

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO PARA UN DETECTOR DE MUONES"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A:

HERRERA BARCENAS RODOLFO



DIRECTOR DE TESIS: DR. ARNULFO MARTÍNEZ DÁVALOS

MÉXICO, D.F. 2006

DEDICATORIA:

A mi Abuelita, Ojala que al cielo te llegue una copia.

A mi mamá, Siempre te tengo en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios. Por concederme el extraordinario don de la vida y sus bendiciones, entre otros: el amor, la inteligencia y la perseverancia para concretar mis objetivos.

A mis padres. Esperanza y Santiago, sin su apoyo, amor y comprensión no estaría completando esta meta. Gracias por su paciencia ¡¡uff finalmente!!.

A mis hermanos. Diana, Sergio, Omar. Esto va por ustedes, los amo.

A mi director de tesis el Dr. Arnulfo Martínez Dávalos. Por el aporte de conocimiento y experiencia, pero sobre todo por la confianza y la paciencia, ¡lento pero seguro!.

A mis Amigos. Luis, Gris, Lalo, Jorge, Poncho, Mica, gracias por todo el tiempo que pasamos juntos, lo bueno y lo malo, siempre los tengo presentes. A mi amiga Sandra que siempre me anima, gracias todos, me han ayudado a ser una mejor persona.

A toda mi familia, mi abuelito, mis tios (as), primos (as), porque siempre me acompañan y me apoyan.

A mis amigos del Instituto de Fisica, Ruben, Ernesto, Arnulfo, Arturo, Andres los mejores doctores que he conocido. Marciano, Lalo, Saul, poco tiempo pero muy bien aprovechado. Mis cuates del taller Vic, Charly, Don Mario, mis amigos de Fisica Medica a todos.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca y apoyo otorgado por la participación en el proyecto de la Pirámide del Sol con el número 639091E y 44380F.

A mis sinodales. Por su amable colaboración para mejorar este trabajo.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I
EL DETECTOR DE RAYOS CÓSMICOS 1

1.1 Los Rayos Cósmicos 1

1.1.1 Reseña Histórica 1

1.2 Detección de Rayos Cósmicos 4

1.3 Principio de Funcionamiento del Detector 5

1.3.1 La Cámara Multialámbrica 5

1.3.2 Detectores de Centelleo 8

1.4 Diseño del Detector 9

CAPÍTULO II
INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL 12

2.1 Breve Historia de la Instrumentación 12

2.2 La Instrumentación Virtual 13

2.2.1 ¿Qué entendemos por instrumentación virtual? 13

2.3 ¿Por qué LabVIEW? 15

CAPITULO III
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SENSORES 17

3.1 Componentes de un sistema de adquisición 17

3.2 Elección del Equipo de Adquisición 20

3.2.1 El sistema FieldPoint 22

3.2.2 ¿Por qué FieldPoint? 26

3.3 Análisis de las condiciones ambientales 27

3.4 El sensor de dióxido de carbono 28

3.5 Sensor de humedad 31

3.6 Sensor de Temperatura 33

3.7 Otros elementos 34

3.7.1 Sensor de flujo 34

3.7.2 Fuente de Alto Voltaje VISyN 1458 37

3.7.3 El sistema de respaldo eléctrico (UPS) 38

3.8 Elección del sistema de comunicación 40

3.8.1 Metodología para la adquisición y transmisión de datos 41

CAPITULO IV
MEDICIONES Y PRUEBAS 43

4.1 El programa en LabVIEW para el manejo de los sensores 44

4.2 El programa en LabVIEW de la fuente de alto voltaje 50

4.2.1 Diseño del programa de control para la fuente 52

4.3 Resultados y Análisis de Datos 56

4.3.1 Datos de temperatura 59

4.3.2 Datos de humedad 61

4.3.3 Datos de Dióxido de Carbono 63

CAPITULO V
CONCLUSIONES 64

5.1 Conclusiones y Trabajo Futuro 64

APÉNDICE A
Telefonía Celular 65

APÉNDICE B
El Estándar RS-232 68

APÉNDICE C
Configuración del Puerto Serie 70

BIBLIOGRAFÍA 75

CAPÍTULO I

EL DETECTOR DE RAYOS CÓSMICOS

1.1 Los Rayos Cósmicos

En esta tesis se han mencionado los muones, que son partículas muy energéticas y penetrantes, pero ¿qué son éstos?, ¿cómo se originan?, ¿cómo se descubrieron?. En las siguientes secciones se tratará de explicar y responder de manera breve estas preguntas.

Aunque es un hecho comprobado, seguramente la mayoría de las personas se sorprenderían si supieran que constantemente se encuentran sometidas al bombardeo de partículas de muy alta energía. Por ejemplo, a nivel del mar, cada una de nuestras manos extendidas de forma horizontal es atravesada por una de estas partículas, en promedio, una vez por segundo. Esta radiación es debida a un fenómeno que fue un enigma durante las primeras décadas del siglo XX y cuyo estudio ha tenido consecuencias de gran trascendencia para la Física. Por un lado dio lugar al descubrimiento de nuevas partículas elementales provocando un cambio radical en nuestra concepción de la estructura microscópica de la materia. Pero además está aportando una valiosísima información acerca de la estructura del Universo.

Nuestro planeta recibe constantemente una lluvia de partículas cargadas. Cada segundo 10,000 partículas por metro cuadrado golpean las capas exteriores de la atmósfera terrestre. Este flujo de partículas (llamado rayos cósmicos) proviene en su mayoría de nuestra galaxia, y consiste en un 90% de protones, 9% partículas alfa y el resto son núcleos más pesados que el hidrógeno.

1.1.1 Reseña Histórica

Durante las primeras décadas del siglo pasado, varios científicos estaban interesados en el fenómeno de la ionización. Un átomo se ioniza cuando, al perder un electrón, adquiere carga positiva. En aquella época, se medía la radiactividad con ayuda de electroscopios (figura 1.1) que detectaban la ionización que ésta producía en el aire. Este aparato consta de dos láminas metálicas móviles que se separan debido a la fuerza de repulsión electrostática generada por los iones depositados sobre ellas.

Era bien sabido que aún alejados de fuentes radiactivas de laboratorio, estos aparatos detectaban una ligera ionización que fue exclusivamente atribuida a las fuentes radiactivas naturales que se encuentran en la superficie terrestre. De ser esto cierto, la señal de fondo debería disminuir al alejarnos de la superficie. En 1910, se realizaron medidas en la torre Eiffel (altura: 330m) que mostraban una clara caída en la ionización de 6 a 3,5 eventos por centímetro cúbico por

segundo. La cuestión parecía resuelta, al menos en lo que respecta al origen de la radiación.



Figura 1.1 Electroscopio

Sin embargo continuaron realizándose experimentos para comprobar esta hipótesis. Víctor Hess realizó en 1912 una serie de experimentos transportando una cámara de ionización en un globo con el que ascendió hasta 5000 metros de altura y, después de una ligera disminución, sorprendentemente encontró que la señal de fondo aumentaba con la altitud. Una vez descartadas otras posibles explicaciones se llegó a la conclusión de que esta radiación provenía de arriba, es decir, del exterior de la Tierra. Este experimento supuso el nacimiento de la Física de Rayos Cósmicos[1].

Millikan y sus colaboradores realizaron gran cantidad de experimentos muy precisos en lagos situados a diferentes alturas sobre el nivel del mar y concluyeron que los rayos cósmicos no provienen de ninguna dirección particular del cielo; arriban de todas partes. Esta circunstancia sugiere que el origen del fenómeno no es local (o sea, propio del sistema solar), sino que está relacionado, probablemente, con escalas de distancia mucho mayores, tal vez tan grandes como toda la galaxia, o fuera de ésta.

Durante las décadas de 1930 y 1940, nuevas tecnologías posibilitaron notables avances en el conocimiento experimental de los rayos cósmicos. El uso de cámaras de niebla, que permiten determinar trayectorias aproximadas y distinguir entre diferentes tipos de partículas, posibilitó estudiar la composición de los rayos cósmicos. Se estableció que las partículas detectadas en la superficie de la Tierra son, en realidad, productos de la interacción de rayos cósmicos primarios, de origen extraterrestre, con átomos de las capas superiores de la atmósfera.

Hasta el día de hoy se ignora mucho sobre los rayos cósmicos primarios de altas energías, como de dónde vienen y cómo se aceleran. Se piensa que provienen de las explosiones de supernovas y son acelerados por fuentes astrofísicas; lo

[1] Nombre debido a Millikan en 1925.

que es un hecho, es que nuestra atmósfera es bombardeada por un enjambre de estas partículas.

Recapitulando algo de lo anterior tenemos que los rayos cósmicos, al aproximarse a la Tierra, se encuentran primero con el campo geomagnético el cual procede a repeler a algunas de las partículas de menor energía. Las que consiguen vulnerarlo, asumen una dirección asintótica hasta alcanzar a la atmósfera terrestre y colisionar con algunas de las moléculas de ésta.

Ahora bien, cuando la radiación cósmica primaria incide con la atmósfera produce reacciones que son provocadas por las colisiones con las moléculas del aire y que pueden ser de dos tipos: con la estructura electrónica de los átomos o con sus mismos núcleos. Como los núcleos son tan diminutos el segundo tipo de reacciones es muchísimo menos común, pero involucran cambios de energía muy grandes y son éstas, cuando ocurren, las que determinan la formación de lo que se denomina «radiación cósmica secundaria». En la figura 1.2 se muestra como se forman los diferentes tipos de partículas.

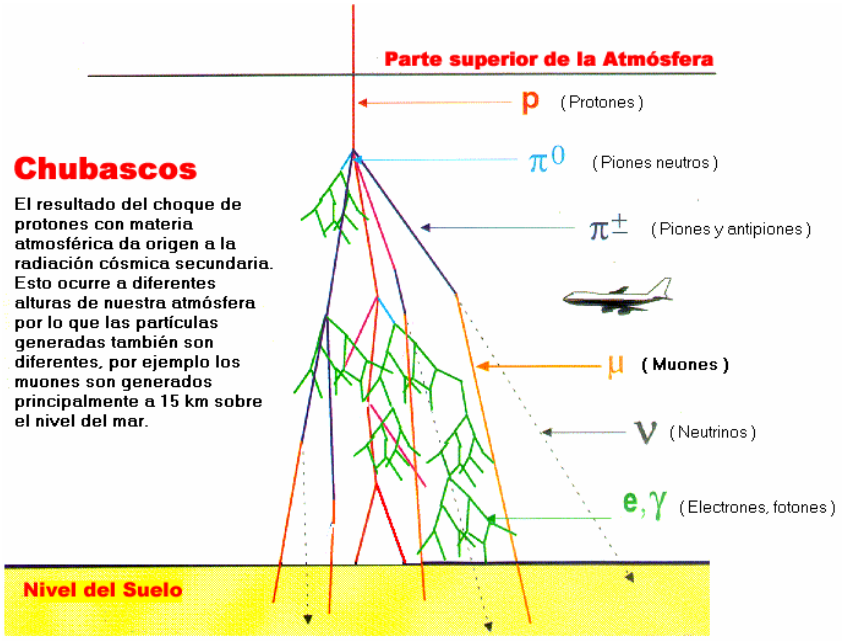


Figura 1.2 Radiación cósmica secundaria

Una de las partículas que más abundan en la radiación cósmica secundaria son los muones (μ) producto del decaimiento de los piones cargados. Los muones son muy inestables, desintegrándose espontáneamente en otras partículas después de un corto tiempo que, en promedio, es de una millonésima de segundo (10^{-6} s); sin embargo, les es lo suficiente para que algunas de ellas, debida a la alta velocidad (muy próxima a la de la luz) con la que se mueven, sobrevivan un viaje de unos 20 km para llegar a la superficie de la Tierra.

Con el avance tecnológico sobrevino un vertiginoso avance en la base del conocimiento que hasta hace algunas décadas se tenía de los rayos cósmicos, siendo posible el día de hoy tener datos experimentales extremadamente precisos acerca de la mayoría de las partículas que componen la cascada originada por los rayos cósmicos.

Del muón sabemos que tiene una masa de 105.7 MeV, tomando como referencia que la masa en reposo del electrón es de 0.511 MeV. Su tiempo de vida media es de 2.2 μs promedio. Viaja a una velocidad cercana a la de la luz, la energía con que llegan a la ciudad de México son superiores a los 8 GeV, con una frecuencia de incidencia 2.3 veces mayor que sobre la línea del Ecuador a nivel del mar. La mayoría de ellos se originan a 15 km sobre el nivel del mar, sin embargo pierden alrededor de 2 GeV antes de alcanzar el suelo. También sabemos que existen muones positivos y muones negativos. Los muones positivos tienen mayor facilidad para llegar a la superficie, decayendo en un positrón y un neutrino con su antineutrino. Los muones negativos son mas susceptibles a decaer y cuando lo hacen de la desintegración del muón surge un electrón y una pareja de neutrinos. Los muones son las partículas más abundantes a nivel del mar.

1.2 Detección de Rayos Cósmicos

Las propiedades principales de los rayos cósmicos son: carga eléctrica, masa en reposo y energía. Desde que Hess descubrió los rayos cósmicos se han empleado distintos aparatos que de manera directa o indirecta rastrean cambios en alguna de sus propiedades, ya que esta radiación no es detectada por nuestros sentidos.

Existen distintas formas de detectar la radiación, ya que ésta afecta al medio donde se mueve, la interacción de la radiación ionizante con la materia se da mediante la transferencia de energía. Este cambio de energía se convierte generalmente en ionizaciones y excitación de los átomos. También pueden ocurrir cambios de temperatura, cambios químicos y la emisión de luz. No todas las interacciones son del mismo tipo, por lo que los resultados de las mismas varían, acentuando alguno de los cambios de energía antes mencionados.

Ya se ha mencionado que los rayos cósmicos están formados por una amplia variedad de partículas, así que dependiendo del tipo que queramos hallar, será la elección de los materiales y el tipo de detector que se utilizará. Es erróneo pensar en un tipo de detector universal; por el contrario, con lo que se cuenta es con una combinación de varios de ellos para hacer una caracterización exacta de la partícula en cuestión.

Puesto que la radiación ionizante en general no es perceptible por los sentidos, es necesario valerse de instrumentos apropiados para detectar su presencia. Asimismo, de ella interesan otros aspectos como su intensidad, su energía, o

cualquier otra propiedad que ayude a evaluar sus efectos y el tipo de partícula que se está detectando.

Actualmente son muchos los tipos de detectores de radiación, algunos de los cuales se van a describir en lo sucesivo, otros solo se mencionarán pero no se realizará una descripción detallada de los mismos.

Cada clase de detector es sensible a cierto tipo de radiación y a cierto intervalo de energía. Así pues, es de primordial importancia seleccionar el detector adecuado a la radiación que se desea medir. El no hacerlo puede conducir a errores graves, o simple y sencillamente no saber interpretar los resultados que se están obteniendo.

En resumen el diseño de los detectores está basado en los conocimientos teóricos y experimentales de la interacción de las radiaciones con la materia. Como ya sabemos, las radiaciones depositan energía en los materiales, principalmente a través de la ionización y excitación de sus átomos. Estos intercambios de energía se manifiestan de varias formas, puede haber emisión de luz, cambio de temperatura, o efectos químicos, todo lo cual puede ser un indicador de la presencia de radiación. Con el detector adecuado se puede medir alguno de estos intercambios de energía, y obtener una descripción precisa de la partícula detectada.

1.3 Principio de Funcionamiento del Detector

1.3.1 La Cámara Multialámbrica

El tipo de detectores utilizados en el proyecto de la pirámide, son los de ionización de gas y los de centelleo.

La cámara multialámbrica es un detector de ionización del tipo gaseoso, y como su nombre lo indica, este tipo de detectores constan de un gas, el cual se encuentra confinado en un recipiente de paredes delgadas, lo suficiente como para no interferir con la radiación que llega, sin embargo, la radiación que se desea detectar en nuestro experimento es tan penetrante, que el material del que está fabricado nuestro detector no representa obstáculo alguno para este tipo de radiación.

Continuando con el funcionamiento, cuando las partículas ionizantes atraviesan el cuerpo del detector, estas interactúan con las moléculas de gas encerradas dentro de él, y como su nombre lo indica ioniza estas moléculas, generando iones positivos y negativos (electrones), estos iones positivos y electrones, producidos por la radiación dentro del gas, se recogen directamente, los iones positivos son recogidos en un par de cátodos por los que se aplica un alto voltaje, mientras que los electrones son recogidos en el ánodo el cual está conectado a tierra. La figura 1.3 muestra la forma que este mecanismo sucede.

La cámara multialámbrica, como su nombre lo indica, está formada por varios alambres, los cuales están conectados a tierra y representan el ánodo (ver figura 1.3), y es ahí donde se recogen los electrones.

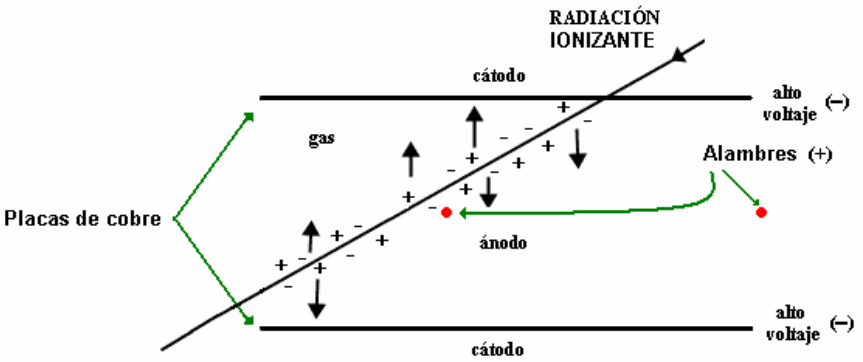


Figura 1.3 Funcionamiento de un detector gaseoso. Los iones y electrones producidos en el gas por la radiación son colectados en el ánodo y el cátodo

La corriente eléctrica así inducida, en general es en forma de pulsos de corta duración; estos pulsos de corriente son contados directamente, con el uso de la electrónica apropiada.

Cuando una radiación produce un cierto número de pares de iones, éstos se dirigen a los correspondientes colectores gracias a la aplicación de un alto voltaje. *Sin el alto voltaje apropiado, el detector no funciona o puede dar lecturas erróneas.*

En su trayecto hacia los puntos de colección (ánodo y cátodo), los iones y electrones son acelerados por el campo eléctrico, y pueden a su vez producir nuevas ionizaciones, o bien pueden recombinarse (neutralizarse). La magnitud de estos efectos depende del tipo de gas, del voltaje aplicado y del tamaño del detector. Esto es esencial para diseñar un detector ya que dependiendo de sus características físicas se logra tener un resultado satisfactorio al probar el detector.

Los diferentes detectores gaseosos (cámara de ionización, proporcionales y Geiger-Müller) se distinguen por su operación en diferentes regiones de voltaje. La figura 1.4 muestra estas regiones para un detector típico; se grafica el número de iones colectados en los electrodos contra el voltaje aplicado, para partículas alfa y beta[2] respectivamente.

En la región I el voltaje es tan bajo que la velocidad que adquieren los iones y electrones es pequeña, dando lugar a una alta probabilidad de que se

[2] En física nuclear algunas de las partículas son llamadas de forma específica, por ejemplo las partículas alfa son núcleos de helio (dos protones y dos neutrones) y las partículas beta son electrones.

recombinen de forma casi instantánea. Por el peligro de perder información, esta región normalmente no se usa.

En la región de voltaje II, el número de iones colectados no cambia si se aumenta el voltaje. Se recogen en los electrodos esencialmente todos los iones primarios; es decir, no hay ni recombinación ni ionización secundaria. Por esta razón, el tamaño del pulso depende de la ionización primaria y, por lo tanto, de la energía depositada por cada radiación. Se llama región de *cámara de ionización* y se usa para medir la energía de la radiación, además de indicar su presencia. En general, la corriente generada en estas cámaras es tan pequeña que se requiere de un circuito electrónico amplificador muy sensible para medirla.

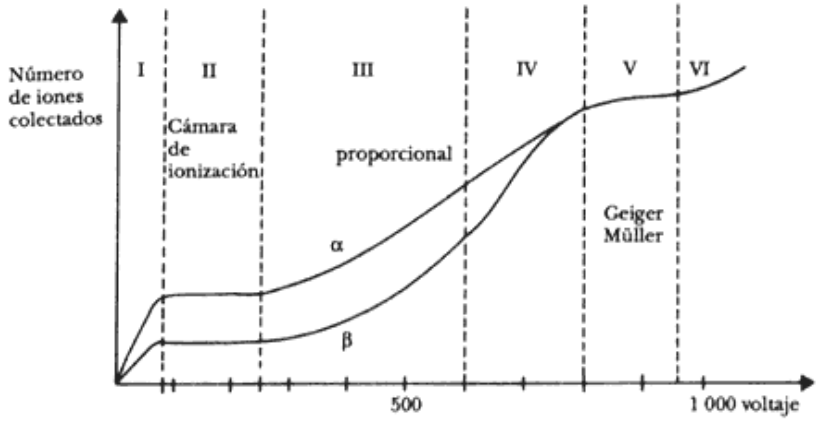


Figura 1.4 Regiones de operación de un detector gaseoso.

En la región III, llamada *proporcional*, la carga colectada aumenta al incrementarse el voltaje. Esto se debe a que los iones iniciales (primarios) se aceleran dentro del campo eléctrico logrando, a su vez, crear nuevos pares de iones. Si uno sube el voltaje, la producción cada vez mayor de ionización secundaria da lugar a un efecto de multiplicación. Los pulsos producidos son mayores que en la región anterior, pero se conserva la dependencia en la energía de las radiaciones.

Aumentando aún más el voltaje, se llega a la región IV, llamada de proporcionalidad limitada, que por su inestabilidad es poco útil en la práctica. Si sigue aumentándose el voltaje, se llega a la región V, llamada *Geiger-Müller,* en esta región la ionización secundaria y la multiplicación son tan intensas que se logra una verdadera avalancha de cargas en cada pulso. Los pulsos son grandes por la gran cantidad de iones colectados, pero se pierde la dependencia en la ionización primaria.

La grafica de la figura 1.4 es de gran utilidad como referencia, pero existen otras variables que afectan el funcionamiento de la cámara, tales como el tamaño y los materiales de que se construye, por tal motivo los voltajes para cada zona

pueden variar, aun así la cámara presenta zonas y voltajes similares. La cámara multialámbrica construida para este proyecto trabaja en la zona III, la llamada zona proporcional, donde se tiene el efecto de multiplicación de cargas, pero aun se guarda información sobre el pulso, lo que proporciona la corriente suficiente para el buen funcionamiento del detector.

1.3.2 Detectores de Centelleo

Existen otros detectores de radiación que no operan con la ionización de un gas. Uno de los más empleados es el llamado detector de centelleo o centellador. En él se aprovecha el hecho de que la radiación produce pequeños destellos luminosos en ciertos sólidos. Esta luz se recoge y transforma en un pulso eléctrico.

Los detectores de centelleo tienen algunas ventajas sobre los de gas. En primer lugar, un sólido, por su mayor densidad, es más eficiente en detener la radiación que un gas. Por lo tanto la eficiencia de un detector de centelleo es mayor a la de uno de gas. En segundo lugar, el proceso de luminiscencia, o sea la absorción de radiación y la posterior emisión de luz, es muy rápido, disminuyendo el tiempo muerto.

El material que produce el destello se llama cristal de centelleo. Se selecciona para que tenga una alta eficiencia en absorber radiación ionizante y emitir luz. Debe ser transparente para poder transmitir la luz producida, y debe estar a oscuras para que la luz ambiental no le afecte.

El material más empleado como cristal de centelleo es el yoduro de sodio activado con talio, NaI (T1). Es de costo bajo y es muy estable. Otro muy común es el yoduro de cesio activado con talio, CsI (T1), y hay otros materiales inorgánicos de usos especiales. Por otro lado, existen también materiales orgánicos como plásticos. De éstos los más importantes son el antraceno el cual es un dopante de la misma forma que el estilbeno. Para ciertas aplicaciones son útiles también los líquidos orgánicos.

Con objeto de transformar la pequeña cantidad de luz producida por un centellador en una señal eléctrica que se puede manejar con más comodidad, se pone en contacto con un dispositivo llamado fotomultiplicador, el cual esta esquematizado en la figura 1.5.

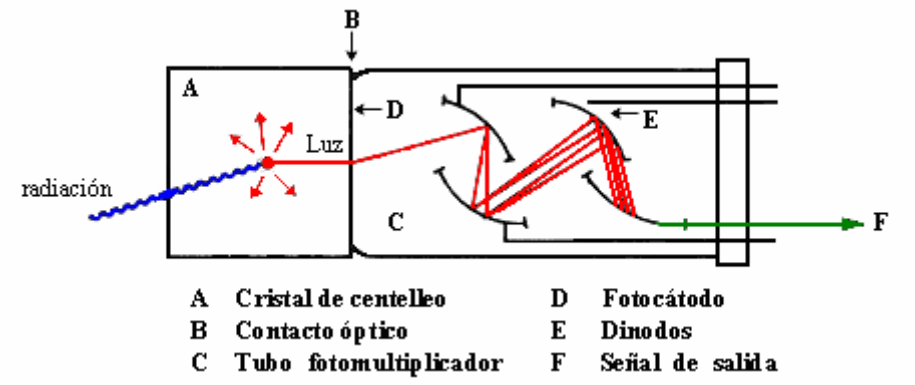


Figura 1.5 Detector de centelleo y fotomultiplicador.

El contacto debe ser óptico (por ejemplo con grasa transparente) para que no haya pérdidas. El tubo fotomultiplicador es un recipiente de vidrio sellado y al alto vacío. La cara que está en contacto con el cristal de centelleo o plástico centellador va cubierta en su interior por un material que emite electrones al recibir luz (fotocátodo) y opera como una celda fotoeléctrica. Estos electrones son acelerados y multiplicados en campos eléctricos secuenciales entre electrodos llamados dinodos, lográndose multiplicaciones de un millón de veces. En el último de ellos la señal eléctrica es suficientemente grande para poder ser manejada con amplificadores y analizadores de pulsos convencionales.

El centellador utilizado en este proyecto es un plástico, el comúnmente llamado BC408 el cual usa químicos llamados Polivinil Tolueno y Fluoruros orgánicos, cuya formula es $C_{10}H_{11}$ [5].

1.4 Diseño del Detector

Para la detección de muones, se ha diseñado un sistema que cuenta con dos tipos de detectores de rayos cósmicos, cuyos principios de funcionamiento se explicaron brevemente en secciones anteriores. Por un lado se utilizaran detectores de centelleo y por otro, cámaras multialámbricas.

El sistema de detección propuesto estará integrado por un par de centelladores y dos cámaras XY (ver figura 1.6).

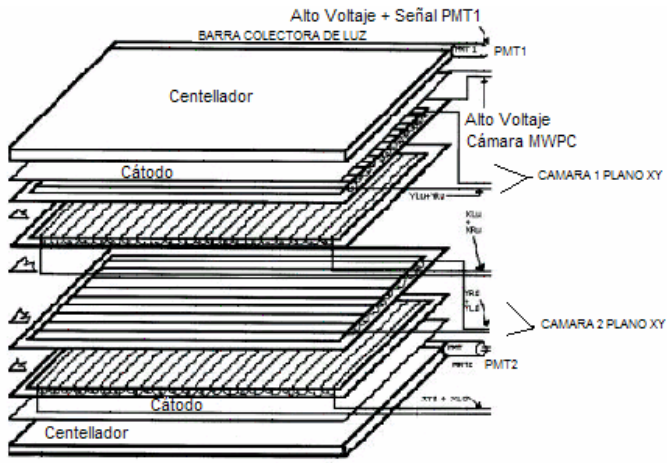


Figura 1.6 Propuesta del sistema de detección.

La función que tendrán los detectores de centelleo será la de asegurar la ocurrencia de un evento (que se trate de un muón y que halla atravesado el cuerpo del detector), para que una vez que se tenga, pueda tomarse en cuenta la señal de posición obtenida de la cámara multialámbrica correspondiente. La utilización de este tipo de detectores para la verificación es necesaria, pues los detectores multialámbricos son sensibles también a otro tipo de radiación, diferente a la radiación cósmica, por ejemplo, la radiación de fondo [9].

Estas cámaras están así diseñadas para ser sensibles a la posición y con un método de lectura a través de líneas de retardo, sabemos la posición por la que pasó el muón en cada uno de los planos, pero se necesitan por lo menos dos planos XY para saber de que dirección provienen los muones, pues no todos llegan de forma perpendicular al detector sino que arriban de todas direcciones (ver figura 3), al tener dos puntos en diferentes planos, podemos trazar una línea y reconstruir la dirección que originalmente siguieron los rayos cósmicos hasta llegar a nuestro detector.

El que los rayos cósmicos vengan de todas direcciones aumenta el volúmen de la pirámide que podemos sondear, sin embargo no todos los muones tienen la misma energía y además la composición no homogénea del relleno de la pirámide complica la interpretación de los resultados, pues no se conocería si el muón logró atravesar por que tenía suficiente energía o por que existe un hueco en ese sitio. Por lo que se hace necesario la creación de una simulación con el espectro de las diferentes energías de los muones, en la que se tiene como premisa que la pirámide es sólida, es decir, sin ninguna cavidad al comparar esta con los resultados experimentales encontraremos de forma clara las evidencias que necesitamos.

El tamaño y diseño del detector responde a variables físicas importantes como el lugar donde se va a colocar y el ángulo sólido de detección[3].

Al colocar dos detectores uno encima de otro, con una cierta separación entre ellos se forma lo que se conoce como “ángulo sólido de detección”. Dicha disposición geométrica, permite tener una mayor área de detección al fijar una menor separación entre detectores.

Aplicando este concepto a nuestro sistema de detección, tenemos que al colocar bajo la pirámide dichos detectores, se formará sobre ellos un prisma sólido (por ser nuestro detector cuadrado).

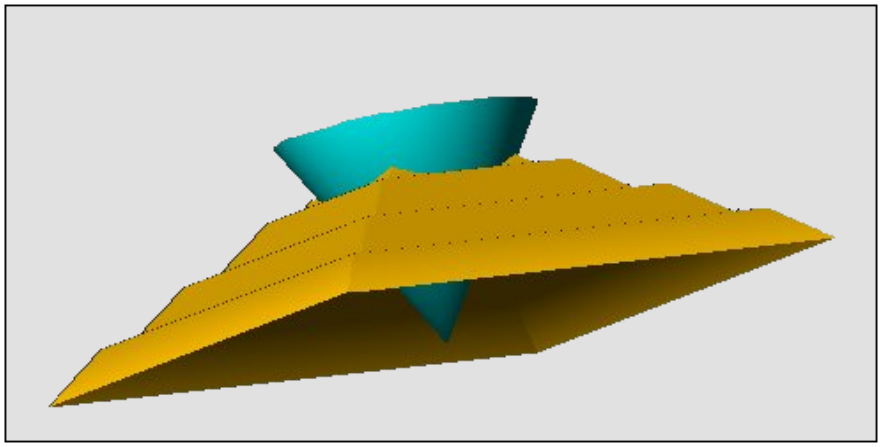


Figura 1.7 Ángulo sólido de detección. Debido a que la geometría del detector es cuadrada, la forma del ángulo sólido corresponde a un prisma, sin embargo, para efectos de ilustración aparece el volumen de detección con forma cónica.

Respecto a la abertura de detección se optó por un valor de ±60°, como se puede observar en la figura 1.7 no se sondea por completo la pirámide, pero de acuerdo con los arqueólogos es en ese volumen donde probablemente se encuentren las cámaras.

Otro aspecto es el tamaño del detector, mientras mas grande sea este, mayor cantidad de eventos se van a registrar, pero una condición que los detectores deben cumplir, es que sus dimensiones permitieran introducirlos a través de la puerta de entrada del túnel y a lo largo de este, pues el terreno es muy irregular, después de realizar pruebas se decidió que los detectores tendrían un área de $1m^2$.

[3] Ángulo sólido, es el ángulo tridimensional formado en el vértice de un cono, en otras palabras es la medida de la abertura de un cono.

CAPÍTULO II

INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

2.1 Breve Historia de la Instrumentación

La instrumentación ha ido evolucionando a través del tiempo y siempre ha hecho uso de los últimos avances de la tecnología en cada momento de la historia. Partiendo de esto, los instrumentos son una medida del desarrollo tecnológico de la humanidad.

La instrumentación ha acompañado al hombre desde que hace uso de herramientas, pero inicia tal y como la conocemos actualmente, es con el estudio de las ciencias eléctricas en el siglo XIX. En esa época lo más avanzado tecnológicamente era la relojería. Entonces los instrumentos toman de ésta los elementos para su diseño y es así que las partes componentes de los mismos son agujas, resortes, cojinetes de rubí, etc.

Posteriormente con la aparición de los receptores de radio, los instrumentos toman de estos, elementos tales como potenciómetros, capacitores variables, etc. El aporte más importante lo da el transistor que, como elemento amplificador, permite la amplificación de señales muy débiles para después medirlas. Aparecen también los primeros osciladores o generadores de onda que hacen uso de la retroalimentación positiva. Años mas tarde, con el advenimiento de los televisores, los instrumentos adoptan para su funcionamiento el tubo de rayos catódicos, y la exhibición en una pantalla para indicar las mediciones; entonces se producen los primeros osciloscopios, analizadores de espectros, analizadores de video, entre otros.

Con la incorporación de las computadoras personales, la instrumentación entró en una nueva etapa; introduciéndose dos nuevos conceptos en la instrumentación: la Instrumentación Virtual y los sistemas de adquisición de datos DAQ, por sus siglas en inglés.

Al estudiar la configuración de los sistemas de adquisición de datos actuales basados en PCs, se aprecia que una de las partes medulares que componen dichos sistemas son los programas que controlan y administran los recursos de la computadora, presentan los datos, y ejecutan el análisis.

Desde este ángulo, los programas de cómputo son un tópico muy importante que requiere de especial cuidado. Para los sistemas DAQ se necesita de programas de manejo de instrumentación que sean flexibles para futuros cambios, de fácil manejo, y lo más poderoso e ilustrativo posible.

Existe un gran número de lenguajes de programación que cumplen con lo dicho anteriormente, como por ejemplo el Visual Basic, C, C++, Pascal, LabWindows

CVI, LabVIEW, y muchos otros diseñados específicamente para ciertas aplicaciones. Para desarrollar los algoritmos de control y toma de datos en el proyecto de la Pirámide del Sol se consideró que el lenguaje más apto es el LabVIEW, por razones que se explicarán más adelante.

2.2 La Instrumentación Virtual

La instrumentación virtual es un concepto introducido por la compañía National Instruments [2]. En el año de 1983, Truchard y Kodosky, de dicha compañía, decidieron enfrentar el problema de crear un software que permitiera utilizar la PC como un instrumento para realizar mediciones. Fueron necesarios tres años para crear la primera versión del software que permitió, de una manera gráfica y sencilla diseñar un instrumento en la PC. De esta manera surgió el concepto de instrumento virtual o VI (Virtual Instrument), definido como, "un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora y tiene sus funciones definidas por software". A este software le dieron el nombre de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*, más comúnmente conocido por las siglas LabVIEW. A partir del concepto de instrumento virtual, se definió la instrumentación virtual como un sistema de medición, análisis y control de señales físicas con una PC por medio de instrumentos virtuales.

Cuando hablamos de instrumentos de medición, es normal pensar en una armazón rígida, en la que se tiene un *panel frontal* lleno de botones, *LEDs* y demás visualizadores. Por ejemplo, el caso de un osciloscopio la pantalla, los botones de selección y entradas de canal para las señales son lo que sobresale en su parte frontal. Detrás del panel frontal están los contactos de esos controles que los unen físicamente con la circuiteria interna.

Estos circuitos internos se componen de capacitores, resistencias, inductancias, circuitos integrados y otros elementos que procesan las señales de entrada en función del estado de los controles, devolviendo el resultado a los correspondientes visualizadores del panel frontal.

2.2.1 ¿Qué entendemos por instrumentación virtual?

Un instrumento virtual es un módulo de software que simula el panel frontal del instrumento real que antes hemos comentado y, apoyándose en elementos de hardware accesibles para la computadora (tarjetas de adquisición, tarjetas DSP, instrumentos accesibles vía GPIB, VXI, RS-232), realiza una serie de medidas como si se tratase de un instrumento real.

De este modo, cuando se ejecuta un programa que actúa como instrumento virtual, el usuario ve en la pantalla de su computadora un panel cuya función es idéntica a la de un instrumento físico, facilitando la visualización y el control del aparato. A partir de los datos en el panel frontal, el VI debe actuar recogiendo o generando señales como lo haría su homólogo físico.

Cuando se crea un VI en LabVIEW se trabaja con dos ventanas: en la primera se implementa el panel frontal y en la segunda se realiza la programación, la cual define la funcionalidad del VI.

Para la creación de panel frontal se dispone de una biblioteca de controles e indicadores de varios tipos, con la posibilidad de crear más, diseñados por el propio usuario. En la figura 2.1 se muestra el panel frontal de un instrumento virtual, en el que se destaca principalmente la pantalla de visualización y los botones de control con los que podemos interactuar como si se tratara de un instrumento real.

Cuando se agrega un control desde la biblioteca al panel frontal se crea una variable cuyos valores están determinados por lo que el usuario ajuste desde el panel; inmediatamente, aparece una terminal en la ventana de programación representándolo.

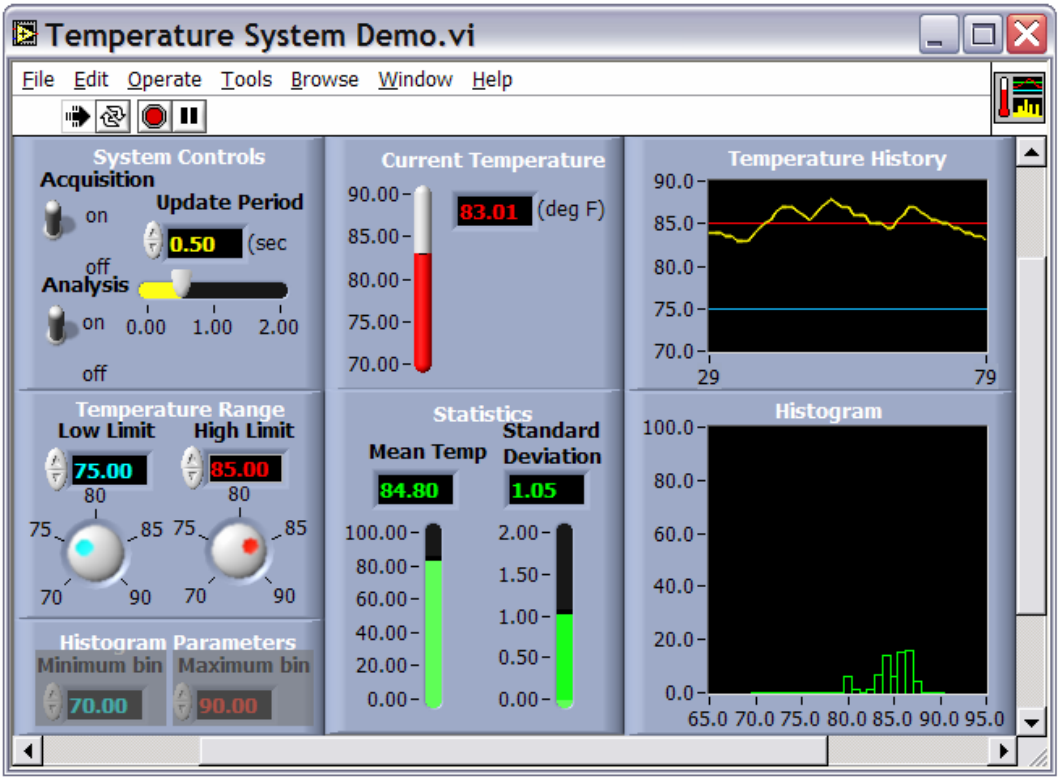


Figura 2.1 Panel frontal de un instrumento virtual en LabVIEW

La programación del VI consiste en conectar los bloques funcionales. Este es el punto en que entra la habilidad del programador para lograr que el diagrama de bloques funcione como lo haría la circuiteria interna de un instrumento real. La figura 2.2 muestra la segunda ventana o diagrama de bloques del VI.

LabVIEW es un software que emplea una metodología de programación gráfica, a diferencia de los lenguajes de programación tradicionales. Su código no se elabora mediante secuencias de texto, sino en forma gráfica, similar a un diagrama de flujo.

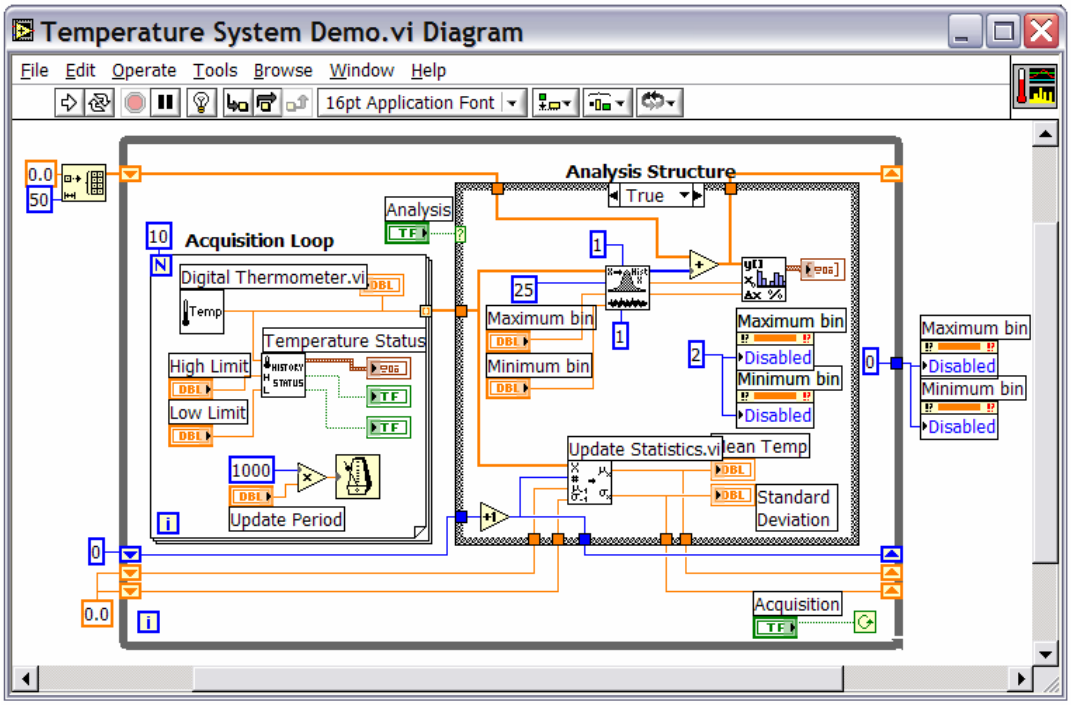


Figura 2.2 Diagrama de bloques

El control de instrumentación por computadora no es nuevo; la computadora en sistemas de medida ya se usaba en los años setenta mediante la interfaz de bus IEEE 488 o GPIB (General Purpose Interface Bus). Pero ha sido en los noventa cuando los procesadores de 16 y 32 bits se han incorporado a equipos accesibles, consiguiendo altas velocidades y grandes capacidades de almacenamiento. Esta popularización de las computadoras de altas prestaciones ha traído consigo un fuerte desarrollo de paquetes de software que simplifican la creación de aplicaciones.

2.3 ¿Por qué LabVIEW?

Un instrumento tradicional se caracteriza por realizar una o varias funciones específicas que no pueden ser modificadas. Un VI es una combinación de elementos de hardware y software usados en una PC, que cumplen las mismas funciones que un instrumento tradicional. Pero a diferencia de un instrumento convencional, un VI es altamente flexible y puede ser diseñado por el usuario de acuerdo con sus necesidades, y sus funciones pueden cambiarse a voluntad modificando el programa. Estas características de los instrumentos virtuales los

convierte en una herramienta poderosa, que además tiene otras características importantes como:

- Son simples de manejar, debido a que están basados en un sistema de programación gráfica (lenguaje G) que permite comenzar a programar de forma intuitiva, lo que redunda en una fácil asimilación del software.
- En la instrumentación virtual, se cuenta con numerosas herramientas de presentación, en gráficas, botones, indicadores y controles. Estos elementos serían complicados de realizar en lenguajes como C++, donde el tiempo para lograr el mismo efecto sería muchas veces mayor.
- Se cuenta con librerías especializadas para manejo de DAQ, redes, comunicaciones, análisis estadístico, comunicación con bases de datos (útil para la automatización de un proceso a nivel total).
- El tiempo de desarrollo de una aplicación se reduce a un nivel mínimo.
- Como se programa creando subrutinas en módulos de bloques, se pueden reutilizar otros bloques creados anteriormente.
- Contiene una gran cantidad de librerías asociadas a diferentes tipos de hardware, además de contar con hardware de adquisición propio, por lo que se puede realizar todo sobre la misma plataforma.
- Es un programa que permite pasar las aplicaciones entre diferentes plataformas como Linux, Windows, Macintosh, etc. y seguir funcionando.

El alto costo de los equipos sigue siendo una limitación, y aun cuando el proyecto cuenta con suficiente apoyo financiero es necesario que en la pirámide se tenga el menor consumo de energía posible. Una solución a este problema es emplear equipos de instrumentación basados en computadoras personales, en los cuales se reemplacen equipos convencionales por computadoras, instrumentos virtuales y sistemas de adquisición de datos, que permitan hacer adquisición, procesamiento y control de señales físicas en tiempo real a costos menores y con un menor consumo de energía. Adicionalmente, los experimentos diseñados bajo este esquema pueden estar disponibles no sólo localmente sino a distancia a través de Internet.

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SENSORES

3.1 Componentes de un sistema de adquisición

La elección del software es muy importante para el desarrollo de los sistemas DAQ. En nuestro caso se usó LabVIEW, el cual es sistema diseñado específicamente para sistemas de instrumentación, pero además debemos seleccionar el hardware que integrara nuestro sistema de adquisición, para ello debemos conocer las características mas relevantes de los sistemas de adquisición de datos, para que de igual forma que hicimos con el software podamos elegir el hardware más adecuado.

Un sistema básico de adquisición de datos, está compuesto esencialmente por un transductor, un acondicionador de señal, un convertidor analógico digital y una unidad de grabado, almacenamiento o indicación, tal como se muestra en la figura 3.1 [16].

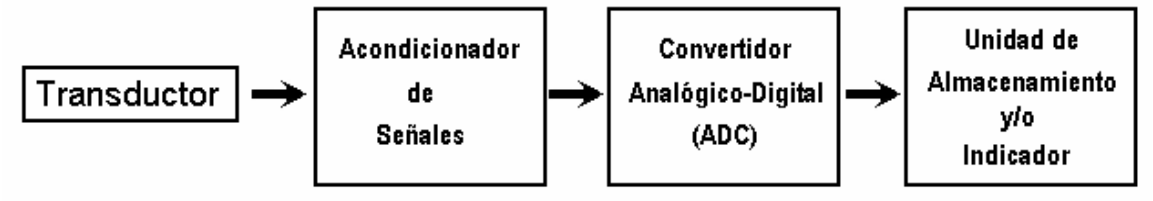


Figura 3.1 Sistema básico de medición

El transductor ó sensor es el elemento o grupo de elementos que convierte la cantidad física a ser medida en otro tipo de parámetro, de tal forma que el resultado de dicha transformación pueda ser utilizado como información útil y representativa de dicha cantidad. En la mayoría de las veces la transducción se hace a una variable eléctrica, ya sea un voltaje o una corriente, lo cual facilita en gran medida el manejo de dicha información.

Sin embargo, antes de que la señal sea almacenada, indicada, transmitida o usada como acción de control, es necesaria una etapa intermedia con el objeto de producir niveles y formas de señal apropiadas para dichas tareas.

El primer paso en esta etapa intermedia consiste en el acondicionamiento de la señal. En muchos de los casos los sensores entregan una salida muy pequeña, del orden de milivolts (mV) o miliampers (mA), la cual debe ser amplificada para que pueda ser leída de forma correcta por el sistema de adquisición. La mayoría de la veces el acondicionamiento de la señal consiste en un sistema de amplificación y filtrado para transmitir la señal, más cuando las distancias son considerables, y el sistema está expuesto a una gran cantidad de ruido.

Idealmente cada sensor debería contar con un acondicionamiento de señal en el punto de medición, para obtener una señal de un nivel alto. Una vez acondicionada se transmitiría hasta el sistema de adquisición o sala de control. De esta forma se evitaría que el ruido de cualquier tipo introduzca error en nuestra medición. Para ilustrar lo importante que puede ser el acondicionamiento de la señal nos basamos en un sistema como el de la figura 3.2, el cual representa un sistema típico de adquisición de datos.

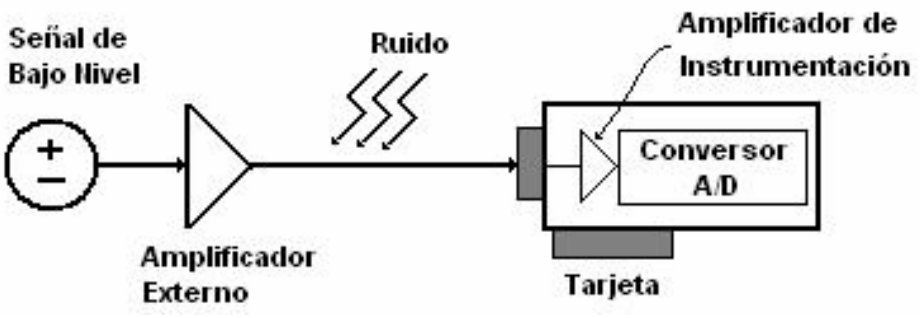


Figura 3.2 Esquema para determinar el SNR

Podemos con el esquema de la figura 3.2 plantear diferentes tipos de acondicionamiento de la señal, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Tipos de acondicionamiento de señal.

	Señal de TENSIÓN	Amplificación en el ACONDICIONADOR	RUIDO en los Conductores	Amplificación en la Tarjeta	TENSIÓN Digitalizada	SNR
Se amplifica solo en la tarjeta	0.1 V	NINGUNA	0.001 V	X 100	1.1 V	10
Se amplifica en el Acondicionador y en la Tarjeta	0.1 V	X 10	0.001 V	X10	1.01 V	100
Se amplifica solo en el Acondicionador	0.1 V	X 100	0.001 V	NINGUNA	1.001 V	1000

En los tres casos, el sensor suministra la misma tensión de 0.01 V, se obtiene la misma ganancia total igual a 100 y se tiene el mismo ruido inducido en la línea de transmisión que va desde el sensor a la tarjeta de adquisición o toma de datos de un valor de 0.001 V.

Teniendo en cuenta estas consideraciones y según la tabla 1 tenemos:

1) Primer caso: toda la amplificación se realiza en el sistema de adquisición DAQ. En este caso el sensor suministra 0.01 V y a esta señal se le suma a lo

largo del cable que va del sensor a la tarjeta DAQ el ruido. Ésto significa que a la entrada de la tarjeta la tensión que llega es de 0.011, que va a ser amplificada por una ganancia de 100. Esto arroja una señal total de 1.1V, y esa es la tensión que va a ser digitalizada y almacenada por nuestro sistema. La relación señal a ruido (Signal to Noise Ratio SNR) se calcula como el cociente entre la señal y el primer lugar en que ambos están presentes. Esto sucede en la línea de transmisión donde la señal del sensor de 0.01V y el ruido es de 0.001V:

$$\text{Relación Señal Ruido (SNR)} = \frac{0.01}{0.001} = 10$$

2) Segundo caso: Se realiza parte de la amplificación en el sensor y parte en la tarjeta, tenemos entonces 1.01V, esto también modifica el SNR del sistema:

$$\text{Relación Señal Ruido (SNR)} = \frac{0.1}{0.001} = 100$$

3) Tercer caso: Se realiza toda la amplificación en el acondicionador adyacente al sensor. En este caso obtenemos 1.001V, que es la tensión de entrada a la tarjeta de adquisición, se modifica el SNR tenemos:

$$\text{Relación Señal Ruido (SNR)} = \frac{1}{0.001} = 1000$$

Esta última es una excelente relación señal a ruido, esto porque la señal que va a ser digitalizada es tres ordenes de magnitud mayor que el ruido introducido en la línea.

El convertidor analógico digital (ADC por sus siglas en inglés: Analog to Digital Converter), es otro de los elementos básicos en el sistema de medición; en este equipo las características más importantes son:

Resolución. La resolución del convertidor indica el número de valores discretos que este puede producir. La resolución es expresada comúnmente en bits. Por ejemplo, un ADC de 8 bits puede producir 2^8=256 valores.

La resolución también puede ser expresada en volts. La resolución en voltaje de un ADC es igual al rango completo de medida, entre el número de niveles discretos que se producen, por ejemplo:

Escala completa de medidas: 0 – 10 V
Resolución del ADC de 12 bits: 2^{12} = 4096 niveles (llamados niveles de cuantización)
Resolución en voltaje: 10 V/ 4096 niveles = 0.00244 Volts = 2.44 mV.

En la práctica la resolución del convertidor está limitada por el SNR de la señal en cuestión. Si el ruido presente en la señal de entrada es alto comparado con la señal, aun cuando se tenga una resolución muy buena no se tendrá la capacidad de saber si lo que estamos adquiriendo es señal o ruido, por tal la SNR debe ser alrededor de 6 dB por bit de resolución. Es decir, la señal de entrada mínima que puede digitalizar el convertidor tiene que ser fácilmente distinguible comparada con el ruido de entrada al mismo.

El tipo de respuesta del convertidor. La mayoría de los convertidores son lineales, lo que significa que están diseñados para producir un valor de salida lineal o proporcional a la entrada. Otro tipo común son los logarítmicos, los cuales son usados con mayor frecuencia en sistemas de comunicación por voz, pero estos no son analizados en esta tesis.

Exactitud. La exactitud depende de dos componentes, el error de cuantización y la no linealidad (suponiendo que el ADC es lineal). Estos errores son medidos en una unidad llamada LSB (Least Significant Bit) o bit menos significativo.

Velocidad de muestreo o frecuencia de muestreo. Una señal analógica es continua en el tiempo, y es necesario convertir ese flujo continuo en un grupo de valores digitales. Se requiere por lo tanto definir cuantas muestras se van a tomar de la señal analógica. La tasa de nuevos valores se llama tasa de muestreo, o frecuencia de muestreo. La frecuencia de muestreo se define como el número de muestras por segundo que se toman de la señal continua, medida en Hertz (Hz). El inverso de la frecuencia de muestreo es el periodo de muestreo o tiempo de muestreo, el cual es tiempo entre muestras.

Todos los componentes del sistema de adquisición son importantes, pero dependiendo del tipo de aplicación se puede eliminar el módulo del acondicionamiento de la señal. Si la señal de salida es alta con respecto al ruido en la línea, y la distancia entre los sensores y el ADC es corta, se puede eliminar este módulo y solo quedarnos con tres de los módulos básicos y hacer la amplificación en el ADC, o realizar una pequeña amplificación en los sensores sin añadir un módulo externo.

3.2 Elección del Equipo de Adquisición

Existen muchos equipos para la adquisición de datos, que pueden ser internos o externos, y que además difieren entre sí por la velocidad de muestreo, número de canales, resolución, precisión y costo.

Tarjetas de adquisición de datos DAQ: Son dispositivos similares a los módems, tarjetas de expansión, tarjetas de sonido o video que se insertan en una PC para añadirle nuevas posibilidades. En el caso de las tarjetas DAQ el propósito es adquirir señales y realizar su posterior conversión de analógica a digital.

Las tarjetas de adquisición se diseñan para ser montadas en los diferentes buses disponibles de cualquier computadora personal (PC).

Es importante destacar que las tarjetas de adquisición de datos DAQ ofrecen no solamente entradas analógicas, sino también salidas analógicas, entradas digitales, y salidas digitales. Estas tarjetas generalmente tienen una buena cantidad de canales de entrada, una alta velocidad de muestreo, una adecuada sensibilidad para medir señales de bajo nivel a un costo relativamente bajo.

Una desventaja que presentan estas tarjetas es que aunque proveen un buen número de canales, esta cantidad no se puede ampliar a menos que se inserte otra tarjeta, lo cual para ciertas aplicaciones resulta una limitante. Además se debe poseer un equipo que tenga los suficientes slots de expansión para soportar la aplicación, lo que eleva el costo.

Sistemas de adquisición de datos externos: Los sistemas de adquisición de datos externos proveen de una mayor cantidad de canales de adquisición y un ambiente eléctricamente menos ruidoso a los efectos de la adquisición que las tarjetas DAQ insertadas en una PC.

Al igual que las tarjetas de adquisición de datos DAQ, los sistemas de adquisición de datos externos también ofrecen entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales y salidas digitales. Estos sistemas generalmente tienen gran cantidad de canales de entrada, una buena velocidad de muestreo, una adecuada sensibilidad para medir señales de bajo nivel.

Además tienen la característica de ser modulares, y se pueden conectar una gran cantidad de ellos para ampliar el número de canales de entrada y salida, a un costo relativamente bajo.

El conocer a fondo las características primordiales de un sistema de adquisición de datos, nos permite hacer una mejor elección de equipo para realizar nuestra aplicación. De este modo tenemos la certeza de lo que estamos buscando y no cometeremos errores al adquirir el equipo, además de contar con las herramientas para poder cumplir con el compromiso de funcionalidad y precio, lo cual puede ser una limitante para concluir las aplicaciones.

En nuestro caso el sistema consta de tres partes: la parte de sensores, constituido por un grupo de sensores de temperatura, humedad, dióxido de carbono y flujo de gas, los cuales entregan una señal de nivel alto con respecto al ruido. Las señales de los sensores pasan al siguiente módulo, el convertidor analógico digital constituido por un sistema FieldPoint, el cual es un sistema de adquisición de datos externo, constituido por una serie de módulos de entrada y salida, y un módulo de conexión a la PC. Finalmente el último componente es la PC, donde los datos ya digitalizados se almacenan y además se visualizan en

tiempo real en la pantalla de la misma. En la figura 3.3 se muestra un esquema del sistema de medición:

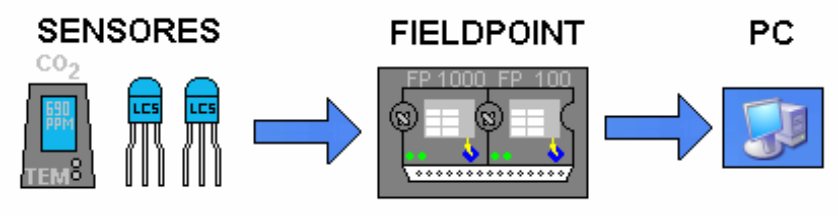


Figura 3.3 Sistema que monitorea las condiciones ambientales en el túnel de la Pirámide.

Este es el tipo de sistema que se usa en el monitoreo de las condiciones ambientales en la pirámide. En este caso los sensores y el FieldPoint juegan un papel sobresaliente, por lo que en lo sucesivo expondré las características principales del FieldPoint, y al final del capítulo las del sistema de sensores.

3.2.1 El sistema FieldPoint

FieldPoint es un sistema de arquitectura modular distribuido de entradas/salidas (E/S) que provee soluciones económicas para monitoreo y control, principalmente de aplicaciones industriales. Al tratarse de un sistema tan versátil puede ser utilizado para otras aplicaciones.

El sistema FieldPoint incluye una gran variedad de módulos analógicos y digitales de entradas y salidas bases para terminales, módulos de red para interconectar los módulos de E/S a la PC o para comunicarla directamente a la red Ethernet, además de contar con herramientas de software de alto nivel. En la figura 3.4 se muestran los diferentes tipos de módulos y las diferentes formas en que se comunican entre si.

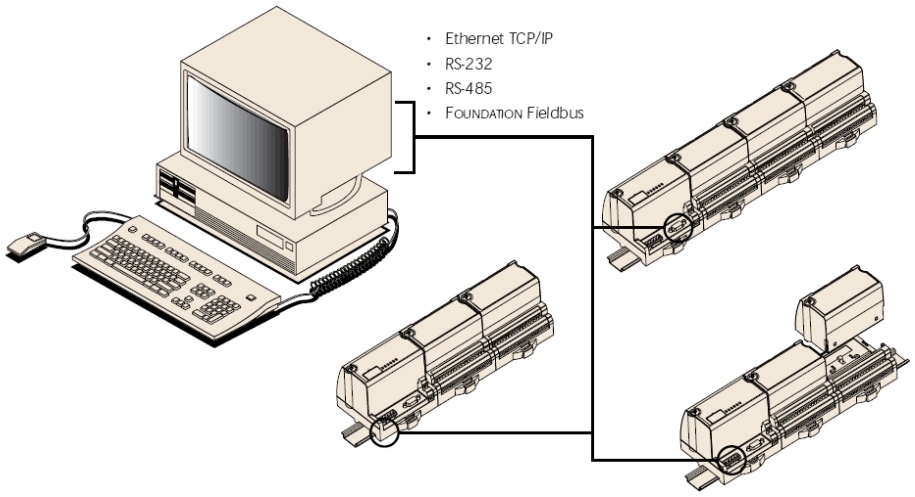


Figura 3.4 Módulos de entrada, de salida, de comunicación, y las diferentes formas en que esta puede realizarse a través de ethernet, RS-232 y RS-485

La adquisición de datos en la pirámide se realiza a través de este tipo de módulos. Como se ve en la figura 3.7, se cuenta con un módulo llamado FP-AI 100 (FieldPoint Analog Input 100), el cual es un módulo de entradas analógicas, sus principales características son las siguientes:

- Ocho canales de entrada de voltaje o corriente.
- Once rangos de entrada: 0-1 V, 0-5 V, 0-15 V, 0-30 V, ± 1 V, ± 5 V, ± 15 V, ± 30 V, 0-20 mA, 4-20 mA, ± 20 mA.
- 12 bits de resolución.
- Operación de -40 a 70 °C.
- Trabaja en ambientes con humedad relativa de hasta 90% (no condensada).

Además cada canal de entrada puede configurarse de forma independiente. Esto es de gran importancia, dado que sabemos el rango de valores de voltaje que se van a medir (0-5 V y 0-6 V). Conociendo el mínimo valor de voltaje que podemos medir, se puede calcular el error que se comete al realizar las mediciones. Anteriormente se mostró la forma en que se realiza el cálculo de la resolución en voltaje, por lo que la obtenida con los 12 bits de resolución es la siguiente:

Escala completa de medidas: 0-5 V y 0-6 V
Resolución del ADC de 12 bits: 2^{12} = 4096 niveles de cuantización.
Resolución en voltaje: 5 V/ 4096 niveles = 0.00122 Volts = 1.22 mV.
Resolución en voltaje: 6 V/ 4096 niveles = 0.00146 Volts = 1.46 mV.

De los resultados anteriores se desprende que el mínimo voltaje que podemos medir es de 1.22 mV, para el rango de 0-5 V.

Todas las señales de salida de los sensores son de voltaje, por lo que la forma en que estas se digitalizan en el FP-AI 100 es importante. En la figura 3.5 se muestra un esquema de la configuración interna de cada canal.

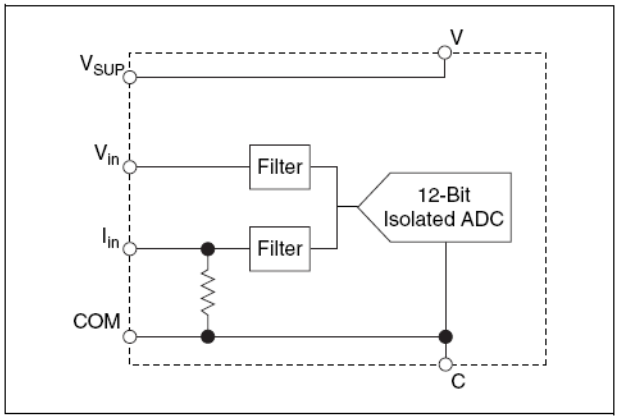


Figura 3.5 Circuito de la entrada analógica de un canal

Como se ve en la figura 3.5 la señal de entrada es primero filtrada y después digitalizada, de forma independiente ya que cada ADC esta aislado, además de que todos los canales comparten una tierra común, pero ésta aislada de otros módulos, lo que evita que cuando se daña un modulo por una descarga se dañen todos de igual modo.

Otro de los módulos que conforma el sistema instalado en el detector de la pirámide, es el FP-AO 200 (FieldPoint Analog Output 200), el cual es un módulo de salidas analógicas; sus principales características son las siguientes:

- Ocho canales de salida (0-20 mA o 4-20 mA).
- 0.5 mA de sobrecorriente.
- 12 bits de resolución.
- Hasta 1 kΩ de impedancia de carga (con una fuente de 24 V).
- Indicadores para lazos de circuito abierto.
- Protección contra cortos circuitos.
- Operación desde -40 a 70 °C.
- Trabaja en ambientes con humedad relativa de hasta 90% (no condensada).

Este módulo es utilizado para enviar una señal de corriente, la cual pone en funciones una válvula que tiene como responsabilidad el controlar, el flujo de gas hacia las cámaras multialámbricas. Con esta señal se asegura que si existe una falla o una fuga, esta válvula se cierra.

Muchos de los dispositivos con los que actualmente se cuentan, trabajan con pulsos de voltaje, pues es más fácil operar con este parámetro. Por ejemplo, en el caso de la válvula, la figura 3.6 se muestra como se genera la salida del pulso de corriente en el FP-AO 200.

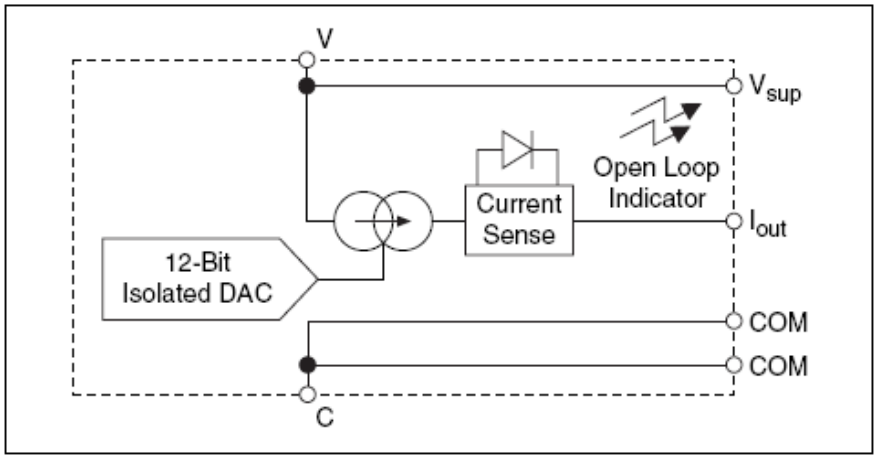


Figura 3.6 Canal de salida del FP-AO 200

Para convertir el pulso de corriente en voltaje, se coloca una resistencia de hasta 1KΩ, ya que si se pone una resistencia mayor el circuito lo vería abierto y no entregaría corriente. El tamaño del pulso lo definimos variando la corriente aplicada a la resistencia.

De este modo no solo podemos obtener pulsos de corriente con este modulo, sino también pulsos de voltaje, lo que lo hace muy versátil. En el mercado existen módulos específicamente de salida de voltaje, pero con esta sencilla adaptación podemos crear uno; la única limitante es el voltaje máximo que se puede obtener, dado que la corriente que se tiene es de apenas uno cuantos mA.

Los dos módulos anteriores sólo realizan parte de las funciones del sistema, es decir, uno son entradas, el otro son salidas. Finalmente el módulo que comunica a los dos anteriores con la PC, es el FP1000, el cual tiene las siguientes características relevantes:

- Cuenta con comunicación RS-232 o RS-485, para conectar con la PC o con otros módulos.
- Se pueden conectar hasta nueve módulos E/S por cada FP1000 formando un banco, y se pueden interconectar hasta 25 bancos.
- Cuenta con una configuración manual de velocidad de transmisión que se ajusta al sistema en el que se esté trabajando.
- Configuración de comunicaciones: 1 bit de inicio, 8 bits de datos, 1 bit de paro, y sin paridad.
- Bajo consumo de energía, 1Watt + 1.15 x Σ (por cada módulo deE/S)
- Operación -40 a 70 °C.
- Trabaja en ambientes con humedad relativa de hasta 90% (no condensada).

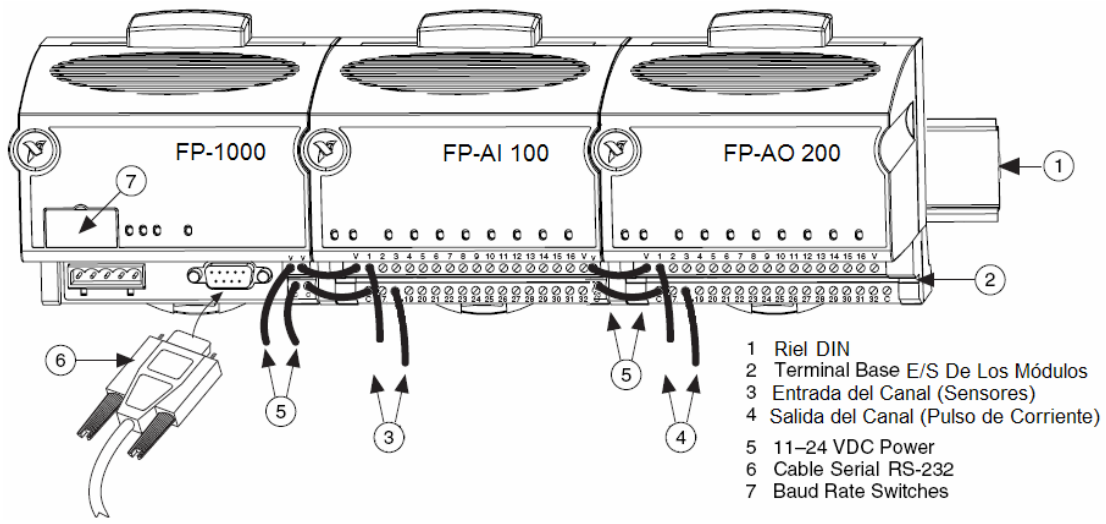


Figura 3.7 Acoplamiento de módulos del sistema FieldPoint

Los módulos FieldPoint se pueden interconectar unos con otros, y acumular tantos como haga falta para cubrir las necesidades de la aplicación, como se ve en la figura 3.7. Esto representa una ventaja enorme, pues si se necesita una aplicación extra, simplemente se coloca el módulo que cubra esa necesidad, y el sistema crece conforme la aplicación lo requiera.

En estas líneas he enunciado sólo algunas características de los módulos FieldPoint, pero estos cuentan con muchas más. Las que se han mencionado importan para el desarrollo del sistema de monitoreo de la pirámide; si se quiere conocer mas a fondo todas las características que tiene el sistema se pueden consultar los manuales del usuario y hojas de datos incluidos en uno de los apéndices de este trabajo.

3.2.2 ¿Por qué FieldPoint?

Como se puede ver existen varios métodos para la adquisición y transferencia de datos, pero se eligió trabajar con productos de National Instruments, debido a la simplicidad en la operación y configuración. Más aun, el IFUNAM ya cuenta con hardware y software de National Instruments que realiza la adquisición y la transferencia de datos, lo que nos evita recurrir a otro tipo de métodos, y con ello otro modelo de programación.

Para la adquisición de datos se consideraron originalmente dos opciones; una era la de utilizar una tarjeta PCI 6024 y la otra el sistema FieldPoint. Se ha tomado la decisión de utilizar éste último por varias razones, como se explica a continuación:

En cuanto a la tarjeta PCI:

- Estaba demasiado sobrada en cuanto a frecuencia de muestreo.
- El número de entradas analógicas en la tarjeta es reducido.
- El costo es superior al del sistema FieldPoint.

En cuanto al sistema FieldPoint:

- Tiene una frecuencia de muestreo suficiente para la aplicación.
- El sistema es modular y se pueden ir agregando entradas y salidas de acuerdo con nuestras necesidades.
- El costo es menor debido al diseño.

FieldPoint simplifica la instalación y el mantenimiento con HotPnP (hot-swappable autoconfiguration), una característica particular del sistema, esto es que se pueden realizar cambios de módulos dañados sin necesidad de apagar los elementos que se estén utilizando en ese momento. Al ser detectado el elemento nuevo es configurado automáticamente y realiza las mismas funciones del elemento dañado.

El sistema incluye detección de defectos y errores (watchdog timers) y estados programables de encendido y modo de falla. Los módulos pueden ser examinados al entrar en funciones cada vez que se requiera a través de módulos especiales, además de revisar de manera permanente la comunicación con la red, lo que redunda en una gran seguridad de que se están colectando los datos.

Adicionalmente, el empaque duro de FieldPoint y su resistencia a ambientes extremos, aseguran que es ideal para uso en ambientes industriales. El que el sistema sea tan robusto lo hace perfecto para su uso dentro del túnel de la pirámide, donde las difíciles condiciones ambientales de humedad y temperatura son los factores que debe resistir el equipo elegido.

3.3 Análisis de las condiciones ambientales

Como mencioné anteriormente el detector estará colocado dentro de una cámara ubicada bajo la base de la pirámide, y casi en el centro geométrico de la misma. A esta cámara se accede a través de un túnel de origen prehispánico, el cual tenía una gran estimación para los antiguos teotihuacanos, por lo que se debe tener especial cuidado en no deteriorar las paredes y toda huella original.

El detector estará sometido a condiciones ambientales extremas, que no son comparables con las condiciones controladas que existen en un laboratorio. El problema principal de control, se debe a que el túnel es de suma importancia para los arqueólogos, así que nosotros no podemos cambiar las condiciones naturales sin alterar su estado de conservación. Es precisamente por estas condiciones ambientales en las que se encontrará el detector que es necesario un constante monitoreo de las variables más notables, como son:

- **La humedad**. A lo largo del túnel la humedad es muy alta (alrededor del 90%), llegando a ser un problema muy grave para los equipos electrónicos, por el alto grado de condensación, si llegase a haber en alguno de los dispositivos. Otro problema relacionado con la humedad se debe a la utilización de altos voltajes en las cámaras multialámbricas y en los detectores de centelleo. Al estar el ambiente muy húmedo, la rigidez dieléctrica del aire disminuye por lo que se pueden generar descargas entre los detectores o en algún punto en el que el aislamiento se encuentre debilitado.

- **La temperatura**. Aunque la temperatura dentro del túnel es muy estable (alrededor de los 22°C), en nuestro afán de proteger a los equipos de la humedad construimos una área cerrada para alojar al detector. El calentamiento propio de los equipos puede causar una elevación de temperatura significativa, la cual puede causar un mal funcionamiento o inclusive el daño permanente de los equipos.

- **La calidad del aire**. El principal elemento que se va monitorear es el dióxido de carbono (CO_2); el túnel no cuenta con ventilación, por lo que cuando se ingresa en él, por la propia respiración de las personas, se incrementa la cantidad de CO_2 de manera considerable y en poco tiempo, pudiendo llegar a ser peligroso si se tiene una exposición prolongada. Además el detector mismo funciona con una mezcla de gases (CO_2 al 20% y Ar al 80%). Si bien el argón es un gas inerte, por lo que no interactúa con el medio, la preocupación principal es que si llegara a existir alguna fuga se cuente con las lecturas de los niveles de dióxido de carbono (CO_2) para saber si es seguro entrar y en que condiciones.

Además de las condiciones ambientales existen otras variables a monitorear, que tienen que ver con el propio funcionamiento del detector, tales como el suministro de energía eléctrica, el flujo de gas hacia las cámaras multialámbricas y la alimentación de alto voltaje hacia los detectores de centelleo y las cámaras multialámbricas.

3.4 El sensor de dióxido de carbono.

El dióxido de carbono, es un gas incoloro, inodoro, y cuya molécula consiste en un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno (CO_2). El dióxido de carbono se produce por diversos procesos: por combustión u oxidación de materiales que contienen carbono, como el carbón, la madera, el aceite o algunos alimentos; por la fermentación de azúcares, y por la descomposición de los carbonatos bajo la acción del calor o los ácidos.

La atmósfera contiene dióxido de carbono en cantidades variables, aunque normalmente es de 3 a 4 partes por 10^4, y aumenta un 0.4% al año. Es utilizado por las plantas verdes en el proceso conocido como fotosíntesis, por medio del cual se fabrican los carbohidratos, dentro del ciclo del carbono.

La presencia de dióxido de carbono en la sangre estimula la respiración. Por esa razón se le añade dióxido de carbono al oxígeno o aire ordinario en la respiración artificial, y a los gases utilizados en la anestesia.

Es perjudicial para la salud en concentraciones superiores a 5000 ppm[4] en 2-8 hr; los niveles atmosféricos se han incrementado desde unas 280 ppm hace un siglo a más de 350 ppm en la actualidad; probablemente esta tendencia esté contribuyendo a la generación del efecto invernadero.

En el medio ambiente el dióxido de carbono juega un papel importante, por tal motivo es imposible que el aire este libre de él. Lo que es importante para nosotros es que en concentraciones altas es perjudicial. Además, como se

[4] ppm (parts per million) –Abreviatura utilizada para designar concentraciones de gases, tenemos *partes por millón* (1/ppm = 0.000001). Generalmente por peso 100 ppm = 0.01% ; 10,000 ppm = 1%.

explicó anteriormente, el funcionamiento mismo del detector utiliza una combinación de gases entre los cuales se en encuentra el CO_2. Si llegase a existir una fuga, al ser el túnel un lugar cerrado, las concentraciones se elevarían de forma dramática. Lo que se puede hacer es monitorear las concentraciones para ver si el lugar en el que se va acceder es seguro y por cuanto tiempo.

Para realizar el monitoreo se eligió un sensor portátil de CO_2 y temperatura el Telaire 7001 ver figura 3.8, el cual tiene las siguientes características relevantes:

- Monitor portátil, puede ser utilizado con baterías.
- Rango de 0-4000 ppm para ser utilizado como salida de voltaje, y de 0-10,000 ppm en la pantalla indicadora.
- Tiempo de repuesta menor a los 60 segundos.
- Condiciones de operación 0-50 °C y hasta 95% HR no condensada.
- Salida analógica a través de un cable RJ-45 a DB9 serial, de 0-4V DC para la temperatura lineal de 0-40 °C, y para el CO_2 de 0-4 V DC 1mV/ppm (4000 ppm máximo).
- Impedancia de salida de 100Ω.



Figura 3.8 Sensor Telaire 7001

Durante la operación del detector de CO_2 una lámpara de tungsteno genera un haz luminoso. Esta luz es parcialmente absorbida por el CO_2 contenido en aire, mientras la muestra atraviesa el cuerpo del sensor (ver figura 3.9), tomando como referencia la cantidad de luz que llega cuando el sensor esta vació, mientras menor sea la cantidad de luz que se recolecte en los fotodiodos, mayor es la concentración de dióxido de carbono en la muestra.

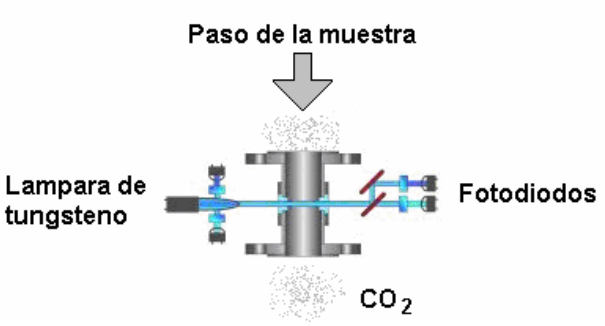


Figura 3.9 Principio de funcionamiento del sensor de dióxido de carbono

El sensor cuenta con un sistema de absorción doble (dual beam absorption), el cual utiliza dos fotodiodos en los cuales se recibe la señal de luz. De esta manera se asegura que las mediciones sean precisas, teniendo en cuenta posibles perturbaciones en la muestra por falta de homogeneidad.

Este sensor es muy útil por ser portátil, de este modo podemos medir la concentración de CO_2 al ingresar al túnel de la pirámide. También tiene una entrada de alimentación de DC externa, convirtiéndose en un medidor fijo, lo que nos da la oportunidad de dejarlo midiendo las concentraciones de CO_2 de manera continua.

Para lograr que el sensor funcione de este modo tenemos que tomar la salida analógica y digitalizarla en el sistema FieldPoint. Esto se logra colocando una entrada RJ-45 en el sensor, pero sólo tomamos los cables de las salidas correspondientes; en la figura 3.10 vemos como se realiza esta conexión.

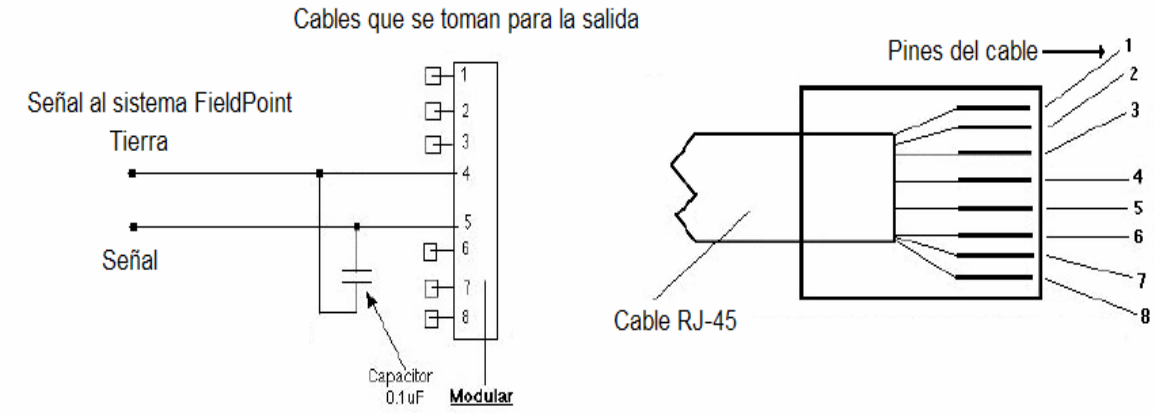


Figura 3.10 Salidas del sensor de CO_2

El sensor cuenta con su propio software para guardar datos, y con ello funcionar en industrias u oficinas. En nuestro caso se integró este sensor al sistema que implementamos con los módulos de FieldPoint. Para ello tomamos de forma directa la salida y la acoplamos al módulo digitalizador.

La salida de este sensor es lineal, por lo que una vez que se tiene la señal analógica de salida esta es digitalizada. Ya en el programa es donde es multiplicada por un factor constante de 1000, para ser desplegada en la pantalla y guardar los datos en un archivo de texto, para después ser enviados al Instituto de Física.

3.5 Sensor de humedad

La humedad es la cantidad de vapor de agua contenido en el aire, en un lugar e instante determinados. La humedad atmosférica puede expresarse en valor absoluto, pero es más significativo su valor relativo, ya que la cantidad máxima posible de vapor de agua presente en el aire (saturación) es variable y depende de la temperatura. La humedad relativa (RH) se define como el tanto por ciento de vapor de agua presente en un momento dado con respecto al total que podría haber a la misma temperatura. Cuando baja la temperatura, disminuye la cantidad de vapor posible en el aire. Como cota inferior existe el punto de rocío, por debajo del cual el vapor se condensa en gotitas que dan lugar a precipitaciones.

Para cualquier equipo eléctrico la humedad es uno de los enemigos ambientales más importantes, ya que es la causante de fallas, ya sea por que corroe los elementos, o porque provoca descargas o cortos circuitos. Por tal motivo es indispensable mantener los niveles de humedad lo suficientemente bajos para que los equipos operen de manera correcta.

En el túnel de la Pirámide del Sol la humedad es un factor ambiental muy importante, ya que los niveles de humedad relativa que se tienen registrados hasta el momento han llegado hasta el 95% (no condensada), lo que representa el límite mas alto que tienen algunos de los instrumentos mas resistentes a la humedad. La gran mayoría de la instrumentación necesita condiciones ambientales mucho menos agresivas en ese aspecto.

Para monitorear las condiciones de humedad de la bóveda donde estará colocado el detector de muones se ha decidido utilizar el sensor de estado sólido HIH-3610 (ver figura 3.11), que tiene las siguientes características relevantes:

- Alimentación de voltaje de 4 - 5.8 VDC. Sensor calibrado a 5 V y 200 μA.
- Tiempo de respuesta de 15 s, con un movimiento lento de aire a 25 °C.
- Respuesta lineal con una variación de salida del 2% de RH a una temperatura de 25 °C.
- Inmunidad al polvo y al aceite.

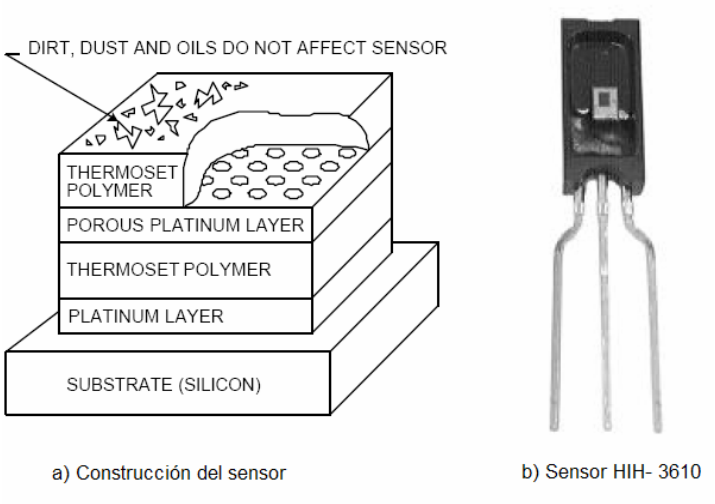


Figura 3.11 a) Capas que conforman del sensor, b) Imagen del sensor HIH-3610

Como se mencionó anteriormente, la humedad relativa depende de la temperatura, por lo que este circuito integrado tiene que medir la temperatura y la humedad al mismo tiempo. Este proceso lo lleva a cabo mediante una detección capacitiva fijada en los polímeros del thermoset que interactúan recíprocamente con los electrodos de platino, entregando una sola salida relacionada con la humedad. Existe otro tipo de sensores que dan ambas lecturas, pero son más costosos.

La ventaja que tiene este sensor sobre otros es el precio, que es relativamente bajo, y además cuenta con una alta resistencia a factores que dominan en el túnel de la pirámide, tales como polvo y los residuos que se pueden depositar sobre el sensor, tal como se muestra en la figura 3.11.

El cuerpo del sensor es similar a un pequeño transistor con tres patas, de las cuales una es el voltaje de polarización, la otra es la referencia (tierra), y la última es el voltaje de salida. Estas dos últimas son las que se llevan al sistema FieldPoint para dar una medida de humedad en la pantalla y ser almacenada en los datos de las condiciones que guarda sistema DAQ.

La salida de este sensor es lineal, pero para poder obtener una medición de humedad se tiene que realizar la siguiente operación al voltaje de salida obtenido y digitalizado:

$$\%RH = (V_{out} - 0.958)/0.0307$$

Este sensor tiene la ventaja de un bajo costo, pero la desventaja de que pierde sensibilidad al estar expuesto durante un largo periodo a humedades relativas mayores al 90%, tal como sucede en la pirámide, lo cual crea un offset de 3% en la medición final.

3.6 Sensor de Temperatura

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Como lo que medimos es el promedio de las energías cinéticas de las partículas, la temperatura no depende del número de partículas en un objeto y por lo tanto no depende de su tamaño.

Dentro del túnel de la Pirámide la temperatura no es un parámetro que preocupe para el desarrollo del experimento, pues se han realizado mediciones anteriores, que nos muestran que es un parámetro muy estable, que va de los 21°C a los 23°C, lo cual es muy bueno. Sin embargo estas mediciones se han realizado sin el detector, y el resto de la instrumentación dentro del túnel. Con el desarrollo del experimento se van a tener condiciones de temperatura distintas, y eso se debe de cuantificar.

Algo que se debe recalcar es que el túnel es de gran aprecio para los arqueólogos. El que exista un aumento significativo de la temperatura por la operación del detector puede causar daños a las condiciones naturales del túnel. Por tal motivo hemos construido un área cerrada dentro de la bóveda central del pasaje para aislar nuestro experimento lo más posible de la humedad y al mismo tiempo proteger el estado natural del túnel.

El que la instrumentación se encuentre en un área reducida puede causar un sobrecalentamiento, y con ello pueden ocurrir fallas en el detector. Para evitar esto se han colocado sensores de temperatura dentro del habitáculo que contiene al detector y fuera del mismo, para asegurar la menor interacción posible con el túnel, y tener una medición precisa de las condiciones internas.

Para medir este parámetro ambiental se cuenta con sensores de temperatura LM35. Su principio de funcionamiento es el mismo que el de los RTD (resistive temperature detector), resistores variables con la temperatura, pero no están basados en conductores como los RTD, sino en semiconductores.

La principal característica de este tipo de resistencias es que tienen una sensibilidad del orden de diez veces mayor que las metálicas, y si aumenta su resistencia al disminuir la temperatura su coeficiente de temperatura es negativo (NTC, negative temperature coefficient), mientras que si disminuye es positivo (PTC).

El principio de funcionamiento se basa en la dependencia de la resistencia de los semiconductores con la temperatura, debida a la variación con esta del número de portadores. De ahí que se presente un coeficiente de temperatura negativo (NTC). Esta dependencia varía con la presencia de impurezas, y si el dopado es muy intenso, el semiconductor adquiere propiedades metálicas con coeficiente de temperatura positivo (PTC).

El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1ºC y un rango que abarca desde -55º a +150ºC. El sensor se presenta en diferentes encapsulados pero el mas común es el TO-92, que es el usado en nuestro sistema de monitoreo. Tiene la apariencia de un típico transistor con 3 patas; dos de ellas para alimentarlo y la tercera entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo, como se muestra en la figura 3.12.



Figura 3.12 Encapsulado del LM35 y patas de salida.

La salida es lineal y equivale a 10mV/ºC por lo tanto:

- +1500mV = 150ºC
- +250mV = 25ºC
- -550mV = -55ºC

Para hacer un termómetro lo único que se necesita es un voltímetro bien calibrado, y en la escala correcta para que muestre el voltaje equivalente a temperatura. En nuestro caso lo que se hizo fue ingresar la salida en el sistema FieldPoint para digitalizar la señal analógica y desplegar la temperatura en el monitor de la PC, así como almacenar los datos en un archivo para tener un registro. Finalmente, es posible enviar los datos al Instituto de Física en la UNAM, cuando sean requeridos.

3.7 Otros elementos

3.7.1 Sensor de flujo

Como se mencionó anteriormente, existen otros elementos que tienen que ver con el funcionamiento mismo del detector, y no con el monitoreo de las condiciones ambientales. Tal es el caso del sensor de flujo; cada cámara multialámbrica funciona haciéndole pasar una mezcla de gas (80% Ar, 20% CO_2), y para asegurar el buen funcionamiento de la cámara se debe tener un flujo constante de la mezcla, pues si el gas pasa mucho tiempo estático sufre una degradación, y los datos entregados se vuelven incorrectos. Para verificar que el gas esta fluyendo de buena forma colocamos sensores de flujo en la

salida de cada cámara, pues aun cuando todas están conectadas a la misma fuente de gas, puede ocurrir que por alguna de ellas el gas no este fluyendo correctamente y se afecte el desempeño completo del detector.

Para realizar esta tarea contamos con sensores de flujo Sierra Instruments Modelo 820 Top-Trak™ Mass Flow Meter (figura 3.13), los cuales están diseñados para medir el flujo volumétrico a un bajo costo. Los sensores proporcionados por esta compañía tienen la característica especial de que son calibrados específicamente para el tipo de gas que se va a medir y no necesitan correcciones de presión o temperatura.

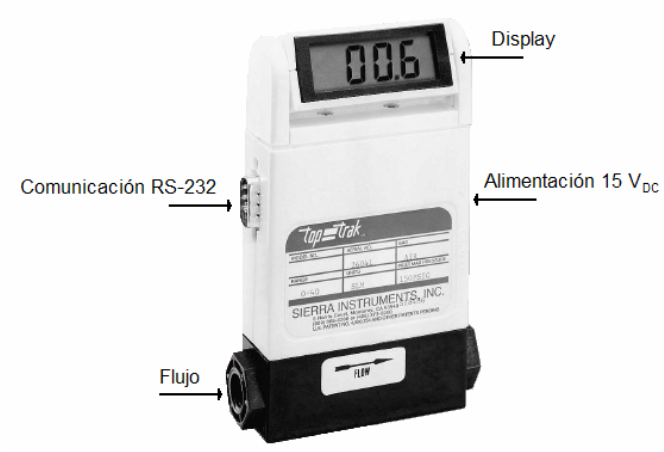


Figura 3.13 Sensor de flujo Sierra Instrument

Además de esta característica el sensor cuenta con otras que son relevantes para su utilización en el sistema, tales como:

- Tiempo de respuesta de 800 ms.
- Salida analógica de 4 V para la escala completa.
- Pantalla de LCD, para lectura directa.
- Salida de 0 a 10 sccm[5].
- Alimentación externa de 12 VDC.

El principio de funcionamiento del sensor esta basado en la transferencia de calor y la primera ley de la termodinámica. Durante la operación del sensor el flujo de gas se divide en dos trayectorias, tal como se muestra en la figura 3.14. Una de ellas pasa a través del cuerpo del sensor y la otra forma un flujo laminar. El flujo laminar hace que una pequeña parte del flujo total se derive hacia el tubo sensor, constituido por dos resistencias variables con la temperatura (RTD), las cuales detectan pequeñas diferencias de temperatura entre la entrada y la salida

[5] Es la abreviatura para “standard cubic centimeters per minute” estas son unidades para el promedio de flujo de gases y el termino standard significa que es para una temperatura y una presión Standard 20°C y una atmósfera de presión.

del gas al pasar por el tubo. Estas pequeñas diferencias de temperatura son proporcionales al flujo de gas que pasa por el cuerpo del detector.

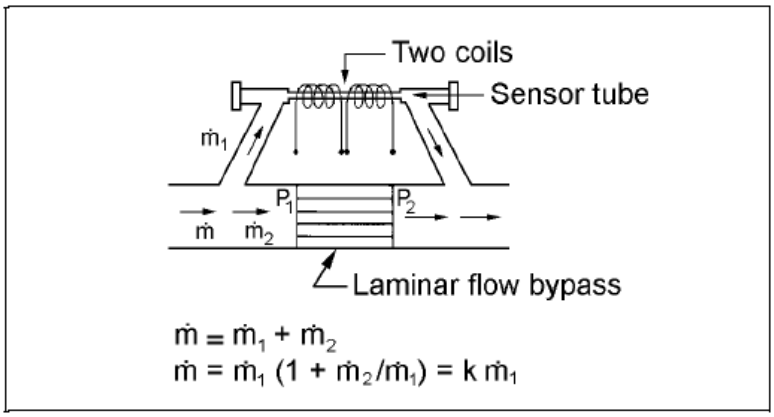


Figura 3.14 Principio de funcionamiento del sensor de flujo.

El sensor cuenta con una salida RS-232 para comunicarse con la PC, pero ésta salida también puede ser usada de forma directa, pues dos de los pines son una salida analógica de voltaje de 0-4 VDC en la escala completa, es decir, 10 sccm equivalen a 4 VDC. La salida es lineal y es la que nosotros usamos para conectarla al sistema FieldPoint.

Para poder usar la salida analógica de voltaje construimos un conector, y solo tomamos dos de los pines de salida tal como se muestra en la figura 3.15.

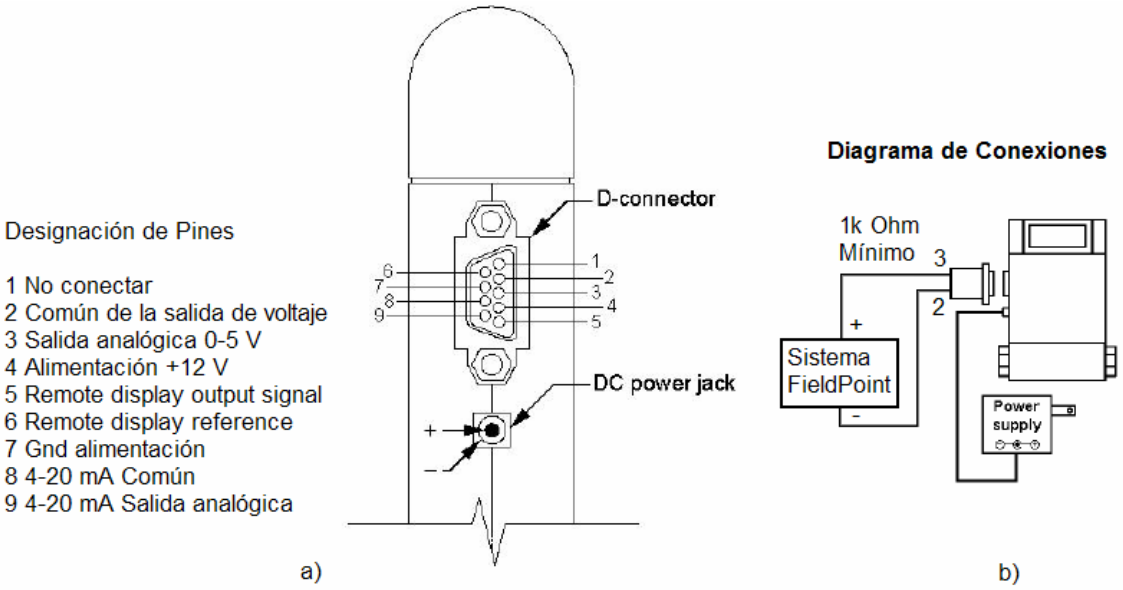


Figura 3.15 a) Designación de pines, b) Diagrama de conexión para la salida analógica de voltaje.

Como se puede observar el grupo de sensores es conectado al sistema FieldPoint y con un solo programa es posible leer todos los sensores, y desplegar la información en tiempo real en el monitor de la computadora, al mismo tiempo que se guarda la información en el disco duro. Además los datos se envían al IFUNAM a intervalos regulares, para que se tenga el conocimiento de las condiciones que guarda el experimento.

3.7.2 Fuente de Alto Voltaje VISyN 1458

Uno de los elementos que es importante controlar y monitorear, es la fuente de alto voltaje, la cual es la encargada de suministrar el alto voltaje a las cámaras multialámbricas y a los detectores de centelleo. Al igual que los sensores de gas este elemento es indispensable en el funcionamiento del detector, y aunque no forma parte del sistema básico de sensores ambientales, es necesario conocer las condiciones en las que esta se encuentra para ver el buen funcionamiento del detector. La fuente de voltaje es el modelo VISyN 1458 de Universal Voltronics; en la figura 3.16 se muestra una fotografía de la fuente, la cual tiene las siguientes características importantes:

- Modular y escalable (hasta 16 slots o espacios para incorporar tarjetas)
- Control vía RS-232 en una terminal VT100, o a través de Ethernet.
- Rampas de corriente y voltaje para que en caso de un sobrevoltaje o corriente, el apagado de las salidas sea de forma gradual y no de golpe para evitar daños al equipo.
- Las tarjetas incorporadas al procesador proporcionan una medida exacta de voltaje y corriente que entrega la fuente, (característica importante para el control).
- Al tratarse de una fuente modular se pueden adquirir diferentes tipos de tarjetas con diferentes combinaciones de valores de voltaje y corriente. Por ejemplo, los voltajes máximos de salida pueden ir desde 3kV hasta los 6kV y los de corriente van desde 100μA hasta 4mA.



Figura 3.16 Fuente Universal Voltronics VISyN 1458

Los elementos más importantes de la fuente son las tarjetas ver (figura 3.17), que se insertaran en ella para dar la salida de alto voltaje y corriente. Existen de diferentes tipos, pero con las que se cuentan en el Instituto son las siguientes:

- Tarjeta Modelo 1471

Tarjeta Independiente de 200μA, 6kV. Ideal para cámaras de deriva multicanal, cámaras multialámbricas y detectores de Ge. Cuenta con 8 canales de alto voltaje hasta 6kV a un máximo de corriente de 200μA. Todos los canales son programados individualmente, en pasos de 1V, desde 0 hasta 6kV. Cada canal provee de lectura de corriente y una rampa con una resolución de 15nA.

- Tarjeta Modelo 1461

Tarjeta independiente de 2.5mA, 3kV. Ideal principalmente para tubos fotomultiplicadores. Cuenta con 12 canales independientes programables desde 0 hasta 3kV y una salida de corriente máxima de 2.5mA/canal La tarjeta monitorea la salida de voltaje y corriente de cada canal, además de que se pueden programar las rampas de subida y bajada para voltaje y corriente.

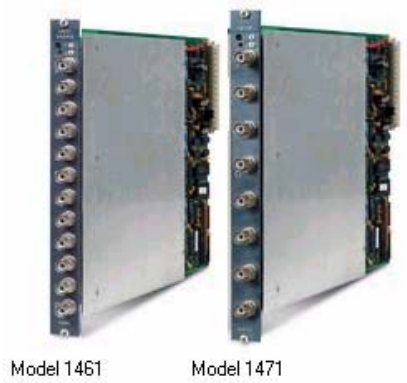


Figura 3.17 Tarjetas que se insertan en la fuente de alto voltaje

Las características arriba mencionadas son esenciales para alimentar al detector, pues las cámaras multialámbricas requieren aproximadamente 2000V (-2.0kV) y una corriente de 50μA, mientras que los fotomultiplicadores necesitan aproximadamente +1.5kV y una corriente de 200μA.

3.7.3 El sistema de respaldo eléctrico (UPS)

La alimentación eléctrica es una de las limitaciones importantes del sistema, pues el consumo de energía tiene que ser moderado, debido entre otras razones a las restricciones inherentes de ser un sitio arqueológico. Por ejemplo, no se pueden realizar excavaciones o implementar algún tipo de infraestructura, pues se pierde el valor arqueológico de la zona. Esto implica que solo se pudiera construir una línea de alimentación sobre la superficie, con una carga máxima de

4 kW, debido al calibre y características del cable utilizado. Sin embargo, esto es suficiente para alimentar al detector y toda la electrónica.

Por otro lado la fragilidad de la instalación eléctrica al encontrarse expuesta a posibles actos de vandalismo, y los frecuentes fallos en el suministro de energía por la compañía de luz, hacen necesaria la instalación de un sistema de respaldo, que regule la línea y que brinde, en caso de ser necesario, alimentación con baterías durante un fallo en el suministro. Todos estos inconvenientes los saldamos con un UPS (Uninterruptible Power Supply) o fuente ininterrumpible de alimentación APC Smart-UPS 3000VA RM 5U 120V (ver figura 3.18), la cual tiene las siguientes características relevantes:

- Ambiente operativo 0 - 40 °C.
- Humedad relativa de operación 0 - 95%.
- Entrada 120V/Salida 120V.
- Interfase DB-9 RS-232.
- Cuenta con su propio software de monitoreo y control.
- Duración típica de reserva con carga completa (2250 W) 5.7 min.



Figura 3.18 APC Smart-UPS 3000VA RM 5U 120V

Al contar con su propio software nosotros podemos configurar las características que nos interesan, entre otras la máxima potencia que puede entregar, para evitar sobrecargas. También se puede configurar la duración con baterías antes de terminar con los procesos que se están ejecutando en la computadora de control, lo cual es de gran utilidad pues no se descargan por completo las pilas y los procesos se terminan de forma adecuada. Además se puede generar un registro con todos los eventos que ocurran en la línea de alimentación, tales como una caída de voltaje o un sobrevoltaje, interrupción en la alimentación, entre otros.

Este sistema de respaldo es muy robusto y por lo tanto muy confiable, pero tiene como defecto el calor que, en conjunto con la demás electrónica, puede llegar a generar. Por eso se debe de tener un monitoreo de las condiciones ambientales dentro de la zona que alojará al detector.

3.8 Elección del sistema de comunicación

El sitio donde se desarrolla el experimento no cuenta con una infraestructura pública de comunicaciones, en los alrededores de la pirámide del sol el punto de acceso telefónico más cercano se encuentra a varios cientos de metros de distancia de la misma, y la construcción de una línea telefónica o cualquier tipo de comunicación por tierra no es posible. En cuanto a sistemas de internet inalámbrico, no existe cobertura en la zona de San Juan Teotihuacan, y aun menos dentro de la zona arqueológica.

Aunque otras opciones podrían ser la comunicación por radio o por microondas, se tendría que desarrollar cierta infraestructura y comprar nuevo equipo solo para establecer la comunicación. Sin embargo, al corroborar que se tenía cobertura de telefonía celular y que la señal era lo suficientemente potente, se resolvió por esta última alternativa para las comunicaciones.

Para este propósito se adquirió un equipo Enfora GSM 1203 (figura 3.19) que soporta comunicaciones GSM y GPRS, lo cual hace que se puedan enviar mensajes de voz, datos, SMS, y faxes, entre otros. Para una descripción mas detallada de los diferentes estándares de comunicación por telefonía celular, véase el Apéndice D.



Figura 3.19 Enfora GSM 1203

Con LabVIEW la publicación y distribución a través de internet de los datos que genera una aplicación, se puede llevar a cabo de forma muy sencilla y en algunos casos sin necesidad de llegar a programar, únicamente basta con realizar las configuraciones necesarias.

En LabVIEW existen diversas herramientas para la publicación y distribución de datos por red entre las que se encuentran:

- TCP/IP & UDP
- DataSocket
- Web Server

El inconveniente que tiene utilizar las herramientas proporcionadas por LabVIEW es la gran cantidad de información que necesitan transmitir, lo que es una limitante de nuestro contrato, pues contamos con solo 5Mb. Por lo tanto el sistema debe transmitir la mínima cantidad de información posible para no rebasar el límite establecido.

3.8.1 Metodología para la adquisición y transmisión de datos

La necesidad de estar siempre al tanto de las condiciones que guarda el experimento es para que en caso de que exista un fallo en el desarrollo del mismo, se cuente con los elementos para intervenir de manera oportuna.

Parar ello el sistema de monitoreo y control remoto está constituido de la siguiente manera: dentro del túnel se tiene un grupo de tres computadoras conectadas a través una pequeña red ethernet. Dos de ellas están al final del túnel tomando datos del detector y los sensores colocados en ese lugar, y la computadora restante está justo en la salida. Esta última está conectada al teléfono/módem celular por el cual se tiene acceso a Internet, tal como se muestra en la figura 3.20.

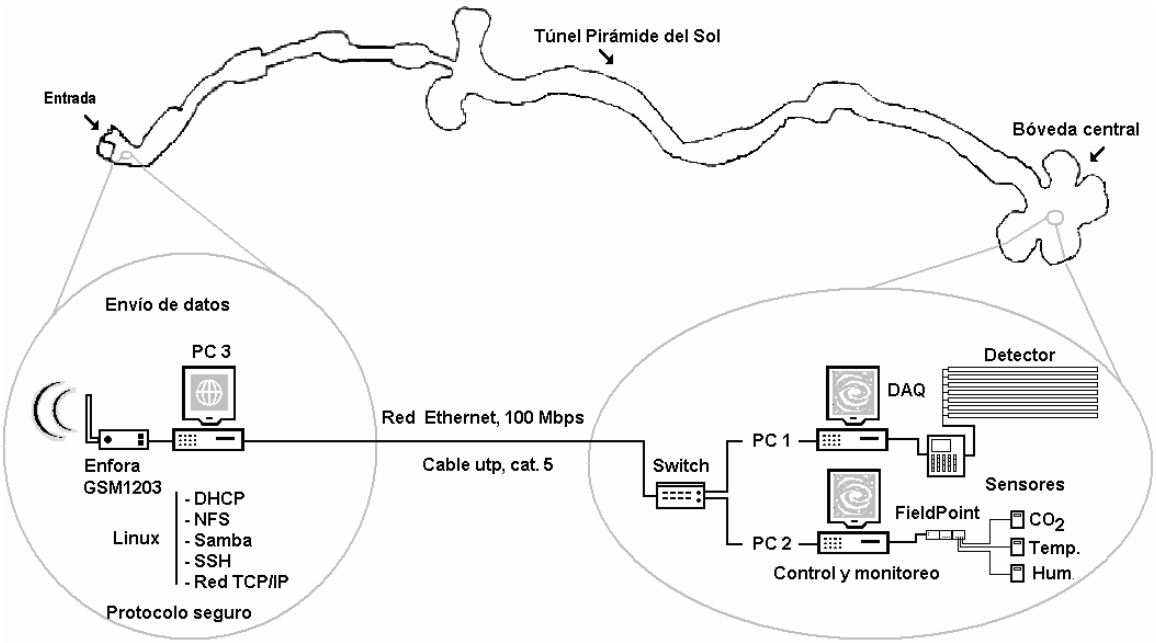


Figura 3.20 Sistema de adquisición y monitoreo

Cada computadora tiene un propósito específico; por ejemplo, la PC1 cuenta con el sistema operativo Windows XP, y es la encargada de la adquisición de datos (DAQ) generados por el detector, el control del detector (voltajes de operación, timing, electrónica de coincidencia, entre otras), y los sistemas CAMAC y NIM. La adquisición está basada en LabVIEW que hace que todo el sistema sea homogéneo en ese aspecto.

La PC2 es la que se encarga del monitoreo de sensores, y el UPS. El guardar y enviar los datos hacia la PC3 a través de la red ethernet también es su responsabilidad. El sistema operativo es Windows XP y el programa de monitoreo está basado en LabVIEW.

Finalmente la PC3 cuenta con sistema operativo Linux, y tiene el propósito de funcionar como servidor de red (DHCP, NFS, Samba). Tiene el control del módem y a través de éste se conecta al Internet, y controla el flujo de datos entre Teotihuacan y el Instituto de Física con un protocolo seguro (SSH).

En el capítulo IV se ofrece una descripción detallada de los programas que se desarrollaron en esta tesis para el monitoreo y el control del detector de muones, y el envió de datos desde Teotihuacan hacia el IFUNAM.

CAPITULO IV

MEDICIONES Y PRUEBAS

La versión final del sistema de control, monitoreo y adquisición de datos quedó conformado por el grupo de sensores conectados al FieldPoint; el respaldo eléctrico (UPS) y la fuente de alto voltaje, todos conectados a la PC donde se despliegan en tiempo real los datos y se almacenan, para posteriormente ser enviados a Ciudad Universitaria y analizados fuera de línea; el sistema completo se muestra en la figura 4.1:

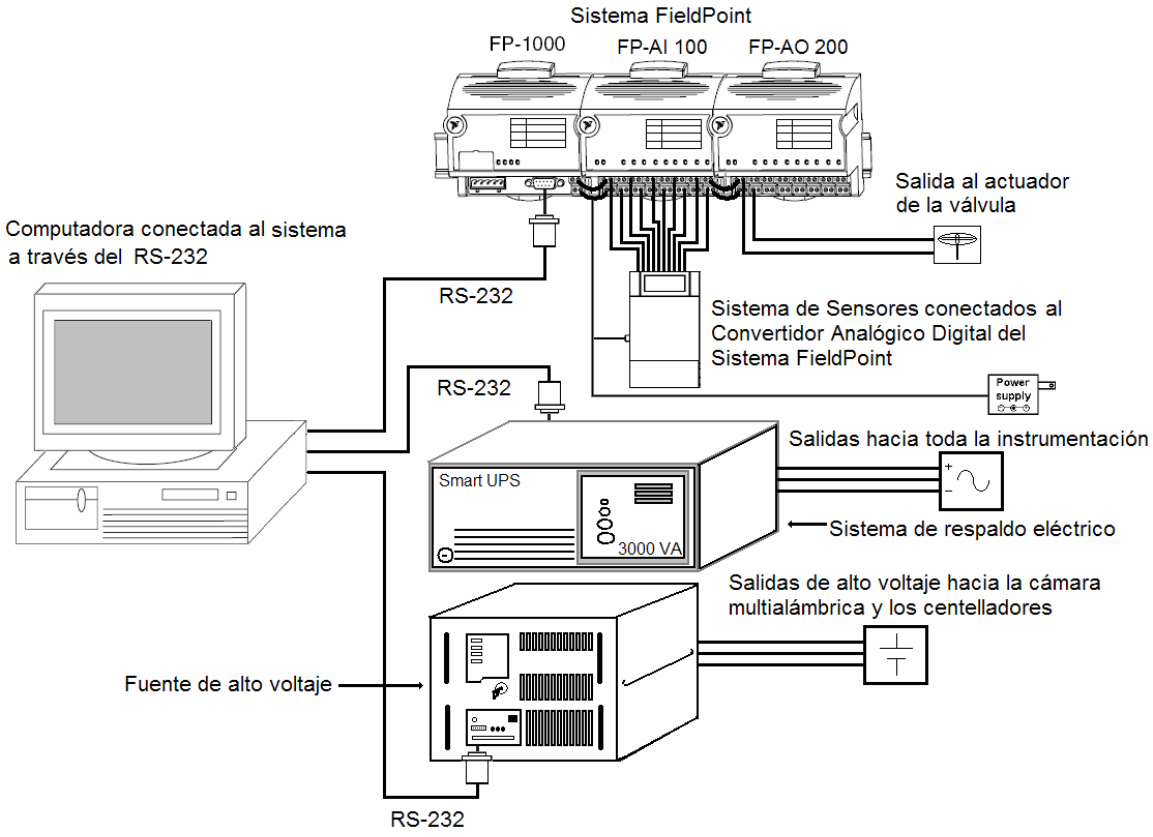


Figura 4.1 Sistema completo para control, monitoreo y adquisición de datos.

Para obtener los datos se tuvieron que realizar las configuraciones necesarias de los equipos y crear los programas para la adquisición. El UPS cuenta con su propio software de control y monitoreo (Powerchute plus), por lo que solo hubo que instalarlo y configurar las opciones adecuadas.

La fuente de alto voltaje no cuenta con una interfaz propia, por lo que se tuvo que diseñar un programa para su control a través de LabVIEW.
Para el sistema de sensores se realizó la configuración del sistema FieldPoint, donde se dieron de alta las características que deseábamos en cada canal, tales

como el voltaje de la escala de medición, la velocidad de comunicación y de muestreo, entre otras. Además se diseñó un programa para la adquisición, almacenamiento y envió de datos. A continuación se describen de forma detallada los programas creados con este propósito.

4.1 El programa en LabVIEW para el manejo de los sensores

Como mencione anteriormente, al programar en LabVIEW se generan dos ventanas, una que es el panel frontal y la otra el diagrama de bloques. En la figura 4.2 se muestra el panel con una breve descripción del mismo.

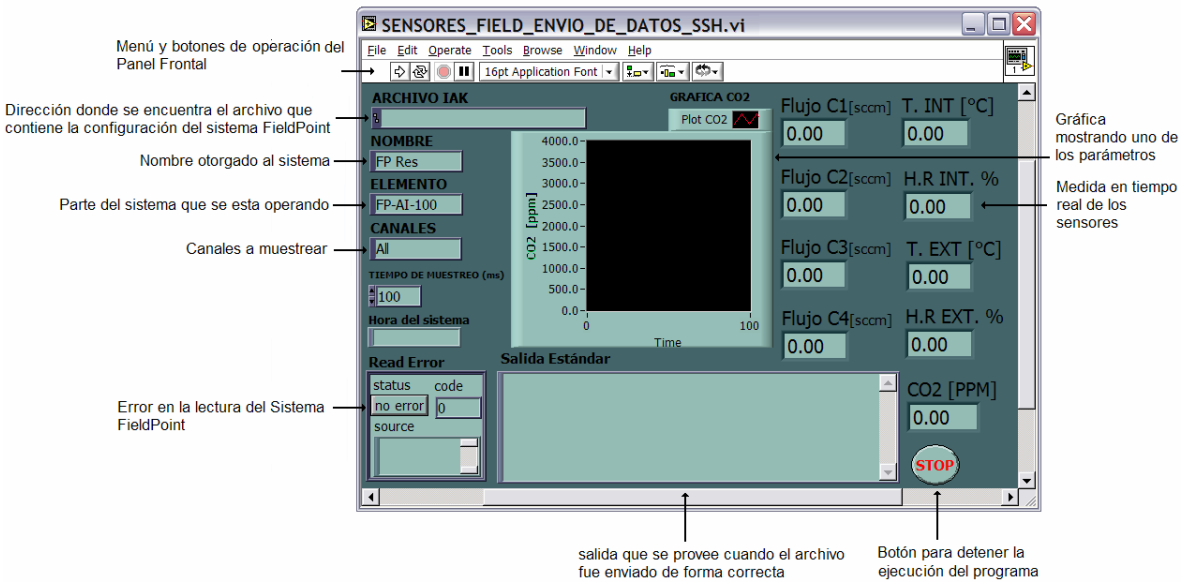


Figura 4.2 Panel frontal del programa de lectura de los sensores.

Como se puede observar algunos elementos son para introducir información y otros para desplegarla, de forma mas detallada el panel cuenta con los siguientes elementos:

Elementos de entrada:

- *Archivo IAK*. Cuando se realiza la configuración del sistema FieldPoint se crea un archivo con una extensión *.iak* que contiene la información de esta configuración, por lo tanto este es un campo que se debe llenar con la dirección donde se encuentra este archivo.
- *Nombre*. Nombre con el que se denomina al sistema, también almacenado en el archivo *.iak,* por ejemplo el nuestro es FPpiramide.
- *Elemento*. El sistema puede estar conformado por varios tipos de elementos tales como convertidores analógico/digitales, salidas analógicas, etc., por eso se debe indicar al programa cual elemento es el que se va a utilizar.

- *Canales*. Cada módulo tiene diferentes funciones y diferentes canales, por lo que se debe elegir la opción apropiada.
- *Tiempo de muestreo*. Hay algunos sensores que se refrescan muy rápido, es decir, despliegan nueva información en un tiempo muy corto, y otros que por el contrario son muy lentos. Con esta opción nosotros elegimos cada cuando tomar un dato, no tiene caso leer cientos de veces el mismo dato de un sensor, o perder información por no leer de forma reiterada el sensor.
- *Stop*. Botón de paro manual, útil para detener la ejecución del programa en el momento en que se desee. Este control se agrega para que el programa se ejecute de forma continua, y se detenga hasta que se lo indiquemos.

Elementos que despliegan información:

- *Hora del sistema*. Campo que, como su nombre lo indica, lo que hace es desplegar la hora que tiene la PC en ese momento.
- *Read error*. Cuando existe algún error en la lectura o comunicación con el sistema FieldPoint, en el panel frontal se puede saber, leyendo este campo, qué en ese momento los datos que se despliegan son incorrectos o no se han refrescado. Este campo es de gran utilidad para saber que lo que estamos leyendo es correcto.
- *Grafica de CO_2*. Ésta gráfica despliega el comportamiento en el tiempo del dióxido de carbono, lo cual es útil cuando nos encontramos en el túnel de la pirámide. Al saber cómo evoluciona éste parámetro podemos tener una idea mas clara de cuánto tiempo podemos permanecer en el lugar sin correr peligro.
- *Salida estándar*. Este programa, además de realizar la lectura y almacenamiento de datos, estos los envía al Instituto de Física. Cuando el archivo es enviado de forma correcta se despliega la información en este campo.
- Todos los demás campos o elementos tienen en la parte superior la información del parámetro que están desplegando y las unidades. Por ejemplo HR. INT % (humedad relativa interna en %), T. EXT °C (temperatura externa en °C), FlujoC1 [sccm] (flujo de la cámara 1 en centímetros cúbicos por minuto). Ésta información es en tiempo real, es decir, lo que están entregando cada uno de los sensores en ese momento.

La programación de cada uno de los elementos descritos anteriormente se encuentra en el diagrama de bloques de la figura 4.3, el cual tiene la ventaja de mostrar gráficamente el flujo de la información en el desarrollo de del programa:

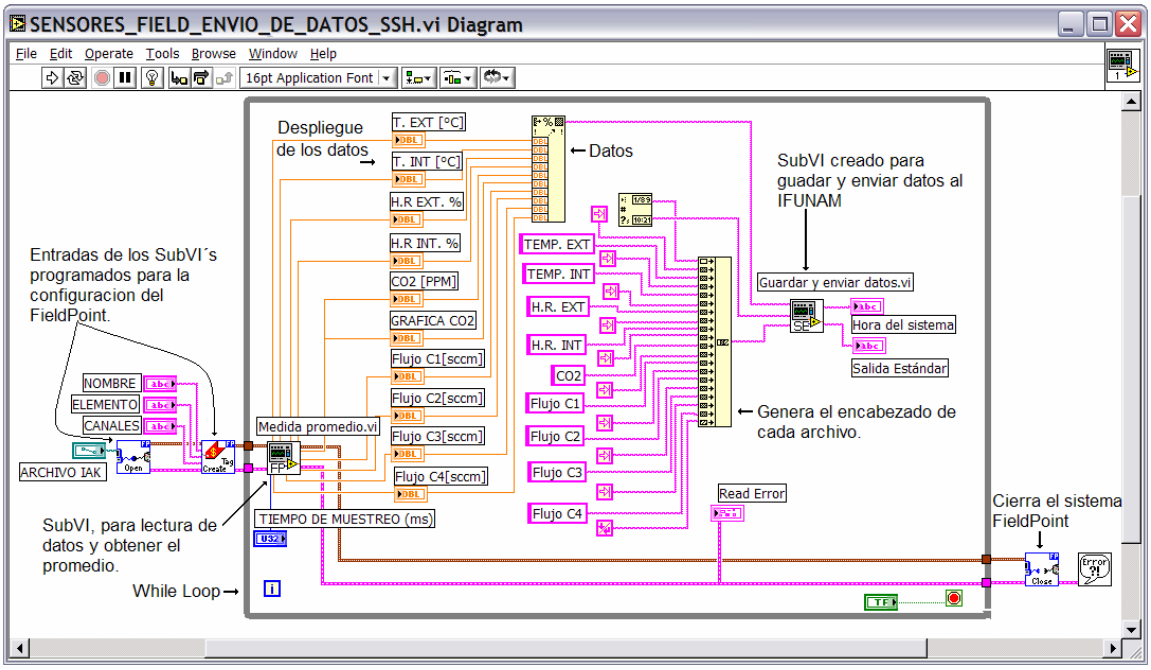


Figura 4.3 Diagrama de bloques del programa de lectura de los sensores

Después de que entran los datos de configuración del sistema FieldPoint. Se inicia un ciclo *while* que no para hasta que se lo ordenemos. Una vez dentro del ciclo se leen los datos de los sensores y se obtiene un promedio con una subrutina (subVI). El resultado se despliega en el panel frontal, y además se lleva hasta otro subVI que les coloca un encabezado y los envía a una computadora del IFUNAM. Este subVI también guarda día a día los datos obtenidos, por si se requiere un análisis fuera de línea. Finalmente, si damos la orden de detener el programa se cierra la configuración del FieldPoint, y si existió un error al hacer esto se despliega en el panel.

Una vez que entramos en el ciclo *while* lo primero que realizamos es leer los datos de los sensores con un subVI llamado *Medida promedio.vi* (figura 4.4). Este es un VI que funciona como una subrutina o subVI.

Una vez definidos los datos de configuración entran en el VI “FP READ”, que lee todas las entradas (o la que se halla indicado), y entrega los valores de salida, los cuales son valores de voltaje a los que se les tiene que aplicar alguna operación para que entreguen la medida del sensor en las unidades correctas, es decir, en °C para la temperatura, ppm en caso del CO_2, etc.; ésta operación la hacemos con un subVI llamado “Operaciones con las entradas.vi”; cada una de las salidas con las unidades correctas, se almacenan de forma individual en un arreglo unidimensional de 10 elementos, a los cuales se les calcula el promedio y se entrega la salida.

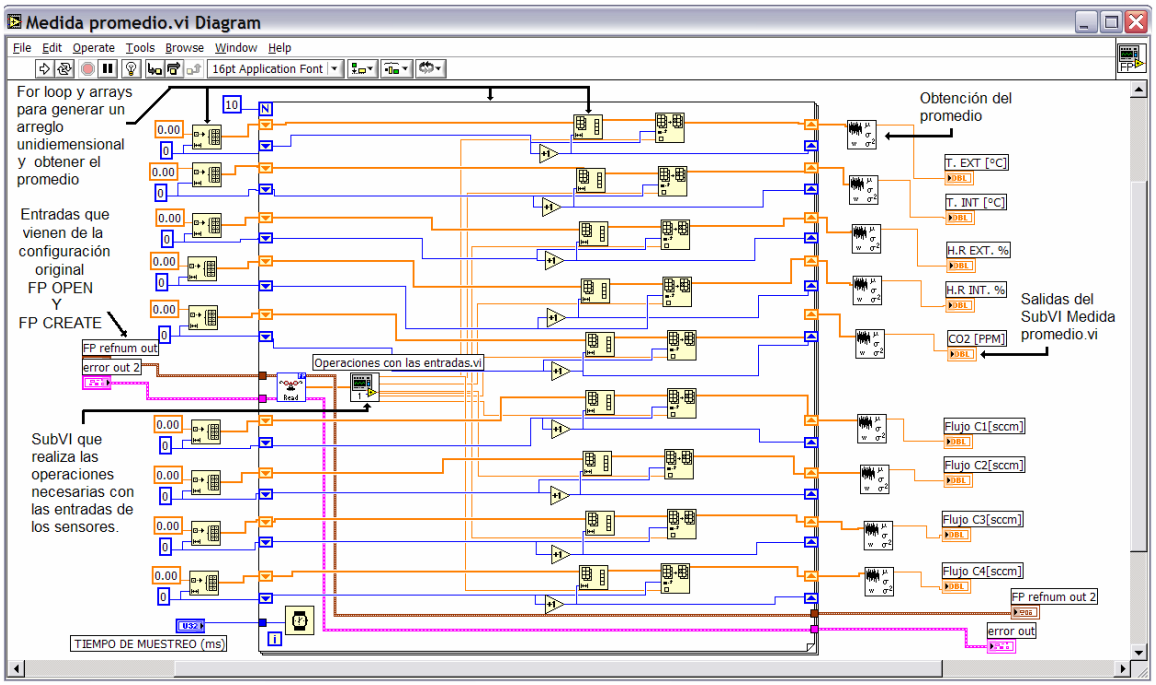


Figura 4.4 Medida promedio.vi

Como se puede ver en la figura 4.5, este subVI toma las entradas de los sensores que están en unidades de volts y les aplica una operación para convertirlas en las unidades correctas.

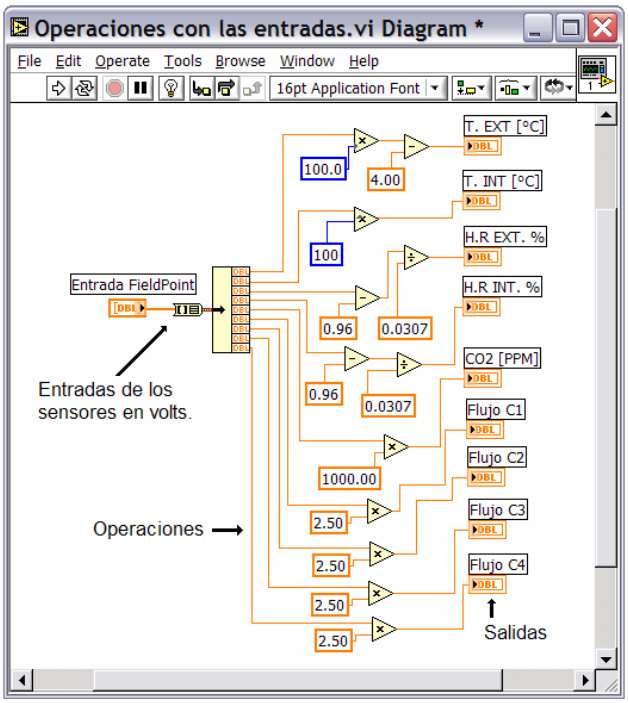


Figura 4.5 Operaciones con las entradas.vi

Existen ocasiones en que las salidas de los sensores, cambian rápidamente, y si la velocidad de muestreo es muy baja se pueden cometer errores al leer los datos. Para resolver este problema se hizo una lectura de las salidas 10 veces para obtener un promedio. Con esto se aminoran los errores de muestreo, dado que no todos los sensores tienen el mismo tiempo de refresco de los datos.

Finalmente en este subVI lo que se obtiene es una es una salida de los datos a los cuales ya se les aplicaron las operaciones necesarias para obtener las unidades correctas y el promedio, lo cual evita que existan errores al muestrear. Estos datos se despliegan en el panel frontal y además se llevan a otro subVI, el cual es el encargado de almacenarlos y enviarlos, este se llama "*Guardar y enviar datos.vi*", (ver figura 4.6).

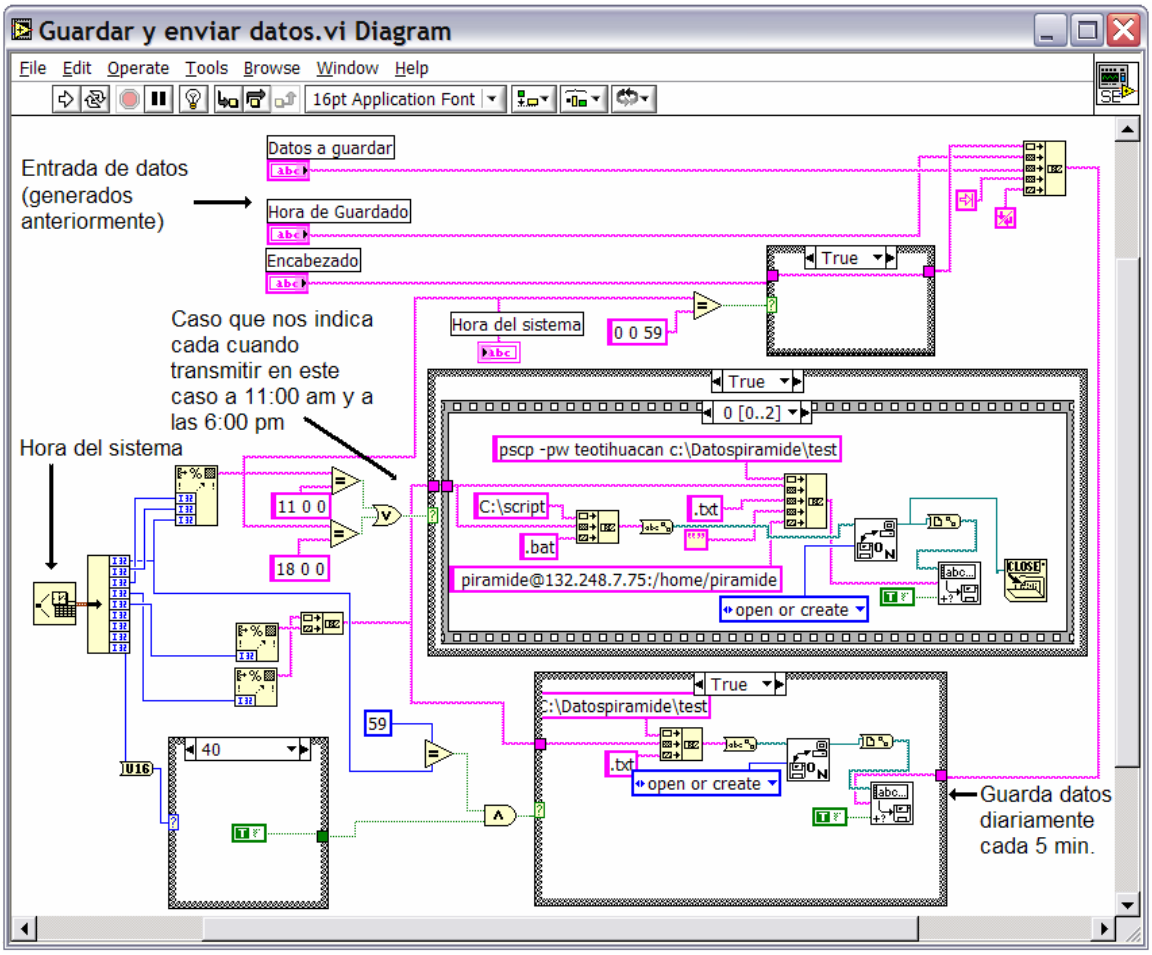


Figura 4.6 Guardar y enviar datos.vi

La idea del subVI "Guardar y enviar datos.vi", es muy simple. Con un VI ya programado se obtiene la hora del sistema; comparando la hora del sistema usamos una estructura *case*, el cual tiene como condición una hora determinada, por ejemplo a las 11:00 A.M. y a las 6:00 P.M., para conocer el estado del sistema, usando ese mismo concepto guardamos los datos cada 5

minutos. Todos los días se genera un archivo nuevo con los datos de ese día, con un nombre diferente cada vez, que se envía a un servidor en el IFUNAM.

Para enviar los datos usamos este mismo subVI. Una vez que se cumple la condición de la hora de envío de datos entramos en una secuencia (figura 4.7), que genera un *script* con la dirección de donde se tomaran los datos y la dirección a donde se enviaran.

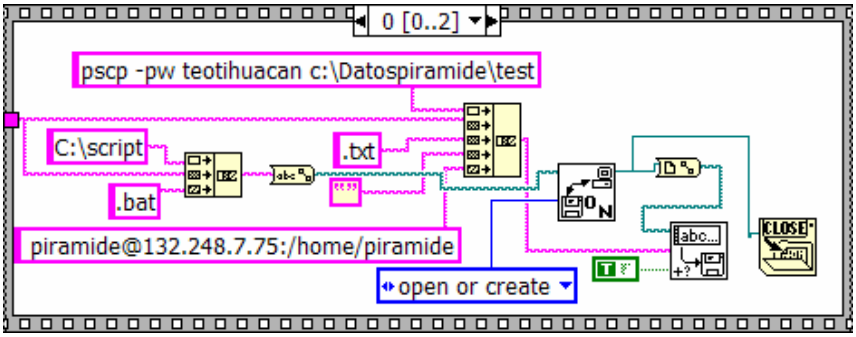


Figura 4.7 Secuencia 0

Una vez generado el *script* con los datos se aplica un retardo de tiempo de 1 segundo (ver figura 4.8); y finalmente se ejecuta el *script* (figura 4.9).

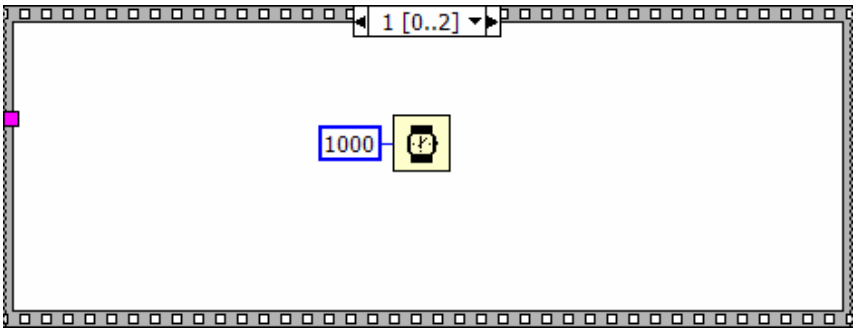


Figura 4.8 Secuencia 1 retardo de tiempo

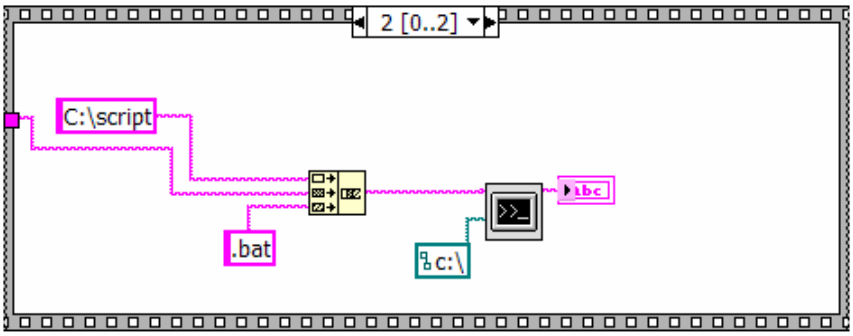


Figura 4.9 Secuencia 2

Una vez ejecutado se envían los datos que se han generado en ese día hasta ese momento.

4.2 El programa en LabVIEW de la fuente de alto voltaje

Como se mencionó anteriormente la comunicación entre la fuente y la PC se puede realizar a través de Ethernet o vía RS-232 con una terminal VT100 [6]. Este ultimo protocolo es el que se utilizó, dado qué en este modo de comunicación se pueden configurar las salidas de los canales a los valores deseados, así como monitorear los mismos emulando una sesión VT100, y lograr integrar eso al sistema de control y monitoreo.

El RS-232 o "Recommended Standard 232" está definido en las especificaciones ANSI (American National Standard Institution) 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". Ahí se describen las diferentes reglas a seguir para realizar una comunicación serie entre dos dispositivos distantes entre si. Las características principales que definen al estándar son:

- Velocidad máxima de transmisión de datos 20 kbps. Aunque existen aplicaciones que se salen de las especificaciones del estándar pues llegan a velocidades de hasta 116 kbps.
- Capacidad máxima de carga de 2500 pF. Esto se traduce en una longitud máxima de cable entre PC y el periférico de 15 a 20 metros. Para distancias mayores se ha de utilizar otro estándar de comunicaciones.

El conector DB9. Dado que el conector de 9 pines es muy utilizado en las comunicaciones serie basados en el RS-232, a continuación se muestra en la Tabla 2 un resumen con la función asociada a cada *pin*. Al construir un cable para la interconexión serie de dispositivos mediante RS-232, esta información es indispensable[6].

Tabla 2 Función de los pines del conector DB9

Pin	Siglas	Descripción
1	DCD	Data Carrier Detect
2	RD	Receive Data Line
3	TD	Transmit Data Line
4	DTR	Data Terminal Ready
5	GND	Signal Ground
6	DSR	Data Set Ready
7	RTS	Request To Send
8	CTS	Clear To Send
9	RI	Ring Indicator

[6] Para una descripción breve del funcionamiento de cada patilla ver el apéndice del Estándar RS232.

La conexión "módem nulo". En ciertas aplicaciones es necesario interconectar directamente dos dispositivos, es decir, la conexión serie no se realizara entre la PC y un módem, sino entre la PC y otro dispositivo como otra PC, un dispositivo digitalizador, un autómata programable industrial, u otros. En estos casos es necesario construir un cable de comunicaciones especial, con un cableado que permita la conexión de dos equipos sin la mediación de un módem. Esta conexión típica es la llamada de "módem nulo", y se presenta en la (figura 4.10):

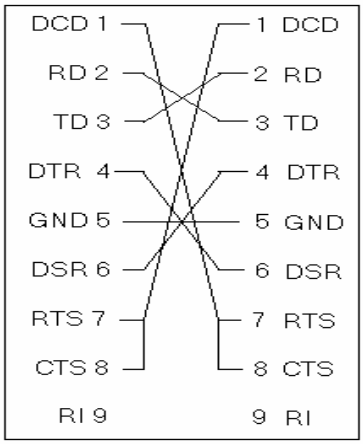


Figura 4.10, conexión módem nulo

La gran mayoría de los equipos actuales no hacen necesaria la mediación de un módem para las comunicaciones. Tal es el caso de nuestra fuente, y por lo tanto fue necesario implementar este cable; una vez cableado la comunicación se lleva a cabo de forma correcta.

4.2.1 Diseño del programa de control para la fuente

LabVIEW proporciona herramientas preprogramadas para el manejo del puerto serie. Los iconos de manejo del puerto serie se encuentran en el menú **Functions** de la ventana **Diagram.** Una vez en Functions, se ha de acceder al submenú **Instrument I/O.** Acto seguido, tras situar el ratón sobre **I/O Compatibility -> Serial Compatibility**. Tras seguir estos pasos, aparecen en la pantalla los seis iconos que LabVIEW ofrece para el uso del puerto serie. La situación de estos iconos en el submenú indicado se muestra en la figura 4.11.

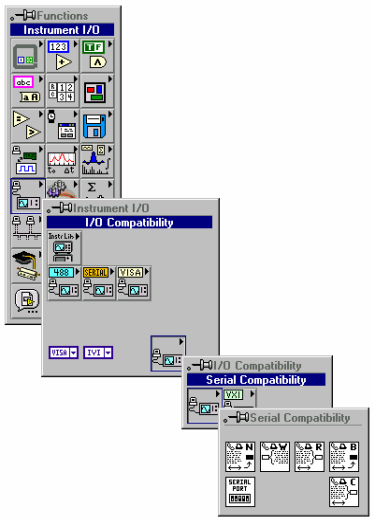


Figura 4.11 Localización en LabVIEW del puerto serie

Es importante tener en cuenta los siguientes pasos a seguir al utilizar el puerto serie son los siguientes:

- Realizar la configuración del puerto serie inicializándolo según las características que se deseen para la comunicación. Ya no será necesario volver a configurar el puerto mientras no se varíen las condiciones de la comunicación.
- Acceder al puerto serie para recibir o enviar datos tantas veces como se desee.

Es importante tener en cuenta que la configuración que se le de al puerto serie de la PC ha de ser exactamente la misma que utilice el dispositivo periférico. Si esto no fuera así, PC y periférico no podrían comunicarse con éxito, ya que estarían utilizando especificaciones de transmisión diferentes.

Así pues, antes de realizar ninguna operación con el puerto serie, será necesario configurarlo de forma adecuada, teniendo en cuenta las características de comunicación del dispositivo. La ventana del panel frontal se muestra en la figura 4.12.

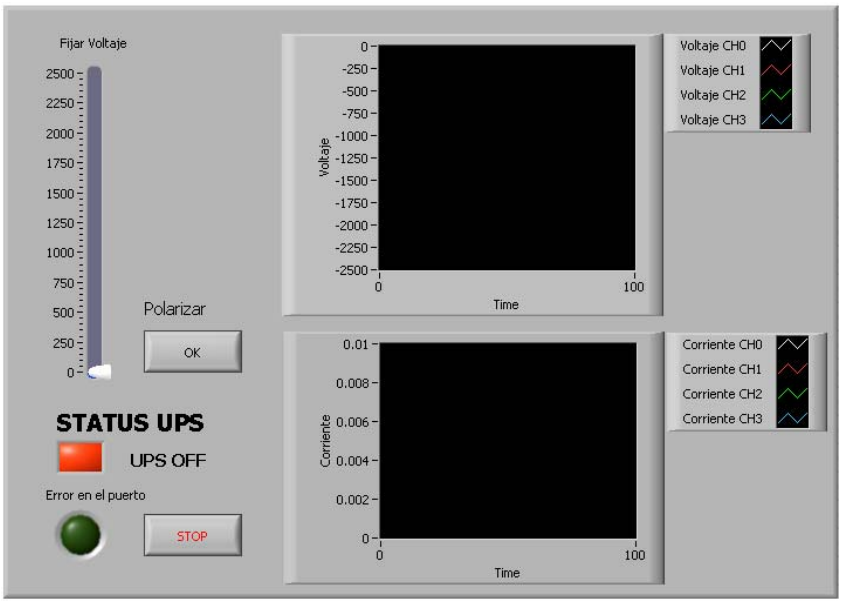


Figura 4.12 Panel frontal del programa de control de la fuente.

El funcionamiento del programa es muy sencillo, se arranca el programa y se fija el valor del voltaje, y con el botón de polarizar habilitamos las salidas de voltaje de la fuente. En las gráficas se monitorea el voltaje y la corriente en tiempo real, y los botones indican el estado del UPS y si existe un error en la comunicación.

La programación se encuentra en el diagrama de bloques de la figura 4.13.

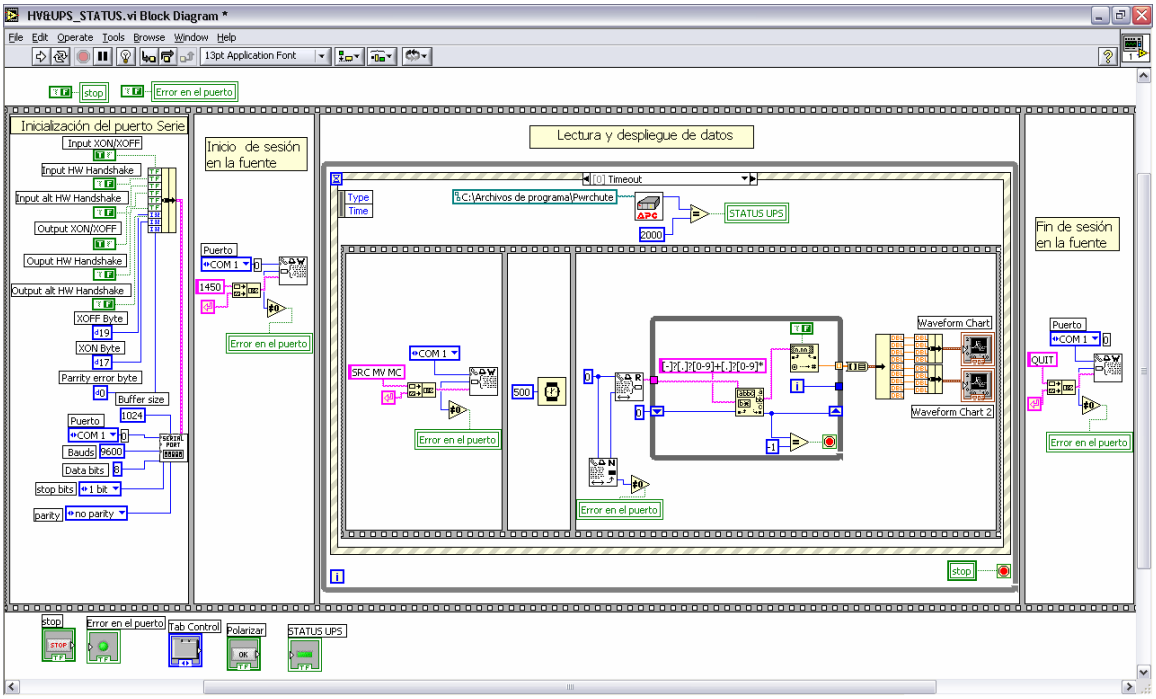


Figura 4.13 Secuencia del diagrama de bloques del control de la fuente

Se configura el puerto serie, tal como se muestra en la figura 4.14.

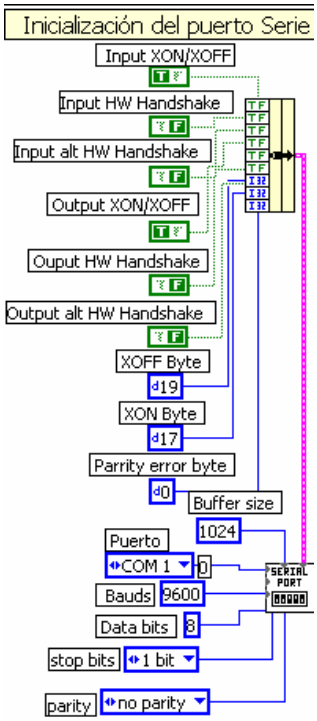


Figura 4.14 Inicialización del puerto serie.

Continuamos con la secuencia del programa (ver figura 4.13), una vez configurado el puerto se inicia sesión en la fuente de alto voltaje escribiendo un comando, tal como se muestra en la figura 4.15.

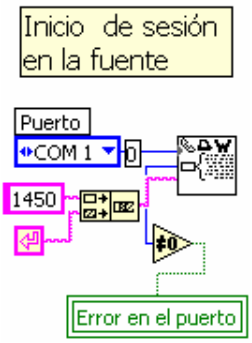


Figura 4.15 Inicio de sesión.

Entramos en un ciclo *while* para la lectura y despliegue de los datos (ver figura 4.16). Dentro de este ciclo se monitorea el estado del voltaje y la corriente en la fuente, y además el status del UPS.

Los datos recabados son comparados con valores limites fijados con anterioridad, esto para tomar acciones de existir un fallo.

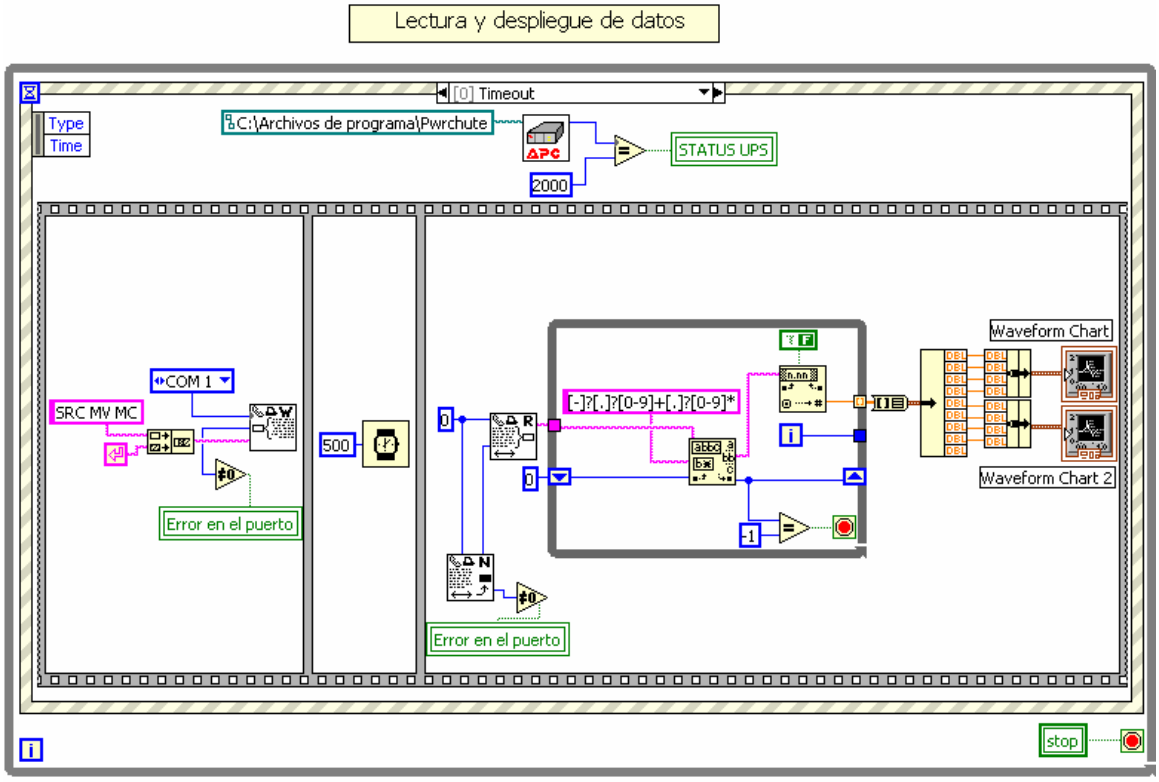


Figura 4.16 Lectura y despliegue de datos

Por ejemplo si el UPS llegase a mandar la orden de apagado del sistema por una falla eléctrica, la fuente no se apagara de golpe, lo que puede dañarla, tal como se muestra en la figura 4.17.

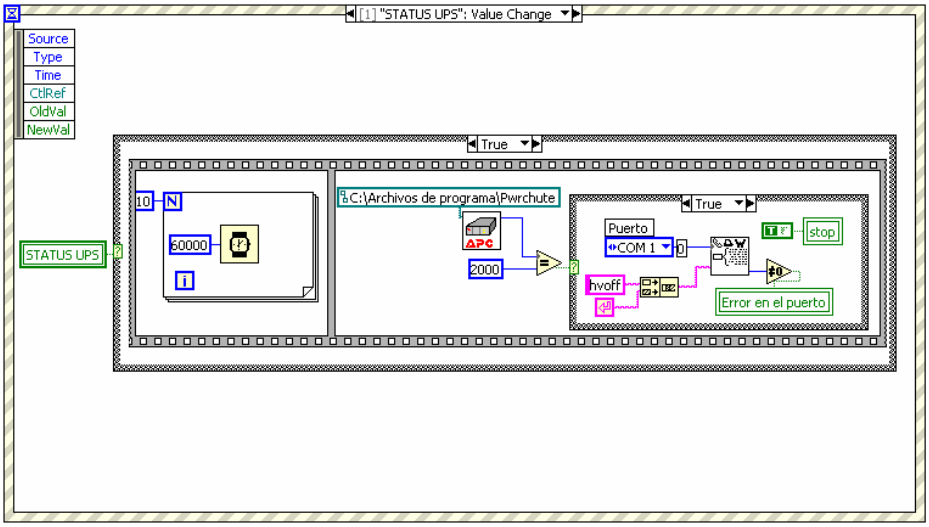


Figura 4.17 Acción a realizar si el UPS manda la orden de apagado.

De la misma forma se toma una acción si son rebasados los límites de voltaje y corriente preestablecidos. Finalmente al momento de dar stop salimos del ciclo *while* y cerramos la sesión entre la fuente, tal como se muestra en la figura 4.18.

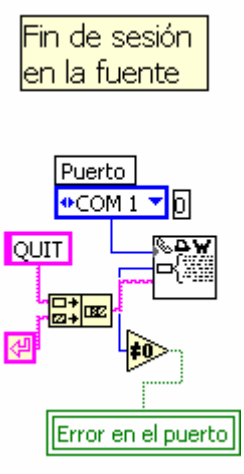


Figura 4.18 Cierre de sesión y final del programa.

Con este sencillo programa corriendo todo el tiempo en la PC logramos tener control sobre la fuente y además protegerla contra una posible falla en la energía eléctrica, que podría dañar sus salidas de voltaje.

Del mismo modo que el programa de los sensores, el programa de control de la fuente guarda y envía los datos al IFUNAM, para conocer la información de las condiciones ambientales, el flujo de gas en el detector, el estado del UPS, controlar la fuente y tenerla protegida contra en repentino apagón.

4.3 Resultados y Análisis de Datos

Una vez que los sensores están en funcionamiento, se digitaliza la información y se tiene una medición en tiempo real, desplegada en panel frontal del VI. Además, las condiciones ambientales y otros datos son almacenados en archivos de tipo texto (figura 4.19), que son los que se recopilan para tener el comportamiento del sistema a través del tiempo.

test 6 7 2005	21 KB	Documento de texto	06/07/2005 11:56 p...
test 7 7 2005	21 KB	Documento de texto	07/07/2005 11:56 p...
test 8 7 2005	21 KB	Documento de texto	08/07/2005 11:56 p...
test 9 7 2005	21 KB	Documento de texto	09/07/2005 11:56 p...
test 10 7 2005	21 KB	Documento de texto	10/07/2005 11:56 p...
test 11 7 2005	21 KB	Documento de texto	11/07/2005 11:56 p...
test 12 7 2005	21 KB	Documento de texto	12/07/2005 11:56 p...
test 13 7 2005	21 KB	Documento de texto	13/07/2005 11:56 p...

Figura 4.19 Archivos de textos que se crean y guardan diariamente.

Estos datos son enviados diariamente al Instituto de Física en CU. Como se puede ver, su tamaño es pequeño apenas 21 kB lo que los hace ideales para nuestros propósitos, pues la conexión vía teléfono celular con un servicio GPRS incluye solo 5 Mb al mes para ser transmitidos.

El detector no se ha instalado de forma completa, por lo que los datos que aquí se presentan son de la parte del detector que ya se instaló, y ha estado funcionando desde hace varios meses (ver figura 4.20).

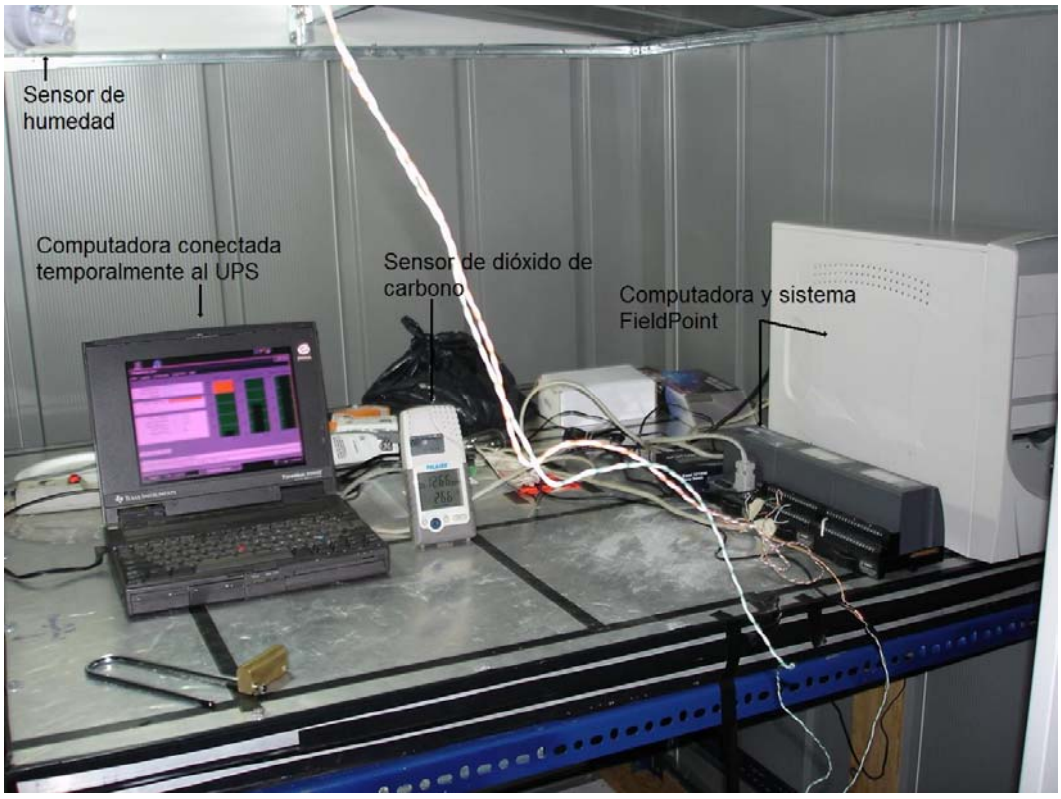


Figura 4.20 Componentes instalados en la pirámide.

Como parte de esta tesis se instalaron sensores dentro y fuera del área donde estará alojado el detector. La figura 4.20 muestra los sensores de humedad, temperatura, y CO_2, instalados en el cubículo del detector, junto con la computadora y el sistema FieldPoint que digitaliza los datos. Debido a que no queremos modificar las condiciones naturales del túnel hemos instalado sensores también fuera del área de trabajo. En la figura 4.21 podemos ver que en condiciones de operación el detector queda aislado, pues se cierran las puertas del cubículo contenedor.



Figura 4.21 Caseta que aloja al detector y sensores colocados fuera de ella.

Fuera de la caseta están instalados sensores de humedad, de temperatura, y de dióxido de carbono, tal como se observa en la figura 4.21.

Para lograr una adquisición de datos confiable, todos los sensores fueron calibrados de forma independiente. Por ejemplo, el sensor de temperatura fue calibrado con un medidor de temperatura comercial, comparando el voltaje entregado con lo que marcaba el medidor usado como patrón. El sensor de humedad fue calibrado de la misma forma.

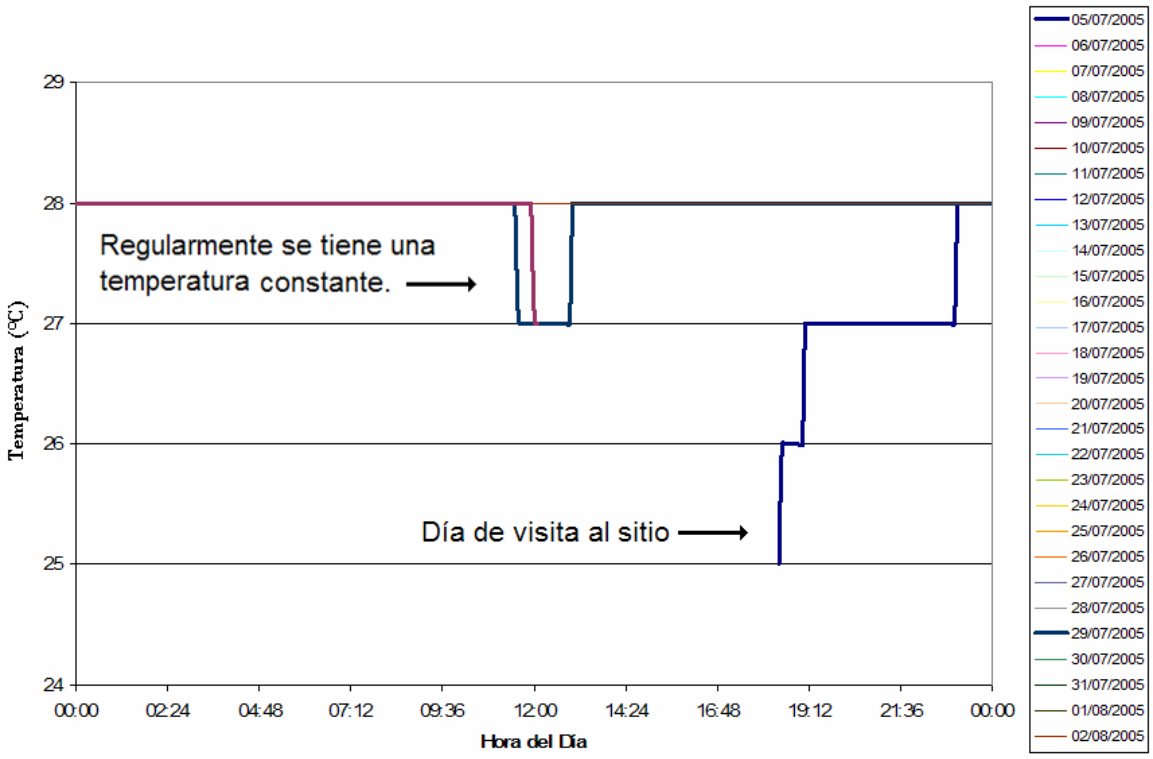
El sensor de CO_2 se calibró en dos pasos, primero ajustando a la altura a la que trabajará, y segundo al contar este con una pantalla indicadora simplemente se compara la salida entregada (en mV), con lo que se indica en su pantalla.

El sensor de flujo también cuenta con una pantalla indicadora, y está calibrado para el gas en cuestión, por lo que solo fue necesario corroborar que estaba trabajando de forma correcta.

El error en las lecturas va del 2% al 6% en el sensor de CO_2, que es que entrega una salida más pequeña comparada con la lectura. Por lo que fue innecesario agregar barras de error en las gráficas.

4.3.1 Datos de temperatura.

Como ejemplo del tipo de datos que genera el sistema de monitoreo, la gráfica 4.22, muestra el comportamiento de la temperatura vs. Tiempo, la línea de tiempo abarca las 24 horas del día, empezando a las 0:00 horas y terminando a las 23:55. Los datos que se muestran corresponden a un período de 4 semanas del 5 de julio de 2005 al 5 de agosto de 2005.

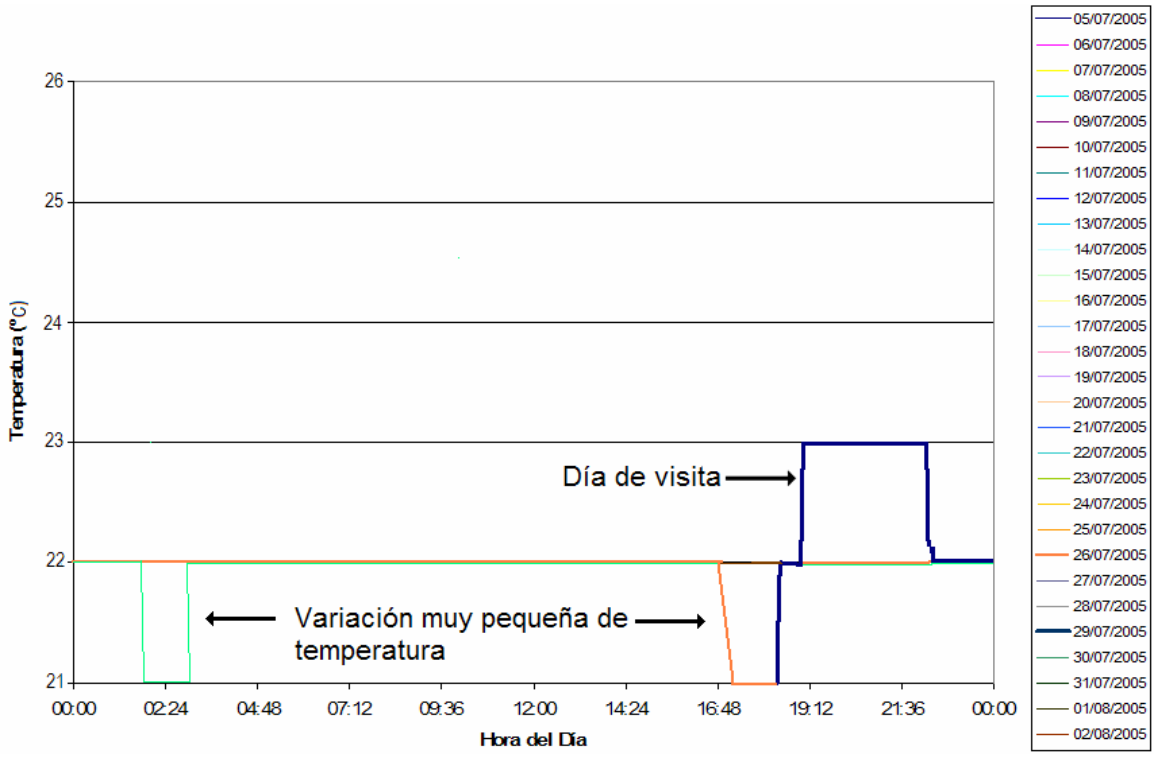


Gráfica 4.22 Temperatura interna vs. tiempo.

Lo más relevante de ésta gráfica es que la temperatura se mantiene en un nivel constante durante todo el día, en un nivel de 28°C. Durante el periodo de muestreo sólo existió una variación en la cual bajo 1°C.

Otro punto importante es que el día que se visitó la pirámide se abrió la caseta, y la temperatura bajó considerablemente, pero al momento de cerrarla la temperatura se recuperó y llego a los niveles que tienen generalmente, tal como se muestra en la grafica.

La temperatura externa también es monitoreada, y la gráfica 4.23 muestra los datos relevantes. Por ejemplo, de la misma manera que la temperatura interna, la externa también es muy constante y solo ocasionalmente se registran cambios.

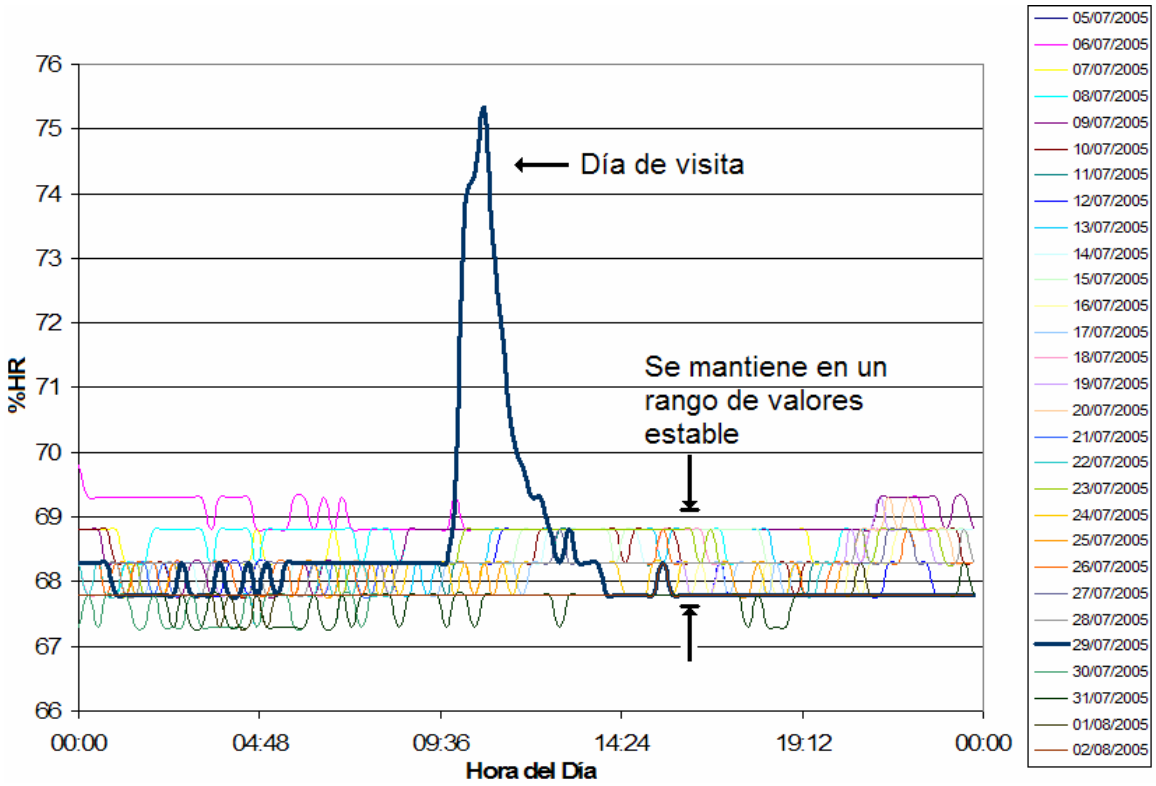


Grafica 4.23 Temperatura externa vs. tiempo

4.3.2 Datos de humedad.

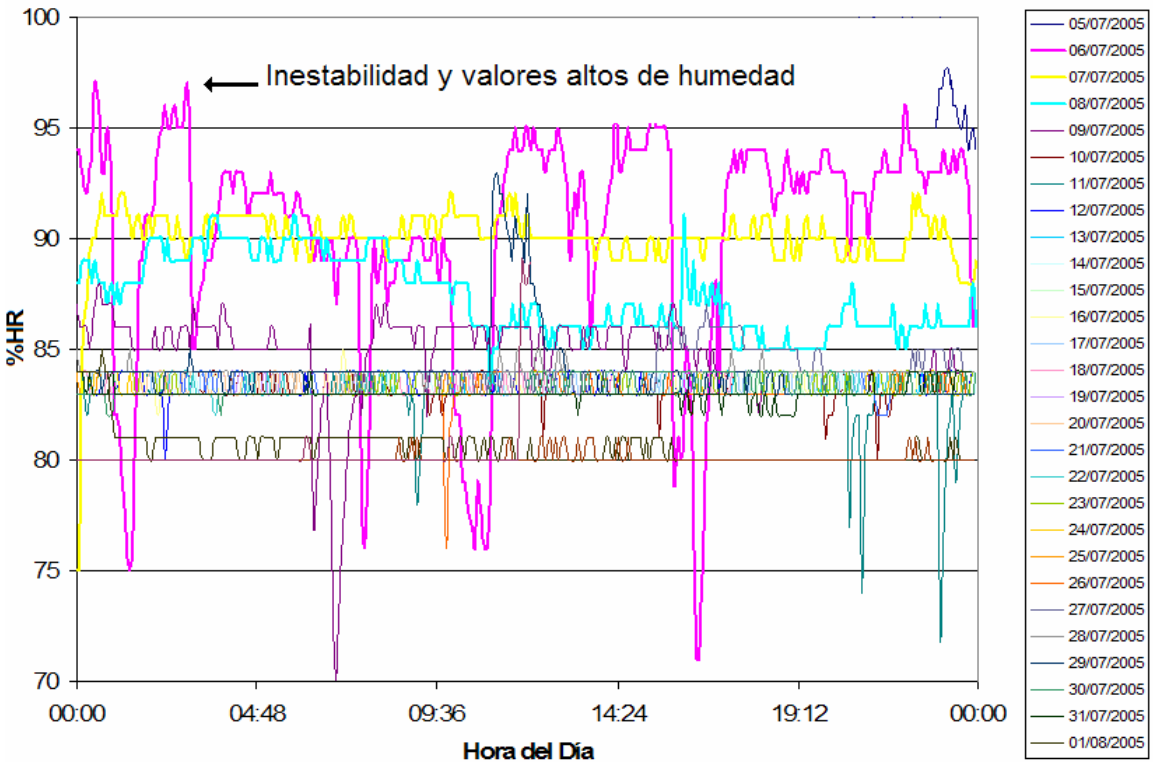
La gráfica 4.24 muestra la humedad relativa interna vs. tiempo. En esta gráfica podemos ver que la humedad se encuentra estable la mayor parte del día, manteniéndose en niveles muy aceptables para los equipos electrónicos, alrededor de 68%.

Al igual que la temperatura interna, la humedad dentro de la caseta se modifica con las visitas que se realizan, aumentando considerablemente al momento en que se trabaja en el interior de la caseta.



Gráfica 4.24 Humedad relativa interna vs. tiempo

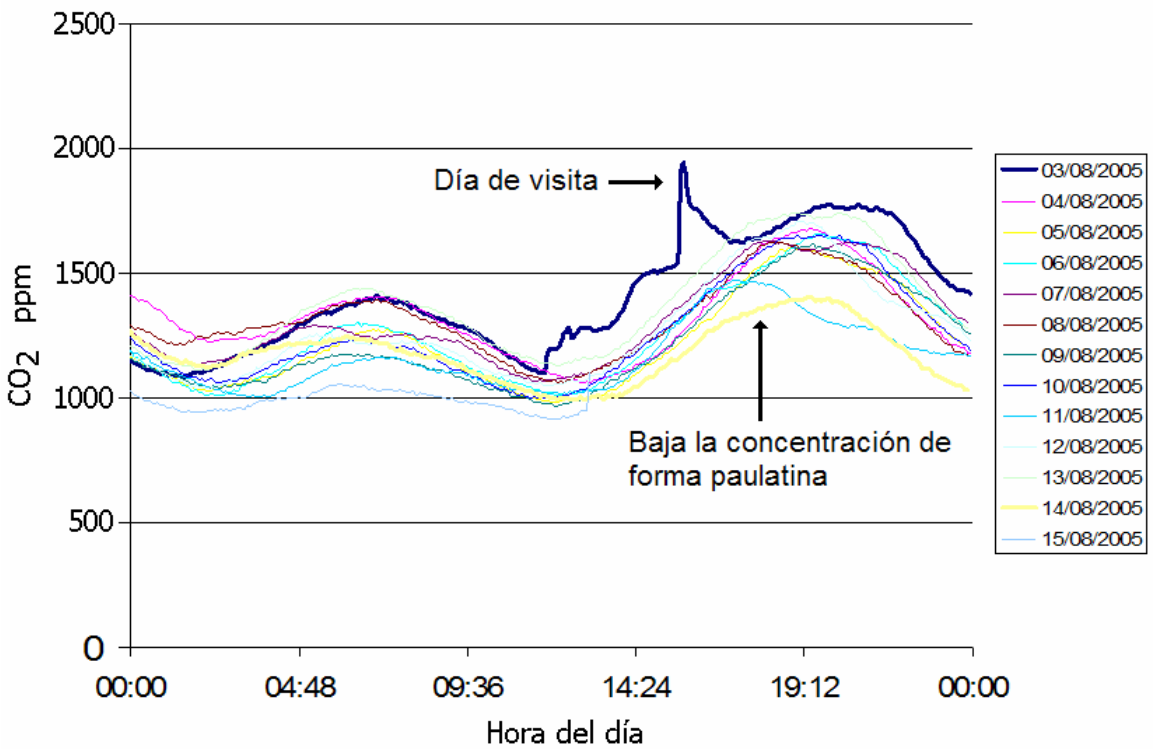
La gráfica 4.25 muestra la humedad relativa externa vs. Tiempo. En esta gráfica se ve claramente que la humedad es muy alta, alrededor del 90%, pero además es muy inestable, pues existen grandes variaciones durante el día, lo que es consistente con los datos que se tenían anteriormente de humedad y temperatura, tomados por miembros del equipo del IFUNAM en visitas realizadas antes de instalar el detector.



Grafica 4.25 Humedad relativa externa vs. tiempo

4.3.3 Datos de Dióxido de Carbono.

Finalmente la gráfica 4.26, muestra el comportamiento del dióxido de carbono en el tiempo. En ésta gráfica destaca el comportamiento periódico, sin embargo se ve como lentamente van bajando los niveles excepto los días en que se visita el sitio, pues se nota cómo aumentan dramáticamente los niveles de CO_2.



Gráfica 4.26 Dióxido de carbono vs. tiempo

El comportamiento periódico del nivel de CO_2 podría deberse a los cambios en el consumo de energía eléctrica de la red pública, con el consiguiente aumento en la actividad del UPS dentro de la caseta, pues los máximos de las curvas coinciden aproximadamente con los horarios de máximo consumo: temprano por la mañana (~ 7:00 A.M.) y en la tarde noche (~ 5:00 P.M.).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones y Trabajo Futuro

En esta tesis se describe el desarrollo y pruebas de caracterización de un sistema de monitoreo y control remoto para un detector de muones que será instalado en el interior de la Pirámide del Sol.

El sistema ha sido probado tanto en el laboratorio como en el túnel de la pirámide, es decir, ha sido sometido a las condiciones en las que se usará, y se ha comportado de forma apropiada. Sin embargo hay que tener en cuenta que el detector permanecerá en esas condiciones durante un año y medio, lo cual puede traer repercusiones en su futuro comportamiento.

Tal como se había previsto las condiciones ambientales en el interior del túnel se ven afectadas significativamente, como lo muestran los resultados del capitulo anterior. Aun así se logra tener un ambiente bastante estable para el buen funcionamiento del detector y los equipos en general.

Las concentraciones de CO_2 se elevan de forma significativa al trabajar en el túnel de la pirámide, por lo que tener un informe de su concentración es de vital importancia. Lo que se logró con la información proporcionada por el sistema de sensores.

De acuerdo con los pormenores que vayan surgiendo en la operación continua del detector, y los sensores en general, se podrán realizar mejoras, pero por ahora sólo se tienen algunos detalles que afinar tales como:

1) Los programas actualmente trabajan de forma separada, lo ideal sería tenerlos concentrados, para tener en una sola pantalla todos los elementos del funcionamiento del detector.

2) En cuanto a la seguridad en la transmisión de los datos, es posible hacer las comunicaciones más seguras mediante un sistema de encriptado de tipo llave privada/ llave pública (por ejemplo GNU Privacy Guard).

3) Actualmente es eficiente la transmisión de datos por telefonía celular, pero resulta muy costoso. Usando mecanismos de compresión se podría transmitir no solo archivos sino también imágenes y el panel frontal de nuestra aplicación en tiempo real.

4) Realizar las modificaciones necesarias al hardware y al software, para que sea lo mas autónomo posible.

APÉNDICE A

TELEFONÍA CELULAR

La telefonía móvil se define como un sistema de recepción y transmisión en el cuál el usuario dispone de una terminal que no es fija, que no tiene cables, y que le permite gran movilidad y localización en la zona geográfica donde se encuentre la red.

Un servicio celular se basa en dar cobertura a un territorio a través de diversas estaciones base, en la que cada una da un área de cobertura llamada célula. Se denomina telefonía celular dado que el reparto de una zona se hace en varias células (áreas más pequeñas), para poder abarcar todo el espacio.

En cada célula existe una estación base transmisora, con lo cual, se pueden tener múltiples canales para el uso de decenas de celulares de manera simultánea. Cuando un usuario pasa de una célula a otra deja la frecuencia que estaba utilizando para el uso de otro celular, y toma la frecuencia libre de la célula a la que pasó.

La telefonía celular ha ido avanzando de forma paulatina, los sistemas de primera generación hicieron su aparición en 1979, eran grandes y se caracterizó por ser analógica y casi estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, baja velocidad [2400 bauds], la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenían baja capacidad y la seguridad no existía.

La segunda generación (2G) arribó hasta 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. La principal ventaja de los teléfonos de segunda generación sobre sus predecesores analógicos son su gran capacidad y menor necesidad de carga de batería.

Estos sistemas manejan normas como GSM, TDMA, CDMA, y hoy en día dominan las redes inalámbricas, con un total de más de 300 millones de usuarios en todo el mundo.

Actualmente la tecnología está cambiando a los sistemas de tercera generación o 3G. El propósito de la tercera generación consiste en superar las limitaciones técnicas de las precedentes. La tercera generación se caracteriza por la convergencia de la voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, aplicaciones multimedia y altas velocidades de transmisión de datos utilizando GPRS. Se cuenta con velocidades de transmisión de 2 Mbps, soportan video, audio, navegar por Internet, enviar y recibir correo.

Las normas que dominan el mercado de las comunicaciones tienen características especiales que determinan la utilización de una u otra al momento de adquirir un equipo.
GSM: (*G*lobal *S*ystem for *M*obile Communications, Sistema Global para Comunicaciones Móviles). Es un sistema estándar para comunicación utilizando teléfonos móviles que incorporan tecnología digital. Por ser digital cualquier cliente de GSM puede conectarse a través de su teléfono con su PC o Laptop a la red utilizando su teléfono como módem. De esta forma puede enviar y recibir correo, faxes, navegar por Internet, acceso a la red de una compañía (LAN/Intranet), así como utilizar otras funciones digitales de transmisión de datos.

TDMA: **(**Time Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Tiempo). Es común en los sistemas de telefonía fija. TDMA es un concepto bastante antiguo en los sistemas de radio. En los sistemas actuales celulares y digitales, TDMA implica el uso de técnicas de compresión de voz digitales, que permite a múltiples usuarios compartir un canal común utilizando un orden temporal. La codificación de voz, reduce mucho el tiempo que se lleva en transmitir mensajes, eliminando la mayoría de la redundancia y periodos de silencio. Otros usuarios pueden compartir el mismo canal durante los periodos en que éste no se utiliza.

CDMA: (Code Division Multiple Acces, Acceso Múltiple por División de Código). Estándar digital que soporta velocidades de datos de alrededor de 14,4 kBps vía conmutación de paquetes y de circuitos. Es un método de transmisión móvil celular de espectro extendido que permite a varios usuarios compartir el mismo espectro de radiofrecuencia por asignación de un código único a cada usuario activo.

GPRS: (General Packet Radio Services, Servicio General de Paquetes por Radio). Se basa en la conmutación de paquetes realizando la transmisión sobre la red GSM que usamos actualmente. Al sistema GPRS se le conoce también como GSM-IP ya que usa la tecnología IP (Internet Protocol) para acceder directamente a los proveedores de contenidos de Internet.

El sistema de conexión del GPRS es muy particular, dado que en este tipo de técnica no se debe establecer un canal dedicado para cada usuario sino que la conexión se realiza en el momento de utilización del canal. Por lo tanto se pierde el concepto de facturación por tiempo, pasando a ser por utilización del canal de emisión, esto es, se factura por la cantidad de datos enviados y recibidos, no importando el tiempo que dure la conexión. La vía de conexión es mucho más utilizada, ya que permite a los usuarios compartir el mismo medio. Se pueden recibir voz y datos simultáneamente. La velocidad de conexión utilizando la mediación de un módem puede llegar a los 115 kBps, 12 veces más que la permitida por la red GSM.

CONFIGURACIÓN DEL TELÉFONO GSM1203

El teléfono utilizado es un enfora GSM1203 y su información técnica se puede encontrar en su página de Internet.

El enfora cuenta con su propio software para su instalación como módem, además de contar con software y utilerías extras para utilizarlo como teléfono.

Su instalación en una PC que cuente con un puerto serial es muy sencilla: se conecta el módem al puerto serial de la PC, se introduce el disco con el controlador (incluido con el teléfono) y se siguen las instrucciones de instalación, de forma automática se localiza el dispositivo y este queda instalado.

Se crea una nueva cuenta de acceso telefónico a redes con los siguientes datos:

- Nombre de usuario: webgprs
- Contraseña: webgprs2002
- Teléfono: *99#

Un punto importante es que en las opciones avanzadas del módem se tiene que colocar una puerta de acceso que es una línea adicional de comandos AT, tal como sigue:

+cgdcont=1, “IP”, “internet.itecel.com”

De no colocar la línea anterior en las propiedades avanzadas del módem, no se podrá llevar a cabo la conexión, y se enviara un error de conexión PPP.

APÉNDICE B

EL ESTÁNDAR RS232

El RS 232 o “Recommended Standard 232” esta definido en las especificaciones ANSI (American National Standard Institution) como “la interfase entre un equipo terminal de datos y un equipo de comunicación de datos empleando un intercambio en modo serie de datos binarios”. En el se describen las diferentes reglas a seguir para realizar una comunicación serie entre dos dispositivos distantes entre si.

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), generalmente un módem. A pesar de que el estándar RS 232 empezó utilizándose para la comunicación entre una PC y un módem, la gran evolución de la PC ha derivado en la ampliación del uso del RS 232, convirtiéndose en el estándar más utilizado en aplicaciones de bajo costo que requieran la interconexión serie de una PC y un periférico.

El estándar ha ido evolucionando a lo largo de los años, durante los cuales ha sufrido diferentes revisiones. La ultima de estas revisiones ha sido la “E”, realizada en julio de 1991. Ahora el estándar es conocido como el EIA/TIA-232-E, donde EIA es “Electronic Industries Association” y TIA significa “Telecommunications Industry Association”.

Las características principales que definen al estándar son:

- Velocidad máxima de transmisión de datos 20 kBps. Ahora bien, existen aplicaciones que se salen de las especificaciones del estándar que llegan a velocidades de hasta 116 kBps.
- Capacidad máxima de carga de 2500 pF. Esto se traduce en una longitud máxima de cable entre PC y el periférico de 15 a 20 metros. Para distancias mayores se ha de utilizar otro estándar de comunicaciones.

Patilla	Siglas	Descripción
1	DCD	Data Carrier Detect
2	RD	Receive Data Line
3	TD	Transmit Data Line
4	DTR	Data Terminal Ready
5	GND	Signal Ground
6	DSR	Data Set Ready
7	RTS	Request To Send
8	CTS	Clear To Send
9	RI	Ring Indicator

A continuación se describe brevemente la función de cada una de las patillas.

- Data Carrier Detect (DCD): El ECD pone a “1” esta línea para informar al DTE que esta recibiendo una señal portadora de información.
- Data Set Ready (DSR): Es una señal que el ECD pone a “1” para indicar al DTE que esta conectado en línea.
- Receive Data Line (RD): Las señales que se reciben por la línea RD son en forma de transmisión serie. Cuando la señal del DCD esta a “0”, la línea RD se ha de mantener en es estado Mark.
- Request To Send (RTS): Esta señal es puesta a “1” por el DTE para indicar que esta preparado para transmitir datos. Entonces el ECD ha de prepararse para recibir datos. En comunicaciones Half Duplex también se inhibe el modo de recepción de datos. Después de una cierta espera, el ECD pone a “1” la línea CTS para informar al DTE que ya esta preparado para recibir datos. Una vez que la comunicación ha finalizado y no se transmiten más datos por parte del DTE, RTS pasa de valer “1” a “0”. Después de un pequeño tiempo de espera, para asegurarse de que han sido recibidos todos los datos transmitidos, el ECD pone a “0” la línea CTS
- Transmit Data Line (TD): Las señales se transmiten por esta línea, en modo serie, del DTE al ECD. Cuando no se esta transmitiendo ningún tipo de información, la línea ha de mantenerse en su estado de Mark. Para que se puedan transmitir los datos, las líneas DSR, DTR, RTS y CTS han de encontrarse a “1”.
- Clear To Send (CTS): Esta señal es puesta a “1” por el ECD para indicar al DTE que esta preparado para recibir datos. CTS es puesta a “1” como respuesta aun estado “1” simultaneo de las líneas RTS, DSR y DTR.
- Data Terminal Ready (DTR): Esta señal, conjuntamente con DSR, indica que los equipos están operativos. DTR es puesta en “1” por el DTE para indicar al ECD que esta preparado para enviar o recibir datos. DTR ha de estar a “1” antes de que el ECD pueda poner a “1” DSR. Cuando DTR es puesta a “0” por el DTE, el ECD es desconectado del canal de comunicaciones dado que ya ha sido completada la transmisión de la información.
- Ring Indicator (RI): RI es puesta a “1” por ECD cuando esta recibiendo una llamada. Esta línea ha dejado de ser útil al emplearse el estándar de aplicaciones en los módems.
- Signal Ground (pin 5): Esta línea proporciona el común, la referencia de tierra, a todas las líneas antes expuestas. Esta eléctricamente separada de la toma de tierra para protección del equipo.

APÉNDICE C

CONFIGURACIÓN DEL PUERTO SERIE

Antes de poder utilizar el puerto serie en LabVIEW para transmitir y/o recibir, es imprescindible configurarlo. De esta manera se le indica a la PC como ha de actuar en las comunicaciones, es decir, que el puerto serie se ha de utilizar, con que velocidad de transmisión ha de emitir y recibir bytes, que tipo de paridad ha de utilizar, etc.

Es importante tener en cuenta que la configuración que se le de al puerto serie de la PC ha de ser exactamente la misma que utilice el dispositivo periférico. Si esto no fuera así, PC y periférico no podrían comunicarse con éxito, ya que estarían utilizando especificaciones de transmisión diferentes.

Así pues, antes de realizar ninguna operación con el puerto serie, será necesario configurarlo de forma adecuada, teniendo en cuenta las características de comunicación serie del dispositivo.

Protocolos de comunicación ("*Handshaking Modes*")

En una comunicación serie es conveniente realizar un control sobre la transmisión y la recepción de datos a fin de que ésta se lleve a cabo de forma correcta, es decir, que no se pierda información. Uno de los principales problemas que se presentan es la vigilancia de los *buffers* que destina el puerto serie para la recepción y transmisión de datos. Estos *buffers* son zonas de memoria reservada que funcionan de la siguiente manera:

- Por una parte, se guardan los datos que van llegando por el puerto serie desde el periférico. Estos datos se mantienen almacenados hasta que son leídos por el programa que gestiona el puerto serie. Es posible que la llegada reiterada de información sin que esta sea leída acabe por llenar la capacidad del *buffer* de recepción. En este caso, los nuevos datos que se reciban tras la saturación del *buffer* son ignorados, es decir, toda esta nueva información se pierde. Para que se puedan volver a recibir datos almacenados en *buffer*, con lo que este dejará espacio libre que podrá ocuparse con la nueva información que se reciba.

- Por otra parte, en el *buffer* de emisión se almacenan los datos que se desean enviar al periférico, en espera de que la transmisión sea posible, es decir, en espera de que el periférico se encuentre listo para recibir.

- La gestión de los *buffers* de entrada y salida es transparente al usuario cuando se trabaja con LabVIEW, es decir, el usuario solo ha de leer del *buffer* de entrada los nuevos datos recibidos y escribir en el *buffer* de salida los datos que desee enviar, despreocupándose de cómo se llenan o vacían estos *buffers.*

Los protocolos de comunicación ("*Handshaking modes*") se ocupan de evitar que el *buffer* de recepción de datos del puerto serie se sature y, por consiguiente, se pierda información. Con el uso de estos protocolos, la PC y el periférico se envían información sobre sus respectivos *buffers* de recepción. La mecánica de funcionamiento de los protocolos es la siguiente:

En caso de que el *buffer* receptor se llegue a saturar con los datos recibidos, se envía una señal al emisor indicándole que ha de interrumpir la transferencia de datos ya que, de otro modo, se perdería información. El emisor recibe dicha señal y deja de transmitir, quedándose en espera de que el receptor vuelva a estar disponible para continuar con la comunicación. Una vez el receptor haya leído parte de la información contenida en su *buffer*, este volverá a disponer de espacio libre, con lo que se enviará una señal al emisor indicándole que ya puede continuar con la transferencia de datos.

LabVIEW es capaz de utilizar dos tipos diferentes de protocolos de comunicación: "*Software handshaking*" y "*Hardware handshaking*". En el caso de que se desee utilizar uno de ellos en la comunicación, el protocolo escogido deberá ser habilitado en el momento de realizarse la configuración del puerto serie. Si ninguno de los dos es habilitado expresamente, por defecto LabVIEW no utilizará ningún protocolo en las transferencias. Esta última opción es aconsejable por su simplicidad, en las aplicaciones en las que la cantidad de información a transmitir es pequeña. En estos casos, la capacidad del buffer puede ser mas que suficiente para que este nunca llegue a saturarse, siendo innecesaria, pues, la utilización de protocolos. Ahora bien, si el volumen de información a transmitir es considerable y/o si el periférico conectado a la PC no es muy rápido, el uso de uno de los protocolos de comunicación esta del todo recomendado.

Al utilizar uno de los protocolos es necesario comprobar que el periférico conectado a la PC dispone también de utilizar dicho protocolo. Si esto es así, se han de configurar los dos puertos serie, el de la PC y el del periférico, para que utilicen el mismo protocolo, de manera que puedan comunicarse satisfactoriamente.

Software Handshaking (XON/XOFF)

El protocolo XON/XOFF es un protocolo software para evitar la saturación de los *buffers* de comunicación serie. Su funcionamiento es el siguiente: cuando el buffer de recepción esta a punto de ser saturado, el receptor envía el carácter XON (<control-S, decimal 19) para indicar al emisor que ha de detener la transferencia de datos para que no llegue a perderse información. Una vez el receptor ha leído parte de la información contenida en su buffer de recepción, dispondrá de nuevo de espacio libre para recibir más datos, enviando entonces el carácter XON (<control-Q>, decimal 17) para indicar al emisor que puede reanudar la transmisión.

Si se activa el protocolo XON/XOFF, los dispositivos que se están comunicando siempre interpretan los caracteres <control-S> y <control-Q> como comandos XOFF y XON respectivamente, no como datos. Es por esto que no se ha de utilizar este protocolo al transmitir información binaria, ya que es posible que dichos caracteres se encuentren por casualidad entre los bytes enviados, con los que se interpretarán erróneamente como los comandos XOFF y XON, alterando el curso de la comunicación, cosa que no es conveniente. En este caso se deberá desactivar el protocolo XON/XOFF, con lo que los caracteres <control-S> y <control-Q> se interpretarán como datos y no actuaran sobre la comunicación, ya que no son considerados comandos de control.

Hardware Handshaking

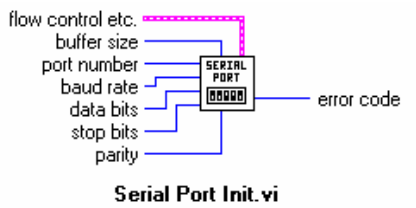
Es el segundo protocolo que se puede utilizar en las comunicaciones serie con LabVIEW. Al igual que el protocolo software, su finalidad es la de evitar que llegue a saturarse alguno de los *buffers* de datos utilizados en la comunicación. Ahora bien, en este caso no se controla la transferencia de información mediante el envió de caracteres, sino que se utiliza una serie de señales físicas que interconectan los dos dispositivos a comunicar. Estas señales son: DSR, RTS, CTS y DTR, ya comentadas anteriormente. Dado que son señales que necesitan un soporte físico para ser transmitidas, será necesario construir un cable de comunicaciones adecuado para este protocolo. Un ejemplo muy usual de conexión de este cable es la configuración de módem nulo también descrito anteriormente.

Una vez se han conectado los dispositivos a comunicar con el cable adecuado, el protocolo podrá hacer uso convenientemente de las señales de control adecuadas.

A continuación se mostrarán y describirán los diferentes iconos de que dispone LabVIEW para el manejo del puerto serie.

Serial Port INIT.VI

El icono que se ha de utilizar para la configuración del puerto serie es el llamado Serial Port INIT.vi. Ejecutando este icono se eligen las características de comunicación que se deseen para el puerto serie, es decir, el tipo de protocolo a utilizar, la velocidad de transmisión, la paridad, etc. En la siguiente figura se muestra dicho icono, así como sus conexiones.



A continuación se describen las diferentes conexiones del icono, su función y el tipo de dato que se le ha de introducir, en el caso de que se trate de una conexión de entrada, o el tipo de dato que entrega si es una conexión de salida.

Flow control etc.: Esta es una conexión de entrada de tipo “cluster”, es decir, esta constituida por una serie de entradas agrupadas en determinado orden, formando un paquete. Los parámetros que se introducen por esta conexión son relativos a los protocolos de comunicación, Hardware Handshaking y Software Handshaking. Si, debido a la naturaleza de la aplicación, se considera conveniente prescindir de los protocolos en las transferencias, esta conexión se ha de dejar al aire, no es necesario programarla. Si, por el contrario se decide utilizar uno de los protocolos en las transferencias, se ha de crear un “cluster” con los valores adecuados y cablearlo a esta conexión.

A continuación se detallan, el orden correcto, las diferentes variables que se han de introducir en Flow control etc.:

Input XON/XOFF: estando en *True* activa el protocolo XON/XOFF

Input HW Handshake: Si ésta se encuentra a *True*, se permite la utilización de la línea Request To Send (*RTS*).

Input alt HW Handshake: En el caso de ser True, se habilita el uso de la línea física correspondiente a Data Terminal Ready (*DTR*).

Output XON/XOFF: Si se pone a *True* se permite la utilización del protocolo “software” por parte del periférico.

Output HW Handshake: Cuando se encuentra a *True* se permite la utilización de la señal Clear To Send (*CTS*) por parte del protocolo “Hardware”.

Output alt HW Handshake: Si es *True* se habilita el uso de la señal Data Set Ready (*DSR*) por el protocolo “Hardware”.

XOFF byte: En esta entrada se ha de indicar el *byte* a utilizar como comando XOFF, es decir, como carácter <control-S>. Por defecto se emplea el byte 13_H.

- XON byte: Aquí se ha de indicar el *byte* a utilizar como comando XON, o sea, el *byte* se empleará como carácter <control-Q> en caso de utilizar el protocolo XON/XOFF. Por defecto se usa el byte 11_H.

- Parity error byte: En esta entrada se ha de indicar el *byte* que hay que utilizar en caso de que se produzca un error de paridad en la transmisión. Si el *byte* alto de la palabra indicada en esta entrada es diferente de cero, el *byte* bajo será el carácter que se utilizara para remplazar cualquier error de paridad que se detecte en la transmisión, siempre y cuando la paridad este activada.

En el caso de utilizar un *byte* de error de paridad, se ha de tener en cuenta que la información a recibir no ha de contener dicho *byte*, ya que entonces se producirían errores de interpretación.

Buffer size: En esta conexión se ha de entrar una constante entera. Con esta constante se le indicará al puerto el tamaño que se desea que tengan los *buffers* de entrada y salida que se utilizaran en la transmisión y recepción de mensajes.

Port Number: En esta entrada se ha de introducir un valor entero entre 0 y 13. Con este valor se indica a la PC cuál de sus puertos serie se desea configurar.

Baud Rate: El valor que se introduzca en esta entrada se tomará como la velocidad de transferencia de datos, en *Bauds*, con la que se configurará el puerto Serie. Esta ser tanto la velocidad de transmisión como la de recepción.

Data Bits: En esta conexión se ha de decir el número de *bits* de los *bytes* recibidos que se consideraran como *bits* de datos. Es decir, cuantos *bits* han de ser tomados como bits de datos en cada *byte* recibido.

Stop Bits: En esta línea se han de introducir los *bits* de *stop* que se deseen utilizar en las transferencias. Los valores que puede tomar son: 0 para un *bit* de *stop* o 1 para 2 *bits* de *stop*.

Parity: En esta conexión se ha de indicar el tipo de paridad que se desea utilizar en la comunicación. Se introducirá un 0 en caso de no querer emplear paridad, un 1 para utilizar paridad impar o un 2 en caso de querer paridad par.

Error code: Esta es la única conexión de salida que presenta el icono de configuración del puerto serie. Por ella se entregara un –1 en el caso de que la velocidad de transmisión, los bits de datos, los bits de stop, la paridad o el número de puerto serie se encuentre fuera de rango. También puede tomar el valor de –1 si el puerto serie no ha podido ser inicializado correctamente.

Este es el tipo de elementos y datos de entrada y salida que se tienen en un lenguaje de programación como LabVIEW, además se cuenta con estructuras como FOR, WHILE, entre otras que hacen que el lenguaje sea estructurado y con muchas posibilidades.

BIBLIOGRAFÍA

[1] L. W. Álvarez *et al.,* Science 167 (1970) 832.

[2] Antonio Mánuel Lázaro. LabVIEW 6i Programación Gráfica Para el Control de Instrumentación. Paraninfo Thomson Learning, España 2001.

[3] William D. Cooper y Albert D. Helfrick. Instrumentación Electrónica Moderna. Prentice Hall, 1991.

[4] E. Vázquez García, Detector multialámbrico para muones de alta energía, Tesis de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica Electrónica, Facultad de Ingeniería UNAM, 2004.

[5] Data sheet, Saint Gobain Crystals & Detectors, USA 2003.

[6] High Voltage Power Supply Instruction Manual, Universal Voltronics, USA 2000.

[7] Linda Manzanilla. Estudio de túneles y cuevas en Teotihuacan arqueología y geohidrología, Boletín INHA México 1991.

[8] Doris Heyden. ¿Un Chicomostoc en Teotihuacan? La Cueva bajo la Pirámide del Sol, Boletín INHA México 1973.

[9] G.F. Knoll. Radiation Detection and Measurements, Wiley, EUA 1989.

[10] F. Sauli. Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers. Academic Training Programe of CERN, Geneva 1977.

[11] R. Alfaro, E. Belmont-Moreno, A. Cervantes, V. Grabski, J. M. López-Robles, L. Manzanilla, A. Martínez-Dávalos, M. Moreno, and A. Menchaca-Rocha. A muon detector to be installed at Pyramid of the Sun. Revista Mexicana de Física, Vol. 49, Suplemento 4, Páginas 54-59, México 2003.

[12] Series 820 Instruction Manual, Sierra Instruments, USA 1994.

[13] Gary W. Johnson. LabVIEW Graphical Programming: Practical Applications in Instrumentation and Control 2nd edition. McGraw-Hill, USA 1997

[14] Rick Bitter, Taqi Mohiuddin, Matthew Nawrocki. LabVIEW: Advanced Programming Techniques. CRC Press LLC, USA 2000.

[15] Bruce Mihura. LabVIEW for Data Acquisition. Prentice Hall, USA 2001.

[16] Carlos Chicala. Adquisición de Datos. Medir para Conocer y Controlar. Ediciones Omega S.A., 2004.