



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MONITOREO PARA EL EDIFICIO SOSTENIBLE DEL
INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

(ÁREA : ELECTRÓNICA)

P R E S E N T A :

JUAN CARLOS VEGA RODRÍGUEZ



DIRECTOR DE TESIS: M. en I. LAURO SANTIAGO CRUZ

MÉXICO, D.F.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México
por todas las enseñanzas adquiridas.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM
por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto.
Mención especial me merece el M. en I. Lauro Santiago Cruz,
gracias por sus consejos y enseñanzas, pero más importante
que estos, gracias por brindarme su amistad.

A todos los compañeros becarios por su apoyo
en la realización de este proyecto, pero sobre todo,
gracias por ser buenos amigos.

Dedicatoria

A mis padres, Jorge Vega Hernández y Rosalía Rodríguez Ramos, ya que, debido a su apoyo, consejo, enseñanza y confianza logré alcanzar esta meta.

A mis hermanos Jorge y Cesar Rafael gracias por los buenos ratos y por estar siempre conmigo.

A l resto de mi familia porque también me brindaron su apoyo y su cariño. En especial a mis tíos Humberto y María Elodia a quienes considero como mis segundos padres.

ÍNDICE

	INTRODUCCIÓN	I
1.	ANTECEDENTES	1
	1.1. Energía y contaminación en la construcción de edificios	1
	1.2. Edificios sostenibles	2
	1.3. Ubicación del problema	7
	1.4. Propuesta de solución	8
	1.5. Aportaciones	8
2.	GENERALIDADES	9
	2.1. Temperatura	9
	2.1.1. Sensores de temperatura basados en circuitos integrados	11
	2.1.2. Detector de temperatura resistivo	13
	2.1.3. Termistor	15
	2.1.4. Termopar	19
	2.2. Humedad atmosférica	24
	2.2.1. Higrómetro Capacitivo	27
	2.2.2. Higrómetros resistivos	28
	2.2.3. Higrómetros de conductividad térmica	31
	2.3. Viento	31
	2.3.1. Anemómetro de copas	33
	2.3.2. Anemómetro de alambre caliente	34
	2.3.3. Anemómetro ultrasónico	36
	2.3.4. Veleta	37
	2.4. Radiación solar	38
	2.4.1. Piranómetro	39

2.5.	Intensidad luminosa	40
2.5.1.	Sensores de intensidad luminosa	41
2.6.	Potencia eléctrica	43
2.6.1.	Transductores de consumo de potencia eléctrica	47
2.7.	Medición de Flujo	48
2.7.1.	Medidores de flujo mecánicos	49
2.7.2.	Medidores de efecto vórtice	50
2.7.3.	Medidores electromagnéticos	51
2.7.4.	Medidor ultrasónico	52
2.8.	Sistemas de adquisición de datos	53
2.8.1.	Computadora Personal	53
2.8.2.	Transductores y Acondicionamiento de señales	54
2.8.3.	Señales Analógicas	57
2.8.4.	Dispositivos Controladores de hardware	58
2.8.4.	Software para el desarrollo de la aplicación	59
3.	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	63
3.1.	Requerimientos del sistema de monitoreo	63
3.2.	HARDWARE (sensores y transductores)	68
3.2.1.	Sensor de temperatura en circuito integrado	68
3.2.2.	RTD	69
3.2.3.	Velocidad y dirección del viento	71
3.2.4.	Transductores de humedad relativa	74
3.2.5.	Medidor de Flujo	76
3.2.6.	Sensor Fotométrico	77
3.2.7.	Radiación	79
3.2.8.	Potencia eléctrica	81
3.3.	HARDWARE (Adquisición de datos)	83
3.3.1.	Elección del sistema de adquisición de datos	83
3.3.2.	Variables a monitorear	84
3.3.3.	Módulos de red	85

3.3.4. Módulos de entrada analógica	86
3.3.5. Bases terminales	90
3.3.6. Fuentes de alimentación de energía	90
3.3.7. Computadora personal y accesorios para redes	94
3.3.8. Configuración del hardware	97
3.4. SOFTWARE (Instrumento virtual)	100
3.4.1. Requerimientos	100
3.4.2. Instrumentación Virtual	100
3.4.3. Panel Frontal del sistema de monitoreo	101
3.4.4. Condiciones de arranque	106
3.4.5. Creación de las carpetas de trabajo	108
3.4.6. Adquisición de datos	109
3.4.7. Despliegue de información	114
3.4.8. Generación de reportes	118
4. PRUEBAS Y RESULTADOS	122
4.1. Montaje y Pruebas realizadas al sistema de monitoreo	122
4.2. Pruebas realizadas al hardware	123
4.3. Sensores de temperatura en circuito integrado	124
4.4. RTD	125
4.5. Velocidad y dirección del viento	126
4.6. Humedad Relativa	129
4.7. Fotómetro	130
4.8. Piranómetro	132
4.9. Potencia eléctrica	133
4.10. Medidor de flujo	134
4.11. Pruebas realizadas al software	134
4.11.1. Condiciones de arranque	134
4.11.2. Creación de las carpetas de trabajo	136
4.11.3. Adquisición de datos	138
4.11.4. Despliegue de información	140

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES FINALES	144
5.1 Resultados	144
5.2 Conclusiones	146
 BIBLIOGRAFÍA	 148
 APÉNDICES	
Apéndice A: Especificaciones del hardware	

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1. Variables ambientales relacionadas con el confort en edificios.	3
Figura 1.2. Materiales aislantes para rellenar muros, pisos y techos.	5
Figura 1.3. Filtraciones del aire.	6

CAPITULO 2

Figura 2.1. Sensor de temperatura con elementos semiconductores.	11
Figura 2.2. Estructura básica de una RTD.	13
Figura 2.3. Comportamiento de un RTD respecto a la temperatura.	14
Figura 2.4. Curvas típicas de los termistores PTC y NTC.	15
Figura 2.5. Puente transductor con Amplificador Operacional.	18
Figura 2.6. Principio de operación de los termopares.	20
Figura 2.7. Metales que dan origen a un termopar tipo K.	20
Figura 2.8. Curva típica de un termopar.	23
Figura 2.9. Estructura básica de un higrómetro capacitivo.	27
Figura 2.10. Curvas típicas de un higrómetro capacitivo.	28
Figura 2.11. Curvas típicas de un higrómetro resistivo.	29
Figura 2.12. Higrómetro resistivo con salida de voltaje.	30
Figura 2.13. Diagrama básico de un sensor de humedad absoluta.	31
Figura 2.14. Gradiente barométrico que promueve el movimiento del aire.	32
Figura 2.15. Anemómetro de copas giratorias.	33
Figura 2.16. Rotor de magnetos permanentes.	34
Figura 2.17. Anemómetro de alambre caliente.	35
Figura 2.18. Anemómetro ultrasónico de dos dimensiones.	36
Figura 2.19. Veleta.	37
Figura 2.20. Componentes básicos de un potenciómetro.	37
Figura 2.21. Descomposición de la Radiación solar en la Tierra.	38

Figura 2.22. Instrumentos para la medición de las componentes difusa y directa de la radiación.	40
Figura 2.23. Curva de respuesta espectral del ojo humano.	41
Figura 2.24. Respuesta de diversos sensores utilizados en iluminación.	42
Figura 2.25 Componentes activa y reactiva de la intensidad de corriente.	45
Figura 2.26. Relación entre potencias activas, aparentes y reactivas.	46
Figura 2.27. Componentes básicos en un transductor de potencia eléctrica.	47
Figura 2.28. Medidores de flujo de tipo mecánico.	49
Figura 2.29. Obstrucción chata que da origen a los vórtices dentro de la tubería.	50
Figura 2.30. Medidor de efecto Vortex.	51
Figura 2.31. Elementos principales de un medidor de flujo electromagnético.	51

CAPITULO 3

Figura 3.1. Sensores requeridos en los cubículos.	64
Figura 3.2. Sensores requeridos en las Aulas.	64
Figura 3.3. Sensores requeridos en los muros.	65
Figura 3.4. Sensores requeridos en los pisos.	65
Figura 3.5. Sensores para el sistema de calefacción.	66
Figura 3.6. Sensores requeridos en el exterior del edificio.	66
Figura 3.7. Sensores temperatura requeridos en el techo del edificio.	67
Figura 3.8. Detalle sobre la instalación de sensores en el piso.	67
Figura 3.9. Sensor de temperatura LM35.	69
Figura 3.10. Características de una RTD Pt-100.	70
Figura 3.11. RTD pt-100 y cabeza transmisora Mp82800-R.	70
Figura 3.12 Corriente de salida entregada por la cabeza transmisora.	71
Figura 3.13. Wind Sentry 3001-5.	72
Figura 3.14. Componentes que conforman los sensores de la serie HIH.	74
Figura 3.15. Curva característica de los sensores de la serie HIH-4000.	75
Figura 3.16. Medidor de flujo FXL-5000.	76
Figura 3.17 Corriente de salida entregada por el FXL-5000.	77
Figura 3.18. Sensor Fotométrico LI-210 SA.	78

Figura 3.19. Respuesta espectral del LI-210SA.	78
Figura 3.20. Respuesta espectral del piranómetro SP-Lite.	80
Figura 3.21. Piranómetro SP-Lite.	80
Figura 3.21. Transductor para el consumo de potencia.	81
Figura 3.22. Conexiones del XLGW10S4-A1.	82
Figura 3.23. Corriente de salida entregada por el XLGW10S4-A.	83
Figura 3.24. Ejemplo típico de un sistema basado en Compact Field Point.	84
Figura 3.25. Módulos de red cFP-1808.	85
Figura 3.26. Módulos de entrada analógica.	86
Figura 3.27. Conexión de sensores en el módulo AI-cFP-112.	87
Figura 3.28. Conexión de sensores en el módulo AI-cFP-111.	88
Figura 3.29. Bases terminales.	90
Figura 3.30. Principales etapas de la regulación conmutada.	92
Figura 3.31. Fuentes de alimentación para el sistema de monitoreo.	94
Figura 3.32. Esquema de una red de área local.	96
Figura 3.33. Switch Fast Ethernet.	96
Figura 3.35. Configuración de los módulos de red.	97
Figura 3.36. Interconexión de los módulos de red con la PC.	98
Figura 3.37. Distribución de los módulos de entrada analógica.	98
Figura 3.38. Configuración de los canales de entrada analógica.	99
Figura 3.39. Página 1 del panel frontal principal.	101
Figura 3.40. Página 2 del panel frontal principal.	102
Figura 3.41. Página 3 del panel frontal principal.	102
Figura 3.42. Cubículos.	103
Figura 3.43. Aulas.	104
Figura 3.44. Muros y ventanas.	104
Figura 3.45. Piso.	105
Figura 3.46. Sistema de calefacción.	105
Figura 3.47. Ambientales.	106
Figura 3.48. Verificación de las condiciones de arranque.	107
Figura 3.49. Generación de carpetas.	109

Figura 3.50. Control de la razón de muestreo.	111
Figura 3.51. Solicitando adquisición de datos.	111
Figura 3.52. Subrutina encargada de la adquisición de datos.	112
Figura 3.53. Subrutina encargada de la lectura y almacenamiento de los datos.	113
Figura 3.54. Controles para solicitar el despliegue de información.	114
Figura 3.55. Cubículos.	115
Figura 3.56. Subrutina encargada de desplegar gráficos e información en los displays.	116
Figura 3.57a. Gráfico de la temperatura en el cubículo 1.	116
Figura 3.57b. Gráfico de la potencia eléctrica consumida en el cubículo 2.	117
Figura 3.57c. Despliegue del último valor adquirido en los diversos displays.	117
Figura 3.58a. SubVI encargado de cargar los datos en los displays.	118
Figura 3.58b. SubVI encargado de cargar los datos en las graficas.	118
Figura 3.59. Generación de la última serie de reportes al alcanzar la hora límite.	119
Figura 3.60. Estructura básica del SubVI encargado de la generación de reportes.	119
Figura 3.61a. Reporte final en formato HTML de la zona de cubículos.	120
Figura 3.61b. Reporte final en formato HTML del sistema de calefacción.	120

CAPITULO 4

Figura 4.1. Montaje de sensores para pruebas en el laboratorio.	123
Figura 4.2. Caída de tensión debido a la longitud de los cables.	123
Figura 4.3. Conexión del sensor LM35.	125
Figura 4.4. Conexión de la RTD y su cabeza transmisora.	126
Figura 4.5. Conexiones de la veleta.	127
Figura 4.6. Conexiones del anemómetro.	129
Figura 4.7. Conexiones del sensor HIH4000.	130
Figura 4.8. Conexiones del fotómetro LI-210.	131
Figura 4.9. Conexiones del piranómetro.	132
Figura 4.10. Conexiones para el monitoreo de potencia eléctrica.	133
Figura 4.11. Datos de entrada para definir las condiciones de arranque.	135
Figura 4.12. Validación de las condiciones de arranque.	136
Figura 4.13. Creación de las carpetas de trabajo.	136

Figura 4.14. Almacenamiento de datos.	137
Figura 4.15. Almacenamiento de reportes dentro de la PC.	138
Figura 4.16. Control de la razón de muestreo.	138
Figura 4.17. Reporte correspondiente al cubículo 1.	139
Figura 4.18. Operación continua de la aplicación.	140
Figura 4.19. Panel frontal para visualización de información.	141
Figura 4.20. Verificación de los datos adquiridos.	142
Figura 4.21. Verificación de la información contenida en los reportes.	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Espectro de respuesta para diferentes materiales.	43
Tabla 2.2. Instrumentación tradicional vs Instrumentación virtual.	61
Tabla 3.1. Expresiones para la conversión de unidades del anemómetro.	73
Tabla 3.3. Sensores que se instalarán en el edificio 18.	85
Tabla 3.4. Asignación de terminales del módulo cFP-112.	88
Tabla 3.5. Asignación de terminales del módulo cFP-111.	89
Tabla 4.1. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas para el LM35.	125
Tabla 4.2. Resultado de las pruebas realizadas a la RTD.	126
Tabla 4.3. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas a la veleta.	128
Tabla 4.4. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas al anemómetro.	129
Tabla 4.5. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas al HIH-4000.	130
Tabla 4.6. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas al fotómetro.	131
Tabla 4.7. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas al piranómetro.	132
Tabla 4.8. Resultado de las pruebas realizadas a la XLGW10S4-A1.	133

INTRODUCCIÓN

Los edificios sostenibles construidos siguiendo pautas bioclimáticas pueden lograr entre un 50% y un 80% de ahorro energético respecto de los convencionales. Para conseguirlo, es fundamental dar con la orientación que permita la máxima captación solar en las épocas frías, tomar en cuenta las condiciones del terreno, las corrientes de aire y disponer de sistemas de energías renovables, como son pequeñas plantas eólicas o instalaciones solares, solo por mencionar algunas.

El concepto de sostenible aplicado a edificios puede ser evaluado tomando en cuenta los siguientes criterios: consumo de recursos (energía, agua, suelo y materiales); generación de polución y emisiones (contaminación del aire, agua y suelo); calidad del ambiente interior (confort térmico, acústico y lumínico y niveles de contaminación del aire interior); alteración o impacto en el contexto (afectación del entorno) y operación y mantenimiento.

Con lo mencionado hasta ahora podemos observar, que un primer paso para actuar sobre las variables ambientales y poder probar el comportamiento de nuevos materiales en la

construcción de edificios, es saber como se comportan dichas variables, de ahí la necesidad de montar un sistema que monitoree las variables ambientales relacionadas con el confort y el ahorro de energía. Con la intención de participar en el mundo de la construcción desde criterios sostenibles, que permitan desarrollar diseños y soluciones a través del aprovechamiento de la energía solar y hacer uso racional de los recursos naturales, el Instituto de Ingeniería de la UNAM está construyendo un edificio con las características mencionadas.

Las variables ambientales cuyo comportamiento interesa monitorear en el edificio del Instituto de Ingeniería son: temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, radiación solar, luminosidad, potencia eléctrica y flujo de agua en la tubería para calefacción principalmente.

El número de sensores es de aproximadamente 140, y estarán esparcidos alrededor de todo el edificio. La instrumentación se desarrollará alrededor del diseño e integración de un sistema de adquisición de datos mediante una PC, haciendo uso de la Instrumentación Virtual. En lo que respecta a la instrumentación virtual se empleará el software LabView de National Instruments, mientras que el equipo controlado por el instrumento virtual consistirá de módulos de red Ethernet y módulos de entrada analógica de la serie fieldPoint, también de National Instruments.

La finalidad de todo esto será contar con un espacio que nos permita conocer y experimentar sobre las variables relacionadas con el confort y el ahorro de energía en una construcción de tipo sostenible.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

El presente capítulo tiene como objetivo dar a conocer algunos conceptos e ideas relacionadas con los edificios sostenibles, con la finalidad de recalcar la importancia de este tipo de construcciones en un mundo donde la cuestión del manejo de los recursos energéticos cobra cada vez mas importancia. Por otra parte, los conceptos que se introducen en este capítulo también ayudan a entender mejor el porqué de los lineamientos con los que debe cumplir el sistema de monitoreo que se desarrollará.

1.1. Energía y contaminación en la construcción de edificios

Desde hace unas décadas, los problemas relacionados con el sector energético son cada vez más comunes, esta trascendencia se da porque sin energía, la vida tal y como la conocemos sería imposible. Nuestra civilización se caracteriza por su enorme consumo de energía.

A principios de siglo comenzó el uso del petróleo y actualmente el consumo de este hidrocarburo se ha tornado excesivo, incluso a sabiendas de que los depósitos de este recurso tienen una capacidad limitada. Actualmente los países que cuentan con yacimientos de este preciado mineral comienzan a pedir más y más dinero por él, mientras que en 1970 un barril de

petróleo costaba 1.40 dólares, hoy (2008) cuesta entre 85 y 100 dólares. Esta inflación aparentemente sin fin ha producido un descalabro en la economía de las naciones que dependen de las importaciones de crudo. Estos países tienen que pagar cada día más dinero por la misma cantidad de energía.

Evidentemente, sería un grave error no buscar soluciones a esta problemática y seguir sobre esta misma línea de consumo indiscriminado de recursos energéticos. Actualmente la tendencia en cuestiones de consumo de energía consiste en hacer lo mismo que hasta ahora pero consumiendo menos, es decir, incrementar la eficiencia de cualquier proceso que necesite energía para funcionar.

Por otro lado, fenómenos como el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono, la lluvia ácida, la deforestación o la pérdida de biodiversidad, parecen estar provocados por las actuales actividades industriales y económicas. Sin embargo, es un error atribuir exclusivamente a la industria y al transporte el origen principal de la contaminación. El entorno construido, donde pasamos más del 90% de nuestra vida, es en gran medida culpable de dicha contaminación. Los edificios consumen entre el 20% y el 50% de los recursos naturales, dependiendo del entorno en donde están situados, siendo la construcción un gran consumidor de recursos naturales como: madera, minerales, agua y combustibles fósiles. Asimismo, los edificios, una vez construidos, continúan siendo una causa directa de contaminación por las emisiones que producen o el impacto sobre el territorio y son una fuente indirecta de contaminación por el consumo de energía y agua necesarios para su funcionamiento.

1.2. Edificios sostenibles

Uno de los sectores en los que se han enfocado muchos esfuerzos es en el de la construcción de edificios, ya sean industrias, oficinas, viviendas, etcétera, ya que en este sector se consumen grandes cantidades de energía anualmente, y no sólo eso, la mayoría de las construcciones existentes realizan el consumo de energía de manera bastante ineficiente, ya sea porque así fueron diseñadas y/o por las costumbres de quienes hacen uso de ellas.

El crecimiento continuo de la demanda y la carencia de fuentes energéticas a escala mundial están obligando a propiciar por un lado el ahorro energético y por otro a buscar en las energías renovables la alternativa del futuro. Estas circunstancias conducen a la consideración de la arquitectura bioclimática y la utilización de la energía solar en forma pasiva y activa como fuente energética más adecuada para el acondicionamiento térmico de los edificios. Los edificios que se conciben y construyen de este modo reducen la demanda de energía en el acondicionamiento térmico para calefacción y refrigeración, con lo que se reducen las emisiones de CO₂ y otros agentes contaminantes a la atmósfera. Los edificios construidos siguiendo pautas bioclimáticas pueden lograr entre un 50% y un 80% de ahorro energético en comparación con los edificios convencionales. Para conseguirlo, es fundamental dar con la orientación que permita la máxima captación de energía solar en las épocas frías. En el diseño bioclimático se tienen en cuenta las condiciones del terreno, el recorrido del sol y las corrientes de aire, aplicando todos esos aspectos en la distribución de los espacios y la orientación de las ventanas con la finalidad de que no sea necesario el uso del aire acondicionado o calefacción.

La sostenibilidad tiene en cuenta los efectos que la construcción producirá en las personas que viven y/o trabajan en los edificios, para conseguir esto se vale del estudio del comportamiento de las variables ambientales, como las mostradas en la figura 1.1, en el lugar de la construcción.

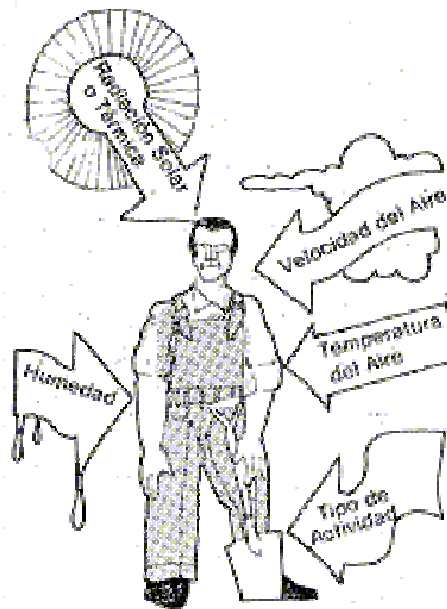


Figura 1.1. Variables ambientales relacionadas con el confort en edificios.

La construcción sostenible conceptualmente persigue racional, ahorrar, y mejorar el consumo de los recursos energéticos. A grandes rasgos los requisitos que deben cumplir los edificios sostenibles incluyen un consumo racional de la energía y del agua a lo largo de su ciclo de vida, la utilización de materiales no dañinos con el medio ambiente que puedan ser reciclados y reutilizados, la minimización de residuos durante la construcción y el ciclo de vida del edificio, el uso racional del suelo e integración natural con el entorno y la satisfacción de las necesidades presentes y futuras de los usuarios.

Para llevar a cabo un uso eficiente de la energía y hacer más confortable el interior de un edificio, es necesario considerar algunos de los siguientes aspectos en su construcción: aislamientos para muros y techos, los vidrios, las infiltraciones de aire, la iluminación, el sistema de calefacción, el uso de energías renovables y finalmente el aspecto del confort.

Aislamientos para muros y techos

Las pérdidas de calor a través de muros, pisos y techos son significativas cuando los materiales con que está construido el edificio son muy livianos. Los materiales de construcción como el ladrillo y el hormigón, son buenos elementos para conseguir una mejor retención de la energía dentro de una habitación, siempre que estos tengan un espesor adecuado. Las paredes exteriores construidas con muy poco espesor, 10 ó 15 centímetros, causarán inevitablemente un gran consumo de combustible. En algunos países europeos el espesor más común con que se construye una pared, es de 30 cm. Esta pared tiene buenos valores de conductividad, aunque a medida que los combustibles se encarecen comienza a ser necesario disminuir aún más las pérdidas, para lo cual habrá que recurrir a ciertos artificios. Tiempo atrás, en algunos países europeos, se hacían construcciones con paredes de 45cm o más. Actualmente, construir semejante pared tiene un costo muy alto. Una buena solución a este problema es el recurrir al uso de aislantes y protecciones para muros y techos, que son zonas de cualquier edificio que se encuentran fuertemente sometidas a la acción del sol y el viento.

Los materiales aislantes empleados en la construcción para rellenar muros y techos son elementos de baja conductividad térmica con un costo sumamente razonable que, al contar con cientos de pequeñas burbujas de aire, aumentan el efecto no conductor del aire, ver figura 1.2.

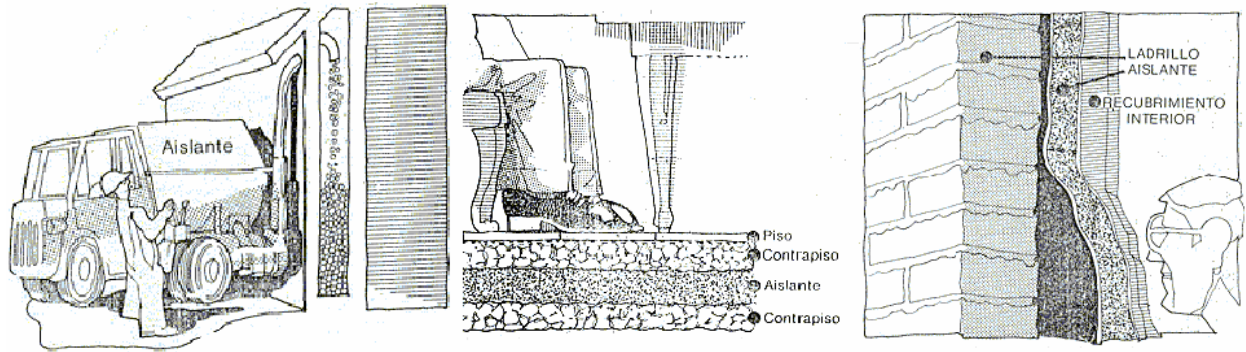


Figura 1.2. Materiales aislantes para rellenar muros, pisos y techos.

Los vidrios

Las ventanas se recubren de vidrio para que no penetre en las habitaciones el viento, y con él, el polvo y la suciedad. Al mismo tiempo, los vidrios permiten la visión y el paso de luz; imprescindible para la iluminación natural de las diversas zonas que conforman al edificio. De todos los elementos que componen a una edificación, el vidrio es el que mayor pérdida térmica tiene, por esto es necesario estudiar cuidadosamente la cantidad de vidrio que deberá colocarse, ya que dicha cantidad está directamente relacionada con las pérdidas de energía y de dinero. La superficie de vidrio deberá ser, desde el punto de vista del ahorro de energía, la necesaria para una buena iluminación y ventilación natural.

Existen varios tipos de aislantes: lana de vidrio, espuma rígida, lana mineral de poliestireno expandido y otros en forma de espumas que se colocan en el lugar. El uso de aislantes es uno de los mejores caminos para reducir el consumo de combustibles.

Infiltraciones de aire

De todas las formas que tiene una construcción para ganar o perder energía, la más importante es la que se produce debido a la infiltración de aire en rendijas de puertas y ventanas, ver figura 1.3. Actualmente existen excelentes materiales para evitar las infiltraciones de aire, por

ejemplo, adhesivos flexibles que sin mucho gasto prácticamente resuelven el problema de las infiltraciones

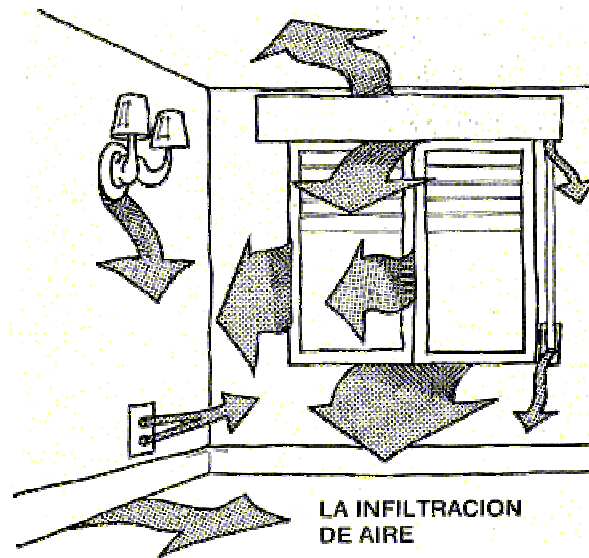


Figura 1.3. Filtraciones del aire.

Iluminación

En lo que concierne a la iluminación, el empleo de luz natural es de primordial importancia para disminuir el uso de la iluminación producida con energía eléctrica. Otro aspecto de gran relevancia radica en el tipo de lámparas que se utilicen. También resulta sumamente conveniente recurrir a la utilización de sensores de luz.

Sistema de calefacción

En la actualidad todo sistema de calefacción puede dividirse en: generador de calor, combustible y el elemento distribuidor de calor.

La generación de calor comprende las calderas, estufas y todo artefacto que mediante algún elemento convierte combustible en calor útil a través de un proceso de combustión. El sistema de distribución de calor es el siguiente eslabón en la cadena del sistema de calefacción y puede consistir en vapor, agua o aire caliente. La elección del medio de distribución de calor dependerá del tipo de construcción, por ejemplo, la distribución de calor mediante vapor es la que

presenta mayores ventajas en rascacielos o edificios tipo torre, donde debe transportarse la energía a grandes distancias, mientras que los sistemas de agua caliente son indicados para conducir calor a menores distancias, como es el caso de edificios o viviendas de pocos pisos.

Cabe mencionar que al momento de elegir un sistema de calefacción es sumamente importante tratar de adquirir el equipo que ofrezca la mayor eficiencia posible.

Energías renovables

El uso de energías renovables para suministrar una parte de la energía consumida por el edificio resulta sumamente conveniente, por ejemplo, es posible utilizar la energía solar para calentar el fluido que corre a través del sistema de calefacción; mientras que el uso de paneles fotovoltaicos y celdas de combustible contribuirían en el aspecto relacionado con la demanda de energía eléctrica del edificio.

Confort

El cuerpo humano es sensible a los cambios de temperatura, humedad, radiación y viento. La forma en la que estas variables ambientales se combinan definen si una zona posee un ambiente confortable o no, es por esto que deben diseñarse edificios tomando en consideración al clima y a la actividad que se desarrollará dentro de ellos.

1.3. Ubicación del problema

Con lo comentado hasta ahora es posible identificar, más que un problema, una necesidad. Ya que en la construcción de edificios de tipo sostenible se ponen en práctica nuevas técnicas y se emplean nuevos materiales. Resultaría útil contar con una forma de caracterizar el impacto que tiene la aplicación de estos nuevos métodos en el desempeño del edificio; evidentemente el desempeño que interesa evaluar está ligado al ahorro de energía y al confort. Con la intención de participar en el mundo de la construcción desde criterios sostenibles, que permitan desarrollar diseños y soluciones a través del aprovechamiento de la energía solar y hacer uso racional de los

recursos naturales, el Instituto de Ingeniería de la UNAM está construyendo un edificio con las características ya mencionadas.

1.4. Propuesta de solución

Para poder evaluar el impacto de esta nueva metodología de construcción resulta conveniente conocer el comportamiento de variables ambientales tales como temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, radiación solar, luminosidad, potencia eléctrica y flujo de agua en la tubería para calefacción, principalmente.

Para conocer el comportamiento del edificio sostenible del Instituto del Instituto de Ingeniería se integrará un sistema de monitoreo. Para esto se recurrirá a sensores que se encontrarán esparcidos alrededor de todo el edificio. La instrumentación se desarrollará alrededor del diseño e integración de un sistema de adquisición de datos mediante una PC, haciendo uso de la Instrumentación Virtual. En lo que respecta a la instrumentación virtual se empleará el software LabView de National Instruments, mientras que el equipo controlado por el instrumento virtual consistirá de módulos de red Ethernet y módulos de entrada analógica de la serie fieldPoint, también de National Instruments.

1.5. Aportaciones

La finalidad de este proyecto será contar con un espacio que nos permita conocer y experimentar sobre las variables relacionadas con el confort y el ahorro de energía en una construcción de tipo sostenible.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES

En este capítulo se define de manera breve en que consiste cada una de las variables que se medirán dentro del edificio, tales como temperatura, humedad relativa, potencia eléctrica, flujo en tuberías del sistema de calefacción, intensidad luminosa, radiación solar, velocidad y dirección del viento. Además se presenta una breve revisión de los transductores que existen para medir dichas variables. Finalmente se exponen las características más relevantes que conforman un sistema de adquisición de datos.

2.1. Temperatura

La temperatura de un cuerpo es la medida de la agitación de sus moléculas o intensidad de calor, que puede determinarse como un número medido en una escala.

La temperatura tiene influencia en muchos fenómenos físicos de la naturaleza y en los procesos fisiológicos de los organismos vivos, tales como: respiración, fotosíntesis, asimilación y transpiración, ya que éstos transcurren solamente a determinadas temperaturas.

Para la mayoría de las personas la temperatura es un concepto intuitivo, porque se sabe cuando un cuerpo está caliente o frío. En la exposición del segundo principio de la termodinámica la temperatura se relaciona con el calor, porque se sabe que el calor fluye de un cuerpo con mayor temperatura a otro con menor temperatura.

La transferencia de calor puede ocurrir de tres maneras:

Conducción: Se presenta cuando el flujo de energía térmica se da de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura, sin que haya transferencia de material, mediante interacciones atómicas o moleculares. Por impacto inelástico en el caso de fluidos (gas o líquidos), oscilaciones en los sólidos no conductores de electricidad y por movimiento de electrones en los sólidos conductores de electricidad (metales).

Convección: Se manifiesta como una transmisión de energía térmica del propio cuerpo del fluido (gas o líquido) al entrar en contacto con una fuente de calor. Una parte del fluido, la que está en contacto con la fuente de calor, al calentarse se dilata reduciendo así su densidad, por lo que tiende a ascender; la otra parte del fluido, más fría y densa, tiende a descender, dando lugar a corrientes convectivas, las cuales producen así una mezcla de moléculas en el cuerpo del fluido. Por ejemplo, el calentamiento libre o forzado del aire en una habitación (calefacción).

Para que se produzca transmisión de calor por convección, antes debe haber un proceso de transmisión de calor por conducción.

Radiación: Presente en la emisión y propagación de energía por medio de ondas electromagnéticas, las cuales se desplazan a la velocidad de la luz (300,000 km/s) a través del espacio y sin intervención activa de la materia, incluso sin requerir necesariamente de un medio para su propagación. Un ejemplo común es la radiación que el sol emite a la tierra.

Para los dos primeros casos, el dispositivo sensor se encuentra en contacto con el cuerpo al cual se le va a medir la temperatura, mientras que en el tercer caso el dispositivo detector y el cuerpo no se encuentran en contacto, como es el caso en que los transductores son equipados con

un forro o coraza para protegerlos de materiales corrosivos o el deterioro debido a su exposición al medio ambiente, lo cual repercute en la respuesta y exactitud del transductor.

Entre los transductores disponibles actualmente para realizar medición de temperatura se encuentran las resistencias dependientes de la temperatura, los termopares, los sensores basados en elementos semiconductores y los termistores.

A continuación se hace una descripción breve de las características principales de los dispositivos mencionados, comentado sus ventajas y desventajas, esto con la finalidad de poder establecer un criterio que nos permita hacer una elección más adecuada de los sensores que se utilizarán en el sistema de monitoreo del edificio sostenible.

2.1.1. Sensores de temperatura basados en circuitos integrados

Los dispositivos semiconductores de unión, tales como diodos y transistores, presentan sensibilidad a la temperatura, característica que permite sean utilizados como sensores de ésta. En la figura 2.1 se presenta un ejemplo de un sensor de temperatura hecho con base en elementos semiconductores.

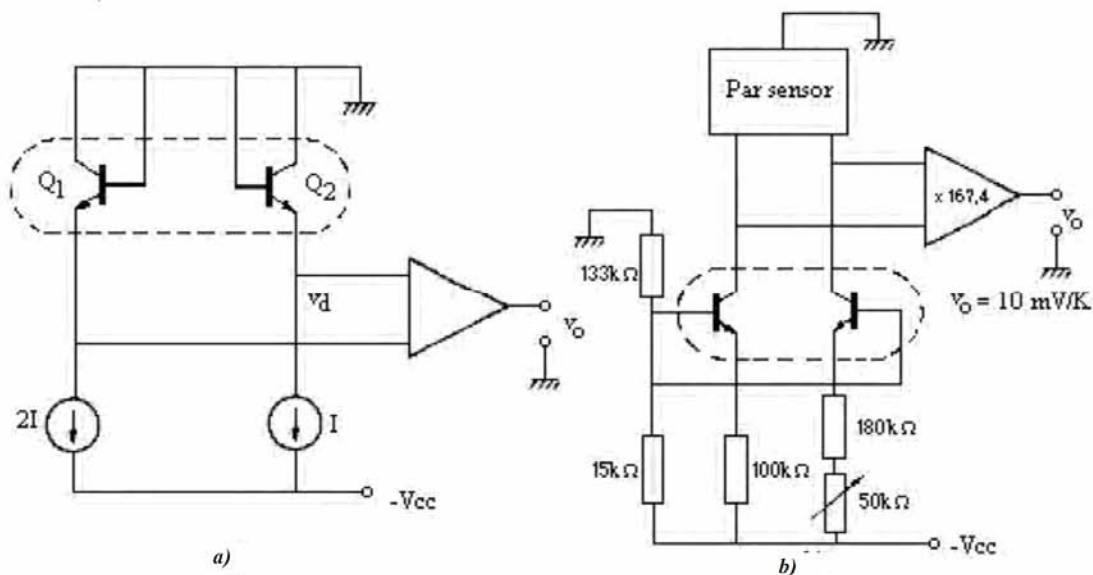


Figura 2.1. Sensor de temperatura con elementos semiconductores.

La sensibilidad con respecto a la temperatura es una propiedad fundamental en los transistores bipolares de silicio. Si dos transistores bipolares, idénticos, son operados a una razón constante de densidad de corriente de colector, entonces la diferencia en sus voltajes base-emisor está definido por:

$$V_d = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{c1}}{I_{c2}} \quad \text{Ec. 2.1.}$$

Así, si la relación I_{c1}/I_{c2} es constante, entonces V_d será proporcional a T . En el circuito de la figura 2.1a, $I_{c1}/I_{c2}=2$, de modo que $V_d/T= 59.73\mu\text{V/K}$, donde se han considerado la carga del electrón y la constante de Boltzmann. Al amplificar esta señal con una etapa de amplificador diferencial, de ganancia 167.4, la tensión de salida es de 10 mV/K. En la figura 2.1b se presenta un diseño práctico. Dado que la constante de Boltzmann (k) y la carga del electrón (q) son dos valores fijos, el valor resultante de voltaje es directamente proporcional a la temperatura absoluta (T).

Los sensores de temperatura en forma de circuito integrado (CI) presentan dos características principales:

La primera es el intervalo de operación. Un sensor de temperatura en CI sólo puede operar sobre la temperatura nominal del CI, es decir en el rango de -55°C a 150°C , por el daño que sufren los materiales semiconductores a las temperaturas fuera de este rango. Los sensores de temperatura en CI existen en diferentes márgenes de temperatura, dicho margen es función del tipo de encapsulado y de la precisión requerida, según estas últimas características su costo puede aumentar o disminuir. La segunda, y mayor diferencia, radica en la funcionalidad; un sensor de temperatura en forma de CI puede incluir extensa circuitería para procesamiento de señales dentro del mismo encapsulado, por lo que no se requiere circuitos externos para compensar o linealizar su comportamiento.

Ventajas de los sensores de temperatura en circuito integrado:

- Linealidad

- Simplificación de la circuitería externa requerida
- Buena sensibilidad en su rango de operación

2.1.2 Detector de temperatura resistivo

Otro dispositivo bastante popular para medir la temperatura es el detector de temperatura resistivo (RTD: Resistance Temperatura Detector), conocido por su estabilidad y precisión sobre un amplio intervalo de temperaturas de operación. Un RTD consiste de una espira de alambre o una película de metal cuya resistencia varía ante cambios en la temperatura. Un RTD típico está formado por un devanado de hilo encapsulado, como el que se muestra en la figura 2.2.

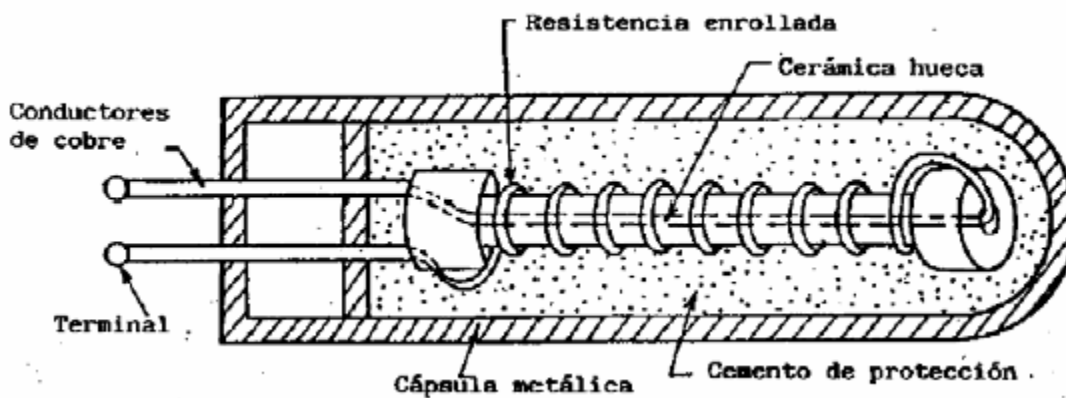


Figura 2.2. Estructura básica de una RTD.

Aunque diferentes tipos de RTDs están disponibles en el mercado, el más popular está hecho de platino y tiene una resistencia nominal de 100 ohms a 0°C (Pt100).

La ecuación que caracteriza el comportamiento de un RTD está definida por:

$$R = R_0(1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 \Delta T^2 + \dots) \quad \text{Ec. 2.2.}$$

Donde:

R_0 = Resistencia a la temperatura de referencia (habitualmente 0°C).

ΔT = $T_{\text{actual}} - T_{\text{referencia}}$

$\alpha_1, \alpha_2, \dots$ = coeficientes de temperatura (también suelen expresarse como A, B, ...).

Una aproximación bastante utilizada para caracterizar el comportamiento de un RTD es la dada por la ecuación de Callendar-Van Dusen.

$$R = R_0 \left[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)^3 \right] \quad \text{Ec. 2.3.}$$

Los coeficientes A, B y C se encuentran estandarizados por normas como la DIN 43760.

En la figura 2.3 se puede observar la relación no lineal que guarda la resistencia con la temperatura en este tipo de elementos.

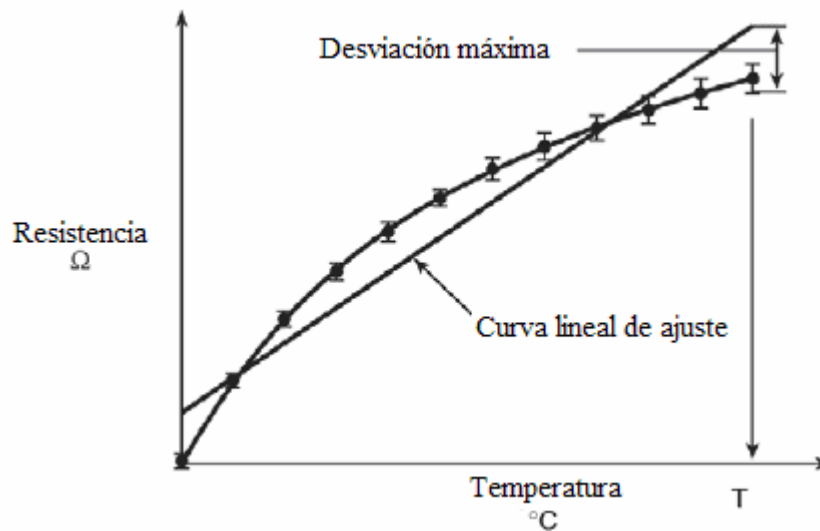


Figura 2.3. Comportamiento de un RTD respecto a la temperatura.

Dado el comportamiento no lineal del RTD, en muchos casos se toma la aproximación en su margen lineal (ver figura 2.3.), considerando un único coeficiente α_1 que pasa a denominarse α a secas:

$$R \approx R_0(1 + \alpha\Delta T) \quad \text{Ec. 2.4.}$$

Debido a que los RTDs son dispositivos pasivos, para su operación se debe hacer pasar una corriente a través él, con la finalidad de producir un voltaje que un sistema de adquisición de datos pueda medir. Como se mencionó con anterioridad, los RTD tienen una relativamente baja resistencia (100 ohms a 0°C), que cambia sólo ligeramente con la temperatura (menos de 0.4

ohms/°C), de tal manera que pueden necesitarse configuraciones especiales para minimizar errores que se presentan debido a la resistencia que existe en los cables que transportan la señal.

Muchos RTDs comerciales utilizan circuitos que se encargan del acondicionamiento de señal necesario, para finalmente entregar una corriente de salida proporcional a la temperatura, i.e 4 a 20 mA. Generalmente a estos circuitos se les llama “cabezas” transmisoras.

2.1.3. Termistor

Un termistor es una resistencia eléctrica que varía su valor en función de la temperatura. Existen dos clases de termistores, aquellos que presentan un coeficiente de temperatura positivo (*PTC*, por sus siglas en inglés) y los que presentan un coeficiente de temperatura negativo (*NTC*, por sus siglas en inglés). Curvas características del comportamiento de los dos tipos de termistores se muestran en la figura 2.4.

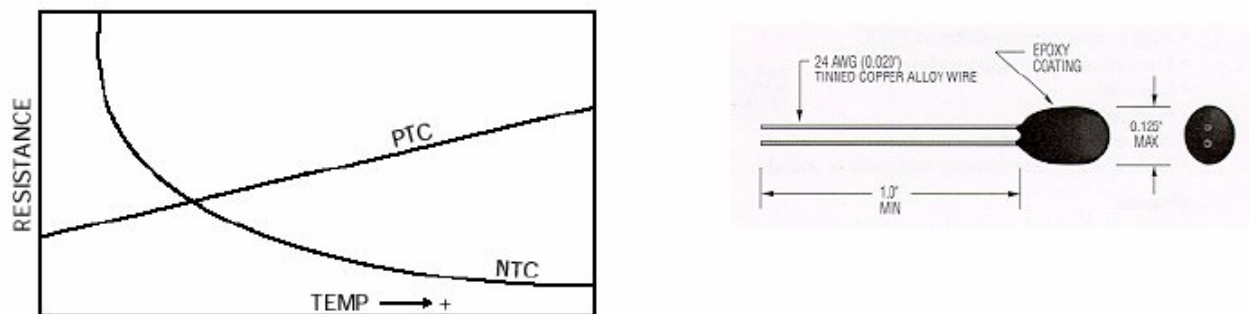


Figura 2.4. Curvas típicas de los termistores PTC y NTC.

Los termistores PTC ofrecen mayor linealidad aunque su sensibilidad no es tan buena, por otra parte los termistores NTC ofrecen una buena sensibilidad aunque su comportamiento respecto a la temperatura es no lineal, no obstante, su mejor sensibilidad hace a éste ultimo tipo de termistor el más utilizado.

Termistor NTC

Un Termistor NTC es una resistencia variable cuyo valor va decreciendo a medida que aumenta la temperatura. Son resistencias de coeficiente de temperatura negativo, constituidas por un cuerpo semiconductor cuyo coeficiente de temperatura es elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura. Se emplean en su fabricación óxidos semiconductores de níquel, zinc, cobalto, etcétera.

La ecuación que caracteriza el comportamiento del termistor NTC, en un margen reducido de temperatura, de unos 50°C, se puede considerar como:

$$R_T = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad \text{Ec. 2.5.}$$

Donde:

R_T = Resistencia absoluta a un valor de temperatura T en Kelvins.

T = Temperatura absoluta en Kelvins.

T_0 = Es la temperatura de referencia (habitualmente 25°C) expresada en Kelvins.

R_0 = Es la resistencia a la temperatura de referencia.

β = Constante característica del material (entre 2000 K – 5000K) y depende de la temperatura ambiente.

Despejando el parámetro β de la ecuación 2.5. se obtiene la siguiente expresión.

$$\beta = \frac{\ln(R_T / R_0)}{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}} \quad \text{Ec. 2.6.}$$

De forma que β se puede hallar experimentalmente si obtenemos dos valores de resistencia R_T , a dos temperaturas T. Habitualmente el fabricante del termistor especifica β para un intervalo de 0 °C a 50 °C.

La curva característica del comportamiento de un termistor puede aproximarse mediante la ecuación empírica de Steinhart-Hart.

$$\frac{1}{T} = A + B(\ln R_T) + C(\ln R_T)^2 \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde el valor de los parámetros A, B y C se hallan a partir de las tablas empíricas ofrecidas por el fabricante, tomando tres pares de valores (T, R_T) y resolviendo el sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas.

La característica tensión-corriente (V/I) de un termistor NTC presenta un carácter peculiar, ya que, cuando la corriente que circula a través de él es pequeña, el consumo de potencia ($R * I^2$) será demasiado pequeño para registrar aumentos apreciables de temperatura, o lo que es igual, una reducción de su resistencia óhmica; en esta parte de la característica, la relación tensión- corriente será prácticamente lineal y en consecuencia cumplirá la ley de Ohm. Si aumentamos la tensión aplicada al termistor, se llegará a un valor de corriente en que la potencia consumida provocará aumentos de temperatura suficientemente grandes como para que la resistencia del termistor NTC disminuya apreciablemente, incrementándose la corriente hasta que se establezca el equilibrio térmico. Ahora nos encontramos, pues, en una zona de resistencia negativa en la que disminuciones de tensión corresponden aumentos de corriente.

Termistor PTC

Un termistor PTC es una resistencia variable cuyo valor se incrementa a medida que aumenta la temperatura.

Los termistores PTC se utilizan en una gran variedad de aplicaciones: limitación de corriente, sensor de temperatura, desmagnetización y para la protección contra el recalentamiento de equipos tales como motores eléctricos. También se utilizan en indicadores de nivel, para provocar retardos en circuitos, como termostatos, y como resistores de compensación.

El termistor PTC pierde sus propiedades y puede comportarse eventualmente de una forma similar al termistor NTC si la temperatura llega a ser demasiado alta. Las aplicaciones de un termistor PTC están, por lo tanto, restringidas a un determinado margen de temperaturas.

Hasta un determinado valor de voltaje, la característica I/V de un termistor PTC sigue la ley de Ohm, pero la resistencia aumenta cuando la corriente que pasa por el termistor PTC provoca un calentamiento y se alcanza la temperatura de conmutación. La característica I/V depende de la temperatura ambiente y del coeficiente de transferencia de calor con respecto a dicha temperatura ambiente.

El acondicionamiento de señales básico para ambos tipos de termistores consiste en un amplificador de puente transductor, como el mostrado en la figura 2.5, que *grosso modo* consiste en una estructura de cuatro resistores, que es lo que se conoce como el puente, y los dos divisores de tensión creados con estos resistores son conocidos como soportes del puente. Los dos divisores de tensión se encuentran conectados a un amplificador diferencial con ganancia A. Este último circuito tiene como misión convertir las variación de la resistencia del termistor en variaciones de tensión, que puedan ser detectadas por un sistema de adquisición de datos.

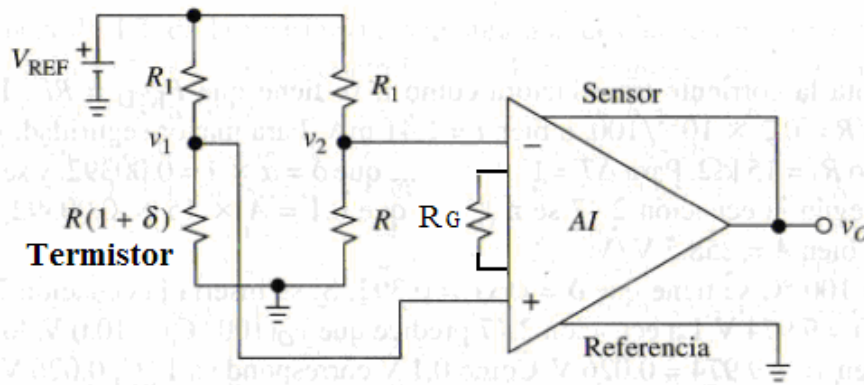


Figura 2.5. Puente transductor con Amplificador Operacional.

La expresión que rige el comportamiento de la red mostrada en la figura anterior es la siguiente:

$$V_o = AV_{REF} \frac{\delta}{1 + R_1/R + (1 + R_1/R)(1 + \delta)} \quad \text{Ec. 2.8.}$$

El resistor R_G queda incluido en el término que define la ganancia A; para ver de que modo queda definida esta ganancia es necesario consultar las hojas de datos de un amplificador de instrumentación es específico.

El otro aspecto relacionado con el acondicionamiento de señal es el de la linealización, si es que se utiliza un termistor NTC. El método más preciso para linealizar un termistor NTC es la utilización de una rutina de software que implemente la ecuación de Steinhart-Hart para el modelo de termistor concreto.

Entre las ventajas y desventajas que se tienen al utilizar este tipo de sensores en un sistema de adquisición de datos están:

Ventajas

- Bajo costo
- Tienen una sensibilidad mucho mayor que los RTD
- Debido a su alta resistividad pueden tener una masa muy pequeña, lo que permite una respuesta rápida (i.e. constante de tiempo baja). Esta alta resistencia puede permitir despreciar el efecto de carga de los cables de conexión

Desventajas

- Su reducida masa provoca problemas de autocalentamiento, por lo que habrá que limitar la corriente que circule a través del termistor.
- La falta de linealidad, sobre todo en los termistores NTC, obliga a un acondicionamiento por software si se desea una alta precisión

2.1.4. Termopar

Un termopar se forma mediante la unión de dos metales distintos, por ejemplo utilizando un alambre de cobre y uno de hierro. Estos producen un voltaje en sus extremos, como respuesta a una fuente de calor, siempre y cuando los metales tengan un coeficiente de temperatura diferente, ver figura 2.6. En electrónica, los termopares son ampliamente usados como sensores

de temperatura; son baratos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas.

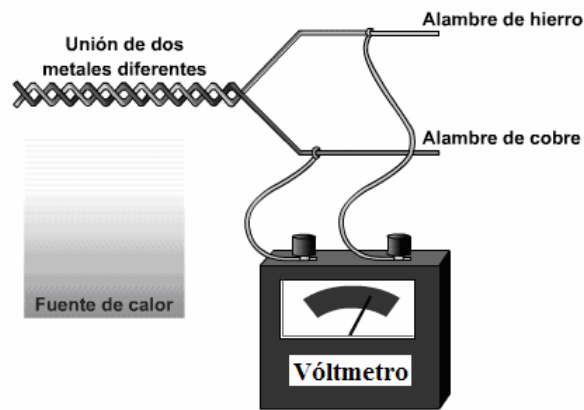


Figura 2.6. Principio de operación de los termopares.

Si bien casi cualquier par de metales pueden ser usados para crear un termopar, se usa un cierto tipo debido a que producen voltajes predecibles y amplios gradientes de temperatura. La figura 2.7 muestra un termopar del tipo K, que es el más popular, el cual produce típicamente 12.2mV a 300°C.

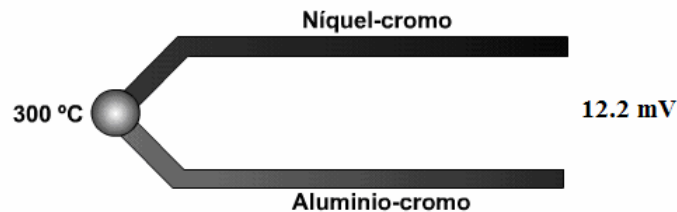


Figura 2.7. Metales que dan origen a un Termopar tipo K.

Aun cuando es posible conectar un voltímetro al termopar para medir la tensión que produce a una temperatura dada, esto no es muy recomendable, ya que en la conexión que se forme entre las terminales del termopar y las puntas de medición del voltímetro se forman otros termopares. Para evitar estos problemas se debe realizar una compensación entre las uniones del termopar y las terminales del voltímetro. La técnica de compensación comúnmente utilizada es la que se denomina como compensación de unión fría (CUF).

La ley de los metales intermedios dice que un tercer metal introducido entre dos metales distintos de una unión de termopar no tendrá efecto siempre y cuando las dos uniones estén a la misma temperatura. Esta ley es importante en la construcción de uniones de termopares. Es posible hacer una unión termopar al estañar dos metales, ya que la estañadura no afectará la sensibilidad. En la práctica, las uniones termopares se realizan con soldaduras de los dos metales (por lo general con una carga capacitiva) ya que esto asegura que el desempeño no esté limitado al punto de fusión de una estañadura.

Por lo general, la temperatura de la unión fría es detectada por un termistor de precisión en buen contacto con los conectores de salida del instrumento de medición. Esta segunda lectura de temperatura, junto con la lectura del termopar, es usada por el instrumento de medición para calcular la temperatura verdadera en el extremo del termopar. Para aplicaciones menos críticas, la CUF se realiza utilizando un sensor de temperatura de tipo semiconductor. Al combinar la señal de este semiconductor con la señal del termopar, la lectura correcta puede ser obtenida sin la necesidad o esfuerzo de registrar dos temperaturas. La comprensión de la compensación de unión fría es importante; cualquier error en la medición de la temperatura de la unión fría terminará en el error de la temperatura medida en el extremo del termopar.

Tipos de termopares

Tipo K (Cromo (Ni-Cr) / Aluminio (aleación de Ni-Al)): Con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un margen de temperatura de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox.

Tipo E (Cromo / Constantán (aleación de Cu-Ni)): No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de $68\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Tipo J (Hierro / Constantán): Debido a su limitado margen, el termopar tipo J es menos popular que el K. Los termopares tipo J son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos. El tipo J no puede usarse a temperaturas superiores a $760\text{ }^{\circ}\text{C}$,

ya que una abrupta transformación magnética causa una descalibración permanente. Tienen un intervalo de operación de -40°C a $+750^{\circ}\text{C}$.

Tipo N (Nicrosil (Ni-Cr-Si / Nisil (Ni-Si)): Es adecuado para mediciones de alta temperatura, gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros.

Por otro lado, los termopares tipo B, R y S son los más estables, pero debido a su baja sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox.) generalmente son usados para medir altas temperaturas (superiores a 300°C).

Tipo B (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): Son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a 1.800°C . El tipo B por lo general presentan el mismo resultado a 0°C y 42°C debido a su curva de temperatura/voltaje.

Tipo R (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): Adecuados para la medición de temperaturas de hasta 1.600°C . Su baja sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) y su elevado costo eliminan su atractivo.

Tipo S (Hierro / Constantán): Ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los 1.600°C , pero su baja sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro (1064.43°C).

Tipo T (Cobre / Constantán): Es un termopar adecuado para mediciones en el intervalo de -200°C a 0°C . El conductor positivo está hecho de cobre y el negativo de constantán.

Los termopares con una baja sensibilidad, como en el caso de los tipos B, R y S, tienen además una resolución menor. La selección de termopares es importante para asegurarse que cubren el margen de temperaturas que se desea monitorear en cierta aplicación.

En la detección de la temperatura con base en los termopares, el instrumento de medición debe además enfrentar el hecho de que la energía generada por un termopar es una función no lineal de la temperatura. Esta dependencia se puede aproximar por un polinomio complejo (de 5° a 9° orden dependiendo del tipo de termopar). Los métodos análogos de linealización son usados en medidores de termopares de bajo costo.

Como ya se dijo, la relación tensión-temperatura no es lineal; sin embargo, si se consideran incrementos de temperatura pequeños, podemos establecer que la diferencia de potencial en las terminales del termopar está dada por la expresión:

$$\Delta V \approx S \Delta T \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde S es la sensibilidad del sensor, a este parámetro también se le conoce como coeficiente de Seebeck (ver figura 2.8).

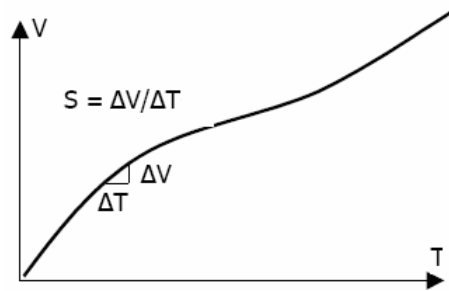


Figura 2.8. Curva típica de un termopar.

Por lo tanto el fabricante nos proporcionará la relación V/T de dos formas:

- Tabla de calibración: Cada tipo de termopar proporciona la tabla de calibración con el valor de la T para cada tensión.
- Coeficientes del polinomio: Una curva como la de la figura 2.8. también se puede aproximar mediante un polinomio. En donde el fabricante proporciona el valor de los coeficientes a_0, \dots, a_n hasta cierto orden.

$$T = a_0 + a_1 v + a_2 v^2 + a_3 v^3 + \dots + a_n v^n \quad \text{Ec. 2.10}$$

Entre las ventajas y desventajas del uso de termopares en la medición de la temperatura se encuentran:

Ventajas

- No requieren de una fuente de alimentación
- Simple y robusto
- Bajo costo
- Amplio intervalo de temperaturas de operación

Desventajas

- Comportamiento no lineal
- Baja sensibilidad, del orden de $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

2.2. Humedad atmosférica

La humedad de la atmósfera es el vapor de agua que, en un porcentaje muy variable, según el tiempo y el espacio, está presente en la tropósfera (capa de la atmósfera que se prolonga desde el nivel del mar hasta una altura media de 11 km).

El vapor de agua o humedad contenida en la atmósfera tiene grandes consecuencias meteorológicas y climáticas, a saber:

Absorbe selectivamente por medio de varias bandas de absorción la energía irradiada por la tierra, por tanto regula la rapidez de la pérdida de calor; el vapor de agua desempeña también un papel importante en el calentamiento y enfriamiento de la atmósfera, ya que actúa como un abrigo que le impide la pérdida de energía. Absorbe muy fácilmente las radiaciones térmicas, por lo que el aire húmedo se calienta más que el aire seco bajo la acción directa de los rayos solares.

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera representa una forma de calor latente de condensación, que se libera al formarse las nubes. Un kilogramo de vapor de agua al condensarse o formarse puede aumentar o disminuir un grado de temperatura en un volumen de 2000 m^3 de aire. Constituye por esto un vehículo de transporte de energía en la atmósfera, que es fácilmente acarreada por los vientos a grandes distancias.

La cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera regula la velocidad con que se evapora el agua de la superficie terrestre y de los mares. Por su condensación o congelación se producen numerosos fenómenos meteorológicos como: nubes, niebla, granizo, rocío, etc.

Para tener mediciones prácticas de la humedad se han creado los conceptos de humedad absoluta y humedad relativa (HR), estos se definen de la siguiente manera:

Humedad absoluta

La humedad absoluta es la verdadera cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera, es decir, es el peso del vapor de agua por unidad de volumen de aire y se expresa en gramos de vapor de agua / m^3 de volumen de aire. Sin embargo, como esta unidad depende de la presión del aire, ya que cambia con la altura, se da preferencia a dos unidades que son independientes de la presión del aire, éstas son la humedad específica, que se expresa en gramos de vapor de agua/kg de aire húmedo y la mezcla de humedad que es la relación de la cantidad (masa) de vapor de agua a cantidad (masa) de aire seco y se expresa en gramos de vapor de agua/kg de aire seco.

Humedad relativa

La humedad relativa, también conocida como porcentaje de humedad, se utiliza para expresar el contenido de vapor de agua en el aire, para expresar dicho contenido es mejor basarse en la presión que ejerce dicho vapor, no en su masa, como en el caso de la humedad absoluta. La humedad relativa queda definida por el cociente de la presión actual en el aire e , que equivale a la presión del vapor presente en el aire en un momento dado y se expresa en milibares (mb), y la presión de vapor de saturación E , que corresponde a la presión de vapor máxima que puede tener la atmósfera para una temperatura dada. Como ya se comentó, la humedad relativa se expresa en

porcentaje. Se dice que el aire está saturado de humedad cuando su humedad relativa es del 100%.

$$HR = \frac{e}{E} \times 100 \quad \text{Ec. 2.11}$$

Aparatos para medir la humedad

Las especificaciones más importantes a tener en mente cuando se selecciona un sensor de humedad son:

- Precisión
- Repetibilidad
- Intercambiable
- Estabilidad
- Habilidad para recuperarse de la condensación
- Resistencia a contaminantes físicos y químicos
- Tamaño
- Tipo de encapsulado
- Costo

Factores adicionales que también deben ser considerados son: el costo asociado con el reemplazo de los sensores, si la calibración se lleva a cabo en campo o en laboratorios especializados, la complejidad y confiabilidad de la circuitería encargada del acondicionamiento de señal y la adquisición de datos.

En el siguiente apartado se presenta una descripción del funcionamiento de algunos de los sensores de humedad usados con más frecuencia, comentando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

2.2.1. Higrómetro Capacitivo

Los higrómetros capacitivos tienen elementos sensores que absorben o liberan humedad dentro de una capa higroscópica, hasta que se alcanza el equilibrio con la presión del vapor de agua en el ambiente. Dos electrodos se encuentran en contacto con las capas cuya capacitancia varía con la humedad (ver figura 2.9). Existen varios materiales con los que se fabrica la capa higroscópica; algunos de ellos son películas a base de polímeros, soluciones acuosas de sales higroscópicas, óxido de aluminio, etc.

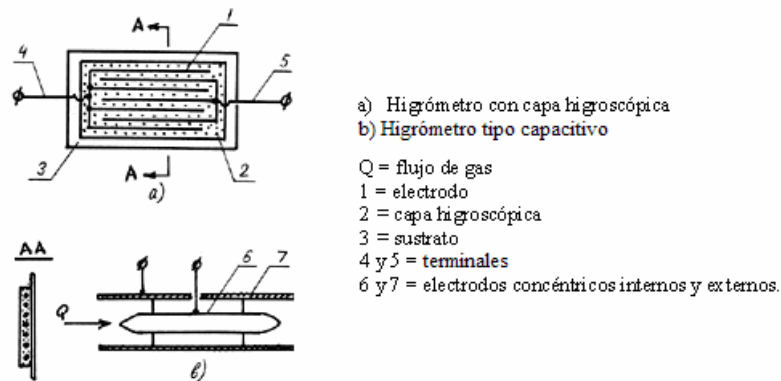


Figura 2.9. Estructura básica de un higrómetro capacitivo.

El cambio en el incremento de la constante dieléctrica de un higrómetro capacitivo guarda una relación casi directamente proporcional a la humedad relativa del ambiente que lo rodea.

Los sensores capacitivos se caracterizan por un coeficiente de temperatura bajo, pueden trabajar a altas temperaturas (hasta 200°C), presentan una recuperación completa de la condensación y una resistencia razonable a vapores producidos por elementos químicos. Los tiempos de respuesta van de 30 a 60 s para un incremento de 63% en la humedad relativa.

Para la producción de sensores de tipo capacitivo se toman en cuenta las ventajas de los muchos principios que rigen la manufactura de los semiconductores. Los sensores capacitivos de película delgada pueden incluir acondicionamiento de señal dentro del mismo encapsulado, con la finalidad de obtener una respuesta lo más lineal posible del sensor y facilitar su conexión a

sistemas de adquisición de datos. En la figura 2.10 se presentan las curvas típicas de un higrómetro capacitivo para diferentes valores de temperatura.

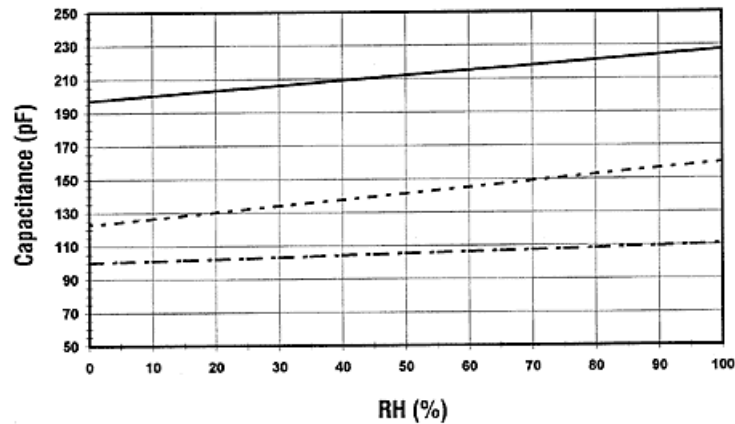


Figura 2.10. Curvas típicas de un higrómetro capacitivo.

Los sensores capacitivos presentan como limitante la distancia a la cual puede colocarse el sensor de la electrónica encargada del acondicionamiento de señales, esto debido al efecto capacitivo propio de los cables de conexión con respecto a los relativamente pequeños cambios de capacitancia que presenta el sensor. Un límite que se usa con frecuencia en la práctica es del orden de 5 metros.

La sustitución de sensores operando bajo este principio, en caso de falla, puede ser un problema debido a las variaciones que existen tanto en los procesos de fabricación como en los procesos de calibración. Una solución al problema anterior es adquirir sensores del tipo recortado por láser, para reducir las variaciones a $\pm 2\%$ en las lecturas que se realicen posteriormente a la realización del reemplazo, o que se cuente con un método de recalibración basado en computadora.

2.2.2. Higrómetros resistivos

Los sensores de humedad resistivos miden el cambio en la impedancia eléctrica de un medio higroscópico, como pudiera ser un polímero conductivo, alguna sal, o algún tipo de sustrato sometido a algún tipo de tratamiento.

El cambio de la impedancia es típicamente una relación exponencial inversa a la humedad. Ver figura 2.11.

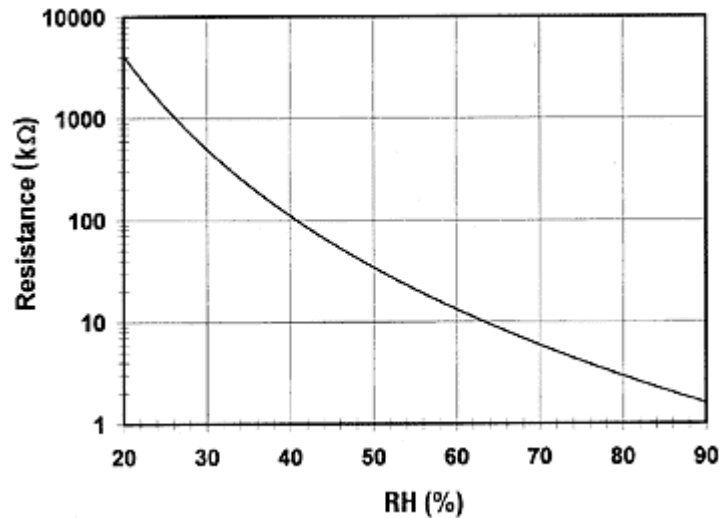


Figura 2.11. Curvas típicas de un higrómetro resistivo.

Estos sensores resistivos usualmente consisten de un electrodo de metal depositado sobre un sustrato mediante técnicas fotoresistivas, o electrodos de alambre sobre un cilindro de material plástico, también puede ser vidrio.

El sustrato es una capa con alguna sal o un polímero conductivo. Cuando éste es disuelto o suspendido en una especie de carpeta líquida funciona como un vehículo para cubrir uniformemente el sensor. Alternativamente el sustrato puede ser tratado con medios químicos tales como ácidos. El sensor absorbe el vapor de agua y grupos funcionales de iones son desasociados, dando como resultado un incremento en la conductividad eléctrica.

El tiempo de respuesta para la mayoría de estos sensores es de 10 a 30s, para incrementos de aproximadamente 63% en la humedad relativa. La impedancia de este tipo de sensores varía desde 1k hasta 100 M. El tiempo de recuperación después ser sometidos a condensación completa es de algunos minutos.

La mayoría de estos sensores son excitados con señales simétricas de CA sin componentes de CD, con la finalidad de evitar que el sensor se polarice. El flujo de corriente resultante es convertido a un voltaje de CD para someterlo a un proceso de amplificación, linearización o

conversión AD. Muchos de estos sensores cuentan con el acondicionamiento de señales integrado. En la figura 2.12 se muestra una curva característica típica de estos últimos.

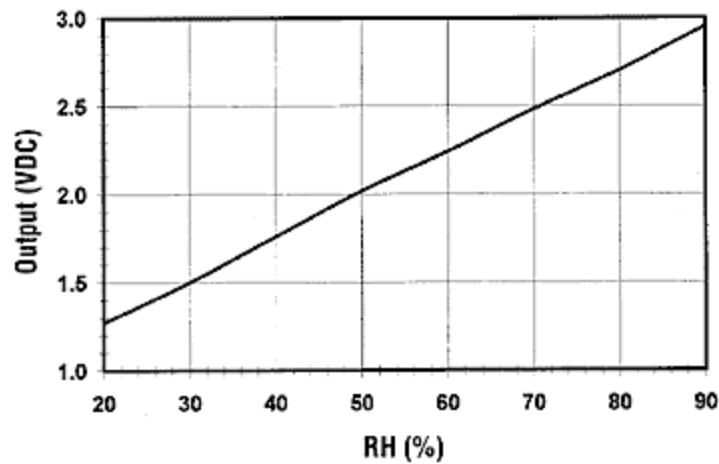


Figura 2.12. Higrómetro resistivo con salida de voltaje.

Una ventaja de los higrómetros resistivos es la flexibilidad que ofrecen en cuanto a la posibilidad de intercambiarlos (usualmente dentro de $\pm 2\%$ RH de variación), lo que permite a la electrónica encargada del acondicionamiento de señales ser calibrada mediante un arreglo de resistores para un punto fijo de %RH. Esto elimina la necesidad de recurrir a estándares de calibración para humedad, lo que permite sean fácilmente reemplazados en aplicaciones de campo. En ambientes residenciales y comerciales la esperanza de vida de estos sensores es mayor a 5 años, pero la exposición de estos a vapores químicos y otros contaminantes, tales como aceites, pueden provocar fallas prematuras.

Una desventaja de los higrómetros resistivos es su significativamente alta dependencia a fluctuaciones de temperatura mayores a -12.2°C . Para solucionar esto se agrega al sensor compensación de temperatura de forma simultánea para incrementar la precisión. Su bajo costo, flexibilidad en su reemplazo, gran estabilidad hace de estos dispositivos ideales para aplicaciones en control y monitoreo de productos en comercios y el sector industrial.

2.2.3. Higrómetros de conductividad térmica

Estos sensores miden la humedad absoluta al cuantificar la diferencia entre la conductividad térmica del aire seco y aquella del aire que contiene vapor de agua. Cuando el aire o gas están secos, su capacidad para disipar calor se incrementa, como ejemplo tenemos el clima del desierto. Un desierto puede ser extremadamente caliente durante el día pero en la noche la temperatura cae rápidamente debido a las secas condiciones atmosféricas. En cambio los climas húmedos no reducen su temperatura de manera tan abrupta debido a que el calor es retenido por el vapor de agua en la atmósfera.

Este tipo de sensores consiste en dos elementos termistores NTC en un circuito puente, uno de ellos se encuentra herméticamente encapsulado en nitrógeno seco mientras que el otro se encuentra expuesto al ambiente. Ver figura 2.13.

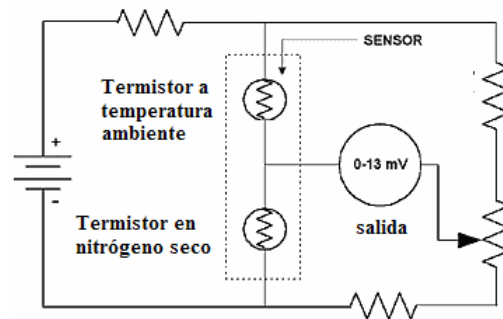


Figura 2.13. Diagrama básico de un sensor de humedad absoluta.

2.3. Viento

El viento es el aire en movimiento relativo a la superficie de la tierra, usado comúnmente para denotar la componente horizontal del movimiento del aire.

Causas del viento

El viento es un producto de la energía solar. El movimiento del aire se realiza casi horizontalmente y se produce entre dos sitios de diferente presión atmosférica; esto se debe a la diferencia del calentamiento entre dichos sitios. El sitio con mayor calentamiento tiene el aire

comparativamente menos denso que el de un sitio con menor calentamiento. El gradiente barométrico que se genera de este modo promueve el movimiento del aire (ver figura 2.14), el cual tiende a igualar las diferencias laterales de temperatura, presión y humedad relativa que existen en la atmósfera. Esta igualdad nunca se alcanza, ya que continuamente surgen y se crean nuevas diferencias.

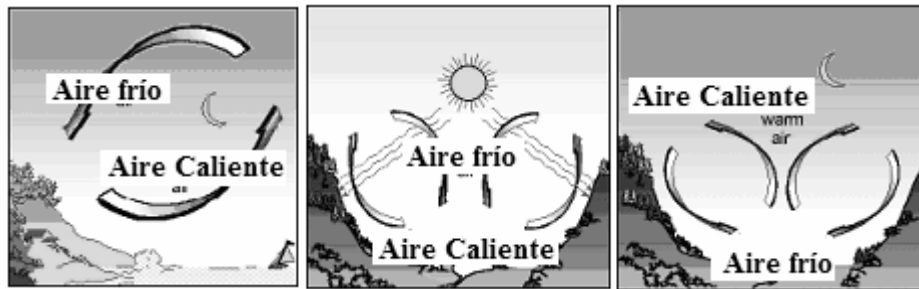


Figura 2.14. Gradiente barométrico que promueve el movimiento del aire.

Esta perturbación atmosférica básica ocurre tanto a escala planetaria, con ritmo estacional, como a escala local, con ritmo diario. A escala planetaria, la desigual distribución de calor y de presiones se presenta en el fenómeno llamado circulación general de la atmósfera, la cual se caracteriza por presentar vientos convergentes y ascendentes, tanto en la zona ecuatorial como en latitudes medias, y vientos divergentes y descendentes en la regiones subtropicales y polares. A escala local, la presencia de lagos, mares y montañas produce diariamente calentamientos desiguales, que se expresan en los típicos vientos conocidos como brisas de la costa o brisas de los valles.

Componentes del viento.

Las dos componentes fundamentales del viento son la dirección y la velocidad.

Dirección: Se indica por el punto de donde procede el viento; por ejemplo, el viento del sur indica un viento procedente del sur y que sopla hacia el norte. La dirección del viento se expresa en grados contados a partir del norte geográfico, en el sentido de las manecillas del reloj, o bien se expresa en rumbos magnéticos dados por la brújula. A fin de simplificar la observación de la

dirección del viento, ésta se indica en 16 direcciones, anotándolas con las iniciales de los puntos cardinales.

Velocidad: Depende de la diferencia de presiones entre dos zonas y de la distancia media que existe entre ambas. La velocidad del viento se puede expresar en nudos, millas por hora, pies por segundo, metros por segundo o kilómetros por hora.

La medición de la velocidad y dirección del viento se puede realizar utilizando diferentes equipos; a continuación se describe el principio de operación de algunos equipos disponibles comercialmente.

2.3.1. Anemómetro de copas

El anemómetro de copas (ver figura 2.15) es uno de los transductores más populares para realizar la medición de la velocidad del viento. Este instrumento consiste de un grupo de copas (de 3 a 4) conectadas al centro de una flecha vertical para producir una rotación. Al menos una de las tazas siempre está de frente a la dirección del viento. La forma aerodinámica de las copas convierte la fuerza de empuje del viento en un torque rotacional.

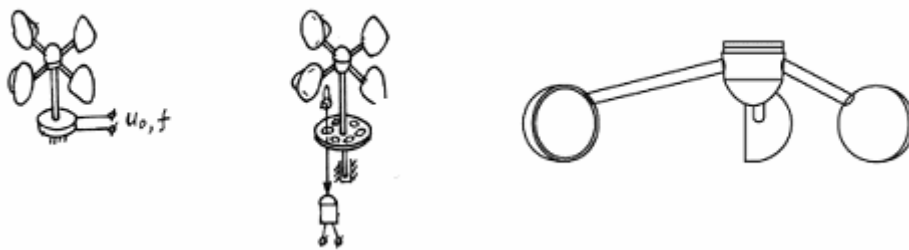


Figura 2.15. Anemómetro de copas giratorias.

La rotación de las tazas es prácticamente lineal y proporcional a la velocidad del viento dentro de un margen específico.

Un transductor en la flecha del anemómetro convierte el movimiento rotacional en señales eléctricas; como podría ser un pequeño generador de AC, cuyo voltaje y/o frecuencia de salida es proporcional a la velocidad del viento. Algunas opciones de este transductor son:

1. El estator del generador contiene varios magnetos permanentes como polos, o polos electromagnéticos excitados con corriente directa, un rotor devanado con un conmutador y escobillas. El voltaje de salida se presenta en las escobillas. La frecuencia de este voltaje es proporcional a la velocidad.

2. Otra opción es que el rotor esté conformado por magnetos permanentes (ver figura 2.16), que al girar inducen en los devanados del estator estacionario un voltaje de AC, cuya amplitud y frecuencia es proporcional a la velocidad del viento.

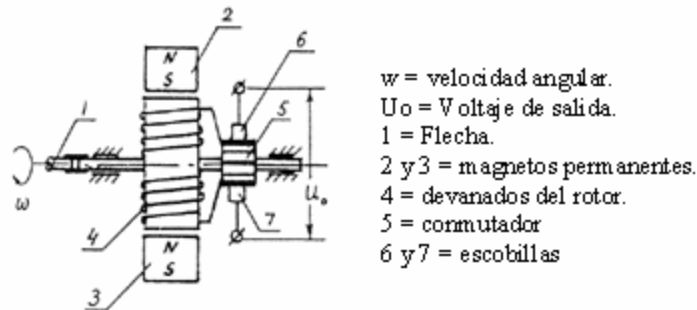


Figura 2.16. Rotor de magnetos permanentes.

2.3.2. Anemómetro de alambre caliente

El anemómetro de alambre caliente es el anemómetro térmico más conocido y utilizado, este mide la velocidad de un cierto fluido mediante el fenómeno de convección. Este anemómetro está compuesto de un alambre expuesto al fluido del cual se desea conocer la velocidad; el alambre se calienta al hacer circular una corriente eléctrica a través de él (ver figura 2.17).

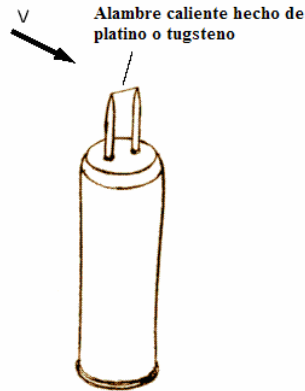


Figura 2.17. Anemómetro de alambre caliente.

Mediante la medición del cambio en la temperatura del alambre bajo la aplicación de una corriente eléctrica constante, o la medición del cambio en la corriente requerida para mantener la temperatura del alambre constante, puede obtenerse la pérdida de calor existente. Estas pérdidas pueden entonces ser convertidas en la velocidad del fluido al aplicar la teoría que rige el fenómeno de convección.

Típicamente, el hilo que forma parte del anemómetro está hecho de platino o tungsteno y tiene un diámetro entre 4 y 10 μm y una longitud de 1mm.

Los anemómetros de hilo-caliente disponibles en el mercado típicamente tienen una respuesta en frecuencia plana (< 3 dB) hasta los 17 kHz, a una velocidad promedio de 9.1 m/s, 30 kHz a 30.5 m/s o 50 kHz a 91 m/s.

Debido al diminuto tamaño del alambre y su relativa fragilidad, este tipo de anemómetros es apropiado para la medición de velocidad en gases con un nivel de impurezas bastante bajo.

Con este tipo de anemómetro se consiguen resoluciones bastante altas, sin embargo algunos inconvenientes importantes pueden ser su alto costo y necesidad de ser recalibrados constantemente debido a la acumulación de impurezas en el alambre.

2.3.3. Anemómetro ultrasónico

El anemómetro ultrasónico está diseñado para detectar las componentes horizontales del viento, es decir, la velocidad y la dirección. Debido a sus cortos intervalos de medición este instrumento es ideal para realizar mediciones de ráfagas y valores pico en las componentes horizontales del viento. Cabe mencionar que el mantenimiento que requiere es mínimo, sin embargo tiene un costo relativamente alto. Este tipo de sensores de velocidad hacen uso de transductores ultrasónicos, transmisores y receptores, que trabajan con ondas sonoras cuya frecuencia es superior a la del oído humano.

Un anemómetro ultrasónico de dos dimensiones está compuesto por cuatro transductores ultrasónicos (dos transmisores y dos receptores) agrupados en pares, uno en frente del otro para formar una trayectoria de medición, las dos trayectorias de medición que se pueden formar son perpendiculares entre sí. Ver figura 2.18.

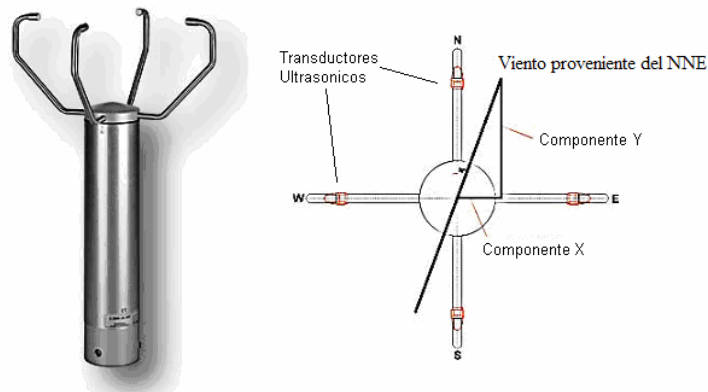


Figura 2.18. Anemómetro ultrasónico de dos dimensiones.

A la componente de la velocidad de propagación de la onda sonora generada por el transductor ultrasónico (transmisor) de una de las trayectorias formadas se superpone la componente de velocidad de un flujo de aire en la dirección del viento, provocando un incremento o reducción en la velocidad de propagación de la onda sonora transmitida. La velocidad de propagación resultante de la superposición conduce a diferentes tiempos de

propagación del sonido y por lo tanto a diferentes componentes de velocidad y dirección del viento sobre una trayectoria de medición fija. Al combinar ambas trayectorias de medición, que son perpendiculares entre sí, mediante una simple suma vectorial es posible determinar la velocidad y dirección del viento.

2.3.4. Veleta

Para medir la dirección del viento se emplea una veleta (ver figura 2.19.), la más común consiste en una aleta conectada a una flecha vertical.

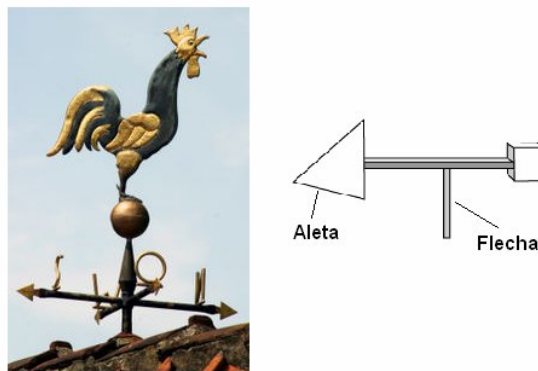


Figura 2.19. Veleta.

La veleta constantemente busca una posición de equilibrio de fuerzas al alinearse por sí misma con la dirección que lleva el viento. La mayoría de las veletas de viento usan un potenciómetro como transductor (ver figura 2.20.), el cual se encuentra conectado a la flecha de la veleta, este potenciómetro proporciona a la salida una señal eléctrica relativa a la posición de la veleta.

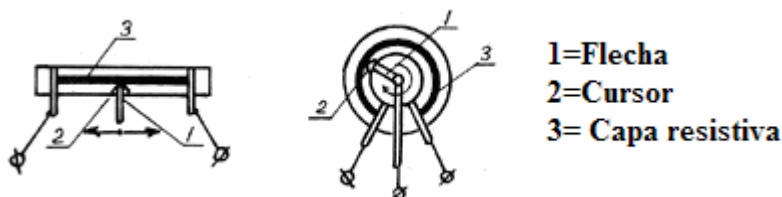


Figura 2.20. Componentes básicos de un potenciómetro.

La señal eléctrica es transmitida mediante cables a un adquisidor de datos, el cual relaciona la posición de la veleta con un punto de referencia conocido (usualmente el norte geográfico). Por lo tanto, la alineación (u orientación) de la veleta respecto a un punto de referencia es de suma importancia.

Eléctricamente el potenciómetro lineal no cubre los 360° en su totalidad. Esta área "abierta" se denomina la banda-muerta de la veleta. Cuando el cursor del potenciómetro se encuentra en esta banda la señal de salida es aleatoria. La banda-muerta es un parámetro de primordial importancia en la elección de la veleta, ésta no debe ser mayor a 8°, la resolución de la veleta también es importante y consiste en las partes en las que son divididos los 360°.

2.4. Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarrojo y ultravioleta), figura 2.21. Aproximadamente la mitad de las ondas que recibimos, comprendidas entre 0.4 μ m y 0.7 μ m, pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta.

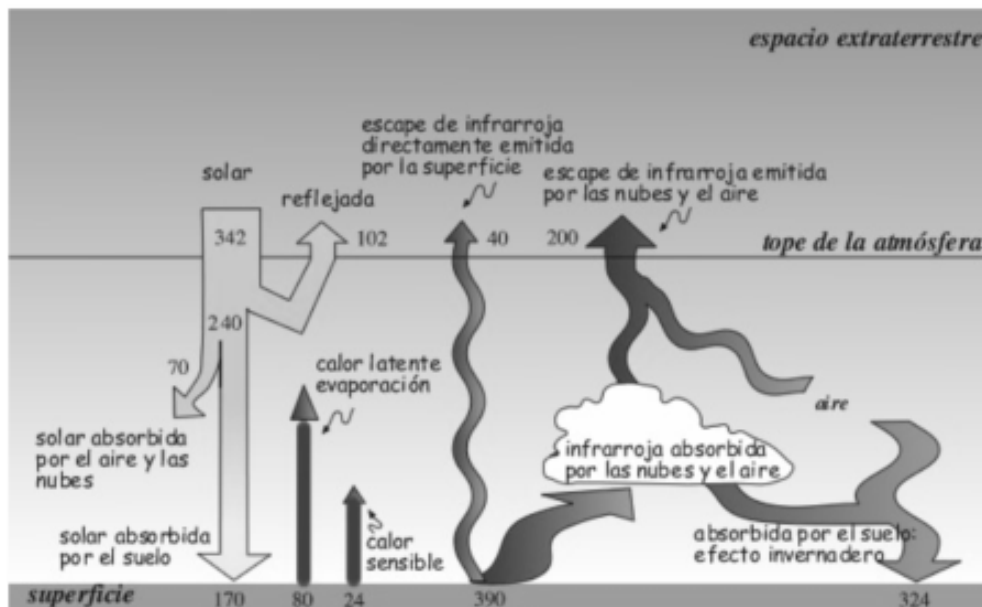


Figura 2.21. Descomposición de la Radiación solar en la Tierra.

La radiación solar se puede clasificar en directa, difusa y total:

Radiación directa. Es aquella que llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

Radiación difusa. Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.

Radiación total. La radiación total es la suma de la radiación directa y la difusa.

En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

2.4.1. Piranómetro

El instrumento que permite medir la radiación solar global se llama piranómetro y mediante él se puede evaluar toda la energía solar que llega a una superficie plana, incluyendo la radiación directa y la difusa. El piranómetro es un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (watts por metro cuadrado) en un campo de 180 grados.

El espectro de la radiación solar se extiende entre 300 y 2800 nm. Esto indica que un piranómetro debe cubrir ese espectro con una sensibilidad lo más *plana* posible.

Para medir la radiación solar se requiere que la respuesta al flujo de radiación varíe con el coseno del ángulo de incidencia; por ejemplo, que tenga una máxima respuesta cuando el flujo

incide perpendicularmente sobre el sensor (0 grados), respuesta nula cuando el Sol está en el horizonte (90 grados) o valores intermedios de respuesta, cuando el ángulo de incidencia está entre los anteriores.

Si se desea medir las componentes difusa y directa de la radiación solar es necesario emplear otros accesorios. Para la medición de la componente difusa es necesario utilizar un aro que evite la incidencia de la componente directa de la radiación sobre el piránómetro, como se muestra en la figura 2.22a. Para la medición de la componente directa se utiliza un instrumento llamado pirheliómetro, que no es más que un piránómetro en el cual se evita la incidencia de la componente difusa de la radiación mediante un conducto tubular, como se muestra en la figura 2.22b. Para realizar la medición de la componente directa es necesario orientar continuamente el pirheliómetro en dirección al sol, para esto se utiliza un seguidor de fuente luminosa.

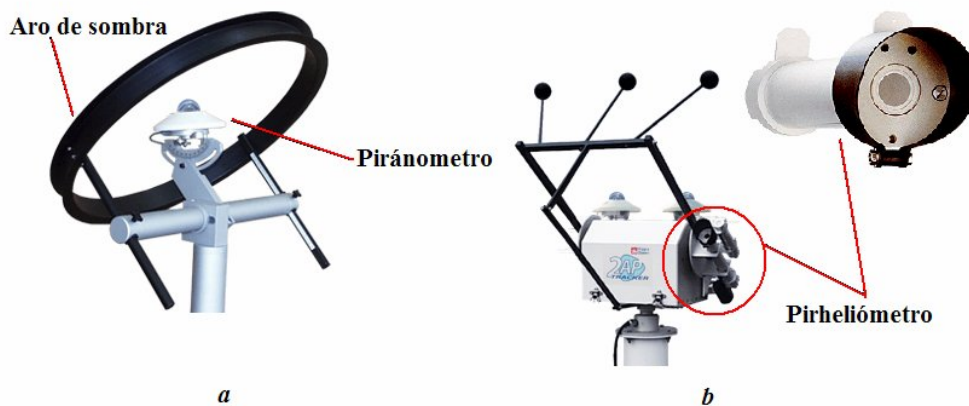


Figura 2.22. Instrumentos para la medición de las componentes difusa y directa de la radiación.

2.5. Intensidad luminosa

La fotometría se refiere a las mediciones de radiación visible (luz) con sensores que tienen una curva de respuesta espectral igual a la del ojo humano promedio, es decir, la fotometría es usada para describir condiciones de luminosidad donde el ojo humano es el sensor principal. La curva de respuesta espectral del ojo humano, bajo niveles típicos de iluminación, es llamada **CIE** (*International Commission on Illumination*) *Standard Observer Curve* (curva fotópica), y cubre

la banda de 380-770 nm (ver figura 2.23). El ojo humano responde de manera diferente a los diferentes colores, presentando máxima sensibilidad al amarillo y al verde, también lo hace ante diferentes niveles de iluminación, la visión escotópica es aquella percepción visual que se produce con niveles muy bajos de iluminación mientras que la visión fotópica tiene lugar cuando las condiciones de iluminación son buenas.

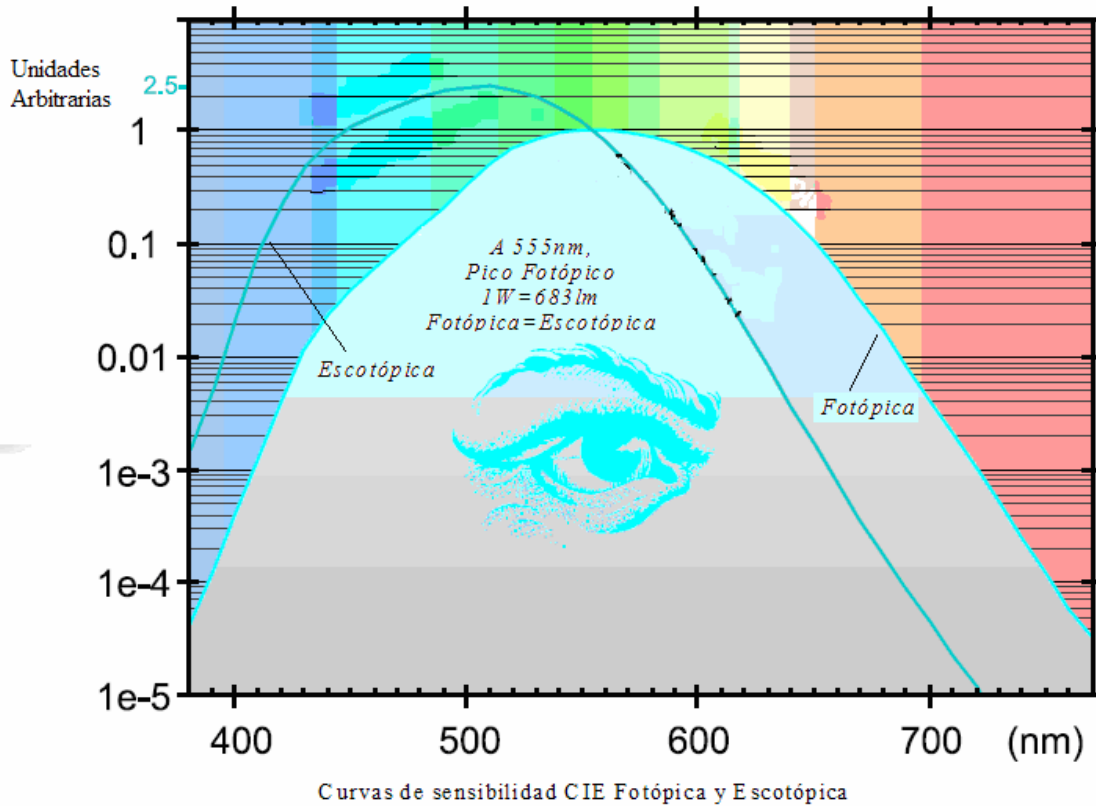


Figura 2.23. Curva de respuesta espectral del ojo humano.

De lo dicho con anterioridad se desprende el hecho de que para realizar mediciones fotométricas precisas, de los diversos colores de luz o de diferentes tipos de fuentes de luz, la curva de respuesta espectral del sensor seleccionado debe ser lo más parecida a la curva CIE.

2.5.1. Sensores de intensidad luminosa

La sensibilidad en la banda de medición de interés es de primordial importancia al momento de elegir un detector, ya que es posible modificar el pico de la respuesta así como su ancho de banda mediante el uso de filtros, pero para que estas modificaciones tengan sentido es

necesario partir de una señal adecuada. Todo esto debido a que los filtros son capaces de suprimir señales, no de generarlas. En la figura 2.24 se muestra el comportamiento de diversos elementos que se pueden usar como sensores para diferentes longitudes de onda, la figura muestra la respuesta absoluta de cada sensor, es decir, sin filtrar.

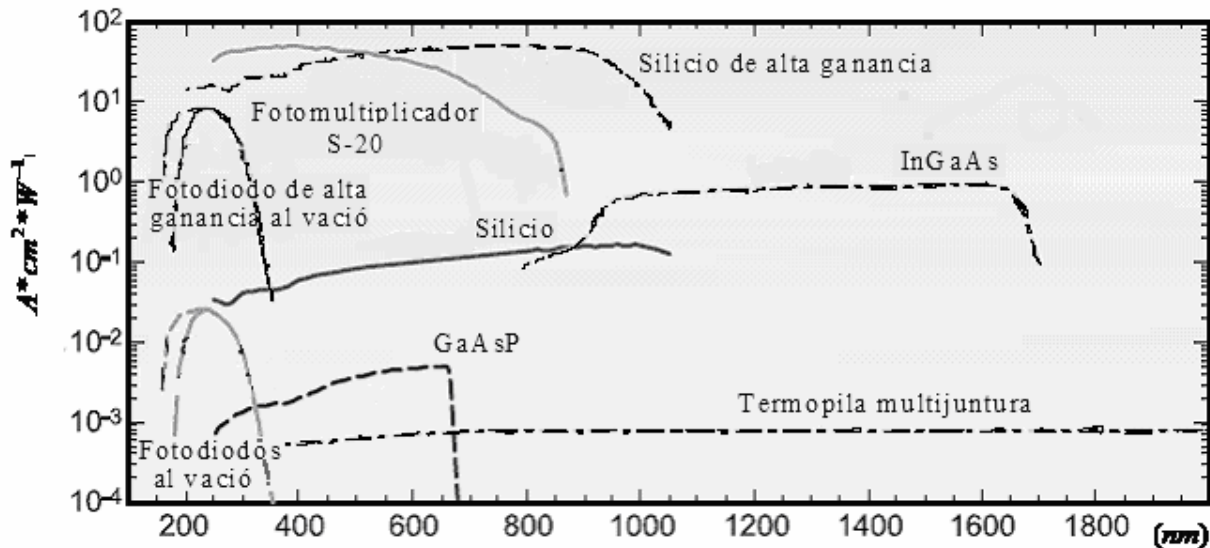


Figura 2.24. Respuesta de diversos sensores utilizados en iluminación.

Otra de las consideraciones importantes en la selección del sensor de intensidad luminosa, es la ceguera que muestre el elemento sensor fuera de la banda de interés, es decir, la capacidad que tenga de ignorar longitudes de onda no deseadas. Asimismo, se deben considerar la linealidad, la estabilidad y la durabilidad del sensor.

Los fotodiodos son de los sensores de intensidad luminosa más versátiles y confiables disponibles en el mercado. La capa de material P ubicada en la superficie sensible a la luz y el material N en el sustrato, forman una unión P-N que opera como un convertidor fotoeléctrico (celdas fotovoltaicas), generando una corriente que es proporcional a la luz incidente. El material empleado en la fabricación de un fotodiodo es un factor crítico para definir sus propiedades. Los fotodiodos suelen estar compuestos de silicio, sensible a la luz visible (longitud de onda de hasta $1\mu\text{m}$); germanio, para luz infrarroja (longitud de onda hasta aprox. $1,8\mu\text{m}$), o de cualquier otro material semiconductor. Ver tabla 2.1.

Material	Longitud de onda (nm)
Silicio	190–1100
Germanio	800–1700
Indio galio arsénico	800–2600
Sulfuro de plomo	<1000-3500

Tabla 2.1. Espectro de respuesta para diferentes materiales.

2.6. Potencia eléctrica

Cuando se trata de corriente continua (DC) la potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo de dos terminales es el producto de la diferencia de potencial entre dichos terminales y la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo.

$$P = VI \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde I es el valor instantáneo de la corriente y V es el valor instantáneo del voltaje. Si I se expresa en amperios y V en voltios, P estará expresada en watts.

Cuando se trata de corriente alterna (AC) sinusoidal, el promedio de potencia eléctrica desarrollada por un dispositivo de dos terminales es una función de los valores eficaces o valores cuadráticos medios de la corriente y el voltaje.

En el caso de una carga inductiva (caso más común) a la que se aplica una tensión $v(t)$ de frecuencia ω y valor pico V_0 :

$$v(t) = V_0 \cos(\omega t) \quad \text{Ec. 2.13}$$

Esto provocará una corriente $i(t)$ retrasada un ángulo ϕ respecto de la tensión aplicada:

$$i(t) = I_0 \cos(\omega t - \phi) \quad \text{Ec. 2.14}$$

La potencia instantánea vendrá dada como el producto de las expresiones anteriores:

$$p(t) = VoIo \cos(\omega t) \cos(\omega t - \phi) \quad \text{Ec. 2.15}$$

Mediante trigonometría, la expresión anterior puede transformarse en la siguiente:

$$p(t) = VoIo \frac{\cos(\phi) - \cos(2\omega t - \phi)}{2} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Y sustituyendo los valores pico por los eficaces obtenemos:

$$p(t) = VI \cos(\phi) - VI \cos(2\omega t - \phi) \quad \text{Ec. 2.17}$$

Se obtiene así para la potencia instantánea un valor constante, $VI \cos(\phi)$, y otro variable con el tiempo, $VI \cos(2\omega t - \phi)$. Al primer valor se le denomina potencia activa y al segundo potencia fluctuante.

Al ser la potencia fluctuante de forma sinusoidal, su valor medio será cero. Para entender mejor qué es la potencia fluctuante, imaginemos una carga que sólo tuviera potencia de este tipo. Ello sólo es posible si $\phi = \pm 90^\circ$ [$\cos(\pm 90^\circ) = 0$], quedando:

$$p(t) = VI \cos(2\omega t - \phi) \quad \text{Ec. 2.17}$$

El caso anterior corresponde a un circuito inductivo puro o capacitivo puro. Por lo tanto la potencia fluctuante es la debida a las bobinas y a los condensadores. Efectivamente, las bobinas o los condensadores (ideales) no consumen energía sino que la almacenan. La bobina almacena la energía en forma de campo magnético cuando la corriente aumenta y la devuelve cuando

disminuye, y el condensador almacena la energía en forma de campo eléctrico cuando se carga y la devuelve cuando se descarga.

Consideremos un circuito de CA en el que la corriente y la tensión tienen una diferencia de fase ϕ . Se define como la componente activa de la intensidad de corriente, I_a , a la componente de ésta que está en fase con la tensión, y componente reactiva, I_r , a la que está en cuadratura con ella. En la figura 2.25a se muestran las componentes de la corriente para un circuito en el que predomina el efecto inductivo, mientras que en la figura 2.25b predomina el efecto capacitivo dentro de la carga.

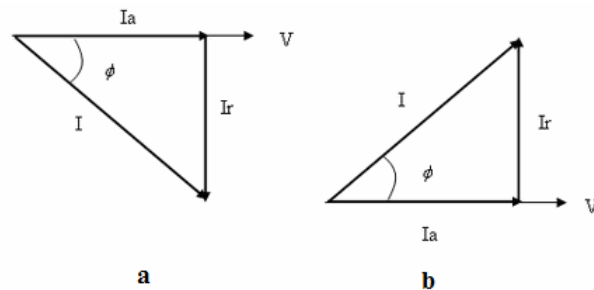


Figura 2.25 Componentes activa y reactiva de la intensidad de corriente.

El producto de la intensidad, I , y las de sus componentes activa, I_a , y reactiva, I_r , por la tensión, V , da como resultado las potencias aparente (S), activa (P) y reactiva (Q), respectivamente:

$$S = VI \quad \text{Ec. 2.18}$$

$$P = VI \cos \phi \quad \text{Ec. 2.19}$$

$$Q = VI \sin \phi \quad \text{Ec. 2.20}$$

La potencia aparente (también llamada compleja) de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma (vectorial) de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de

sus componentes, que fluctuará entre estos componentes y la fuente de energía. La relación entre estos tres tipos de potencia se muestra en la figura 2.26.

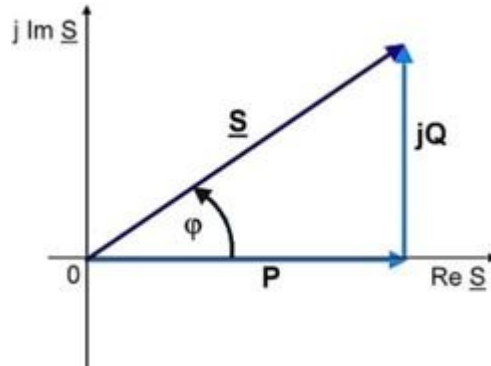


Figura 2.26. Relación entre potencias activas, aparentes y reactivas.

La potencia aparente no es la realmente consumida, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\cos \varphi=1$), y señala que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a "almacenar" bobinas y condensadores. Se la designa con la letra S y se mide en voltiamperes (VA).

La potencia activa es la que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etcétera. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda. Se designa con la letra P y se mide en vatios (W).

La potencia reactiva no tiene tampoco el carácter realmente de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil. Se mide en voltamperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q .

2.6.1. Transductores de consumo de potencia eléctrica

Los transductores de consumo de potencia están basados en elementos sensores de tensión y corriente, estos dispositivos además proveen el producto de ambas variables para obtener la magnitud de la potencia; la multiplicación de las variables de tensión y corriente se puede realizar mediante circuitos analógicos o digitales. Un multiplicador puede construirse de forma analógica al colocar un cristal semiconductor en el entrehierro de un electromagneto, de tal manera que una corriente alterna que circule a través del devanado que conforma el electromagneto genere el flujo, un voltaje de corriente alterna produce la corriente de control (ver figura 2.27). En este caso, el voltaje producido por el sensor de efecto Hall es proporcional a la potencia real medida en watts (voltaje x corriente x factor de potencia). En conjunto a esto, una componente de voltaje de corriente alterna, del doble de frecuencia, es creada a la salida, y es proporcional a los volts-ampers en el circuito.

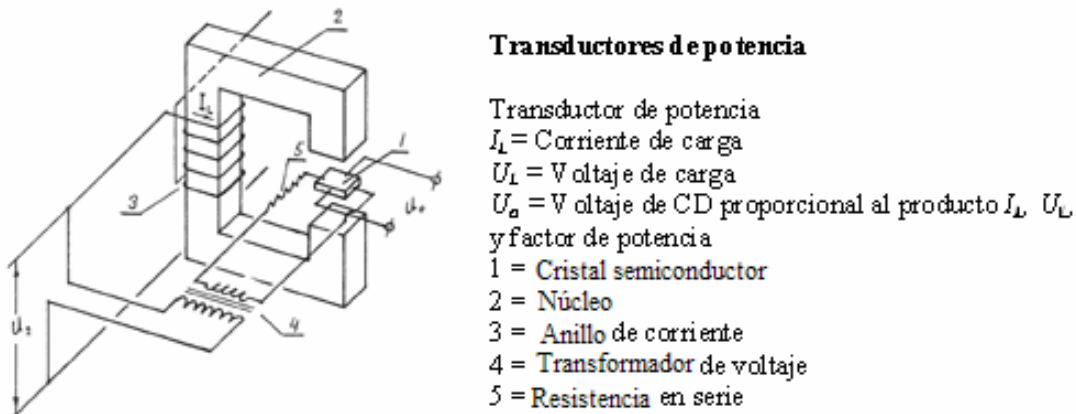


Figura 2.27. Componentes básicos en un transductor de potencia eléctrica.

Para la medición de tensión lo más común es usar transformadores de tensión o divisores de tensión mediante resistores, mientras que para sensar la corriente se pueden utilizar sensores de efecto Hall, transformadores de corriente y resistores de valor ohmico reducido en serie con la línea que alimenta al circuito.

2.7. Medición de Flujo

La necesidad de incrementar los niveles de automatización, y conseguir un mejor control en los procesos dentro del sector industrial, ha llevado a la necesidad de conocer con lujo de detalle con que rapidez se mueve cierto fluido dentro de una tubería.

El cálculo del caudal de agua en una tubería está definido por la expresión 2.21, en donde V es la velocidad del fluido y S es el área de sección transversal de la tubería.

$$Q = VS \quad \text{Ec. 2.21.}$$

Para que el fluido discurra entre dos puntos a lo largo de una línea de flujo, debe existir una diferencia de energía entre esos dos puntos. Esta diferencia corresponderá a las pérdidas por rozamiento, que son función de la rugosidad del conducto, de la viscosidad del fluido, del régimen de funcionamiento (régimen laminar o régimen turbulento) y del caudal circulante, es decir de la velocidad (a más velocidad, más pérdidas).

El cálculo de caudales se fundamenta en el Principio de Bernoulli, que para un fluido sin rozamiento, queda definido por la expresión 2.22, en donde h es la diferencia de altura entre los extremos de la tubería, V la velocidad del fluido, g es la aceleración de la gravedad, ρ es el peso específico del fluido y P es la presión:

$$h + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho} = \text{Constante} \quad \text{Ec. 2.22.}$$

Se aprecia que los tres sumandos son, dimensionalmente, una longitud, por lo que el principio normalmente se expresa enunciando que, a lo largo de una línea de corriente, la suma de la altura geométrica, la altura de velocidad y la altura de presión se mantiene constante.

Considerando el rozamiento, la ecuación entre dos puntos 1 y 2 se puede expresar como:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho} + \text{perdidas}(1,2) \quad \text{Ec 2.23.}$$

En donde pérdidas (1,2) es la pérdida de energía (o de altura) que sufre el fluido por rozamiento al circular entre el punto 1 y el punto 2. Esta ecuación es aplicable por igual al flujo por tuberías como por canales y ríos. Si L es la distancia entre los puntos 1 y 2 (medidos a lo largo de la conducción), entonces el cociente (pérdidas (1,2)) / L representa la pérdida de altura por unidad de longitud de la conducción. A este valor se le llama pendiente de la línea de energía y se lo denomina J .

2.7.1. Medidores de flujo mecánicos

Los medidores de flujo de tipo mecánico están constituidos por paletas o hélices, cuyo giro se produce como consecuencia del fluido circulante en la tubería. Este tipo de medidores son de inserción y se montan de manera perpendicular al sistema de tuberías. Ver Figura 2.28.

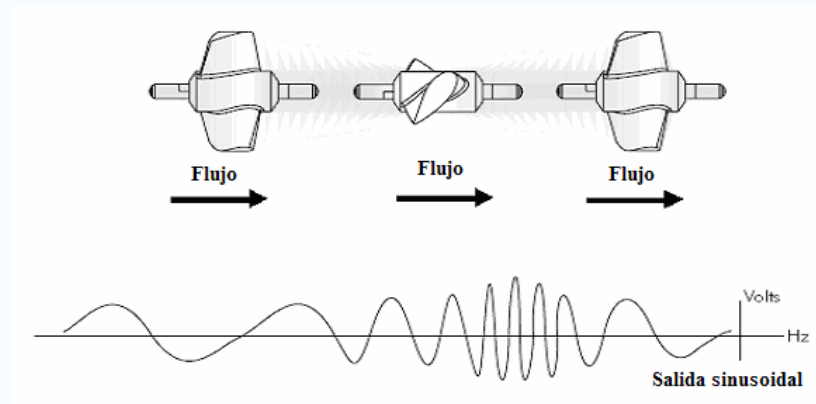


Figura 2.28. Medidores de flujo de tipo mecánico.

El arreglo de hélices que se encuentra dentro de la tubería se encuentra acoplado a la flecha del rotor de algún generador. Aquí podemos tener las mismas variantes que en el caso del

anemómetro de tazas giratorias. De cualquier manera, la frecuencia resultante o el voltaje producido en el generador serán directamente proporcionales a la velocidad del fluido.

2.7.2. Medidores de efecto vórtice

En los medidores de flujo de tipo vórtice (conocidos como *vortex*, palabra en inglés) una obstrucción chata colocada en la trayectoria del flujo provoca que se produzcan vórtices que tienen una frecuencia proporcional a la velocidad del flujo. La figura 2.29 muestra un bosquejo del fenómeno de derramamiento de vórtice. La forma del cuerpo chato, también llamada elemento de derramamiento de vórtice, puede variar de fabricante a fabricante.

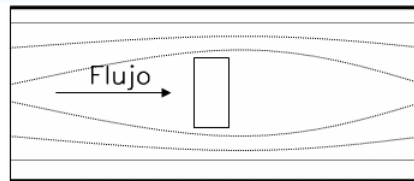


Figura 2.29. Obstrucción chata que da origen a los vórtices dentro de la tubería.

Conforme el flujo se aproxima a la cara frontal del elemento de derramamiento, éste se divide en dos corrientes. El fluido cerca del cuerpo tiene una velocidad baja en relación con la correspondiente en las líneas de corrientes principales. La diferencia en velocidad provoca que se generen capas de corte, las cuales eventualmente se rompen en vórtices en forma alternada sobre los dos lados del elemento de derramamiento. La frecuencia de los vórtices creados es directamente proporcional a la velocidad del flujo y, por lo tanto, a la frecuencia del flujo del volumen.

Unos sensores colocados dentro del medidor detectan las variaciones de presión alrededor de los vórtices y generan una señal de voltaje que varía a la misma frecuencia que la de derramamiento del vórtice (ver figura 2.30). La señal de salida puede ser desde una cadena de pulsos de voltaje hasta una señal analógica de corriente directa. Los sistemas de instrumentación estándar con frecuencia utilizan una señal analógica que varía desde 4 hasta 20mA.

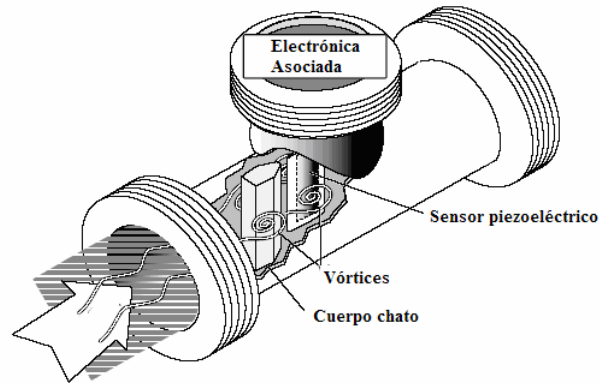


Figura 2.30. Medidor de efecto Vortex.

Los medidores de vórtice pueden utilizarse en una amplia variedad de fluidos incluyendo líquidos sucios y limpios, así como gases y vapor.

2.7.3. Medidores electromagnéticos

La teoría que rige la operación de los medidores electromagnéticos de flujo está basada en la ley de Faraday, que establece que el voltaje inducido en cualquier conductor, conforme dicho conductor se mueve a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad con la que dicho conductor se mueve a través del campo (ver figura 2.31). En el caso de los medidores de flujo el conductor es el fluido que viaja a través de la tubería, el cual naturalmente debe contar con propiedades conductivas.

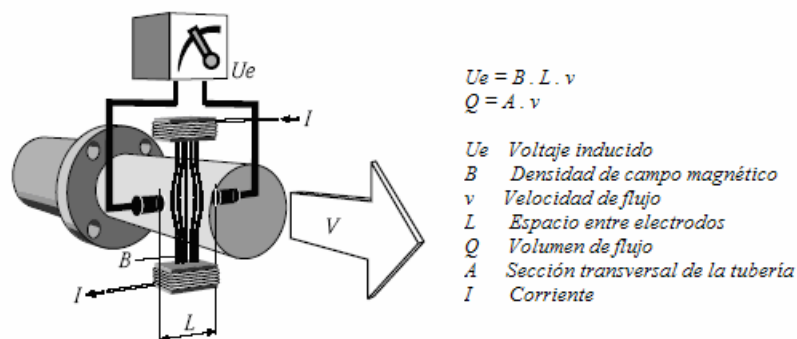


Figura 2.31. Elementos principales de un medidor de flujo electromagnético.

Los componentes principales de un medidor de este tipo incluyen un tubo con un material no conductor, dos bobinas electromagnéticas y dos electrodos, alejados uno del otro, montados a 180° en la pared del tubo. Los electrodos detectan el voltaje generado en el fluido. Puesto que el voltaje generado es directamente proporcional a la velocidad del fluido, una mayor velocidad de flujo genera un voltaje mayor. Su salida es completamente independiente de la temperatura, viscosidad, gravedad específica o turbulencia que presente el fluido. Los tamaños existentes en el mercado de este tipo de medidores van desde 5 mm hasta varios metros de diámetro.

2.7.4. Medidor ultrasónico

El principio de operación de este tipo de medidores es exactamente el mismo que el del anemómetro ultrasónico descrito en el apartado 2.3.3, es decir, un transductor emisor genera señales acústicas de frecuencia conocida, que son reflejadas por las partículas en movimiento y que son captadas por un transductor receptor. Se analizan los cambios de frecuencia que se presentan entre la señal emitida y la recibida, el resultado promedio de estos cambios se relaciona directamente con la velocidad media de las partículas que se están moviendo dentro del fluido, proporcionando de esta manera la velocidad media del flujo.

Existen dos tipos de medidores ultrasónicos que son empleados para medir el flujo en tuberías. El primero de ellos es el denominado de tiempo en tránsito, este emplea señales acústicas en forma de pulsos. En cambio el de efecto Doppler emplea la transmisión de una onda continua. Los medidores ultrasónicos de efecto Doppler fueron considerados más versátiles en un inicio, debido a su funcionalidad en flujos con una gran cantidad de aire y sólidos en suspensión. Sin embargo, y debido al desarrollo de computadoras que permiten la transmisión de micro-impulsos y una mayor precisión bajo circunstancias difíciles de flujo, los medidores de tiempo en tránsito han recibido una mayor aceptación en tiempos recientes, existiendo equipos con menor costo y mejor precisión que los de efecto Doppler.

2.8. Sistemas de adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos (SAD) se pueden integrar alrededor de computadoras personales (PC). Por lo general, en los *buses* de expansión de las PCs se insertan tarjetas de adquisición de datos (TAD); dichos *buses* cumplen con estándares de comunicación específicos. Los *buses* son los medios por los cuales se realiza el intercambio de información entre la PC y la TAD. Actualmente los tipos de *bus* más utilizados son el PCI, PXI/compact PCI, PCMCIA, USB IEEE 1394, ISA, puertos serie y el puerto paralelo; esta gran gama de medios de comunicación dota a los SAD actuales de gran versatilidad.

Para obtener resultados apropiados en un SAD basado en una PC, es necesario considerar el desempeño individual de los elementos que lo componen, tales como la propia PC, los transductores, los dispositivos encargados del acondicionamiento de señales, el hardware de adquisición de datos y el software encargado de controlar la aplicación.

2.8.1. Computadora Personal

La computadora que se elija para el sistema de adquisición de datos puede afectar de manera drástica la máxima velocidad a la cual se pueden adquirir datos de manera continua. Las PC's actuales tienen una gran capacidad de procesamiento de información, que aunado a las últimas arquitecturas en materia de *bus* de datos permiten la creación de poderosos sistemas de adquisición.

Otro factor limitante cuando se pretende adquirir grandes cantidades de datos es el disco duro. Es necesario invertir tiempo en la elección de un disco duro ya que los tiempos de acceso y la fragmentación del disco pueden reducir de manera significativa la razón a la cual los datos pueden ser adquiridos y almacenados en disco.

2.8.2. Transductores y Acondicionamiento de señales

Los transductores son los elementos encargados de sensar un cierto fenómeno físico o químico y generar una señal eléctrica, cuyo valor es proporcional a la variable medida, que posteriormente será leída por el sistema de adquisición de datos. La mayoría de las señales producidas por los transductores requieren de una manipulación previa antes de poder ser digitalizadas. Por ejemplo, una señal de un termopar es muy pequeña y necesita ser amplificada antes de pasar por el digitalizador. Otros sensores como los RTD, los termistores, las galgas extensiométricas y los acelerómetros requieren de alimentación externa de energía para operar.

Puesto que existe una amplia variedad de tecnologías en lo referente al acondicionamiento de señales, realizar la elección más adecuada para cierta aplicación se puede volver una tarea algo confusa y complicada. Las características principales de cada una de las tecnologías disponibles para el acondicionamiento de señales son: aislamiento, amplificación, atenuación, multiplexor de señales, filtrado, excitación, señales no lineales, compensación de unión fría y muestreo simultáneo.

Aislamiento

Las señales de voltaje fuera del margen de operación del sistema de medición pueden ser dañinas para éste y peligrosas para el operador. Por esta razón, en función de la aplicación, es recomendable realizar el aislamiento de señales, para proteger al sistema y al usuario de voltajes de alta tensión o picos. También se puede necesitar aislamiento si el sensor está en un plano de tierra diferente al del sensor de medición.

Amplificación

Cuando los niveles de voltaje que se van a medir son muy pequeños puede perderse información si se digitaliza la señal directamente, esto debido a la resolución del digitalizador. Para evitar esto se recurre a la amplificación de la señal, la cual nos permite maximizar la efectividad del digitalizador, ya que al amplificar la señal de entrada se usa más efectivamente el

rango del convertidor analógico-digital (ADC) y lo que mejora la precisión y la resolución de la medición. Algunas señales de sensores que típicamente requieren de amplificación son los termopares y las galgas extensiométricas.

Atenuación

La atenuación es lo opuesto a la amplificación. La atenuación es necesaria cuando el voltaje que se va a digitalizar es mayor al margen de operación en la entrada del digitalizador. Esta forma de acondicionamiento de señal disminuye la amplitud de la señal de entrada, para que la señal acondicionada esté dentro del margen del ADC. La atenuación es necesaria para medir voltajes altos.

Multiplexor de señales

Típicamente, el digitalizador es la parte más costosa del sistema de adquisición de datos. Al realizar el proceso de multiplexión de las señales, éstas se pueden conectar a un solo digitalizador, logrando así un sistema de bajo costo y extendiendo el número de canales de entrada del sistema de adquisición de datos. El multiplexaje es necesario para cualquier aplicación con un elevado número de entradas analógicas.

Filtrado

Los filtros son necesarios para remover cualquier componente de frecuencia no deseada en una señal, principalmente para prevenir el fenómeno de “aliasing” y reducir la señal de ruido. Algunas mediciones de termopares generalmente requieren de filtros pasa bajas para remover el ruido de las líneas de alta tensión. Las mediciones de vibración normalmente requieren de filtros “antialiasing” para remover componentes de señales más allá del rango de frecuencias del sistema de adquisición de datos.

Excitación

Muchos sensores, como las RTDs, las galgas y los acelerómetros, requieren de energía externa para operar. La energía proporcionada al sensor nos permite medir el comportamiento de la variable física/química deseada. Esta excitación puede ser voltaje o corriente, dependiendo del tipo de sensor.

Señales no lineales

Algunos tipos de sensores producen señales de voltaje que no son lineales en relación con la cantidad física que están midiendo. El proceso de obtener una señal con comportamiento lineal puede realizarse a través de acondicionamiento de señal mediante hardware o software. Los termopares son un ejemplo típico de un sensor que frecuentemente requiere de este tipo de acondicionamiento.

Compensación de Unión Fría

Otro acondicionamiento de señal, requerido en las mediciones de temperatura con termopares, es la compensación de unión fría. Siempre que se conecta un termopar a un sistema de adquisición de datos, la temperatura en la conexión termopar-instrumento de medición debe ser conocida, para poder calcular la temperatura verdadera que el termopar está midiendo. Un sensor de temperatura debe estar presente en el lugar de las conexiones.

Muestreo Simultáneo

Cuando se requiere medir dos o más señales en un mismo instante, el muestreo simultáneo es indispensable. Algunas de las aplicaciones que podrían requerir de muestreo simultáneo incluyen las mediciones de vibración y mediciones de diferencias de fase.

2.8.3. Señales Analógicas

Las señales eléctricas pueden describir una amplia variedad de fenómenos físicos/químicos. Aunque las señales pueden representarse en muchas formas, en todos los casos la información en una señal está contenida en un patrón de variaciones que presentan alguna forma determinada. La mayoría de las cosas que se pueden medir cuantitativamente aparecen en la naturaleza en forma analógica. Por ejemplo, la temperatura varía dentro de un margen continuo de valores. A lo largo de un día, la temperatura no varía entre, por ejemplo, 20°C y 25°C de forma instantánea, sino que alcanza todos los infinitos valores que hay en ese intervalo. De lo mencionado anteriormente podemos definir a las señales analógicas como aquellas que siempre adoptan un valor continuo.

En este trabajo se hace uso exclusivamente de la adquisición de señales analógicas. Como ya se mencionó en apartados anteriores, estas señales requieren de ser adquiridas y procesadas. Los aspectos que se deben considerar al momento de definir las características de los elementos de “hardware” encargados de procesar las señales son: el número y tipo de canales de entrada, la razón de muestreo, la resolución, el margen de operación y la impedancia de entrada/salida.

Número y tipo de canales de entrada

Los canales de entrada analógica pueden clasificarse como de entrada sencilla y entrada diferencial, el tipo de canal define el número de canales de entrada en sistemas de adquisición de datos. En los sistemas que cuentan con canales de entrada sencillos, o de una sola terminal, todas las señales tienen como referencia una tierra común. Este tipo de entradas es bastante común cuando la señal de entrada posee un nivel de tensión relativamente alto (más de 1V), el cable que transporta la señal de la fuente al canal de entrada analógica es corto (menor a 10 m). Si las señales no cumplen con los puntos anteriores es preferible utilizar entradas diferenciales, aquí cada señal tiene su propia referencia a tierra, en este tipo de canales los problemas de ruido se reducen considerablemente; debido a la alta CMRR (Razón de Rechazo en Modo Común) que posee este tipo de hardware.

Razón de Muestreo

Este parámetro determina que tan seguido se realiza la adquisición de las señales y su conversión correspondiente. Una razón de muestreo más rápida adquiere más datos en un tiempo dado y por lo tanto puede conseguir una mejor representación de la señal original.

Resolución

Este término se refiere a la cantidad de bits que utiliza un convertidor analógico-digital para representar a la señal analógica. Mientras más alta sea la resolución, más grande será el número de divisiones que se pueden conseguir en determinado margen de voltaje y por lo tanto más pequeños los cambios de voltaje que es posible detectar.

Margen

Este parámetro se refiere a los niveles de tensión máxima y mínima que puede cuantizar un convertidor analógico-digital.

Impedancias de entrada/salida

La impedancia es la resistencia efectiva vista en la entrada/salida de un amplificador electrónico o de un circuito en particular.

2.8.4. Dispositivos Controladores de hardware

En los sistemas de adquisición de datos basados en una PC, un software con buen desempeño es imprescindible, ya que es éste el que complementa al conjunto PC y hardware de adquisición de datos, es decir, nos proporciona un sistema capaz de analizar y desplegar información y no sólo adquisición y almacenamiento de datos.

La mayoría de las aplicaciones utilizan como elementos de programación básico a los controladores. Los controladores son la capa del software encargada de programar directamente los registros de los elementos de hardware utilizados en los sistemas de adquisición de datos, manejan su operación y su integración con los recursos de la computadora (tales como interrupciones del procesador, acceso directo a memoria, manipulación de puertos etcétera). Los controladores evitan al usuario lidiar con el lenguaje de bajo nivel relacionado con la programación del hardware, este lenguaje de bajo nivel suele ser complejo y alarga el tiempo de desarrollo de las aplicaciones.

La selección apropiada del controlador de hardware entrega una combinación óptima de flexibilidad y desempeño, reduciendo así significativamente el tiempo requerido para desarrollar lo que en verdad nos interesa, que es el desarrollo de la aplicación encargada de adquirir datos.

En la selección del hardware y sus controladores hay varios factores que deben considerarse, algunos de estos éstos se listan a continuación:

- Controladores compatibles con el sistema operativo (p.e. Windows, Linux, etcétera).
- Lenguajes de programación compatibles con el controlador (p.e. Visual Basic, C, etcétera).
- Que todas las funciones disponibles en el hardware sean accesibles mediante el software.
- Asegurarse de que el controlador cuente con funciones básicas, tales como, integración de múltiples dispositivos de adquisición, entradas y salidas programables, permita flujo de datos desde y hacia el disco duro, permita realizar interrupciones y compatibilidad con diversos equipos de acondicionamiento de señales.

2.8.4. Software para el desarrollo de la aplicación

Mucho hemos oído hablar sobre la "instrumentación virtual" y sus beneficios. El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de la computadora personal (PC) como "instrumento" de medición de señales tales como temperatura, presión, caudal, etc. Es decir, la PC comienza a ser utilizada para realizar mediciones de fenómenos físicos representados en

señales de corriente y/o voltaje . Sin embargo, el concepto de "instrumentación virtual" va más allá de la simple medición de corriente o voltaje, sino que también involucra el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales específicas.

En resumen, el instrumento virtual no se conforma con la adquisición de la señal, sino que también involucra la interfaz hombre-máquina, las funciones de análisis y procesamiento de señales, las rutinas de almacenamiento de datos y la comunicación con otros equipos. Veamos un ejemplo, el osciloscopio tradicional tiene una funcionalidad ya predefinida desde la fábrica donde lo diseñan, producen y ensamblan. Es decir, la funcionalidad de este tipo de instrumento es definida por el fabricante del equipo, y no por el usuario mismo. El término "virtual" nace precisamente a partir del hecho de que cuando se utiliza la PC como "instrumento" es el usuario mismo quién, a través del software, define su funcionalidad y "apariencia" y por ello decimos que "virtualizamos" el instrumento, ya que su funcionalidad puede ser definida una y otra vez por el usuario y no por el fabricante.

El instrumento virtual es definido entonces como un conjunto de software y hardware al que se le agrega una PC, de tal forma que en su conjunto permitan a los usuarios interactuar con la computadora como si estuviesen utilizando su propio instrumento electrónico "hecho a la medida".

Para construir un instrumento virtual mínimo se requiere de una PC, una tarjeta de adquisición de datos con acondicionamiento de señales y el software apropiado; pudiendo o no requerir dicho instrumento de un módulo de acondicionamiento de señales. Se propone al acondicionamiento de señales como opcional porque, dependiendo de cada señal y/o aplicación, se puede o no requerir amplificación, atenuación, filtrado, aislamiento, etcétera, de las señales.

En el instrumento virtual, el software es la clave del sistema, a diferencia del instrumento tradicional, donde la clave es el hardware. Con el sistema indicado anteriormente, podríamos construir un osciloscopio "personalizado", con la interfaz gráfica que uno desee, agregándole inclusive más funcionalidad. Sin embargo, este mismo sistema puede también ser utilizado en la

medición de temperatura, o en el control de arranque/parada de una bomba centrífuga. Es allí donde radica uno de los principales beneficios del instrumento virtual, su flexibilidad. Este instrumento virtual no sólo me permite visualizar la onda, sino que a la vez me permite graficar su espectro de potencia en forma simultánea. ¿Podría hacer algo así con un instrumento convencional?

En la tabla 2.2 se presentan algunas de las principales diferencias entre el instrumento convencional o tradicional y el instrumento virtual.

Instrumento Tradicional	Instrumento Virtual
Definido por el fabricante	Definido por el usuario
Funcionalidad específica, con conectividad limitada	Funcionalidad ilimitada, orientado a aplicaciones y conectividad amplia
El hardware es la clave	El software es la clave
Alto costo/función	Bajo costo/función, variedad de funciones, reusable
Arquitectura "cerrada"	Arquitectura "abierta"
Lenta incorporación de nuevas tecnología	Rápida incorporación de nuevas tecnologías, gracias a la plataforma PC
Bajas economías de escala, alto costo de mantenimiento	Altas economías de escala, bajos costos de mantenimiento

Tabla 2.2. Instrumentación tradicional vs Instrumentación virtual.

La flexibilidad, el bajo costo de mantenimiento, la posibilidad de reutilizar el hardware, la personalización de cada instrumento, la rápida incorporación de nuevas tecnologías, el bajo costo por función, el bajo costo por canal, etcétera, son algunos de los beneficios que ofrece la instrumentación virtual.

La instrumentación virtual puede también ser implementada en equipos móviles (laptops), equipos distribuidos en campo (RS-485), equipos a distancia (conectados vía radio, Internet, etcétera), o equipos industriales (NEMA 4X, etcétera.). Existe una tarjeta de adquisición de datos para casi cualquier bus o canal de comunicación que utiliza la PC (ISA, PCI, USB, serial RS-232/485, paralelo EPP, PCMCIA, CompactPCI, PCI, etcétera), y existe un driver para casi cualquier sistema operativo (WIN 3.1/95/NT, DOS, Unix, MAC OS, etcétera).

Por último, para la creación del instrumento virtual el desarrollador de la aplicación se puede valer de cualquiera de los numerosos lenguajes de alto nivel existentes, tales como, Visual Basic, C, C++, Java, Labview, etcétera. El único detalle que hay que considerar es que el software elegido sea compatible con los controladores del hardware seleccionado para llevar a cabo la adquisición de datos.

CAPÍTULO 3

INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

El sistema encargado de monitorear el comportamiento del edificio 18 está dividido en dos partes principales, éstas son el hardware (sensores, transductores y equipo para la adquisición de datos) y el software (instrumento virtual). En este capítulo se presentan tanto el hardware como el software que conforman el sistema de monitoreo del edificio 18 del Instituto de Ingeniería, así como una serie de requerimientos a los cuales hay que apegarse, estos van desde el almacenamiento y la visualización de la información hasta la generación de reportes para el software, mientras que en el hardware se considera el tamaño, la ubicación dentro del edificio y la precisión de los sensores, además de la modularidad del sistema de adquisición de datos, dado el elevado número de sensores que se desea instalar.

3.1. Requerimientos del sistema de monitoreo

Las variables ambientales cuyo comportamiento interesa monitorear en el edificio del Instituto de Ingeniería son: temperatura, humedad, luminosidad, velocidad y dirección del viento, radiación solar, potencia eléctrica y flujo de agua.

En las figuras que van de la 3.1 a la 3.8, mostradas a continuación, se presenta la distribución sugerida para la ubicación de los sensores en las diferentes áreas del edificio.

La figura 3.1 muestra la ubicación de los sensores de temperatura, humedad, luminosidad y potencia eléctrica dentro de los seis cubículos del edificio, indicados con los números 1 a 6.

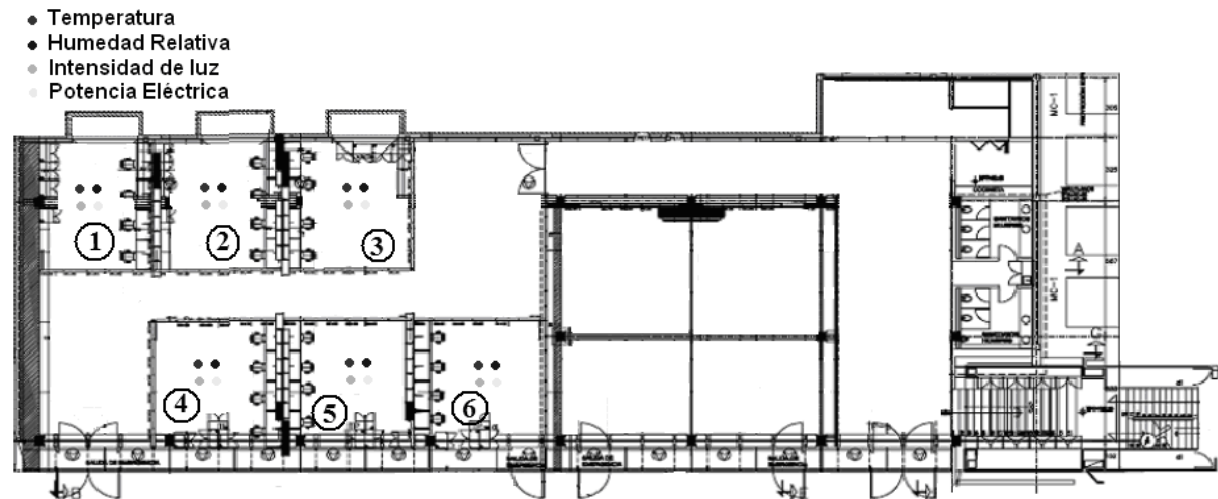


Figura 3.1. Sensores requeridos en los cubículos.

La figura 3.2 muestra la ubicación de los sensores de temperatura, humedad y luminosidad dentro de las cuatro aulas del edificio, indicadas con los números 1 a 4.

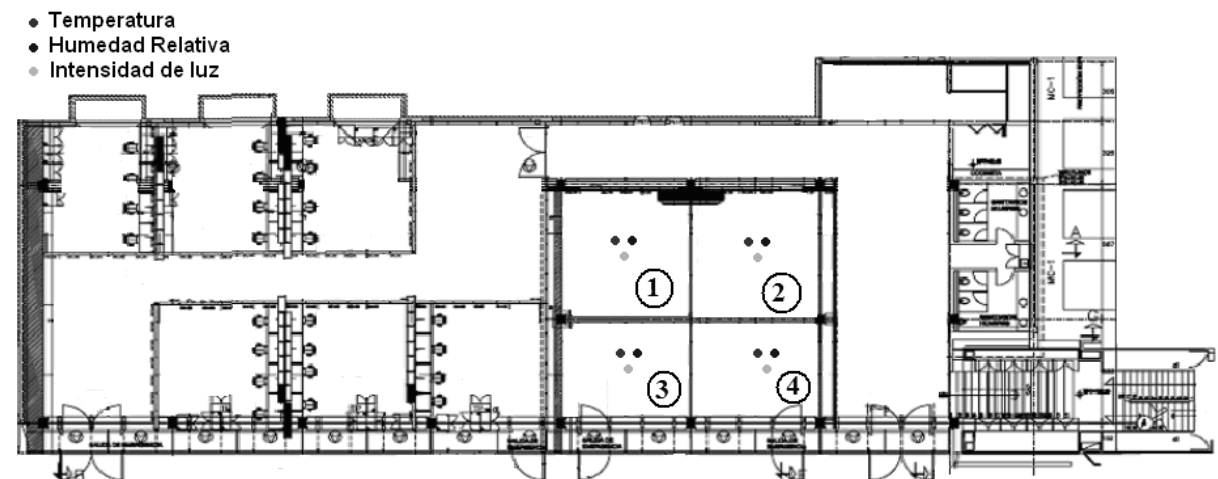


Figura 3.2. Sensores requeridos en las Aulas.

La figura 3.3 muestra la ubicación de los sensores de temperatura en ventanas y muros; la distribución mostrada está hecha con base en los requerimientos solicitados al inicio del proyecto.

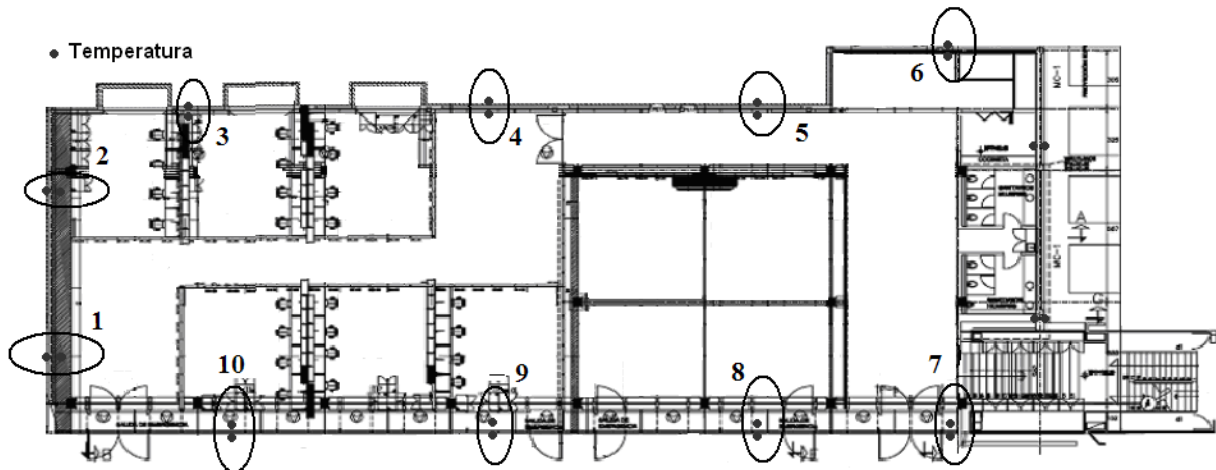


Figura 3.3. Sensores requeridos en los muros.

La figura 3.4 muestra la ubicación sugerida de los sensores de temperatura en el piso del cubículo uno, estos se encuentran encerrados mediante óvalos en dicha figura; la distribución de sensores propuesta para el cubículo uno se repite para el resto de los cubículos esto con la intención de medir la temperatura generada por los serpentines del sistema de calefacción del edificio. Cabe señalar que el número de sensores en el piso por cubículo puede ser mayor si así se requiere.

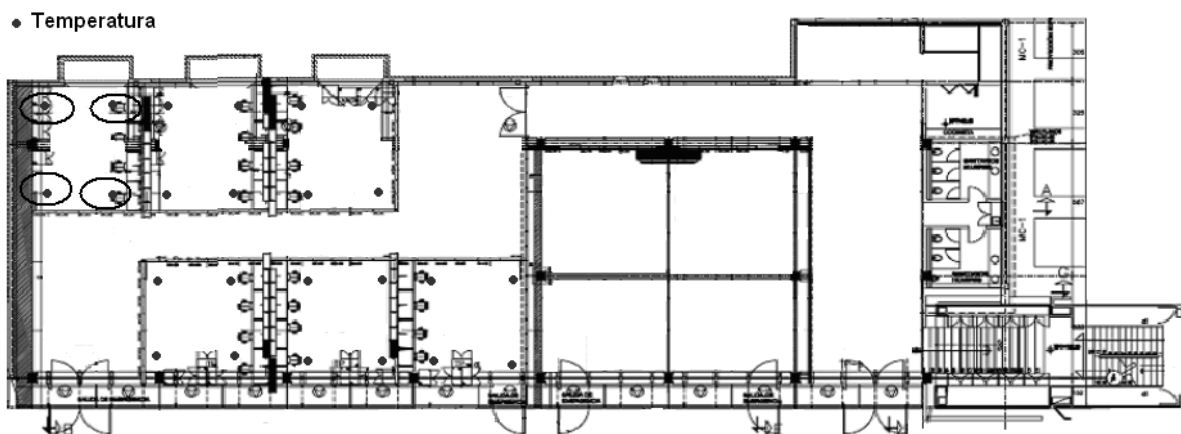


Figura 3.4. Sensores requeridos en los pisos.

La figura 3.5 muestra la ubicación de los sensores de temperatura y medidores de flujo de agua en las tuberías para los seis circuitos que forman parte del sistema de calefacción del edificio.

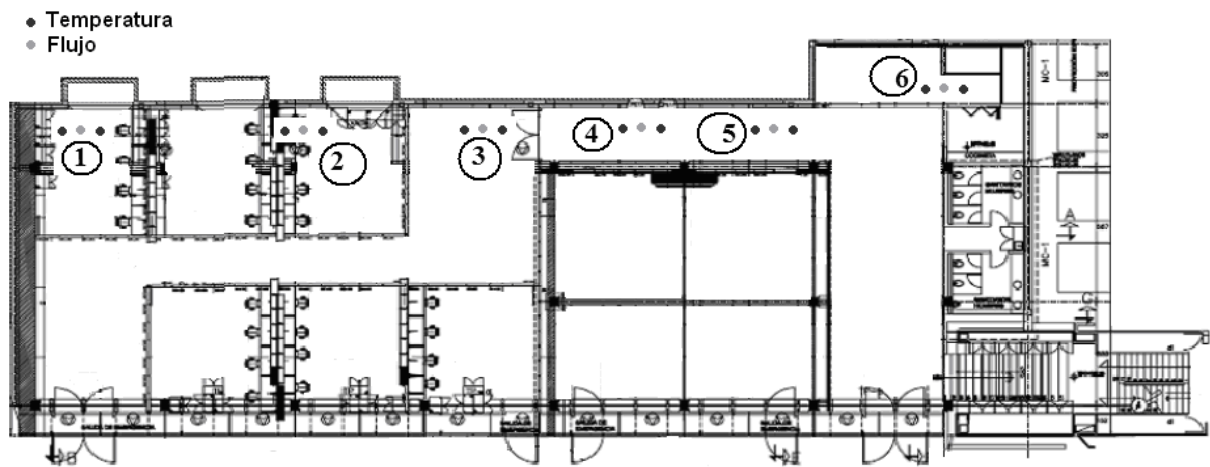


Figura 3.5. Sensores para el sistema de calefacción.

La figura 3.6 muestra la ubicación de los sensores de velocidad y dirección del viento, además de los piranómetros para mediciones de radiación solar.

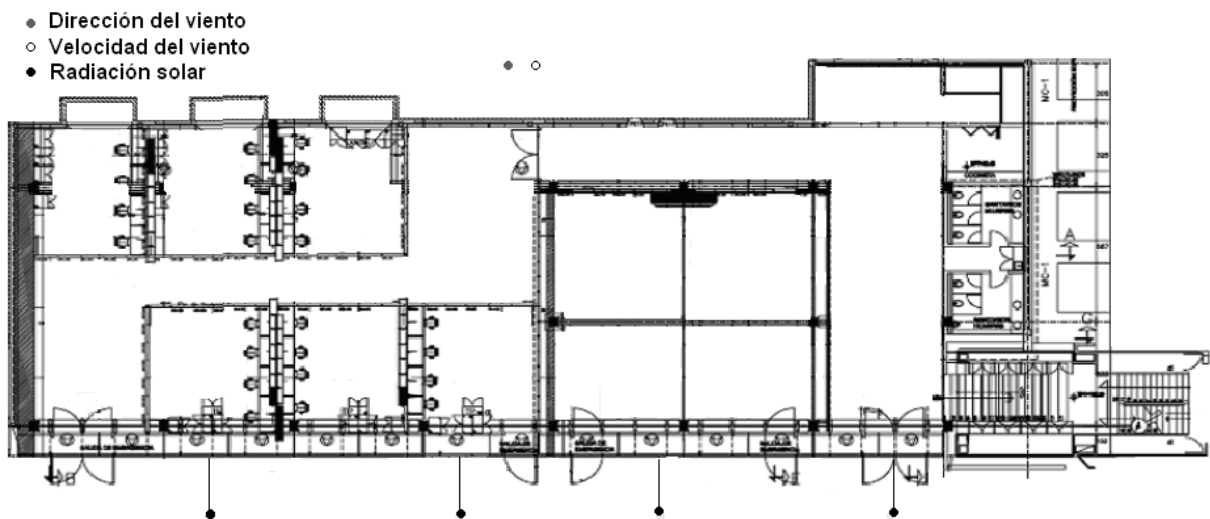


Figura 3.6. Sensores requeridos en el exterior del edificio.

La figura 3.7 muestra la cantidad y ubicación sugerida para los sensores de temperatura en un punto del techo del edificio. La cantidad de sensores de temperatura en el techo es de 8, distribuidos de 2 en 2, en cuatro secciones. Los cables provenientes de los sensores de temperatura, ubicados arriba del impermeabilizante, llegarán al sistema de adquisición de datos mediante una tubería que rodeará a éste.

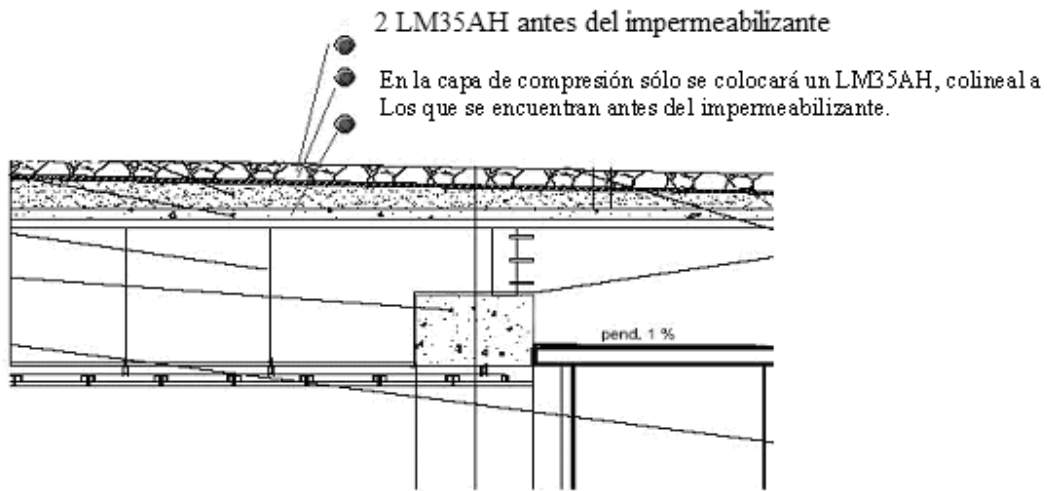


Figura 3.7. Sensores temperatura requeridos en el techo del edificio.

La figura 3.8 muestra la posible ubicación de los sensores en el piso de los cubículos.

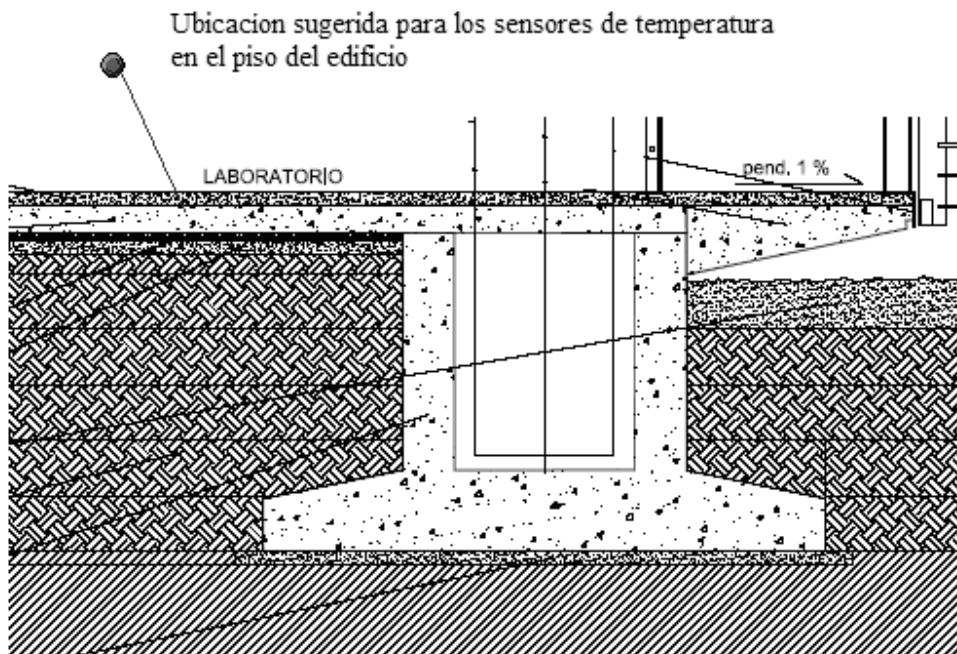


Figura 3.8. Detalle sobre la instalación de sensores en el piso.

El número total de sensores a utilizar en la instrumentación del Edificio Sostenible es de 143. La instrumentación del edificio constará de dos aspectos principales, hardware y software. La instrumentación correspondiente al hardware se desarrollará con base en el diseño e integración de un sistema de adquisición de datos alrededor de una PC, haciendo uso de elementos para instrumentación virtual; el equipo controlado por el instrumento virtual consistirá de módulos de red Ethernet y módulos de entrada analógica y de conexión, de la serie Compact FieldPoint, ambos de National Instruments. A los módulos de conexión llegarán las señales provenientes de los sensores acordes con la variable a medir. En lo que respecta al desarrollo del software para la instrumentación virtual, se empleará el software para desarrollo de aplicaciones LabVIEW de National Instruments.

A continuación se describe el funcionamiento de los diversos sensores y transductores elegidos para capturar la forma en la que se comportan las variables de interés dentro del edificio, además de hacer mención a algunas de sus características más relevantes. En el apéndice A se encuentran las hojas de datos de cada uno de los sensores descritos en este apartado.

3.2. HARDWARE (sensores y transductores)

En este apartado se describe el funcionamiento de los sensores elegidos para monitorear la forma en que se comportan las variables físicas de interés dentro y fuera del edificio, estos sensores son los de temperatura (LM35 y RTD), el de humedad relativa (HIH4000), el de intensidad de luz (LI-210), el de radiación solar (SP-Lite), el medidor de flujo de agua (FXL-5000), los de velocidad y dirección del viento (Wind Sentry 3001-5) y finalmente los medidores de potencia eléctrica (XLGW10S4-A1), haciendo mención solo de algunas de sus características más relevantes.

3.2.1. Sensor de temperatura en circuito integrado

El circuito integrado LM35 es un dispositivo sensor de temperatura de tres terminales, que produce un voltaje de salida proporcional a la temperatura, en °C ($10\text{mV}/^\circ\text{C}$), de tal manera que el voltaje de salida nominal de 250mV corresponde a 25°C y 1V a 100°C. En la figura 3.9 se muestra tanto los requerimientos de conexión como el tipo de encapsulado que se utilizará.

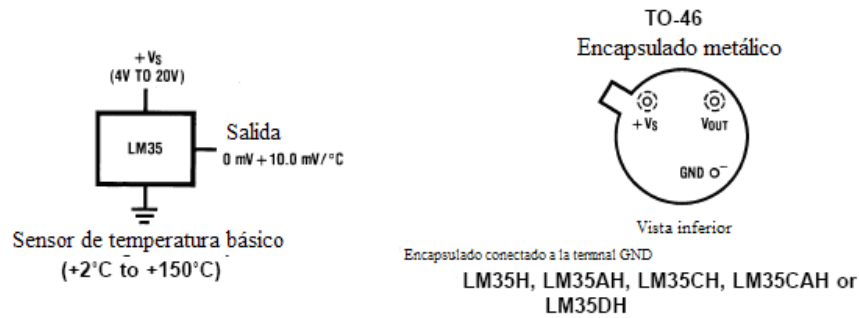


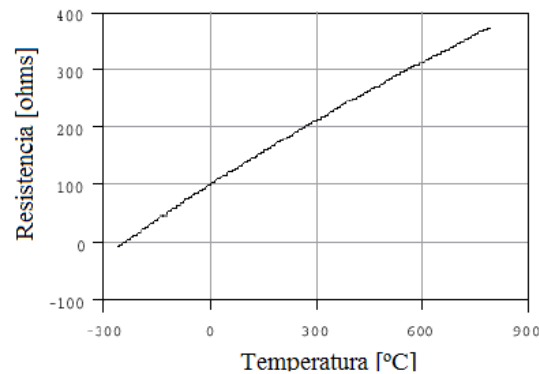
Figura 3.9. Sensor de temperatura LM35.

El intervalo de operación de este sensor nos permite monitorear con bastante precisión las temperaturas en pisos, muros, cubículos y aulas del edificio sostenible. Al no requerir de un acondicionamiento de señal especial, y dado que el número de sensores de este tipo es bastante numeroso, resulta sumamente conveniente su uso, sobre todo desde el punto de vista económico.

3.2.2. RTD

Para monitorear la temperatura en las tuberías del sistema de calefacción del edificio se decidió utilizar un RTD Pt-100, debido a que para este tipo de aplicaciones dicho sensor ya viene montado en una estructura que se inserta fácilmente en cualquier tubería, además cumple por un amplio margen el intervalo de operación solicitado, que es de 0 a 100°C.

La curva características de una RTD Pt-100 junto con los coeficientes para la ecuación de Callendar Van Dusen se muestran en la figura 3.10.



Standard	Temperature Coefficient (α)	A	B	C*
DIN 43760	0.003850	3.9080×10^{-3}	-5.8019×10^{-7}	-4.2735×10^{-12}
American	0.003911	3.9692×10^{-3}	-5.8495×10^{-7}	-4.2325×10^{-12}
ITS-90	0.003926	3.9848×10^{-3}	-5.870×10^{-7}	-4.0000×10^{-12}

* For temperatures below 0° C only; C = 0.0 for temperatures above 0° C.

Figura 3.10. Características de una RTD Pt-100.

Para el proyecto en cuestión, y dado que los módulos de entrada analógica seleccionados para la aplicación sólo leen voltajes o corrientes, se encontró conveniente utilizar una cabeza transmisora que se encargue del acondicionamiento de la señal proveniente del RTD y que entregue una corriente proporcional a la temperatura. La cabeza transmisora Mp82800-R, basada en un microprocesador (ver figura 3.11), cumple con lo mencionado anteriormente, además de que existe la posibilidad de programarla para ajustarla al intervalo de operación de la aplicación.



Figura 3.11. RTD pt-100 y cabeza transmisora Mp82800-R.

La cabeza transmisora entregará una corriente de 4 a 20 mA como señal de salida de acuerdo a la manera en que se vayan dando las variaciones en la temperatura dentro de la tubería del sistema de calefacción. Para obtener unidades de temperatura en grados centígrados es necesario considerar la curva mostrada en la figura 3.12, esto se considera en el momento de desarrollar el software para la aplicación.

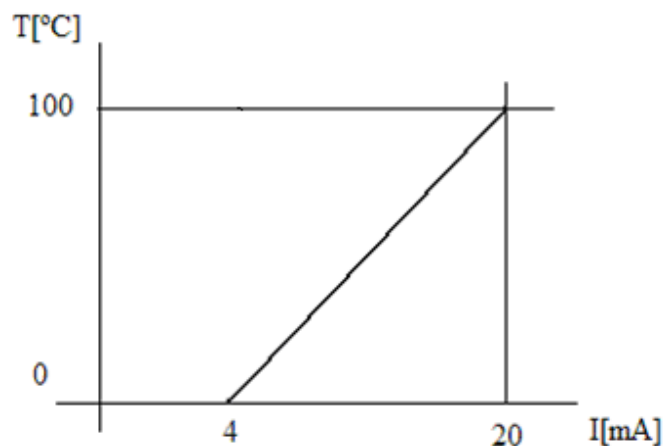


Figura 3.12 Corriente de salida entregada por la cabeza transmisora.

La ecuación de dicha curva, que corresponde a una recta, se obtiene con suma facilidad ya que el fabricante proporciona dos puntos de esta recta.

$$T[°C] = 6250I[A] - 25 \quad \text{Eq. 3.1}$$

3.2.3. Velocidad y dirección del viento

Para realizar las mediciones de velocidad y dirección del viento se utilizó un dispositivo que integra tanto el anemómetro y la veleta en una sola estructura, el *Wind Sentry 3001-5*. El anemómetro y veleta *Wind Sentry 3001-5* (ver figura 3.13) mide las componentes horizontales de la velocidad y dirección del viento con buena precisión.



Figura 3.13. Wind Sentry 3001-5.

El anemómetro produce en su salida una señal sinusoidal, con una frecuencia directamente proporcional a la velocidad del viento. Esta señal es inducida en un devanado estacionario por dos polos (magnetos permanentes) montados en la flecha que se une a las copas giratorias. Un periodo completo de la señal sinusoidal es producida por una vuelta completa de las copas. La veleta consiste en un potenciómetro, en el cual, la posición del cursor en su interior se ve modificada por la dirección del viento.

Las características principales del anemómetro y de la veleta son:

Especificaciones del anemómetro

- Rango: 0 a 50 m/ s (112 mph)
- Sensor: 12 cm - diámetro de las tazas
- Precisión: ± 0.5 m/s (1.1 mph)
- Transductor: Devanado estacionario, 1350 ohms de resistencia nominal
- Salida del transductor: voltaje de AC 100mV pico a pico a 60rpm; 6 V pico a pico a 3600rpm
- Frecuencia de salida: 1Hz por revolución de las tazas; 0.75 m/s por Hz
- Peso: 113 g (4 oz)

Para obtener unidades de velocidad será necesario aplicar alguna de las expresiones mostradas en la tabla 3.1, dependiendo de las unidades que se quieran manejar, por ejemplo, para obtener unidades en m/s hay que multiplicar la frecuencia en Hz obtenida del anemómetro por 0.75 y posteriormente sumarle 0.2.

WIND SPEED vs OUTPUT FREQUENCY – Hz	
m/s	= (0.7500 x Hz) + 0.2
mph	= (1.6770 x Hz) + 0.4
fps	= (2.4600 x Hz) + 0.7
knots	= (1.4562 x Hz) + 0.4
km/hr	= (2.6994 x Hz) + 0.7

Tabla 3.1. Expresiones para la conversión de unidades del anemómetro.

Especificaciones de la veleta

- Rango: 360° mecánicos, 355° eléctricos (5° banda-muerta)
- Sensor: Veleta balanceada, 16 cm de radio.
- Precisión: $\pm 5^\circ$
- Razón de amortiguamiento: 0.2
- Umbral: 0.8 m/s (1.8 mph) a 10° de desplazamiento 1.8 m/s (4 mph) a 5° de desplazamiento.
- Transductor: Potenciómetro de precisión de plástico conductivo; 10 kohm; 0.5% de linealidad; esperanza de vida 20 millones de vueltas
- Salida del transductor: Voltaje de CD proporcional a la dirección del viento
- Longitud: 22 cm (8.7 in)
- Peso: 170 g (6 oz)

Para obtener unidades de dirección [°] será necesario multiplicar el valor de la tensión de salida que proporciona la veleta por el cociente de los grados eléctricos que permite el instrumento (355°) y la tensión de alimentación (5V), esto nos da un factor de 71[°/V]. Por ejemplo, supongamos que la tensión que se registra de la veleta es de 2.5V, a este nivel de tensión le corresponden 177.5° de dirección.

3.2.4. Transductores de humedad relativa

Los transductores de humedad relativa de la serie HIH de Honeywell (figura 3.14.) se construyen con base en un polímero (thermoset) industrialmente probado, una construcción de tres capas de capacitancia, electrodos de platino, además de integrar en el mismo una etapa de acondicionamiento de señal.

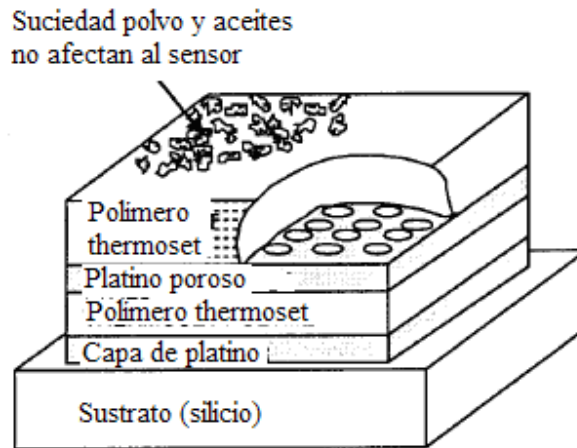


Figura 3.14. Componentes que conforman los sensores de la serie HIH.

En operación, el vapor de agua en la capa activa del dieléctrico del capacitor se equilibra con el gas circundante. La capa porosa de platino protege la respuesta del dieléctrico de influencias externas, mientras que el polímero sobre la capa de platino provee protección mecánica a dicha capa de agentes contaminantes, tales como polvo, suciedad y aceites. Una gran capa de cualquiera de estos agentes contaminantes reduciría el tiempo de respuesta del transductor, ya que le tomaría más tiempo al vapor de agua alcanzar la condición de equilibrio dentro del sensor. Otra ventaja de estos elementos es que debido a que son sensores del tipo recortado por láser, la sustitución de elementos dañados es sumamente fácil.

El voltaje de salida del transductor es lineal y es función de tres parámetros principalmente, la alimentación, el %RH y la temperatura. La salida es proporcional a estas tres variables, i.e. si el voltaje de alimentación se incrementa el voltaje de salida se incrementa en la misma proporción.

Sensores de Humedad HIH-4000

La razón por la que se eligió este modelo de la serie HIH es por su alta precisión, voltaje de salida lineal (ver figura 3.15.), rápido tiempo de respuesta, facilidad en su montaje, buena confiabilidad y el hecho de que incluye cierto nivel de acondicionamiento de señal que se encarga de compensar ante variaciones de temperatura.

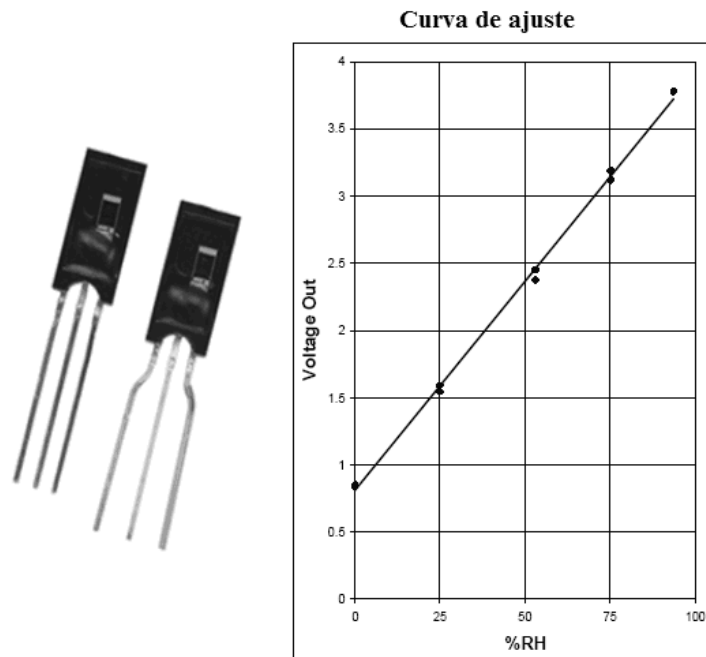


Figura 3.15. Curva característica de los sensores de la serie HIH-4000.

La ecuación que caracteriza el comportamiento del sensor es del tipo:

$$V_{OUT} = V_{Supply} (0.0062RH + 0.16) \quad \text{Ec. 3.2}$$

Sin embargo, la curva de calibración de cada uno de estos sensores es única y viene incluida con el sensor.

Algunas características del HIH-4000 se muestran a continuación:

- Margen: 0 a 95% de RH
- Alimentación:
- Precisión: $\pm 3.5\%$

- Salida del transductor: voltaje de CD proporcional al voltaje de alimentación y al %RH.
- Temperatura de operación: -40 a 85°C
- Tiempo de asentamiento: 70ms
- Tiempo de respuesta: 15s

3.2.5. Medidor de Flujo

El FXL5000 es un medidor de flujo que puede ser instalado fácil y rápidamente en cualquier sistema de tuberías, utilizando los conectores apropiados. La amplia variedad de adaptadores de conexión disponibles expanden la posibilidad de instalar el medidor en cualquier tipo de tubería. Figura 3.16.



Figura 3.16. Medidor de flujo FXL-5000.

Dado que no existen partes móviles en el medidor, éste no requiere prácticamente mantenimiento. El instrumento completo es muy compacto y ligero, por lo que puede ser instalado en la tubería sin la necesidad de utilizar soportes de montaje.

Las características principales del medidor de flujo FXL-5000 son:

- Temperatura del proceso: 10 °C a 110 °C.
- Conductividad mínima del fluido. 50 μ S/cm.
- Caída de presión: despreciable.

- Flujo máximo: 100 l/min.
- Flujo mínimo: 5 l/min.

Este medidor entrega como señal de salida una corriente de 4 a 20mA, en función del flujo que esté circulando. Con base en lo anterior y sabiendo los niveles de flujo máximo y mínimo, se obtiene la curva que caracteriza el comportamiento de este medidor, ver figura 3.17.

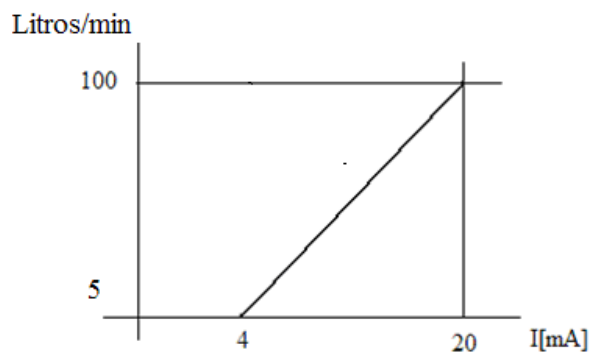


Figura 3.17 Corriente de salida entregada por el FXL-5000.

De la curva mostrada en la figura 3.17 se obtiene la siguiente expresión:

$$\text{Flujo[l / min]} = 5937.5I[A] - 18.75 \quad \text{Eq. 3.3}$$

Esta expresión es la que se programa en el sistema de monitoreo para obtener el flujo, en litros por minuto, que circula en uno de los circuitos que conforman el sistema de calefacción del edificio.

3.2.6. Sensor Fotométrico

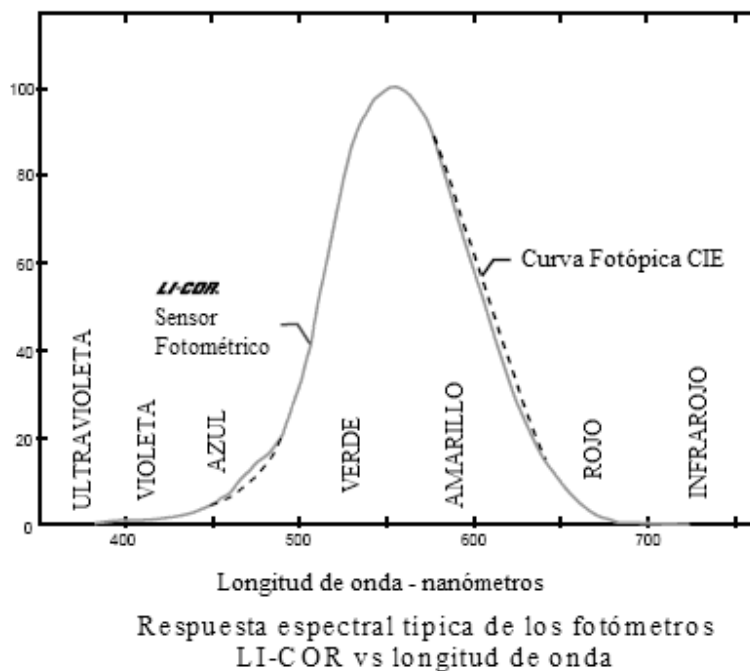
Para medir la intensidad luminosa en las áreas especificadas dentro del edificio se hará uso del sensor LI-210 SA de LI-Cor (ver figura 3.18). Este sensor fotométrico utiliza un fotodiodo de silicio y un filtro para alcanzar la respuesta dada por la curva CIE dentro de un $\pm 5\%$, con la mayoría de las fuentes de luz.



LI-210SA Sensor fotométrico

Figura 3.18. Sensor Fotométrico LI-210 SA.

La combinación de fotodiodo y filtro se encuentra ubicada dentro de una cabeza encargada de corregir ciertos errores relacionados con la incidencia de la luz sobre el fotodiodo, de tal manera que siempre se tenga una respuesta apropiada del sensor para diferentes ángulos de incidencia. En la figura 3.19 se muestra la curva característica del sensor LI-210SA.

*Figura 3.19. Respuesta espectral del LI-210SA.*

Las características principales del sensor LI-210SA son:

- Sensibilidad: 30uA por 100Klux (típica).

- Tiempo de respuesta: 10 μ s.
- Temperatura de operación: -20°C a 60°C.
- Corrección de coseno: hasta 80° del ángulo de incidencia.
- Linealidad: máxima de 1% sobre 100Klux.
- Peso: 28g

La sensibilidad de cada LI-210 SA es única y es proporcionada por el fabricante, este aspecto deberá considerarse al momento de instalar los sensores y durante el desarrollo del software encargado de controlar la aplicación. Para obtener unidades de iluminación (Klux) simplemente hay que multiplicar el inverso de la sensibilidad de cada LI-210 SA por la corriente que este entregue. Por ejemplo, para el valor de sensibilidad típica mostrado en las características de este dispositivo (30 μ A por 100Klux), si el fotómetro estuviera entregando 1 μ A esto equivaldría a una intensidad luminosa de 3300 luxes.

3.2.7. Radiación

En el edificio 18 se requiere realizar mediciones de radiación solar global, y dado que las mediciones de interés no tienen un enfoque puramente meteorológico, es decir, no es necesario conocer con extrema precisión la irradiancia bajo condiciones de baja energía solar en el ambiente, se encontró conveniente emplear un piranómetro basado en un fotodiodo de silicio, el cual satisface nuestras necesidades de medición a un costo más reducido que los piranómetros basados en termopilas. En la figura 3.20 se muestra una comparación de la respuesta espectral de estos dos tipos de piranómetros.

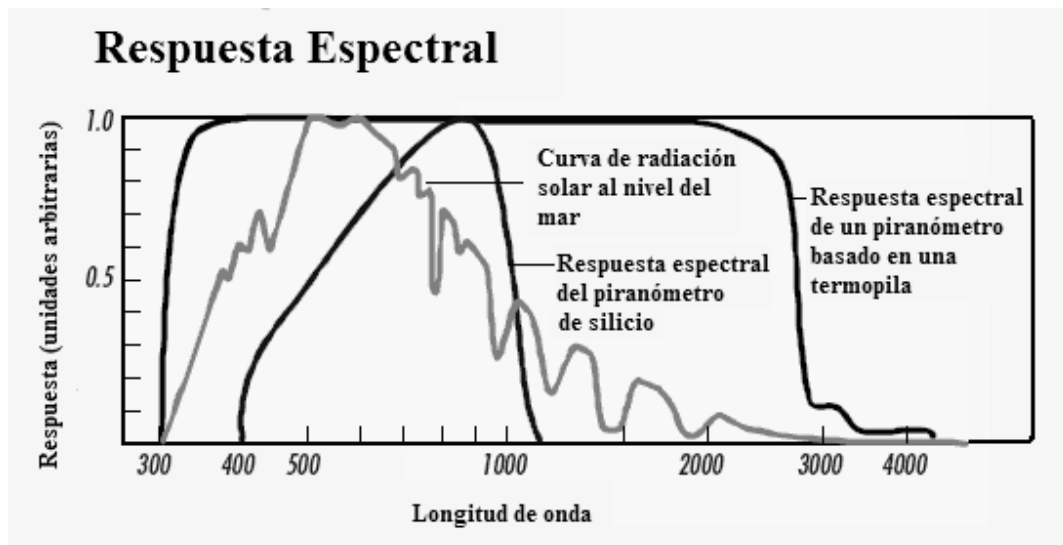


Figura 3.20. Respuesta espectral del piranómetro SP-Lite.

El piranómetro seleccionado es el SP-Lite, fabricado por Kipp & Zonen, figura 3.21.



Figura 3.21. Piranómetro SP-Lite.

Las características principales del piranómetro SP-Lite son:

- Sensibilidad: $100 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ (típica)
- Rango espectral: 400 a 1,100nm
- Tiempo de respuesta: menor a 1s
- Temperatura de operación: -30°C a 70°C
- Error direccional: $\pm 5\%$ a 80°
- Peso: 30g

La sensibilidad de cada piranómetro es única y es proporcionada por el fabricante, este aspecto deberá considerarse al momento de instalar los sensores y durante el desarrollo del software encargado de controlar la aplicación. Para obtener unidades de irradiancia (watt/m^2) simplemente hay que multiplicar el inverso de la sensibilidad de cada piranómetro por la tensión que este entregue. Por ejemplo, para el valor de sensibilidad típica mostrado en las características de este dispositivo ($100 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$), si en las terminales del sensor tuviéramos 0.1V esto equivaldría a $1000 \text{ W}/\text{m}^2$.

3.2.8. Potencia eléctrica

En el edificio 18 se realizarán mediciones de consumo de potencia eléctrica en los seis cubículos y se estima un consumo máximo de 4kW por cubículo. Con base en esta cantidad, se eligieron los instrumentos de medición de tal manera que se soporten mediciones de hasta 6kW.

El instrumento de medición seleccionado es el XLGW10S4-A1, que soporta corrientes de hasta de 5A, con lo que puede monitorear potencias de hasta 600W. Para poder medir los 6KW mencionados, con el instrumento de medición seleccionado, es necesario incluir un transformador de corriente. Los transformadores de corriente utilizados tienen una relación de transformación de 50:5; esto nos permitirá monitorear con tranquilidad el consumo estimado por cubículo que es de 4kW. En la figura 3.21 se muestra el transductor de consumo de potencia Exeltronic II XLGW10S4-A1 de Scientific Columbus (AMETEK Power Instruments), así como el transformador de corriente.

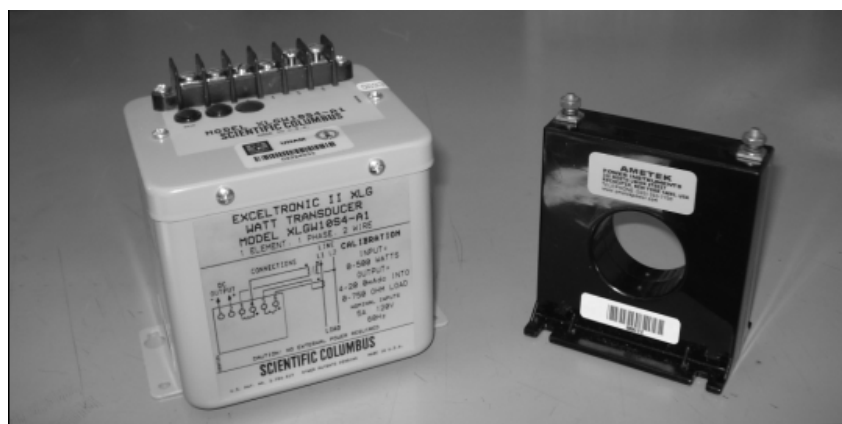


Figura 3.21. Transductor para el consumo de potencia.

La señal de salida que entrega el transductor XLGW10S4-A1 es una corriente de 4 a 20mA. En las terminales 3 y 4 se realiza la medición de tensión mientras que en las terminales 5 y 6 se realiza la medición de corriente, ver figura 3.22. Cabe mencionar que este transductor de potencia es autoalimentado por lo que no requiere de una fuente de alimentación externa.

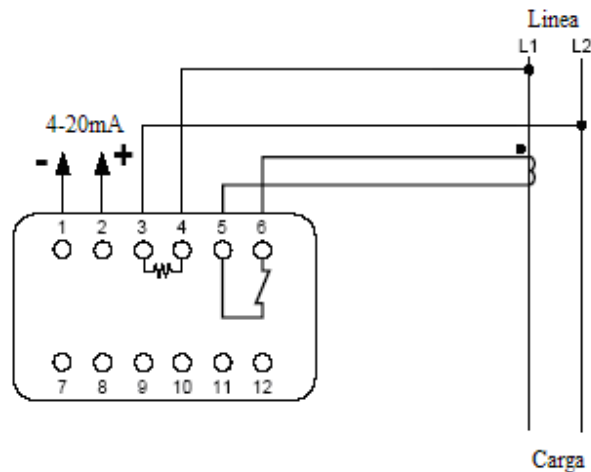


Figura 3.22. Conexiones del XLGW10S4-A1.

Las características principales del transductor XLGW10S4-A1 son:

- Corriente de entrada: 0 a 5 A
- Voltaje de entrada: 0 a 150 V
- Corriente de salida: 4 a 20 mA
- Precisión: $\pm 2\%$ del rango de salida
- Temperatura de operación: -20°C a 50°C
- Carga: 0 a 750 ohms
- Rango de frecuencia: 58 a 60 Hz

Para procesar la información que entrega el transductor de consumo de potencia dentro del programa que se desarrollará, es necesario hacer uso de la curva característica mostrada en la figura 3.23.

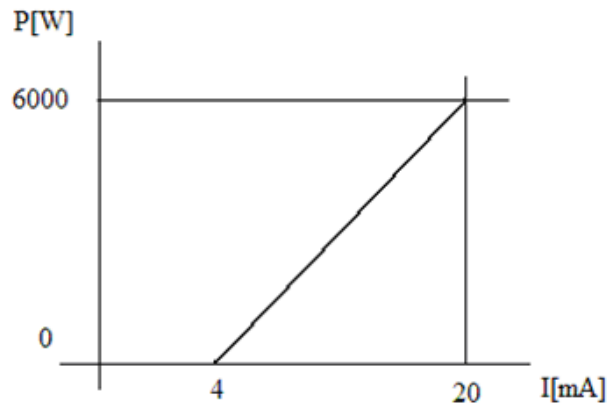


Figura 3.23. Corriente de salida entregada por el XLGW10S4-A.

De la curva anterior se obtiene la expresión que habrá de incluirse en el software encargado de controlar la aplicación.

$$P[W] = 375000I[A] - 1500 \quad \text{Eq 3.4.}$$

3.3. HARDWARE (Adquisición de datos)

En este apartado se describe el hardware encargado de la lectura, adecuación y almacenamiento de las señales provenientes de los sensores y transductores.

3.3.1. Elección del sistema de adquisición de datos

Con base en los requerimientos hasta el momento proporcionados para la instrumentación del edificio 18, y después de realizar el estudio correspondiente, se eligió integrar el sistema de monitoreo de datos alrededor de una computadora personal (PC, por sus siglas en inglés) y haciendo uso de la tecnología Compact FieldPoint de National Instruments.

La ventaja de utilizar esta tecnología en la integración del sistema de monitoreo es que nos permite crear un sistema de adquisición de datos distribuido (ver figura 3.24.), es decir, tener múltiples concentradores ubicados en la forma que mejor nos convenga, además de ofrecer una gran flexibilidad en cuanto al número de sensores que se pueden manejar.

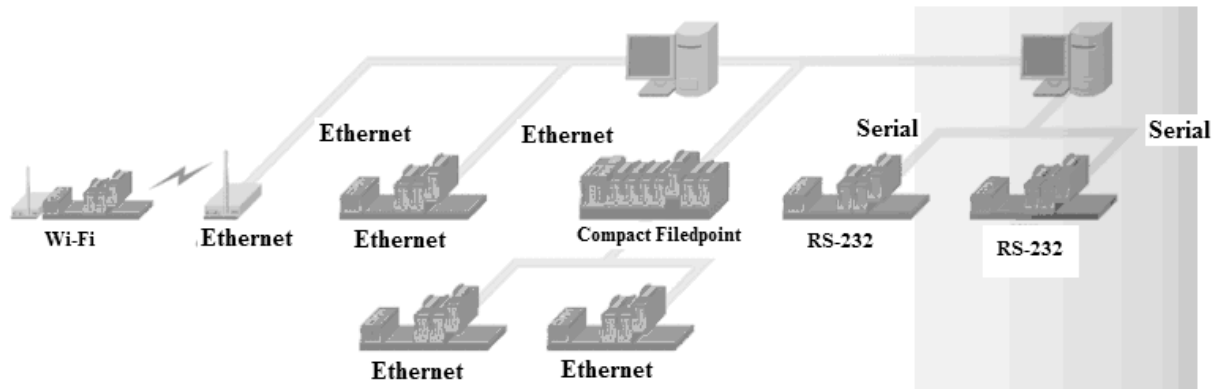


Figura 3.24. Ejemplo típico de un sistema basado en Compact Field Point.

El sistema basado en la tecnología Compact Field Point está conformado por: módulos de red (ethernet y/o RS-232), que además de permitir la comunicación de datos, según el protocolo seleccionado, proveen la alimentación a los módulos de entrada/salida (E/S) y a las bases terminales.

Las bases terminales son el hardware encargado de comunicar a los módulos de E/S con el mundo exterior, por ejemplo, contienen los conectores a través de los cuales los módulos E/S leen las señales provenientes de transductores o contienen relevadores para interactuar con instalaciones de mayor potencia; por otra parte, los módulos E/S pueden incluir funciones de acondicionamiento de señal, digitalizadores, salidas a relevadores, entradas y salidas digitales contadores, timers, etcétera.

3.3.2. Variables a monitorear

Considerando los puntos de medición indicados en la parte correspondiente a la distribución de sensores, se tiene que el número total de elementos a instalar alrededor del edificio es de **143**, distribuidos como se muestra en la tabla 3.3. Estos datos cobrarán importancia al momento de elegir la cantidad y tipo de módulos de entrada analógica.

Punto de medición	Número	Tipo de sensor
Temperatura en muros	28	LM35AH
Temperatura en pisos	32	LM35AH
Temperatura ambiente	12	LM35AH
Temperatura en vidrios	8	LM35DM
Humedad (%RH)	12	HIH3610
Luminosidad	12	Lux-Lite o LI-210
Radiación Solar	4	SP-Lite o LI-200
Velocidad y dirección del viento	2	03001 Wind Sentry
Temperatura en techo	9	LM35AH
Temperatura en Tubería	12	RTD, Pt-100 West
Flujo	6	ABB
Potencia	6	AMETEK

Tabla 3.3. Sensores que se instalarán en el edificio 18.

3.3.3. Módulos de red

El módulo de red cFP-1808 (ver figura 3.25.) conecta una red ethernet o RS-232 industrial a módulos Compact Field Point de E/S.



Figura 3.25. Módulos de red cFP-1808.

En una aplicación distribuida, múltiples bancos Compact Field Point se encuentran unidos mediante la misma red, como se mostró en la figura 3.24.

Los módulos de red son los encargados de realizar la comunicación entre la PC y los módulos de entrada analógica. Dichos módulos permiten velocidades de comunicación de hasta 100Mb/s y permiten conectar hasta 8 módulos de E/S.

3.3.4. Módulos de entrada analógica

Los módulos de entrada analógica y digital son dispositivos de E/S de la amplia gama que ofrece National Instruments; sin embargo, dado que el proyecto se enfoca exclusivamente al monitoreo de señales analógicas, sólo se describe este tipo de dispositivos. Los módulos de entrada analógica que se utilizaron son el **AI-cFP-112**, para la adquisición de señales de tensión, y el **AI-cFP-111**, para la adquisición de señales de corriente. Ver figura 3.26.

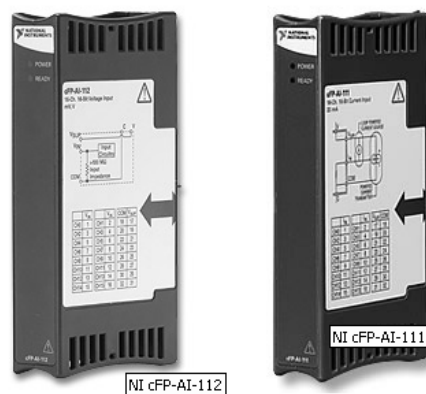


Figura 3.26. Módulos de entrada analógica.

Algunas de las características que poseen dichos módulos son:

- 16 canales analógicos de entradas de voltaje y corriente.
- 8 rangos de voltaje de entrada: 0–1 V, 0–5 V, 0–10 V, ± 60 mV, ± 300 mV, ± 1 V, ± 5 V, and ± 10 V.
- 3 rangos de corriente de entrada: 0–20mA, 4–20mA, and ± 20 mA
- Resolución de 16-bits.
- 3 opciones de filtrado (independientes por canal): 50, 60, and 500 Hz.

Las formas de conexión de los sensores a los módulos son:.

Módulo cFP-AI-112

A este módulo de entrada analógica se pueden conectar dos tipos de sensores, figura 3.27, uno cuyo comportamiento sea generar una tensión en sus terminales en presencia de cierta perturbación, tal será el caso de los piranómetros y los luxómetros. El segundo tipo de sensor

igualmente generará una tensión en sus terminales pero requiere de una alimentación de energía externa, tal es el caso de los sensores LM35, los HIH4000 y la veleta. Una ventaja de estos módulos es su elevada impedancia de entrada, esta impedancia contribuirá a evitar el fenómeno de caída de tensión, producto de la longitud del cable, al momento de llevar las señales de los sensores a dichos módulos.

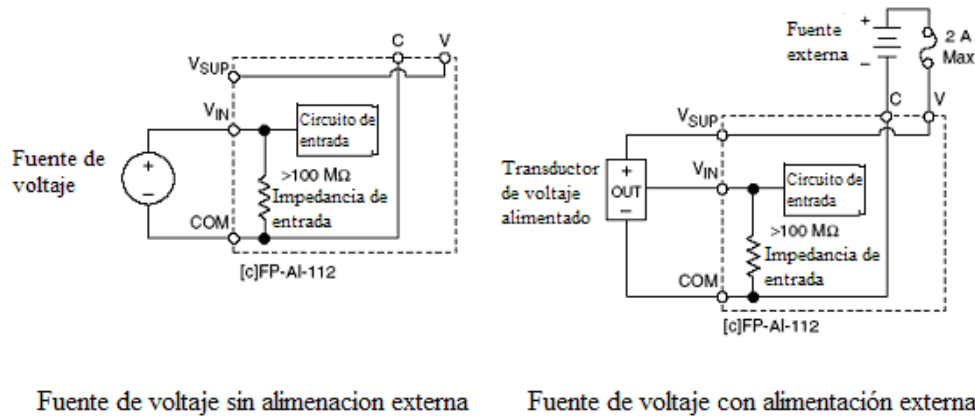


Figura 3.27. Conexión de sensores en el módulo AI-cFP-112.

Módulo AI-cFP-111

A este módulo de entrada analógica se pueden conectar tres tipos de sensores, figura 3.28, el primero lo conforman aquellos que forman un lazo de corriente, los RTD's y los medidores de flujo son un claro ejemplo de este tipo de sensores. El segundo tipo son aquellos que se comportan como fuentes de corriente ante la presencia de alguna perturbación, dentro del edificio no se utilizaron de este tipo de sensores pero un claro ejemplo de este tipo de elementos podrían ser los fotodiodos. Finalmente, el tercer tipo de sensor que es posible conectar son aquellos que se comportan como fuentes de corriente ante alguna perturbación pero que requieren de alimentación de energía externa, tal es el caso de los transductores empleados en el monitoreo de consumo de potencia.

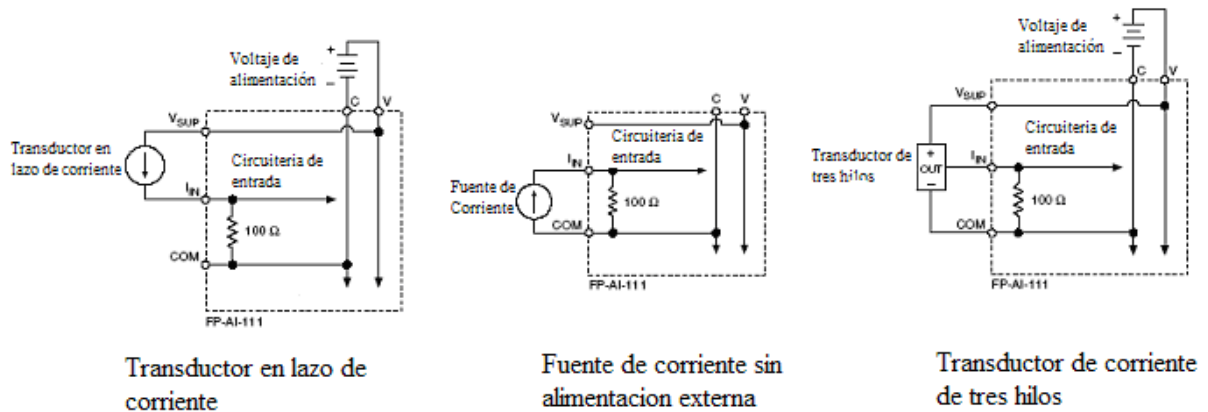


Figura 3.28. Conexión de sensores en el módulo AI-cFP-111.

La asignación de terminales para las señales asociadas con cada canal del modulo cFP-112 se muestran en la tabla 3.4. La asignación de terminales mostrada coincide con la de los bloques conectores mostrados más adelante (ver Bases terminales).

Channel	Terminal Numbers		
	V _{IN}	V _{SUP}	COM
0	1	17	18
1	2	17	18
2	3	19	20
3	4	19	20
4	5	21	22
5	6	21	22
6	7	23	24
7	8	23	24
8	9	25	26
9	10	25	26
10	11	27	28
11	12	27	28
12	13	29	30
13	14	29	30
14	15	31	32
15	16	31	32

Tabla 3.4. Asignación de terminales del módulo cFP-112.

La asignación de terminales para las señales asociadas con cada canal del modulo cFP-111 se muestran en la tabla 3.5. La asignación de terminales mostrada coincide con la de los bloques conectores mostrados más adelante (ver Bases terminales).

Channel	Terminal Numbers		
	I_{in}	V_{SUP}	COM
0	1	17	18
1	2	17	18
2	3	19	20
3	4	19	20
4	5	21	22
5	6	21	22
6	7	23	24
7	8	23	24
8	9	25	26
9	10	25	26
10	11	27	28
11	12	27	28
12	13	29	30
13	14	29	30
14	15	31	32
15	16	31	32

Tabla 3.5. Asignación de terminales del módulo cFP-111.

Con base en las características de los módulos mencionadas, se tiene que para conectar los 143 sensores al sistema de adquisición de datos se requirieron de 10 módulos de entrada analógica. Ya que se tienen 103 sensores con salida de voltaje y 40 sensores con salida de corriente, se necesitaron: **7 cFP-112 y 3 cFP-111** lo que implica también **2 módulos de red cFP-1808**.

3.3.5. Bases terminales

Las bases terminales son las encargadas de proporcionar el voltaje de alimentación a los sensores y transductores que así lo requieran, además de establecer la conexión de estos con los módulos de entrada analógica, figura 3.29.

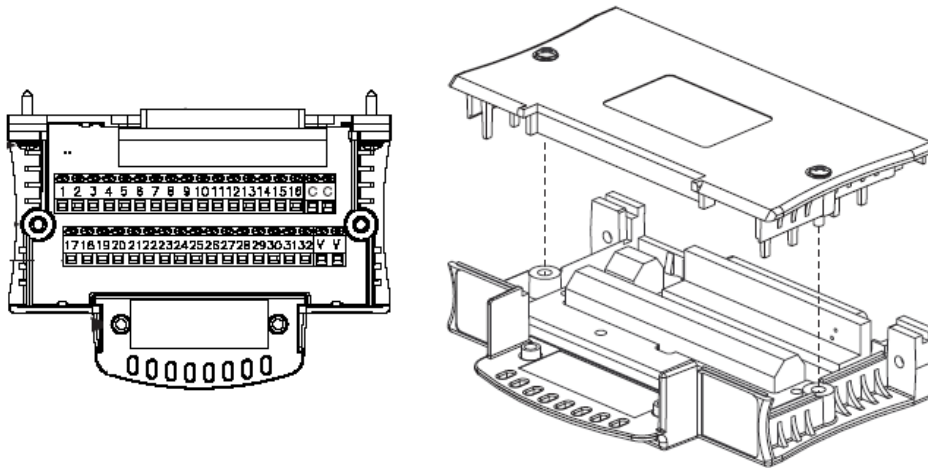


Figura 3.29. Bases terminales.

Como se mencionó anteriormente, la asignación de terminales de los módulos de entrada analógica (tablas 3.4 y 3.5) coincide con la de estos módulos de conexión.

3.3.6. Fuentes de alimentación de energía

En electrónica, una fuente de alimentación de energía es un dispositivo o subsistema que convierte la corriente alterna, de la red de distribución de la energía eléctrica, en otro tipo de corriente eléctrica adecuada para el uso que se le vaya a dar, por lo general es una de corriente directa.

Fuentes de alimentación de corriente directa

Las fuentes de alimentación de energía pueden ser del tipo lineal o conmutada.

Las fuentes lineales siguen el esquema: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida. En primer lugar el transformador adapta los niveles de tensión y proporciona aislamiento galvánico. El circuito que convierte la corriente alterna en continua se llama rectificador, después

suelen llevar un circuito que disminuye el rizado como un filtro de condensador. La regulación se consigue con un componente disipativo regulable. La salida puede ser simplemente un condensador.

Las fuentes conmutadas tienen por esquema el siguiente: rectificador, conmutador, transformador, otro rectificador y salida. La regulación se obtiene con el conmutador, normalmente un circuito de modulación de ancho de pulso (PWM: Pulse Width Modulation) que cambia el ciclo de trabajo. Aquí las funciones del transformador son las mismas que para fuentes lineales pero su posición es diferente. El segundo rectificador convierte la señal alterna pulsante que llega del transformador en un valor continuo. La salida puede estar conformada por un filtro de condensador o uno del tipo LC.

Las ventajas de las fuentes lineales son una mejor regulación, velocidad y mejores características de compatibilidad electromagnética. Por otra parte las conmutadas obtienen un mejor rendimiento, menor coste y tamaño.

Fuentes de alimentación conmutadas

Una forma de aumentar el rendimiento de las fuentes de energía, y no tener que usar transformadores grandes y pesados, es mediante el empleo de fuentes conmutadas que utilizan un transistor de potencia en conmutación. De esta forma la potencia disipada en el transistor es muy inferior a la disipada en las fuentes lineales.

En las fuentes conmutadas, cuando el transistor se encuentra en corte, la corriente a través de él es prácticamente nula, y en estado de saturación, la caída de tensión en sus terminales es pequeña, con lo que en todo momento la potencia disipada en el transistor conmutador es muy baja. En estas fuentes la tensión en la red se rectifica y se filtra directamente (sin uso de transformador), posteriormente se muestrea o conmuta mediante el transistor conmutador y por medio de un filtro LC se obtiene el nivel medio de de la onda pulsada. En la figura 3.30 se muestra un diagrama de bloques con las principales etapas de una regulación conmutada.

Algunas fuentes conmutadas poseen un transformador que adapta la tensión pulsada a un nivel más adecuado, aunque su uso no es siempre necesario.

Existen muchas formas de clasificar a las fuentes conmutadas, pero en principio se pueden clasificar en forzadas y resonantes. A su vez, las forzadas pueden o no tener transformador y las resonantes aprovechan el paso por cero de la tensión o la corriente para conmutar y disminuir aún más las pérdidas en conmutación. Las fuentes forzadas sin transformador a su vez pueden ser directas, donde la energía se transmite directamente a la carga, o indirectas, que se caracterizan porque en un principio la energía se almacena en un componente magnético y/o capacitivo y posteriormente se transmite a la carga.

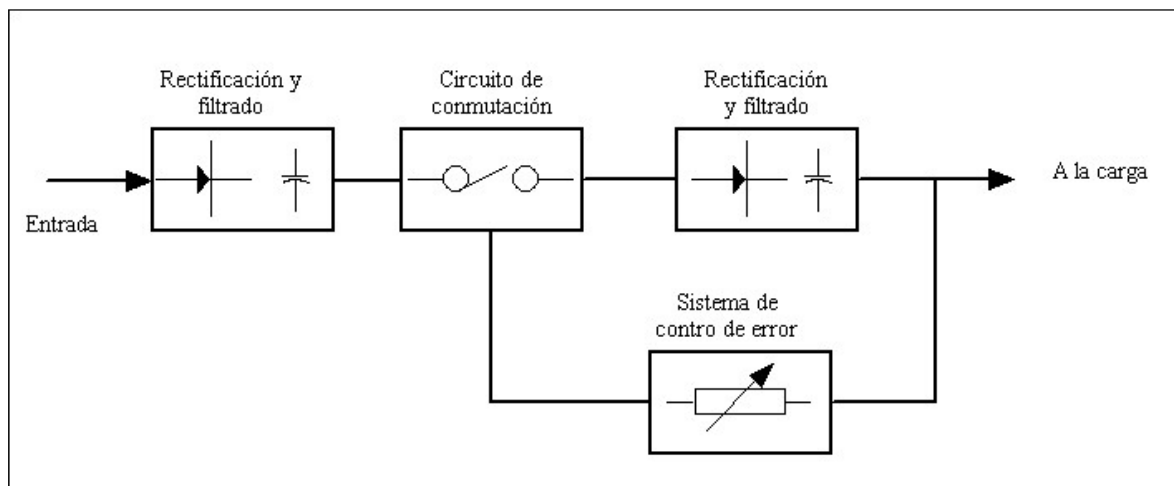


Figura 3.30. Principales etapas de la regulación conmutada.

Las fuentes conmutadas generalmente pueden operar de dos maneras, dependiendo de la forma que tenga la corriente por la bobina. Si durante cada periodo la corriente cae a cero la fuente trabaja en modo de funcionamiento discontinuo. Si por el contrario la corriente no cae a cero lo hace en modo de funcionamiento continuo.

Sea cual fuere el modo de funcionamiento de una fuente conmutada, siempre existe una dependencia entre la tensión de salida y la carga, lo cual hace que no tengamos una regulación perfecta. Para minimizar esta dependencia se emplean recursos en el camino de la realimentación (trabajando en lazo cerrado). Para ello se deben comparar la tensión deseada en la salida con la

que hay en la entrada, y actuar en consecuencia. Además, con este sistema también se corrigen problemas que se pueden dar en la salida como consecuencia de las variaciones en la entrada.

Para cerrar el lazo de realimentación se emplea un controlador, que puede actuar de varias maneras: control en modo tensión y controlador en modo corriente. En el modo de tensión se obtiene la señal de control por medio de una señal de error que depende de la diferencia entre la tensión y la referencia. En el modo de corriente la señal de error controla el máximo valor de corriente que se empleará para controlar la tensión en la carga mediante un circuito de gestión, que es generalmente un flip-flop. En este caso se emplea un resistor de bajo valor en el camino de la salida para sensar el valor de la corriente.

Las principales ventajas que ofrece una fuente de voltaje conmutada es su bajo peso y su pequeño tamaño, alta eficiencia, amplio rango de voltaje de entrada y bajo costo. El bajo peso y su pequeño tamaño es posible debido a que la operación ocurre a frecuencias por arriba del rango audible, y los elementos inductivos son pequeños. La alta eficiencia se debe a que en la regulación de salida el transistor es conmutado rápidamente entre las regiones de corte y saturación y por lo tanto hay muy poca disipación. Esto facilita los requerimientos de disipadores, lo cual contribuye a la reducción de peso y volumen.

Para la alimentación del sistema de monitoreo se hizo uso de dos fuentes conmutadas de Phoenix Contact (ver figura 3.31); una de 24V @ 5A, que alimenta los 2 módulos de red cFP-1808, los 10 módulos de entrada analógica, 3 cFP-AI-111 y 7 cFP-AI-112, 6 medidores de flujo FXL-5000 y las 12 RTD. La segunda fuente de alimentación es de 5V @ 3A y sirve para alimentar los sensores LM35, HIH4000 y a la veleta.

La conexión de 100-240V AC se efectúa a través de las terminales L y N para los dos modelos. Ambos módulos se conectan a redes de corriente alterna monofásicas o a dos fases de redes trifásicas con tensiones nominales de 100-240V AC. La conexión de 24V y 5V se hace en las terminales “+” y “-“ de cada módulo.

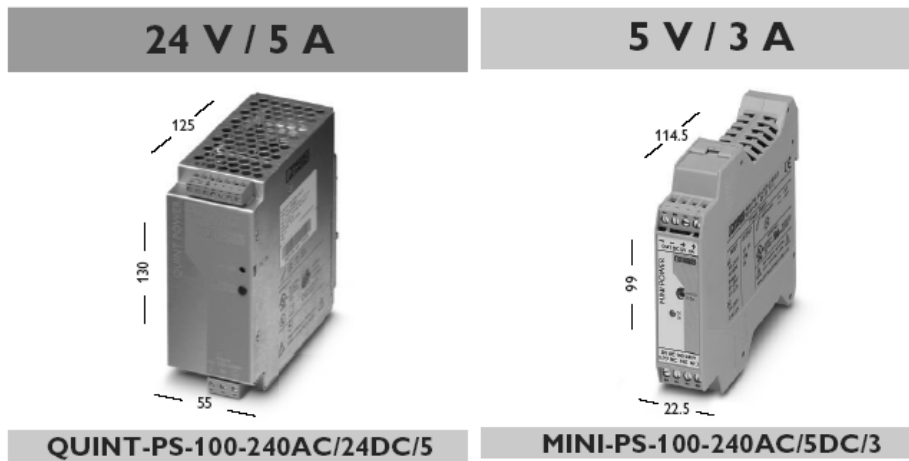


Figura 3.31. Fuentes de alimentación para el sistema de monitoreo.

3.3.7. Computadora personal y accesorios para redes

Como ya se comentó, el sistema de adquisición de datos estará conformado por dos módulos de red cFP-1808 de National Instruments, que se comunicaran con la computadora personal mediante un *switch* para redes convencional.

Para realizar el programa que controla la operación completa del sistema de monitoreo se hizo uso de una estación de trabajo Dell Precision 380, que incorpora algunos de los avances tecnológicos más recientes, incluyendo los procesadores de doble núcleo Intel Pentium, que están diseñados para ofrecer el desempeño necesario para correr aplicaciones de 64 bits en estaciones de trabajo.

Dado que las estaciones de trabajo Dell Precision están diseñadas para funcionar en ambientes de alto desempeño y están optimizadas para correr aplicaciones de software críticas, con el fin de incrementar la productividad del usuario y la calidad general del trabajo, fue considerada como una excelente opción para el desarrollo de nuestra aplicación.

A continuación se muestran algunas de las características de la computadora Dell Precision 380 (sólo se muestran las características que tienen mayor relevancia en el desempeño de la aplicación).

- Procesador Intel® Pentium® 4 630, 3.00GHz, 2MB L2, 800MHz.

- 1GB, 667MHz, DDR2 SDRAM.
- Disco Duro de 80GB SATA II No Raid (7200rpm).
- Tarjeta de Video: 64MB PCIe x16 nVidia Quadro NVS 280.
- Panel Plano Dell de 17" .
- Interfaz de red integrada a la Tarjeta Madre 10/100/1000 Gigabit Ethernet con
- conector RJ-45, autosensado con soporte WOL. Admite ASF 2.0 como lo define DMTF.
- 115 VCA +/- 15%, Suministro de Poder: 375 watts, Batería de respaldo del CMOS (Almacenando SETUP): 3-V CR2032 de litio. El equipo cuenta con cable de alimentación debidamente polarizado.
- Operación: 10° a 35 °C, Almacenamiento: De -40° a 65°C
- Humedad Relativa 20% a 80% (no condensada)

En la PC se ejecuta el programa de aplicación del sistema de monitoreo, además de servir de interfaz para el usuario, de tal manera que éste tenga acceso a información correspondiente a los sensores esparcidos alrededor del edificio.

Switch

La comunicación de los módulos de red compact FieldPoint con la PC se realiza a través de un switch.

El *switch* o conmutador permite la interconexión de múltiples segmentos de red, ver figura 3.32. En la figura se muestra el conmutador en el centro de una red de área local en configuración estrella. El conmutador funciona a velocidades más rápidas y es más sofisticado que los *puentes*. Los *switches* pueden tener otras funcionalidades, como *redes virtuales*, y permiten su configuración a través de la propia red. Su funcionamiento básico es en las capas física y de enlace de datos del modelo OSI, por lo cual son capaces de procesar información de las tramas; siendo su funcionalidad más importante las tablas de dirección. Por ejemplo, una computadora conectada al puerto 1 del conmutador envía una trama a otra computadora conectada al puerto 2; el *switch* recibe la trama y la transmite a todos sus puertos, excepto aquel por donde la recibió, la computadora 2 recibirá el mensaje y eventualmente lo responderá, generando tráfico en el sentido contrario, por lo cual ahora el *switch* conocerá las direcciones **MAC** de las computadoras en el puerto 1 y 2, y cuando reciba otra trama con dirección de destino

a alguna de ellas, sólo transmitirá la trama a dicho puerto, lo cual disminuye el tráfico de la red y contribuye al buen funcionamiento de la misma.

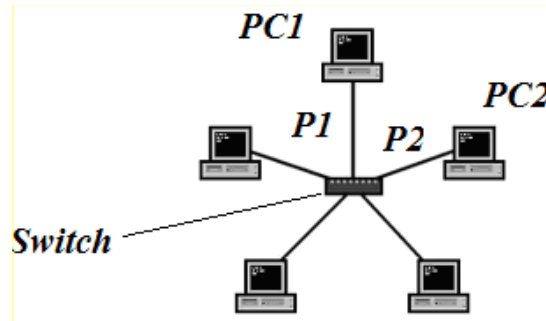


Figura 3.32. Esquema de una red de área local.

Los conmutadores se utilizan cuando se desea conectar múltiples redes, fusionándolas en una sola. Al igual que los puentes, dado que funcionan como un *filtro* en la red, mejoran el rendimiento y la seguridad de las redes de área local.

El *switch* a utilizar en el presente proyecto es el *Switch Fast Ethernet* de 8 puertos RJ45, escalable a 2 o más switches, ver figura 3.33.



Figura 3.33. Switch Fast Ethernet.

Las características principales del *switch* son:

- Velocidad de transmisión de 10/100 Mbps y hasta 200 Mbps por puerto.
- Detecta velocidades de 10 Base-T y 100 Base-TX
- Forwarding/Filtering Rate en paquetes por segundo (PPS) de 148,800 PPS a 100 Mbps y 14,880 PPS a 10 Mbps
- 1 Mb de memoria en Buffer x 8 puertos
- Detección automática de conexiones MDI/MDI-X
- Cumple con los estándares IEEE802.3/u/x y Ethernet 10/100Base TX

- LED indicador de encendido y actividad por puerto
- Incluye eliminador de 120Vca a 12Vcc 500mA

3.3.8. Configuración del hardware

Antes de comenzar a adquirir señales, es necesario configurar tanto los módulos de red como los módulos de entrada analógica. Los módulos de red requieren de una dirección IP para poder ser reconocidos dentro de la red del Instituto de Ingeniería, mientras que para los módulos de entrada analógica es necesario definir la frecuencia de corte de los filtros de entrada y los márgenes de operación de cada canal.

La configuración de los módulos cFP-1808 se realiza utilizando el software de NI Measurement & Automation Explorer. Ver figura 3.35.

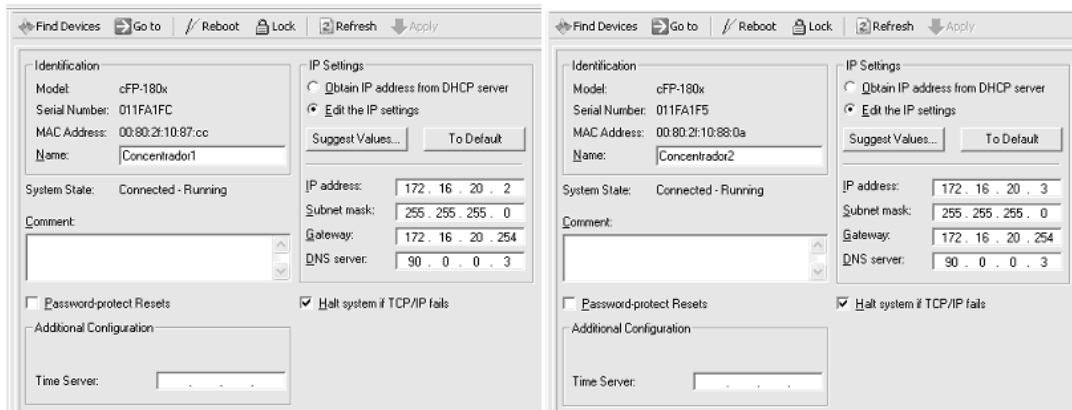


Figura 3.35. Configuración de los módulos de red.

La red compuesta por la PC y los dos módulos cFP-1808 se encuentran conectados mediante el *switch*, éste interconecta dos o más segmentos de red (ver figura 3.36).

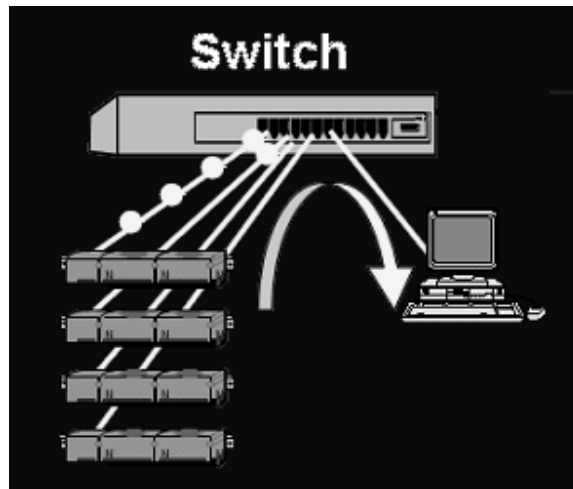


Figura 3.36. Interconexión de los módulos de red con la PC.

Una vez creada la red, es necesario configurar los puntos de adquisición, es decir que módulos cFP-112 y cFP-111 irán en cada nodo. Esto se hace ejecutando el software que acompaña a los módulos de red cFP-1808, llamado Measurement & Automation Explorer. Al ejecutar esta aplicación, los bancos que contienen los módulos de red son reconocidos de manera automática, así como los módulos I/O que se encuentre conectado a éstos. Lo descrito anteriormente se puede apreciar en la figura 3.37.

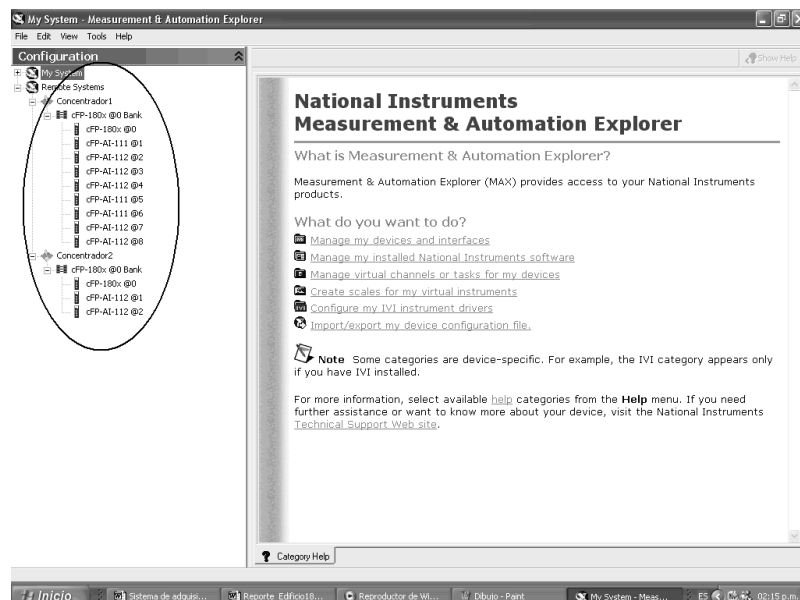


Figura 3.37. Distribución de los módulos de entrada analógica.

Una vez realizado lo anterior, es necesario configurar los canales que se van a utilizar, es decir, establecer el margen de medición y la frecuencia de corte del filtro que se desea utilizar para un determinado canal, esto desde luego se hizo con base en la salida que proporciona cada uno de los sensores y transductores. Ver figura 3.38.

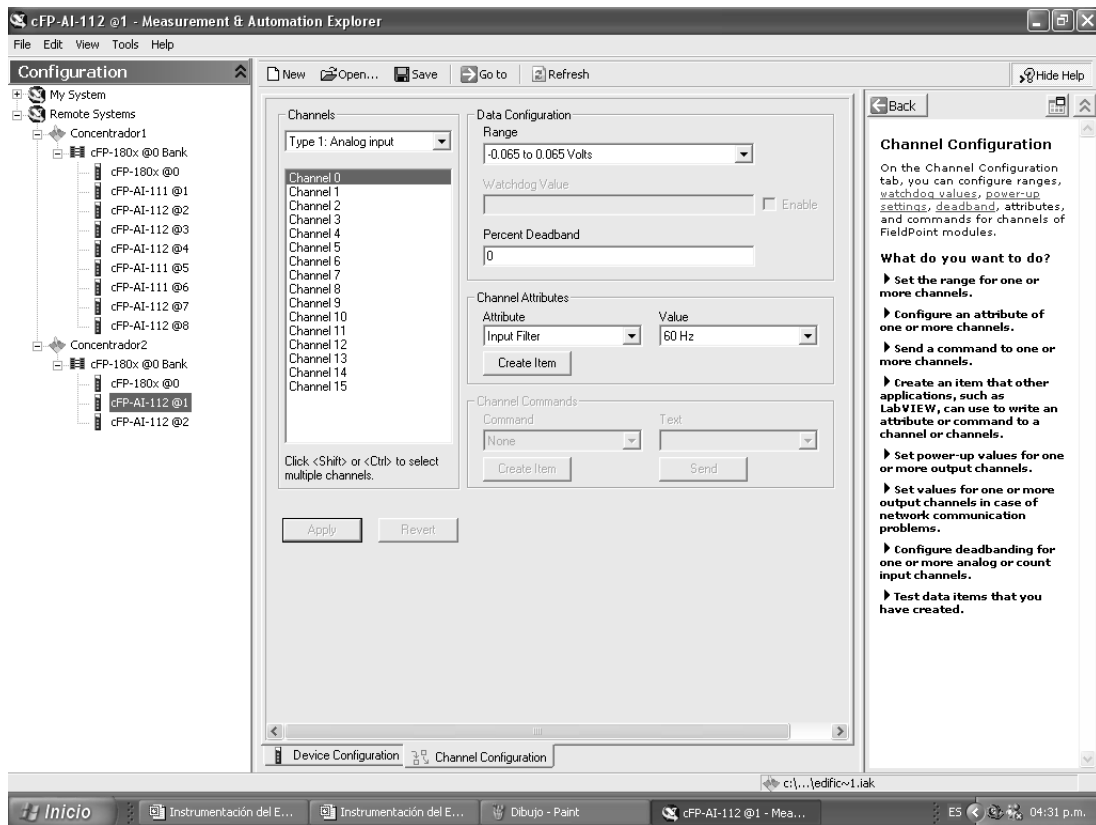


Figura 3.38.

Cabe mencionar que la elección del filtro para los diversos canales definirá la máxima razón de muestreo del sistema.

Una vez configurados los canales, es posible comenzar adquirir datos con LabVIEW, y por lo tanto, comenzar con el desarrollo del software encargado de controlar el sistema de monitoreo para el edificio 18.

3.4. SOFTWARE (Instrumento virtual)

3.4.1. Requerimientos

Para poder desarrollar el software encargado del control del sistema de monitoreo se definieron el siguiente grupo de tareas.

- Adquisición de datos (24hr y definido por el usuario).
- Despliegue del último valor adquirido (de manera continua), con opción de presentar mediante algún gráfico el comportamiento de una determinada variable durante el día.
- Creación de un reporte al término del proceso de adquisición de datos, cada 24 horas o según el tiempo definido por el usuario.

Estas especificaciones fueron el punto de partida para la implementación del software de nuestro sistema de monitoreo.

3.4.2. Instrumentación Virtual

Para el desarrollo del software encargado de monitorear el comportamiento del edificio se hizo uso de la instrumentación virtual. El software para el desarrollo de aplicaciones utilizado es LabVIEW 8.0.

Algunas de las ventajas de emplear LabVIEW para el desarrollo del software encargado de controlar el sistema de monitoreo son:

- Reducción en el tiempo de desarrollo de aplicaciones.
- Da gran flexibilidad al desarrollo de la aplicación, es decir, permite cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.

- En un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes de programación.

Los programas desarrollados en LabVIEW reciben el nombre de instrumentos virtuales (VIs), esto debido a que su apariencia y funcionamiento imitan a los de un instrumento real. Sin embargo, los VIs son análogos a las funciones creadas en algún otro lenguaje de programación existente. Los VIs están conformados por dos elementos principales: una parte con la que el usuario interactúa, denominado panel frontal, y otra parte correspondiente al código fuente, denominado diagrama de bloques.

3.4.3. Panel Frontal del sistema de monitoreo

El panel frontal es la parte del instrumento virtual con la que interactúa el usuario. Este estará conformado básicamente por 2 paneles frontales; uno primario o de configuración y otro secundario o de despliegue de información. El primero está formado por 3 páginas, definidas en el programa como *Page 1*, *Page 2*, *Page 3*. Cada una de estas páginas contiene los siguientes elementos:

Page 1

Es una página de presentación que contiene una imagen del logo del Instituto de Ingeniería y unos controles que muestran la hora y la fecha. Ver figura 3.39.



Figura 3.39. Página 1 del panel frontal principal.

Page 2

Pantalla con los elementos principales para la configuración de la aplicación. En ésta se tiene la opción de definir las condiciones de arranque del programa, activar la parte del programa encargada de la visualización de los datos adquiridos (segundo panel frontal), detener la adquisición de datos, para definir nuevas condiciones de arranque, y un botón para parar el programa, figura 3.40.



Figura 3.40. Página 2 del panel frontal principal.

Page 3

Esta pantalla contiene un código de colores que permite identificar cierto tipo de sensor dentro del panel frontal secundario, que es el encargado de mostrar información almacenada hasta el momento. Ver figura 3.41.

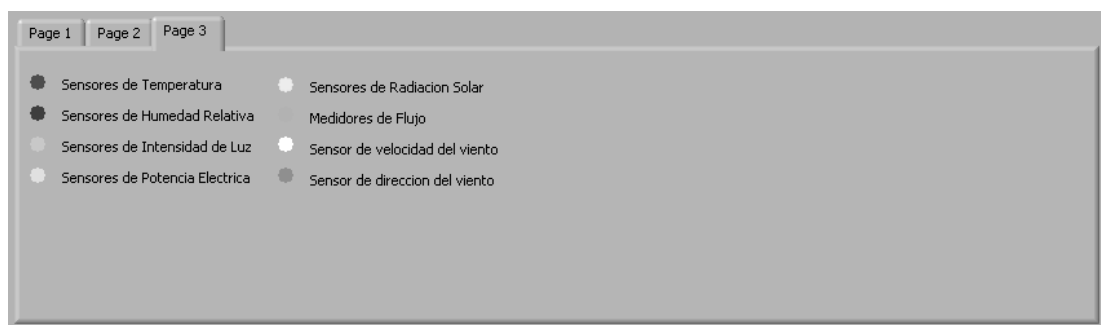


Figura 3.41. Página 3 del panel frontal principal.

El panel frontal secundario está conformado igualmente por páginas, éstas llevan por nombre cubículos, aulas, muros y ventanas, piso, sistema de calefacción, ambientales y funcionamiento del sistema; cada una de estas páginas contiene displays que muestran el último valor adquirido para una determinada variable, botones que representan la ubicación de los diversos sensores alrededor del edificio, y que, al ser pulsados, despliegan en un gráfico la información recabada hasta el momento para ese sensor. Estos elementos estarán superpuestos sobre una imagen de los planos de las diferentes áreas a monitorear en el edificio. Ver figuras 3.42 a 3.47.

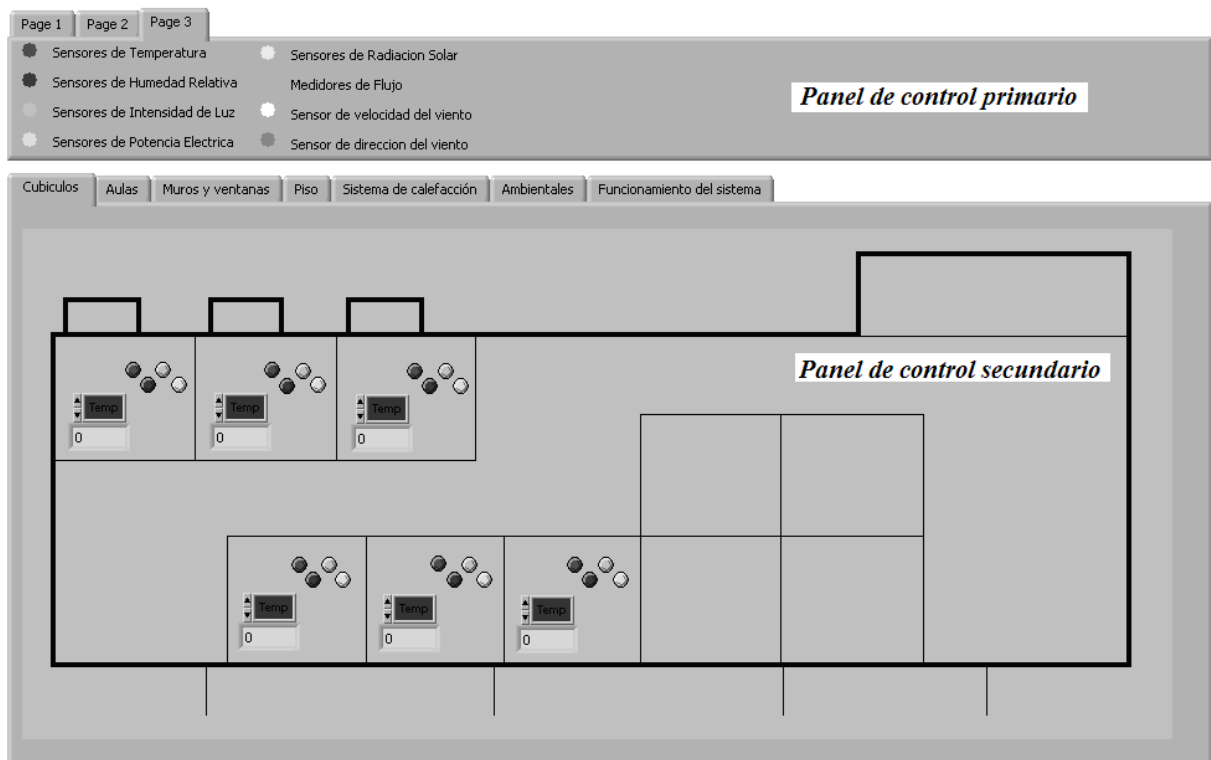


Figura 3.42. Cubículos.

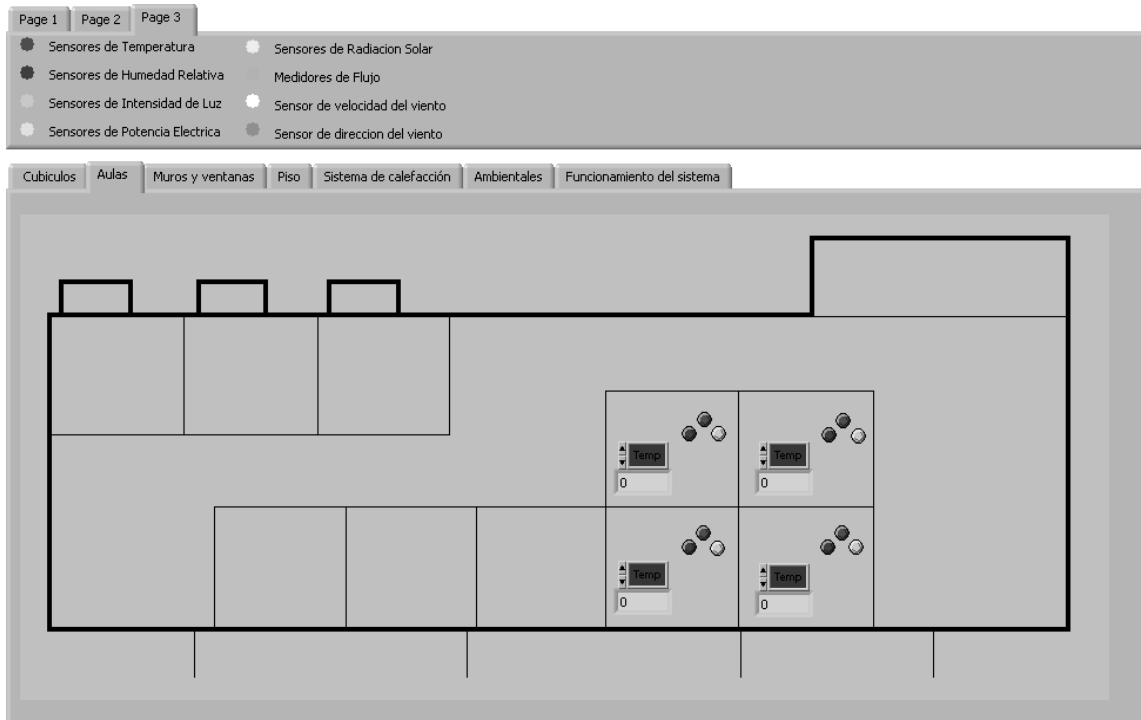


Figura 3.43. Aulas.

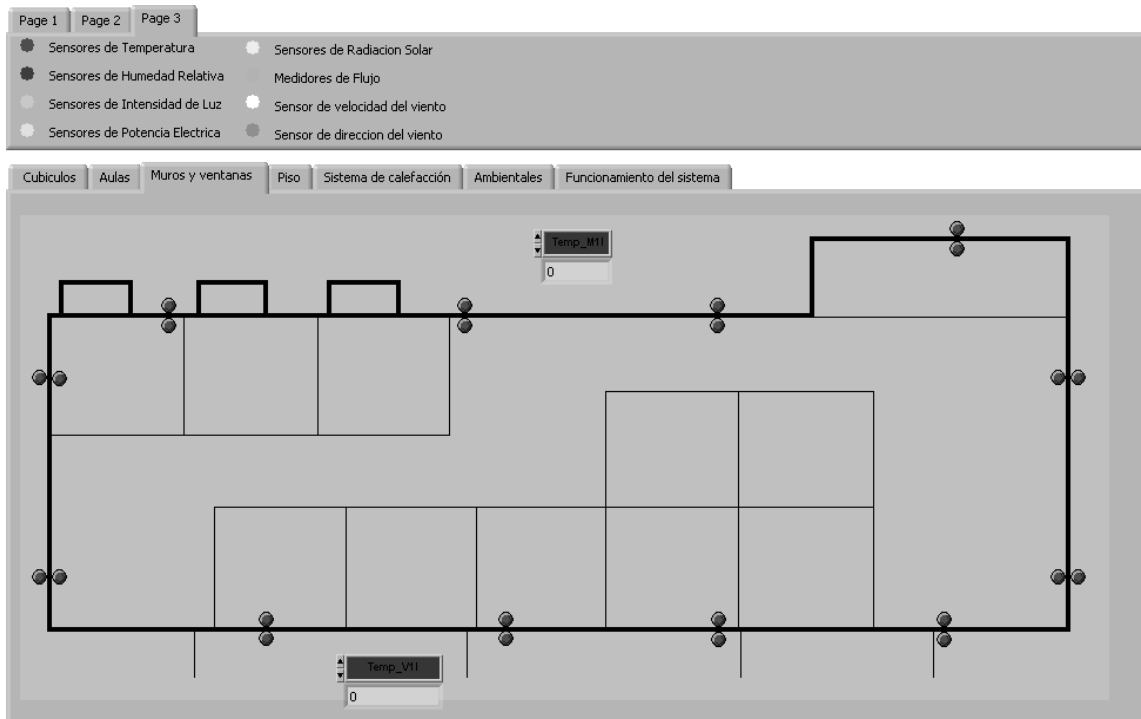


Figura 3.44. Muros y ventanas.

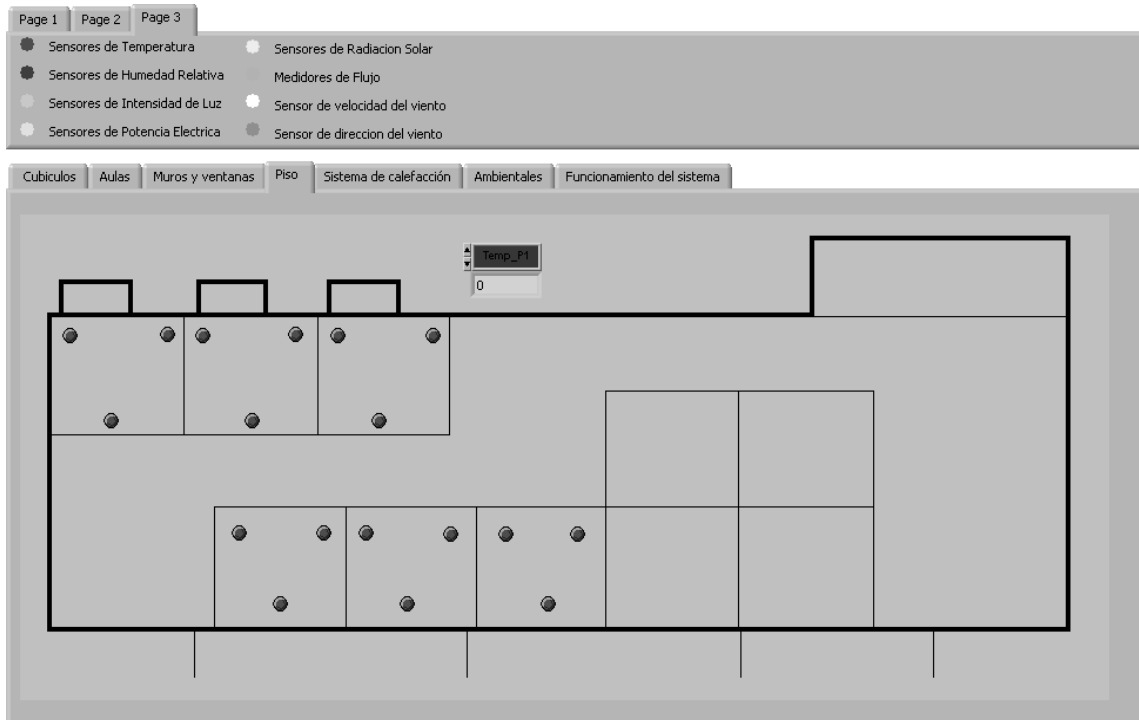


Figura 3.45. Piso.

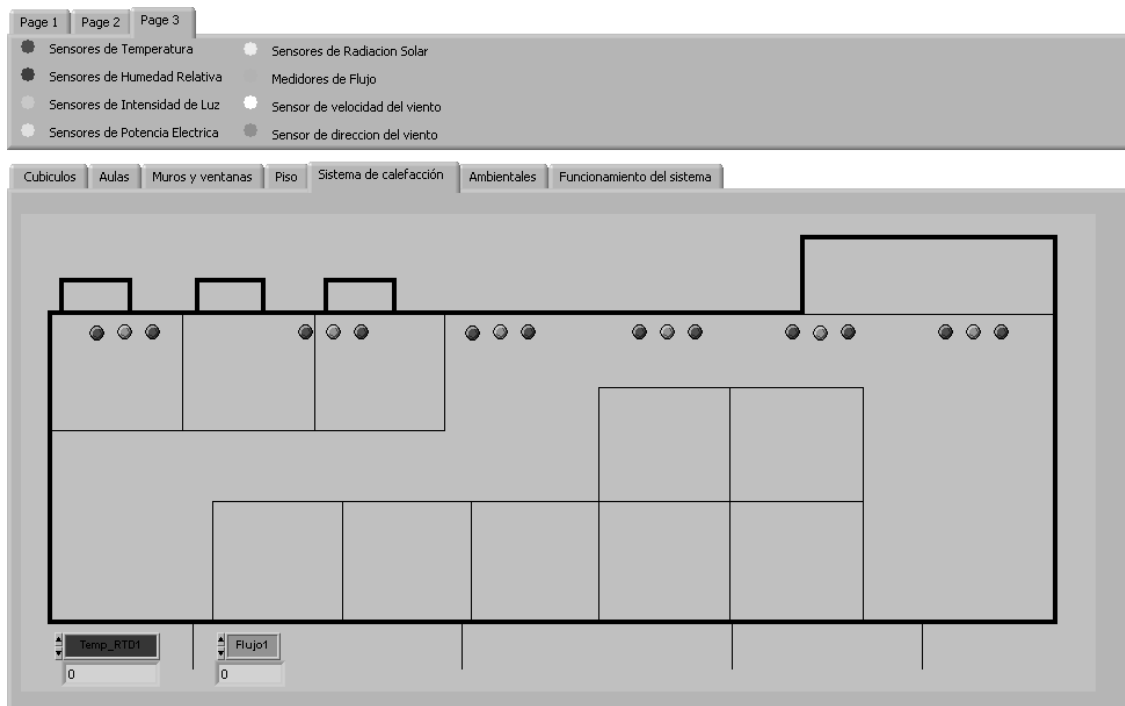


Figura 3.46. Sistema de calefacción.

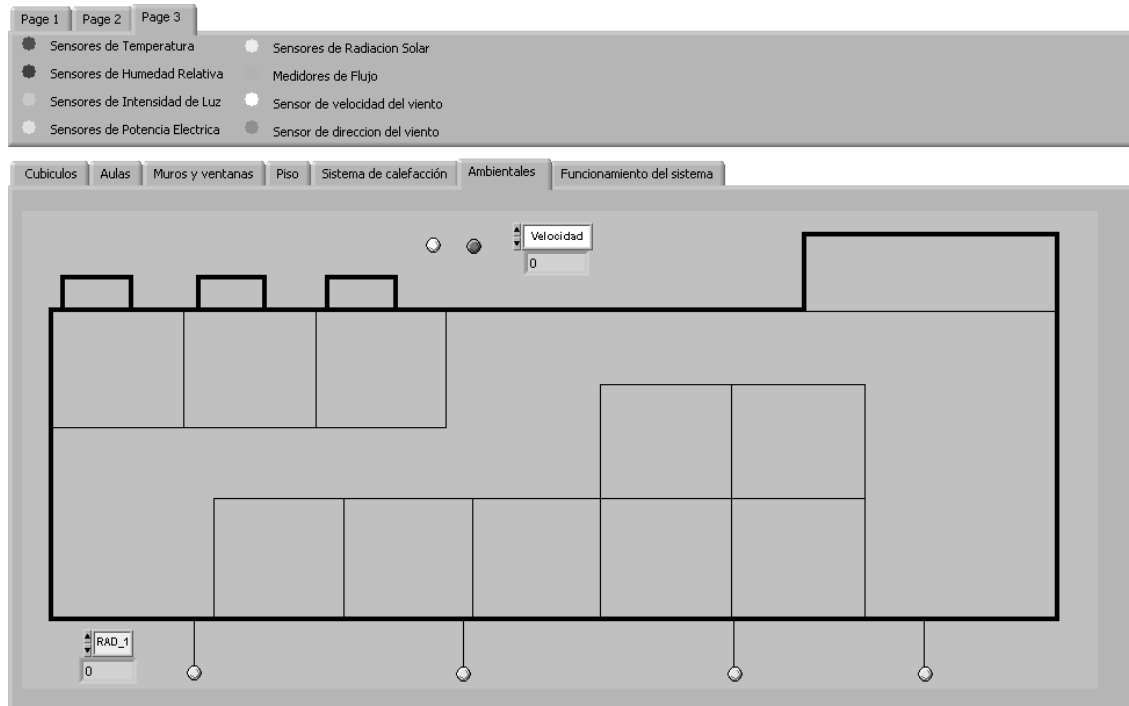


Figura 3.47. Ambientales.

Las figuras 3.42 a 3.47 muestran las vistas a las que se puede tener acceso en el panel frontal del sistema de monitoreo. Cabe mencionar que este agrupamiento se considera también en el diagrama de bloques y en los reportes generados.

Una vez definida la apariencia y funciones que debe desempeñar el panel frontal, se procedió a la programación del instrumento virtual, es decir, el desarrollo del código fuente de la aplicación, que es el encargado de gobernar las actividades que se muestran en el panel frontal, esta parte se realiza en lo que LabVIEW denomina diagrama de bloques.

3.4.4. Condiciones de arranque

Para comenzar con el proceso de adquisición de datos el programa requiere de los parámetros de arranque, *Page 2*, que deberán ser proporcionados por el usuario, dichos parámetros se listan a continuación.

- Tiempo de inicio de la adquisición
- Razón de muestreo
- Duración de la prueba (tiempo de adquisición)

Con la información proporcionada en esta parte del programa se calcula el número de muestras, parámetro que posteriormente nos permitirá actuar en varios puntos del programa, figura 3.48. Esta parte del programa se encarga de determinar si las condiciones de prueba que solicita el usuario son adecuadas, ya que dada la cantidad de sensores y especificaciones del hardware, la razón de muestreo del sistema de monitoreo no puede ser inferior a 8.46s, como se explicará con más detalle en el apartado correspondiente a la adquisición de datos.

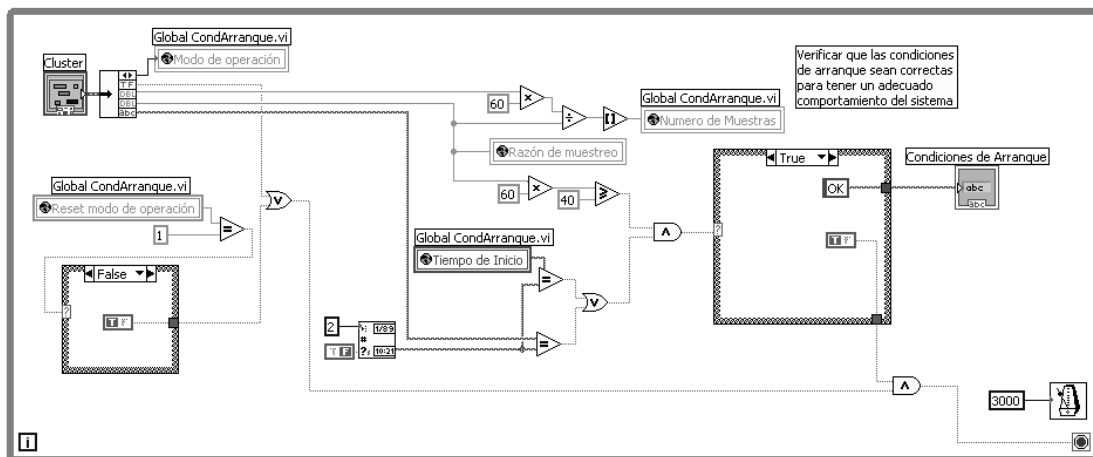


Figura 3.48. Verificación de las condiciones de arranque.

Otra de las tareas que realiza esta parte del programa es sincronizar el sistema de monitoreo con el tiempo de inicio de prueba definido por el usuario. El VI no pasa de este bloque si las condiciones de arranque no son adecuadas.

Los parámetros de entrada que solicita el programa en esta parte de su ejecución son:

- Razón de muestreo en minutos.
- Duración de la prueba en horas.

- Tiempo de inicio de la prueba, con el formato que aparece en la parte inferior derecha en la pantalla de Windows (por ejemplo: 12:34 p.m., 04:15 a.m.).

Una vez introducidos los valores adecuados para el proceso de adquisición es necesario presionar el botón *OK*, mientras no se presione este botón el programa no empezará con el proceso de adquisición. Ver figura 3.40.

Si ya se han introducido los parámetros mencionados anteriormente, y por alguna razón se desea cambiarlos, es necesario activar el interruptor llamado *Detener adquisición*, ubicado en la pantalla de controles principales del panel frontal, en la segunda pestaña. Este interruptor sólo opera en esta parte del diagrama de bloques, presionarlo en cualquier otro punto de la ejecución del programa no producirá ningún efecto.

3.4.5. Creación de las carpetas de trabajo

Una vez que se alcanza el tiempo de inicio de la prueba, y las condiciones de arranque proporcionadas por el usuario dan una razón de muestreo válida, el diagrama de bloques pasa a verificar que en la computadora existan las carpetas de trabajo, de lo contrario crea unas nuevas.

Cuando el programa se encuentra en ejecución necesita de dos carpetas, llamadas *Reportes* y *Mediciones*, que es donde el VI almacena archivos de datos que le sirven para mostrar informaron solicitada por el panel frontal y para la generación de reportes. En caso de que estas carpetas no existan en la dirección solicitada en la computadora, el programa las crea automáticamente.

La figura 3.49 muestra la parte del diagrama de bloques encargada de verificar la existencia de la carpeta de trabajo llamada *Mediciones*, en caso de que ésta no se encuentre en la ubicación requerida, el programa se encarga de la creación de dicha carpeta. Para la carpeta *Reportes* se procede de la misma manera.

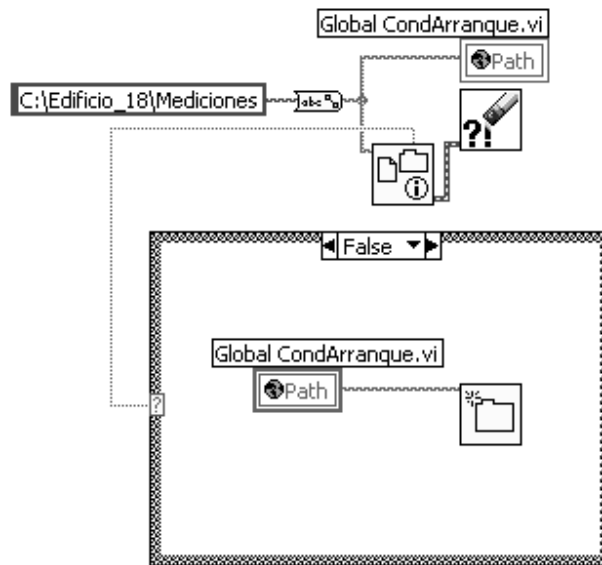


Figura 3.49. Generación de carpetas.

Una vez que el programa cuenta con las carpetas de trabajo, procede a realizar la primera toma de muestras, además de inicializar algunos contadores necesarios para la operación del mismo.

3.4.6. Adquisición de datos

En esta parte del programa se realiza la lectura, procesamiento y almacenamiento de la información proveniente de los diversos sensores.

Para que el sistema vuelva a solicitar información a los módulos de entrada analógica es necesario esperar un periodo de tiempo definido por la razón de muestreo.

Razón de muestreo

La razón de muestreo de los módulos de entrada analógica queda determinada por los filtros y márgenes de entrada que se elijan, como se comentó brevemente en el apartado 3.3.8. Mientras mayor sea la frecuencia del filtro seleccionado, y se manejen menos márgenes de entrada, se podrán conseguir razones de muestreo más altas.

De acuerdo con el manual de los módulos de entrada analógica, la razón de muestreo se encuentra definida por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} & (\text{Número de canales con filtro de 50 Hz}) \times 0.061 \text{ s} + \\ & (\text{Número de rangos de entrada con filtro de 50 Hz}) \times 0.12 \text{ s} + \\ & (\text{Número de canales con filtro de 60 Hz}) \times 0.051 \text{ s} + \\ & (\text{Número de rangos de entrada con filtro de 60 Hz}) \times 0.10 \text{ s} + \\ & (\text{Número de canales con filtro de 500 Hz}) \times 0.007 \text{ s} + \\ & (\text{Número de rangos de entrada con filtro de 500 Hz}) \times 0.012 \text{ s} + 0.16 \text{ s} \end{aligned}$$

= ***Periodo de Muestreo***

Dado que para nuestra aplicación todos los canales de entrada analógica se establecieron con un filtro en 60Hz, y suponiendo en promedio tres rangos diferentes de entrada, también configurados a 60Hz, y un total de 160 canales, se tiene que el periodo de muestreo mínimo debe ser de 8.46s. La razón de muestreo queda determinada por el inverso del periodo de muestreo.

La figura 3.50 muestra la parte del diagrama de bloques encargada de controlar la operación relacionada con la razón de muestreo y solicitar la adquisición de nuevos datos.

Al pasar el tiempo correspondiente a la razón de muestreo el programa pasa a la parte encargada de solicitar información a los módulos de entrada analógica, en esta parte también se incrementa el contador correspondiente al número de muestras adquiridas hasta el momento.

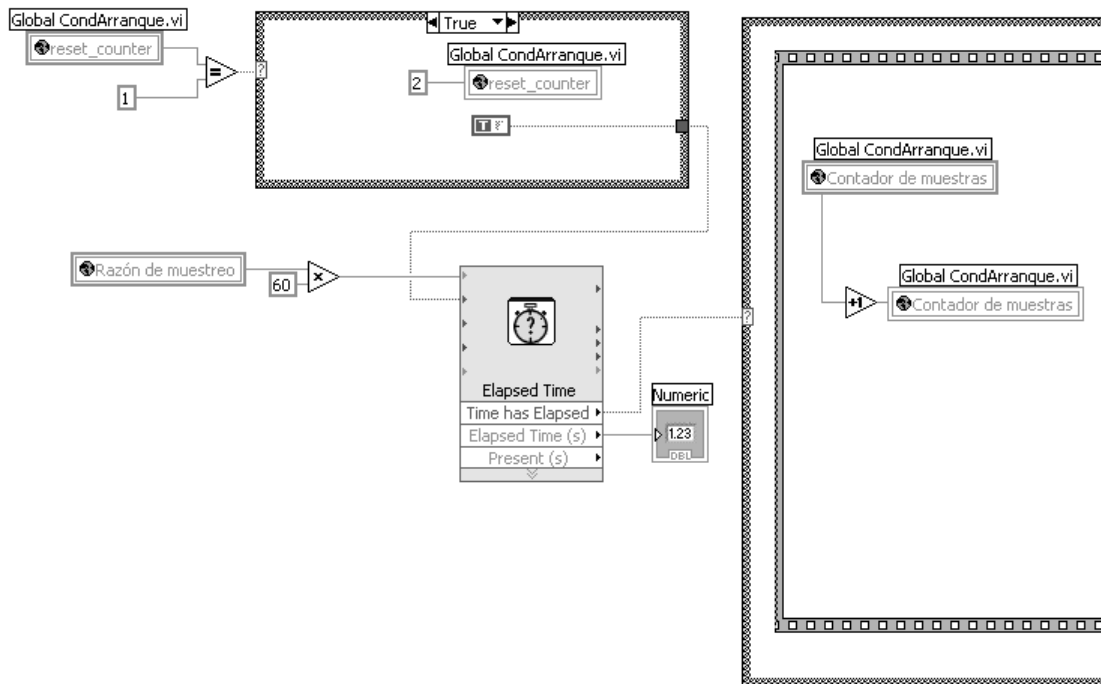


Figura 3.50. Control de la razón de muestreo.

En la figura 3.51 se observa la forma en que se llama al SubVI encargado de realizar la adquisición de datos. Cuando se llama a esta subrutina se deshabilita el *mouse* de la PC, de tal forma que el usuario no puede interactuar con el panel frontal durante el periodo de adquisición; esto se hizo con la finalidad de evitar problemas de acceso a los archivos que contienen las mediciones.

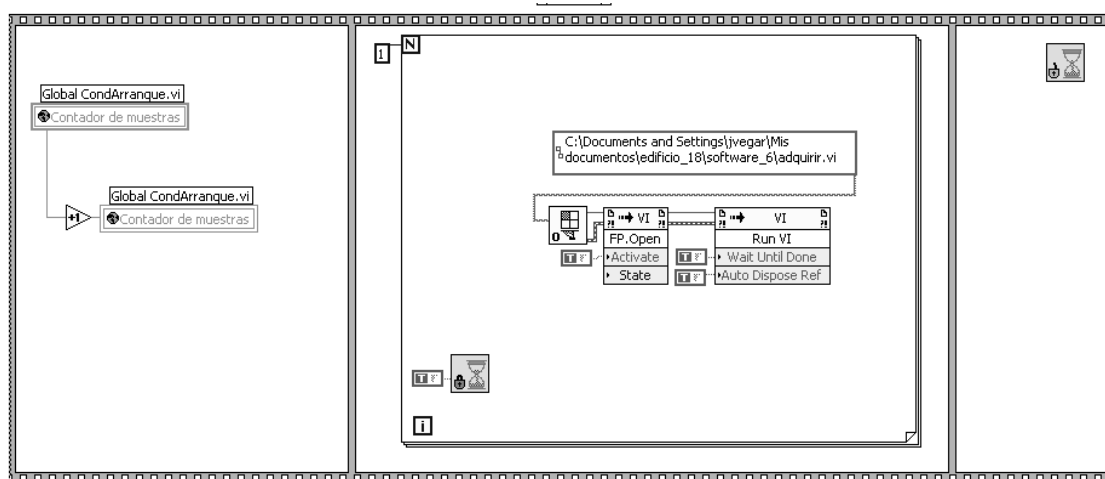


Figura 3.51. Solicitando adquisición de datos.

El SubVI encargado de adquirir los datos se muestra en la figura 3.52. Dicho SubVI está conformado de numerosos bloques con leyendas tales como DAQ XX, en donde, por ejemplo, XX=C1.

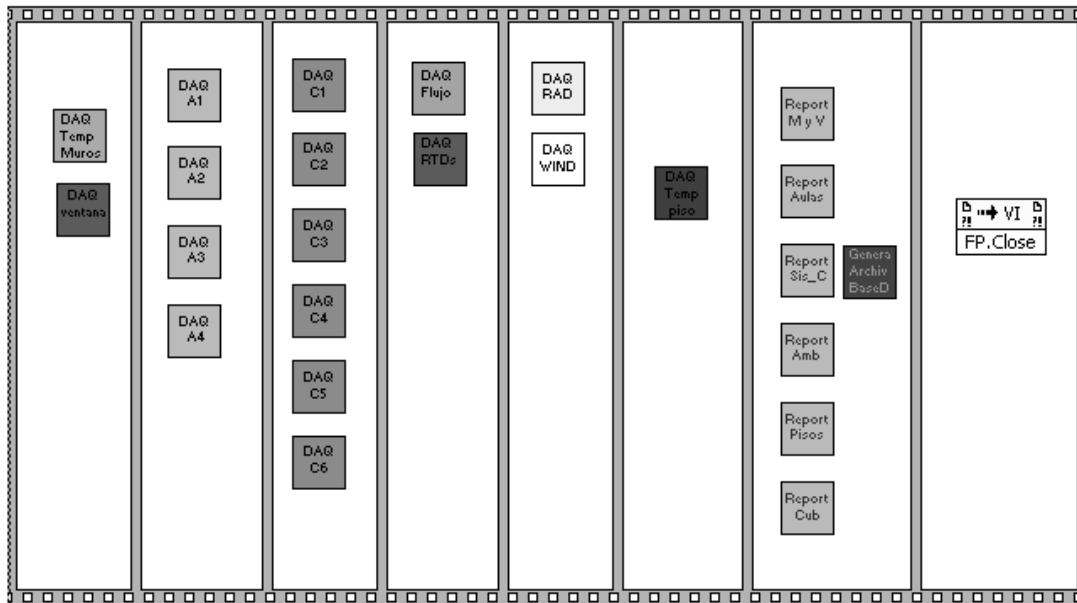


Figura 3.52. Subrutina encargada de la adquisición de datos.

Los SubVIs DAQ XX son los encargados de solicitar información a los módulos de entrada analógica, procesar el valor leído y almacenarlo en un archivo determinado.

A manera de ejemplo, en la figura 3.53 se muestra el diagrama de bloques correspondiente al SubVI llamado DAQ C1. Esta parte del programa se encarga de agrupar las lecturas tomadas en arreglos y de almacenarlas en el disco duro, en la carpeta mediciones.

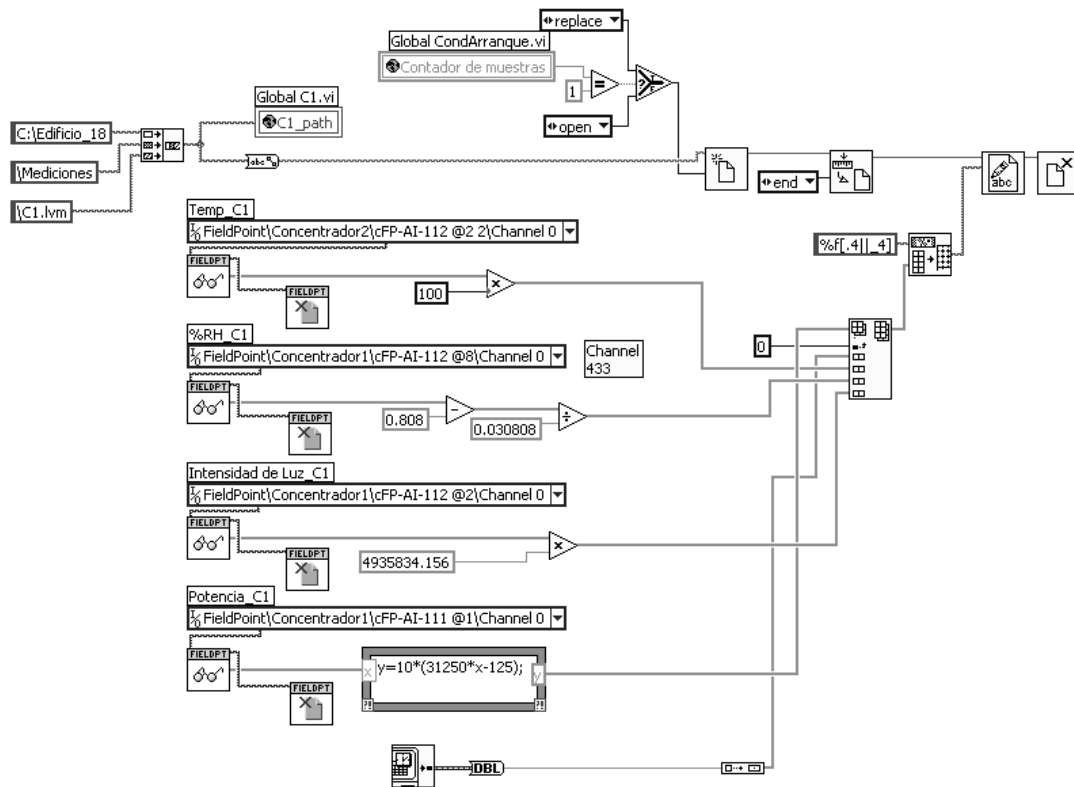


Figura 3.53. Subrutina encargada de la lectura y almacenamiento de los datos.

En el SubVI mostrado en la figura 3.52 también se solicita la generación de reportes en formato *html*, que contienen la información recabada hasta ese momento por el sistema de adquisición de datos. Estos documentos se encuentran disponibles en la carpeta llamada reportes, creada por la aplicación misma.

Este SubVI también se encarga de reiniciar los archivos de datos; esta tarea se lleva a cabo al finalizar el proceso de adquisición, definido por el usuario, de tal manera que en la siguiente prueba dichos archivos ya han sido limpiados.

En estos bloques también se realizan operaciones sobre las lecturas tomadas por los módulos de entrada analógica, tales como multiplicar el valor adquirido por una constante, por ejemplo. Estas operaciones, de ser necesarias, son propias de cada sensor. En el apartado correspondiente a cada sensor, o en el apéndice que contiene los datos técnicos completos de

cada sensor utilizado, vienen especificadas las operaciones que hay que realizar sobre la lectura de voltaje o corriente entregada por cada sensor, a fin de poder registrar las variables físicas como nos interesan (watts, m/s, °C, %RH, etcétera).

3.4.7. Despliegue de información

Cuando el usuario así lo desee, puede solicitar y ver la información relacionada con el comportamiento de una cierta variable dentro del edificio, esto se logra al presionar el interruptor *visualizar datos*, ver figura 3.40. La información es presentada en *displays* o en históricos mediante gráficas.

En la figura 3.54a se muestran los controles ubicados en el panel frontal encargado de la visualización, como ya se mencionó esto tiene lugar en el panel frontal secundario, que son a los que el usuario tiene acceso, y su correspondiente diagrama de bloques, ver figura 3.54b; la relación A muestra la correspondencia existente entre el panel frontal y el diagrama de bloque para los *displays*, mientras que las relación B y C muestran la misma correspondencia para los botones y los anillos de imágenes respectivamente.

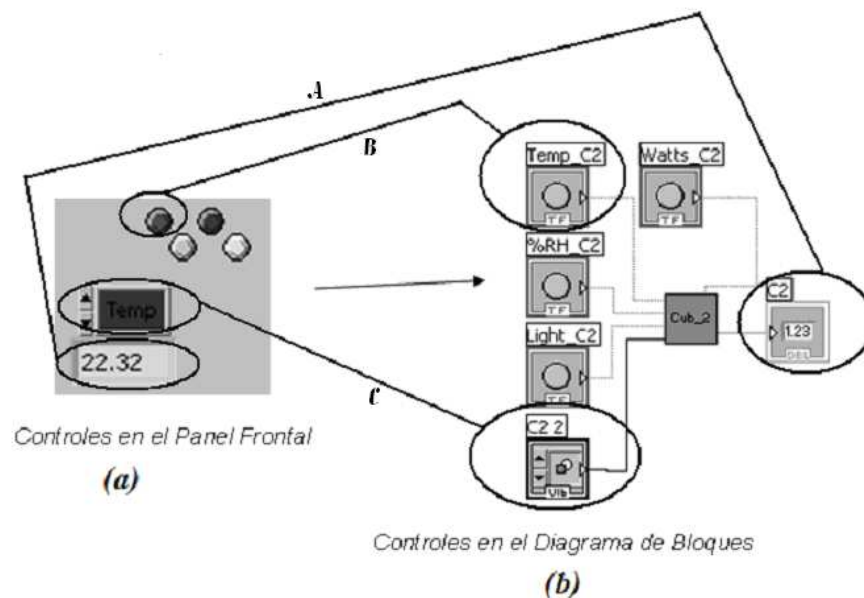


Figura 3.54. Controles para solicitar el despliegue de información.

Los controles en el diagrama de bloques se encuentran agrupados de acuerdo a la distribución que se tiene en el panel frontal secundario, ver figura 3.42 a 3.47, un ejemplo de esta correlación entre panel frontal y diagrama de bloques se muestra en las figuras 3.55 para el área de cubículos.

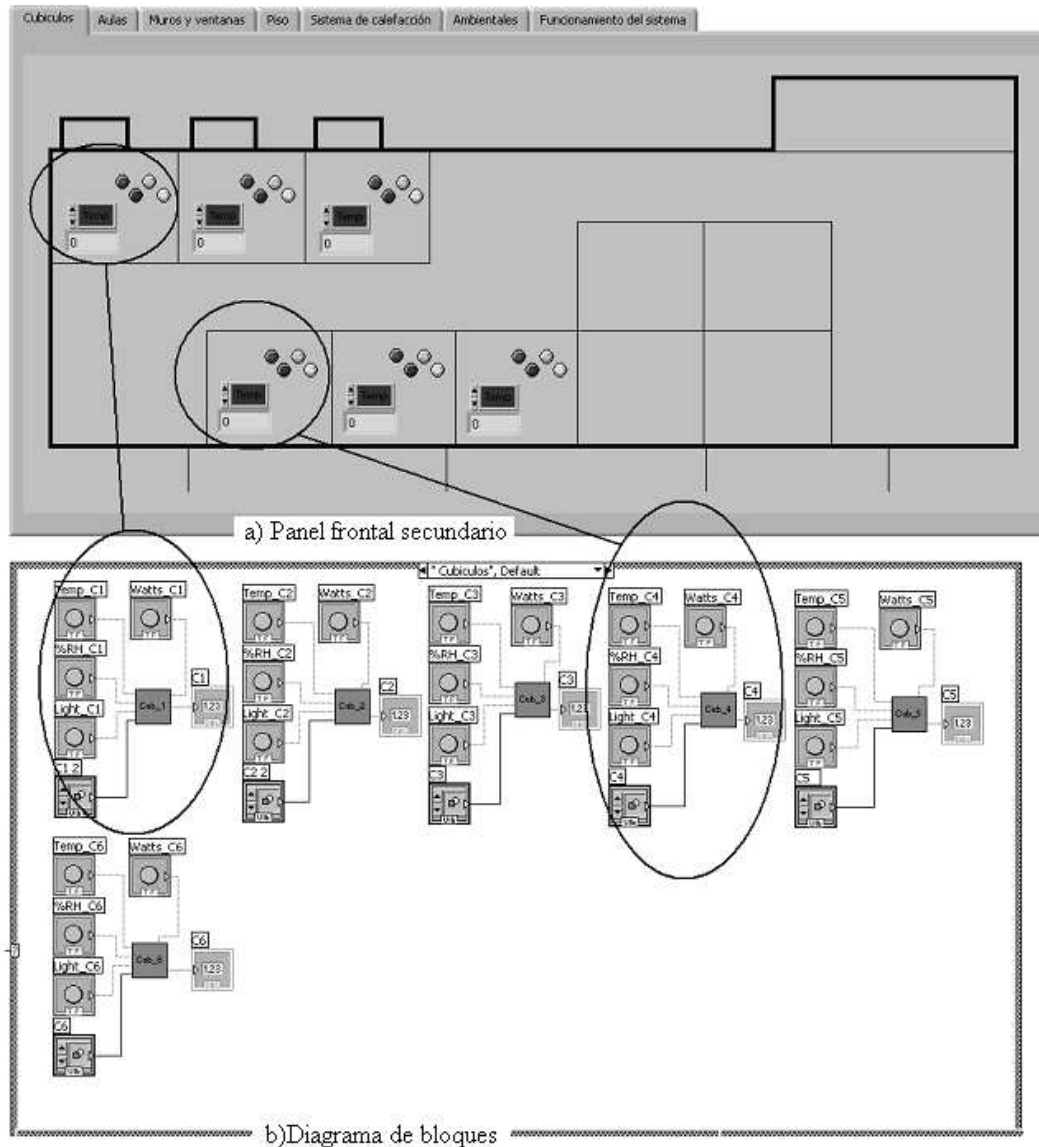


Figura 3.55. Cubículos.

En la parte que corresponde al diagrama de bloques de cubículos, figura 3.55b, nuevamente se pueden apreciar SubVIs, en este caso denominados Cub_X, conectados a los controles del panel frontal secundario. Estos SubVI's son los encargados de seleccionar que

información se desplegará en los *displays* ubicados en las pantallas del panel frontal secundario, también deciden que gráfico mostrar y cual no, estos gráficos están formados por todos los valores que han sido adquiridos, desde que se inicio la prueba hasta el momento en que fue accionado el control correspondiente a la variable solicitada (botones en el panel frontal secundario). En la figura 3.56 se muestra el diagrama de bloques del SubVI Cub_1.

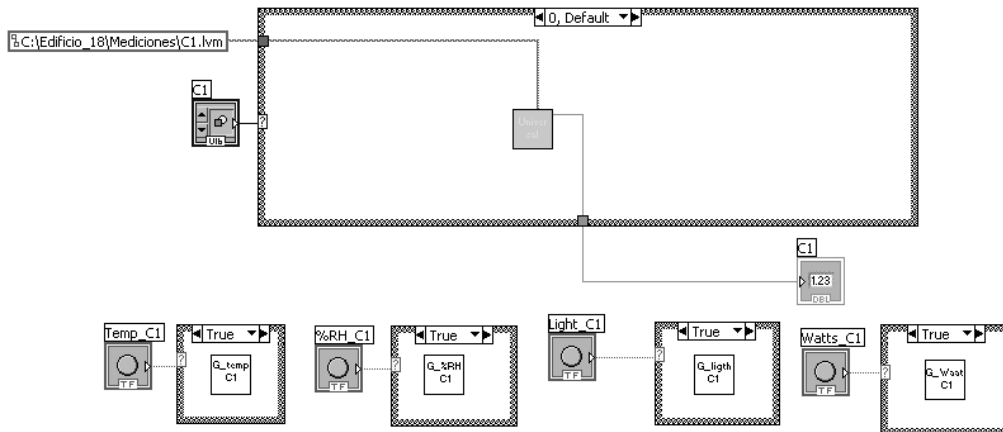


Figura 3.56. Subrutina encargada de desplegar gráficos e información en los displays.

La figura 3.57a muestra un ejemplo de la gráfica que se obtiene al accionar el control correspondiente a la temperatura del cubículo 1 (botón Temp_C1 de la figura 3.56), mientras que en la figura 3.57b se muestra el consumo de potencia en watts dentro del cubículo 2. Por otra parte la figura 3.57c muestra la página correspondiente al área de cubículos con datos en los displays.

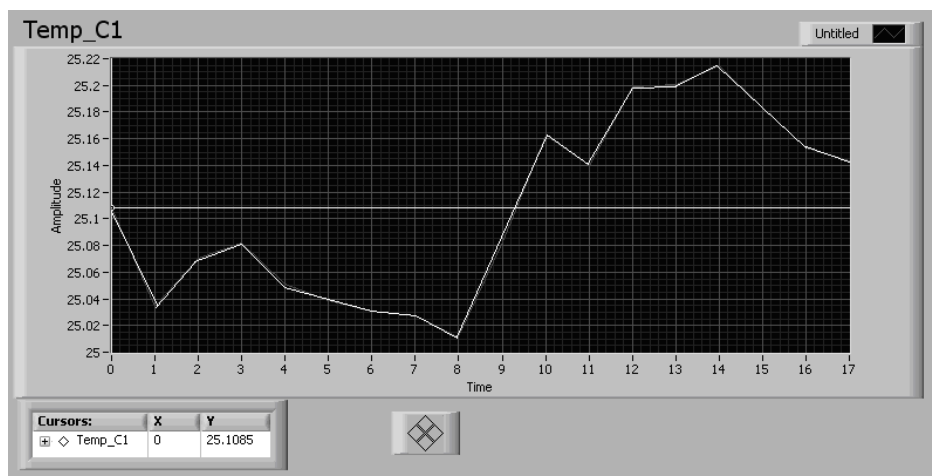


Figura 3.57a. Gráfico de la temperatura en el cubículo 1.

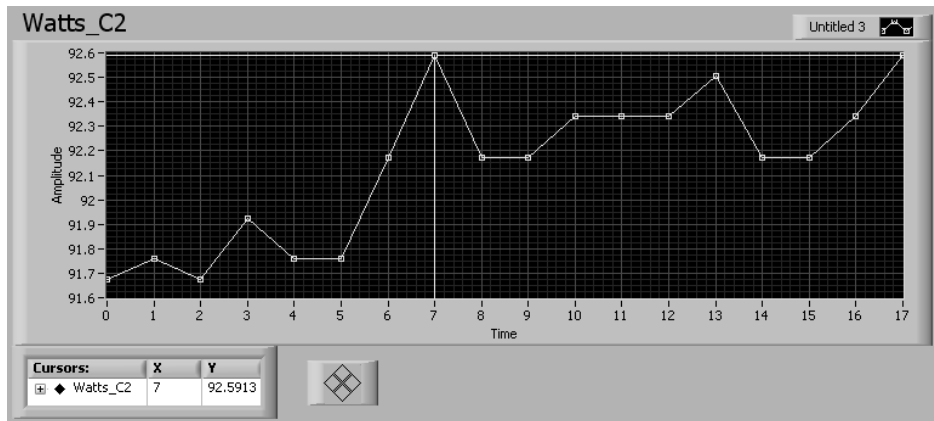


Figura 3.57b. Gráfico de la potencia eléctrica consumida en el cubículo 2.

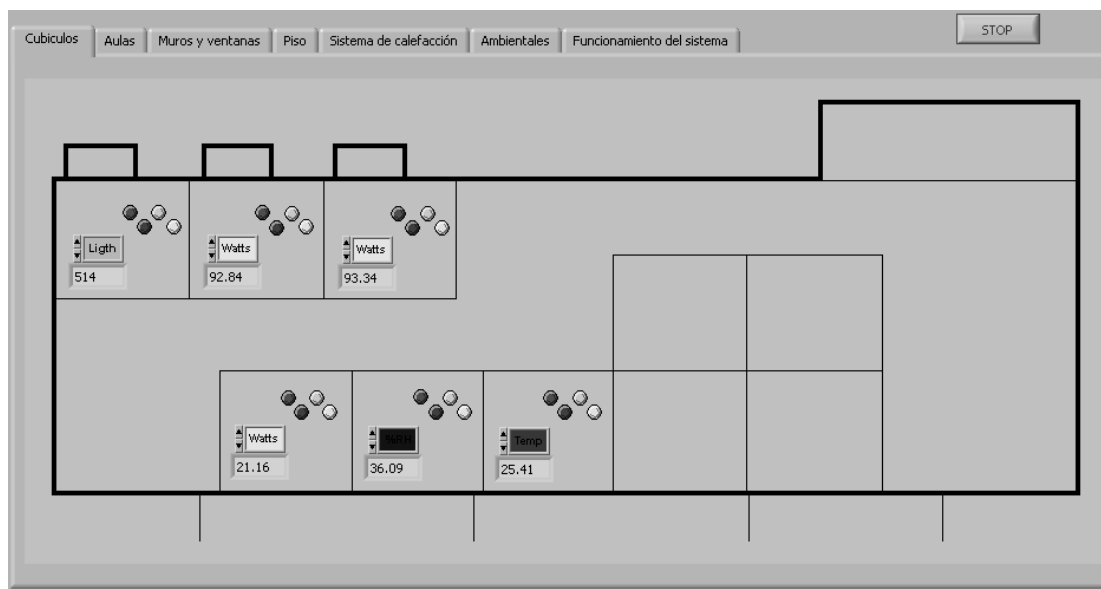


Figura 3.57c. Despliegue del último valor adquirido en los diversos displays.

Antes de poder desplegar la información, ya sea en *displays* o en gráficas, es necesario cargar los datos adquiridos hasta el momento. Para el caso de la información mostrada en los displays el SubVI encargado de cargar los datos se muestra en la figura 3.58a, mientras que para las gráficas se muestra en la figura 3.58b.

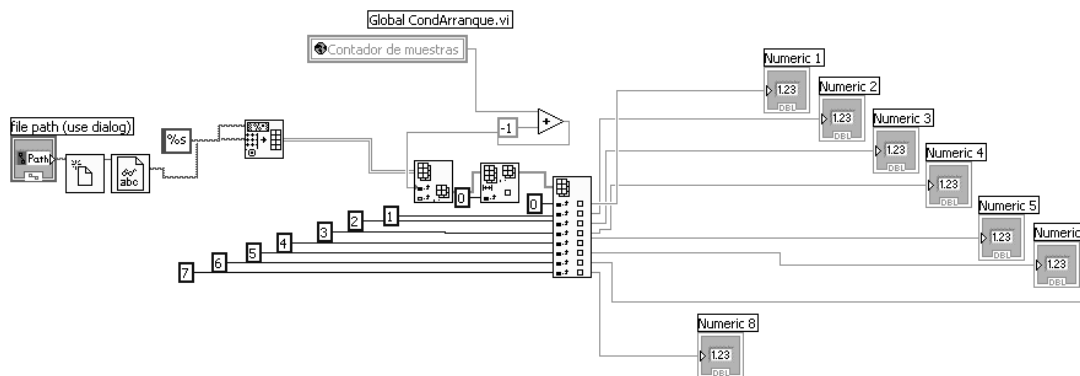


Figura 3.58a. SubVI encargado de cargar los datos en los displays.

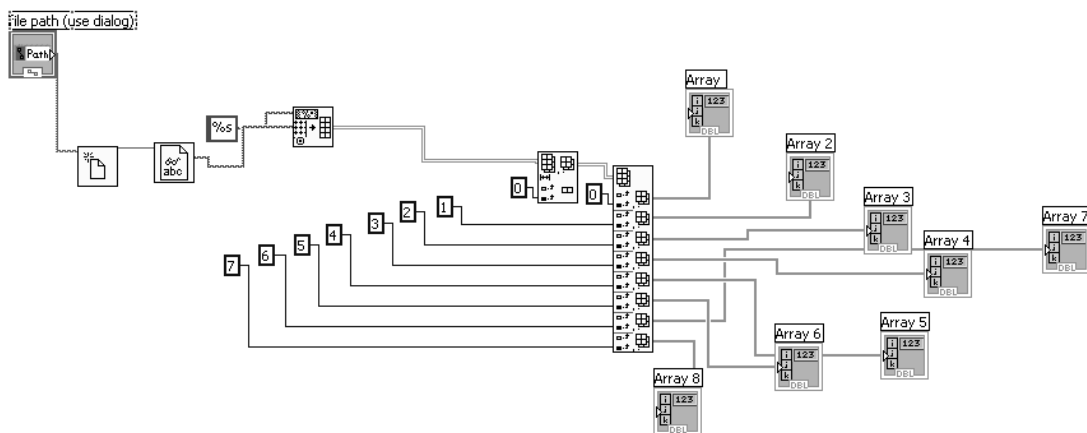


Figura 3.58b. SubVI encargado de cargar los datos en las graficas.

3.3.8. Generación de reportes

Los reportes se generan una vez alcanzado el número de muestreos solicitado por el usuario, una vez que se alcanza la hora límite (11:55 p.m.), como se muestra en la figura 3.59, y cada vez que se adquieren nuevos datos como se muestra en la figura 3.52. Estos reportes se generan de tal manera que coinciden con la forma en que los sensores fueron agrupados en el panel frontal, por lo que tendremos un total de seis reportes.

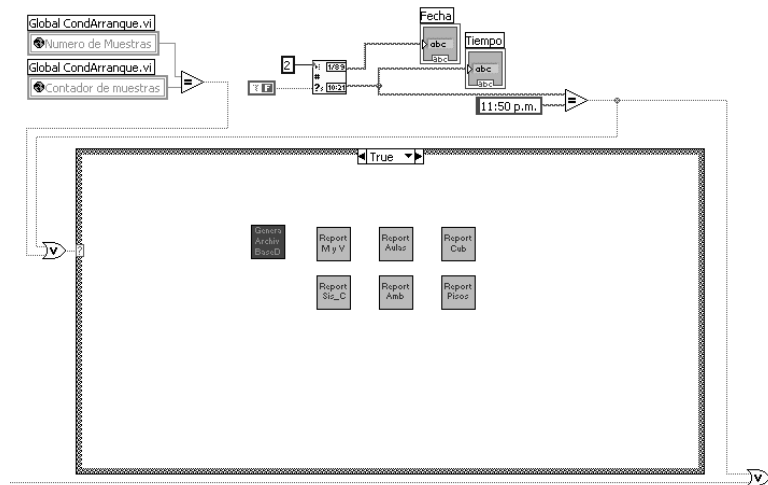


Figura 3.59. Generación de la última serie de reportes al alcanzar la hora límite.

A modo de ejemplo, la figura 3.60 muestra la parte encargada de insertar los encabezados, figuras y datos recabados en el cubículo 1, dentro del reporte correspondiente a los cubículos.

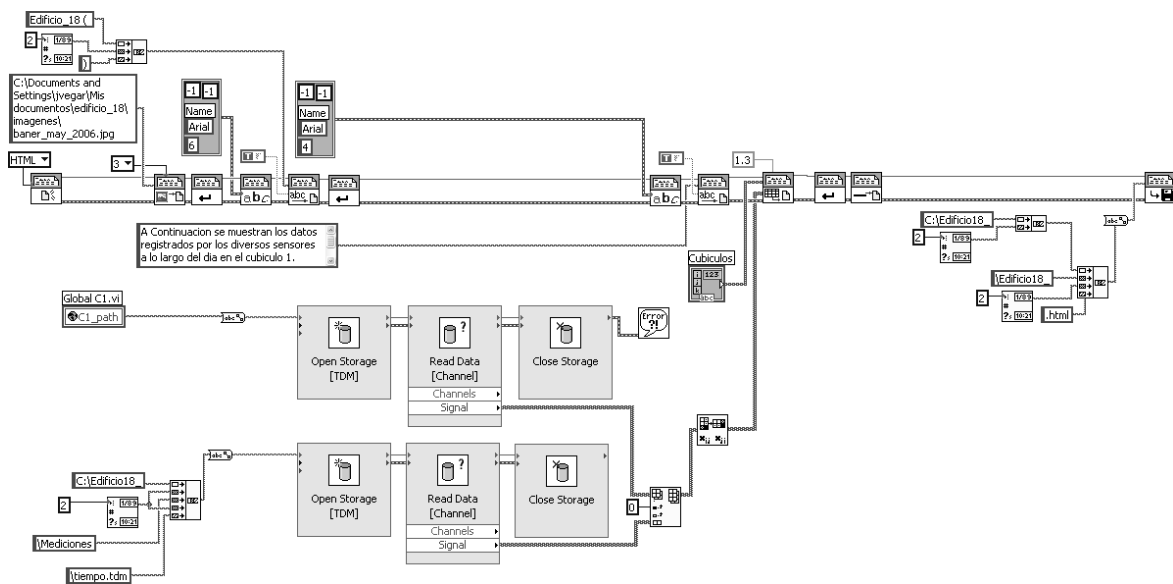


Figura 3.60. Estructura básica del SubVI encargado de la generación de reportes.

En el capítulo correspondiente a las pruebas realizadas se muestran ejemplos de reportes completos.

Finalmente, la figura 3.61a muestra una parte del reporte correspondiente a los cubículos del edificio, mientras que la figura 3.61b muestra una parte del reporte correspondiente al sistema de calefacción del edificio.



Edificio_18 (Vie, 22 de Jun de 2007)

A Continuacion se muestran los datos registrados por los diversos sensores a lo largo del día en el cubiculo 1.

Tiempo	Temperatura	Humedad Relativa	Intensidad de Luz	Potencia Eléctrica
03:22 p.m.	25.108537	33.543356	465.128052	748.490770
03:23 p.m.	25.033951	33.028254	465.128052	749.742526
03:24 p.m.	25.070450	33.417159	513.965027	748.741063
03:25 p.m.	25.081560	33.138997	465.128052	750.493696
03:26 p.m.	25.051406	32.507995	465.128052	749.158412
03:27 p.m.	25.038713	32.340588	513.965027	749.325323
03:28 p.m.	25.030777	32.507995	465.128052	753.247355
03:29 p.m.	25.027603	32.881445	465.128052	757.419826
03:30 p.m.	25.011733	32.860840	465.128052	750.076347
03:31 p.m.	25.083145	32.353465	513.965027	752.496331

Figura 3.61a. Reporte final en formato HTML de la zona de cubículos.



Edificio_18 (Vie, 22 de Jun de 2007)

A Continuacion se muestran los datos registrados por los diversos sensores a lo largo del día en el cubiculo 1.

Tiempo	RTD1	RTD2	RTD3	RTD4	RTD5	RTD6
03:22 p.m.	26.300356	26.639153	26.270315	27.159867	26.791029	26.293679
03:23 p.m.	26.440543	26.647495	26.230262	27.058056	26.791029	26.278662
03:24 p.m.	26.358773	26.645830	26.260303	27.058056	26.789358	26.385473
03:25 p.m.	26.465584	26.677541	26.300356	27.063068	26.847775	26.370449
03:26 p.m.	26.440543	26.781011	26.270315	27.063068	26.796035	26.465584
03:27 p.m.	26.477266	26.772670	26.417178	27.164879	26.934563	26.370449
03:28 p.m.	26.440543	26.784352	26.413843	27.056392	26.847775	26.467249
03:29 p.m.	26.440543	26.814393	26.415514	27.101456	26.971275	26.365444
03:30 p.m.	26.664189	26.872805	26.555707	27.074750	26.796035	26.362108
03:31 p.m.	26.584077	26.819399	26.452231	27.201591	27.023015	26.438878
03:32 p.m.	26.587413	26.916204	26.443884	27.201591	26.986298	26.465584

Figura 3.61b. Reporte final en formato HTML del sistema de calefacción.

Como se puede apreciar el reporte contiene la fecha en que fue generado, las lecturas de las variables y el tiempo en el cual éstas fueron tomadas.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se establece la forma en la que debe realizarse la interconexión de los componentes que conforman el sistema de monitoreo del edificio 18, es decir los sensores, las fuentes de alimentación y el hardware de adquisición de datos. También se presenta el protocolo de pruebas desarrollado para validar la correcta operación del software encargado de gobernar las acciones del sistema de monitoreo.

4.1. Montaje y Pruebas realizadas al sistema de monitoreo

Una de las ventajas que se tuvo al haber elegido realizar la implementación del sistema de monitoreo para el edificio 18 con el software para desarrollo de aplicaciones LabVIEW, y el equipo para realizar la adquisición de datos también de National Instruments, es la posibilidad de hacer pruebas de adquisición de datos prácticamente de manera inmediata con los sensores. La figura 4.1. muestra el montaje que se realizó para llevar a cabo pruebas de adquisición de datos con los diversos sensores que se instalarán en el edificio.

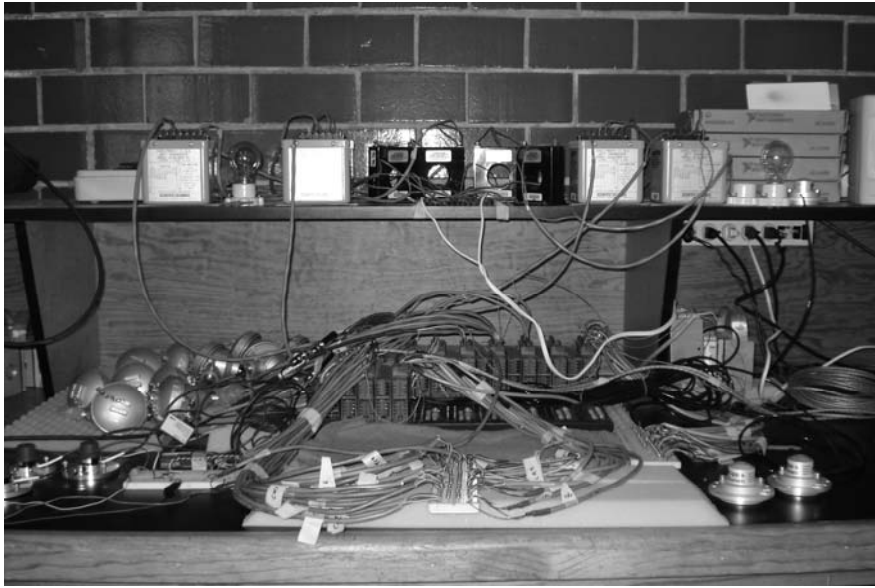


Figura 4.1. Montaje de sensores para pruebas en el laboratorio.

4.2. Pruebas realizadas al hardware

Dado que la adquisición de datos en cuestiones de hardware no es un problema mientras los sensores sean instalados de manera adecuada, las pruebas realizadas se limitan al acondicionamiento de señales y a verificar la distancia máxima a la que se pueden conectar los sensores sin que se sacrifiquen la calidad de las mediciones, debido a la caída de tensión que tiene lugar en los cables que transportan las señales de interés. Ver figura 4.2.

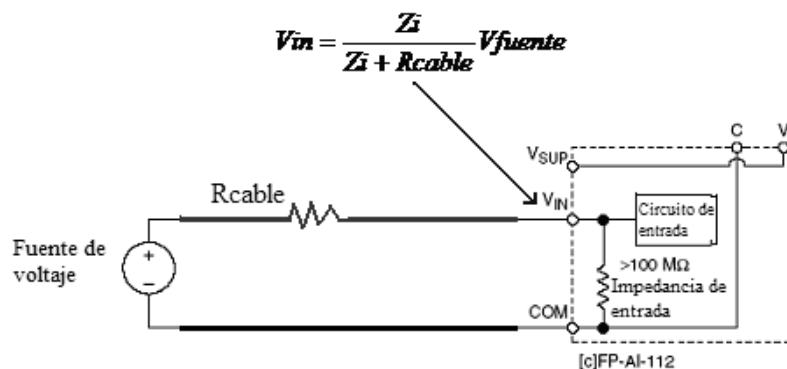


Figura 4.2. Caída de tensión debido a la longitud de los cables.

La figura 4.2. muestra que a medida que la resistencia del cable se va incrementando, la caída de tensión en la resistencia que presenta dicho cable es también mayor, el efecto es todavía más grave si el instrumento que se usa para medir no tiene una impedancia de entrada suficientemente alta.

La caída de tensión se da debido a la resistencia propia del cable que se utiliza para transportar las señales de interés y que además se incrementa conforme la longitud de dicho cable se hace más grande, este fenómeno puede llevar a la necesidad de utilizar etapas de amplificación previas a la conexión con los módulos de entrada analógica, sobre todo con los módulos que manejan señales de tensión (cFP-AI-112), pese a que dichos módulos presentan una impedancia de entrada considerablemente alta ($>100\text{Mohms}$), lo que resulta bastante conveniente.

En los siguientes apartados se muestran las conexiones que requerirán cada uno de los sensores que se instalarán en el edificio; además se comentan los requerimientos especiales que fueron necesarios en algunos casos.

4.3. Sensores de temperatura en circuito integrado

Los sensores de temperatura LM35AH y LM35DZ requieren de una fuente de alimentación para poder funcionar. Este tipo de sensor es el más numeroso dentro del edificio y lo único que hay que garantizar por ese lado, es que la fuente de alimentación pueda suministrar energía a todos estos sensores; la fuente de 5V elegida para la aplicación cumple sin ningún problema este requerimiento. La forma en que se realizaron las conexiones de este sensor se muestran en la figura 4.3.

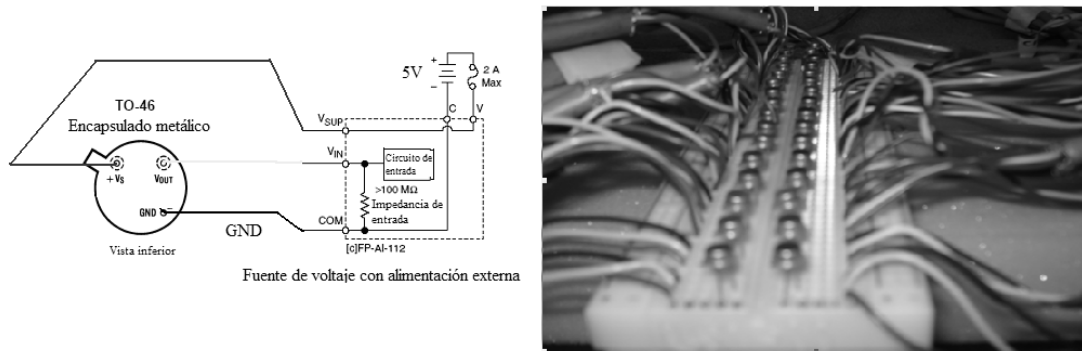


Figura 4.3. Conexión del sensor LM35.

Mientras se conecten correctamente, estos sensores presentarán como salida una señal de tensión del orden de mV que es proporcional a la temperatura, sin embargo pueden existir problemas si el cable que porta la señal de interés entre el sensor y los módulos de entrada analógica son muy largos. Se realizaron pruebas al respecto y no se encontraron problemas al manejar distancias de hasta 30m. La tabla 4.1 muestra el promedio de las lecturas realizadas en las pruebas de caída de tensión para distancias de 5 y 30m. Como se observa, las lecturas coinciden bastante entre sí, por lo que podemos concluir que el fenómeno de caída de tensión, producto del cable utilizado para transportar la señal, no será significativo al momento de realizar su instalación.

Sensor	Cable corto (menos de 5m)	Cable largo (30 m)
LM35AH	0.2356 V	0.2356 V

Tabla 4.1. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas para el LM35.

4.4. RTD

Una de las ventajas de haber elegido adquirir el RTD con la cabeza transmisora M82-800R, es que esta última nos evita realizar el acondicionamiento de señales requerido por estos sensores, es decir, la función de acondicionamiento necesaria ya viene incorporada en dicha cabeza. Otra ventaja es que la cabeza transmisora entrega señales de 4 a 20mA como salida, con este tipo de señales no se tiene el problema de caídas de tensión en el cable que porta la señal de

interés, por lo que la distancia entre el sensor y el sistema de adquisición de datos puede ser mayor que en el caso del ejemplo citado anteriormente. Se realizaron pruebas de hasta 40 m sin que se presentara ningún problema en las mediciones realizadas. La tabla 4.2 muestra el promedio de las lecturas realizadas en las pruebas con este sensor para distancias de 5 y 40m. Como se observa, las lecturas coinciden bastante entre sí, estos resultados sugieren que no se presentarán problemas, producto de la longitud del cable, al momento de realizar la instalación de este grupo de sensores dentro del edificio.

Sensor	Cable corto (menos de 5m)	Cable largo (40 m)
RTD	8.346 mA	8.3478 mA

Tabla 4.2. Resultado de las pruebas realizadas a la RTD.

Los RTDs se alimentan con una fuente de 24 V; la figura 4.4 muestra la forma en la que se debe conectar este sensor al sistema de adquisición de datos.

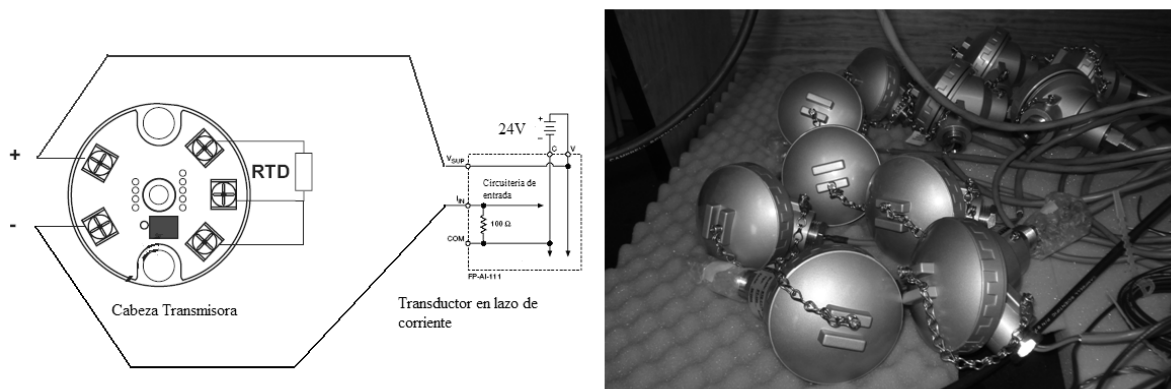


Figura 4.4. Conexión de la RTD y su cabeza transmisora.

4.5. Velocidad y dirección del viento

Como ya se describió anteriormente, el instrumento Wind Sentry 3001-5 incluye una veleta y un anemómetro para realizar mediciones de velocidad y dirección del viento. Para su instalación sólo se debe cuidar que no existan elementos que obstruyan el paso del viento a su

alrededor, es decir, que no existan objetos en la vecindad del sensor a una distancia de aproximadamente 10m.

Veleta

La veleta se alimenta con una fuente de 5 V. Dado que su salida es también una señal de tensión, será necesario cuidar que el cable que porta la señal de interés no sea demasiado largo. La señal de tensión más pequeña que entrega la veleta es de alrededor de 14mV y la más grande es igual al valor de la fuente de alimentación (5 V). Las conexiones que requiere este instrumento de medición se muestran en la figura 4.5. Se realizaron algunas pruebas y no se encuentra conveniente manejar distancias, entre el sensor y los módulos de entrada analógica, mayores a 60 m.

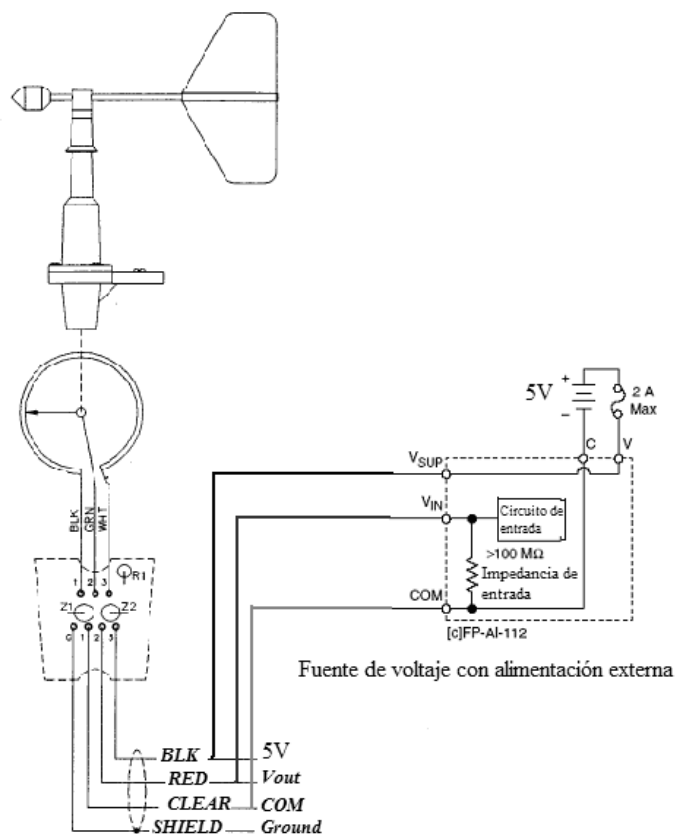


Figura 4.5. Conexiones de la veleta.

La tabla 4.3 muestra el promedio de las lecturas realizadas en las pruebas de caída de tensión para distancias de 5 y 50m. Como se observa, las lecturas coinciden bastante entre sí, por lo que podemos concluir que el fenómeno de caída de tensión, producto del cable utilizado para transportar la señal, no será significativo al momento de realizar su instalación.

Sensor	Cable corto (menos de 5m)	Cable largo (50 m)
Veleta	4.2675 V	4.2688 V

Tabla 4.3. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas a la veleta.

Anemómetro de tazas giratorias

El anemómetro genera una señal sinusoidal cuya frecuencia es proporcional a la velocidad del viento, sin embargo la razón de muestreo máxima de los módulos de entrada analógica no permitirían detectar con fidelidad todas las frecuencias de las sinusoides producidas por el instrumento. Para solucionar este problema se incluyó un convertidor de frecuencia a voltaje de National Instruments y una etapa de preamplificación con una ganancia de 10, construida con un amplificador operacional en configuración no inversora. La etapa de preamplificación fue necesaria debido a que el convertidor de frecuencia a voltaje mencionado requiere que la señal de entrada tenga una amplitud mínima de 100 mV, y esto no sucede cuando las tazas que conforman el anemómetro giran demasiado lento. Las conexiones requeridas para este sensor se muestran en la figura 4.6.

La tabla 4.4 muestra el promedio de las lecturas realizadas en las pruebas de caída de tensión para distancias de 5m y 50m. Como se observa, las lecturas difieren un poco entre sí, sin embargo, dadas las pruebas realizadas a otros sensores que presentan como salida un cierto nivel de tensión, se pueden atribuir dichas variaciones principalmente a la falta de control que se tiene sobre la variable física que sensa este instrumento.

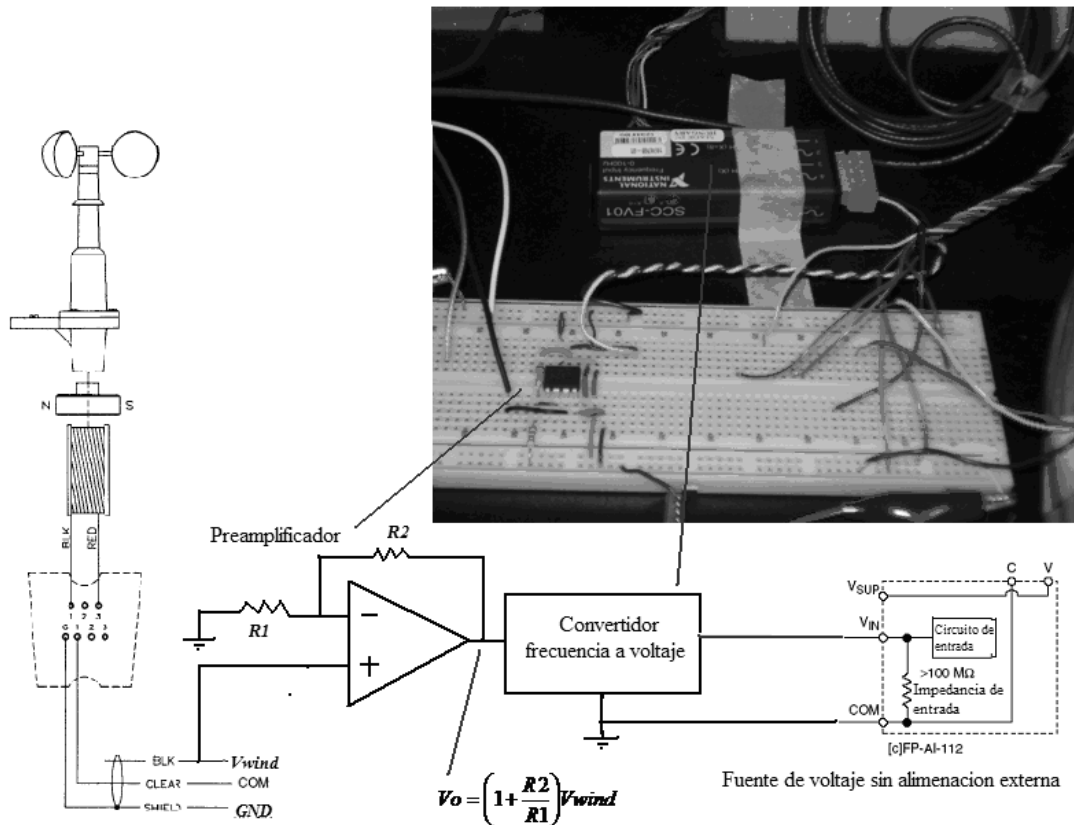


Figura 4.6. Conexiones del anemómetro.

Sensor	Cable corto (menos de 5m)	Cable largo (50 m)
Anemómetro	0.789 V	0.797 V

Tabla 4.4. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas al anemómetro.

4.6. Humedad Relativa

Los sensores de humedad relativa HIH-4000 son alimentados con una fuente de 5V. Como salida presentan una señal de tensión, por lo que están presentes los problemas de caída de tensión en el cable que transporta la señal de interés. La literatura revisada reporta que no es conveniente que la distancia entre sensores de este tipo y el sistema de adquisición de datos supere los 15m. Sin embargo, las pruebas realizadas a los sensores de la serie HIH- 4000 de Honeywell que se emplearán en la instrumentación del edificio 18 nos permiten trabajar con

distancias de hasta 30m. La tabla 4.5 muestra el promedio de las lecturas realizadas en las pruebas de caída de tensión para distancias de 5 y 30m. Como se observa, las lecturas coinciden bastante entre sí, por lo que podemos concluir que el fenómeno de caída de tensión, producto del cable utilizado para transportar la señal, no será significativo al momento de realizar su instalación.

Sensor	Cable corto (menos de 5m)	Cable largo (30 m)
HIH-4000	2.4589 V	2.4582 V

Tabla 4.5. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas al HIH-4000.

Las conexiones requeridas para este sensor se muestran en la figura 4.7.

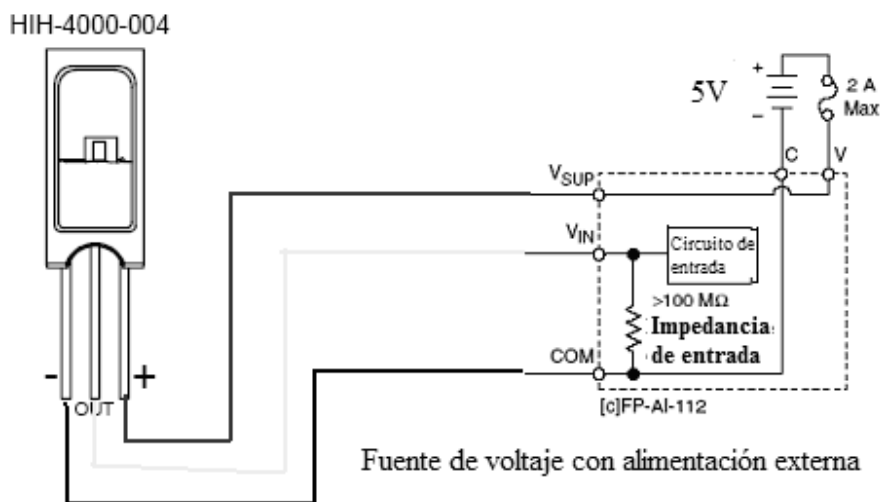


Figura 4.7. Conexiones del sensor HIH4000.

4.7. Fotómetro

El sensor fotométrico LI-210SA no requiere de una fuente de energía externa para su operación, por su construcción este sensor genera una corriente proporcional a la intensidad de luz visible que incide sobre el, la corriente generada puede ser hasta del orden de los uA. Estos niveles tan bajos de corriente no puede se detectados por los módulos de entrada analógica cFP-

AI-111. Para solucionar este inconveniente fue necesario utilizar unos adaptadores del mismo fabricante, para transformar la corriente proveniente del sensor en señales del orden de mV, las cuales pueden ser detectadas sin ningún problema por los módulos de entrada analógica cFP-AI-112. La figura 4.8 muestra las conexiones necesarias para este sensor.

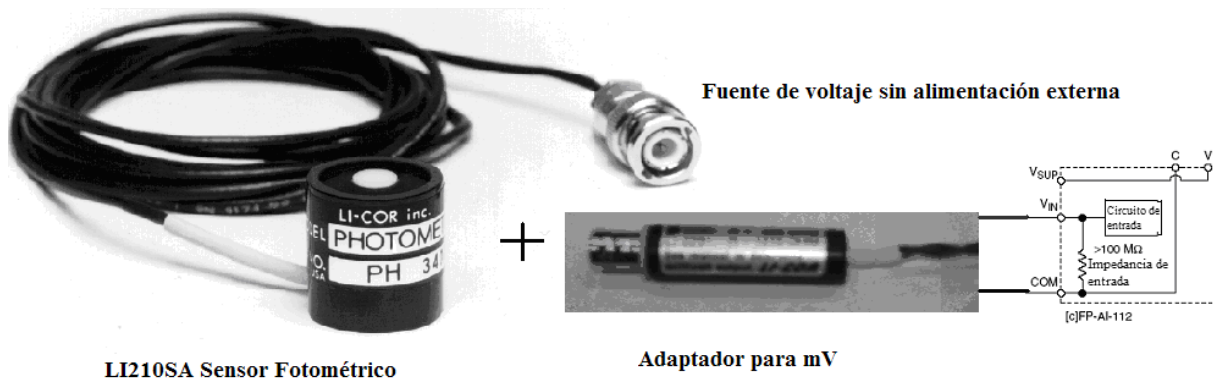


Figura 4.8. Conexiones del fotómetro LI-210.

El cable que viene con los sensores fotométricos no es muy largo y el hecho de utilizar los adaptadores para obtener señales del orden de mV limita la distancia a la que se pueden ubicar estos sensores del sistema de adquisición de datos. Por lo que resultará conveniente ubicar estos sensores lo más cerca posible de los módulos de entrada analógica. Con estos sensores, incluyendo el circuito acondicionador de voltaje, también se realizaron pruebas de caída de tensión con un cable de 30m, la señal se conserva de manera satisfactoria. La tabla 4.6 muestra el promedio de las lecturas realizadas en las pruebas de caída de tensión para distancias de 5 y 30m. Como se observa, las lecturas coinciden bastante entre sí, por lo que podemos concluir que el fenómeno de caída de tensión, producto del cable utilizado para transportar la señal, no será significativo al momento de realizar su instalación.

Sensor	Cable corto (menos de 5m)	Cable largo (30 m)
LI-210	0.656 mV	0.654 mV

Tabla 4.6. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas al fotómetro.

4.8. Piranómetro

Los sensores de radiación solar, piranómetros SP-Lite, no requieren de una fuente de energía externa para su funcionamiento; entregan una señal del orden del mV por lo que no existe ningún problema para monitorear su comportamiento. Los sensores vienen equipados con un cable instalado de fábrica y se recomienda respetar, en la medida de lo posible, que la distancia entre el sensor y el sistema de monitoreo quede determinada por la longitud de este cable. Con estos sensores también se realizaron pruebas de caída de tensión con un cable de 30m; la señal se conserva de manera satisfactoria. La tabla 4.7 muestra el promedio de las lecturas realizadas en las pruebas de caída de tensión para distancias de 5 y 30m. Como se observa, las lecturas coinciden bastante entre sí, por lo que podemos concluir que el fenómeno de caída de tensión, producto del cable utilizado para transportar la señal, no será significativo al momento de realizar su instalación.

Sensor	Cable corto (menos de 5m)	Cable largo (30 m)
SP-Lite	17.65 mV	17.667 mV

Tabla 4.7. Resultado de las pruebas de caída de tensión realizadas al piranómetro.

La figura 4.9 muestra las conexiones necesarias para este sensor.

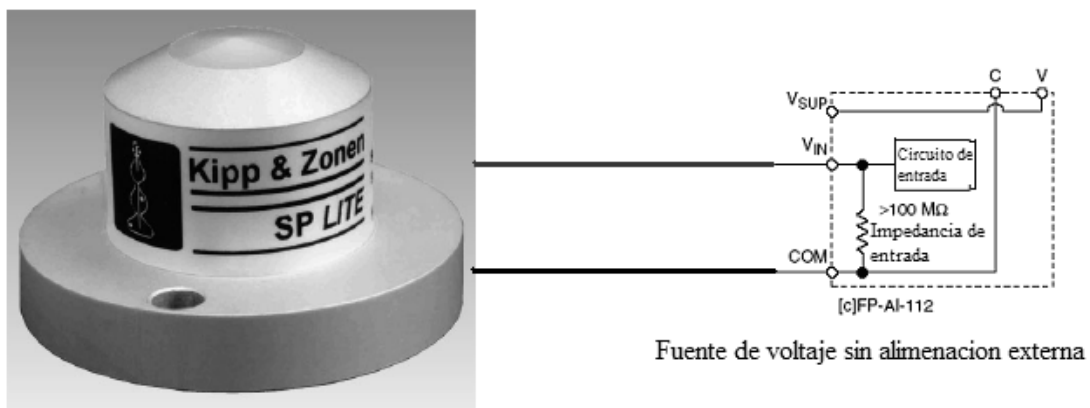


Figura 4.9. Conexiones del piranómetro.

4.9. Potencia eléctrica

Los sensores de potencia eléctrica, XLGW10S4-A1, toman la energía que requieren para su funcionamiento de la red eléctrica; como salida proporcionan una señal de 4 a 20 mA, por lo que el problema de caída de tensión en los cables no es relevante. La tabla 4.8 muestra el promedio de las lecturas realizadas en las pruebas con este sensor para distancias de 5 y 40m. Como se observa, las lecturas coinciden bastante entre sí, estos resultados sugieren que no se presentarán problemas, producto de la longitud del cable, al momento de realizar la instalación de este grupo de sensores dentro del edificio.

Sensor	Cable corto (menos de 5m)	Cable largo (40 m)
XLGW10S4-A1	5.674 mA	5.674 mA

Tabla 4.8. Resultado de las pruebas realizadas a al XLGW10S4-A1.

La figura 4.10. muestra las conexiones necesarias para este sensor.

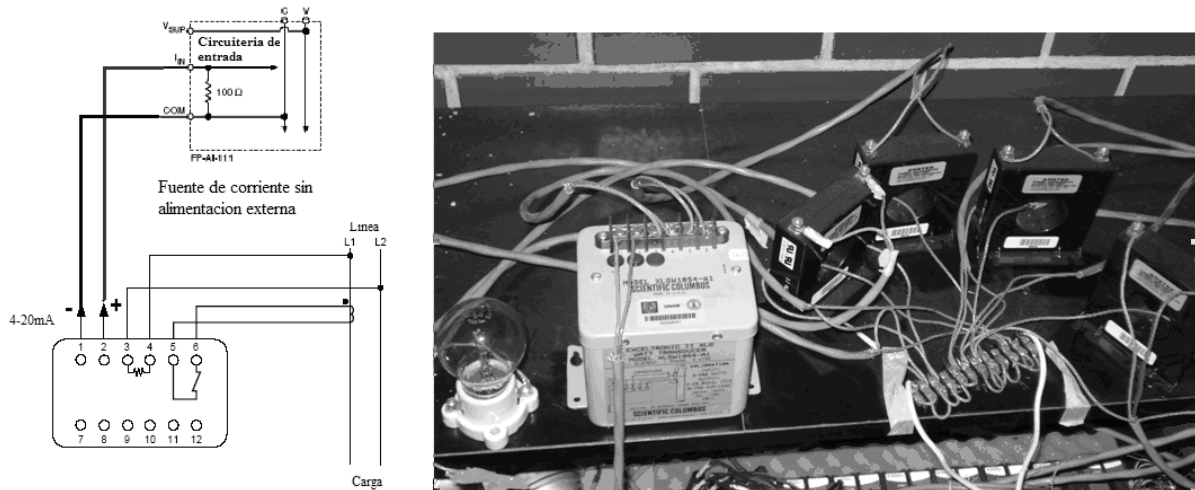


Figura 4.10. Conexiones para el monitoreo de potencia eléctrica.

4.10. Medidor de flujo

Para la medición del flujo de agua en los serpentines, para calefacción, se utilizarán los medidores de flujo Miniflow FXL-5000. Estos no han sido probados por falta de acceso a un sistema de tuberías cerca del laboratorio, sin embargo, dado que como variable de salida entregan una corriente de 4-20 mA no deben existir complicaciones para su lectura en el sistema de monitoreo, como ya se probó con los RTDs y los medidores de potencia eléctrica que proporcionan este mismo tipo de señal de salida.

4.11. Pruebas realizadas al software

Los bloques que conforman el programa que controla la aplicación, en su mayoría, tienen una estructura bastante repetitiva, sobre todo los bloques de adquisición y despliegue de datos, por lo que en este apartado sólo se mostrarán algunos ejemplos de las pruebas realizadas a la versión final del programa, con la finalidad de mostrar los resultados que produce cada etapa de éste y la correcta operación del sistema desarrollado.

La siguiente serie de pruebas hace énfasis en aspectos relacionadas con la creación de carpetas de trabajo y almacenamiento de información. En estas pruebas se describe de manera breve lo que debe suceder cuando se corre el programa, es decir se describe lo que sucede en un día de operación, además se mencionan los resultados que deben obtenerse con el paso del tiempo.

4.11.1. Condiciones de arranque

Para comenzar con el proceso de adquisición de datos es necesario que el usuario introduzca datos en las casillas 1, 2, 3 y 4, en la página 2 del panel frontal. Ver figura 4.11.

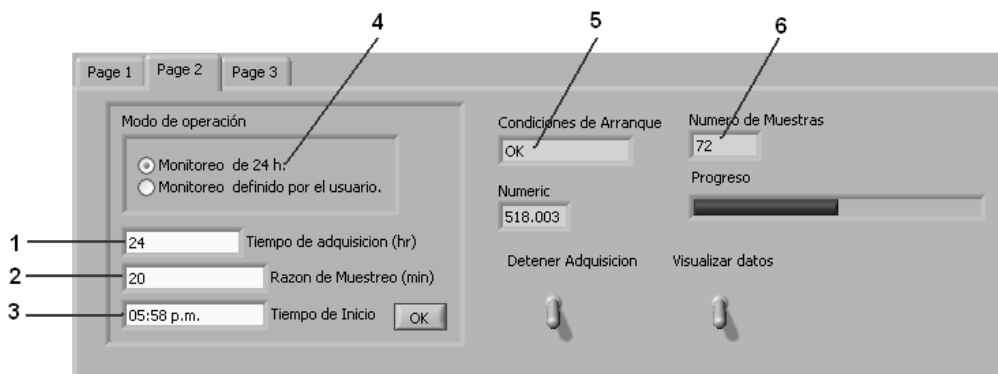


Figura 4.11. Datos de entrada para definir las condiciones de arranque.

Una vez que se está convencido de que éstas son las condiciones de arranque deseadas para el programa se pulsa el botón OK.

La figura 4.12. muestra la parte del diagrama de bloques encargada de procesar la información introducida anteriormente. La sección encerrada e identificada con el número uno, en la figura 4.12, se encarga de calcular el número de muestreos que se realizarán en la prueba y verifica que la razón de muestreo sea superior a 8.46s, como se estableció en el apartado 3.3.6. La otra sección, encerrada e identificada con el número dos, está encargada de sincronizar la prueba con la hora de inicio definida por el usuario; cuando todas las condiciones sean válidas el programa pasará a la siguiente sección, de lo contrario se quedará en esta parte, ya sea, esperando a que se alcance la hora de inicio o que las condiciones de arranque estén correctamente definidas.

Cuando las condiciones de arranque son adecuadas y se ha alcanzado la hora de inicio, en la página 2 del panel frontal, las casillas 5 y 6 (Ver figura 4.11.) indicarán OK y el número de muestreos a realizar respectivamente (en este caso, 72 para los datos proporcionados).

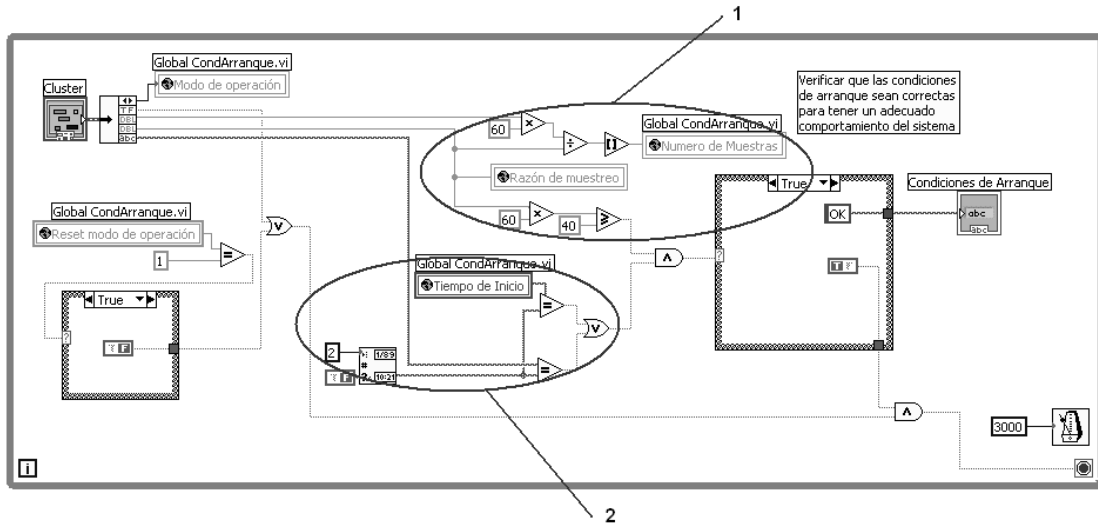


Figura 4.12. Validación de las condiciones de arranque.

4.11.2. Creación de las carpetas de trabajo

La siguiente sección del programa se encarga de generar las carpetas de trabajo. Ver figura 4.13. En esta figura sólo se muestra la parte encargada de la creación de las carpetas donde se almacenan los datos adquiridos y los reportes generados.

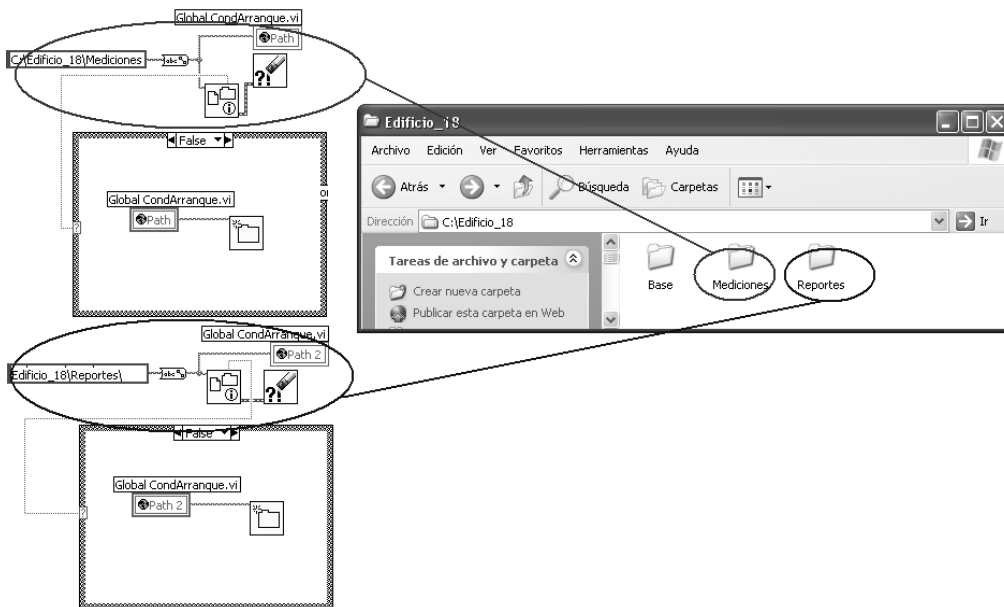


Figura 4.13. Creación de las carpetas de trabajo.

En la carpeta mediciones se almacenan los datos que el sistema de monitoreo va recabando durante el día, estos datos se utilizan en la generación de reportes y en el despliegue de información mediante gráficos y displays; por motivos relacionados con el espacio en el disco duro se optó porque estos archivos sean reemplazados en cuanto se inicia otro proceso de adquisición, como podría ser el caso de una nueva prueba o al término de un día de adquisición. Ver figura 4.14.

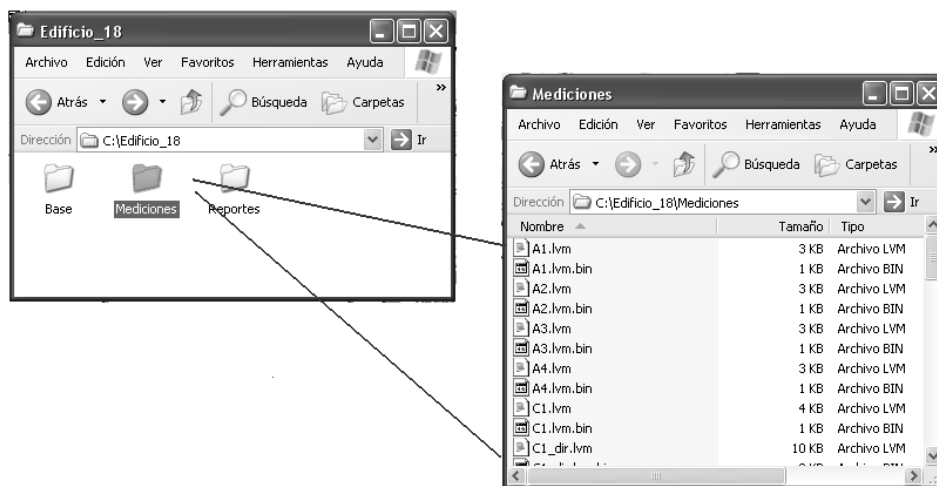


Figura 4.14. Almacenamiento de datos.

Dentro de la carpeta reportes la aplicación crea una nueva carpeta, ésta tiene como nombre la fecha del día en que se está llevando a cabo la prueba; posteriormente realiza la primera adquisición y comienza a insertar datos en los reportes correspondientes y almacenarlos en esta última carpeta. Ver figura 4.15.

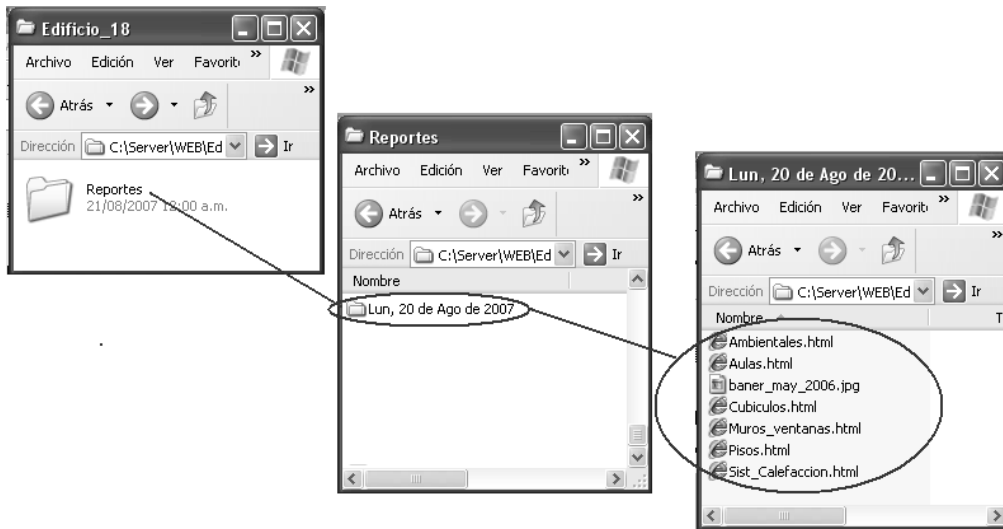


Figura 4.15. Almacenamiento de reportes dentro de la PC.

4.11.3. Adquisición de datos

Una vez realizado lo descrito anteriormente, la adquisición de datos es gobernada por un cronómetro, que permite la realización de un nuevo muestreo una vez que ha transcurrido el tiempo equivalente a la razón de muestreo definida en las condiciones de arranque. Ver figura 4.16. Cada vez que tiene lugar un nuevo muestreo también ocurre una actualización de los reportes, cabe mencionar que dichos reportes se encuentran disponibles en cualquier momento en la carpeta correspondiente (reportes). Ver figura 4.15.

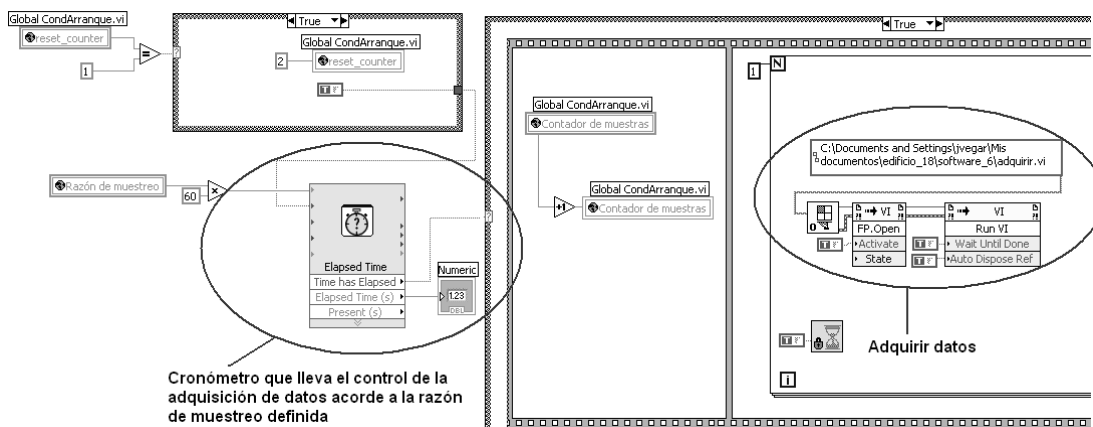


Figura 4.16. Control de la razón de muestreo.

Si no se ejecuta ninguna acción de paro sobre el programa, éste permanecerá en esta parte de su ejecución hasta que se alcance el número de muestreos solicitado o se llegue a la hora límite de operación (11:50p.m.). En cualquier caso se lleva a cabo una última actualización de los reportes con los datos disponibles hasta el momento. Por ejemplo, en la figura 4.17 se muestran los resultados de una prueba que inicio a las 05:59 p.m., sin embargo, aunque no se alcanzó el número de muestreos solicitado (72 muestreos), se generó un reporte con las lecturas realizadas durante ese día, hasta antes de las 11:50 p.m.



Edificio_18 (Lun, 20 de Ago de 2007)

A Continuacion se muestran los datos registrados por los diversos sensores a lo largo del dia en el cubiculo 1.

Tiempo	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%RH]	Intensidad de Luz [luxes]	Potencia Elctrica [W]	
05:59 p.m.	24.588020	31.294918	-122.386635	0.715286	Inicio de la prueba
06:19 p.m.	24.608651	30.542887	-122.386635	0.715286	
06:39 p.m.	24.457893	34.560683	-122.386635	0.715286	
06:59 p.m.	24.075440	37.228946	-122.386635	0.715286	
07:19 p.m.	24.048463	41.483737	-122.386635	0.715286	
07:39 p.m.	23.886594	42.194566	-122.386635	0.715286	
07:59 p.m.	23.821530	41.751594	-122.386635	0.715286	
08:19 p.m.	23.634271	42.328479	-73.402561	0.715286	
08:39 p.m.	23.559685	42.194566	-122.386635	0.715286	
08:59 p.m.	23.372427	43.111434	-122.386635	0.631904	
09:19 p.m.	23.293078	43.770815	-122.386635	0.715286	
09:39 p.m.	23.191515	43.348398	-73.402561	0.715286	
09:59 p.m.	23.113756	43.575022	-73.402561	0.715286	
10:19 p.m.	23.047104	43.265964	-122.386635	0.715286	
10:39 p.m.	23.042344	44.059258	-73.402561	0.631904	
10:59 p.m.	22.909041	44.378625	-122.386635	0.631904	
11:19 p.m.	22.815411	44.491953	-122.386635	0.631904	
11:39 p.m.	22.701152	44.749502	-122.386635	0.631904	Fin de la prueba

Figura 4.17. Reporte correspondiente al cubículo 1.

Como se mostró en la figura 4.11, en la casilla 4 se encuentra seleccionada la opción de monitoreo de 24hrs, esto implica que el programa sólo está esperando que den las 12:00 a.m. para empezar a adquirir los datos del día correspondiente; en caso de haber seleccionado la opción *monitoreo definido por el usuario*, el programa esperaría hasta que se de nuevamente la hora de inicio definida en la casilla 3.

Una vez que se vuelve a alcanzar la hora de inicio el programa crea nuevamente una carpeta cuyo nombre coincide con el de la fecha actual, naturalmente cada una de estas carpetas contiene reportes con la información adquirida en ese día. Este proceso se repite consecutivamente hasta que se detiene la aplicación. Ver figura 4.18. Cabe mencionar que la versión final del sistema de monitoreo se ha operado de manera continua por un periodo de 3 meses aproximadamente, lapso en el cual se ha comportado de manera satisfactoria.

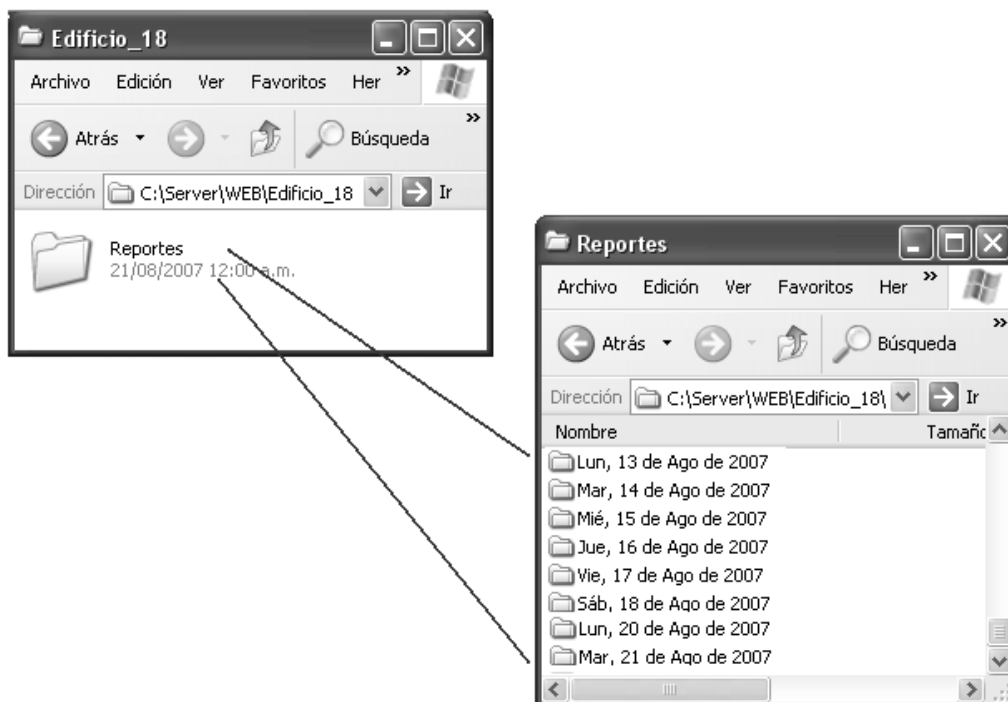


Figura 4.18. Operación continua de la aplicación.

4.11.4. Despliegue de información

La siguiente serie de pruebas al programa tiene como meta mostrar el correcto funcionamiento del software desarrollado en el aspecto relacionado con el despliegue de la información almacenada. Para ver detalles sobre los bloque encargados del despliegue de información ver apartado 3.3.7.

En la figura 4.11. se aprecia con claridad un interruptor que lleva por nombre *visualizar información*. Al activar este interruptor se despliega un nuevo panel frontal (panel frontal secundario), con imágenes de los planos del edificio como fondo, en las diferentes páginas que componen dicho panel, además se muestran botones que representan la ubicación de los diferentes sensores. Para más detalles sobre la composición de este panel frontal ver apartado 3.3.3.

Sobre este panel frontal se tienen las dos opciones de despliegue de información. La figura 4.19. muestra una de las páginas que componen dicho panel.

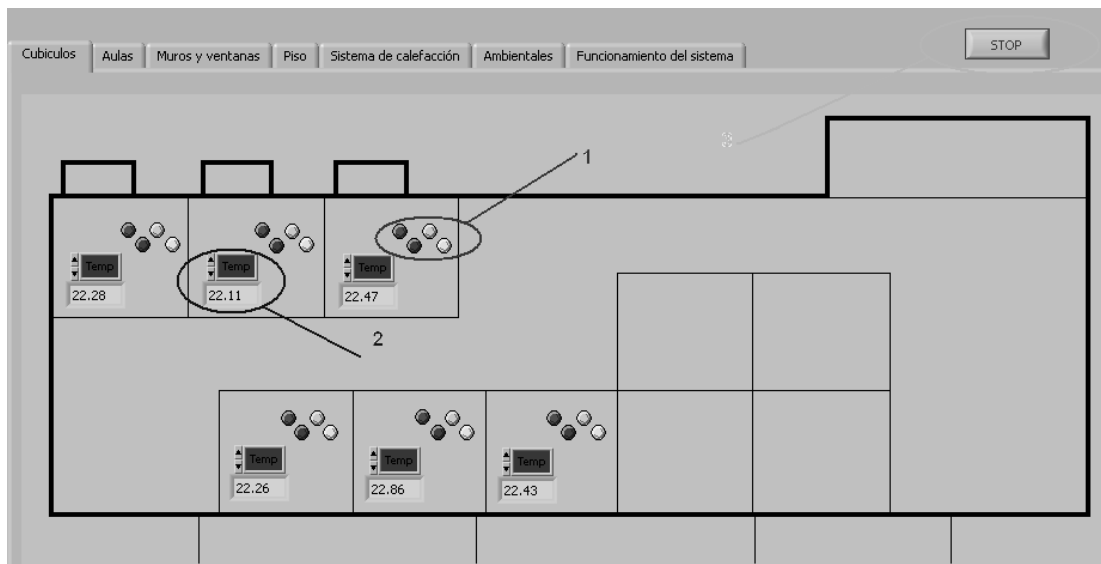


Figura 4.19. Panel frontal para visualización de información.

El presionar cualquiera de los botones encerrados e indicados con el número uno, figura 4.19, obliga a la aplicación a cargar todos los datos correspondientes a ese sensor; como ya se mencionó, esa información se encuentra en la carpeta mediciones y es remplazada cada vez que se inicia una nueva prueba, lo que implica que la gráfica sólo contiene información concerniente a la prueba que está corriendo en ese momento. Naturalmente, la máxima cantidad de puntos a desplegar en el gráfico es idéntica al número de muestreos solicitado en la condiciones de arranque del programa. Por otra parte, el display simplemente se encarga de mostrar el valor adquirido en el último muestreo.

La figura 4.20. muestra el proceso empleado para verificar el correcto desempeño de esta sección del programa, este proceso consistió en comparar los datos obtenidos directamente de la herramienta *Measurement & Automation Explorer*, con los datos que se van desplegando en el gráfico que resulta de pulsar el botón correspondiente al sensor que se está revisando.

Esto se aplicó a todos los sensores insertados en el programa.

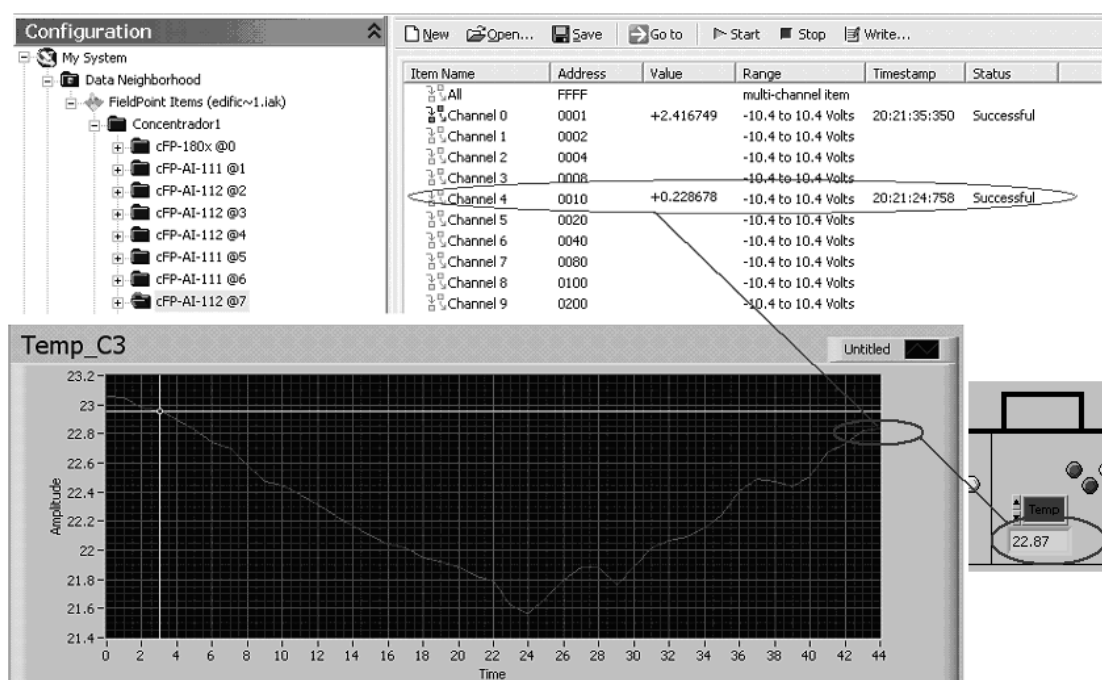


Figura 4.20. Verificación de los datos adquiridos.

Una vez que se sabe que la información que contienen los gráficos es correcta, se realiza un procedimiento de comparación similar entre los gráficos y los reportes que se van generando. Ver figura 4.21.

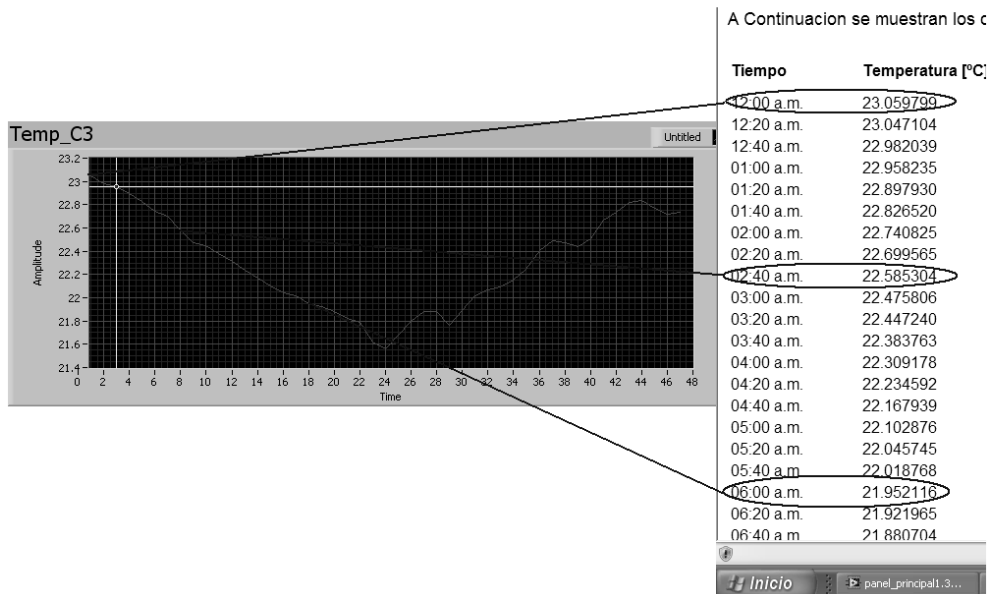


Figura 4.21. Verificación de la información contenida en los reportes.

Esta metodología se aplicó a todos los reportes generados por el programa.

Para concluir este capítulo es necesario comentar que, respecto al hardware, aunque se consideró el fenómeno de caída de tensión en los cables que transportan la señal de interés, falta considerar si otras fuentes externas de ruido, como el generado por el sistema de iluminación del edificio, no afectarán la calidad de las mediciones, pese a que los módulos de entrada analógica cuentan con un filtro de 60Hz en sus terminales de entrada. Por otra parte el software se ha comportado de manera satisfactoria por un periodo de 3 meses aproximadamente, durante este tiempo se han aplicado las pruebas descritas en este apartado y no se ha presentado ningún inconveniente.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En el presente y último capítulo se encuentran las conclusiones obtenidas durante el proceso de desarrollo del sistema de monitoreo para el edificio sostenible del Instituto de Ingeniería.

5.1 Resultados

El proyecto descrito en este trabajo nace de la necesidad de tener un medio de conocer el gasto energético y las variables ambientales que establecen las condiciones de confort dentro de un edificio de tipo sostenible.

Como punto de partida se dieron a conocer las variables ambientales y las variables relacionadas con el aspecto energético del edificio cuyo comportamiento interesaba monitorear. Estas variables fueron temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, intensidad luminosa, potencia eléctrica y flujo de agua, así como los puntos dentro del edificio en donde interesaba conocer el valor de dichas variables. Esto permitió definir áreas específicas para cierto grupo de sensores; estas áreas son: los cubículos, en donde se solicitó

monitorear temperatura, humedad relativa, intensidad de luz y potencia eléctrica; las aulas, en donde se solicitó monitorear temperatura, humedad relativa, e intensidad de luz; los muros, piso, techos y ventanas, en donde se solicitó monitorear temperatura; el sistema de calefacción, en donde se solicitó monitorear temperatura y flujo de agua, y las variables ambientales externas, que incluyen radiación solar y velocidad y dirección del viento. Estos datos permitieron establecer el número y tipo de sensores requeridos para monitorear las variables solicitadas.

El siguiente paso consistió en definir el hardware más conveniente para realizar el proceso de adquisición de datos, para lo cual se hizo énfasis en dos puntos principalmente: el primero, los sensores que se utilizarán, en el cual fue importante considerar el número relativamente elevado de sensores (inicialmente 143) y el tipo de variable eléctrica de salida que proporciona cada uno de los sensores seleccionados; el segundo punto radicó en el hecho de que los sensores se encontrarán dispersos alrededor de todo el edificio, lo que nos indicó que el hardware destinado a la adquisición de datos debía contar con flexibilidad en lo referente al número de canales de entrada analógica, al tipo de variable eléctrica que es posible conectar a dichos canales y al protocolo de comunicación. Con estos puntos en mente se decidió utilizar los módulos de red cFP-1808 de National Instruments, los cuales cuentan con comunicación vía Ethernet, lo que permite conectar el módulo en cualquier zona del edificio mientras no se excedan los 100 metros de distancia entre el módulo mencionado y la computadora personal, además permiten la conexión de 8 módulos de entrada analógica. Los módulos de entrada analógica que se pueden conectar son el cFP-AI-111, para monitorear corrientes, y el cFP-AI-112, para monitorear voltajes, ambos cuentan con 16 canales de entrada. La ventaja de utilizar esta tecnología en la integración del sistema de monitoreo es que nos permite crear un sistema de adquisición de datos distribuido, es decir, tener múltiples concentradores ubicados en la forma que mejor nos convenga, además de ofrecer una gran flexibilidad en cuanto al número de sensores que se pueden manejar.

Cabe mencionar que el número y tipo de sensores que se definió al inicio del proyecto llevaron a la adquisición de 2 módulos de red cFP-1808, 3 cFP-AI_111 y 7 cFP-AI-112, sin embargo, durante el desarrollo del proyecto se prescindió de muchos de los sensores solicitados

inicialmente para cerrar la cuenta en 78 sensores, por lo que finalmente se utilizó un módulo de red, los 3 cFP-AI-111 y 5 cFP-AI-112.

Desde el principio del proyecto se tenía la intención de crear un sistema de adquisición de datos en torno a una computadora personal siguiendo la tendencia de lo que se conoce como la instrumentación virtual, por lo que tras la elección del hardware fue necesario definir el software con el que se desarrollaría la aplicación. Sin darle muchas vueltas al asunto se eligió el software para el desarrollo de aplicaciones LabVIEW 8.0, ya que la forma en la que se da la comunicación con el hardware adquirido y la programación resultan más sencillos con este software que bajo otra plataforma de desarrollo, como pudiera ser Visual Basic o C++, por ejemplo.

Para desarrollar la interfaz con el usuario no se contó con ningún tipo de requerimiento, por lo que estos fueron definidos por cuenta propia. Los requerimientos fueron los siguientes: adquisición de datos (24hr y definido por el usuario), despliegue del último valor adquirido (de manera continua) con opción de presentar mediante algún gráfico el comportamiento de una determinada variable durante el día y la creación de un reporte al término del proceso de adquisición de datos, cada 24 horas o según el tiempo definido por el usuario.

Una vez terminado el desarrollo del sistema de monitoreo, y tras un periodo de pruebas, como las detalladas en el capítulo 4, se puede afirmar que el sistema de monitoreo cumple de manera satisfactoria con los lineamientos establecidos al inicio del proyecto.

5.2. Conclusiones

Es necesario mencionar que el edificio sostenible que fue construido en el Instituto de Ingeniería no cumple con algunas de las características propias de este tipo de inmuebles; sin embargo, como un medio para generar experiencia en el tema su construcción resultó provechosa; por ejemplo, desde el punto de vista de la instrumentación del edificio, el sistema de monitoreo implementado puede reproducirse en cualquier otro sitio.

En cuanto al desempeño del sistema de monitoreo se puede afirmar que, tras el periodo de pruebas al que ha sido sometido, éste cumple de manera satisfactoria con los requisitos impuestos al inicio del proyecto, consiguiendo así que el Instituto de Ingeniería cuente con un espacio que le permitirá conocer y experimentar sobre las variables relacionadas con el confort y el ahorro de energía en una construcción de tipo sostenible, lo que puede dar la pauta para futuros proyectos relacionados con este tipo de edificaciones.

En el aspecto personal, definitivamente creo que uno de los aspectos más enriquecedores que obtuve con el desarrollo de un proyecto relativamente grande como éste, radica en la capacidad de organización, investigación y toma de decisiones que requiere un proyecto de esta magnitud, ya que no sólo se deben encarar aspectos de tipo técnico como pudieran ser la selección de los sensores y el equipo de adquisición de datos dentro de la inmensa variedad de artículos de este tipo que existen en el mercado, también fue necesario involucrarse en todo el proceso de decidir que comprar y porqué comprarlo, para finalmente poder hacerse del equipo necesario para poder comenzar a trabajar, lo que implicó una gran responsabilidad dado el elevado costo del equipo adquirido.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- Boylestad, Robert L. *Electrónica: Teoría de circuitos*, Sexta edición, México, Prentice Hall, 1997.
- Collazo, Javier. *Diccionario enciclopédico de términos técnicos*, McGraw-Hill, 1981.
- Fernández Rodolfo, Carella Alfredo, *Conservación de energía en viviendas y edificios*, WordPress, 2003.
- Franco Sergio. *Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos*, McGraw hill, 2005.
- Hogan Kevin, *Architectures for Designing LabVIEW Applications*, 2003.
- IUPAC, *Compendium of Chemical Terminology 2nd Edition*, 1997.
- Lázaro Antoni Manuel, Rio Fernández, *Lab View 7.1. Programación Grafica para el Control de Instrumentación*, Thomson 2005.
- Ott. H.W, *Noise Reduction Techniques in electronics systems*, John Wiley and Sons, 1992.
- Pallas Areny, *Sensores y transductores*, Marcombo Boixareu, 2000.
- Smith Sedra, Kenneth C. *Circuitos Microelectrónicos*, McGraw Hill, 2006.

- Wolf, Stanley. *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio*, Segunda edición, Prentice Hall, México, 1992.

MANUALES

- National Instruments Corporation, *Introduction to LabVIEW 3-Hour Hands-On*, 2005.
- National Instruments Corporation, *User Manual*, 2001.
- National Instruments Corporation, *Compact FieldPoint cFP-1808 Quick Start Guide*, 2005.
- National Instruments Corporation, *Compact FieldPoint cFP-1808 User Manual*, 2005.
- National Instruments Corporation, *Compact FieldPoint cFP-AI- 112 Quick Start Guide*, 2005.
- National Instruments Corporation, *Compact FieldPoint cFP-AI- 112 User Manual*, 2005.
- National Instruments Corporation, *Compact FieldPoint cFP-AI- 111 Quick Start Guide*, 2005.
- National Instruments Corporation, *Compact FieldPoint cFP-AI- 111 User Manual*, 2005.
- National Instruments Corporation, *Compact FieldPoint cFP-cb- 1 User Manual*, 2003.
- Microcontroller Data Book, AT89 Series, ATMEL Corporation, December 1997.
- National Analog and Interface Products Data Book, National Semiconductor, 2002.

ARTICULOS EN REVISTAS

- Ramírez Aurelio, *La construcción sostenible*, Revista Física y Sociedad, 2000.

APÉNDICE A
ESPECIFICACIONES DEL
HARDWARE



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

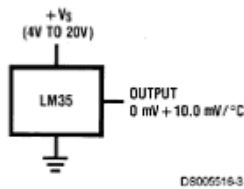
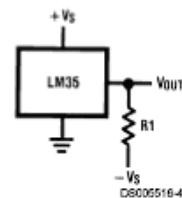


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

Honeywell

HIH-4000 Series

Humidity Sensors



The HIH-4000 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users. Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's linear voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-4000 Series is often ideally suited for low drain, battery operated systems. Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

FEATURES

- Molded thermoset plastic housing
- Linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- High accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

The HIH-4000 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SIP (Single In-line Package). Available in two lead spacing configurations, the RH sensor is a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning. The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as wetting, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

TYPICAL APPLICATIONS

- Refrigeration equipment
- HVAC equipment
- Medical equipment
- Drying
- Metrology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

EXELTRONIC II. MODELO XLGW110S4-A1 (WATT TRANSDUCER).

**Specifications
Exceltronic II XLG
AC Watt or Var Transducers**

Specifications		0 to ±1 mAdc Watts (Watt Transducer)	4–20 mAdc Watts (Watt Transducer)	0 to ±1 mAdc Vars (Var Transducer)	4–20 mAdc Vars (Var Transducer)
Current Input	Nominal Range*	5 A			
	Overload Continuous	0–10 A			
Voltage Input	Nominal Range*	15 A			
	Overload Continuous	250 A			
External Auxiliary Power	Input Range	85–150 Vac		85–150 Vac	
	Frequency Range	50–500 Hz		50–500 Hz	
Rated Output (RO) = 500 Watts or Vars/Element	Burden	4 VA (maximum) at 120 V		4.5 VA (maximum) at 120 V	
		±1 mAdc for Standard Calibration	20 mAdc for Standard Calibration	±1 mAdc for Standard Calibration	20 mAdc for Standard Calibration
Accuracy		±(0.1% Reading + 0.05% RO) at 0–200% RO	±0.2% of Output Range	±(0.1% Reading + 0.1% RO) at 0–200% RO	±0.2% of Output Range
Temperature Effect on Accuracy		±0.005% / ° C (typical)	±0.0075% / ° C (typical)	±0.0075% / ° C (typical)	±0.008% / ° C (typical)
Operating Temperature Range		-20° C to +70° C	-20° C to +50° C	-20° C to +60° C	-20° C to +50° C
Compliance Voltage		10 Vdc	15 Vdc	10 Vdc	15 Vdc
Load		Any load from 0–10,000 Ω at 1 mAdc	Any load from 0–750 Ω at 20 mAdc	Any load from 0–10,000 Ω at 1 mAdc	Any load from 0–750 Ω at 20 mAdc
Output Ripple Peak		< 0.5% RO			
Response Time		< 400 ms to 99%	< 500 ms to 99%	< 400 ms to 99%	< 500 ms to 99%
Power Factor		Any			
PF Effect on Accuracy		±0.2% RO (maximum)			
Standard Calibration Adjustments	Gain	±2% of Reading (minimum)	±20% of Reading (minimum)	±2% of Reading (minimum)	±20% of Reading (minimum)
	Zero	None Required	±5% of Zero Point (minimum)	None Required	±5% of Zero Point (minimum)
Frequency Range		58–62 Hz		60 Hz	
Stability (per year)		±0.25% RO, Noncumulative			
Operating Humidity		0–95% Noncondensing			
Isolation		Complete (Input/Output/Power/Case)			
Dielectric Withstand		2500 VRMS at 60 Hz			
Surge Withstand		ANSI/IEEE C37.90.1-1989			
Maximum Net Weight		2 lbs., 11 oz. (1.2 kg)			
Approximate Dimensions (excluding mounting plate)		4.4" W x 3.9" D x 4.9" H (112 mm x 99 mm x 124 mm) Style II Case, see page 122			
Overrange with Linearity		500–1000 Watts/Element	500–600 Watts/Element	500–1000 Vars/Element	500–600 Vars/Element
		No additional error within voltage compliance. Reduce load resistance as required.			

XLG

*Total input not to exceed 200% of standard-calibration watts or vars on units with 0 to ±1 mAdc output. Specifications subject to change without notice.
Total input not to exceed 120% of standard-calibration watts or vars on units with 4–20 mAdc output.

LI-210SA PHOTOMETRIC SENSOR

LI-COR, Inc. Toll Free: 1-800-447-3576 (U.S. & Canada) • Phone: 402-467-3576 • FAX: 402-467-2819 • E-mail: envsales@env.licor.com • Internet: http://www.licor.com

MEASURES ILLUMINANCE AS RELATED TO THE CIE STANDARD OBSERVER CURVE

The LI-210SA Photometric Sensor utilizes a filtered silicon photodiode to provide a spectral response that matches the CIE curve within $\pm 5\%$ with most light sources. This photodiode and filter combination is placed within a fully cosine-corrected sensor head to provide the proper response to radiation at various angles of incidence.

Some of the applications for the LI-210SA Photometric Sensor include interior and industrial lighting, outdoor illuminance, passive solar energy, architecture and lighting models, illumination engineering, and biological sciences that require illuminance measurements. The LI-210SA is a research grade photometric sensor that is very reasonably priced.

LI-210SA SPECIFICATIONS

- Absolute Calibration:** $\pm 5\%$ traceable to NBS.
- Sensitivity:** Typically 30 μA per 100 klux.
- Linearity:** Maximum deviation of 1% up to 100 klux.
- Stability:** $< \pm 2\%$ change over a 1 year period.

PHOTOMETRIC SENSORS

Photometry refers to the measurement of visible radiation (light) with a sensor having a spectral responsivity curve equal to the average human eye. This curve is known as the CIE Standard Observer Curve (photopic curve).

Photometric sensors are used to measure lighting conditions where the eye is the primary receiver, such as illumination of work areas, interior lighting, television screens, etc. Although photometric measurements have been used in the past in plant science, PPFD and irradiance are the preferred measurements.

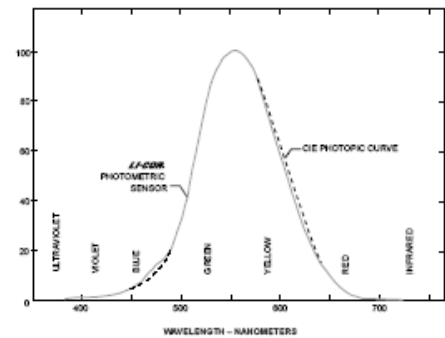


Figure 1. Typical spectral response of LI-COR Photometric Sensors vs. Wavelength and the CIE Standard Observer Curve.

Response Time: 10 μs .

Temperature Dependence: $\pm 0.15\%$ per $^{\circ}\text{C}$ maximum.

Cosine Correction: Cosine corrected up to 80° angle of incidence.

Azimuth: $< \pm 1\%$ error over 360° at 45° elevation.

Tilt: No error induced from orientation.

Operating Temperature: -20 to 65°C .

Relative Humidity: 0 to 100%.

Detector: High stability silicon photovoltaic detector (blue enhanced).

Sensor Housing: Weatherproof anodized aluminum case with acrylic diffuser and stainless steel hardware.

Size: 2.38 Dia. \times 2.54 cm H (0.94" \times 1.0").

Weight: 28 g (1 oz.).

Cable Length: 10 ft. standard.

ORDERING INFORMATION

The LI-210SA Photometric Sensor cable terminates with a BNC connector that connects directly to the LI-250 Light Meter or LI-1400 DataLogger. The 2290 Millivolt Adapter should be ordered if the LI-210SA will be used with a strip chart recorder or datalogger that measures millivolts. The 2290 uses a 604 Ohm precision resistor to convert the LI-210SA output from microamps to millivolts. The Photometric Sensor can also be ordered with bare leads (without the connector) and is designated LI-210SZ. The 2003S Mounting and Leveling Fixture is recommended for each sensor unless other provisions for mounting are made. Other accessories are described on the Accessory Sheet.

LI-210SA Photometric Sensor
(with BNC connector)

LI-210SZ Quantum Sensor
(with bare leads)

2003S Mounting and Leveling Fixture

2222SB-50 Extension Cable (50 ft.)

2222SB-100 Extension Cable (100 ft.)

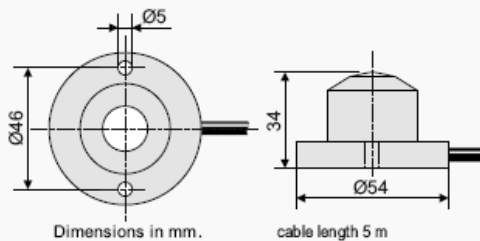
2290 Millivolt Adapter



LI-210SA Photometric Sensor



Dimensions



SPECIFICATIONS	
Spectral range	400 - 1100 nm
Sensitivity (nominal)	100 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Response time	less than 1 s
Max. irradiance	2000 W/m^2
Temperature dependence	+ 0.15 %/°C (typical)
Operating temperature	-30 °C to +70 °C
Directional error	$\pm 5\%$ at 80 degrees

SP LITE is easy to use. It can be directly connected to voltmeter or data logger. Direct readout in Watts per square meter (W/m^2) can be derived from the measured voltage divided by the calibration coefficient.

The SP LITE Silicon Pyranometer compares favourably to ISO 9060-specified First Class Thermopile Pyranometers under clear & unobstructed natural daylight conditions, and fully complies with CE Directives.

Recommended use:

- SP LITE is designed for routine measurement of solar radiation. It is especially designed for:
- Photo Voltaic / solar energy module monitoring
- Agricultural evapotranspiration estimation
- Air pollution dispersion calculations using the Delta-T method
- Educational purposes

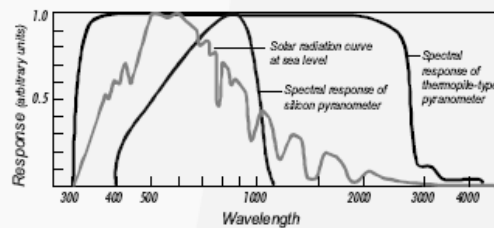
SP LITE can be used under all weather conditions. The sensor measures the solar energy received from the entire hemisphere. SP LITE is ideal for measuring available energy for use in solar energy applications, plant growth, thermal convection and evapotranspiration.

SP LITE uses a photodiode detector, which creates a voltage output that is proportional to the incoming radiation. Also due to the unique design of the diffuser, its sensitivity is proportional to the cosine of the angle of incidence of the incoming radiation, allowing for accurate and consistent measurements.

Directional response



Spectral response



SOLAR & ATMOSPHERIC SCIENCE
WWW.KIPPZONEN.COM

Kipp & Zonen B.V. T +31 (0)15 2698 000
P.O. Box 507 2600 AM F +31 (0)15 2620 351
Delft, The Netherlands E info.holland@kippzonen.com

4414/0094-42

Wind Speed and Direction Sensors

03001 Wind Sentry Anemometer/Vane & 03101 Wind Sentry Anemometer

R. M. Young's Wind Sentry Anemometer and Vane accurately measure wind speed and direction. These sensors interface directly with Campbell dataloggers; no signal conditioning is required. Compatible dataloggers include the CR200-series, CR510, CR10(X), CR1000, CR23X, CR3000, CR7, CR5000, and CR9000X.

The cup anemometer measures wind speed. Rotation of its cup wheel produces an ac sine wave that is directly proportional to wind speed. The frequency of the ac signal is measured by a datalogger pulse count channel, then converted to engineering units (mph, m/s, knots). The Campbell Scientific version uses shielded bearings which lowers the anemometer's threshold.

Wind direction is sensed by a potentiometer. With the precision excitation voltage from the datalogger applied to the potentiometer element, the output signal is an analog voltage that is directly proportional to azimuth of the wind direction.

An ideal application for the Wind Sentry is Wind Profile Studies. For this application, the LLAC4 4-channel Low Level AC Conversion Module can be used to increase the number of Wind Sentrys measured by one datalogger. The LLAC4 allows datalogger control ports to read the anemometer's ac signals instead of using pulse channels. Dataloggers compatible with the LLAC4 are the CR200-series (ac signal \leq kHz only), CR1000, CR23X, CR3000, and CR5000.

Ordering Information

Wind Sentry Options

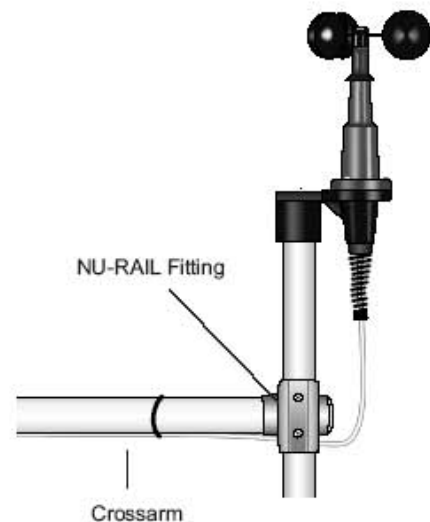
- 03001-L_ Wind Sentry Set; enter wind speed lead length, in feet, after the L, then enter wind direction lead length
- 03101-L_ Wind Sentry Anemometer; enter lead length, in feet, after the L.

Mounts

- CM $\frac{3}{4}$ " x 1" NU-RAIL Fitting for attaching the Wind Sentry to a horizontal crossarm, such as a CM202, CM204, or CM206.
- SM CM220 Right Angle Mounting Bracket for attaching the Wind Sentry to a horizontal crossarm, such as a CM202, CM204, or CM206.
- TM CM215 Sensor Mounting Kit for attaching sensor to the top of a CM110, CM115, or CM120 aluminum tripod.



The 03001 is secured to one end of the CM206 Crossarm with the CM220 Right Angle Bracket.




When purchased separately, the Wind Sentry Anemometer is supplied with a galvanized 10" x 3/4" -diameter threaded pipe, which mounts to a crossarm via the NU-RAIL fitting or CM220 Mount. Alternately it can mount to an aluminum tripod via the CM215.



CAMPBELL SCIENTIFIC, INC.

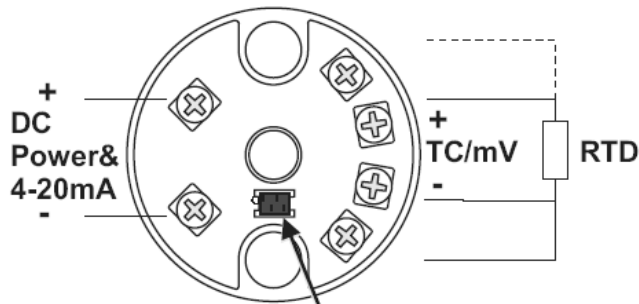
815 W. 1800 N. • Logan, Utah 84321-1784 • (435) 753-2342 • FAX (435) 750-9540 • www.campbellsci.com

Cabeza Transmisora MP-82800

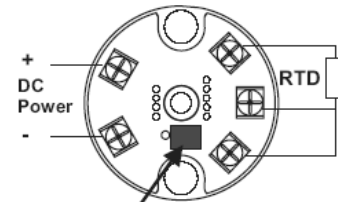
Specifications	Mp82800 / Mp88800	Mp82700 / Mp88700
Input	RTD: Pt100 T/C: K, J, T, E	RTD: Pt100, P1500, Pt1000 Ni100, Ni500, Ni1000, Cu10, Cu100 T/C: K, J, T, E, L, U, R, S, B, C, D, N Volt & Ohm
Minimum Span	RTD: 25 K T/C: 50 K	
Output	4...20 mA / 20...4 mA	4...20 mA / 20...4 mA
Linearization	On / Off	On / Off
Supply *) Polarity protected	10...40 VDC	10...40 VDC
Supply effect	0.001% / V	0.001% / V
Max. Ripple	10V PP; Min Vbat - 10 VDC	10V PP; Min Vbat - 10 VDC
Zero Drift	± 0.01%/°C or ± 0.02°C/°C	± 0.01%/°C or ± 0.02°C/°C
Span Drift	± 0.005%/°C or ± 0.01°C/°C	± 0.005%/°C or ± 0.01°C/°C
Long term Drift	± 0.05%/year	± 0.05%/year
Cold Junction Drift	± 0.01 °C/°C	± 0.01 °C/°C
Excitation Current RTD	0.1 mA	0.1 mA
Sensor Lead Resistance RTD	500 Ohm max.	500 Ohm max.
Sensor Lead Resistance Effect	0.001 °C/Ohm	0.001 °C/Ohm
Sensor Lead Resistance T/C	10,000 Ohm max.	10,000 Ohm max.
Open Circuit Detection	Upscale / Downscale	Upscale 21.7mA / Downscale 3.7mA
Load Capability	Vbat-10V / 20mA	Vbat-10V / 20mA
Start Up Time	20 sec	20 sec
Warm Up Time	5 min	5 min
Isolation	none	1500 V AC
Ambient Operating Temperature	-40°C...+85°C	-40°C...+85°C
Storage Temperature	-40°C...+100°C	-40°C...+100°C
Response time	3 sec	
*) NOTE: For ATEX approved equipment different power requirements may apply!		
Specifications	Mp82800-R / Mp88800-R	Mp82850-R
Input	RTD: Pt100 3-wire	RTD: Pt100 3-wire
Minimum Span	25 K	25 K
Output	4...20 mA or 20...4 mA	4...20 mA or 20...4 mA
Linearization	On / Off	On
Supply *)	11...40 VDC, Polarity Protected	12...36 VDC, Polarity Protected
Supply effect	0.02% / V	0.02% / V
Max. Ripple	10V PP; Min Vbat - 11 VDC	10V PP; Min Vbat - 12 VDC
Zero Drift	± 0.02%/°C or ± 0.02°C/°C	± 0.02%/°C or ± 0.02°C/°C
Span Drift	± 0.01%/°C or ± 0.01°C/°C	± 0.01%/°C or ± 0.01°C/°C
Long term Drift	± 0.1%/year	± 0.1%/year
Excitation Current RTD	0.1 mA	0.1 mA
Sensor Lead Resistance RTD	500 Ohm max.	500 Ohm max.
Sensor Lead Resistance Effect	0.01 °C/Ohm	0.01 °C/Ohm
Open Circuit Detection	Upscale or Downscale	Upscale or Downscale
Load Capability	Vbat-11V / 20mA	Vbat-12V / 20mA
Start Up Time	30 sec	30 sec
Warm Up Time	5 min	5 min
Isolation	none	none
Ambient Operating Temperature	-40°C...+85°C	-30°C...+85°C
Storage Temperature	-40°C...+100°C	-40°C...+100°C
Housing Material Mp82 Zinc Alloy (ZAMAK 5) epoxy coated		
Housing Dimension 43mm Dia. x 27mm H.		
Housing dimension with Read-Out 43mm Dia. x 36mm H.		
 S-Products B.V. Nijverheidscentrum 26, NL-2761JP Zevenhuizen, The Netherlands, Tel: +31 180 633455, Fax: +31 180 633644 S-Products Inc. 35, Kings Highway East, Fairfield, CT 06825, USA, Tel: +1 203 331 9546, Fax: +1 203 335 2723 E-mail: info@s-products.com Internet: www.s-products.com		
Document No. InstructieMP.cdr - Issue 041208		

CONNECTIONS

Mp82700 (H) / Mp82800

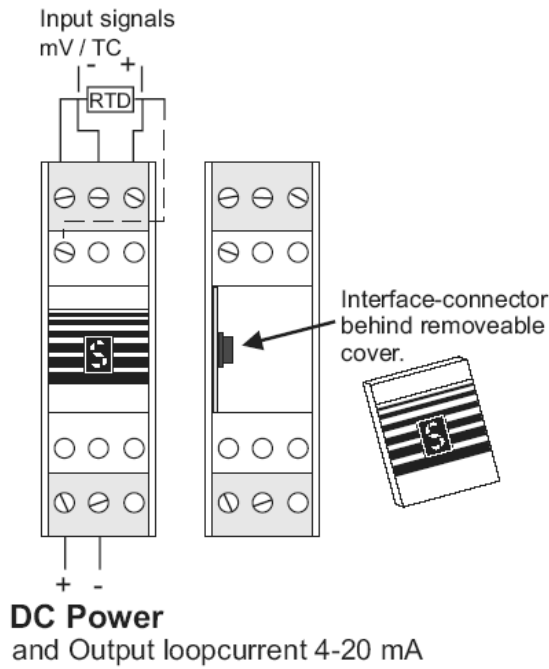


Mp82800-R / Mp82850-R



Interface-connector
also used for connecting the optional display unit.

Mp88700 (H) / Mp88800 / Mp88800-R



Ethernet/Serial Interfaces for Compact FieldPoint

NI cFP-180x

- Distributed I/O interfaces for Ethernet and RS232 networks
- 4 or 8-slot Compact FieldPoint distributed Ethernet/serial network interfaces
- FieldPoint software for rapid distributed I/O access
- Modbus Support
- OPC server included
- Intelligent diagnostics and maintenance
- Industrial specifications for harsh environments
 - 50 g shock
 - 5 g vibration
 - -40 to 70 °C

Operating Systems

- Windows 2000/XP

Recommended Software

- LabVIEW
- LabVIEW Datalogging and Supervisory Control Module

Other Compatible Software

- LabWindows/CVI
- Measurement Studio
- Lookout
- VI Logger

Driver Software (included)

- Measurement & Automation Explorer
- OPC server (2.0 compliant)



Overview and Distributed Applications

National Instruments cFP-180x interfaces connect four or eight Compact FieldPoint I/O modules to a high-speed Ethernet network or to an RS232 serial port. With up to 100 Mb/s data communication rates and event-driven communications, an NI cFP-180x delivers a high-performance network connection for Compact FieldPoint that is easy to interface with a PC or PAC-like Compact FieldPoint embedded controller. One or more cFP-180x interfaces, connected by standard networking equipment, provide expanded I/O that you can control with a single Compact FieldPoint controller; see Figure 1. You can also build a PC-based distributed I/O and control system by connecting two or more cFP-180x devices to your PC.

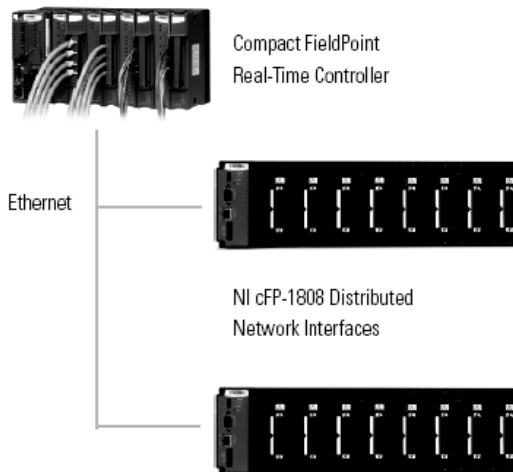


Figure 1. Expansion I/O for Compact FieldPoint Embedded Controller with cFP-1808 Network Interfaces

Hardware Architecture

A cFP-180x provides an integrated network interface (Ethernet or serial) and a 4 or 8-slot backplane, and it works with the same modules and connector blocks used in other Compact FieldPoint systems.

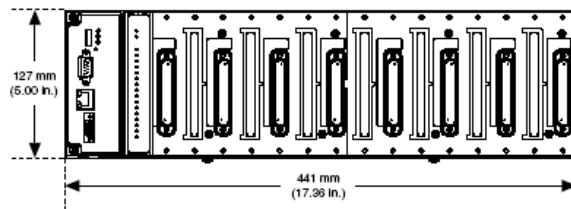


Figure 2. cFP-1808 Mechanical Dimensions

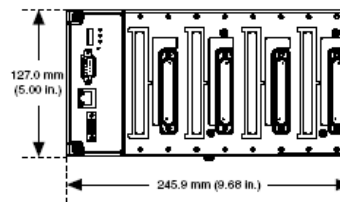


Figure 3. cFP-1804 Mechanical Dimensions

Building Ethernet-Based Distributed I/O Systems

A cFP-180x can communicate with Compact FieldPoint real-time embedded controllers; any Ethernet-based programmable automation controller (PAC); and a Windows computer running LabVIEW, LabWindows/CVI, Measurement Studio, Lookout, or your choice of OPC client application software. Using a cFP-180x, you can rapidly build flexible, modular distributed measurement and automation systems.



Módulo de entrada analógica cFP-AI-111

Specifications

The following specifications are typical for the range –40 to 70 °C unless otherwise noted. Gain error is calculated as a percentage of input signal value.

Input Characteristics

- Number of channels..... 16
- ADC resolution..... 16 bits at 50 or 60 Hz;
12 bits at 500 Hz
- Type of ADC..... Delta-sigma
- Input impedance..... 100 Ω
- Overcurrent protection..... ±30 mA
- Input noise (50 or 60 Hz filter) 0.3 μA_{rms}

Input signal ranges (FieldPoint software shows the ranges with 5% overranging.)

Nominal Input Range		With Overranging	Effective Resolution*
Current	4–20 mA	3.5–21 mA	0.5 μA
	0–20 mA	0–21 mA	0.5 μA
	±20 mA	±21 mA	0.7 μA

* Includes quantization errors and rms noise with the filter set to 50 or 60 Hz.

Filter settings (software selectable by channel)

Characteristic	Filter Settings		
	50 Hz	60 Hz	500 Hz
Update time*	1.23 s	1.05 s	0.29 s
Input bandwidth (–3 dB)	13 Hz	16 Hz	130 Hz

* Applies when all 16 channels are set to the same filter setting and range.

- Normal-mode rejection (at 50/60 Hz) 95 dB (with 50/60 Hz filter)
- Nonlinearity 0.0015%
- Offset error..... ±0.1 μA
- Offset error drift..... ±20 nA/°C

Módulo de entrada analógica cFP-AI-112

Specifications

The following specifications are typical for the –40 to 70 °C temperature range and for 50 and 60 Hz filter settings unless otherwise noted. Specifications are subject to change without notice.

Input Characteristics

Number of channels..... 16
 ADC resolution..... 16 bits at 50 or 60 Hz;
 10 bits at 500 Hz
 (refer to table)
 Type of ADC..... Delta-sigma

Effective resolution by input range and filter setting

Nominal Input Range	With Overranging	Effective Resolution* at 50 or 60 Hz	Effective Resolution* at 500 Hz
±60 mV	±65 mV	3 µV	25 µV
±300 mV	±325 mV	16 µV	100 µV
±1 V	±1.04 V	40 µV	300 µV
±5 V	±5.2 V	190 µV	1500 µV
±10 V	±10.4 V	380 µV	3000 µV
0–1 V	0–1.04 V	20 µV	300 µV
0–5 V	0–5.2 V	95 µV	1500 µV
0–10 V	0–10.4 V	190 µV	3000 µV

*Includes quantization errors and typical rms noise.

Update period and input bandwidth by filter setting

Characteristic	Filter Settings		
	50 Hz	60 Hz	500 Hz
Update period*	1.25–1.75 s	1.05–1.45 s	0.27–0.32 s
Input bandwidth (–3 dB)	13 Hz	16 Hz	130 Hz

* Applies when all 16 channels are set to the same filter setting. Refer to the [Update Rate](#) section for information about calculating the update rate.