

<http://www.sierrainstruments.com>

<http://www.telaire.com/telaire.htm>

<http://www.telcel.com.mx/gsm>

[http://home.globalsat.com.mx/globalsat/contenido.cfm?cont=GLOBAL\\_BASIC](http://home.globalsat.com.mx/globalsat/contenido.cfm?cont=GLOBAL_BASIC)

[http://www.ericsson.com/products/product\\_selector/Fixed\\_Cellular\\_Terminals\\_hpsol.shtml](http://www.ericsson.com/products/product_selector/Fixed_Cellular_Terminals_hpsol.shtml)

<http://www.gsmworld.com/technology/gprs/>

<http://www.enfora.com/>